

叶玉娟, 叶龙华. 硝普钠浸种对干旱胁迫下玉米种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(8): 135–138.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.09.036

# 硝普钠浸种对干旱胁迫下玉米种子萌发及幼苗生长的影响

叶玉娟<sup>1</sup>, 叶龙华<sup>2</sup>

(1. 黄山学院生命与环境科学学院, 安徽黄山 245041; 2. 广东省林业科技推广总站, 广东广州 510173)

**摘要:**以玉米种子为试验材料, 用 10% 聚乙二醇 6000 (PEG-6000) 模拟干旱胁迫, 研究不同浓度的硝普钠 (50、100、300、500、1000  $\mu\text{mol/L}$ ) 浸种对玉米种子萌发和幼苗生长的影响。结果表明: 干旱胁迫下, 玉米种子的发芽势、发芽指数及幼苗的根、茎长和鲜质量显著下降, 过氧化物酶 (POD)、过氧化氢酶 (CAT) 和超氧化物歧化酶 (SOD) 活性均降低, 适宜浓度的硝普钠浸种, 缓解了干旱胁迫对玉米种子萌发及幼苗生长的迫害, SOD、POD、CAT 活性均升高, MDA 含量下降。通过对比几种不同 SNP 浓度, 结果说明, 500  $\mu\text{mol/L}$  SNP 对 PEG 模拟干旱胁迫下玉米种子萌发及幼苗的保护效应较为显著。

**关键词:**硝普钠; 干旱胁迫; 玉米种子; 幼苗生长; 生理特性

**中图分类号:** S513.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)08-0135-04

干旱是世界上限制农作物产量的重要因素之一, 世界各国每年由于干旱造成严重损失。我国是一个传统的农业大国, 气象灾害对我国的农业影响较大, 尤其是干旱的影响<sup>[1]</sup>。研究发现, 聚乙二醇 6000 (PEG-6000, 以下简称 PEG) 是一种亲水性非常强的大分子聚合物, 能够夺取水分对植物造成渗透胁迫, 并在一定程度上阻塞植物系统的输导组织, 利用 PEG 模拟渗透胁迫已成为植物抗旱性研究的重要手段<sup>[2-3]</sup>。

硝普钠 (sodium nitroprusside, SNP) 是一种常用的外源

NO 供体, 能有效促进植物种子萌发, 提高种子萌发率。前人研究表明, NO 在植物中的某些功能与它对活性氧代谢水平的调节具有相关性, NO 可作用于烟草中的过氧化氢酶 (CAT) 和抗坏血酸过氧化物酶 (APX) 从而参与对活性氧的调节<sup>[4]</sup>。Cheng 等研究发现, NO 能通过提高 SOD 的活性和降低膜脂过氧化水平来减缓缺水造成的离体水稻幼苗叶片的衰老<sup>[5]</sup>。本试验以玉米种子为材料, 采用 PEG 模拟干旱胁迫, 探究在一定程度干旱胁迫下, SNP 对玉米种子萌发和幼苗生长的影响, 为 SNP 提高玉米种子及幼苗抗旱性提供理论依据。

收稿日期: 2015-07-30

基金项目: 安徽省黄山市自然科学重点项目 (编号: 2007ZN-12); 黄山学院 2010 年科研项目 (编号: 2010xkj002)。

作者简介: 叶玉娟 (1985—), 女, 安徽宁国人, 硕士, 助理实验师, 研究方向为植物生理生化。E-mail: yjy@hsu.edu.cn。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

玉米种子, 品种为福玉 588。

[4] Gautam S, Singh P K. Salicylic acid - induced salinity tolerance in corn grown under NaCl stress [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2009, 31: 1185–1190.

[5] Loutfy N, El - Tayeb M A, Hassanen A M, et al. Changes in the water status and osmotic solute contents in response to drought and salicylic acid treatments in four different cultivars of wheat (*Triticum aestivum*) [J]. J of Plant Research, 2012, 125(1): 173–184.

[6] Korkmaz A, Uzunlu M, Demirkiran A R. Treatment with acetyl salicylic acid protects muskmelon seedlings against drought stress [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2007, 29: 503–508.

[7] Farooq M, Basra S M A, Wahid A, et al. Improving the drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) by exogenous application of salicylic acid [J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2009, 195: 237–246.

[8] Qiao W H, Fan L M. Nitric oxide signaling in plant responses to abiotic stresses [J]. J Integr Plant Biol, 2008, 50: 1238–1246.

[9] Song L L, Ding W, Shen J, et al. Nitric oxide mediates abscisic acid induced thermotolerance in the calluses from two ecotypes of reed under heat stress [J]. Plant Science, 2008, 175: 826–832.

[10] Gémes K, Poór P, Horváth E, et al. Cross - talk between salicylic acid and NaCl - generated reactive oxygen species and nitric oxide in tomato during acclimation to high salinity [J]. Physiologia Plantarum, 2011, 142: 179–192.

[11] 刘新, 张蜀秋, 姜成后. 一氧化氮参与水杨酸对蚕豆气孔运动的调控 [J]. 科学通报, 2003, 48(1): 60–63.

[12] 张志良, 瞿伟菁, 李小方. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2009: 100–101.

[13] 邹琦. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.

[14] 魏群. 基础生物化学实验 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.

[15] Zhou B, Guo Z, Xing J, et al. Nitric oxide is involved in abscisic acid - induced antioxidant activities in *Stylosanthes guianensis* [J]. J Exp Bot, 2005, 56: 3223–3228.

[16] 杨剑平, 潘金豹, 王文平, 等. 水杨酸对水分胁迫下玉米根系膜脂过氧化的影响 [J]. 北京农学院学报, 2002, 17(1): 8–12.

[17] 李才生, 秦燕, 宗盼. 水杨酸对玉米幼苗根系生长及细胞膜透性的影响 [J]. 广东农业科学, 2009(10): 32–34, 53.

1.2 试验方法

1.2.1 PEG 浓度的筛选 精选饱满度一致且无病虫害伤害的玉米种子,温水浸种 24 h,然后将种子均匀摆放在铺有 3 层滤纸的培养皿中,向每个培养皿加入适量 PEG 处理液。其中 PEG 浓度设为 4 个水平,分别为 5%、10%、15%、20%,并以蒸馏水作为对照组,各浓度设置 3 个重复,每个重复 30 粒种子,置于 25 ℃、湿度为 70% 的培养箱内催芽,并每天添加处理液(处理液的量以浸透滤纸并稍有剩余为准)。种子突破种皮 1 mm 为露白,当达到发芽标准(以芽突破种皮 1 cm 为发芽标准)开始每天记录种子的发芽数。当芽达到培养皿顶盖高度时揭开盖子,加入已灭菌的蛭石,蛭石的量以覆盖种子根部为好,防止种子根部露在空气中导致干旱缺水死亡,这时处理液的用量视情况适当添加。连续 7 d 记录发芽数目,计算发芽率,并测量各浓度处理下的种子芽长、根长。

1.2.2 SNP 浸种试验 精选饱满度一致且无病虫害伤害的玉米种子,均匀摆放在铺有 3 层滤纸的培养皿中,作以下处理: A<sub>0</sub> 为蒸馏水对照; A<sub>1</sub> 为经上述方法筛选的 PEG 处理液(10% PEG); A<sub>2</sub> 为 10% PEG + 50 μmol/L SNP; A<sub>3</sub> 为 10% PEG + 100 μmol/L SNP; A<sub>4</sub> 为 10% PEG + 300 μmol/L SNP; A<sub>5</sub> 为 10% PEG + 500 μmol/L SNP; A<sub>6</sub> 为 10% PEG + 1 000 μmol/L SNP,不同浓度的 SNP 溶液浸种时间为 24 h。各浓度设置 4 个重复,每个重复 40 粒种子,同样置于 25 ℃、湿度为 70% 的培养箱内催芽,发芽前进行遮光处理,发芽后每天 12 h 光照,每天添加处理液(处理液的量以浸透滤纸并稍有剩余为准)。连续 7 d 记录发芽数目,计算发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数。发芽 8 d 时,随机选取 18 株幼苗测量芽长、根长(主根)及鲜质量,后置于 80 ℃烘箱中 48 h,烘干后称其干质量,并测定生理指标。

1.2.3 种子萌发率及萌发指数测定 种子发芽率 = [发芽终期(规定日期内:以 7 d 发芽种子数计算)全部正常发芽粒数/供检种子粒数] × 100%; 种子发芽势 = [发芽初期(规定日期内:以 3 d 发芽种子数计算)正常发芽粒数/供检种子粒数] × 100%; 发芽指数:  $GI = \sum (G_t/D_t)$ , 式中  $G_t$  为  $t$  时间的发芽数,  $D_t$  为相应的发芽日数; 活力指数:  $VI = S \times \sum (G_t/D_t)$ ,  $S$  为一定时期内幼苗生长势[7 d 单株幼苗平均鲜质量(FW)]表示。

1.2.4 根芽生长指标测定 用直尺测量主根长、芽长,根条数,用电子天平称量鲜质量,烘干后称干质量。

1.2.5 生理指标测定 过氧化氢酶(CAT)活性测定参照陈建勋等的方法<sup>[6]</sup>;超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用邻苯三酚自氧化法<sup>[6]</sup>;丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸(TBA)法<sup>[7]</sup>;过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚法<sup>[8]</sup>。

1.3 数据处理

采用 Excel 2003 软件处理数据和绘图,采用 SPSS 17.0 方差分析软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对玉米种子萌发的影响

由表 1 可知,蒸馏水处理时,玉米种子正常萌发生长,其发芽率达到 100%,加入各浓度的 PEG 之后,玉米种子受到不

同程度的胁迫,5% PEG 处理时,发芽率为 95%,平均主根长和芽长较对照减小但不显著,在 20% PEG 胁迫下,玉米种子由于受到高浓度干旱胁迫并且超过种子耐受限度不能发芽。因此,综合考虑发芽率、主根长和芽长等指标,选择 10% PEG 作为后续模拟干旱胁迫的浓度。

表 1 不同浓度 PEG 干旱胁迫对玉米种子萌发的影响

处理	发芽率 (%)	平均主根长 (cm)	平均芽长 (cm)
CK	100	9.21 ± 0.142a	6.95 ± 0.058a
5% PEG	95	8.77 ± 0.173a	6.05 ± 0.157a
10% PEG	75	5.53 ± 0.072b	4.07 ± 0.138b
15% PEG	50	2.95 ± 0.118c	2.08 ± 0.015c
20% PEG	0	0d	0d

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。表 2、表 3 同。

2.2 SNP 浸种对干旱胁迫下玉米种子萌发及幼苗生长的影响

2.2.1 SNP 浸种对干旱胁迫下玉米种子萌发率及萌发指数的影响 由表 2 可知,10% PEG 处理下,与 CK 相比较,种子的发芽率和活力指数差异不明显,发芽指数和发芽势呈显著性差异;合适浓度的 SNP 能促进玉米种子的萌发,在 SNP 浓度达到 500 μmol/L 时,与 50 μmol/L 对比,各个指标达最大值,差异较显著,但是超过这一浓度各指标值均又下降。因此,SNP 浓度达到 500 μmol/L 时最好地缓解了干旱胁迫的作用。

表 2 SNP 浸种对干旱胁迫下玉米种子萌发的影响

处理	发芽率 (%)	发芽势 (%)	发芽指数	活力指数
A <sub>0</sub>	98.9 ± 1.924a	88.9 ± 2.324a	30.5 ± 1.502a	8.5 ± 0.290a
A <sub>1</sub>	84.9 ± 1.344a	85.3 ± 1.208b	20.5 ± 0.653b	7.2 ± 0.301a
A <sub>2</sub>	50.4 ± 2.831d	20.8 ± 2.925f	0.84 ± 0.244f	0.14 ± 0.105f
A <sub>3</sub>	63.0 ± 2.819c	31.0 ± 1.218e	3.87 ± 1.497e	0.21 ± 0.141e
A <sub>4</sub>	72.4 ± 1.183b	41.0 ± 0.756d	14.34 ± 3.324d	2.11 ± 0.532d
A <sub>5</sub>	85.6 ± 1.925a	60.1 ± 2.391c	24.8 ± 0.751a	4.89 ± 0.271b
A <sub>6</sub>	66.5 ± 1.701c	19.2 ± 1.218f	17.2 ± 1.527c	3.12 ± 0.371c

2.2.2 SNP 浸种对干旱胁迫下玉米幼苗生长的影响 由表 3 可知,在 10% PEG 胁迫环境下,不同浓度 SNP 处理液的玉米幼苗受到的胁迫强度作用不同。CK 处理时,玉米幼苗生长正常;在 10% PEG 干旱胁迫下玉米幼苗生长活动受到限制,表现为平均主根长、芽长、根数量、鲜质量及干质量等指标数值较对照显著下降;适宜浓度 SNP 对干旱胁迫有缓解作用,在 500 μmol/L 时幼苗各指标值达到最大,且与 10% PEG 处理呈显著差异,但是当低于或超过这一浓度时,各指标均呈现出下降趋势。综上所述,适宜浓度 SNP 浸种可缓解干旱胁迫对玉米幼苗生长的影响,其中以 500 μmol/L 浓度效果最好。

2.3 SNP 浸种对干旱胁迫下玉米幼苗丙二醛(MDA)含量的影响

由图 1 可见,10% PEG 处理过的玉米幼苗 MDA 含量低于对照组,但是差异不显著;在不同浓度的 SNP 处理后 MDA 的含量呈现先降低后升高的趋势,并在 100 μmol/L 时含量最低,差异较对照组最显著,缓解效果最好。超过 100 μmol/L

表 3 硝普钠浸种对干旱胁迫下玉米种子萌发过程中根芽生长的影响

处理	平均主根长 (cm)	平均芽长 (cm)	平均根条数 (条)	平均鲜质量 (g)	平均干质量 (g)
A <sub>0</sub>	7.52 ± 1.706ab	12.40 ± 1.215a	6.50 ± 2.414ab	1.35 ± 0.007a	0.39 ± 0.042f
A <sub>1</sub>	6.99 ± 1.838abc	5.28 ± 1.403bc	4.83 ± 1.505c	0.91 ± 0.304d	0.42 ± 0.028c
A <sub>2</sub>	5.55 ± 1.947c	3.19 ± 1.316d	4.17 ± 1.724c	0.78 ± 0.021e	0.41 ± 0.007e
A <sub>3</sub>	6.86 ± 2.274abc	4.96 ± 1.214c	6.22 ± 1.396abc	0.85 ± 0.556d	0.38 ± 0.004g
A <sub>4</sub>	4.92 ± 1.943c	4.94 ± 1.562c	5.06 ± 2.014bc	0.93 ± 0.255c	0.41 ± 0.007d
A <sub>5</sub>	8.14 ± 2.321a	7.02 ± 2.186b	7.44 ± 3.043a	0.99 ± 0.007b	0.44 ± 0.004a
A <sub>6</sub>	6.07 ± 2.481bc	6.23 ± 1.52bc	6.00 ± 2.97bc	0.96 ± 0.008bc	0.43 ± 0.035b

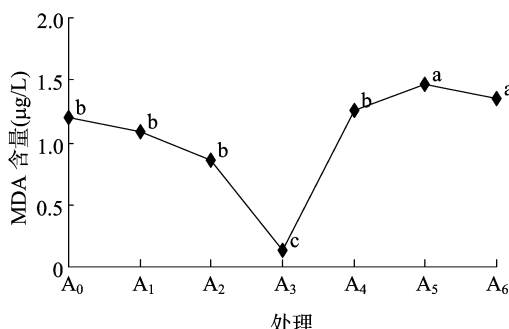


图 1 SNP 浸种对干旱胁迫下玉米幼苗 MDA 含量的影响

浓度,MDA 含量显著上升且高于对照,转而抑制幼苗生长。因此表明:干旱胁迫下,适宜浓度 SNP 能在一定程度上有效地抑制 MDA 含量的积累,缓解干旱胁迫对玉米幼苗生长造成的伤害。

## 2.4 SNP 浸种对干旱胁迫下玉米幼苗过氧化氢酶 (CAT) 活性的影响

玉米幼苗在干旱胁迫和 SNP 的双重作用下,其 CAT 活性的变化表现出如图 2 所示规律。由于干旱胁迫作用,与 CK 相比较, CAT 活性显著下降。当 SNP 浓度在 100 ~ 1 000 μmol/L 处理下, SNP 减轻了 PEG 的干旱胁迫作用, CAT 活性随着 SNP 浓度升高而增强,并在 SNP 浓度为 500 μmol/L 时活性最大,此后又呈现下降趋势。综合分析认为,一定浓度的 SNP 浸种处理使 CAT 活性增强,提高对活性氧的清除能力,但是随着 SNP 浓度的进一步增加,高浓度的 SNP 作用导致玉米幼苗叶片的活性氧积累超过植物本身的耐受极限,转而开始抑制 CAT 活性。

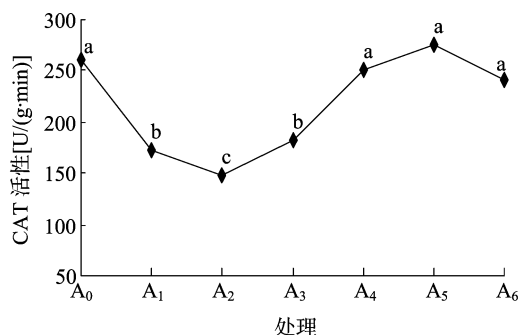


图 2 SNP 浸种对干旱胁迫下玉米幼苗 CAT 活性的影响

## 2.5 SNP 浸种对干旱胁迫下玉米幼苗过氧化物酶 (POD) 活性的影响

由图 3 可见,处理过的玉米幼苗 POD 活性在 10% PEG 处

理时与 CK 相比降低,这是由于干旱胁迫的影响。添加不同浓度的 SNP 溶液浸种时,浓度过低或过高均无缓解效果,仅 SNP 浓度为 500 μmol/L 时 POD 活性最大,表现出显著性差异。

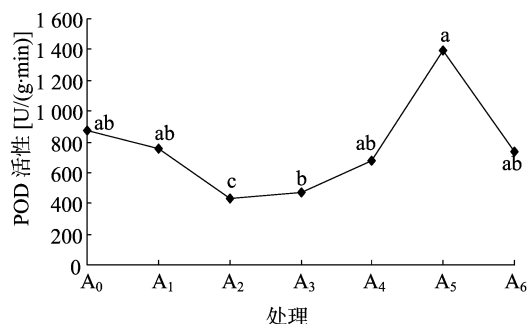


图 3 SNP 浸种对干旱胁迫下玉米幼苗 POD 活性的影响

## 2.6 SNP 浸种对干旱胁迫下玉米幼苗超氧化物歧化酶 (SOD) 活性的影响

由图 4 可见,在干旱胁迫下,SOD 活性明显下降且低于对照组;当添加 50 μmol/L SNP 时活性最低,说明低浓度的 SNP 不能使 SOD 活性上升;随着 SNP 浓度增加到 500 μmol/L 浓度,SOD 活性有所增加,与 A2 浓度相比差异显著,但是与对照相比差异不显著。

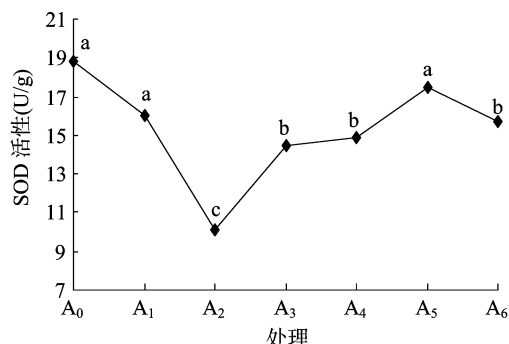


图 4 SNP 浸种对干旱胁迫下玉米幼苗 SOD 活性的影响

## 3 结论与讨论

PEG 作为高分子非离子渗透剂已被广泛应用于农作物和林木中模拟自然干旱环境,探讨在干旱环境下植物的生长状况<sup>[9]</sup>。本研究中,通过 10% PEG-6000 模拟干旱胁迫,玉米种子的发芽指标、形态指标及生理指标均有所下降,其中部分指标与对照呈显著性差异,说明 10% PEG-6000 对玉米种子萌发及幼苗生长造成了胁迫。武冲等研究表明,不同浓度

PEG胁迫处理均降低了种子的发芽率,延缓了木麻黄种子萌发进程<sup>[10]</sup>;回振龙等研究表明,在PEG模拟干旱胁迫下,高羊茅种子的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数较对照呈下降趋势<sup>[11]</sup>;本研究结果与上述基本一致。

NO作为一种信号调节分子和活性氧清除剂能调节植物对生物与非生物胁迫的适应反应,目前已见于酸雨胁迫<sup>[12]</sup>、镉胁迫<sup>[13]</sup>、盐胁迫<sup>[14-15]</sup>、铝胁迫<sup>[16]</sup>及铜胁迫<sup>[17]</sup>等各种胁迫研究中。本试验中SNP浸种对干旱胁迫的缓减作用,在玉米种子各发芽指标中均有体现。玉米种子各发芽指标经PEG处理后均低于对照组,SNP浸种后,当浓度逐渐上升到500  $\mu\text{mol/L}$ 时,玉米种子各指标呈现逐渐上升趋势,超过这一浓度则又表现出下降趋势。这表明适宜浓度SNP(500  $\mu\text{mol/L}$ )对玉米种子的萌发有较好的促进作用。不同浓度的SNP对玉米幼苗各形态指标作用影响不同。其中500  $\mu\text{mol/L}$  SNP作用下,平均主根长、芽长、根数量、鲜质量及干质量数值均达到最大,具有较好的缓解效果。曹丽等研究表明,经外源NO供体SNP处理后,经干旱胁迫的草地早熟禾种子的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数呈上升趋势<sup>[18]</sup>,本试验结果与之相一致。

SOD、POD、CAT是植物细胞内重要的酶促防御体系。逆境胁迫使植物体内代谢受阻,打破植物体内氧自由基在正常条件下所持的动态平衡状态,产生大量的活性氧,发生质膜过氧化作用,累积过多有害的过氧化物,致使在细胞水平上对植物造成氧化损伤<sup>[19]</sup>。本试验研究表明:经过不同浓度SNP浸种后玉米幼苗的CAT、POD和SOD活性均呈现先下降后上述的趋势,且在500  $\mu\text{mol/L}$ 时,3种酶活性达到最大值,表明适宜浓度的SNP对玉米幼苗的CAT、POD和SOD活性均有促进作用,其活性升高以缓解干旱胁迫环境对玉米幼苗造成的伤害。回振龙等研究表明,经外源NO供体SNP处理后,模拟干旱胁迫下的高羊茅幼苗叶片SOD、POD、CAT活性均显著升高,而幼苗叶片MDA含量显著下降<sup>[11]</sup>,本试验结果与之相似。

植物在逆境条件下会通过细胞膜脂的过氧化作用分解MDA,但是细胞中MDA的过多积累可能会对膜和细胞造成一定副作用<sup>[20]</sup>。本试验中通过一定浓度的SNP浸种,随着SNP浓度的升高,MDA含量先下降后上升,在SNP为100  $\mu\text{mol/L}$ 时积累量最低、缓解效果最好。王芳等研究表明,外源NO对Cd胁迫下玉米生长有一定的缓解作用,降低了MDA含量,可以增强玉米幼苗对毒害的抗性<sup>[13]</sup>。

本试验研究了不同浓度的SNP对干旱胁迫下玉米种子萌发和幼苗生长的影响,并筛选出了缓解10%PEG干旱胁迫的最合适SNP浓度(500  $\mu\text{mol/L}$ ),说明适宜浓度的SNP处理后使PEG模拟干旱胁迫下玉米的生长发育得到了促进,减轻了干旱胁迫对玉米造成的伤害,提高了植株的整体抗旱性。

#### 参考文献:

[1] Zhang J Q. Risk assessment of drought disaster in the maize - growing region of Song Liao Plain China [J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2004, 102 (2): 133 - 153.

[2] 马俊会, 杨华瑞, 许喜堂, 等. PEG - 6000胁迫对小麦三叶期蛋白表达的影响[J]. 麦类作物学报, 2010, 30 (5): 858 - 862.

[3] 朱教君, 康宏樟, 李智辉. 不同水分胁迫方式对沙地樟子松幼苗光合特性的影响[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28 (2): 57 - 63.

[4] 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 (12): 1380 - 1384.

[5] Cheng F Y, Hsu S Y, Kao C H. Nitric oxide counteracts the senescence of detached rice leaves induced by dehydration and polyethylene glycol but not by sorbitol [J]. Plant Growth Regulation, 2002, 38: 265 - 272.

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

[7] 林植芳, 李双顺, 林桂珠, 等. 水稻叶片的衰老与超氧化物歧化酶活性及膜质过氧化作用的关系[J]. 植物学报, 1984, 26 (6): 605 - 615.

[8] 赵世杰, 许长成, 邹琦, 等. 植物组织中丙二醛测定方法的改进[J]. 植物生理学通讯, 1994 (3): 207 - 210.

[9] Fellner M, Sawhney V K. Seed germination in a tomato male - sterile mutant is resistant to osmotic salt and low - temperature stresses [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2001, 102 (2/3): 215 - 221.

[10] 武冲, 仲崇禄, 张勇, 等. 聚乙二醇模拟干旱对三种木麻黄种子萌发的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2011, 31 (2): 22 - 26.

[11] 回振龙, 李自龙, 李朝周, 等. 外源NO供体SNP对PEG模拟干旱胁迫下高羊茅种子萌发及幼苗抗性生理的影响[J]. 华北农学报, 2013, 28 (4): 86 - 92.

[12] 刘建福, 钟书淳, 王奇志, 等. NO供体SNP对酸雨胁迫下龙眼种子萌发及生理特性的影响[J]. 江苏农业学报, 2013, 29 (5): 1143 - 1148.

[13] 王芳, 常盼盼, 陈永平, 等. 外源NO对镉胁迫下玉米幼苗生长和生理特性的影响[J]. 草业学报, 2013, 22 (2): 178 - 186.

[14] 谷文英, 李兴正, 祈新梅, 等. 外源一氧化氮对盐胁迫下菊苣生长及渗透调节物质的影响[J]. 生态学杂志, 2013, 32 (3): 615 - 620.

[15] 张宋智, 李平英, 王军辉, 等. 外源NO供体SNP浸种对盐胁迫下黄金树幼苗生长的影响[J]. 种子, 2013, 32 (7): 22 - 24, 29.

[16] 吴坤, 邢承华, 饶玉春, 等. 外源NO对铝毒下水稻根系生长和抗氧化系统的影响[J]. 西北植物学报, 2014, 34 (3): 536 - 542.

[17] 张敏, 姜春辉, 李晓云, 等. 外源NO对铜胁迫下番茄幼苗根系构型及其超微结构的影响[J]. 植物生理学报, 2012, 48 (11): 1105 - 1112.

[18] 曹丽, 回振龙, 魏小红, 等. SNP对PEG模拟干旱胁迫下早熟禾种子萌发及幼苗抗性的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2013, 48 (5): 100 - 106, 113.

[19] 樊怀福, 杜长霞, 郭世荣, 等. 钙和NO对NaCl胁迫下黄瓜幼苗生长和活性氧代谢的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16 (5): 1224 - 1231.

[20] 张红. 硝普钠、2,4-表油菜素内酯/水杨酸浸种对盐胁迫下玉米种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 核农学报, 2012, 26 (1): 164 - 169, 181.