

Spd 诱导 NaCl 胁迫下番茄种子萌发和幼苗耐盐性效应研究

胡晓辉, 邹志荣, 杨振超, 安娜

(西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要 用 0.10、0.25、0.50 mmol/L Spd 和蒸馏水浸种, 研究不同浓度 Spd 浸种处理对 100 mmol/L NaCl 胁迫下“白果强丰”番茄种子萌发、幼苗生长及叶片抗氧酶活性的影响。结果表明: 100 mmol/L NaCl 胁迫下, 在低浓度范围, 随着 Spd 浸种浓度的升高, 番茄种子发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数逐渐增高, 较低浓度 Spd 浸种处理可以显著提高番茄幼苗叶片 SOD、POD 和 CAT 活性, 增加幼苗生物量, 其中 0.25 mmol/L 处理效果最佳。而较高浓度 Spd 浸种处理进一步抑制了 NaCl 胁迫下番茄种子的萌发, 幼苗生长受抑制。

关键词: Spd; 番茄; 种子萌发; 耐盐性

中图分类号: S 641.204⁺.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2009)10-0005-04

番茄(*Lycopersicon esculentum* Mill.)是茄科草本植物, 具有产量高、营养丰富、效益好等特点, 在设施蔬菜栽培中占有重要地位。近年来, 由于设施内施肥量大、温度高、土壤蒸发旺盛, 且无雨水淋溶, 盐分不易流失, 造成设施内土壤表层盐分积累, 盐渍化日益严重, 设施作物栽培达不到理想的产量和品质, 已经成为限制设施园艺可持续发展的主要因素^[1]。

多胺是生物体代谢过程中产生的一类次生物质, 常见的有腐胺(Putrescine, Put)、亚精胺(Spermidine, Spd)和精胺(Spermine, Spm)。多胺在调节植物生长发育、控制形态建成、提高植物抗逆性及延缓衰老等方面具有重要作用^[2-4]。大量研究表明, 喷施外源多胺可以提高植物的抗逆能力^[5-8], 但是, 多胺与植物在萌发期的抗盐性和后来生长阶段的抗盐性之间是否有直接的生理联系尚不清楚。相对于其他种类的多胺而言, Spd 对植物的生理功能作用更为明显^[5-6, 9-10]。因此, 试验采用不同浓度的 Spd 浸种, 研究 NaCl 盐胁迫下, 外源 Spd 对盐胁迫下番茄种子萌发和幼苗耐盐性的调节机制, 为寻求提高

植物耐盐性的措施提供理论依据和技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2007 年 9~12 月在西北农林科技大学园艺场和园艺学院园艺植物栽培与设施园艺实验室内进行。以番茄(*Lycopersicon esculentum* M.)品种“白果强丰”为试验材料。

1.2 试验方法

1.2.1 萌发期试验 选取健壮、饱满、大小一致的番茄种子, 经消毒后分别用 0.1、0.25、0.5 mmol/L Spd 和蒸馏水浸种 10 h, 然后分别放入盛有 100 mmol/L NaCl 溶液或等量蒸馏水的培养皿中。每隔 1 d 分别添加 1 mL 100 mmol/L NaCl 溶液或等量蒸馏水。萌发试验在 27℃、避光的恒温培养箱中进行, 共设 5 个处理: (1)蒸馏水浸种+0 mmol/L NaCl 处理(空白对照, CK); (2)蒸馏水浸种+100 mmol/L NaCl 处理(盐对照处理); (3)0.10 mmol/L Spd 浸种+100 mmol/L NaCl 处理; (4)0.25 mmol/L Spd 浸种+100 mmol/L NaCl 处理; (5)0.50 mmol/L Spd 浸种+100 mmol/L NaCl 处理。每个处理 60 粒种子, 3 次重复。

1.2.2 幼苗期试验 番茄种子经消毒后分别用 0.1、0.25、0.5 mmol/L Spd 和蒸馏水浸种 10 h, 然后在 27℃、避光的恒温培养箱中催芽。挑选露白一致的种子播种于塑料花盆中。子叶展平后, 每 3 d 浇 1 次 1/2 剂量的山崎番茄专用营养液, 待番茄三叶一心时进行盐处理。设 5 个处理: (1)蒸馏水浸种+0 mmol/L NaCl 处理幼苗(空白对照, CK); (2)蒸馏水浸种+100 mmol/L NaCl 处理幼苗(盐对照处理); (3)0.10 mmol/L Spd 浸种+

第一作者简介: 胡晓辉(1977-), 女, 河北滦县人, 博士, 讲师, 现主要从事设施蔬菜生理生态研究工作。E-mail: hxxh1977@163.com。

通讯作者: 邹志荣(1956-), 男, 陕西延安人, 教授, 博士生导师, 现主要从事设施园艺工程与技术研究工作。E-mail: zouzhihong2005@163.com。

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划重点资助项目(2007BAD79B04); 西北农林科技大学人才基金资助项目(01140405)。

收稿日期: 2009-05-16

100 mmol/L NaCl 处理幼苗; (4) 0.25 mmol/L Spd 浸种+100 mmol/L NaCl 处理幼苗; (5) 0.50 mmol/L Spd 浸种+100 mmol/L NaCl 处理幼苗。每处理 20 株幼苗, 3 次重复。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 种子发芽指标的测定 番茄种子以胚根突破种皮为萌发标准。每天调查发芽数, 第 5 天计算发芽势。第 7 天终止催芽, 计算发芽率(G_r)和发芽指数(G_i)^[11]。

1.3.2 幼苗生物量的测定 盐胁迫处理 9 d 时取整株幼苗, 用去离子水冲洗干净, 将地上部和地下部分开, 擦干水分后测定其鲜重, 然后 115℃ 杀青, 70℃ 下烘干测定其干重。

1.3.3 叶片抗氧化酶活性的测定 超氧化物歧化酶(SOD)活性按 Dhindsa 等^[12]的方法测定, 以抑制氮蓝四唑(NBT)光化还原 50% 为 1 个酶活力单位(U); 过氧化物酶(POD)活性按照曾韶西等^[13]的方法测定, 以 OD₄₇₀ 1 min 增加 0.01 为 1 个酶活力单位(U); 过氧化氢酶(CAT)活性采用 Dhindsa 等^[12]的方法测定, 以 OD₂₄₀ 1 min 减少 0.1 所需的酶液量为 1 个活力单位(U)。酶活性以 U/mg 蛋白表示。

1.4 数据统计

采用 SAS 软件对试验数据进行处理, Duncan's 多重比较法($P < 0.05$)进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同浓度 Spd 浸种对 NaCl 胁迫下番茄种子萌发的影响

由表 1 可以看出, 与蒸馏水处理(空白对照)相比, 100 mmol/L NaCl 处理下番茄种子的发芽率、发芽势和发芽指数均显著降低, 表明 100 mmol/L NaCl 处理显著抑制番茄种子的正常萌发。100 mmol/L NaCl 胁迫下, 用不同浓度的 Spd 处理番茄种子, 随着 Spd 浓度的升高, 番茄种子的发芽率、发芽势和发芽指数增加, 当 Spd 浓度达 0.25 mmol/L 时, 上述指标最大, 分别比单纯 NaCl 处理增加了 65.73%、117.68%、71.22% 和 47.37%。随着 Spd 浓度进一步升高, 番茄种子的发芽率、发芽势和发芽指数降低, Spd 为 0.50 mmol/L 时, 分别比单纯 NaCl 处理降低了 6.85%、29.44%、2.35% 和 33.83%。

2.2 不同浓度 Spd 浸种对 NaCl 胁迫下番茄幼苗生物量的影响

由表 2 可以看出, 外源 Spd 浸种处理影响了 NaCl 胁迫下番茄幼苗的生长。100 mmol/L NaCl 胁迫处理幼苗的生物量显著低于空白对照。100 mmol/L NaCl 胁迫下, 0.10 和 0.25 mmol/L Spd 处理的幼苗地上部鲜重、干重和地下部鲜重、干重均增加, 且显著高于单纯 NaCl 胁迫处理, 且 0.25 mmol/L Spd 作用效果显著优于 0.10 mmol/L Spd。0.50 mmol/L Spd 处理番茄幼苗生物量低于单纯 NaCl 胁迫处理, 但差异不显著。

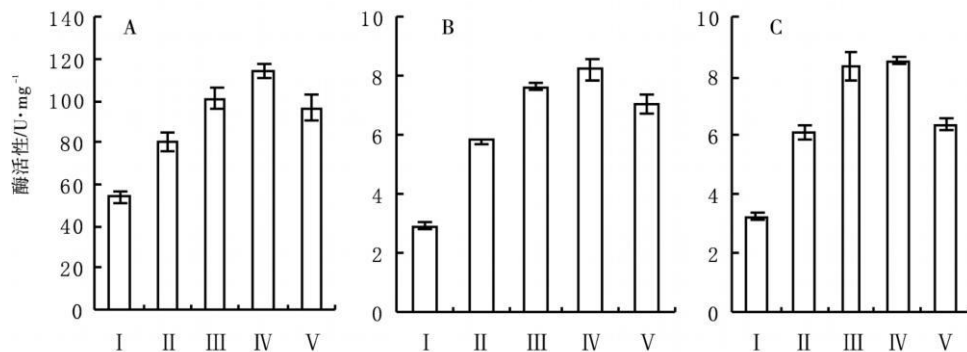


图 1 不同浓度 Spd 浸种对 NaCl 盐胁迫下番茄幼苗叶片 SOD、POD 和 CAT 活性的影响

注: I. 对照; II. 100 mmol/L NaCl 处理; III. 0.10 mmol/L Spd+100 mmol/L NaCl 处理; IV. 0.25 mmol/L Spd+100 mmol/L NaCl 处理; V. 0.50 mmol/L Spd+100 mmol/L NaCl 处理。

Fig. 1 Effect of seed soaked with different concentration Spd on SOD, POD and CAT activities of tomato seedling leaves under NaCl stress

Note: I. Stands for control; II. Stands for 100 mmol/L NaCl treatment; III. Stands for 0.10 mmol/L Spd+100 mmol/L NaCl treatment; IV. Stands for 0.25 mmol/L Spd+100 mmol/L NaCl treatment; V. Stands for 0.50 mmol/L Spd+100 mmol/L NaCl treatment.

2.3 不同浓度 Spd 浸种对 NaCl 胁迫下番茄幼苗叶片抗氧化酶活性的影响

由图 1 可以看出, 与空白对照处理相比, 单纯 NaCl 胁迫下幼苗叶片 SOD、POD 和 CAT 活性显著增加。100

mmol/L NaCl 胁迫下, Spd 浸种处理的幼苗叶片 SOD、POD 和 CAT 活性均高于单纯 NaCl 胁迫处理, 其中 0.50 mmol/L Spd 处理幼苗叶片 SOD、POD 和 CAT 活性与单纯 NaCl 胁迫处理无显著差异。

表1 不同浓度 Spd 浸种对 NaCl 胁迫下番茄种子萌发的影响

Table 1 Effect of seed soaked with different contentration Spd on tomato seed germination under NaCl stress

处理 Treatment	发芽率 Germination rate/%	发芽势 Germination potential/%	发芽指数 Germination index
空白对照 CK	66.11a	62.22a	11.72a
NaCl	40.56bc	28.33c	4.69c
0.10 mmol/L Spd+NaCl	52.78b	44.44b	5.76c
0.25 mmol/L Spd+NaCl	67.22a	61.67a	8.03b
0.50 mmol/L Spd+NaCl	37.78c	36.67bc	4.58c

注: 同列中不同字母表示差异达 0.05 显著水平, Different letters within the same column indicate significant different at 0.05 level.

表2 不同浓度 Spd 浸种对 NaCl 盐胁迫下番茄幼苗生物量的影响

Table 2 Effect of seed soaked with different contentration Spd on tomato seedlings biomass under NaCl stress

处理 Treatment	地上部鲜重 Shoot fresh weight /g·plant ⁻¹	地上部干重 Shoot dry weight /g·plant ⁻¹	根鲜重 Root fresh weight /g·plant ⁻¹	根干重 Root dry weight /g·plant ⁻¹
空白对照 CK	3.595a	0.236a	0.309a	0.028a
NaCl	2.352d	0.143c	0.267bc	0.019c
0.10 mmol/L Spd+NaCl	2.798c	0.197b	0.281b	0.024b
0.25 mmol/L Spd+NaCl	3.172b	0.228a	0.301a	0.026a
0.50 mmol/L Spd+NaCl	2.072d	0.130c	0.253c	0.020c

3 讨论

多胺作为一种生理活性物质, 被认为在生物体内信号传递过程中起“第二信使”的作用, 与植物的生长发育、形态建成和胁迫响应关系密切。植物可以通过改变体内多胺含量来稳定细胞膜结构, 调节生物大分子合成, 从而减少盐胁迫对自身的伤害^[14]。

种子萌发是植物生命活动的重要开始, 盐胁迫抑制种子萌发^[15-16]。番茄属于中度盐敏感植物, 盐胁迫会影响番茄种子的发芽、幼苗的生长发育, 导致番茄组织水分亏缺、营养失衡、离子毒害, 从而降低番茄产量和品质^[7]。试验结果表明, 100 mmol/L NaCl 处理的番茄种子发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数显著低于空白对照处理, 种子萌发显著受抑制。较低浓度的 Spd (0.10 和 0.25 mmol/L) 浸种处理显著提高了 NaCl 胁迫下番茄种子的发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数, 促进盐胁迫下番茄种子萌发; 而较高浓度的 Spd (0.50 mmol/L) 浸种处理并没有缓解盐胁迫对番茄种子萌发的抑制。

NaCl 胁迫下番茄幼苗生物量显著降低, 说明 NaCl 胁迫改变了植株地上部和地下部的干物质分配比例, 地上部受抑制程度大于地上部, 这是对胁迫的适应性反应

之一^[19]。研究表明, Spd 能刺激逆境下植物的生长^[8, 18]。试验结果显示, 较低浓度的 Spd (0.10 和 0.25 mmol/L) 浸种处理显著提高了盐胁迫下番茄幼苗生物量, 表明适宜浓度的 Spd 浸种处理可以缓解盐胁迫对番茄幼苗生长的抑制。

盐胁迫引起植物体内 ROS 产生, 导致植物细胞发生膜脂过氧化作用^[19], 植物细胞内 SOD、POD 和 CAT 活性提高以清除 ROS, 提高植物对盐胁迫的适应性^[20]。Duan 等^[18]研究表明, 盐胁迫下耐盐黄瓜品种抗氧化酶活性较高, ROS 积累量较少, 这是黄瓜幼苗对盐胁迫短期适应的一种表现。该试验结果显示, NaCl 胁迫下, 番茄幼苗叶片 SOD、POD 和 CAT 活性显著提高, 植物鲜重和干重降低, 表明盐胁迫导致活性氧产生增多, 虽然番茄幼苗可以通过提高自身抗氧化酶活性来减少或清除 ROS, 以适应盐胁迫逆境, 但盐胁迫下番茄幼苗叶片抗氧化酶活性的提高不足以清除过多的 ROS, 引起膜脂过氧化作用加剧, 质膜透性明显增加, 进而导致植株生长下降。多胺在生理条件下具有多聚阳离子的特性, 可与核酸的酸性位点和细胞膜磷脂相结合, 阻止盐胁迫下大分子的降解, 缓解膜伤害^[14]。Spd 通过维持细胞膜的完整性, 阻止超氧阴离子产生^[21]或抑制蛋白酶和 Rnase 的活性^[22]来提高植物的抗逆性。Spd 可以作为信号调动因子参与逆境下信号的传递过程^[9], 提高短期盐胁迫下植株幼苗的耐盐性^[18]。NaCl 胁迫下, Spd 浸种处理的番茄幼苗叶片保护酶活性增加, 这可能是由于多胺能促进蛋白质的合成, 又能与酶分子结合直接调节酶活性, 诱导胁迫下植物体内酶活性提高; 同时, 多胺不仅是阳离子, 而且是 H⁺ 的载体, 它可以部分代替 SOD 的作用, 通过歧化反应来有效清除活性氧, 稳定生物膜, 提高植株抗盐性^[23]。

综上所述, 盐胁迫下, 较低浓度的外源 Spd 浸种处理可以促进番茄种子的萌发, 提高幼苗叶片保护酶活性, 增加幼苗生物量, 该试验条件下以 0.25 mmol/L Spd 处理效果最好。说明适宜的 Spd 浸种处理可以有效缓解 NaCl 对番茄种子萌发和生长的抑制作用, 诱导其耐盐性提高。

参考文献

[1] 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): 0455-0461.
[2] Maiale S, Sanchez D H, Guirado A, et al. Spermine accumulation under salt stress[J]. Journal of plant physiology, 2004, 161: 35-42.
[3] Groppa M D, Benavides M P. Polyamines and abiotic stress: Recent advances[J]. Amino Acids, 2008, 34: 35-45.
[4] Iqbal M, Ashraf M. Changes in growth, photosynthetic capacity and ionic relations in spring wheat (*Triticum aestivum* L.), photosynthetic capacity and ionic relations in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) due to pre-sowing seed treatment with polyamines[J]. Plant Growth Regulation, 2005, 46: 19-30.

- [5] 李璟, 郭世荣, 胡晓辉. 外源亚精胺对低氧胁迫下黄瓜根系多胺含量和呼吸代谢酶活性的影响[J]. 西北植物学报, 2006, 26(1): 0092-0097.
- [6] 李璟, 胡晓辉, 郭世荣, 等. 外源亚精胺对根际低氧胁迫下黄瓜幼苗根系多胺含量和抗氧化酶活性的影响[J]. 植物生态学报, 2006, 30(1): 118-123.
- [7] Zeid I M. Response of bean (*Phaseolus vulgaris*) to exogenous putrescine treatment under salinity stress[J]. Pakistan Journal of Biological Sciences, 2004(7): 219-225.
- [8] Roy P, Niyogi K, SenGupta D N, et al. Spermidine treatment to rice seedlings recovers salinity stress-induced damage of plasma membrane and PM-bound H^{+} -ATPase in salt-tolerant and salt-sensitive rice cultivars[J]. Plant Science, 2005, 168: 583-591.
- [9] Kasukabe Y, He L X, Nada K, et al. Overexpression of spermidine synthase enhances tolerance to multiple environmental stresses and upregulates the expression of various stress-regulated genes in transgenic *Arabidopsis thaliana* [J]. Plant Cell Physiology, 2004, 45: 712-722.
- [10] Kasukabe Y, He L X, Watakabe Y, et al. Improvement of environmental stress tolerance of sweet potato by introduction of genes for spermidine synthase[J]. Plant Biotechnol, 2006, 23: 75-83.
- [11] 丁顺华, 邱念伟, 杨洪兵, 等. 小麦耐盐性生理指标的选择[J]. 植物生理学通讯, 2001, 37(2): 98-102.
- [12] Dhindsa RS, Plumb-Dhindsa P, Thorpe T A. Leaf senescence correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation and decreased levels of dismutase and catalase[J]. Journal of Experimental Botany, 1981, 32: 91-101.
- [13] 曾韶西, 王以柔, 李美如. 不同胁迫预处理提高水稻幼苗抗寒期间膜保护系统变化比较[J]. 植物学报, 1997, 39(4): 308-314.
- [14] 孙诚, 刘友良, 章文华. 多胺浸种改善盐胁迫大麦根系液泡膜功能的机理[J]. 植物学报, 2002, 44(10): 1167-1172.
- [15] Zapata P J, Serrano M, Pretel M T, et al. Polyamines and ethylene changes during germination of different plant species under salinity [J]. Plant Science, 2004, 167: 781-788.
- [16] 陈淑芳. GA 诱导 NaCl 胁迫下黄瓜种子萌发和幼苗耐盐性效应[J]. 西北植物学报, 2008, 28(7): 1429-1433.
- [17] Apsey M P, Blumwald E. Engineering salt tolerance in plants[J]. Current Opinion in Biotechnology, 2002, 13: 146-150.
- [18] Duan J J, Li J, Guo S R, et al. Exogenous spermidine affects polyamine metabolism in salinity-stressed *Cucumis sativus* roots and enhances short-term salinity tolerance[J]. Journal of plant physiology, 2008, 165: 1620-1635.
- [19] Sairam R K, Rao K V, Srivastava G C. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration[J]. Plant Science, 2002, 163: 1037-1046.
- [20] Parida A K, Das A B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2005, 60: 324-349.
- [21] Shen W Y, Nada K, Tachibana S. Involvement of polyamines in the chilling tolerance of cucumber cultivars[J]. Plant Physiology, 2000, 124: 431-439.
- [22] Chattopadhyay M K, Tiwari B S, Chattopadhyay G, et al. Protective role of exogenous polyamines on salinity-stressed rice (*Oryza sativa*) plants [J]. Physiologia Plantarum, 2002, 116: 192-199.
- [23] 王学, 施国新, 马广岳, 等. 外源亚精胺对苜蓿抗 Hg^{2+} 胁迫能力的影响[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2004, 30(1): 69-74.

Induction Effect of Spd on Salt Tolerance in Tomato Seed Germination and Seedling

HU Xiao-hui, ZOU Zhi-rong, YANG Zhen-chao, AN Na

(College of Horticulture, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shaanxi, 712100, China)

Abstract: The tomato cultivar ‘Baiguoqiangfeng’ seeds were soaked in the liquor of Spd 0.1, 0.25, 0.5 mmol/L and distilled water, effects of Spd on tomato seed germination and seedling growth under NaCl stress were studied. The results showed, in the range of low concentration, the germination rate, germination vigor, germination index and vigor index were increased radually with the rise of Spd concentration in seed soaking under NaCl stress. The low Spd concentration treatment could increase activities of SOD, POD and CAT in tomato seedling leaves and biomass under NaCl stress. When the concentration of Spd reached 0.25 mmol/L, the effect was best. While the high Spd concentration in seed soaking inhibited seed germination and seedling growth.

Key words: Spd; Tomato; Seed germination; Salt tolerance