

水杨酸对盐胁迫下沙冬青幼苗抗氧化酶活性及PS II光化学效率的影响

李婧男, 刘 强, 李 升

(天津师范大学 化学与生命科学学院, 天津 300387)

摘要:濒危植物沙冬青 *Ammopiptanthus mongolicus* 为亚洲中部荒漠地区唯一的常绿阔叶灌木, 具有较高的保护和园林绿化价值. 为了解水杨酸对沙冬青在盐胁迫下的缓解作用, 使用水培方法培养沙冬青幼苗, 测定其在 $w = 1.3\%$ NaCl 胁迫下经不同浓度水杨酸处理后的抗氧化酶活性、PS II 光化学效率及其他与植物抗性有关的生理指标的变化. 结果表明, $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 水杨酸处理下, 根和茎叶鲜质量比盐胁迫组分别提高了 100% 和 85%, 总叶绿素含量达到盐胁迫组的 1.3 倍; 而 $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 水杨酸可使根和茎叶鲜质量均提高 90%, 总叶绿素含量达到盐胁迫组的 1.7 倍. 这 2 种浓度的水杨酸均可使叶绿素荧光参数恢复到正常对照水平. 水杨酸可以显著增强超氧化物歧化酶 (SOD) 和过氧化物酶 (POD) 活性, 其中 $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 水杨酸处理下叶片与根部 SOD 酶活性分别比盐胁迫组升高了 54% 和 68%; POD 酶活性则分别提高了 80% 和 117%, 均显著高于对照组与盐胁迫组. 同时, 水杨酸还抑制了过氧化氢酶 (CAT) 的活性, 减少丙二醛积累, 从而缓解 NaCl 对沙冬青的胁迫. 但是水杨酸浓度过高 (达到 $2.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$), 沙冬青幼苗生长即受到抑制, 各项生理指标均低于单纯盐胁迫下的幼苗. 综合各项生理指标, 水杨酸 $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的施用效果优于 $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$.

关键词:盐胁迫; 沙冬青; 水杨酸; 抗氧化酶; PS II 光化学效率

中图分类号: Q945.78

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2010)01-0042-05

Effect of Salicylic Acid on Antioxidant Enzyme Activities and Photochemical Efficiency of *Ammopiptanthus mongolicus* Seedlings Under Salt Stress

LI Jing-nan, LIU Qiang, LI Sheng

(College of Chemistry and Life Science, Tianjin Normal University, Tianjin 300387, China)

Abstract: *Ammopiptanthus mongolicus*, an endangered evergreen leguminous shrub, endemic to the semi-arid desert region of central Asia, has higher protection and landscaping value. In order to understand the mitigative effect of salicylic acid on salt stress of *A. mongolicus* seedlings, the seedlings were treated with $w = 1.3\%$ NaCl and different concentrations of salicylic acid (SA) under water culture. Antioxidant enzyme activities, photochemical efficiency of PS II and other related physiological indexes were measured and analyzed. The results showed that 0.5 and $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ SA increased the fresh mass, the chlorophyll content and the Chl a/Chl b ratio, recovered fluorescent parameters (F_v/F_0 , F_v/F_m and F_0) to normal level, enhanced SOD and POD activity obviously, inhibited CAT activity, and decreased MDA content. When the concentration reached $2.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, the seedlings growth were inhibited, every physiological indexes of the group were obviously lower than $w = 1.3\%$ NaCl groups. The application effect of $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ SA was better than $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Key words: salt stress; *Ammopiptanthus mongolicus*; salicylic acid; antioxidant enzyme activities; photochemical efficiency of PS II

收稿日期: 2009-03-26

作者简介: 李婧男 (1983—), 女, 硕士; 通讯作者: 刘 强 (1953—), 男, 教授, E-mail: lqtjnu@126.com

基金项目: 国家自然科学基金 (30060018, 30570344)

沙冬青 *Ammopiptanthus mongolicus* 为亚洲中部荒漠地区唯一的常绿阔叶灌木,是古老的第三纪孑遗种,也是国家三级保护植物.因其常绿且花色金黄,在园林绿化等方面具有较高应用价值,是一种具有开发价值的木本油源植物^[1].水杨酸(Salicylic acid, SA)被认为是一种植物内源信号物质和新的植物激素.近年来的研究表明水杨酸有增强植物抗盐能力的作用.外源水杨酸处理通过调节小麦、水稻、黄瓜和葡萄等作物细胞活性氧和抗氧化酶(剂)来提高作物的抗性^[2-5].迄今有关水杨酸缓解盐胁迫的研究都集中在农作物和经济作物的耐受性上,而对木本植物的研究较少.滨海盐渍土区绿化问题一直是个难题,北方泥质海岸特别是环渤海湾地区,仍是我国东部沿海森林植被缺乏和生态最为脆弱的地区,0~100 cm 土层平均含盐量为 0.6%~1.4%^[6];作者曾对水培条件下沙冬青幼苗的耐盐范围进行了研究,结果表明:NaCl 质量分数为 0.7% 以下时,幼苗生长不受影响;当质量分数达到 0.9% 时,生长受到明显抑制,死亡率达到 73.3%^[7].本文选用 NaCl 质量分数 0.9% 以上且接近东部沿海土壤含盐量最高域值,研究水杨酸对盐胁迫下沙冬青的缓解作用,从此方面为沙冬青的引种栽培和异地保护等提供有一定参考价值的资料.

1 材料与方法

沙冬青种子于 2007 年采自内蒙古西鄂尔多斯,试验前除去杂质,以 $w = 0.3\%$ KMnO_4 消毒 5 min,洗净后于 25℃ 条件下催芽 48 h,从中挑选发芽基本一致的种子播种.

采用容器水培方法,幼苗以 Hoagland 营养液通气培养.待幼苗长至第 2 片真叶完全展开时(株高约为 4 cm,根长为 10 cm,叶片数为 2),培养液中加入不同浓度水杨酸和 $w = 1.3\%$ 的 NaCl 进行处理,水杨酸浓度分别为 0、0.5、1.0 和 2.0 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$,以清水为对照.所有处理的管理措施均保持一致.水培装置为方形无孔、内径 22 cm $\times$ 17 cm $\times$ 11.5 cm (长 $\times$ 宽 $\times$ 高)塑料盆,以聚苯乙烯泡沫作定植板.每容器定植 15 棵,重复 2 次.

根据沙冬青幼苗盐胁迫 15 d 后各项指标趋于稳定,无进一步盐害现象^[7],故用水杨酸和 NaCl 处理 15 d 后,取植株中部叶片测定分析.盐害死亡率以死亡株数/总株数 $\times 100\%$ 计算.叶绿素含量测定采用 95% 丙酮-乙醇溶剂提取法^[8],超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定采用氮蓝四唑(NBT)光还原法,过氧化物酶(POD)活性的测定采用愈创木酚法,过

氧化氢酶(CAT)活性采用过氧化氢分解法进行测定^[9],丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸法测定^[10].

叶绿素荧光参数测定使用 LI-6400 便携式光合仪,每处理 2~3 片,重复 3 次,每次测定叶片叶位相同,荧光参数采用动力学模式(Kinetic mode)测定的暗适应 20 min 后叶片的荧光诱导动力学参数:暗适应后的初始荧光(F_0)是光系统 II(PS II)反应中心处于完全开放时的荧光产量;最大荧光产量(F_m)是 PS II 反应中心处于完全关闭时的荧光产量;计算可变荧光(F_v), $F_v = F_m - F_0$; F_v/F_0 和 F_v/F_m 则分别代表 PS II 的潜在活性和 PS II 原初光能转化效率^[11].

数据用 SPSS 13.0 统计软件进行 Duncan's 新复极差检验.

2 结果与分析

2.1 水杨酸对盐胁迫下幼苗生长的影响

如表 1 所示,沙冬青幼苗在 $w = 1.3\%$ NaCl 胁迫下培养 15 d 后,植株根和茎叶鲜质量极显著地低于对照,死亡率达到 80%.外施 0.5 和 1.0 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 水杨酸能较好地缓解 NaCl 对幼苗的伤害,其死亡率、根和茎叶鲜质量均高于相同盐浓度处理的沙冬青幼苗.外施 0.5 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 水杨酸后,植株茎叶鲜质量极显著地高于对照组.水杨酸浓度过高(2.0 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)时,沙冬青幼苗生长受到严重抑制,伤害作用甚至高于盐胁迫,幼苗死亡率达 90%,根和茎叶鲜质量极显著地低于对照.

表 1 水杨酸对盐胁迫下沙冬青幼苗生长的影响¹⁾

Tab.1 Effect of salicylic acid on seedling growth of *Ammopiptanthus mongolicus* under salt stress

c(水杨酸)/ ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	茎叶鲜质量/g	根鲜质量/g	死亡率/%
对照	0.27 $\pm$ 0.02 cC	0.21 $\pm$ 0.07 bB	0
0	0.20 $\pm$ 0.03 bB	0.10 $\pm$ 0.02 aA	80
0.5	0.37 $\pm$ 0.02 dD	0.20 $\pm$ 0.05 bB	8
1.0	0.29 $\pm$ 0.05 cC	0.19 $\pm$ 0.12 bB	10
2.0	0.14 $\pm$ 0.04 aA	0.10 $\pm$ 0.03 aA	90

1) 同列数据($\bar{x} \pm \text{SD}$)后的字母表示 Duncan's 新复极差检验结果,不同小写字母表示处理间差异达显著水平($P < 0.05$),不同大写字母表示处理间差异达极显著水平($P < 0.01$)

2.2 水杨酸对盐胁迫下幼苗光合色素含量的影响

表 2 显示,盐胁迫下沙冬青叶绿素 a(Chl a)含量比对照下降 58%,出现极显著性差异;叶绿素 b(Chl b)含量下降 25%,无显著性差异;总叶绿素含

量下降 50%,极显著地低于对照.叶绿素 a 与叶绿素 b 的比值 (Chl a/Chl b) 也显著低于对照.加 0.5 mmol · L⁻¹ 水杨酸的总叶绿素和叶绿素 a 含量比相同盐胁迫下升高 31% 和 47%,但二者仍然显著低于对照;叶绿素 b 含量增幅不明显,仅上升了 1.9%; Chl a/Chl b 的比值升高并且显著高于盐胁迫组.加入 1.0 mmol · L⁻¹ 水杨酸后总叶绿素含量比相同盐胁迫下提高了 71%,接近对照含量;叶绿素 a 含量则极显著地高于盐胁迫组; Chl a/Chl b 的比值急剧升

高且高于对照水平.2.0 mmol · L⁻¹ 水杨酸处理组中的叶绿素(总叶绿素、叶绿素 a 和叶绿素 b)含量不仅没有上升,反而低于相同浓度盐胁迫的含量.以上结果说明盐胁迫下叶绿素含量的减少主要是由叶绿素 a 引起的,其含量极显著低于对照,这与赵可夫^[12] 的研究结果一致.加入 1.0 mmol · L⁻¹ 水杨酸后叶绿素 a 含量显著升高,总叶绿素含量与 Chl a/Chl b 值达到正常对照相当水平.

表 2 水杨酸对盐胁迫下沙冬青幼苗叶绿素含量的影响¹⁾

Tab.2 Effect of salicylic acid on chlorophyll content of *Ammopiptanthus mongolicus* seedling under salt stress

c(水杨酸)/ (mmol · L ⁻¹)	w(总叶绿素)/ (mg · g ⁻¹)	w(叶绿素 a)/ (mg · g ⁻¹)	w(叶绿素 b)/ (mg · g ⁻¹)	w(叶绿素 a)/ w(叶绿素 b)
对照	2.79 ± 0.23 dC	2.07 ± 0.17 dB	0.72 ± 0.07 bB	2.91 ± 0.14 bAB
0	1.40 ± 0.05 abAB	0.87 ± 0.19 abA	0.54 ± 0.13 abAB	1.91 ± 0.63 aAB
0.5	1.84 ± 0.54 bcABC	1.29 ± 0.48 bcAB	0.55 ± 0.11 abAB	2.35 ± 0.65 bAB
1.0	2.40 ± 0.82 cdBC	1.83 ± 0.54 cdB	0.57 ± 0.07 abAB	3.25 ± 0.19 bB
2.0	0.89 ± 0.40 aA	0.56 ± 0.31 aA	0.34 ± 0.08 aA	1.58 ± 0.42 aA

1) 同列数据($\bar{x} \pm SD$)后的字母表示 Duncan's 新复极差检验结果,不同小写字母表示处理间差异达显著水平($P < 0.05$),不同大写字母表示处理间差异达极显著水平($P < 0.01$)

2.3 水杨酸对盐胁迫下幼苗叶绿素荧光的影响

如表 3 所示,盐胁迫下叶绿体结构受到破坏的同时光系统也严重受影响.在 $w = 1.3\%$ NaCl 胁迫下, F_0 极显著地高于对照; F_v/F_0 和 F_v/F_m 比对照降低,并出现极显著差异.而施 0.5 和 1.0 mmol · L⁻¹

的水杨酸都可极显著地降低 F_0 , 使 F_v/F_0 和 F_v/F_m 升高($P < 0.01$),其中 1.0 mmol · L⁻¹ SA 的荧光参数值更接近正常对照水平.加入 2.0 mmol · L⁻¹ 水杨酸后植株叶片变黄,叶绿素含量下降,其 F_0 、 F_v/F_0 、 F_v/F_m 为负值,故忽略不计.

表 3 水杨酸对沙冬青幼苗叶绿素荧光参数的影响¹⁾

Tab.3 Effect of salicylic acid on chlorophyll fluorescence parameters of *Ammopiptanthus mongolicus* seedling

c(水杨酸)/ (mmol · L ⁻¹)	F_0	F_v/F_0	F_v/F_m
对照	36.10 ± 18.34 aA	4.77 ± 0.61cB	0.83 ± 0.02 bB
0	75.93 ± 21.08 bB	2.70 ± 0.78 aA	0.72 ± 0.06aA
0.5	31.55 ± 26.28 aA	3.88 ± 0.81 bB	0.78 ± 0.04bB
1.0	31.08 ± 11.89 aA	4.48 ± 0.63 bcBC	0.82 ± 0.02bB
2.0			

1) 同列数据($\bar{x} \pm SD$)后的字母表示 Duncan's 新复极差检验结果,不同小写字母表示处理间差异达显著水平($P < 0.05$),不同大写字母表示处理间差异达极显著水平($P < 0.01$);2.0 mmol · L⁻¹ 水杨酸处理组的 F_0 、 F_v/F_0 、 F_v/F_m 为负值,故忽略不计

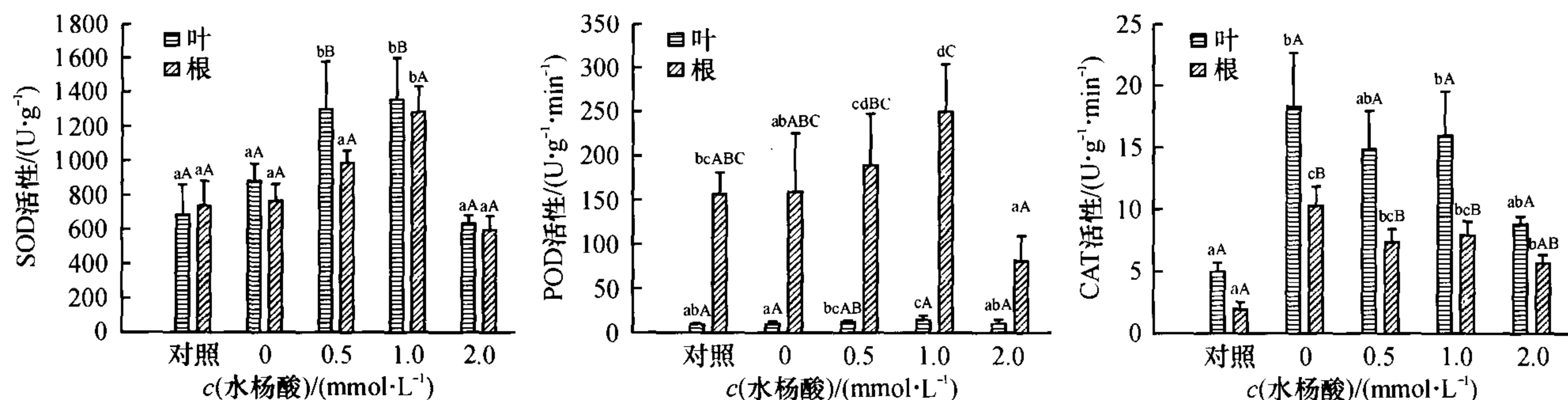
2.4 水杨酸对盐胁迫下幼苗抗氧化酶活性的影响

由图 1 可知:在 $w = 1.3\%$ NaCl 胁迫下,叶片和根部 3 种抗氧化酶活性与对照相比均上升;而分别加入 0.5 和 1.0 mmol · L⁻¹ 水杨酸都可以增强相同盐浓度胁迫下叶片和根部 SOD 和 POD 活性;0.5 mmol · L⁻¹ 水杨酸可以使叶片 SOD 酶活性比盐胁迫组与对照组分别提高 47% 和 90%,并与二者差异显著;叶片与根部 POD 酶活性则达到 12.96 和 189.90

U · g⁻¹ · min⁻¹,均显著高于盐胁迫组的酶活性.1.0 mmol · L⁻¹ 水杨酸处理下叶片与根部 SOD 酶活性分别比相同盐浓度胁迫组提高 54% 和 68%,叶片 SOD 酶活性与对照差异极显著,根部与对照差异显著;POD 的酶活性也得到了显著地提高,其叶片与根部酶活性达到 15.24 和 250.70 U · g⁻¹ · min⁻¹;均显著高于盐胁迫组和对照组.但是当水杨酸浓度达到 2.0 mmol · L⁻¹ 时,叶片与根部 SOD 的酶活性比对照

分别降低了 7% 和 19%; 根部 POD 的酶活性则降低了 29%, 且极显著低于对照. CAT 酶活性在盐胁迫下极显著高于对照; 但加入 0.5、1.0 和 2.0 mmol · L⁻¹ 3 种浓度水杨酸后其活性下降, 叶片 CAT 的酶活性分别降低了 19%、12% 和 52%; 根部则下降了 28%

和 23% 和 45%. 综合以上结果说明 2.0 mmol · L⁻¹ SA 浓度过高, 对酶活性产生抑制作用, 而 0.5 和 1.0 mmol · L⁻¹ SA 均可提高 SOD 和 POD 的活性, 但 1.0 mmol · L⁻¹ SA 的施用效果更好, 其根、叶的酶活性均显著高于对照组与盐胁迫组.



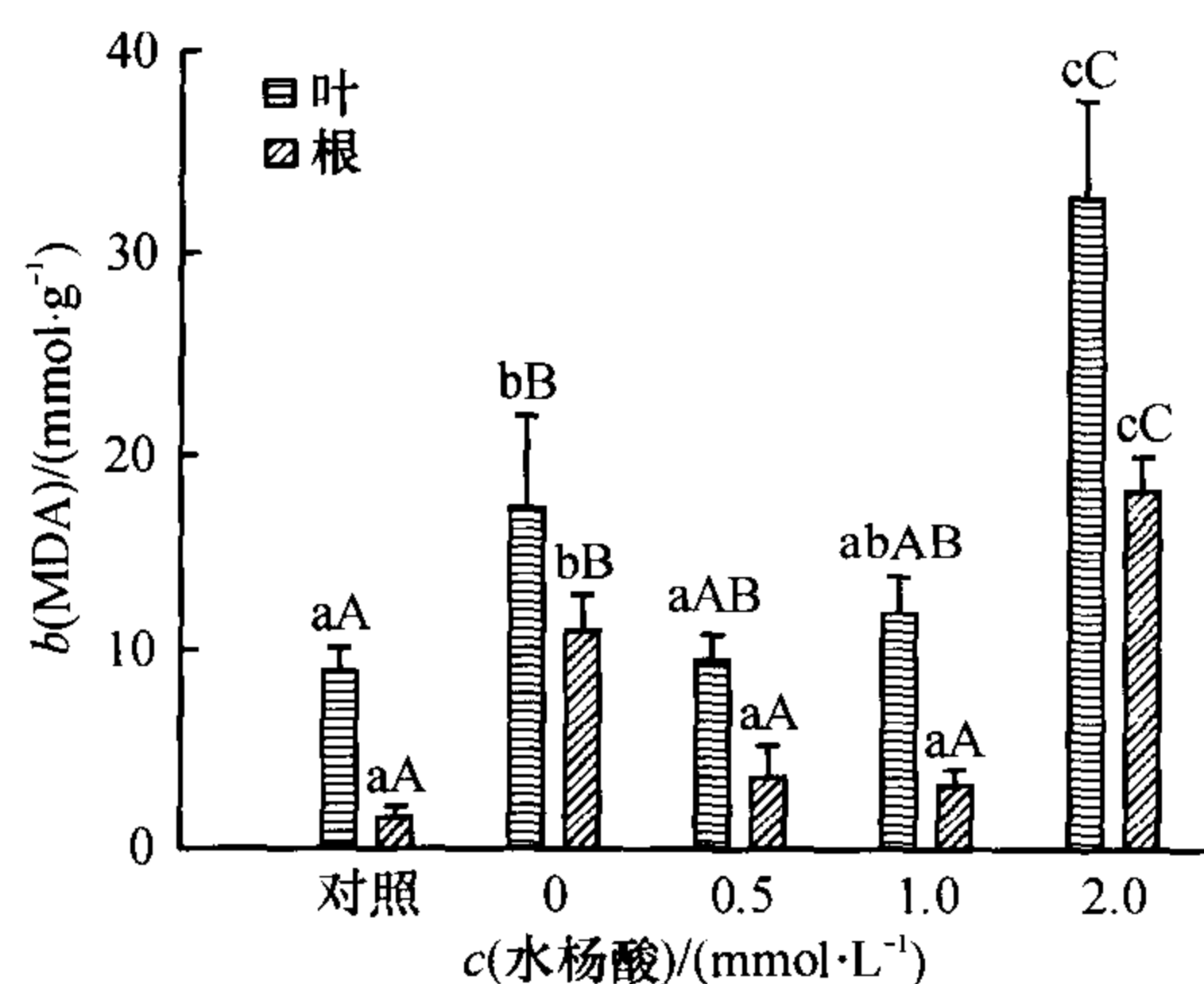
图中字母表示 Duncan's 新复极差检验结果; 不同小写字母表示处理间差异达显著水平 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示处理间差异达极显著水平 ($P < 0.01$)

图 1 水杨酸对盐胁迫下沙冬青幼苗 SOD、POD 和 CAT 活性的影响

Fig. 1 Effect of salicylic acid on SOD, POD and CAT activity of *Ammopiptanthus mongolicus* seedling

2.5 外源化学物质对盐胁迫下幼苗丙二醛含量的影响

如图 2 所示, NaCl 胁迫下幼苗叶片与根部 MDA 含量极显著地高于对照. 外加 0.5 mmol · L⁻¹ 的 SA 后, 叶片与根部 MDA 分别达到 9.47 和 3.66 mmol/g, 比相同盐浓度下的含量降低 46% 和 68%, 均与其出现极显著性差异. 1.0 mmol · L⁻¹ 的水杨酸也能极显著地降低叶片和根的丙二醛含量 ($P < 0.01$), 其含量分别降低了 31% 和 71%; 但是水杨酸浓度达到 2.0 mmol · L⁻¹ 时丙二醛含量不仅没有降低, 其叶片与根部含量分别比盐胁迫的提高了 88% 和 67%, 且极显著地高于盐胁迫组与对照组.



图中字母表示 Duncan's 新复极差检验结果, 不同小写字母表示处理间差异达显著水平 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示处理间差异达极显著水平 ($P < 0.01$)

图 2 水杨酸对盐胁迫下沙冬青幼苗丙二醛含量的影响

Fig. 2 Effect of salicylic acid on MDA content of *Ammopiptanthus mongolicus* seedling

3 讨论与结论

一定浓度的水杨酸 (0.5 ~ 1.0 mmol · L⁻¹) 可以有效缓解 NaCl 对沙冬青幼苗的伤害, 增加其抗氧化酶活性并降低丙二醛含量, 综合各项生理指标说明水杨酸 1 mmol · L⁻¹ 的施用效果优于 0.5 mmol · L⁻¹. 当水杨酸浓度达到 2.0 mmol · L⁻¹ 时, 幼苗死亡率增加、叶绿素含量和抗氧化酶活性降低、丙二醛含量升高.

沙冬青幼苗经盐胁迫后, 叶绿素含量下降, Chl a/Chl b 值显著低于对照, PSII 的潜在活性 (F_v/F_0) 和 PS II 原初光能转化效率 (F_v/F_m) 明显下降, 并迫使 F_0 上升. 有研究认为, Chl a/Chl b 值可以反映叶绿体中类囊体的垛叠程度, 即不同垛叠状态的类囊体膜比例. Chl a/Chl b 值越低, 类囊体的垛叠程度越低, 类囊体膜的稳定性也越差, 致使光能在 2 个光系统之间分配受到影响, 从而降低光合作用^[13]. 叶绿素含量的下降可以通过影响捕光色素蛋白复合体进而影响光系统 (PS I 和 PS II)^[14]. 还有研究认为, 盐胁迫也会损伤 PS II 反应中心, 伤害的部位可能位于 PS II 氧化侧, 或 PS II 反应中心, 或 PS II 原初电子受体, 也可能是三者皆受到伤害, 使叶片的潜在光合活力下降, 进而抑制植物生长^[15]. 本试验中加入 0.5 和 1.0 mmol · L⁻¹ 水杨酸后, 叶绿素含量、Chl a/Chl b 值、 F_v/F_0 、 F_v/F_m 和 F_0 值接近对照幼苗生长水平, 说明一定浓度的水杨酸 (0.5 ~ 1.0 mmol · L⁻¹) 可以有效缓解 NaCl 对类囊体和 PS II 反应中心的伤害,

以增强沙冬青幼苗对盐胁迫的适应. 水杨酸浓度过高($2.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)时, 植株变得矮小枯黄, 叶绿素含量下降, F_v/F_0 、 F_v/F_m 和 F_0 为负值, 说明类囊体和 PS II 反应中心受到了严重损伤. 有研究表明高浓度的水杨酸对细胞具有损伤作用, 降低细胞的活性, 不利于细胞次生代谢物产量的进一步提高. 这种损伤不仅表现在类囊体和 PS II 反应中心上, 还表现在植物抗氧化酶系的损伤^[16]. 高浓度的水杨酸也抑制了沙冬青幼苗抗氧化酶的活性, 使 MDA 含量升高, 抗逆性减弱, 这与蔡传杰等^[17]对香荚兰的研究结果一致.

一定浓度的水杨酸可以明显提高沙冬青幼苗 SOD 和 POD 的活性, 其活性既高于相同浓度盐胁迫组, 也高于对照组; 水杨酸对沙冬青幼苗 CAT 的活性却产生抑制作用, 使活性降低. Lopez-Delgado 等^[18]报道生长在含有乙酰水杨酸介质中的马铃薯外植体内 H_2O_2 含量升高, CAT 活性降低. 这与刘爱荣等^[19]对大豆的研究结果, 即水杨酸处理可以进一步降低 CAT 活性一致. 出现这一结果的原因可能是由于植物体内 SA 结合蛋白 (SA-binding protein, SABP) 基因与 CAT 基因高度同源, SA 阻遏 SABP 的 CAT 活性, 并抑制植物体内 CAT 活性, 以提高 H_2O_2 , 激活与抗逆有关基因的表达和提高非生物胁迫下植物体内的 SOD 和 POD, 因此提高了植物的抗逆性^[20].

综上所述, 一定浓度的水杨酸虽然可以缓解盐胁迫对沙冬青幼苗的伤害, 但它的保护作用可能不是全面的. 有关水杨酸在植物抗盐性方面的作用以及作用机理还有待更进一步的研究.

参考文献:

- [1] 李慧卿, 马文元. 沙冬青抗逆性及开发利用前景分析研究[J]. 世界林业研究, 2000, 13(5): 67-71.
- [2] 张士功, 高吉寅, 宋景芝. 水杨酸和阿斯匹林对盐胁迫下小麦种子萌发的作用[J]. 植物生理学通讯, 1999, 35(1): 29-32.
- [3] 马敬刊, 袁永泽, 欧吉权, 等. 外源水杨酸对水稻幼苗根的 NaCl 胁迫缓解效应[J]. 武汉大学学报, 2006, 52(4): 471-474.
- [4] 余小平, 贺军民, 张健, 等. 水杨酸对盐胁迫下黄瓜幼苗生长抑制的缓解效应[J]. 西北植物学报, 2002, 22(2): 401-406.
- [5] 王利军, 黄卫东, 李家永. 水杨酸对葡萄幼苗叶片膜脂过氧化的影响[J]. 中国农业科学, 2003, 36(9): 1076-1080.
- [6] 秦宝荣, 王希顺. 滨海重盐碱地区庭院绿化的可持续发展初探[J]. 中国园林, 2001(2): 63-65.
- [7] 李婧男, 刘强, 王平平, 等. 水培条件下沙冬青幼苗对盐胁迫的响应[J]. 植物研究, 2008, 28(3): 343-346.
- [8] 杨敏文. 快速测定植物叶片叶绿素含量方法的探讨[J]. 光谱实验室, 2002, 19(4): 478-481.
- [9] 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: 260-265.
- [10] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003: 159-160.
- [11] 齐健, 宋凤斌, 刘胜群. 苗期玉米根叶对干旱胁迫的生理响应[J]. 生态环境, 2006, 15(6): 1264-1268.
- [12] 赵可夫. 作物抗性生理[M]. 北京: 农业出版社, 1990: 228-245.
- [13] MASLENKORA L T. Adaptation to salinity as monitored by PS II oxygen evolving reaction in barely thylakoids[J]. J Plant Physiol, 1993, 142: 629-634.
- [14] 张其德. 盐胁迫对植物及其光合作用的影响: 中[J]. 植物杂志, 2000, 1: 28-29.
- [15] 刘家尧, 衣艳君, 张承德, 等. 活体叶绿素荧光诱导动力学及其在植物抗盐生理研究中的应用[J]. 曲阜师范大学学报: 自然科学版, 1997, 23(4): 80-83.
- [16] 兰文智, 余龙江, 吴元喜. 水杨酸对真菌诱导子诱导红豆杉悬浮细胞膜脂过氧化和紫杉醇生物合成的影响[J]. 西北植物学报, 2002, 22(1): 78-83.
- [17] 蔡伟杰, 陈善娜, 尹梅, 等. 水杨酸对香荚兰抗逆相关酶的活性和丙二醛含量的影响[J]. 云南植物研究, 2003, 25(6): 700-704.
- [18] LOPEZ-DELGADO H, DAT J F, FOYER C H, et al. Induction of thermo-tolerance in potato microplants by acetyl salicylic acid and H_2O_2 [J]. Journal of Experimental Botany, 1998(49): 713-720.
- [19] 刘爱荣, 张远兵, 叶梅荣, 等. 外源水杨酸对盐胁迫下大豆抗氧化能力的影响[J]. 安徽科技学院学报, 2006, 20(4): 8-11.
- [20] CHEN Z, RICIGLIANO J W, KLESSIG D F. Purification and characterization of a soluble salicylic acid-binding protein from tobacco[J]. Proceedings of the National Academy of Science of USA, 1993(90): 9533-9537.

【责任编辑 李晓卉】