

SNP 和 cPTIO 对 NaCl 胁迫下拟南芥的生理影响

吴嘉¹, 杨红玉^{1*}, 杨明挚², 李湘³, 夏绍嫒³

(1. 昆明学院 生命科学与技术系, 昆明 650214; 2. 云南大学 生命科学学院, 昆明 650091; 3. 云南师范大学 生命科学学院, 昆明 650092)

摘要: 以拟南芥为材料, 研究了 0.5 mmol/L 的外源一氧化氮供体硝普纳(SNP)和 200 mmol/L 的一氧化氮专一清除剂(cPTIO)对 200 mmol/L NaCl 胁迫下对拟南芥的生理影响。0.5 mmol/L SNP 和 200 mmol/L cPTIO 预处理 2 h 后, 加入 200 mmol/L NaCl。不同处理的拟南芥加入 200 mmol/L NaCl 后, 每隔 12 h 取样一次, 观察叶片生长情况、测定过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)、丙二醛(MDA)和超氧阴离子(O₂⁻)的变化。结果表明 0.5 mmol/L 的 SNP 能缓解 200 mmol/L NaCl 胁迫伤害, 促进盐胁迫下幼苗的生长, 显著提高抗氧化酶系统中 POD 和 SOD 活性, 显著降低 MDA 和 O₂⁻ 的含量, 从而提高植株的抗盐性, 而 NO 专一清除剂 cPTIO 能逆转 SNP 的上述效应。

关键词: 一氧化氮; cPTIO; 盐胁迫; 拟南芥

中图分类号: Q945 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2010)05-0666-06

Effects of SNP and cPTIO on physiology of *Arabidopsis* seedling under NaCl stress

WU Jia¹, YANG Hong-Yu^{1*}, YANG Ming-Zhi²,
LI Xiang³, XIA Shao-Lei³

(1. College of Life Sciences and Technology, Kunming University, Kunming 650214, China; 2. College of Life Sciences, Yunnan University, Kunming 650091, China; 3. School of Life Sciences, Yunnan Normal University, Kunming 650092, China)

Abstract: Three groups of 8-week-old *Arabidopsis* seedlings were cultured, they were respectively pretreated with water, 0.5 mmol/L SNP and 200 mmol/L cPTIO for 2 h, after that, 200 mmol/L NaCl was added. Fresh NaCl solution was applied every day and some physiological indices such as peroxidase(POD), superoxide dismutase(SOD), malondialdehyde(MDA) and superoxide anion(O₂⁻) were determined 12 h later. The results showed that SNP could relieve NaCl stress injuries, and promote the growth of seedlings under salt stress, significantly improve the antioxidant enzyme system, POD and SOD activity, significantly reduce MDA and O₂⁻ content, thereby enhancing the salt tolerance of plants, while the NO specific scavenger cPTIO could reverse the above effects of SNP.

Key words: nitric oxide(NO); cPTIO; NaCl stress; *Arabidopsis thaliana*

盐害是目前影响植物生产的主要因素之一 (Parida 等, 2005)。盐胁迫下, 植物细胞膜结构和功能发生变化, 细胞内 Na⁺ 过量积累, 离子平衡被破坏, 影响氧化保护酶, 如超氧化物歧化酶 (superox-

idedismutase, SOD)、过氧化物酶 (porxidase, POD)、过氧化氢酶 (catalase, CAT) 等的活性。随着活性氧 (reactive oxygen species, ROS) 的清除与产生之间的动态平衡受到破坏, ROS 大量积累, 导致

收稿日期: 2009-11-06 修回日期: 2010-08-21

基金项目: 国家自然科学基金(30860121); 中国农业大学植物生理学与生物化学国家重点实验室开放课题基金(PPB08010)[Supported by the National Natural Science Foundation of China(30860121); the Open Program of State Key Lab of Plant Physiology and Biochemistry, China Agriculture University(PPB08010)]

作者简介: 吴嘉(1982-), 女, 云南昆明人, 硕士, 主要从事植物生理与分子生物学研究, (E-mail) wujia020@sina.com.

*通讯作者 (Author for correspondence, E-mail: yanghongyu@kmu.edu.cn)

膜脂过氧化和膜脂脱脂作用,造成膜蛋白和膜脂严重损伤,破坏膜结构(Foryer 等,1994;张润花等,2006)。而一氧化氮(nitric oxide, NO)是植物中一种重要的信号分子,它在植物生长、发育、衰老、细胞程序性死亡、乙烯释放、抗病和对环境胁迫等各种不同形式的响应中发挥重要功能(Delledonne 等,1998;Durner & Klessig,1999)。一氧化氮的供体硝普钠(sodiumnitroprusside, SNP),通过提高盐胁迫下植物叶片 SOD 和 POD 活性,同时降低膜质过氧化产物丙二醛(MDA)和超氧阴离子的含量,缓解了由于盐胁迫导致的对小麦、番茄等植物的损伤,从而具有保护作用(Ruan 等,2002;苏桐等,2008;吴雪霞等,2006)。Beligni & Lamattina(2000)的研究表明 SNP 可诱导光依赖性的莴苣种子萌发,其效应可被 NO 清除剂[(2-(4-carboxyphenyl)-4,4,5,5-tetramethylimidazole-1-oxyl-3-oxide), cPTIO]所抑制。本实验以拟南芥为材料,研究 SNP 和 cPTIO 对 NaCl 胁迫下拟南芥叶片酶保护性酶类、超氧阴离子和膜质损伤的影响,探讨 NO 缓解拟南芥 NaCl 胁迫的生理生化机理。

1 材料与方 法

1.1 材料

供试拟南芥(*Arabidosis thaliana*)Columbia 生态型,由美国 Lehle seeds 公司提供。

1.2 方法

1.2.1 植物培养 将拟南芥种子放在 1.5 mL 离心管,加入 1 mL 无菌水泡 30 min 后,将水倒出,加入 1 mL 95%酒精消毒 5 min,再用 1 mL 0.1% HgCl 消毒 5 min,最后用无菌水洗 5 次以上。种子用 MS 培养基培养,4 °C 处理 2~3 d 后,移到 22 °C,90%相对湿度,12 h 光照,12 h 黑暗的光照培养箱中培养,长出 2 片真叶时移栽。将珍珠岩铺在花盆(6 cm×6 cm)底部,加入腐殖土,再将花盆放在有水的铁盘(45 cm×35 cm)中,吸足水,用镊子小心地从花盆中连根拉出幼苗,把根放在腐殖土的表面,用镊子轻轻压下。移苗结束后,用保鲜膜覆盖,3~4 d 后揭膜。从苗期至开花期,在托盘中始终保持 0.5~1 cm 的水层。温度控制在 22~23 °C,光照 150~160 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{sec}$ PAR (400~700 nm),光照时间 10 h/d,湿度保持在 70%。

1.2.2 SNP 溶液配制 NO 供体硝普钠(SNP),购

自 SIGMA 公司。用蒸馏水配制 SNP,现用现配。

1.2.3 cPTIO 溶液配置 一氧化氮清除剂(cPTIO),购自 SIGMA 公司。用蒸馏水配制 cPTIO,现用现配。

1.2.4 试验处理 选取 8 周大生长一致的拟南芥植株分别用 0.5 mmol/LSNP 和 200 mmol/LcPTIO 预处理 2 h 后,加入 200 mmol/LNaCl。每天加入新的 NaCl 溶液,处理 12h 后取样进行各项指标的测定,每个指标重复三次。

1.2.5 测定项目及方法 超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定按陈建勋等(2002)的方法,以每分钟抑制氮蓝四唑(NBT)光还原 50% 为一个酶活力单位(U),酶的活性以 U/gFW 表示;过氧化物酶(POD)活性的测定采用愈创木酚法(陈建勋等,2002),POD 活性以每分钟增加 0.01 定义为为一个活性单位(U),酶活性以 U/gFW 表示;丙二醛(MDA)含量的测定(陈建勋等,2002),以 MDA 和硫代巴比妥酸(TBA)生成红棕色三甲川的量来测定,含量以 $\mu\text{mol}/\text{gFW}$ 表示;超氧阴离子自由基含量的测定(陈建勋等,2002),以超氧阴离子自由基和盐酸羟胺反应生成 NO_2^- 的量来测定,含量以 $\mu\text{mol}/\text{gFW}$ 表示。

1.3 统计分析

数据采用 Sigmaplot10.0 软件进行绘图,用 SPSS16.0 统计软件对数据进行多重比较。

表 1 试验处理及编号

Table 1 Experimentl treatments and their codes

处理编号 Code of treatment	NaCl 浓度 NaCl concentration (mmol/L)	SNP 浓度 SNP concentration (mmol/L)	cPTIO 浓度 cPTIO concentration (mmol/L)
T0	200	0	0
T1	200	0	200
T2	200	0.5	0

2 结果与分析

2.1 SNP 和 cPTIO 对 NaCl 胁迫下拟南芥表型的影响

外源 SNP 或 cPTIO 预处理 2 h 后,盐胁迫下各处理组叶片萎焉情况(图 1)。从图 1 看出,盐胁迫 6 h 和 24 h 后,T1 处理组叶片开始变软到明显的卷曲萎焉,而此时 T0 和 T2 处理组叶片均无明显萎焉现象。盐胁迫 48 h 后,T0 处理组叶片开始变软,T1 处理组叶片开始干枯,T2 处理组叶片边缘略有卷曲。盐胁迫 72 h 后,T1 处理组叶片萎焉变黄,此时 T2 处理组

叶片边缘只有少量卷曲。从总体上看, T1 处理组叶片萎焉时间出现最早, 损伤情况最严重, 其次是 T0

处理组, 叶片损伤最轻的是 T2 处理组, 盐胁迫 72 h 后 T2 处理组叶片仅边缘有萎焉的现象。

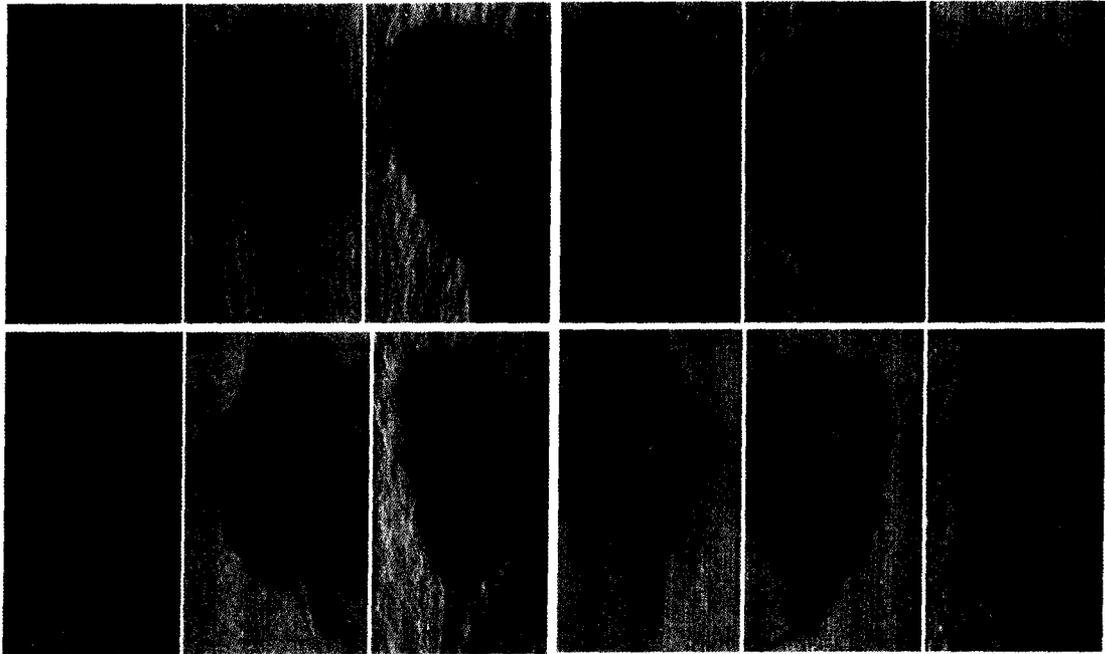


图 1 SNP 和 cPTIO 对 NaCl 胁迫下拟南芥表型的影响

Fig. 1 Effect of exogenous nitric oxide and cPTIO on the *Arabidopsis* leaves under NaCl stress

A-C. 盐胁迫 6 h 后各处理组叶片萎焉情况 A. T0 组; B. T1 组; C. T2 组。D-F. 盐胁迫 24 h 后各处理组叶片萎焉情况 D. T0 组; E. T1 组; F. T2 组。G-I. 盐胁迫 48 h 后各处理组叶片萎焉情况 G. T0 组; H. T1 组; I. T2 组。J-L. 盐胁迫 72 h 后各处理组叶片萎焉情况 J. T0 组; K. T1 组; L. T2 组。

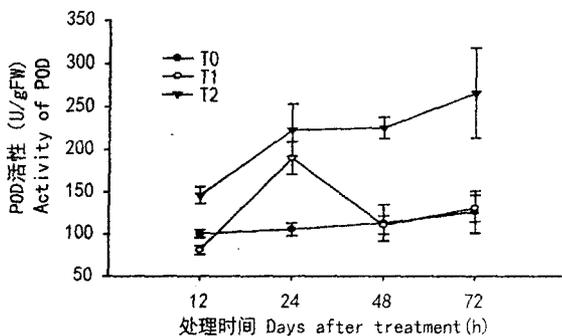


图 2 SNP 和 cPTIO 对 NaCl 胁迫下拟南芥 POD 活性的影响

Fig. 2 Effect of SNP and cPTIO on the activity of POD under NaCl stress

2.2 SNP 和 cPTIO 对 NaCl 胁迫下拟南芥 POD 活性的影响

如图 2 和表 2 所示, 直接用 NaCl 处理的 T0 植株, 在测定时间内 POD 呈现出缓慢上升的趋势, 而用 cPTIO 预处理 2 h 再用 NaCl 处理的 T1 植株, 在盐胁迫 24h 时, POD 活性出现高峰, 经统计学分析

此时 T0 和 T1 植株差异极显著 ($n=3, P<0.01$)。T1 植株盐胁迫 48 h 时, POD 活性大幅下降, 与 T0 无差异。而 SNP 预处理 2h 再用 NaCl 处理的 T2 植株, POD 活性呈现出大幅上升的趋势, 在测定时间内与 T0 相比差异极显著 ($n=3, P<0.01$), 与 T1 相比除盐胁迫 24 h 时, 两者差异不显著外, 其余均差异极显著 ($n=3, P<0.01$)。

2.3 SNP 和 cPTIO 对 NaCl 胁迫下拟南芥 SOD 活性的影响

从图 3 和表 3 中可以看出, 盐胁迫下各处理组 SOD 活性均出现先上升后下降的趋势。T0 和 T1 处理组在盐胁迫 24 h 时 SOD 活性出现峰值, 之后两者 SOD 活性开始下降。在测定时间内 T0 和 T1 处理组之间 SOD 活性差异均不显著。T2 处理组 SOD 活性也出现先升后降的趋势, 但不同的是 T2 处理组 SOD 活性的峰值出现在盐胁迫后 48 h, 之后有所下降。虽然 T2 处理组 SOD 在盐胁迫 48 h 后有所下降, 但其 SOD 活性仍高于 T0 和 T1 处理组, 并且降幅小于 T0 和 T1 处理组。

表 2 SNP 和 cPTIO 对 NaCl 胁迫下拟南芥 POD 活性的影响
Table 2 Effect of SNP and cPTIO on the activity of POD under NaCl stress

处理组 Treatment	12 h	24 h	48 h	72 h
T0	100.33±4.62a	105.56±7.61A	113.33±21.60A	126.11±24.93A
T1	81.11±5.39a	190.00±19.06B	110.56±10.78A	130.56±16.66A
T2	146.11±10.13A	222.78±30.54B	225.56±12.60B	265.56±52.30B

不同小写字母表示差异达 5% 显著水平; 不同大写字母表示差异达 1% 显著水平。下同。

Different small letters indicate significant difference at 5% level; Different capital letters indicate significant difference at 1% level. The same below.

2.4 SNP 和 cPTIO 对 NaCl 胁迫下拟南芥 MDA 含量的影响

从图 4 和表 4 中可以看出, 盐胁迫后 T0、T1 和 T2 处理组叶片中 MDA 含量均呈上升趋势, 但三者上升的幅度不同。盐胁迫 12 h 后, T0 和 T1 处理组叶片组织中 MDA 含量差异不显著, T0 和 T1 与 T2 相比差异极显著 ($n=3, P<0.01$)。盐胁迫 24 h 后, T0 和 T1 叶片组织中 MDA 含量差异不显著, T0 和 T1 与 T2 相比差异显著 ($n=3, P<0.05$)。盐胁迫 48 h 后, T0 和 T1 叶片组织中 MDA 含量差异不显著, T0 和 T1 与 T2 相比差异极显著 ($n=3, P<0.01$); 此时, T2 处理组 MDA 含量有所上升, 但与 T0 和 T1 处理组相比仍处于较低水平。盐胁迫 72

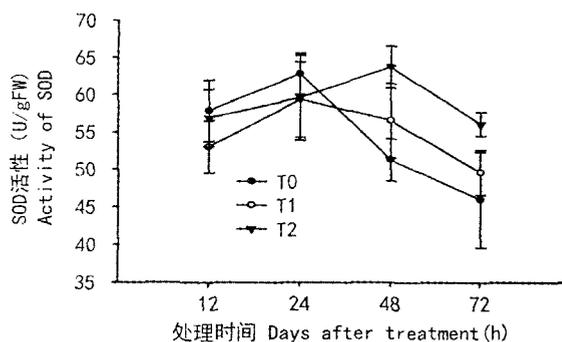


图 3 SNP 和 cPTIO 对 NaCl 胁迫下拟南芥 SOD 活性的影响

Fig. 3 Effect of SNP and cPTIO on the activity of SOD under NaCl stress

表 3 SNP 和 cPTIO 对 NaCl 胁迫下拟南芥 SOD 活性的影响
Table 3 Effect of SNP and cPTIO on the activity of SOD under NaCl stress

处理组 Treatment	12 h	24 h	48 h	72 h
T0	57.8592±4.10a	62.8055±2.78a	51.2985±2.81a	45.9556±6.40a
T1	53.0171±3.49a	59.3612±5.05a	56.5494±4.95a	49.5953±2.99a
T2	56.8699±3.84a	59.6120±5.69a	63.7415±2.83b	56.0688±1.59a

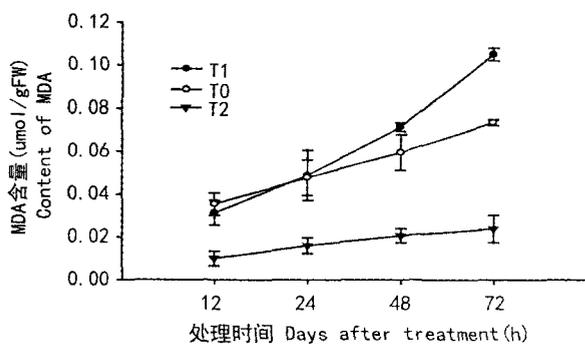


图 4 SNP 和 cPTIO 对 NaCl 胁迫下拟南芥 MDA 含量的影响

Fig. 4 Effect of SNP and cPTIO on the content of MDA under NaCl stress

h 后, 三者叶片组织中 MDA 含量差异极显著 ($n=3, P<0.01$)。此时 T1 处理组叶片组织中 MDA 含

量大幅上升, T1 处理组叶片组织中 MDA 含量最高, 其次是 T0 处理组, T2 处理组最低。此时 T2 处理组叶片组织中 MDA 含量虽然有所上升, 但在各处理组中上升幅度是很小的。

2.5 SNP 和 cPTIO 对 NaCl 胁迫下拟南芥超氧阴离子自由基含量的影响

从图 5 和表 5 中可以看出, 盐胁迫 12 h 后 T0 和 T1 叶片组织中 O_2^- 含量差异不显著, 但 T0 和 T1 与 T2 相比 O_2^- 含量差异极显著 ($n=3, P<0.01$)。盐胁迫 24 h 后, T0、T1 和 T2 三者叶片中 O_2^- 含量差异极显著 ($n=3, P<0.01$)。T1 处理组最高, T2 处理组最低。盐胁迫 48 h 后, T0 和 T1 叶片中组织 O_2^- 含量有小幅下降, 两者叶片中组织 O_2^- 含量差异显著 ($n=3, P<0.05$)。盐胁迫 48 h 后 T2 叶片中 O_2^- 含量大幅上升, 与 T0 相比 O_2^- 含量差异不显著,

表 4 SNP 和 cPTIO 对 NaCl 胁迫下拟南芥 MDA 含量的影响
Table 4 Effect of SNP and cPTIO on the content of MDA under NaCl stress

处理组 Treatment	12 h	24 h	48 h	72 h
T0	0.0354±0.0052a	0.0477±0.0082a	0.0595±0.0083a	0.0734±0.0014A
T1	0.0313±0.0057a	0.0488±0.0118a	0.0713±0.0020a	0.1050±0.0030B
T2	0.0100±0.0039A	0.0161±0.0037b	0.0206±0.0033A	0.0238±0.0063C

与 T1 相比差异显著 ($n=3, P<0.05$)。盐胁迫 72 h 后, T0 和 T2 叶片中组织 O_2^- 含量差异不显著, 但与 T1 相比差异显著 ($n=3, P<0.05$)。此时, T1 叶片组织中 O_2^- 含量极显著高于 T0 和 T2 叶片组织中的 O_2^- 含量。

3 讨论

盐胁迫下植物体内活性氧的积累是导致盐害的主要原因之一。在正常生长情况下, 植物细胞内活性氧的产生和清除处于动态平衡, 不会伤害细胞, 而在盐胁迫下会引发细胞内活性氧的过量生产和积累而打破了平衡, 活性氧导致膜脂过氧化和脱脂化从

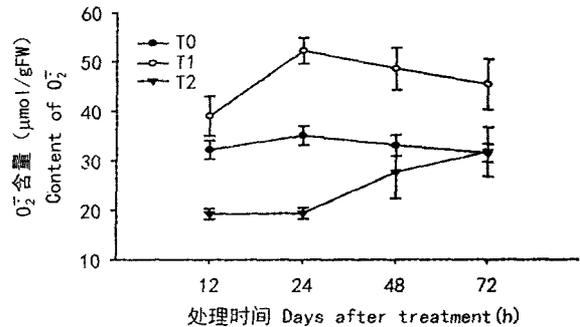


图 5 SNP 和 cPTIO 对 NaCl 胁迫下拟南芥 O_2^- 含量的影响
Fig. 5 Effect of SNP and cPTIO on the content of O_2^- under NaCl stress

表 5 SNP 和 cPTIO 对 NaCl 胁迫下拟南芥 O_2^- 含量的影响
Table 5 Effect of SNP and cPTIO on the content of O_2^- under NaCl stress

处理组 Treatment	12 h	24 h	48 h	72 h
T0	32.24±1.87a	35.11±1.95A	33.11±2.12a	31.51±1.81a
T1	39.04±3.95a	52.23±2.61B	48.57±4.30b	45.37±1.09b
T2	19.25±1.09A	19.39±1.11C	27.71±5.32a	31.78±4.96a

而使细胞结构和功能都受到破坏(丁能飞等, 2008)。而 NO 作为信号分子在植物抗逆境胁迫(生物和非生物)中发挥着重要作用。NO 可以减少非生物胁迫下植物体内 ROS 的积累, 缓解各种胁迫造成的氧化损伤, 从而增强植物的适应能力(张绪成等, 2005)。Beligni 等(2002)的研究认为 NO 可以直接作用于抗氧化剂, 清除细胞组织中的 ROS。Ruan 等(2002)报道, 0.1 和 1 mmol/L NO 供体 SNP 可以显著减轻由 150 mmol/L 和 300 mmol/L NaCl 分别处理所诱导小麦叶片的氧化性损伤; 他们进一步研究证实, NO 可以显著增强 SOD、CAT 活性, 这两种酶可以清除盐胁迫下小麦叶片中 O_2^- 和 H_2O_2 的积累。肖强等(2008)的研究表明适当低浓度 SNP 处理可以显著提高盐胁迫下水稻叶片中的 SOD 和 CAT 活性, 并明显缓解盐胁迫下叶片受到的氧化性损伤。王玉清等(2007)的研究表明外源 NO 能够明显诱导盐胁迫下黄瓜叶片超氧化物歧化酶(SOD)活

力的上升, 延缓 MDA 积累, 同时促进渗透调节物质脯氨酸含量的上升, 说明 NO 提高了黄瓜叶片的抗氧化能力, 减轻了盐胁迫诱导的膜脂过氧化损伤。郁继华等(2007)研究发现 SNP 处理可减缓 NaCl 胁迫下辣椒幼苗叶片 MDA 含量的上升, 降低叶片质膜相对透性, 并诱导 SOD 和 POD 活性增加, 表明外源 NO 可以通过提高盐胁迫下辣椒幼苗叶片组织的抗氧化能力来缓解氧化损伤。唐静等(2009)以玉米幼苗为研究材料认为生长素氧化酶(IAA oxidase, IOD)和 POD 是植物细胞调节生长素(auxin, IAA)含量的关键酶, 可以将 IAA 氧化分解。SNP 处理能显著降低米幼苗叶片和根尖中 IOD、POD 活性, 即 NO 通过降低 IAA 氧化降解来缓解盐胁迫对玉米幼苗生长的抑制。虽然很多研究都表明 SNP 能缓解盐胁迫对不同植物不同部位的损伤, 但由于作用部位的不同, SNP 的用量和发挥作用的机制也不相同。

本实验结果表明,盐胁迫下 T0 和 T2 处理组 POD 活性均呈现出上升的趋势,T2 处理组 POD 活性增幅远大于 T0 处理组。而 cPTIO 预处理的 T1 处理组植株,POD 活性在盐胁迫 24h 时短暂升高,之后又迅速下降与 T0 无差异。这说明 SNP 能显著提高持续盐胁迫下拟南芥叶片组织中 POD 的活性。盐胁迫下,T0、T1 和 T2 处理组 SOD 活性均呈现出先上升后下降的趋势,T0 和 T1 处理组 SOD 活性峰值出现在盐胁迫后 24 h,之后 SOD 活性大幅下降。而 T2 处理组 SOD 活性峰值出现在盐胁迫后 48h,之后 SOD 活性有所下降,但降幅均小于 T0 和 T1 处理组。在相同的盐胁迫下,T2 处理组 SOD 活性出现峰值的时间比 T0 和 T1 处理组要晚,这说明 SNP 能显著提高 SOD 活性。测定三个处理组叶片组织中 MDA 和 O_2^- 含量时发现,SNP 预处理的 T2 叶片组织中 MDA 和 O_2^- 含量最低,而 cPTIO 预处理的 T1 叶片组织中 MDA 和 O_2^- 含量最高,这说明 SNP 能显著降低盐胁迫下植株叶片组织中 MDA 和 O_2^- 的含量,而 NO 专一清除剂 cPTIO 能逆转 SNP 的上述效应。从表型观察上我们也看到,SNP 能显著延缓盐胁迫下拟南芥叶片萎焉的时间。从损伤程度上看,SNP 能有效缓解 NaCl 对拟南芥叶片的损伤。

综上所述,SNP 能显著提高拟南芥叶片组织中抗氧化酶系统中 POD 和 SOD 活性,这一系列的酶均能有效阻止 ROS 的积累,防止膜脂过氧化作用,抵制盐胁迫对植物造成的危害,使植物维持正常的生长发育。而 cPTIO 则抑制了拟南芥叶片组织中这两种酶的活性,致使拟南芥叶片组织中 ROS 大幅增加,膜脂过氧化加剧,降低了拟南芥的抗盐性。

参考文献:

陈建勋,王晓峰. 2002. 植物生理学实验指导[M]. 广州:华南理工大学出版社:1-12

Beligni MV, Lamattina L. 2000. Nitric oxide stimulates seed germination and de-etiolation, and inhibits hypocotyl elongation, three light-inducible responses in plants[J]. *Planta*, **210**: 215-222

Beligni MV, Fath A, Bethke PC, et al. 2002. Nitric oxide acts as an antioxidant and delays programmed cell death in barley aleurone layers[J]. *Plant Physiol*, **129**: 1642-1650

Delledonne M, Xia YJ, Dixon RA, et al. 1998. Nitric oxide functions as a signal in plant disease resistance[J]. *Nature*, **394**: 585-588

Ding NF(丁能飞), Fu QL(傅庆林), Liu C(刘琛), et al. 2008. Effect of salt stress on the growth, antioxidant enzyme activities, and ion uptake of two Chinese cabbage cultivars(盐胁迫对两个

大白菜品种抗氧化酶活性及离子吸收的影响)[J]. *Acta Agric Zhejiang*(浙江农业学报), **20**(5): 322-327

Durner J, Klessig DF. 1999. Nitric oxide as a signal in plants[J]. *Curr Opin Plant Biol*, **2**: 369-374

Foryer CH, Descourvieres P, Kunert KJ. 1994. Protection against oxygen radicals; an important defense mechanism studied in transgenic plants[J]. *Plant Cell Environ*, **17**: 507-523

Parida AK, Das AB. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants: A review[J]. *Ecotoxicology Environ Safety*, **60**(3): 324-349

Ruan HH, Shen WB, Ye MB, et al. 2002. Protective effects of nitric oxide on salt stress-induced oxidative damages to wheat (*Triticum aestivum*) leaves[J]. *Chin Sci Bull*, **47**: 677-681

Su T(苏桐), Wei XH(魏小红), Ding XZ(丁学智), et al. 2008. Protective effects of NO and sucrose on oxidative damage in tomato (*Lycopersicon esculentum*) seedling leaves under NaCl stress(外源 NO 与蔗糖对盐胁迫下番茄幼苗氧化损伤的保护效应)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **28**(4): 1558-1564

Tang J(唐静), Che YM(车永梅), Hou LX(侯丽霞), et al. 2009. Physiological mechanism for nitric oxide relieving growth inhibition of maize seedling under salt stress(NO 缓解玉米幼苗盐胁迫伤害的生理机制西北植物学报)[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*(西北植物学报), **29**(10): 2007-2012

Wang YQ(王玉清), Zhu ZJ(朱祝军), He Y(何勇). 2007. Alleviation of membrane lipid peroxidation by nitric oxide in cucumber leaves under salt stress(外源一氧化氮对盐胁迫下黄瓜幼苗叶片膜脂过氧化的缓解作用)[J]. *J Zhejiang Univ: Agric Life Sci*(浙江大学学报·农业与生命科学版), **33**(5): 533-538

Wu XX(吴雪霞), Zhu YL(朱月林), Zhu WM(朱为民), et al. 2006. Physiological effects of exogenous nitric oxide in tomato seedlings under NaCl stress(外源一氧化氮对 NaCl 胁迫下番茄幼苗生理影响)[J]. *Sci Agric Sin*(中国农业科学), **39**(3): 575-581

Xiao Q(肖强), Chen J(陈娟), Wu FH(吴飞华), et al. 2008. Effects of exogenous nitric oxide donor SNP on contents of chlorophyll and free proline, activity of antioxidative enzyme in rice seedlings under NaCl stress(外源 NO 供体硝普钠(SNP)对盐胁迫下水稻幼苗中叶绿素和游离脯氨酸含量以及抗氧化酶的影响)[J]. *Acta Agron Sin*(作物学报), **34**(10): 1849-1853

Yu JH(郁继华), Yong SY(雍山玉), Zhang JB(张洁宝), et al. 2007. Protective effects of exogenous nitric oxide on oxidative damage in pepper seedlings under NaCl stress(外源 NO 对 NaCl 胁迫下辣椒幼苗氧化损伤的保护效应)[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*(西北植物学报), **27**(9): 1801-1806

Zhang RH(张润花), Guo SR(郭世荣), Fan HF(樊怀福), et al. 2006. Effects of exogenous spermidine on anti-oxidative enzyme activities in cucumber seedlings under salt stress(外源亚精胺对盐胁迫下黄瓜幼苗体内抗氧化酶活性的影响)[J]. *Chin J Ecol*(生态学杂志), **25**(11): 1333-1337

Zhang XC(张绪成), Shangguan ZP(上官周平), Gao SM(高世铭). 2005. Regulation mechanism of nitric oxide to plant growth and development(NO 对植物生长发育的调控机制)[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*(西北植物学报), **25**: 812-818