

# 外源 NO 对铅胁迫下萝卜种子萌发及幼苗生理特性的影响

刘 钊, 雷 阳, 王生武, 吴越莉, 张 旭 (山西农业大学园艺学院, 山西太原 030031)

**摘要** 为探究外源 NO 对萝卜铅胁迫的缓解作用, 以高浓度铅胁迫(0.6 mmol/L)下的萝卜品种春红 1 号为试验材料, 以 SNP 为 NO 供体材料, 研究不同浓度 SNP(0、25、50、100、150、200  $\mu\text{mol/L}$ ) 对铅胁迫下萝卜种子萌发及幼苗生理特性的影响。结果表明, 高浓度的铅离子对萝卜生长有严重抑制作用, 施加 100  $\mu\text{mol/L}$  SNP 能够促进萝卜种子发芽, 增加萝卜幼苗光合色素含量, 提高过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性。说明适宜浓度的 NO 可有效缓解铅胁迫对萝卜种子和幼苗的毒害。

**关键词** 铅胁迫; 一氧化氮; 萝卜; 种子萌发; 生理特性

**中图分类号** S 631.1 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2021)08-0057-04

**doi**: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.08.015



开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

## Effects of Exogenous NO on Seed Germination and Seedling Physiological Characteristics of Radish under Pb Stress

LIU Zhao, LEI Yang, WANG Sheng-wu et al (College of Horticulture, Shanxi Agriculture University, Taiyuan, Shanxi 030031)

**Abstract** In order to explore the relieving effect of exogenous NO on Pb stress in radish, the radish variety Chunhong No.1 under severe Pb stress (0.6 mmol/L) was used as experimental material, and different concentrations of SNP(0, 25, 50, 100, 150, 200  $\mu\text{mol/L}$ ) were used as NO donors. The results showed that high concentration of Pb ions had a serious inhibitory effect on radish growth. Applying 100  $\mu\text{mol/L}$  SNP could promote radish seed germination, increase photosynthetic pigment content and increase the activities of peroxidase (POD), superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and ascorbate peroxidase (APX). The results indicated that the appropriate concentration of NO could effectively alleviate the toxicity of Pb stress to radish seeds and seedlings.

**Key words** Pb stress; NO; Radish; Seed Germination; Physiological characteristics

铅是植物体内的非必需元素, 具有易吸收、快转移、难降解、毒性大的特点。随着我国城市化和工业化的进行, 工业废水、废渣携带着大量铅离子渗透入土壤中。同时纯度不高的农药和化肥中都有铅离子的残留, 无节制地施用均导致农田土壤中铅含量急剧增加。据统计, 我国受铅元素等重金属污染的农业用地近 2 000 万  $\text{hm}^2$ , 约占全国农业用地总面积的 20%。耕地中铅元素的不断增加, 已成为影响我国农业生产及食品安全的重要隐患。陈茂铨等<sup>[1]</sup>研究发现萝卜在铅胁迫下, 种子萌发受到严重影响, 进而抑制了幼苗根和叶的生长; 黄轩等<sup>[2]</sup>研究表明, 铅胁迫会降低中华常青藤的光合色素含量, 影响光合作用; 张博宇等<sup>[3]</sup>研究发现, 铅离子可使黄花风铃木细胞内产生大量氧的自由基从而损伤植物胞质膜, 产生铅胁迫反应。

一氧化氮(NO)是植物体内重要的信号分子, 能够调控植物体内多途径、多基因表达。目前已经证实的通路包括 NO 合成酶途径、硝酸还原酶、亚硝酸还原酶途径, 并广泛参与与其他信号通路中<sup>[4]</sup>。研究表明, 适宜浓度的外源 NO 可以有效提高植物种子的发芽率、发芽势、幼苗根长和茎长, 增加植物体内光合色素的含量, 增强植物的光合作用<sup>[5-6]</sup>。在铅胁迫下, NO 可以通过提高抗氧化酶的活性来减弱铅离子胁迫对植物体产生的负作用<sup>[7]</sup>; 同时通过激活光合色素表达途径, 增加叶绿素、类胡萝卜素含量从而增强植物光合作用, 抵消铅胁迫的影响。近年来, 随着铅污染越来越严重, 科研

工作者做了大量关于缓解植物铅胁迫的研究。然而, 关于外源 NO 对铅胁迫下萝卜生理影响的研究鲜见报道。鉴于此, 笔者开展了外源 NO 缓解萝卜幼苗铅胁迫的效应试验, 通过测定萝卜种子萌发及叶片生理变化等指标, 研究可缓解萝卜铅胁迫的最适硝普钠(SNP)浓度, 以期为铅污染防治和土壤修复提供理论依据。

## 1 材料与方法

**1.1 试验材料** 供试萝卜品种为春红 1 号, 由山西省农业科学院蔬菜研究所萝卜团队提供。铅离子供体为  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ , 购自山西森跃商贸有限公司。NO 供体为  $\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (硝普钠, SNP), 购自山西森跃商贸有限公司。

**1.2 试验方法** 选取均匀无病害的春红 1 号萝卜种子, 用灭菌水在室温下浸泡 6~8 h。用 75% 乙醇冲洗 30 s, 15% 的  $\text{NaClO}$  冲洗 20 min, 灭菌水洗涤 3 次, 放入真空干燥箱 40  $^\circ\text{C}$  烘干 1 h。试验分成 CK 对照组(处理液为灭菌水)和 6 个处理组, 处理组中均添加 0.6 mmol/L (198.72 mg/kg) 的  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ , pH 控制在 5.4, 并分别添加浓度为 0  $\mu\text{mol/L}$ 、25  $\mu\text{mol/L}$  (7.45 mg/kg)、50  $\mu\text{mol/L}$  (14.90 mg/kg)、100  $\mu\text{mol/L}$  (29.80 mg/kg)、150  $\mu\text{mol/L}$  (44.70 mg/kg)、200  $\mu\text{mol/L}$  (59.60 mg/kg) SNP 溶液, 将 6 个处理分别命名为 SNP-0、SNP-25、SNP-50、SNP-100、SNP-150、SNP-200。将萝卜种子置于 9 cm 培养皿中的滤纸上, 滤纸上浸满不同浓度的处理液, 每个处理 3 次重复, 每个重复 200 粒种子。萝卜种子于 25  $^\circ\text{C}$  培养箱中培养, 避光催芽 3 d, 进而光照/黑暗 12 h/12 h、相对湿度 70%。此后每天以灭菌水补充蒸发掉的液体。培养 10 d 后测定萝卜幼苗茎长、根长、叶长和叶宽等形态指标。

**基金项目** 山西省农业科学院博士研究基金项目(YBSJJ1706); 山西省农业科学院重点攻关项目(YGG1620)。

**作者简介** 刘钊(1987—), 男, 山西太原人, 助理研究员, 硕士, 从事蔬菜病理学研究。

**收稿日期** 2020-07-10

### 1.3 测定项目与方法

#### 1.3.1 种子萌发指标。培养 5 d 后测定发芽势,计算公式:

$$\text{发芽势} = \text{发芽种子粒数} / 200 \times 100\%$$

#### 1.3.2 形态指标。培养 10 d 后测定春红 1 号萝卜幼苗茎长、根长、叶长和叶宽等形态指标。

#### 1.3.3 幼苗生理指标。培养 12 d 后测定春红 1 号萝卜幼苗的各项生理指标。

叶绿素 a、b 和类胡萝卜素含量的测定:避光条件下在丙酮中破碎春红 1 号萝卜幼苗叶片,分别在 470、649 和 665 nm 波长下测定吸光度。

SOD 活性采用张慧杰等<sup>[8]</sup>的方法测定;POD 活性采用尹桂彬等<sup>[9]</sup>的方法测定;CAT 活性采用刘光亚等<sup>[10]</sup>的方法测定;APX 活性采用张倩等<sup>[11]</sup>的方法测定。

1.4 数据处理 采用 Microsoft Office Excel 2016 整理数据和作图;SPSS 19.0 分析数据,Duncan 法进行多重比较。

## 2 结果与分析

2.1 外源 NO 对铅胁迫下萝卜种子发芽势的影响 由图 1 可知,添加铅离子 SNP-0 较未添加铅离子的 CK 处理,发芽势降低了 24.73%,说明铅离子对萝卜种子的萌发起到了抑制作用。SNP-50、SNP-100 这 2 个处理显著提高了萝卜种子发芽势,较 CK 增加 17.74% 和 29.84%,较同为铅胁迫下的 SNP-0 分别增加了 56.42% 和 72.49%。说明适量的 SNP 不仅可以抵消铅离子对萝卜种子的毒害,还可以有效提高萝卜种子的发芽势。SNP-150、SNP-200 这 2 个处理较未添加铅离子的 CK 处理,发芽势均明显下降,降幅分别为 7.26% 和 31.72%。说明适用的 SNP 浓度在 150 和 200  $\mu\text{mol/L}$  时,SNP 无法抵消铅离子对萝卜种子的毒害。而且当 SNP 浓度在 200  $\mu\text{mol/L}$  时,萝卜种子的发芽势低于同样添加铅离子但未添加 SNP 的 SNP-0 处理。说明在 SNP 浓度在 200  $\mu\text{mol/L}$  时,SNP 非但无法抵消铅离子对萝卜种子的胁迫,还造成了更多的抑制作用。

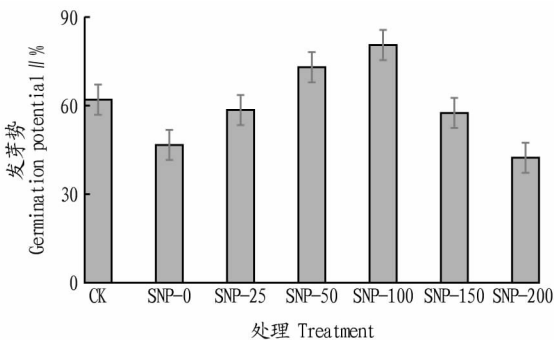


图 1 外源 NO 对铅胁迫下萝卜种子发芽势的影响

Fig.1 Effects of exogenous NO on seed germination potential of radish seedlings under Pb stress

2.2 外源 NO 对铅胁迫下萝卜幼苗形态指标的影响 由图 2 可知,6 个添加铅离子的处理 SNP-0、SNP-25、SNP-50、SNP-100、SNP-150、SNP-200 在 10 d 的根长均显著短于未添加铅离子的 CK 处理,较 CK 降幅分别为 68.69%、60.91%、48.15%、34.77%、68.12% 和 73.23%。说明铅胁迫对萝卜根长

有较强的抑制作用。在铅胁迫的 6 个处理中,添加 SNP 的 SNP-25、SNP-50、SNP-100、SNP-150 4 个处理的根长均大于未添加 SNP 的 SNP-0,增幅分别为 24.92%、65.70%、108.47% 和 1.88%。说明 SNP 可有效缓解铅离子胁迫对萝卜根长的影响。其中 SNP 浓度为 100  $\mu\text{mol/L}$  的处理 SNP-100 的根长最长,为 11.49 cm。SNP-200 处理的萝卜根长小于 SNP-0,降幅为 14.46%,说明较高的 SNP 浓度反而会降低其缓解铅胁迫的作用。

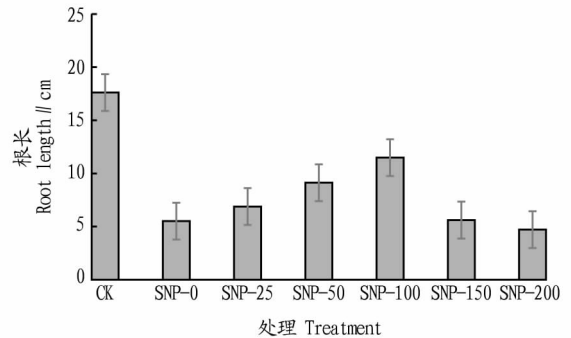


图 2 外源 NO 对铅胁迫下萝卜幼苗根长的影响

Fig.2 Effects of exogenous NO on root length of radish seedlings under Pb stress

由图 3 可知,SNP-0、SNP-25、SNP-50、SNP-100、SNP-150、SNP-200 处理的茎长均显著短于不存在铅胁迫的 CK 处理,降幅分别为 59.96%、48.39%、32.98%、15.45%、50.77% 和 62.91%。可见铅胁迫对萝卜茎长有显著的抑制作用。添加 SNP 的 4 个处理 SNP-25、SNP-50、SNP-100、SNP-150 的茎长均大于未添加 SNP 的处理 SNP-0,增幅为 29.03%、67.55%、111.37% 和 23.07%,说明 SNP 可有效缓解铅离子胁迫对萝卜茎长的影响。其中 SNP 浓度为 100  $\mu\text{mol/L}$  的处理 SNP-100 的茎长最长,为 6.38 cm。与根长一样,SNP-200 处理的萝卜茎长小于 SNP-0,降幅为 7.28%,说明较高的 SNP 浓度反而会抑制萝卜茎的生长

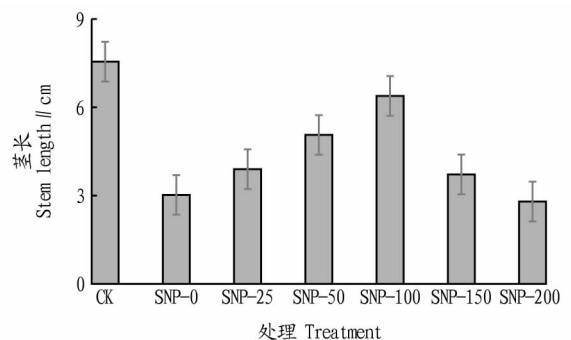


图 3 外源 NO 对铅胁迫下萝卜幼苗茎长的影响

Fig.3 Effects of exogenous NO on stem length of radish seedlings under Pb stress

由图 4 可知,SNP-0、SNP-25、SNP-50、SNP-100、SNP-150、SNP-200 处理的叶长较 CK 处理均有下降,降幅分别为 47.22%、37.3%、33.02%、20.06%、37.65%、47.84%,可见铅胁迫对萝卜叶长有一定的抑制作用。SNP-25、SNP-50、SNP-100、SNP-150 的叶长均大于未添加 SNP 的处理 SNP-0,增

幅分别为 18.71%、26.90%、51.46%、18.13%。说明添加 SNP 可缓解铅离子胁迫对萝卜叶长的影响。其中 SNP 浓度为 100  $\mu\text{mol/L}$  的处理 SNP-100 的叶长最长,为 0.87 cm。

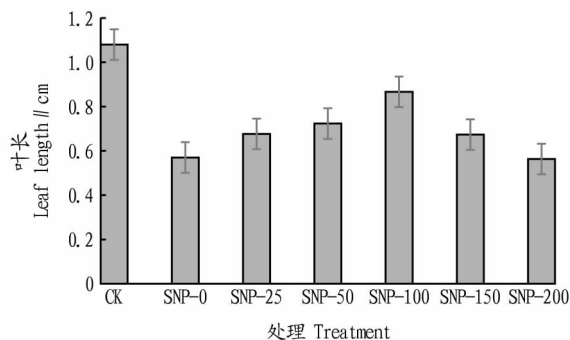


图 4 外源 NO 对铅胁迫下萝卜幼苗叶长的影响

Fig.4 Effects of exogenous NO on leaf length of radish seedlings under Pb stress

由图 5 可知,SNP-0、SNP-25、SNP-50、SNP-100、SNP-150、SNP-200 处理的叶宽较 CK 处理均有下降,降幅分别为 37.82%、32.77%、25.46%、17.09%、35.01%、36.13%,说明在铅胁迫下,萝卜叶宽会有一定程度的降低。SNP-25、SNP-50、SNP-100、SNP-150、SNP-200 的叶宽均大于未添加 SNP 的处理 SNP-0,增幅分别为 8.11%、19.86%、33.33%、4.50%、2.70%,说明 SNP 可有效缓解铅胁迫对萝卜叶宽的影响。

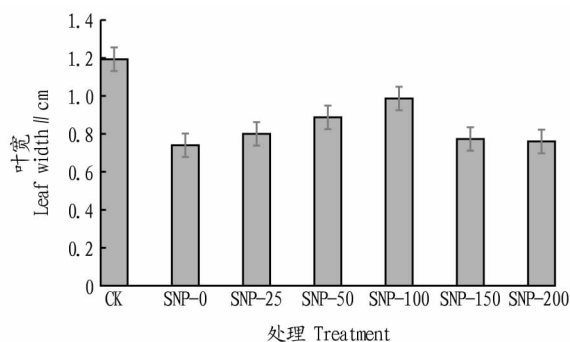


图 5 外源 NO 对铅胁迫下萝卜幼苗叶宽的影响

Fig.5 Effects of exogenous NO on leaf width of radish seedlings under Pb stress

**2.3 外源 NO 对铅胁迫下萝卜幼苗叶片光合色素含量的影响** 由图 6 可知,铅胁迫下的 6 个处理 SNP-0、SNP-25、SNP-50、SNP-100、SNP-150、SNP-200 在叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素含量上均显著少于未添加铅离子的 CK 处理。说明铅胁迫对萝卜叶片的光合色素含量有较强的抑制作用。在相同浓度的铅离子胁迫下,施 SNP 的浓度为 100  $\mu\text{mol/L}$  时,萝卜幼苗叶片的叶绿素 a、b 和类胡萝卜素含量有显著提高。其中叶绿素 a 含量较未添加 SNP 处理 SNP-0 增加 53.61%,叶绿素 b 含量升高了 47.22%,类胡萝卜素含量升高了 88.01%。SNP-150 和 SNP-200 这 2 个处理的萝卜幼苗叶片各色素含量显著下降,说明这 2 个浓度的 SNP 对萝卜的光合作用产生了抑制作用。

**2.4 外源 NO 对铅胁迫下萝卜幼苗叶片抗氧化酶活性的影响** 由图 7 可知,SNP-0、SNP-25、SNP-50、SNP-100、SNP-

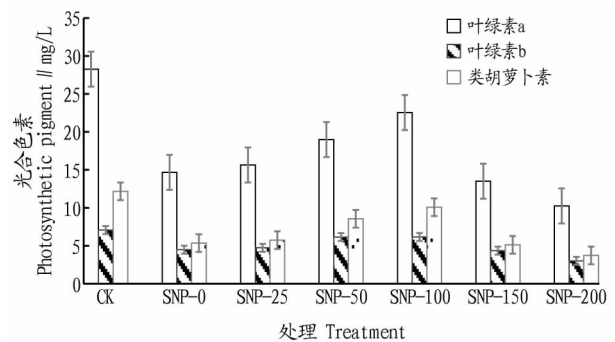


图 6 外源 NO 对铅胁迫下萝卜叶片光合色素含量的影响

Fig.6 Effect of exogenous NO on photosynthetic pigment of radish under Pb stress

150、SNP-200 这 6 个处理的 SOD 活性均不同程度低于未处于铅胁迫的 CK 处理,降幅分别为 38.24%、29.40%、19.93%、5.77%、38.83%和 47.29%,说明铅离子对萝卜体内的 SOD 活性有较强的抑制作用。且在铅胁迫下,不同浓度的 SNP 对萝卜叶片中的 SOD 含量有显著影响。其中 SNP-25、SNP-50、SNP-100 较 SNP-0 的 SOD 活性均有提高,增幅为 14.30%、29.63%、52.56%。SNP-100 处理的 SOD 活性最高,是 CK 处理的 94.23%,基本抵消了铅离子对萝卜叶片中 SOD 活性的影响。

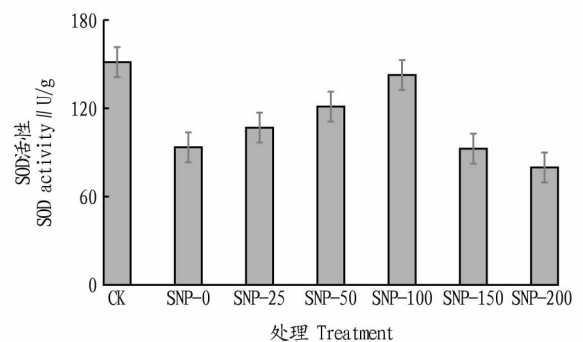


图 7 外源 NO 对铅胁迫下萝卜叶片 SOD 活性的影响

Fig.7 Effect of exogenous NO on SOD activity of radish under Pb stress

由图 8 可知,SNP-0、SNP-25、SNP-50、SNP-100、SNP-150、SNP-200 这 6 个处理的 CAT 活性均不同程度地低于未处于铅胁迫的 CK 处理,降幅分别为 51.24%、43.58%、27.29%、11.65%、35.81%、53.51%。且在铅胁迫下,不同浓度的 SNP 对萝卜叶片中的 CAT 含量有显著影响。SNP-25、SNP-50、SNP-100、SNP-150 这 4 个处理的 CAT 含量较 SNP-0 均显著增加,增幅为 15.45%、48.79%、80.79%和 31.35%。SNP-200 相较 SNP-0 有所下降,降低了 4.86%。

由图 9 可知,SNP-0、SNP-25、SNP-50、SNP-100、SNP-150、SNP-200 这 6 个处理的 POD 活性均不同程度地低于未处于铅胁迫的 CK 处理,降幅为 47.71%、40.79%、31.36%、20.90%、37.99%和 49.48%。且在铅胁迫下,不同浓度的 SNP 对萝卜叶片中的 POD 含量有显著影响。SNP-25、SNP-50、SNP-100、SNP-150 这 4 个处理的 POD 含量较 SNP-0 均有增加,增幅为 13.27%、31.30%、51.31%、18.62%。SNP-200 相较 SNP-0 有所下降,降低了 3.35%。

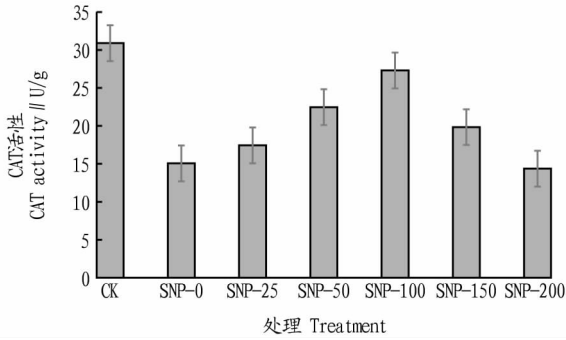


图8 外源 NO 对铅胁迫下萝卜叶片 CAT 活性的影响

Fig.8 Effect of exogenous NO on CAT activity of radish under Pb stress

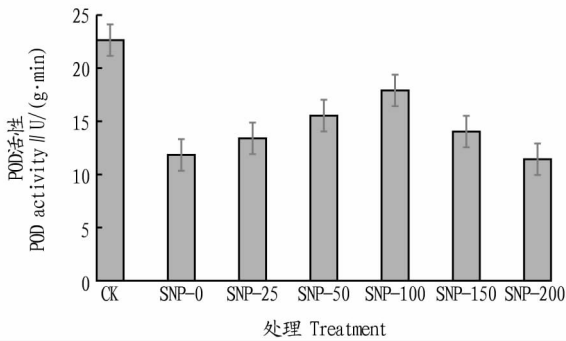


图9 外源 NO 对铅胁迫下萝卜叶片 POD 活性的影响

Fig.9 Effect of exogenous NO on POD activity of radish under Pb stress

由图 10 可知,铅胁迫下,处理 SNP-0 相对于 CK 有显著下降,降幅为 41.72%,说明铅胁迫对萝卜叶片中 APX 活性有明显的抑制作用。铅胁迫下处理 SNP-100 的 APX 活性显著高于未添加铅离子的 CK,增幅为 43.42%。说明 100  $\mu\text{mol/L}$  的 SNP 不仅可以抵消铅胁迫对萝卜叶片中 APX 活性的影响,还可以大幅提升 APX 活性。SNP-25、SNP-50、SNP-150、SNP-200 这 4 个处理的 APX 活性,相较于 CK 下降不明显,降幅分别为 16.92%、3.08%、10.73%和 27.88%。说明这些浓度下的 SNP 可以在一定程度上缓解铅胁迫对幼苗的影响。

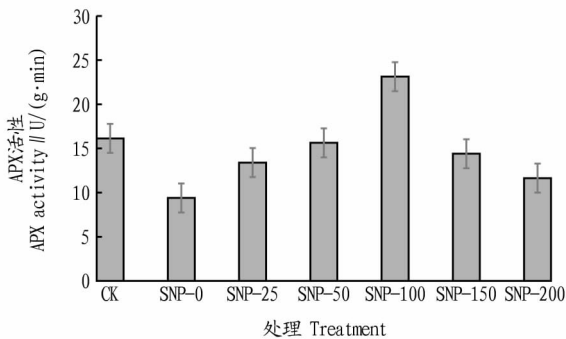


图10 外源 NO 对铅胁迫下萝卜叶片 APX 活性的影响

Fig.10 Effect of exogenous NO on APX activity of radish under Pb stress

### 3 讨论

铅是植物体内的非必要元素,会对植物体的正常生长起到抑制作用,降低植物的产量和品质<sup>[12]</sup>。二价铅离子可以

损害植物的根系,降低主根的生长长度和侧根数量,甚至会造成根部的畸形坏死<sup>[13]</sup>。同时铅离子也会破坏植物的光合系统,降低叶绿素类胡萝卜素的含量,抑制植物体的光合作用<sup>[14]</sup>。NO 是广泛存在于植物体内的重要信号分子<sup>[15]</sup>,张旭强等<sup>[6]</sup>研究表明,添加适量的外源 NO 可以有效提高植物种子的发芽率、发芽势、幼苗根长和茎长。李莉等<sup>[5]</sup>在辣椒上和吴佩等<sup>[16]</sup>在黄瓜上的研究表明,适量的外源 NO 可增加植物体内叶绿素含量,增加叶绿素相关基因的表达量,从而增强植物的光合作用。

该研究结果表明,较高浓度的铅胁迫对萝卜种子的发芽势、幼苗根长、茎长、叶长、叶宽产生明显的抑制作用。而适当浓度的外源 NO 可以有效促进萝卜种子萌发,减弱铅胁迫对萝卜幼苗根长、茎长、叶长、叶宽产生的副作用。这与向华等<sup>[17]</sup>在外源 NO 对苜蓿、魏学玲等<sup>[18]</sup>在小麦上、肖小君等在<sup>[7]</sup>在黄瓜上的研究结果一致。该研究发现,较高浓度铅离子会严重损害萝卜的光合系统,而添加 100  $\mu\text{mol/L}$  SNP 可以有效缓解铅胁迫,提高植物光合色素的含量,改善萝卜叶片的光合作用。一方面可能是因为信号分子 NO 提高类囊体膜蛋白的稳定性,从而降低铅胁迫对类囊体膜的破坏作用,另一方面可能是由于 NO 激活了萝卜叶片中的叶绿素表达基因,从而提高了光合色素的含量<sup>[15]</sup>。研究表明<sup>[3,19-20]</sup>,铅胁迫会导致植物体内积累大量氧的自由基,造成植物细胞膜过氧化,而引起一系列的生理紊乱。在较低浓度的铅胁迫环境下,植物通过提高自身 POD、SOD、CAT 等保护酶活性和 APX 等抗氧化酶活性,来维持体内氧的自由基产生和消耗的动态平衡。但高浓度的铅离子会占据或替换保护酶和抗氧化酶的活性中心,从而降低酶活性,无法行使正常功能,进而影响种子萌发、幼苗生长和光合作用<sup>[20-21]</sup>。该研究表明,在铅胁迫下萝卜幼苗叶片中的 POD、SOD、CAT 和 APX 活性显著下降,而加入 100  $\mu\text{mol/L}$  SNP 可有效提高萝卜幼苗叶片中的保护酶和抗氧化酶活性。这与鲜靖苹等<sup>[22]</sup>和王勇等<sup>[23]</sup>在草地早熟禾上、马晓丽等<sup>[24]</sup>和巴青松等<sup>[25]</sup>在小麦上、张茜等<sup>[26]</sup>在棉花上的研究结果一致。

该研究以高浓度铅胁迫下的春红 1 号为材料,探究了不同浓度 SNP 对萝卜幼苗各项生理指标的影响。结果表明,适宜浓度的外源 NO 可以促进萝卜种子萌发,增加叶片中光合色素含量,提高 POD、SOD、CAT 和 APX 活性,从而有效缓解铅胁迫对萝卜造成的伤害。

### 参考文献

- [1] 陈茂铨,应俊辉,王东明,等.铅胁迫对萝卜种子萌发、幼苗生长及生理特性的影响[J].江苏农业科学,2010,38(2):172-174.
- [2] 黄轩,李婉婷,黄晓霞,等.铅胁迫对中华常春藤叶绿素含量及荧光特性的影响[J].分子植物育种,2019,17(16):5469-5475.
- [3] 张博宇,滕维超.铅胁迫对黄花风铃木幼苗生长和生理指标的影响[J].东北林业大学学报,2020,48(7):7-10,16.
- [4] 石珍珍,达梦婷,庞海龙,等.胞外三磷酸腺苷通过一氧化氮调节镉诱导的氧化压力和细胞死亡[J].植物科学学报,2020,38(2):269-277.
- [5] 李莉,田士林,姜俊,等.一氧化氮对弱光胁迫下苗期及坐果初期辣椒生长和抗性相关指标的影响[J].浙江农业学报,2019,31(12):2036-2042.
- [6] 张旭强,赵敏,陈璐,等.干旱胁迫下拟南芥磷脂酶 D6 与一氧化氮在种子萌发中的信号关系[J].植物研究,2018,38(4):526-534.

(下转第 65 页)

次,不仅明显提高了商品果率,还提高了西瓜果肉的含糖量,改善了口感品质。

与施用化肥相比,增施有机肥是改善西瓜品质的重要措施。鉴于目前我国农业生产上使用的有机肥主要来自废弃小麦、水稻、玉米秸秆及猪粪、牛粪,普遍存在肥效低、重金属和抗生素等含量超标等问题,并可能会导致产品污染。该研究结果表明,“大豆有机肥”的肥效明显高于普通生物有机肥,不仅具有肥效高、肥效长、营养丰富全面的优点,还能显著提高黄晶果实可溶性糖含量、改善风味,属于瓜果生产全营养绿色有机肥,非常适合作为黄晶西瓜新品种绿色高效生产的有机肥。

#### 4 结论

该研究结果认为,黄晶作为特色优质小果型西瓜新品种,春季设施栽培下,采用单蔓整枝为佳,适宜栽培密度 12 000~14 000 株/hm<sup>2</sup>,定植株行距为 22 cm × 250 cm,基肥施用量以施康朴牌复合肥 375 kg/hm<sup>2</sup> + 生物有机肥 22.5 t/hm<sup>2</sup> 为宜,膨瓜期均匀喷施 4~5 次康朴牌高钾叶面肥,可明显提高商品果率和果实品质。由于黄晶的耐热性较好,在秋延后设施栽培下也能够获得较高的商品瓜产量。此外还研制了一种“大豆绿色有机肥”,具有肥效高、肥效长等优点,对黄晶果实的产量和内在品质具有明显的促进作用。

(上接第 60 页)

[7] 肖小君,黄作喜,陈文年,等.外源 NO 对铅胁迫下水果黄瓜种子萌发和幼苗生理特性的影响[J].华北农学报,2015,30(3):123-128.

[8] 张慧杰,纪海鹏,张晓军,等.臭氧处理对采后西兰花贮藏品质的影响[J].食品研究与开发,2019,40(23):9-14.

[9] 尹桂彬,李月华,窦德泉,等.干旱胁迫对西府海棠和贴梗海棠生理特性的影响[J].安徽农业科学,2010,38(10):5202-5203,5309.

[10] 刘光亚,张艳军,孙学振,等.一氧化氮对植物淹水伤害的缓解作用及其机制[J].分子植物育种,2019,17(22):7579-7587.

[11] 张倩,陈为峰,董元杰.外源硝普钠与 EDTA 强化黑麦草耐镉性及镉积累[J].植物营养与肥料学报,2019,25(9):1560-1568.

[12] 王芳,陈晓燕,曹廷俊,等.外源一氧化氮对铅胁迫下玉米幼苗的缓解作用[J].干旱地区农业研究,2014,32(4):24-29,36.

[13] 王吉秀,李祖然,李博,等.间作植物根系对 Pb 斑块胁迫适应机制[J].农业环境科学学报,2019,38(12):2738-2748.

[14] 黄优,王进鑫,刘俊峰,等.铅胁迫下干旱对侧柏光合特性与水分利用效率的影响[J].江苏农业科学,2020,48(8):168-173.

[15] 骆巧娟,苏桐,魏小红.信号分子对盐胁迫番茄种子萌发及 NP24 和 PR-5 基因表达的影响[J].分子植物育种,2019,17(2):370-376.

[16] 吴佩,崔金霞,杨志峰,等.外源一氧化氮对低温下黄瓜幼苗光系统 II 原初光化学反应及光合机构活性的影响[J].植物生理学报,2019,55

#### 参考文献

[1] 王娟娟,李莉,尚怀国.我国西瓜甜瓜产业现状与对策建议[J].中国瓜菜,2020,33(5):69-73.

[2] 李干琼,王志丹.我国西瓜产业发展现状及趋势分析[J].中国瓜菜,2019,32(12):79-83.

[3] 杨念,孙玉竹,吴敬学.世界西瓜甜瓜生产与贸易经济分析[J].中国瓜菜,2016,29(10):1-9.

[4] 张敬敬,李冰,高秀瑞,等.河北地区小果型西瓜“玲珑王”春季大棚高效栽培技术[J].北方园艺,2019(18):169-171.

[5] 张兆辉,杨红娟,顾卫红,等.西瓜新品种‘黄晶’高产栽培技术研究[J].中国农学通报,2015,31(28):89-92.

[6] 钱信忠,王国勤,顾卫红,等.小果型西瓜新品种比较试验[J].上海农业科技,2011(4):57,56.

[7] 顾卫红,杨红娟,宋荣浩,等.小果型西瓜新品种黄晶的选育[J].中国蔬菜,2012(24):104-106.

[8] 宋荣浩,杨红娟,陈远东,等.设施长周期栽培型西瓜的优质高产栽培技术研究[J].上海农业学报,2012,28(2):36-40.

[9] 杨岩荣.叶面肥对保护地蔬菜产量和经济性状的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2008.

[10] 冯国民.生长中后期喷施叶面肥补养抗逆[J].蔬菜,2009(10):22.

[11] 鱼彩彦.叶面施肥技术在农业生产中的应用[J].农业与技术,2013,33(12):30.

[12] 赵德杰,韩启彪.新形势下我国滴灌技术发展倡议[J].安徽农业科学,2015,43(5):332-333,350.

[13] 刘敏德,何声团.不同叶面肥组合对小型西瓜长势和品质的影响[J].北方园艺,2017(22):59-62.

[14] 侯东颖,郝科星,张曼,等.水肥一体化技术对西瓜产量及品质的影响[J].安徽农业科学,2018,46(25):116-118.

[15] 文端,王星辰,束良佐,等.滴灌施肥条件下氮去向及其对土壤环境影响的研究进展[J].安徽农业科学,2018,46(15):24-27,45.

(6):745-755.

[17] 向华,南丽丽,李春晓,等.一氧化氮对铅胁迫下杂花苜蓿种子萌发及幼苗生理特性的影响[J].草原与草坪,2014,34(2):77-80,85.

[18] 魏学玲,史如霞,贾凌云,等.外源一氧化氮对铅胁迫下小麦种子萌发及幼苗生理特性的影响[J].植物研究,2011,31(1):34-39.

[19] 孙天国,孙玉斌.外源亚精胺对铅胁迫下甜瓜幼苗抗氧化代谢的调控效应[J].北方园艺,2020(4):42-46.

[20] 高鸿鹏,郑直,刘超,等.镉铅胁迫对桑树种子萌发和幼苗生长以及重金属累积的影响[J].安徽农业科学,2020,48(11):131-136.

[21] 张金青,陈金龙,李凡,等.草地早熟禾种子萌发和幼苗生长对铅胁迫的适应性[J].草地学报,2020,28(1):130-140.

[22] 鲜靖苹,王勇,马晖玲.一氧化氮信号途径参与草地早熟禾耐镉机制的研究[J].草地学报,2019,27(6):1577-1586.

[23] 王勇,鲜靖苹,王海龙,等.外源 NO 对镉胁迫下草地早熟禾种子萌发及幼苗生理特性的影响[J].核农学报,2020,34(1):169-176.

[24] 马晓丽,冀瑞萍,田保华,等.一氧化氮(NO)对镉胁迫下小麦幼苗氧化损伤的影响[J].生物技术通报,2017,33(5):102-107.

[25] 巴青松,张根生,马畅,等.NO 对镉胁迫下小麦根系生长发育的生理影响[J].植物科学学报,2017,35(3):398-405.

[26] 张茜,郭婧,吕思洁,等.外源 NO 对棉花幼苗重度镉胁迫的缓解效应[J].河南农业科学,2017,46(7):35-38.