

# 外源水杨酸对草莓耐盐性的影响

李长军<sup>1</sup>, 李淑平<sup>2</sup>, 杨瑞红<sup>3</sup>, 原永兵<sup>1</sup>

(1. 青岛农业大学园艺学院, 青岛 266109; 2. 烟台市农业科学院果树所, 烟台 265500; 3. 青岛 市城阳区红岛街道办事处, 青岛 266114)

**摘要:**以草莓盆栽苗、组织培养苗和叶圆片为试材, 探讨了外源水杨酸对提高草莓耐盐性的效果。结果表明: 适当浓度的水杨酸能够降低盐胁迫下草莓叶片质膜相对透性和过氧化程度, 提高叶绿素含量和抗氧化酶活性, 从而缓解 NaCl 对草莓的伤害, 改善草莓的生长状况。不同材料对有效水杨酸浓度的要求存在明显差异, 盆栽苗、组织培养苗和叶圆片的最佳处理浓度分别为 0.4、0.04 和 0.1 mmol · L<sup>-1</sup>。

**关键词:** 水杨酸; 草莓; 耐盐性

中图分类号: S668.4      文献标识码: A      文章编号: 1002-2767(2008)06-0077-04

## Effects of Exogenous Salicylic Acid on Salt-tolerance in Strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.)

LI Chang-jun<sup>1</sup>, LI Shu-ping<sup>2</sup>, YANG Rui-hong<sup>3</sup>, YUAN Yong-bing<sup>1</sup>

(1. Horticultural College of Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109; 2. Tree Fruit Institute of Yantai Academy of Agricultural Sciences, Yantai 265500; 3. Hongdao Subdistrict Office of Chengyang District in Qingdao City, Qingdao 266114)

**Abstract:** Took potting seedling, subculture *in vitro* and leaf disc as experimental materials, the effect of exogenous salicylic acid(SA) on promoting salt-tolerance of strawberry was conducted. The results showed that exogenous salicylic acid at appropriate concentrations reduced cell relative permeability and lipid peroxidation, increased the content of chlorophyll and activities of antioxidative enzymes, thus reduced the injury caused by NaCl and enhanced the growth of strawberry. The effective SA concentrations to different materials were different obviously. The optimum SA concentration to potting seedling was 0.4 mmol · L<sup>-1</sup> while that of subculture *in vitro* and leaf disc were 0.04 and 0.1 mmol · L<sup>-1</sup>, respectively.

**Key words:** salicylic acid; strawberry; salt-tolerance

盐害一直制约着世界范围内农业生产的发展<sup>[1]</sup>。特别是近年来由于气候异常、工业污染加重、设施与灌溉农业管理措施不当等因素加剧了土壤的次生盐渍化, 导致盐害面积不断扩大。因此, 旨在降低盐害的各种措施如改良土壤、培育耐盐品种以及改进栽培管理技术等已成为研究的热点。盐分增加首先降低了土壤溶液水势, 导致根系水分吸收障碍, 引发生理干旱<sup>[2]</sup>, 并进一步造成氧化胁迫。其中, 活性氧(reactive oxygen species, ROS)代谢紊乱诱发的 ROS 大量积累, 是导致盐胁迫下植物细胞凋亡的

重要因子<sup>[3]</sup>。所以, 设法通过改善农艺措施来提高植物的抗氧化能力不失为一条较为便捷可行的途径。

水杨酸(Salicylic acid, SA)是诱导植物产生系统抗性的信号分子<sup>[4]</sup>, 在植物对病原物侵染的防卫反应中发挥重要作用。并且越来越多的研究表明, 水杨酸在植物抵御非生物逆境中也扮演着重要的角色。外源 SA 处理能够提高玉米<sup>[5]</sup>、毛豆<sup>[6]</sup>、大麦<sup>[7]</sup>对低温、水分胁迫和重金属等的抗性。而这种作用都与水杨酸能够降低活性氧, 提高超氧化物歧化酶和过氧化物酶等抗氧化酶的活性, 从而减轻氧化伤害有密切的关系。然而, 目前的研究还主要集中在水杨酸对提高植物对各种生物与非生物逆境适应性的作用具有普遍性上, 而对水杨酸的作用机理的研究还不够深入。首要的障碍就是材料选择问题。

草莓是一种对 NaCl 十分敏感的作物, 已有报

收稿日期: 2008-03-19  
基金项目: 青岛市科技计划资助项目(06-2-2-15-jch)  
第一作者简介: 李长军(1981-), 男, 山东沂源人, 在读硕士, 主要从事果树逆境生理的研究。Tel: 13695426470; E-mail: li-changjun\_163@163.com.cn.  
通讯作者: 原永兵, E-mail: yyb@qau.edu.cn.

道证实水杨酸也能够提高其对盐胁迫的抗性<sup>[8]</sup>。然而研究没有涉及草莓不同组织的比较,仍旧停留在检验水杨酸提高植物抗性具有普遍性上。本研究拟采用完整植株、组织培养幼苗和叶片为试材,选用各自造成适度盐害的盐浓度,分析和比较外源水杨酸同施对提高草莓综合耐盐能力的作用效果与特点,为进一步选用合适的材料研究水杨酸提高草莓耐盐性的机制提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料处理

供试草莓品种为鲜红。选取生长一致的健壮草莓匍匐茎苗,定植于盛有洗净河沙的陶盆中,每盆3株,然后放入温室中培养。加盐处理前每隔7 d 浇一次 Hoagland 营养液。定植12 d 后,先将陶盆排水孔塞住,再向每个盆中施入500 mL 以 $100\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaCl}$ 溶液配制的水杨酸溶液( $0, 0.01, 0.04, 0.10, 0.40, 1.00\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ),然后在基质表面覆膜以减少水分蒸发。处理后每隔10 d 浇一次营养液。

另将草莓茎尖增殖苗接种到含有 $50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaCl}$ 与不同浓度水杨酸(同上)的MS培养基上,然后放入组培室进行培养,每个培养瓶接种3株。培养条件:温度为 $(25\pm1)^{\circ}\text{C}$ ,光照强度为 $2\,000\text{ lx}$ (16 h 光照/8 h 不光照)。叶圆片处理则是选取完全展开的草莓叶片,先用蒸馏水清除表面灰尘,再用70%酒精灭菌10 s。无菌水冲洗5次,滤纸擦干后,用直径1 cm 的打孔器打取叶圆片,离轴面朝上放入

含有 $50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NaCl}$ 与不同浓度水杨酸(同上)的混合培养液中,然后放入组培室进行培养。以上所有处理均设置5个重复。

### 1.2 指标测定

草莓盆栽苗于定植后42 d、组织培养苗于接种后40 d、叶圆片于培养后3 d 分别取样,进行指标测定。株高和根长采用直接测量法测定,叶片电解质渗出率、叶绿素含量分别采用电导法<sup>[9]</sup>、丙酮-乙醇浸提法<sup>[10]</sup>测定,MDA 含量、CAT、POD 与SOD 分别采用硫代巴比妥酸比色法<sup>[11]</sup>、紫外分光光度法、愈创木酚法和氮蓝四唑法<sup>[12]</sup>测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 生长状况

植株的生长状况能够直观反映出盐胁迫对植物的伤害程度。由图1可以看出,在NaCl胁迫下,草莓盆栽苗和组织培养苗地上部和根系的生长都受到严重的抑制,同施外源水杨酸能不同程度地缓解NaCl对幼苗地上部和根系生长的抑制,增加株高和根长。在试验所采用的浓度范围内,随着水杨酸浓度的升高,盆栽苗和组织培养苗的生长都表现出先增强后减弱的趋势。与单盐处理相比, $0.40\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的水杨酸对盆栽苗生长的促进作用最明显,株高、根长分别增加了35.8%、89.0%。组培苗则以 $0.04\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 对改善生长的效果最好,株高和根长分别增加121.8%、51.4%, $0.10\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 次之。

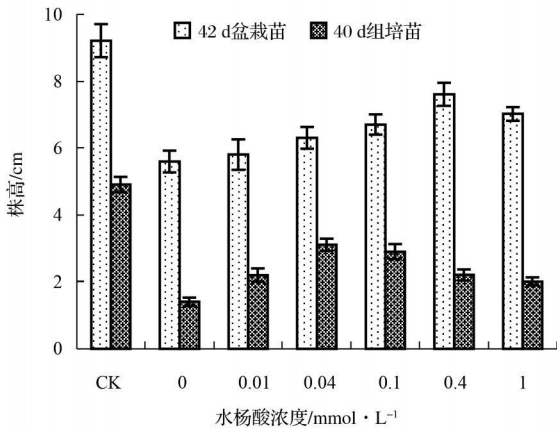
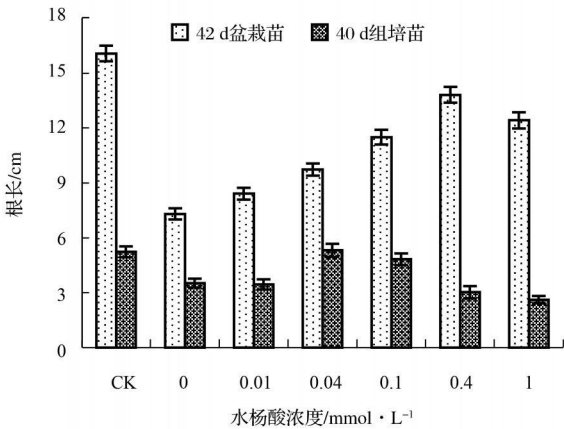


图1 水杨酸对NaCl胁迫下草莓苗生长状况的影响



### 2.2 电解质渗出率和叶绿素含量

图2表明,与对照相比,NaCl胁迫显著提高了草莓苗和叶圆片的电解质渗出率,同时降低了叶绿素含量,表明NaCl处理不但破坏了叶片细胞膜的完整性,而且破坏了叶片中的叶绿素。外源水杨酸能不同程度地减轻叶片电解质泄漏,抑制NaCl造成的叶绿素降解。与单盐处理相比, $0.40\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸处理使盆栽苗叶片的电解质渗出率降低

了18.6%,而叶绿素含量提高了23.7%。对于组织培养苗和叶圆片来说,较低浓度的水杨酸对减轻电解质泄漏的作用较强,其中 $0.04\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.10\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 分别使两者的电解质渗出率降低了18.1%和12.9%,而叶绿素含量分别提高了76.2%和19.9%。组织培养苗叶绿素含量普遍低于盆栽苗和叶圆片,并且 $0.40\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸处理的含量最高。

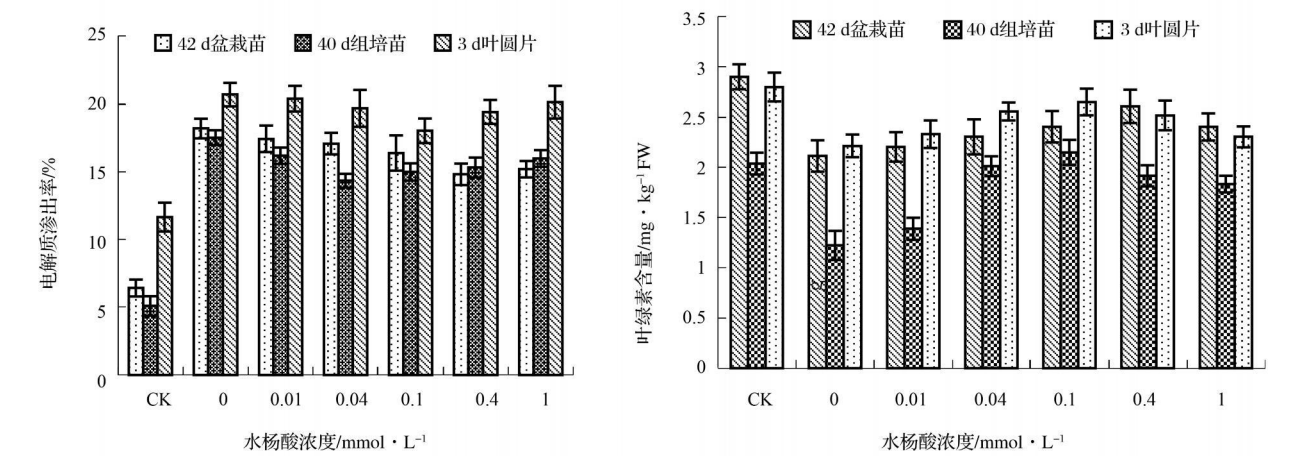


图 2 水杨酸对 NaCl 胁迫下草莓电解质渗出率和叶绿素含量的影响

2.3 丙二醛含量和抗氧化酶活性

从图 3 可以看出, 与对照相比, NaCl 胁迫使草莓叶片发生膜脂过氧化, 引起过氧化产物丙二醛含量的增加, 以盆栽苗和组织培养苗表现尤为明显。与单盐处理相比, 0.40 mmol · L<sup>-1</sup> 的水杨酸显著抑制了盆栽苗叶片丙二醛的积累, 0.04 和 0.10 mmol · L<sup>-1</sup> 的水杨酸则分别抑制了组织培养苗和叶圆片膜脂过氧化, 分别为 25.0%、18.7% 和 19.4%。过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)和超氧化

物歧化酶(SOD)是植物体内清除活性氧的主要酶类。图 3 表明, 与单盐处理相比, 一定浓度范围的外源水杨酸能够提高三种抗氧化酶的活性, 其中 0.40、0.04 和 0.10 mmol · L<sup>-1</sup> 的水杨酸使盆栽苗、组织培养苗和叶圆片的 CAT 活性分别提高了 11.2%、21.8% 和 29.7%, SOD 活性也分别提高了 20.0%、25.2% 和 29.6%。盆栽苗和叶圆片的 POD 活性以 0.40 和 0.10 mmol · L<sup>-1</sup> 水杨酸处理的最高, 而组织培养苗以 1.00 mmol · L<sup>-1</sup> 水杨酸处理的较高。

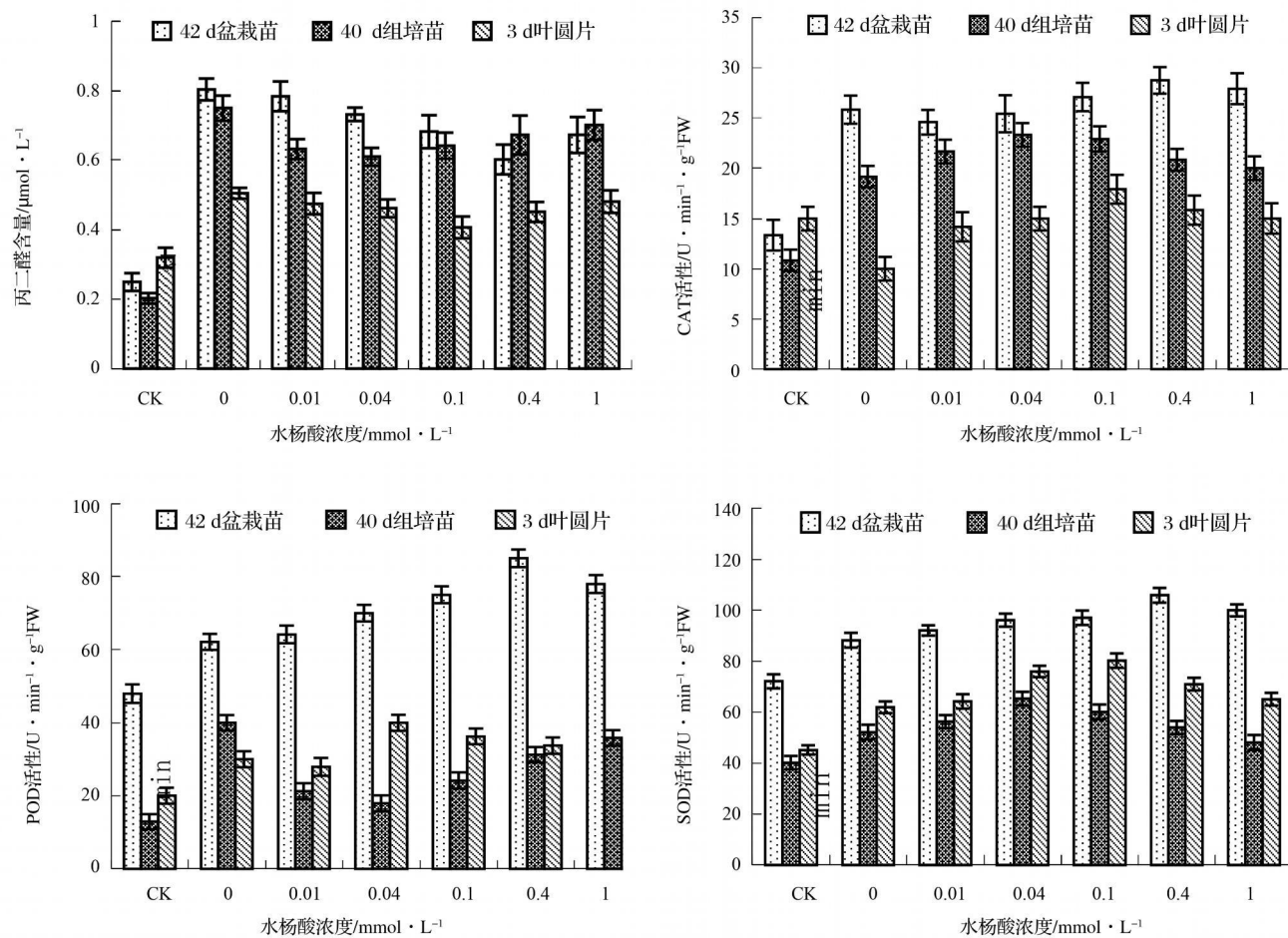


图 3 水杨酸对 NaCl 胁迫下草莓丙二醛含量和抗氧化酶活性的影响

3 讨论

植物遭受盐害后最普遍、最显著的表现就是生长受抑。草莓在土壤含盐量为 0.05% 时生长即受到严重影响<sup>[13]</sup>。虽然不同植物对 NaCl 胁迫的敏感性不同,但随着 NaCl 浓度的增大,受到伤害程度都会加重。马敬坤等<sup>[14]</sup>认为,盐浓度过高造成盐害过重,导致水杨酸所具有的对盐害的缓解作用表现不明显。相反,盐浓度过低则不能造成植物明显的盐害症状,同样导致水杨酸应有的作用不能充分表现。所以,本研究预先采用植株生长受抑程度和叶片坏死程度来选择能够造成适度伤害的盐浓度,发现不同草莓组织的耐盐能力存在差异,地上部组织比根系对盐更敏感。

细胞膜系统是植物受盐害的主要部位<sup>[15]</sup>。电解质渗透率能直接反映盐胁迫下膜受伤害程度<sup>[16]</sup>,而 MDA 含量高低是膜脂过氧化作用强弱的一个重要指标<sup>[17]</sup>。盐胁迫同施适当浓度外源 SA 能降低叶片电解质渗透率和 MDA 含量,表明 SA 对细胞膜的完整性具有保护作用。此外,SA 处理还能维持叶片较高的叶绿素含量,增加植株高度和根系长度,最终改善草莓幼苗的生长状况,这一结果与在其他植物如黄瓜<sup>[18]</sup>、小麦<sup>[19]</sup>上研究结果相一致。提高草莓盆栽植株、组培苗和叶圆片耐盐性最明显的水杨酸浓度不尽相同,分别为 0.40、0.04 和 0.10 mmol·L<sup>-1</sup>,表明缓解三种草莓材料盐害的有效水杨酸浓度存在一定差异。许多研究也证实,对于不同植物来说,能够有效缓解盐害的水杨酸浓度也有所不同。0.2 g·L<sup>-1</sup> 的 SA 处理提高黄芩对 0.5% NaCl 胁迫的抗性效果最明显<sup>[20]</sup>,而 0.15 g·L<sup>-1</sup> 的 SA 对提高 200 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl 胁迫下的黄瓜的耐盐能力最好<sup>[21]</sup>。适当浓度水杨酸能够有效提高植物耐盐性的机制可能与活性氧的积累量有关。Rao 等<sup>[22]</sup>发现,水杨酸处理提高了拟南芥叶片中 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的含量,H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的含量随水杨酸浓度的变化而变化。1 和 5 mmol·L<sup>-1</sup> 水杨酸处理 8 h 的叶片中 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 含量分别增加 59% 和 194%,高于 5 mmol·L<sup>-1</sup> 的水杨酸培养的则出现毒害症状。针对这一现象,有人提出了部分可能的解释:水杨酸在提高植物抗逆性方面存在正负效应,而且正负效应与其诱导的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 水平有关。低浓度水杨酸可能诱导适度的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 积累,进而诱导防卫反应的产生;高浓度水杨酸或细胞内高水平的水杨酸则可能诱导细胞内 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 过量积累,造成重度氧化胁迫,加剧了逆境伤害<sup>[23]</sup>。

逆境胁迫下,虽然不同植物、同种植物的不同组织耐盐性提高所需要的有效水杨酸浓度存在一些差异,但是都集中在一个较小的浓度范围内,这为进一步研究 SA 的作用机制提供了依据。

参考文献:

[1] Tang W, Newton R J. Polyamines reduce salt-induced oxida-

tive damage by increasing the activities of antioxidant enzymes and decreasing lipid peroxidation in Virginia pine [J]. Plant Growth Regulation, 2005 46: 31-43.

[2] Bohnert H J, Nelson D E, Jensen R G. Adaptations to environmental stresses [J]. The Plant Cell, 1995, 7: 1099-1111.

[3] Bethke P C, Jones R L. Cell death of barley aleurone protoplasts is mediated by reactive oxygen species [J]. The Plant Journal, 2001, 25(1): 19-29.

[4] Shirasu K, Nakajima H, Rajashekar K, et al. Salicylic acid potentiates an agonist-dependent gain control that amplifies pathogen signal in the activation of defense mechanisms [J]. Plant Cell, 1997, 9: 261-270.

[5] Janda T, Szalai G, Tari I, et al. Hydroponic treatment with salicylic acid decreases the effects of chilling injury in maize (*Zea mays* L.) plants [J]. Planta, 1999, 208: 175-180.

[6] 吴建国, 陆晓民, 张晓婷, 等. 水分胁迫下水杨酸对毛豆幼苗生长及其抗渍性的影响 [J]. 中国农学通报, 2006, 22(1): 153-155.

[7] Metwally A, Finkemeier I, Georgi M, et al. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings [J]. Plant Physiology, 2003, 132: 272-281.

[8] 徐锴, 金芳. 外源激素对盐胁迫下草莓光合性能的影响 [J]. 甘肃农业大学学报, 2006, 4(2): 31-34.

[9] 李锦树, 王洪春. 干旱对玉米叶片细胞膜透性及膜脂的影响 [J]. 植物生理学报, 1983(9): 223-229.

[10] 李得孝, 员海燕, 郭月霞, 等. 混合液浸提法测定玉米叶绿素含量的研究 [J]. 玉米科学, 2006, 14(1): 117-119.

[11] 赵世杰, 许长城, 邹琦. 植物组织中丙二醛测定方法的改进 [J]. 植物生理学通讯, 1994, 30(3): 207-210.

[12] 李合生. 植物生理生化试验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.

[13] Bernstein L. Effect of salinity and solinity on plant growth [J]. Ann Rev Plant Physiol, 1975, 26: 295-312.

[14] 马敬坤, 袁永泽, 欧吉权, 等. 外源水杨酸对水稻 (*Oryza sativa* L.) 幼苗根的 NaCl 胁迫缓解效应 [J]. 武汉大学学报 (理学版), 2006, 52(4): 471-474.

[15] 刘友良, 汪良驹. 植物对盐胁迫的反应和耐盐性 [M] // 余叔文, 汤章城. 植物生理与分子生物学, 北京: 科学技术出版社, 1998: 752-769.

[16] 李卫欣, 陈贵林, 赵利, 等. NaCl 胁迫下不同南瓜幼苗耐盐性研究 [J]. 植物遗传资源学报, 2006, 7(2): 192-196.

[17] 陈少裕. 膜脂过氧化与植物逆境胁迫 [J]. 植物学通报, 1989, 6(4): 211-217.

[18] 尚庆茂, 宋士清, 张志刚, 等. 水杨酸增强黄瓜幼苗耐盐性的生理机制 [J]. 中国农业科学, 2007, 40(1): 147-152.

[19] 张士功, 高吉寅, 宋景芝. 水杨酸对小麦高盐毒害的缓解作用 [J]. 应用与环境生物学报, 1999, 5(3): 264-267.

[20] 王淑芳, 杨雪清, 田桂香, 等. 水杨酸对 NaCl 胁迫下黄芩幼苗生长的影响 [J]. 西南师范大学学报 (自然科学版), 2006, 31(5): 159-162.

[21] 宋士清, 郭世荣, 尚庆茂, 等. 外源 SA 对盐胁迫下黄瓜幼苗的生理效应 [J]. 园艺学报, 2006, 33(1): 68-72.

[22] Mulpuri V, Rao, Gopinadhan Paliyath, Douglas P. Ormrod, et al. Influence of Salicylic Acid on H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Production, Oxidative Stress, and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Metabolizing Enzymes [J]. Plant Physiol, 1997, 11(5): 137-149.

[23] 康国章, 孙谷畴. 水杨酸在植物抗环境胁迫中的作用 [J]. 广西植物, 2004, 24(2): 178-183.