

外源 NO 对 NaCl 胁迫下红三叶幼苗 生长及光合特性的影响

高景慧^{a,b}, 刘 记^b, 张继澍^a, 热孜娅·库热西^b, 舒诚洪^b

(西北农林科技大学 a 生命科学学院, b 动物科技学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】探讨外源 NO 对 NaCl 胁迫下红三叶(*Trifolium pratense*)幼苗生长和光合的缓解效应。【方法】用 100 mmol/L NaCl 胁迫红三叶幼苗,分别采用 50,100 和 150 $\mu\text{mol/L}$ 硝普钠(Sodium nitro prusside, SNP)处理,研究红三叶幼苗生长及净光合速率(P_n)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(G_s)和胞间 CO_2 浓度(C_i)等光合指标的变化。【结果】100 $\mu\text{mol/L}$ SNP 处理能显著($P < 0.05$)缓解 100 mmol/L NaCl 胁迫对红三叶幼苗生长的抑制作用,尤其对地下部生长抑制的缓解效果更为明显;可显著提高 NaCl 胁迫下幼苗叶片的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(Tr)和气孔导度(G_s),降低胞间 CO_2 浓度(C_i)。【结论】外源 NO 可缓解 NaCl 胁迫对红三叶幼苗生长及光合作用的抑制作用,且以 100 $\mu\text{mol/L}$ SNP 的缓解效果较好。

【关键词】 红三叶; NaCl 胁迫; 一氧化氮(NO); 幼苗生长; 光合特性

【中图分类号】 S541⁺.201

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2010)06-0187-06

Effect of exogenous nitric oxide on the growth and photosynthetic characteristics of *Trifolium pratense* seedlings under NaCl stress

GAO Jing-hui^{a,b}, LIU Ji^b, ZHANG Ji-shu^a, REZIYA · Kurexi^b, SHU Cheng-hong^b

(a. College of Life Sciences, b. College of Animal Science and Technology, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 The objective of this study was to investigate the effects of exogenous nitric oxide on seedlings growth and photosynthetic characteristics of red clover (*Trifolium pratense*) seedlings under NaCl stress. 【Method】 Using 50, 100 and 150 $\mu\text{mol/L}$ SNP (sodium nitroprusside), an exogenous nitric oxide donor as NO supply body was used to study the red clover seedling growth, net photosynthetic rate, transpiration rate and other photosynthetic indexes under 100 mmol/L of NaCl stress. 【Result】 100 $\mu\text{mol/L}$ SNP treatment could significantly alleviate the inhibitory effect of seedlings growth under the 100 mmol/L of NaCl stress ($P < 0.05$), and alleviate the effects of underground growth significantly better than on the ground growth; it could significantly increase net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s) and transpiration rate (Tr), lower intercellular CO_2 concentration (C_i) in leaves of red clover. 【Conclusion】 SNP can alleviate the inhibition effects under NaCl stress of the seedlings growth and photosynthesis of *T. pratense* significantly, and the best SNP treatment to relieve the stress of NaCl on the growth and photosynthetic characteristics of *T. pratense*'s seedlings is the concentration of 100 $\mu\text{mol/L}$.

Key words: red clover(*Trifolium pratense*); NaCl stress; nitric oxide (NO); seeding growth; photosynthetic characteristic

* [收稿日期] 2009-11-16

[基金项目] 陕西省自然科学基金项目(2009JM3015); 陕西省科技攻关项目(2009K01-19)

[作者简介] 高景慧(1970—), 女, 辽宁沈阳人, 讲师, 博士, 主要从事牧草育种研究。E-mail: gaojinghui@nwsuaf.edu.cn

[通信作者] 张继澍(1941—), 男, 天津静海人, 教授, 博士生导师, 主要从事植物生理研究。E-mail: jishu@nwsuaf.edu.cn

土壤盐渍是影响植物生长发育的重要环境因素,而全球不断扩大的盐渍化土地,又严重威胁着世界农牧业生产的发展。多项研究表明,不同浓度 NaCl 胁迫对植物的光合特性^[1-2]、氮化合物合成以及硝酸还原酶活性^[3]会产生不同程度的影响,可引起植物脂质过氧化反应,造成细胞衰老及死亡^[4-5],延缓植物生长,从而导致其生物量下降^[6-7]。NO (Nitric oxide) 是广泛分布于生物体的一类气体生物活性分子,可参与植物的生长发育^[8]、光形态建成^[9]、逆境中信号转导^[10]、延缓植物衰老^[11]以及提高植物抗逆性^[12]等生理生化过程。外源 NO 可显著缓解 NaCl 胁迫对番茄幼苗叶片的氧化损伤和对光合作用的抑制^[1]。Mata 等^[13]报道,低浓度 NO 可缓解盐胁迫下水稻 (*Oryza sativa*) 叶绿素的降解、维持光系统 II 的高活性;车永梅等^[14]认为,外源 NO 可防止 NaCl 胁迫对玉米幼苗叶片 PS II 反应中心的损伤,维持玉米幼苗叶片较高的光合活性,且对番茄^[5]和玉米^[7]等植物幼苗的生长和氧化损伤也具有明显的保护作用。但高浓度 NO 与 $\cdot O_2^-$ 相互作用会生成大量过氧亚硝酸阴离子 ($ONOO^-$),质子化后形成具有强氧化性的过氧亚硝酸 ($HOONO$), $HOONO$ 能破坏生物大分子的结构与功能,对植物产生一定的毒害作用^[15]。

红三叶 (*Trifolium pratense*) 为豆科优良牧草及草坪草,其叶色决定着草坪的品质,而产量是育种及生态研究的主要目标,因此提高其在盐碱地的栽培和利用价值,对畜牧业发展及城市绿地建设具有重要意义。目前有关 NO 对 NaCl 胁迫缓解效应的研究多集中在大田农作物及蔬菜作物上,对牧草的研究也仅以一些禾本科牧草为主,而有关豆科牧草的研究鲜见报道。为此,本试验以红三叶为供试材料,探讨外源 NO 对 NaCl 胁迫下红三叶幼苗生长及其光合作用的缓解效应,以期为进一步探讨 NO 对盐胁迫牧草和草坪草的缓解机理提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

红三叶 (*Trifolium pratense*), 购自陕西杨凌博示种子苗木公司。

1.2 方法

本试验于 2009-04-05 在西北农林科技大学动物科技学院草业科学实验室进行。

1) 种子处理。挑选整齐一致的红三叶种子,用体积分数 70% 乙醇浸泡 30 s 后,再用体积分数 5%

NaClO 消毒 60 min, 蒸馏水冲洗 3~4 次。

2) 幼苗培养。将消过毒的种子均匀地摆在垫有 3 层纱布的瓷盘中,置于 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 的培养箱中培养 7 d 后萌发,将普遍具 2 片子叶的幼苗转入 $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、1 500 lx (12 h/d) 光培养箱中,采用 1/4 MS 营养液培养。

试验中 NO 供体为硝普钠 (Sodium nitro prusside, SNP, Sigma 公司), 共设 5 个处理: T0 (空白对照, CK); T1 (胁迫对照): 100 mmol/L NaCl; T2: 100 mmol/L NaCl + 50 $\mu\text{mol/L}$ SNP; T3: 100 mmol/L NaCl + 100 $\mu\text{mol/L}$ SNP; T4: 100 mmol/L NaCl + 150 $\mu\text{mol/L}$ SNP, 每处理 3 个重复。

3) 生长测定。处理后第 3, 5, 7 天, 用直尺测定幼苗株高、根长, 每处理测定 20 株。

4) 光合测定。处理后第 3, 5, 7 天的 09:00—11:00, 每处理随机选 3~5 个健康无病植株的子叶, 采用 CI-340 型手持式轻便型光合测定系统测定净光合速率 (P_n , $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)、蒸腾速率 (Tr , $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)、气孔导度 (G_s , $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$) 和胞间 CO_2 浓度 (C_i , $\mu\text{mol}/\text{mol}$)。

1.3 数据处理

采用 SAS8.0 软件进行数据分析, 多重比较采用 Duncan's 新复极差法, 数据用“平均值 $\pm$ 标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 外源 NO 处理对 NaCl 胁迫下红三叶幼苗生长的影响

2.1.1 株高 由图 1 可知, 处理后第 3 天, 各处理的株高与对照 (CK) 相比差异显著 ($P < 0.05$), 但各处理间无显著差异。胁迫后第 5, 7 天, T3 处理株高较 T1 分别提高了 0.210 和 0.220 倍 ($P < 0.05$), 而 T1 与 T4 间无显著差异。上述结果表明, T3 (100 $\mu\text{mol/L}$ SNP) 处理较其他处理显著缓解了 NaCl 胁迫对红三叶幼苗地上部生长的抑制作用。

2.1.2 根长 由图 2 可知, 处理后第 3 天, 外源 NO 对 NaCl 胁迫下红三叶根系生长无明显缓解作用; 处理后第 5, 7 天, T2 及 T3 处理均显著缓解了 NaCl 对红三叶幼苗地下部生长的抑制作用, 且以 T3 (100 $\mu\text{mol/L}$ SNP) 处理的缓解效果最为显著, 比 T1 处理的根长分别增加了 35.2% 和 36.2% ($P < 0.05$)。可见, 外源 NO 对红三叶地下部的促生长效果明显优于地上部。

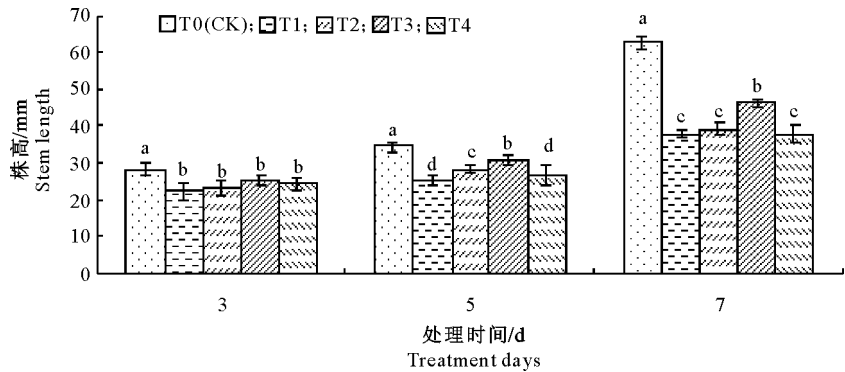


图 1 外源 NO 对 NaCl 胁迫下红三叶幼苗茎生长的影响

同一处理时间各组标不同字母者表示差异显著 ($P<0.05$)。下图同

Fig. 1 Effect of exogenous nitric oxide on stems growth of *T. pratense* seedlings under NaCl stress

The different letters in the same column mean significant differences at $P=0.05$. The same as below

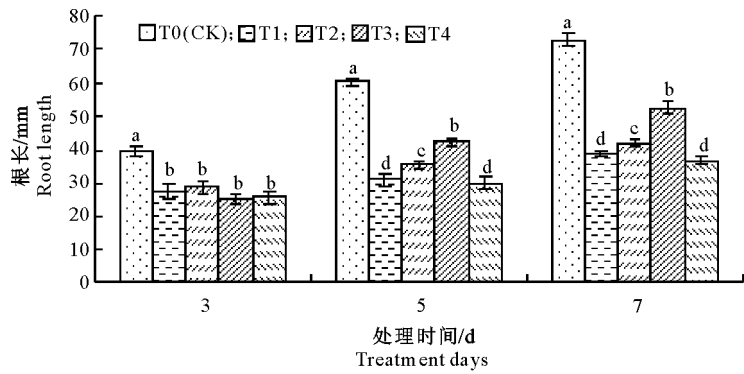


图 2 外源 NO 对 NaCl 胁迫下红三叶幼苗根生长的影响

Fig. 2 Effect of exogenous nitric oxide on root growth of *T. pratense* seedlings under NaCl stress

2.2 外源 NO 处理对 NaCl 胁迫下红三叶幼苗叶片光合特性的影响

2.2.1 净光合速率(P_n) 由图 3 可以看出,胁迫第 3 天,不同浓度 SNP 处理的红三叶幼苗叶片 P_n 均显著高于胁迫对照(T1)($P<0.05$);T4 处理($150 \mu\text{mol/L}$ SNP)的缓解作用随胁迫时间延长而显著下

降,至处理第 7 天时,与 T1 无显著差异。图 3 结果表明, $50 \sim 100 \mu\text{mol/L}$ SNP 处理均可显著缓解 NaCl 对红三叶幼苗光合的胁迫作用,其中以 T3 处理($100 \mu\text{mol/L}$ SNP)的效果最为显著,胁迫后第 3, 5 和 7 天,其 P_n 值分别比 T1 提高了 56.2%, 47.4% 和 154.2% 倍($P<0.05$)。

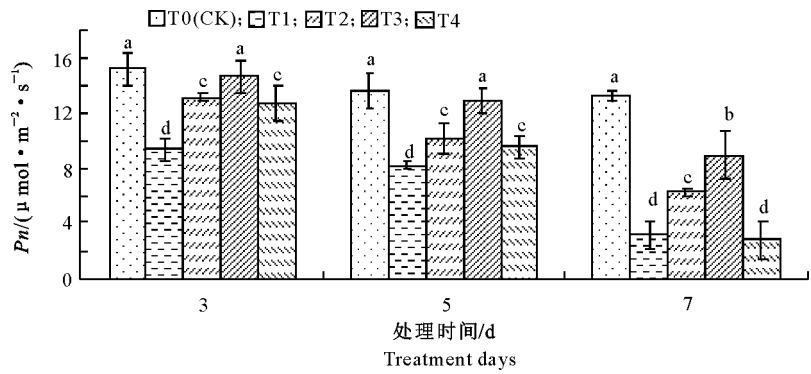


图 3 外源 NO 对 NaCl 胁迫下红三叶幼苗叶片 P_n 的影响

Fig. 3 Effect of exogenous nitric oxide on net photosynthetic rate (P_n) in leaves of *T. pratense* seedlings under NaCl stress

2.2.2 蒸腾速率(Tr) 图 4 表明,SNP 处理后第 3 天,外源 NO 可显著改善 NaCl 胁迫对红三叶幼苗

叶片 Tr 的影响($P<0.05$);在处理第 7 天,T4 处理($150 \mu\text{mol/L}$ SNP)的幼苗叶片 Tr 显著低于 T1

处理,表明高浓度 SNP 处理可减缓植物的蒸腾作用。

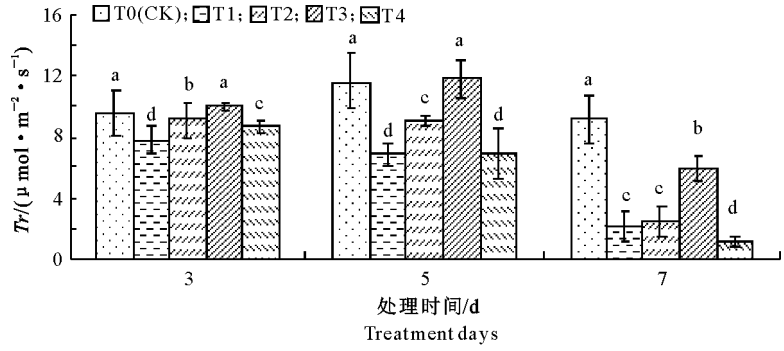


图 4 外源 NO 对 NaCl 胁迫下红三叶幼苗叶片 Tr 的影响

Fig. 4 Effect of exogenous nitric oxide on transpiration rate (Tr) in leaves of *T. pratense* seedlings leaves under NaCl stress

2.2.3 气孔导度(G_s) 植物气孔开闭直接影响细胞内 CO_2 浓度,从而影响植物的光合作用。图 5 结果表明,NaCl 胁迫可导致幼苗叶片气孔关闭($P<0.05$), SNP 处理后 G_s 均呈显著上升趋势,且以 T3 处理最为显著($P<0.05$);高浓度(150 $\mu\text{mol/L}$)

SNP 处理不利于缓解 NaCl 胁迫对植物 G_s 的影响,在胁迫后第 7 天,T4(150 $\mu\text{mol/L}$ SNP)处理的幼苗叶片 G_s 显著低于胁迫对照($P<0.05$),这可能是导致该处理植物 Tr 显著下降的原因。

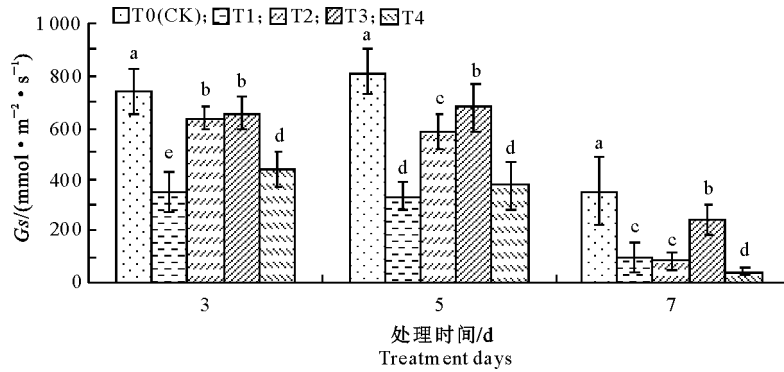


图 5 外源 NO 对 NaCl 胁迫下红三叶幼苗叶片 G_s 的影响

Fig. 5 Effect of exogenous nitric oxide on stomatal conductance (G_s) in leaves of *T. pratense* seedlings under NaCl stress

2.2.4 胞间 CO_2 浓度(C_i) 植物光合“午休”是高温、大气湿度降低和 CO_2 供应不足所致^[16]。由图 6 可知,NaCl 胁迫下幼苗的 C_i 均显著上升,用 SNP 处理后,幼苗的 C_i 均呈现下降趋势,其中 T3(100

$\mu\text{mol/L}$ SNP)处理下降最显著,到胁迫后第 7 天,与对照(T0)已无显著差异,而 T2 (50 $\mu\text{mol/L}$ SNP)和 T4 (150 $\mu\text{mol/L}$ SNP)处理的幼苗叶片 C_i 仍显著高于对照(T0)。

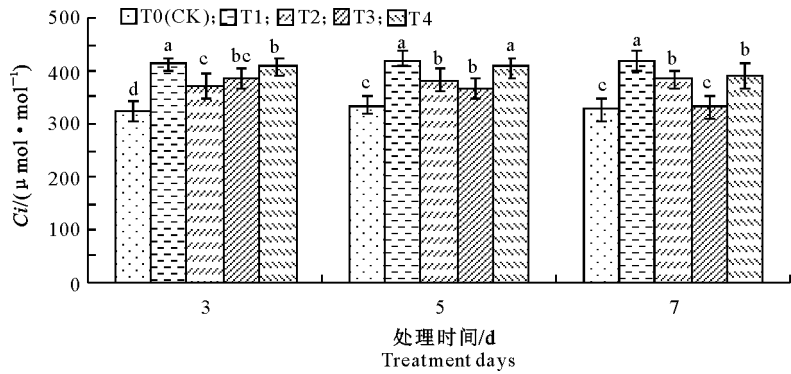


图 6 外源 NO 对 NaCl 胁迫下红三叶幼苗叶片 C_i 的影响

Fig. 6 Effect of exogenous nitric oxide on intercellular CO_2 concentration(C_i) in leaves of *T. pratense* seedlings under NaCl stress

3 讨论

盐胁迫可造成植物养分吸收失衡、改变植物细胞内离子的浓度和种类、影响膜的完整性、改变某些酶的功能。植物受到盐胁迫时,根系最先受到伤害,其渗透调节和保护酶系统、膜结构与功能均发生改变,产生胁迫蛋白并合成一些活性氧等次生代谢物^[17-18],对幼苗生长产生一定抑制作用。硝普钠是一种常用 NO 供体。Delledonne 等^[19]报道,50 $\mu\text{mol/L}$ SNP 约可释放 20 $\mu\text{mol/L}$ NO。NO 对植物生长发育及逆境胁迫响应的调节作用,与植物细胞的生理状况及 NO 处理浓度有关^[20-21]。刘建新等^[22]报道,5~100 $\mu\text{mol/L}$ SNP 处理可显著减轻 100 mmol/L NaCl 胁迫对黑麦草幼苗根生长的抑制效应,其中以 50 $\mu\text{mol/L}$ SNP 的处理效果最明显,150 $\mu\text{mol/L}$ 以上 SNP 处理则显著抑制了根的生长。本试验结果表明,100 $\mu\text{mol/L}$ SNP(T3)处理显著缓解了 100 mmol/L NaCl 胁迫对红三叶幼苗生长的影响,且对植物根系生长的盐胁迫缓解作用更明显,说明一定浓度的外源 NO 可有效减轻盐胁迫对根部生理反应的影响,从而有利于植物根系在盐碱地的生长发育。

光合作用在植物生长发育中具有重要意义,是农作物获得产量并抵抗逆境的重要生理机能之一^[1,2,14,23]。盐胁迫会对植物的光合能力造成严重阻碍^[1-2]。樊怀福等^[24]认为,100 $\mu\text{mol/L}$ SNP 处理能显著缓解 50 mmol/L NaCl 胁迫对黄瓜幼苗的伤害作用,可显著提高叶片净光合速率、蒸腾速率及气孔导度。逆境导致植物 P_n 下降,通常认为有 2 种主要因素:气孔因素和非气孔因素。低温下植物叶片的 P_n 、 G_s 和 Tr 均出现不同程度降低,如果此时叶片 C_i 也显著下降,说明低温胁迫可引起叶片气孔关闭,减少植株 CO_2 吸收供应,进而影响植株的光合速率;反之,若叶片 C_i 显著升高,则表明低温引起核酮糖 1,52 二磷酸羧化酶(RuBPCase)活性下降,导致植物叶片气孔关闭^[23]。本试验结果表明,在 100 mmol/L NaCl 胁迫下,红三叶幼苗 P_n 、 G_s 显著降低,而 C_i 显著升高,说明 NaCl 胁迫造成幼苗叶肉细胞的 RuBPCase 活性显著下降,而 100 $\mu\text{mol/L}$ SNP 处理显著减轻了因 NaCl 胁迫造成的叶肉细胞 RuBPCase 活性降低。吴雪霞等^[1]认为,SNP 处理可提高盐胁迫下光饱和点、光饱和光合速率、表观量子效率、 CO_2 饱和点、RuBP 最大再生速率及羧化效率,降低光补偿点和 CO_2 补偿点,为盐胁迫下番茄

幼苗的光合机构提供了一定的保护作用。由此推测,外源 NO 主要通过减轻逆境对植物生理生化反应的影响,从而增强其在逆境胁迫下的生存能力。

[参考文献]

- [1] 吴雪霞,朱为民,朱月林,等. 外源一氧化氮对 NaCl 胁迫下番茄幼苗光合特性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(6):1105-1109.
Wu X X, Zhu W M, Zhu Y L, et al. Effects of exogenous nitric oxide on photosynthesis and ionic contents of tomato seedlings under NaCl stress [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(6): 1105-1109. (in Chinese)
- [2] 韩亚琦,唐宇丹,张少英,等. 盐胁迫抑制柞栎 2 变种光合作用的机理研究 [J]. 西北植物学报,2007,27(3):583-587.
Han Y Q, Tang Y D, Zhang S Y, et al. Photosynthesis inhibition of two varieties of *Quercus aaliena* in salt stress [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2007, 27(3): 583-587. (in Chinese)
- [3] 樊怀福,郭世荣,杜长霞,等. 外源 NO 对 NaCl 胁迫下黄瓜幼苗氮化合物和硝酸还原酶活性的影响 [J]. 西北植物学报,2006,26(10):2063-2068.
Fan H F, Guo S R, Du C X, et al. Effects of exogenous NO on NO_3^- -N, NH_4^+ -N and soluble protein contents and NR activities in cucumber seedlings under NaCl stress [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2006, 26(10): 2063-2068. (in Chinese)
- [4] 郁继华,雍山玉,张洁宝,等. 外源 NO 对 NaCl 胁迫下辣椒幼苗氧化损伤的保护效应 [J]. 西北植物学报,2007,27(9):1801-1806.
Yu J H, Yong S Y, Zhang J B, et al. Protective effects of exogenous nitric oxide on oxidative damage in pepper seedlings under NaCl stress [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2007, 27(9): 1801-1806. (in Chinese)
- [5] 吴雪霞,朱月林,朱为民,等. 外源一氧化氮对 NaCl 胁迫下番茄幼苗生理影响 [J]. 中国农业科学,2006,39(3):575-581.
Wu X X, Zhu Y L, Zhu W M, et al. Physiological effects of exogenous nitric oxide in tomato seedlings under NaCl stress [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 39(3): 575-581. (in Chinese)
- [6] 王素平,李娟,郭世荣,等. NaCl 胁迫对黄瓜幼苗植株生长和光合特性的影响 [J]. 西北植物学报,2006,26(3):455-461.
Wang S P, Li J, Guo S R, et al. Effects of NaCl stress on growth and photosynthetic characteristics of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2006, 26(3): 455-461. (in Chinese)
- [7] 张艳艳,刘俊,刘友良. 一氧化氮缓解盐胁迫对玉米生长的抑制作用 [J]. 植物生理与分子生物学学报,2004,30(4):455-459.
Zhang Y Y, Liu J, Liu Y L. Nitric oxide alleviates growth inhibition of maize seedlings under NaCl stress [J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2004, 30(4): 455-459. (in Chinese)

[8] Ribeiro E A, Cunha F Q, Tamashiro W M S H, et al. Growth phase-dependent subcellular localization of nitric oxide synthase in maize cells [J]. *Febs Letters*, 1999, 445(2/3): 283-286.

[9] Beligni M V, Lamattina L. Nitric oxide stimulates seed germination and de-etiolation, and inhibits hypocotyl elongation, three light-inducible responses in plants [J]. *Planta*, 2000, 210(2): 215-221.

[10] He J M, Xu H, She X P, et al. The role and the interrelationship of hydrogen peroxide and nitric oxide in the uv-b-induced stomatal closure in broad bean [J]. *Functional Plant Biology*, 2005, 32(3): 237-247.

[11] Beligni M V, Fath A, Bethke P C, et al. Nitric oxide acts as an antioxidant and delays programmed cell death in barley Aleurone layers [J]. *Plant Physiology*, 2002, 129(4): 1642-1650.

[12] 董海丽, 井金学. 活性氧和一氧化氮在植物抗病反应中的作用 [J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2003, 31(1): 161-166.

Dong H L, Jing J X. Role of ros and NO in plant disease resistance responses [J]. *Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition*, 2003, 31(1): 161-166. (in Chinese)

[13] Mata C G, Lamattina L. Nitric oxide induces stomatal closure and enhances the adaptive plant responses against drought stress [J]. *Plant Physiology*, 2001, 126(3): 1196.

[14] 车永梅, 唐 静, 陈 康, 等. 一氧化氮对盐胁迫下玉米幼苗叶绿素荧光参数和光合特性的影响 [J]. *玉米科学*, 2009, 17(3): 91-94.

Che Y M, Tang J, Chen K, et al. Effects of nitric oxide on chlorophyll fluorescence parameters and photosynthetic characteristics of maize seedling under salt stress [J]. *Journal of Maize Sciences*, 2009, 17(3): 91-94. (in Chinese)

[15] Yamasaki H, Sakihama Y, Takahashi S. An alternative pathway for nitric oxide production in plants; new features of an old enzyme [J]. *Trends in Plant Science*, 1999, 4(4): 128-129.

[16] 刘玉华, 史纪安, 贾志宽, 等. 旱作条件下紫花苜蓿光合蒸腾日变化与环境因子的关系 [J]. *应用生态学报*, 2006, 17(10): 1811-1814.

Liu Y H, Shi J A, Jia Z K, et al. Diurnal dynamics of photosynthetic and transpiration rates of Alfalfa under dry farming and their relationships with environmental factor [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(10): 1811-1814. (in Chinese)

[17] Hurkman W J, Tanaka C K. The effects of salt on the pattern of protein synthesis in Barley roots [J]. *Plant Physiology*, 1987, 83(3): 517-524.

[18] Bohra J S, Dörffling H, Dörffling K. Salinity tolerance of rice (*Oryza sativa* L.) with reference to endogenous and exogenous abscisic acid [J]. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 1995, 174: 79-86.

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

[20] Beligni M V, Lamattina L. Is nitric oxide toxic or protective? [J]. *Trends in Plant Science*, 1999, 4(8): 299-300.

[21] Beligni M V, Lamattina L. Nitric oxide: A non-traditional regulator of plant growth [J]. *Trends in Plant Science*, 2001, 6(11): 508-509.

[22] 刘建新, 胡浩斌, 王 鑫. 外源 NO 对盐胁迫下黑麦草幼苗根生长抑制和氧化损伤的缓解效应 [J]. *植物研究*, 2008, 28(1): 7-14.

Liu J X, Hu H B, Wang X. Alleviative effects of exogenous nitric oxide on root growth inhibition and its oxidative damage in Rye grass seedlings under NaCl stress [J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2008, 28(1): 7-14. (in Chinese)

[23] 吴雪霞, 陈建林, 查丁石. 低温胁迫对茄子幼苗叶片光合特性的影响 [J]. *华北农学报*, 2008, 23(5): 185-189.

Wu X X, Chen J L, Zha D S. Effects of low temperature stress on photosynthetic characteristics in leaves of eggplant seedlings [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2008, 23(5): 185-189. (in Chinese)

[24] 樊怀福, 郭世荣, 焦彦生, 等. 外源一氧化氮对 NaCl 胁迫下黄瓜幼苗生长、活性氧代谢和光合特性的影响 [J]. *生态学报*, 2007, 27(2): 546-553.

Fan H F, Guo S R, Jiao Y S, et al. The effects of exogenous nitric oxide on growth, active oxygen metabolism and photosynthetic characteristics in cucumber seedlings under NaCl stress [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(2): 546-553. (in Chinese)