

外源水杨酸对盐胁迫下广藿香种子萌发和幼苗生长的影响

江绪文, 李贺勤*

青岛农业大学农学与植物保护学院 山东省旱作农业技术重点实验室, 山东 青岛 266109

摘要: 目的 研究外源水杨酸(SA)对盐(NaCl)胁迫下广藿香 *Pogostemon cablin* 种子萌发和幼苗生长的影响, 并筛选缓解盐胁迫的SA最适浓度。方法 用50 mmol/L NaCl溶液模拟盐胁迫, 采用纸上发芽, 研究不同浓度梯度外源SA处理对盐胁迫下广藿香种子的发芽势(GE)、发芽率(GR)、发芽指数(GI)、活力指数(VI)、苗长(SL)、根长(RL)、苗鲜质量(SFW)、苗干质量(SDW)、叶绿素量(SPAD值)、可溶性蛋白质(SP)量和丙二醛(MDA)量的变化, 并对各指标进行相对盐害率分析。结果 盐胁迫显著抑制了广藿香种子萌发和幼苗生长。0.10和0.25 mmol/L SA处理均可有效缓解广藿香盐害程度, 而0.50 mmol/L SA处理却加剧了盐害程度。综合考虑各项指标, 0.25 mmol/L SA处理的盐害缓解效果最好, 与盐对照相比, GE、GR、GI、VI、SL、RL、SFW、SDW、SPAD值和SP量分别显著提高46.02%、27.45%、30.16%、92.63%、39.80%、47.94%、26.48%、18.85%、15.94%和14.70%, 且叶片MDA量显著降低18.35%。结论 一定浓度范围的SA可明显缓解盐胁迫对广藿香种子萌发和幼苗生长的抑制作用, 提高广藿香种子的萌发能力和幼苗对环境的适应能力, 以0.25 mmol/L SA效果最佳, 但过高质量浓度SA处理会加剧盐胁迫对广藿香的不利影响。

关键词: 广藿香; 水杨酸; 盐胁迫; 种子萌发; 幼苗生长

中图分类号: R282.2 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2015)15-2303-06

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2015.15.022

Effects of exogenous salicylic acid on seed germination and seedling growth of *Pogostemon cablin* under salt stress

JIANG Xu-wen, LI He-qin

Shandong Provincial Key Laboratory of Dryland Technology, College of Agronomy and Plant Protection, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China

Abstract: Objective To study the effects of exogenous salicylic acid (SA) on the seed germination and seedling growth of *Pogostemon cablin* under salt stress and the optimal concentration of SA for alleviating the salt stress. **Methods** Under salt stress simulated by 50 mmol/L NaCl solution, *P. cablin* was used to investigate the effects of exogenous SA on the seed germination and seedling growth with paper media. The germination energy (GE), germination rate (GR), germination index (GI), vigor index (VI), seedling length (SL), root length (RL), seedling fresh weight (SFW), seedling dry weight (SDW), and contents of soluble protein (SP) and chlorophyll in the leaves were determined, and the relative salt-damage rate of these indexes was analyzed. **Results** The seed germination and seedling growth of *P. cablin* were significantly inhibited under 50 mmol/L NaCl stress. Compared with NaCl stress, the seed germination and seedling growth were improved when SA were 0.10 and 0.25 mmol/L, while reduced when SA was 0.50 mmol/L. GE, GR, GI, VI, SL, RL, SFW, SDW, and contents of SP and chlorophyll were significantly improved by 46.02%, 27.45%, 30.16%, 92.63%, 39.80%, 47.94%, 26.48%, 18.85%, 15.94%, and 14.70% with 0.25 mmol/L SA, as well as MDA content was significantly reduced by 18.35%. **Conclusion** SA could improve the ability of the seed germination and seedling growth of *P. cablin* to adapt the environment and alleviate the inhibitory effects of salt stress. Among all the treatments, the optimal concentration of SA is 0.25 mmol/L.

Key words: *Pogostemon cablin* (Blanco) Benth.; salicylic acid; salt stress; seed germination; seedling growth

收稿日期: 2015-02-17

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303002); 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金(BS2014NY007); 青岛农业大学高层次人才引进项目(631346); 山东省旱地作物水分高效利用创新团队项目(62112N5)

作者简介: 江绪文, 博士, 讲师, 主要从事种子活力方面研究。Tel: (0532)86080447 E-mail: mjxw888@163.com

*通信作者 李贺勤 Tel: (0532)86080447 E-mail: hqiaau@163.com

广藿香 *Pogostemon cablin* (Blanco) Benth. 为唇形科多年生草本植物, 以地上部分入药, 有芳香化浊、和中止呕、发表解暑之功效^[1]。近年来广藿香被广泛用于药材和香料原料生产, 成为一种药香兼用植物, 每年的需求量较大。我国福建、台湾、广东、海南、广西等地已开展了广藿香的规模化人工栽培。在栽培生产中发现土壤盐渍化严重抑制广藿香种子的萌发和幼苗生长, 同时会对其产量和品质产生不利影响。近年来, 有关广藿香的化学成分^[2]、药理作用^[3]、栽培措施^[4-5]、基因克隆^[6]等方面研究已有报道, 但关于其种子萌发方面的研究甚少, 尤其是关于水杨酸 (salicylic acid, SA) 处理广藿香种子方面的研究还鲜有报道。而 SA 作为一种能调节植物生长发育的小分子酚类物质^[7], 已有研究表明其具有参与调节植物生长发育及响应盐胁迫等作用^[8-9]。种子在发芽阶段的耐盐状况在一定程度上能够反映该植物的耐盐程度^[10]。

因此, 本研究以广藿香种子为材料, 研究外源 SA 对盐胁迫条件下广藿香种子萌发和幼苗生长的影响, 并筛选能有效缓解其盐害、提高植株耐盐能力的最适 SA 浓度, 以期为增强广藿香苗期抗盐性, 促进其规范化栽培生产等方面提供依据。

1 实验材料

供试材料由江苏源丰种业提供, 经北京师范大学教育部资源药物工程研究中心杜树山教授鉴定为广藿香 *Pogostemon cablin* (Blanco) Benth. 的干燥成熟种子; 根据文献方法^[11]测得千粒质量为 0.52 g, 水分量为 9.60%。SA 由天津市津北精细化工有限公司生产。

2 方法

2.1 试验设计

选取饱满健壮、大小均匀的足够量广藿香种子, 0.5% NaClO 溶液消毒 10 min 后, 无菌水清洗 3 遍, 然后用吸水纸吸去种子表面浮水, 备用。根据郭巧生等^[4]研究结果并结合预试验, 采用 50 mmol/L NaCl 溶液模拟盐胁迫, 并用该盐溶液为溶剂配制 3 个不同浓度梯度的 SA 溶液 (T1~T3), 另设无菌水对照 CK1 和盐对照 CK2, 共 5 个处理 (表 1)。

2.2 发芽试验

采用纸床发芽, 在发芽盒底部垫 2 层发芽纸, 加入上述相应处理液充分润湿后, 去除余液, 将种子整齐置床后, 盖上盒盖, 置于智能人工气候箱中进行发芽, 30 °C, 8 h 光照, 每处理 3 个重复, 每

表 1 不同处理组合

Table 1 Treatments by different combinations

处理	NaCl 浓度/(mmol·L ⁻¹)	SA 浓度/(mmol·L ⁻¹)
CK1	0	0
CK2	50	0
T1	50	0.10
T2	50	0.25
T3	50	0.50

重复 100 粒种子。此外, 每处理另设 8 个重复用于幼苗生理指标测定。

2.3 种子萌发指标测定

逐日观察并统计发芽种子数, 于第 4 天统计发芽势 (germination energy, GE), 第 7 天统计发芽率 (germination rate, GR), 并计算发芽指数 (germination index, GI) 和活力指数 (vigor index, VI), 发芽 7 d 后无新发芽的种子出现。

$$GE = 4 \text{ d 内发芽种子数} / \text{供试种子数}$$

$$GR = 7 \text{ d 内发芽种子数} / \text{供试种子数}$$

$$GI = \sum(G_t/D_t)$$

$$VI = GI \times RL$$

G_t 为第 t 天的发芽种子数, D_t 为对应 G_t 的发芽天数, RL 为根长

2.4 幼苗生长指标测定

在萌发第 14 天, 从各重复中随机选取 10 株幼苗, 测定苗长 (seedling length, SL)、根长 (root length, RL)、苗鲜质量 (seedling fresh weight, SFW) 和苗干质量 (seedling dry weight, SDW, 先 105 °C 烘 2 h, 后 80 °C 烘 6 h)。

2.5 幼苗生理指标测定

在萌发第 14 天, 取幼苗叶片, 采用日本美能达 SPAD-502 微型叶绿素仪对叶绿素量 (SPAD 值) 进行测定; 采用南京建成生物工程研究所的蛋白快速染色试剂盒 (考马斯亮蓝 G-250 法) 测定幼苗叶片可溶性蛋白 (SP) 质量。采用硫代巴比妥酸法^[12]测定幼苗叶片丙二醛 (MDA) 量。

2.6 相对盐害率 (RSR)

参考张振霞等^[13]方法对各项指标的 RSR 进行计算。计算公式: $RSR = (CK1 - T) / CK1$, 其中 CK1 代表无菌水对照各指标的数值, T 代表 CK2、T1、T2 和 T3 处理各指标值。

2.7 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 软件和 SPSS 17.0 (Statistical Package for Social Sciences) 统计分析软

件对数据进行处理和差异显著性检验 (LSD 法)。

3 结果与分析

3.1 SA 对 NaCl 胁迫下广藿香种子萌发的影响

盐胁迫显著降低了广藿香种子的 GE、GR、GI 和 VI ($P<0.05$)。与 CK1 相比, CK2 处理种子的 GE、GR、GI 和 VI 分别降低了 33.08%、22.26%、24.47%和 52.49%。盐胁迫条件下加入一定浓度的 SA 可明显促进广藿香种子的萌发。T1 和 T2 处理 GE、GR、GI 和 VI 显著高于 CK2, 其中 T2 处理 GE、GR、GI 和 VI 提高程度最大, 分别提高了 46.02%、27.45%、30.16%和 92.63%。而 T3 处理除 VI 显著高于 CK2 外, GE、GR 和 GI 均低于 CK2, 但差异均不显著。不同浓度梯度 SA 处理之间, T1 和 T2 处理各项指标均显著高于 T3; T1 和 T2 处理间, T2 处理各项指标均高于 T1, 除 GE 差异不显

著外, 其余指标差异均显著 (表 2)。

3.2 SA 对 NaCl 胁迫下广藿香幼苗生长的影响

盐胁迫显著降低了广藿香幼苗的 SL、RL、SFW 和 SDW ($P<0.05$)。与 CK1 相比, CK2 处理幼苗的 SL、RL、SFW 和 SDW 分别降低了 31.94%、37.01%、24.57%和 27.81%。经 SA 处理后, 除 T1 处理的 SDW 外, T1 和 T2 处理的 SL、RL、SFW 和 SDW 均显著高于 CK2, 其中 T2 处理 4 项指标值均最大, 比 CK2 分别提高了 39.80%、47.94%、26.48%和 18.85%。T1 和 T2 处理间除 RL 指标差异显著外, 其余指标差异均不显著; 而 T3 处理与 CK2 处理相比, SL 和 RL 2 项指标高于 CK2 处理, SL 差异不显著, RL 差异显著, 但 SFW 和 SDW 2 项指标均低于 CK2 处理, 差异不显著 (表 3)。

表 2 不同浓度 SA 对广藿香种子的 GE、GR、GI 和 VI 的影响

Table 2 Effects of SA at different concentration on GE, GR, GI, and VI of *P. cablin* seeds

处理	GE/%	GR/%	GI	VI
CK1	65.75±1.26 a	82.00±1.63 a	31.43±0.19 a	96.90±5.71 a
CK2	44.00±2.58 c	63.75±2.22 c	23.74±0.60 c	46.04±0.49 e
T1	61.50±2.38 b	77.50±2.38 b	29.46±0.77 b	69.51±3.04 c
T2	64.25±2.50 ab	81.25±1.71 a	30.90±0.46 a	88.69±2.68 b
T3	43.25±2.22 c	61.50±2.38 c	23.11±0.56 c	51.33±2.89 d

表中同列不同字母表示 0.05 水平差异显著, 下同

Data in same column followed by different letters indicate significant differences at 0.05 level; same as below

表 3 不同浓度 SA 对广藿香幼苗的 SL、RL、SFW 和 SDW 的影响

Table 3 Effects of SA at different concentration on SL, RL, SFW, and SDW of *P. cablin* seedling

处理	SL/cm	RL/cm	SFW/(mg·株 ⁻¹)	SDW/(mg·株 ⁻¹)
CK1	1.44±0.09 a	3.08±0.21 a	16.8±0.5 a	1.6±0.1 a
CK2	0.98±0.17 b	1.94±0.08 d	12.7±1.0 b	1.2±0.1 cd
T1	1.25±0.04 a	2.60±0.09 b	15.8±0.7 a	1.4±0.1 bc
T2	1.37±0.05 a	2.87±0.10 a	16.0±0.7 a	1.5±0.1 b
T3	1.05±0.12 b	2.22±0.18 c	12.0±0.7 b	1.1±0.1 d

3.3 SA 对 NaCl 胁迫下广藿香幼苗生理指标的影响

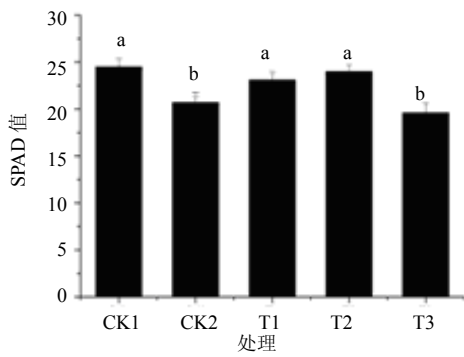
3.3.1 幼苗叶 SPAD 值

盐胁迫显著降低了广藿香幼苗中的 SPAD 值 ($P<0.05$)。经 SA 处理后, T1 和 T2 处理的 SPAD 值比 CK2 处理分别提高了 11.59%和 15.94%, 且差异均显著。与 CK1 相比, T1 和 T2 处理的 SPAD 值略有降低但差异不显著。T1 和 T2 处理间差异不显著。此外, T3 处理的 SPAD 值比 CK2 处理下降了 5.31%, 但差异不显

著 (图 1)。

3.3.2 幼苗叶片 SP 量

盐胁迫显著降低了广藿香幼苗叶片的 SP 量 ($P<0.05$)。与 CK2 处理相比, T1 和 T2 处理的 SP 量均显著上升, 且分别提高了 9.04%和 14.70%, 但 T1 和 T2 两处理间差异不显著; 此外, T2 处理与 CK1 差异不显著。但 T3 处理与 CK2 处理相比, 幼苗叶片 SP 量下降了 7.08%, 但差异不显著 (图 2)。



同列不同字母表示 0.05 水平差异显著, 下同
Data in same column followed by different letters indicate significant differences at 0.05 level, same as below

图 1 不同浓度 SA 对广藿香幼苗 SPAD 值的影响

Fig. 1 Effects of SA at different concentration on chlorophyll content of *P. cablin* seedling

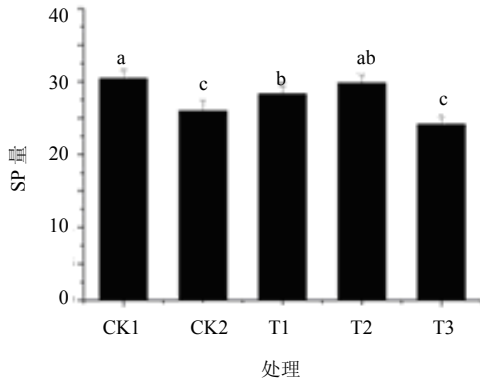


图 2 不同浓度 SA 对广藿香幼苗叶片 SP 量的影响

Fig. 2 Effects of SA at different concentration on soluble protein content of *P. cablin* seedling

3.3.3 幼苗叶片 MDA 量 盐胁迫显著提高了广藿香幼苗叶片 MDA 量 ($P < 0.05$)。与 CK2 处理相比, 经 SA 处理后, T1 和 T2 处理的 MDA 量分别显著降低了 14.05% 和 18.35%, T3 处理的 MDA 量降低了 4.63%, 但差异不显著。T1 和 T2 处理间差异不显著。但 T1、T2 和 T3 处理的 MDA 量显著高于 CK1 (图 3)。

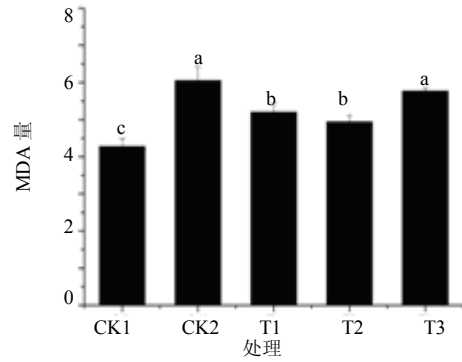


图 3 不同浓度 SA 对广藿香幼苗叶片 MDA 量的影响

Fig. 3 Effects of SA at different concentration on MDA content of *P. cablin* seedling

3.4 SA 对 NaCl 胁迫下广藿香种子萌发和幼苗生长及其生理指标 RSR 的影响

不同处理的广藿香种子萌发、幼苗生长及其生理指标 RSR 值排序如下: GE、GR、GI、SFW、SDW、SPAD 值和 SP 量 7 项指标 RSR 值大小顺序均为 T3 > CK2 > T1 > T2 > CK1; 而 VI、SL、RL 和 MDA 量 4 项指标 RSR 大小顺序均为 CK2 > T3 > T1 > T2 > CK1 (表 4 和 5)。这说明盐胁迫对广藿香种子的萌发、幼苗生长及其正常生理代谢产生了不利影响, 采用适宜浓度的外源 SA 可有效缓解盐胁迫作用。通过比较各处理 11 项指标 RSR 值的大小可见, 3 个不同浓度 SA 处理均能够降低 VI、SL、RL 和 MDA 量的盐害程度, 但从 GE、GR、GI、SFW、SDW、SPAD 值和 SP 量 7 项指标来看, T1 和 T2 处理能够有效降低这 7 项指标的盐害程度, 但 T3 处理不仅没有降低反而加剧了这 7 项指标的盐害程度。比较 T1 和 T2 处理各项指标 RSR 值可见, T2 处理均小于 T1 处理, 其中除 SFW、SDW 和 MDA 量 3 项指标差异不显著外, 其余指标差异均显著 (表 4 和 5)。总之, 施加适宜浓度的外源 SA 能有效缓解盐胁迫对广藿香种子萌发和幼苗生长产生的不利影响,

表 4 不同浓度 SA 对广藿香种子萌发指标 RSR 的影响

Table 4 Effects of SA at different concentration on RSR of *P. cablin* seed germination

处理	RSR/%			
	GE	GR	GI	VI
CK1	0±0 c	0±0 d	0±0 d	0±0 e
CK2	33.11±2.79 a	22.27±1.42 b	24.46±1.52 b	52.39±2.35 a
T1	6.48±2.60 b	5.50±1.59 c	6.29±1.91 c	28.22±1.75 c
T2	2.31±2.01 c	0.91±0.61 d	1.68±0.97 d	8.34±3.45 d
T3	34.24±2.35 a	25.01±1.77 a	26.49±1.34 a	47.02±0.72 b

表 5 不同浓度 SA 对广藿香幼苗生长及其生理指标 RSR 的影响

Table 5 Effects of SA at different concentration on RSR of *P. cablin* seedling growth and its physiological indexes

处理	RSR/%						
	SL	RL	SFW	SDW	SPAD 值	SP 量	MDA 量
CK1	0±0 c	0±0 e	0±0 b	0±0 c	0±0 d	0±0 e	0±0 a
CK2	32.06±7.84 a	36.99±2.32 a	24.65±3.50 a	28.19±4.57 a	15.61±0.79 b	14.59±2.20 b	41.32±4.77 c
T1	12.65±2.79 b	15.63±3.51 c	5.46±6.26 b	16.08±2.39 b	5.68±2.71 c	6.83±0.87 c	21.46±4.08 b
T2	4.54±2.53 c	6.77±3.26 d	4.64±1.48 b	14.27±1.09 b	2.16±1.22 d	2.01±0.10 d	15.32±1.99 b
T3	26.83±3.84 a	27.92±1.47 b	28.48±2.54 a	31.07±5.64 a	20.14±1.52 a	20.63±0.52 a	34.80±4.93 c

若外源 SA 浓度过高在某些指标上不仅不能起到缓解盐害的效果反而加剧了盐害程度, 综合考虑各项指标 RSR, 本实验最适宜的 SA 处理浓度为 0.25 mmol/L。

4 讨论

种子萌发和幼苗生长是植物生长周期中从生命活动相对静止状态恢复到生理代谢旺盛的生长发育阶段, 也是易受逆境胁迫产生伤害的时期, 提高该阶段植株抗逆性, 减缓逆境产生的不利影响, 直接影响后期植物的产量和质量^[13-14]。SA 具有信号传递功能, 在植物抵抗生物和非生物胁迫反应中起到调节植物生理和代谢过程的作用^[7-8], 被认为是一种提高植物抗逆境胁迫的重要物质, 具有促进逆境胁迫下种子萌发及幼苗生长的作用^[15]。

通过对多种植物种子的研究表明, 盐胁迫对种子萌发有抑制作用, 而 SA 能够提高植物种子对盐胁迫的抗性, 但抗性大小与 SA 浓度有关。如 1.00~4.00 mmol/L 的 SA 能够提高盐胁迫条件下黄瓜种子萌发的数量、速度和质量, 且最适浓度为 2 mmol/L^[16]; 0.10~1.00 mmol/L 的 SA 处理能有效缓解盐胁迫对棉花种子萌发的不利作用, 且 0.50 mmol/L SA 处理下发芽率和发芽势最大^[17]; 0.25 和 0.50 mmol/L SA 能够提高盐胁迫下水稻种子的萌发, 而 1.00、2.50 和 5.00 mmol/L 却延迟甚至抑制种子萌发^[18]; 0.25~1.00 g/L SA 能够缓解盐胁迫对菜豆种子萌发的抑制作用, 且 SA 浓度为 0.50 g/L 时 GE、GR 和 GI 最大值, 而 1.50~2.50 g/L SA 抑制了种子萌发^[19]。本实验结果表明盐胁迫显著降低了广藿香种子的 GE、GR、GI 和 VI, 抑制了种子萌发, 0.10 和 0.25 mmol/L 的外源 SA 处理均可提高这些发芽指标, 且在 0.25 mmol/L SA 处理下提高更显著, 这说明 SA 缓解了盐胁迫对广藿香种子萌发产生的不利影响, 提高了其抗盐能力; 而 0.50

mmol/L SA 处理下, 这些发芽指标有所下降, 说明 SA 加剧了盐胁迫对种子萌发的伤害。本研究结果与前人研究的结果类似, 但植物不同, 盐胁迫下其种子萌发对 SA 的响应不同。SA 在高浓度下对种子萌发的抑制效应, 可能与其影响了种子内萌发代谢酶的活性, 限制了种子内相关物质转化, 导致种子萌发受阻有关^[20], 相关机制需深入研究。由此可知, SA 对盐胁迫的缓解效应与植物的生理条件、SA 处理浓度以及植物种类有关^[21]。

盐胁迫下, 植物细胞内的渗透势增大, 使细胞吸水困难甚至会失水, 产生高渗胁迫和离子毒害, 导致叶绿素合成受阻、细胞膜脂过氧化程度加剧等生理生化反应, 使植物生长受到抑制^[22-24]。为减轻这种伤害, 植物体内会形成复杂的渗透调节系统以适应外界环境。SP 是一种重要的渗透调节物质, 具有提高植物渗透势和抗逆性的作用^[25]。而 SA 作为信号分子, 能够激活植物的抗性反应^[26]。本实验结果表明, 在盐胁迫下广藿香幼苗的膜脂过氧化产物 MDA 量显著升高, SPAD 值和 SP 质量下降明显, 幼苗的 SL、RL、SFW 和 SDW 减小, 这说明盐胁迫下广藿香幼苗的细胞膜受到伤害, 渗透调节能力降低, 叶绿素的分解大于合成, 抑制了幼苗的生长; 0.10 和 0.25 mmol/L 的 SA 处理可提高广藿香幼苗的 SP 质量, 增强其渗透调节能力, 促进了叶绿素的合成, 降低了细胞膜脂过氧化程度, 促进了幼苗的生长, 缓解了盐胁迫对广藿香幼苗的抑制作用。

基于上述分析, 结合种子萌发、幼苗生长及其生理指标 RSR 比较可知, 适宜浓度的外源 SA 处理在一定程度上能缓解 NaCl 胁迫对广藿香种子萌发及幼苗生长产生的不利影响, 这与在棉花^[27]、小麦^[28]、阿月浑子^[29]等植物上的研究结果相似; 其中 0.25 mmol/L SA 处理对盐胁迫缓解效果更好, 但随着 SA 浓度的继续增加, 反而会加剧盐胁迫对广藿

香幼苗生长的抑制作用。这可为广藿香在盐渍地栽培提供理论依据,对农业生产具有重要意义。

参考文献

- [1] 中国药典 [S]. 一部. 2010.
- [2] 曾志, 谭丽贤, 蒙绍金, 等. 广藿香化学成分和指纹图谱研究 [J]. 分析化学, 2006, 34(9): 1249-1254.
- [3] 张英, 张金超, 陈瑶, 等. 广藿香生药、化学及药理学的研究进展 [J]. 中草药, 2006, 37(5): 786-790.
- [4] 郭巧生, 吴友根, 林尤奋, 等. 广藿香苗期生长及其抗氧化酶活性对盐胁迫的响应 [J]. 中国中药杂志, 2009, 34(5): 530-534.
- [5] 卢丽兰, 杨新全, 杨勇, 等. 不同供氮水平对广藿香产量与品质的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(3): 702-708.
- [6] 欧阳蒲月, 沈笑飞, 曾少华, 等. 广藿香八氢番茄红素脱氢酶 PcPDS1 基因克隆和序列分析 [J]. 中草药, 2013, 44(17): 2446-2452.
- [7] Raskin I. Role of salicylic acid in plants [J]. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 1992, 43(4): 439-463.
- [8] Singh P K, Gautam S. Role of salicylic acid on physiological and biochemical mechanism of salinity stress tolerance in plants [J]. *Acta Physiol Plant*, 2013, 35(8): 2345-2353.
- [9] Bahrani A, Pourreza J. Gibberlic acid and salicylic acid effects on seed germination and seedlings growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt stress condition [J]. *World Appl Sci J*, 2012, 18(5): 633-641.
- [10] 宋丽华, 周月君. 盐胁迫对臭椿种子发芽的影响 [J]. 种子, 2008, 27(9): 22-25.
- [11] 颜启传. 种子学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [12] 李贺勤, 张林林, 刘奇志, 等. 接种食细菌线虫对连作草莓幼苗生长及其根际土壤酶活性和矿质氮量影响的研究 [J]. 中国生物防治学报, 2014, 30(3): 355-360.
- [13] 张振霞, 刘萍, 杨中艺. 25个多年生黑麦草品种萌发期对盐胁迫的抗性研究 [J]. 草业科学, 2007, 27(2): 14-19.
- [14] 李德红, 潘瑞焱. 水杨酸在植物中的作用 [J]. 植物生理学通讯, 1995, 31(2): 144-149.
- [15] 夏方山, 毛培胜, 闫慧芳, 等. 水杨酸对植物种子及幼苗抗逆性的影响 [J]. 草业科学, 2014, 31(7): 1367-1373.
- [16] 孙丽娜, 曲敏, 任广涛, 等. 水杨酸对盐胁迫下黄瓜种子萌发和幼苗生长发育的影响 [J]. 东北农业大学学报, 2006, 37(4): 449-453.
- [17] 朱伟, 袁超, 马宗斌, 等. 水杨酸对盐胁迫下棉花种子萌发和幼苗生长的影响 [J]. 江西农业学报, 2009(10): 17-19.
- [18] 王俊斌, 王海凤, 刘海学, 等. 水杨酸促进盐胁迫条件下水稻种子萌发的机理研究 [J]. 华北农学报, 2012, 27(4): 223-227.
- [19] 张凤银, 陈禅友, 胡志辉, 等. 外源水杨酸对盐胁迫下菜豆种子萌发和幼苗生理特性的影响 [J]. 东北农业大学学报, 2013, 44(10): 39-43.
- [20] 王玉萍, 董雯, 张鑫, 等. 水杨酸对盐胁迫下花椰菜种子萌发及幼苗生理特性的影响 [J]. 草业学报, 2012, 21(1): 213-219.
- [21] 孙锦, 贾永霞, 郭世荣, 等. 海水胁迫对菠菜 (*Spinacia oleracea* L.) 叶绿体活性氧和叶绿素代谢的影响 [J]. 生态学报, 2009, 29(8): 4361-4371.
- [22] 徐猛, 马巧荣, 张继涛, 等. 盐胁迫下不同基因型冬小麦渗透及离子的毒害效应 [J]. 生态学报, 2011, 31(3): 784-792.
- [23] 严蓓, 孙锦, 郭世荣, 等. 钙对盐胁迫下黄瓜幼苗生长及可溶性蛋白质表达的影响 [J]. 江苏农业学报, 2012, 28(4): 841-845.
- [24] Sahu G K. Salicylic acid: role in plant physiology and stress tolerance [A]. // *Molecular Stress Physiology of Plants* [M]. Raipur: Springer India, 2013.
- [25] 武香, 倪建伟, 张华新, 等. 盐胁迫下不同盐生植物渗透调节的生理响应 [J]. 东北林业大学学报, 2012, 40(8): 29-33.
- [26] 周万海, 师尚礼, 寇江涛. 外源水杨酸对苜蓿幼苗盐胁迫的缓解效应 [J]. 草业学报, 2012, 21(3): 171-175.
- [27] 刘庆, 董元杰, 刘双, 等. 外源 SA 对盐胁迫下棉花幼苗生长、叶绿素量及矿质元素吸收的影响 [J]. 水土保持学报, 2013, 27(6): 167-171.
- [28] Hamid M, Khalilur R, Ashraf M Y. Salicylic acid-induced growth and biochemical changes in salt-stressed wheat [J]. *Commun Soil Sci Plant Anal*, 2010, 41(4): 373-389.
- [29] Bastam N, Baninasab B, Ghobadi C. Improving salt tolerance by exogenous application of salicylic acid in seedlings of pistachio [J]. *Plant Growth Regul*, 2013, 69(3): 275-284.