

# 外源 NO 浸种对 NaCl 胁迫下 沙葱种子萌发和生理特性的影响

路 莹, 王 萍, 宋兆伟

(内蒙古农业大学 农学院, 内蒙古野生特有蔬菜种质资源与种质创新重点实验室, 内蒙古 呼和浩特 010019)

**摘要:** 为了探究外源 NO 浸种对盐胁迫下沙葱种子萌发及抗氧化酶系活性的影响, 以沙葱种子为材料, 观察不同浓度和浸种时间的外源 NO 处理对 NaCl 胁迫下沙葱种子萌发、子叶、胚根长度及干质量、抗氧化酶系和 MDA 变化的影响。研究表明, 经 0.40 mmol/L SNP 浸种 3 h 能显著 ( $P < 0.05$ ) 提高沙葱种子在 NaCl 胁迫下的萌发率、萌发速率、萌发指数、活力指数、以及子叶和胚根的长度和干质量; 该浸种处理能有效地提高 NaCl 胁迫下种子内 SOD、CAT、POD 和 APX 抗氧化酶的活性, 从而增强种子萌发抗 NaCl 胁迫的能力; NaCl 胁迫处理促进了沙葱种子细胞的膜脂过氧化, 使其 MDA 含量提高; 但 0.40 mmol/L 外源 NO 处理明显缓解了这种氧化损伤, 降低了种子的膜脂过氧化作用。

**关键词:** 沙葱; 种子萌发; NaCl 胁迫; 抗氧化酶; 外源 NO

中图分类号: Q949.71 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2011)02-0207-06

## Effect of Seed Soaking with Exogenous NO on Seed Germination and Physiological Characteristics of *Allium mongolicum* Regel under NaCl Stress

LU Ying WANG Ping SONG Zhao-wei

(College of Agronomy, Inner Mongolia Autonomous Region Key Laboratory of Wild Peculiar Vegetable Germplasm Resource and Germplasm Enhancement, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China)

**Abstract** In order to investigate the effects of seed soaking with exogenous NO on seed germination activities of antioxidant enzymes of *Allium mongolicum* Regel under NaCl stress. The experiment used the seed of *A. mongolicum* as experiment material to explore the effect of different concentrations of NO soaking different times on *A. mongolicum* seed germination, hypocotyl radicle length and dry weight, as well as the effect of SOD, CAT, POD, APX and content of MDA. In our study, the soaked seeds with 0.40 mmol/L NO for 3 hours could significantly ( $P < 0.05$ ) enhance the germination percentage, germination rate, germination index, vigor index, length and dry weight of cotyledon and radicle, meanwhile this treatment could increase the activities of antioxidant enzymes SOD, CAT, POD, APX, additionally under NaCl stress, lipid peroxidation of the seed of *A. mongolicum* was promoted, therefore the content of MDA was increased, but oxidative damage of seed is relieved under the treatment of 0.40 mmol/L exogenous NO and lipid peroxidation was reduced.

**Key words** *Allium mongolicum* Regel; Seed germination; NaCl stress; Antioxidant enzymes; Exogenous NO

一氧化氮 (NO) 作为植物生理生化过程中的重要信号分子<sup>[1,2]</sup>, 参与介导植物对生物胁迫和非生物胁迫下的应答反应<sup>[3]</sup>, 并且能促进胁迫下种子萌发<sup>[4]</sup>。已有人发现外源 NO 能够促进盐胁迫下碱地蓬<sup>[5]</sup> (*Suaeda salsa*) 和小麦<sup>[6]</sup> (*Triticum aestivum* L.)

种子的萌发, 同时外源 NO 还能缓解盐胁迫对小麦 (*T. aestivum*) 以及鹰嘴豆 (*Cicer arietinum*) 的生长所造成的氧化伤害<sup>[7]</sup>。

沙葱 (*Allium mongolicum* Regel) 属被子植物门 (Angiospermale) 百合科 (Liliaceae) 葱属 (*Allium*) 植

收稿日期: 2011-01-12

作者简介: 路 莹 (1985-), 女, 天津人, 硕士, 主要从事野生蔬菜种质资源与种质创新研究。

通讯作者: 王 萍 (1968-), 女, 内蒙古呼和浩特人, 副教授, 博士, 主要从事野生蔬菜种质资源及种质创新研究。

物,广泛分布在我国西北草原与荒漠地区<sup>[8-10]</sup>;且沙葱是集营养、药用、经济、生态、社会价值于一身的优良种质资源<sup>[11-14]</sup>。沙葱生长的荒漠环境,由于蒸腾量大导致土壤积盐<sup>[15]</sup>,因而生长在荒漠环境中沙葱种子萌发对盐生环境的适应能力是决定沙葱种群分布的关键因素。而外源 NO 在沙葱逆境生理中的研究未见报道,因此本试验将探讨盐胁迫下外源 NO(硝普钠, Sodium nitroprusside; SNP)对沙葱种子萌发的影响,以及外源 NO 缓解 NaCl胁迫下对沙葱种子产生的氧化伤害机理,为 NO 应用于沙生植物沙葱的抗盐性研究提供理论依据;从而为保护、利用沙葱种质资源进行盐碱化荒漠、草地的植被恢复和改良,以及耐盐植物的引种驯化种植提供理论参考。

# 1 材料和方法

## 1.1 种子采集

试验沙葱种子采自毛乌素沙地,采后室温贮藏度过休眠期后进行试验。种子千粒重为: (3.22 ± 0.16) g

## 1.2 试验方法

所有试验处理种子表面均用 2% NaClO 消毒 10 ~ 15 min 再用蒸馏水冲洗数次<sup>[16]</sup>。每处理均为 25 粒种子,4 次重复,共 100 粒种子。种子以 5 × 5 的方阵形式摆放在垫两层滤纸的 90 mm 培养皿中<sup>[17-18]</sup>,每皿加入 5 mL NaCl 处理溶液,将培养皿放置于 20℃ 恒温黑暗条件下的人工气候箱中,以后每隔 24 h 统计 1 次,以胚根长度大于 2 mm 时统计为萌发<sup>[19-20]</sup>,萌发试验持续 10 d<sup>[21]</sup>,第 10 天统计:萌发率、萌发速率、萌发指数、活力指数以及子叶、胚根的长度和干质量。萌发率 (G):  $G = Ga/n \times 100\%$  ( $G_a$ : 10 d 萌发种子数;  $n$ : 供试种子数);萌发速率 (Gr):  $Gr = \sum G/t$  ( $G$  代表萌发第 1, 2, 3..., 10 天的种子萌发率,  $t$  为种子萌发天数,如:种子在第 1 天即全部萌发则萌发速率达到最大值: 1.000/10)<sup>[22]</sup>;种

子萌发指数 (Gi):  $Gi = \sum (G/t)^{1/23}$ ;种子活力指数 (Vi):  $Vi = S \times Gi$  ( $S$  为单株苗干质量)。

1.2.1 NaCl 胁迫对沙葱种子萌发的影响 试验设 6 个 NaCl 处理浓度,分别为: 0 (CK), 100, 200, 300, 400, 500 mmol/L。

1.2.2 外源 NO 对 NaCl 胁迫下沙葱种子萌发的影响 试验设 4 个外源 NO 供体 (SNP) 浸种时间,分别为: 1, 3, 6, 12 h; 设 8 个 SNP 浸种浓度,分别为: 0.00 (蒸馏水), 0.05, 0.10, 0.20, 0.40, 0.60, 0.80, 1.00 mmol/L, 浸种体积为 50 mL; 上述所有处理及不浸种 (CK) 的种子均置于 1.2.1 中得到的 NaCl 萌发半抑制浓度<sup>[4]</sup>下进行萌发试验。

1.2.3 过氧化酶系统的测定 测定 CK、0.00 mmol/L 和最佳外源 NO 浸种处理下沙葱种子萌发过程中的含水量、超氧化物歧化酶 (Superoxide dismutase, SOD, EC 1.15.1.1)<sup>[24-25]</sup>、过氧化氢酶 (Catalase, CAT, EC 1.11.1.6)<sup>[24-26]</sup>、过氧化物酶 (Peroxidase, POD, EC 1.11.1.7)<sup>[24-27]</sup>、抗坏血酸过氧化物酶 (Ascorbate peroxidase, APX, EC 1.11.1.11)<sup>[28-29]</sup> 和丙二醛 (Malondialdehyde, MDA)<sup>[29-30]</sup> 含量的变化。

## 1.3 数据分析

试验结果以平均值 ± 标准误差表达。通过单因子方差 (One-way ANOVA) 和双因子方差 (Two-way ANOVA) 检验差异显著性,整个计算过程在 SAS 9.0 软件系统下进行。

# 2 结果与分析

## 2.1 NaCl 胁迫对沙葱种子萌发的影响

由表 1 可知, NaCl 胁迫处理显著 ( $P < 0.05$ ) 抑制沙葱种子的萌发,随着 NaCl 浓度的增加,种子的萌发率、萌发速率、萌发指数和活力指数显著 ( $P < 0.05$ ) 下降。100 mmol/L NaCl 处理达到种子萌发的半抑制萌发浓度。

表 1 NaCl 胁迫对沙葱种子萌发的影响

Tab 1 Effect of different concentrations of NaCl stress on seed germination of *A. mongolicum*

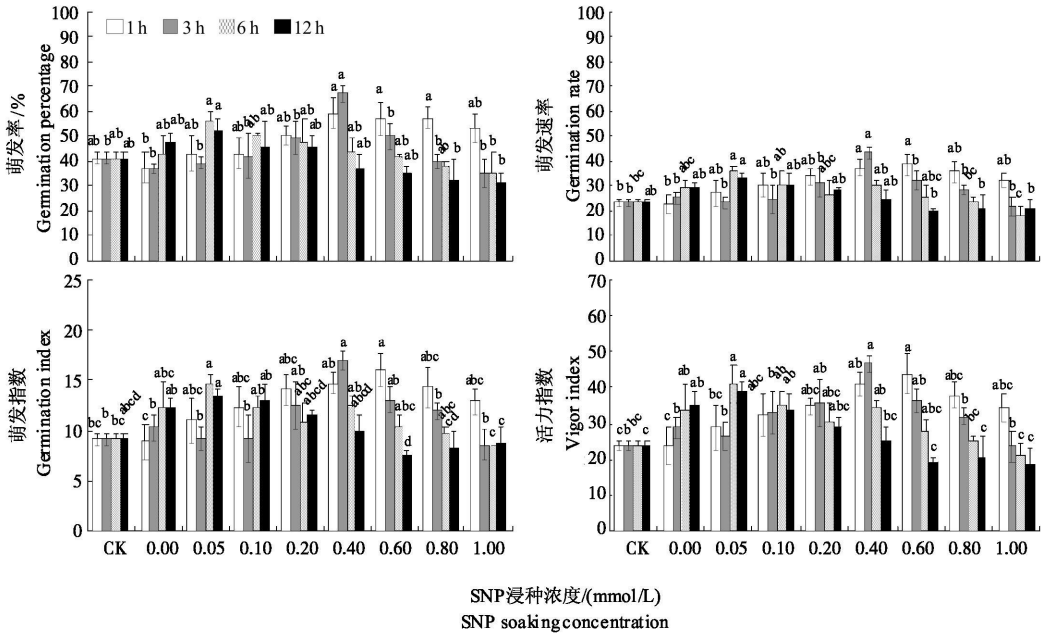
处理浓度 / (mmol/L) Treatment	萌发率 % Germination percentage	萌发速率 Germination rate	萌发指数 Germination index	活力指数 Vigor index
0 (CK)	81.00 ± 2.52a	61.00 ± 2.51a	27.49 ± 1.32a	74.16 ± 2.27a
100	41.00 ± 2.52b	23.30 ± 1.59b	9.17 ± 0.59b	23.15 ± 3.08b
200	13.00 ± 3.00c	6.80 ± 1.10c	2.47 ± 0.40c	5.41 ± 1.39c
300	2.00 ± 1.15d	1.10 ± 0.68d	0.39 ± 0.26d	1.21 ± 0.80cd
400	1.00 ± 1.00d	0.70 ± 0.70d	0.27 ± 0.27d	0.58 ± 0.58d
500	0	0	0	0

注: 表中的数据均为平均值 ± 标准误, 4 次重复。不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 相同字母表示差异不显著。  
Note: Values are means ± standard error of four replicates. Values with the same superscript letters are not significant difference at  $P < 0.05$ .

2.2 外源 NO 对 NaCl 胁迫下沙葱种子萌发的影响

图 1 表明, 高浓度的外源 NO 在短时间 (1 h 和 3 h) 浸种处理下, 对 NaCl 胁迫下的沙葱种子萌发有促进作用; 而低浓度的外源 NO 经较长时间 (6 h 和 12 h) 浸种后, 也有促进种子萌发的作用; 短时间的蒸馏水 (0.00 mmol/L SNP) 浸种降低了种子在 NaCl 中的萌发率, 而长时间的蒸馏水浸种能略提高种子萌发率, 但均与 CK 无显著差异。通过双因子方差

分析表明, 浸种时间、外源 NO 浓度以及二者的相互作用都显著 ( $P < 0.05$ ) 影响沙葱种子在 NaCl 中的萌发率 (表 2), 其中经 0.40 mmol/L SNP 浸种 3 h 能显著 ( $P < 0.05$ ) 的提高沙葱种子在 NaCl 中的萌发率 (67.00%  $\pm$  3.42%), 且达到各处理的最大值。萌发速率、萌发指数和活力指数的变化趋势与萌发率相同。



图中的数据均为平均值  $\pm$  标准误, 设 4 次重复。不同字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 相同字母表示差异不显著。与图 2 同。  
Vertical bars indicate standard errors of means ( $n = 4$ ). Values with the same superscript letters are not significant difference at  $P < 0.05$ . The same as Fig. 2.

图 1 外源 NO 浸种对 NaCl 胁迫下沙葱种子萌发的影响

Fig. 1 Effect of seed soaking with exogenous NO on germination of *A. mongolicum* seed under NaCl stress

表 2 浸种时间、SNP 浓度以及二者的相互作用对沙葱种子萌发率的双因子方差分析

Tab. 2 Two-way ANOVA analysis of soaking time, exogenous NO concentrations and their interaction on the germination percentages of *A. mongolicum* seed

变差来源 Source of variation	自由度 DF	平方和 SS	均方 MS	F 值 F-value	P 值 P-value
浸种时间 Soaking time	3	1 201.22	400.41	3.41	0.020 2
SNP 浓度 Exogenous NO concentrations	8	2 314.89	289.36	2.46	0.017 2
浸种时间 $\times$ SNP 浓度 Soaking time $\times$ Exogenous NO concentrations	24	5 911.78	246.32	2.10	0.005 4

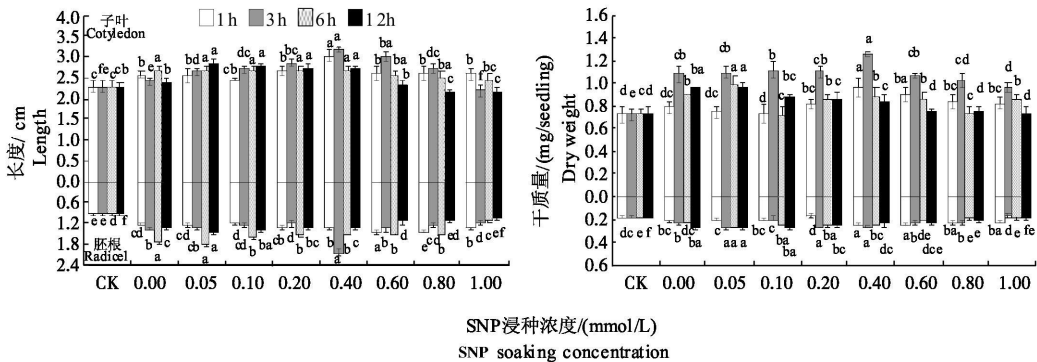


图 2 外源 NO 浸种对 NaCl 胁迫下沙葱种子萌发后子叶、胚根长度和干质量的影响

Fig. 2 Effect of seed soaking with exogenous NO on length and dry weight of cotyledon and radicle after *A. mongolicum* seed germination under NaCl stress

## 2.3 外源 NO 对 NaCl胁迫下沙葱种子萌发后子叶和胚根的影响

由图 2 可看出,不同浓度的外源 NO 浸种处理能有效的提高沙葱种子在 NaCl 中萌发后子叶和胚根的长度及干质量;其中经 0.40 mmol/L SNP 浸种 3 h 前处理的种子萌发后达到各处理间的最大值,且与 CK 达到显著 ( $P < 0.05$ ) 差异。

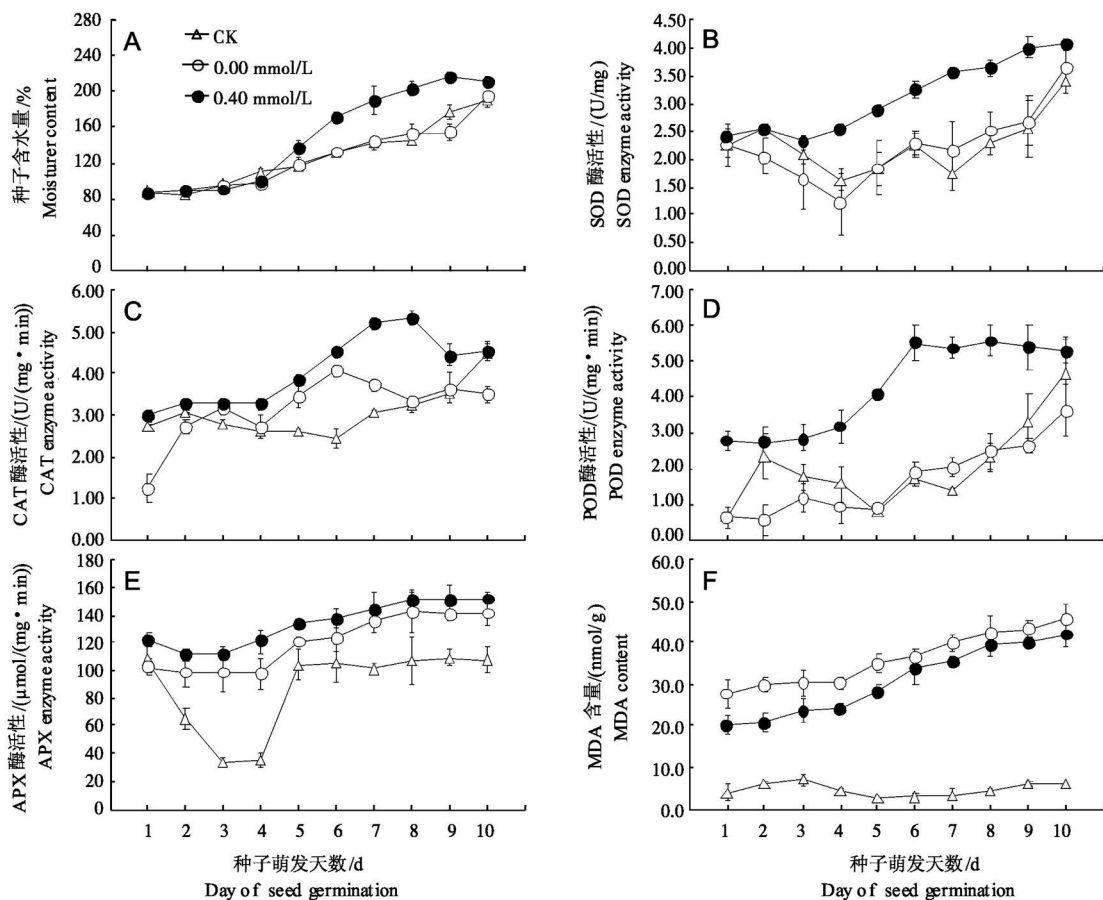
## 2.4 外源 NO 对盐胁迫下沙葱种子抗氧化酶系的影响

图 3-A 显示,各处理下,沙葱种子在 10 d 的萌发期内含水量均呈现先缓慢增加再快速增加而后趋于平缓的趋势,但其中经 0.40 mmol/L SNP 浸种前处理的种子含水量自萌发的第 5 天起至第 10 天均远高于其余处理。

图 3-B 显示,经 0.40 mmol/L SNP 浸种前处理的种子在萌发过程中 SOD 酶活性(以干质量计)始终高于 CK 和 0.00 mmol/L SNP 处理,不同处理的

CAT、POD 和 APX 活性(以干质量计)变化趋势与 SOD 基本一致(图 3-C, D, E)。表明 0.40 mmol/L SNP 浸种前处理有效的提高了 NaCl 胁迫下种子内 SOD、CAT、POD 和 APX 酶的活性,增强种子抗 NaCl 胁迫的能力;而 0.00 mmol/L SNP(蒸馏水)处理的促进作用没有 0.40 mmol/L SNP 处理明显(图 3-B, C, D, E),甚至在种子萌发初期抑制 SOD、CAT 和 POD 的活性(图 3-B, C, D)。

图 3-F 显示,浸种处理能明显的提高萌发过程中种子内 MDA 的含量(以干质量计),其中 0.00 mmol/L SNP 浸种处理最高,其次是 0.40 mmol/L SNP,CK 最低。表明浸种处理促进了 NaCl 胁迫下沙葱种子细胞的膜脂过氧化,使其 MDA 含量提高;但 0.40 mmol/L SNP 浸种前处理明显降低了种子内 MDA 的含量,从而有效的缓解了由 NaCl 胁迫造成的膜脂过氧化损伤。



图中的数据均为平均值 ± 标准误, 设 4 次重复。  
Vertical bars indicate standard errors of means ( $n = 4$ ).

图 3 外源 NO 浸种对 NaCl 胁迫下沙葱种子含水量、SOD、POD、CAT、APX 的活性和 MDA 含量的影响

Fig 3 Effects of seed soaking with exogenous NO on the moisture content, SOD, POD, CAT, APX activities and MDA content of *A. mongolicum* seeds under NaCl stress

### 3 讨论

#### 3.1 外源 NO 对 NaCl 胁迫下沙葱种子萌发的影响

沙漠降雨少且无规律, 其蒸发量大于降水量, 在短暂的降雨之后土壤迅速干燥, 这样往往导致了土壤含盐量的增加<sup>[31]</sup>。因而沙漠中的植物为了生存下来适应沙漠这种不利的环境需采取不同的生存策略<sup>[32]</sup>。种子作为植物繁殖体, 其萌发率高低、萌发速度快慢、出苗整齐与否与幼苗强弱与产量有密切关系<sup>[33, 34]</sup>。同时种子的萌发是植物整个生命史的关键, 而生活在盐渍环境中的植物在萌发过程中的耐盐能力又是其幼苗建立的关键<sup>[35-37]</sup>。Kopyra 和 Gwóźdz 以外源 NO 供体 SNP 处理羽扇豆 (*Lupinus luteus*) 种子, 有效提高了盐胁迫下种子的萌发率、萌发速率及胚根的长度<sup>[38]</sup>。Zheng 等<sup>[7]</sup>发现外源 NO 处理能够显著的提高盐胁迫下小麦 (*T. aestivum*) 种子的萌发率、萌发速率及子叶、胚根的干质量。这与本试验得到的结果相一致, 这可能是由于 NO 作为分子信号物质, 在盐胁迫过程中对种子萌发起到了保护作用, 另外这还与 NO 提高种子的抗氧化能力, 从而降低了盐胁迫造成的氧化胁迫有关<sup>[38-40]</sup>。

#### 3.2 外源 NO 对 NaCl 胁迫下沙葱种子抗氧化酶系和膜脂过氧化的影响

盐胁迫会造成氧化胁迫, 因而导致细胞膜受伤害, NO 不仅对各种胁迫环境有一定的缓解作用还能够抵消氧化伤害<sup>[41]</sup>。植物对 NaCl 胁迫的忍受程度部分依靠抗氧化系统的增强, 抗氧化酶类能够阻止胁迫环境下细胞中活性氧 (Reactive oxygen species, ROS) 的形成。同时外源 NO 也能诱导 SOD、POD、CAT 和 APX 活性增强, 通过降低内源 ROS 水平而间接缓解膜脂的过氧化。另一方面外源 NO 可直接清除胁迫条件下 ROS<sup>[42, 43]</sup>。SOD、POD、CAT 和 APX 是清除 ROS 和阻止脂质酶促氧化的重要酶类。NO 对含铁的相关酶类有很高的亲和性, NO 可通过调节 CAT 和 APX 等含血红素铁的酶类活性和抑制含非血红素铁的顺乌头酸酶等靶酶的活性而参与植物体内一系列代谢调节过程<sup>[44]</sup>。Uchida 等<sup>[45]</sup>发现使用外源 NO 能够提高盐胁迫下水稻 (*Oryza sativa* L.) 活性氧清除酶类的活性, 并且 Zheng 等<sup>[7]</sup>也发现外源 NO 能够显著提高抗氧化酶活性并且降低 NaCl 胁迫下小麦植物的 ROS 水平, 防止脂质过氧化和缓解胁迫环境对细胞膜造成的伤害。在本试验中, 0.40 mmol/L SNP 处理 3 h 可显著 ( $P < 0.05$ ) 提高 NaCl 胁迫下沙葱种子中 SOD、CAT、POD、APX 的酶活性; 而 0.00 mmol/L SNP (蒸馏水) 和 CK 处理

的促进作用不明显或显著 ( $P < 0.05$ ) 降低, 甚至抑制 SOD、CAT 和 POD 活性, 这与王宪叶等<sup>[42]</sup>、吴雪霞等<sup>[43]</sup>和汤绍虎等<sup>[46]</sup>的研究结果相一致, 这就说明使用外源 NO 能诱导产生活性氧清除酶类, 因而缓解由 NaCl 对沙葱种子造成的氧化胁迫。此外, 外源 NO 还能抑制 NaCl 胁迫下沙葱种子膜脂过氧化产物 MDA 的积累。由此可见, 外源 NO 处理能够提高抗氧化酶类的活性, 因而有效的保护 NaCl 胁迫下生长的植物或是萌发的种子免受由 NaCl 胁迫造成的氧化伤害。

植物种子萌发对 NaCl 胁迫的响应是一个非常复杂的过程, 涉及许多的信号转导途径。而外源 NO 对 NaCl 胁迫下沙葱种子萌发的缓解作用绝不仅限于上述酶与非酶机制, 必然还包括其他更为复杂的生理生化过程。因此, 这些问题都值得进一步深入研究。

#### 参考文献:

- [1] Bethke P C, Labourel I G L, Jones R L. Nitric oxide reduces seed dormancy in Arabidopsis [J]. Experimental Botany, 2006, 57: 517-526.
- [2] Söhr C, Strömku S. Formation and possible roles of nitric oxide in plant roots [J]. Journal of Experimental Botany, 2006, 57: 463-470.
- [3] Simontacchi M, Jasid S, Puntarulo S. Nitric oxide generation during early germination of sorghum seeds [J]. Plant Science, 2004, 167: 839-847.
- [4] Hu K D, Hu L Y, Li Y H, et al. Protective roles of nitric oxide on germination and antioxidant metabolism in wheat seeds under copper stress [J]. Plant Growth Regulation, 2007, 53: 173-183.
- [5] Guo Y Q, Tian Z Y, Yan D L, et al. Effects of nitric oxide on salt stress tolerance in *Kosteletzkya virginica* [J]. Life Science Journal, 2009, 6(1): 67-75.
- [6] Li W, Liu X, Khan M A, et al. The effect of plant growth regulators, nitric oxide, nitrate, nitrite and light on the germination of dimorphic seeds of *Suaeda salsa* under saline conditions [J]. Plant Research, 2005, 118: 207-214.
- [7] Zheng C F, Jiang D, Liu F, et al. Exogenous nitric oxide improves seed germination in wheat against mitochondrial oxidative damage induced by high salinity [J]. Environmental and Experimental Botany, 2009, 67: 222-227.
- [8] 马全林, 刘世增, 严子柱, 等. 人工栽培沙葱的光合生理特征 [J]. 西北植物学报, 2006, 26(1): 127-132.
- [9] 张瑞霞. 野生蔬菜简介 [J]. 内蒙古农业科技, 1995(5): 34.
- [10] 李红, 王六英, 那顺. 内蒙古西泉乡山野菜资源的调查 [J]. 内蒙古农业科技, 2003(5): 26-28.
- [11] 张美丽, 高聚林. 蒙古韭生物学特性及营养价值初探 [J]. 内蒙古农业科技, 1997(5): 25-26.

- [12] 马 强,张汉达. 丰富的山野蔬菜 [J]. 内蒙古农业科技, 1996(2): 38
- [13] 严子柱, 刘世增, 李爱德, 等. 野生蔬菜资源—沙葱的开发价值初探 [J]. 甘肃林业科技, 2006 31(1): 8–11
- [14] 蒋 涛, 敖长金. 沙葱的研究进展 [J]. 现代农业科技, 2008 9: 10–11, 14
- [15] 赵文智, 荔克让, 何欣东. 我国不同地带沙地盐分特征研究 [J]. 地理科学, 1995 15(4): 315–320
- [16] Ueno K. Effect of desiccation and a change in temperature on germination of immature grains of wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Euphytica* 2002 126: 107–113
- [17] Song J, Feng G, Zhang F. Salinity and temperature effects on germination for three salt-resistant euhalophytes *Halostachys caspica*, *Kalidium foliatum* and *Halocnemum strobilaceum* [J]. *Plant and Soil* 2006 279: 201–207
- [18] Brändel M. Effect of temperature on dormancy and germination in three species in the *Lamiaceae* occurring in northern wetlands [J]. *Wetlands Ecology and Management* 2006 14: 11–28
- [19] Baker K S, Steadman K J, Plummer J A, et al. Seed dormancy and germination responses of nine Australian fire ephemerals [J]. *Plant and Soil* 2005 277: 345–358
- [20] Kepczyński J, Bihun M. Induction of secondary dormancy in *Amaranthus caudatus* seeds [J]. *Plant Growth Regulation* 2002 38: 135–140
- [21] Tinson J. New method of recording germination data [J]. *Nature* 1965 207: 216–217
- [22] Khan M A, Ungar I A. The effect of salinity and temperature on germination of polymorphic seeds and growth of *Atriplex triangularis* Willd [J]. *American Journal of Botany* 1984 71: 481–489
- [23] 苗春乐, 郝丽珍, 王 萍, 等. NaCl胁迫对沙葱种子生活力及抗氧化酶活性的影响 [J]. 华北农学报, 2008 23(4): 172–175
- [24] Cakmak I, Marschner H. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean leaves [J]. *Plant Physiology* 1992 98: 1222–1227
- [25] Schoner S, Krause H. Protective systems against active oxygen species in spinach response to cold acclimation in excess light [J]. *Planta* 1990 180: 383–389
- [26] 郝再彬, 苍 晶, 徐 仲. 植物生理实验 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004 110–113
- [27] 张立军, 樊金娟. 植物生理学实验教程 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2007: 103–104
- [28] Kozi A. Ascorbate peroxidase—a hydrogen peroxide scavenging enzyme in plants [J]. *Physiologia Plantarum*, 1992 85: 235–241
- [29] 郑炳松. 现代植物生理生化研究技术 [M]. 北京: 气象出版社, 2006 90–92
- [30] 王学奎. 植物生理生化实验原理与技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006 280–281
- [31] Khan M A, Ungar I A. Influence of salinity and temperature on the germination of *Haloxylon recurvum* Bunge ex. Boiss [J]. *Annals of Botany* 1996 78: 547–551
- [32] Khan M A, Gul B, Weber D J. Influence of salinity and temperature on the germination of *Kochia scoparia* [J]. *Wetlands Ecology and Management* 2001 9: 483–489
- [33] 聂 惠, 于海峰, 刘浩明. 向日葵对盐胁迫的反应及其抗盐机理的研究进展 [J]. 内蒙古农业科技, 2008 (6): 17–19
- [34] 宋晓艳, 安 君. 盐胁迫对野大豆种子萌发特性的影响 [J]. 内蒙古农业科技, 2008 1: 41–43
- [35] Egan T P, Ungar I A, Meekins J F. The effect of different salts of sodium and potassium on the germination of *Atriplex prostrata* (Chenopodiaceae) [J]. *Plant Nutrition* 1997 20: 1723–1730
- [36] 黄雅琴. 几种作物发芽的耐盐力试验 [J]. 内蒙古农业科技, 1979 5: 29–32
- [37] 孙方行, 孙明高. 盐胁迫对臭椿的生长与光合的影响 [J]. 内蒙古农业科技, 2009 5: 35–36
- [38] Kopyna M, Gwózdź E A. Nitric oxide stimulates seed germination and counteracts the inhibitory effect of heavy metals and salinity on root growth of *Lupinus luteus* [J]. *Physiology and Biochemistry* 2003 41: 1011–1017
- [39] Gou H K S, Lamotte O, Klinguer A, et al. Nitric oxide production in tobacco leaf cells: a generalized stress response? [J]. *Plant Cell Environment* 2003 26: 1851–1862
- [40] Zhao L, Zhan F, Guo J, et al. Nitric oxide functions as a signal in salt resistance in the calluses from two ecotypes of reed [J]. *Plant Physiology* 2004 134: 849–857
- [41] Shi Q H, Ding F, Wang X F, et al. Exogenous nitric oxide protect cucumber roots against oxidative stress induced by salt stress [J]. *Plant Physiology and Biochemistry* 2007 45: 542–550
- [42] 王宪叶, 沈文飏, 徐朗莱. 外源一氧化氮对渗透胁迫下小麦幼苗叶片膜脂过氧化的缓解作用 [J]. 植物生理与分子生物学学报, 2004 30: 195–200
- [43] 阮海华, 沈文飏, 叶茂炳, 等. 一氧化氮对盐胁迫下小麦叶片氧化损伤的保护效应 [J]. 科学通报, 2001 46: 1993–1997
- [44] Clark D, Durner J, Navarre D A, et al. Nitric oxide inhibition of tobacco catalase and ascorbate peroxidase [J]. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 2000 13: 1380–1384
- [45] Uchida A, Andre T J, Takashi H, et al. Effects of hydrogen peroxide and nitric oxide on both salt and heat stress tolerance in rice [J]. *Plant Science* 2002 163: 515–523
- [46] 汤绍虎, 周启贵, 孙 敏, 等. 外源 NO 对渗透胁迫下黄瓜种子萌发、幼苗生长和生理特性的影响 [J]. 中国农业科学, 2007 40(2): 419–425