

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2015.06.003

外源 SNP, Spd 对盐碱胁迫下射干幼苗体内抗氧化酶活性的影响^①

杨 牟, 何 平, 段才绪, 徐梦平

西南大学 生命科学学院/三峡库区生态环境教育部重点实验室,
重庆市三峡库区植物生态与资源重点实验室, 重庆 400715

摘要: 为了模拟自然环境下的盐碱地环境, 使用混合盐碱($\text{NaCl} : \text{Na}_2\text{SO}_3 : \text{NaHCO}_3 : \text{Na}_2\text{CO}_3$ 为 9 : 1 : 9 : 1) 处理射干幼苗, 之后引入硝普钠(SNP)和亚精胺(Spd)外源, 研究了整个过程中射干幼苗体内超氧化物歧化酶(SOD), 过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)的活性变化. 结果表明: 在盐碱胁迫下, 射干幼苗体内的 SOD, POD, CAT 活性随着处理时间的延长而增加, 施加外源 SNP 和 Spd 处理后, 活性继续上升. 实验证明: 耐盐性植物射干在盐碱胁迫下具有自修复功能, 能提高体内抗氧化酶系活性, 外源 SNP 与 Spd 可进一步增加植物体内的抗氧化酶系活性, 从而清除盐碱胁迫下活性氧对植物体的损伤.

关键词: 射干; 盐碱胁迫; 抗氧化酶系; 活性氧

中图分类号: Q948.113

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2015)06-0013-07

盐碱地是盐类富集的一个土地类型, 指土壤里面所含的盐碱成分影响到植物的正常生长, 根据联合国教科文组织和粮农组织不完全统计, 全世界盐碱地的面积为 $9.5438 \times 10^8 \text{ hm}^2$, 其中我国为 $9.913 \times 10^7 \text{ hm}^2$. 我国碱土和碱化土壤的形成, 大部分与土壤中碳酸盐的累计有关, 因而碱化度普遍较高, 严重的盐碱土壤地区植物几乎不能生存.

土壤盐分是影响植物生长和产量的一个重要环境因子, 高盐度会造成植物损伤或死亡. 盐胁迫会影响植物大部分重要生理过程, 如种子萌发、生长、光合作用等, 尽管盐胁迫下所有植物的生长都会受到抑制, 但是不同植物对于致死盐浓度的耐受水平和生长降低率不同. 因此, 探索盐胁迫对植物的影响, 了解盐胁迫机理, 提高植物的耐盐能力, 对合理开发利用西部地区的盐碱地和盐碱水资源具有重要意义. 对于中性盐(如 NaCl)胁迫的作用因素通常认为有: 盐浓度所决定的渗透效应, 以 Na^+ 等有害离子所决定的离子效应^[1]以及盐离子与其他营养离子间相互作用等^[1-2]; 若是碱性盐(如 Na_2CO_3)则为增加高 pH^[3-5]及与此有关的磷、铁营养缺乏等效应^[6]. 盐碱混合胁迫所涉及的作用机制更复杂, 由于盐分大、碱分多, 土壤的腐殖物质遭到流失, 土壤结构遭到破坏, 表现为湿时粘、干时硬, 通气性和透水性不良, 严重的会造成作物萎蔫、中毒甚至死亡^[7]. 在种子萌发时, Nobel 提出与植物生长相比, 种子萌发更易遭受盐害^[8]. 在对马铃薯、番茄、苦瓜等作物上的研究得出相似的结果, 随盐浓度的升高, 发芽率降低. 在植物生长发育过程中盐胁迫会造成植物发育迟缓, 抑制植物组织和器官的生长和分化, 使植物的发育进程提前结束.

① 收稿日期: 2014-06-22

基金项目: 国家自然科学基金(30070080).

作者简介: 杨 牟(1991-), 男, 四川成都人, 硕士研究生, 主要从事药用植物资源学及植物生态学的研究.

通信作者: 何 平, 教授, 博士研究生导师.

近来研究表明,一氧化氮(NO)在植物体内主要通过一氧化氮合酶(NOS)和硝酸还原酶(NR)催化合成,作为具有生物活性的信使分子,参与植物体内的信号传递,NO可提高NaCl胁迫下黄瓜幼苗的抗氧化酶活性,促进光合作用^[9];Zhao等^[10]发现NO能提高盐胁迫下芦苇愈伤组织中质膜H⁺-ATPase的表达,进而提高K⁺/Na⁺,增强植株抗盐性.有研究表明:NO可提高超氧化物歧化酶(SOD)的活性,降低膜脂过氧化作用,减缓缺水造成的离体水稻叶片的衰老^[11-12].

亚精胺(Spd)是生物代谢过程中产生的一种具有生物活性的低分子量脂肪族含氮碱,是多胺家族的一个重要成员.多胺广泛作用于植物生长、形态建成、衰老和对环境胁迫的反应上.大量研究表明,喷施外源多胺可以提高植物的抗逆能力^[13-15],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^[16-17].外源Spd能够减缓盐胁迫引起的氧化伤害,提高抗氧化酶活性,减少光抑制,提高光合效率^[18-19].

射干[*Belamacanda chinensis* (L.) DC.]为鸢尾科射干属多年生草本植物,其干燥根茎可入药,性寒,味苦,微毒.主产于华东、华中及西南地区等地,在广东、广西少数地区用射干系干燥的全草.生长于山坡、草原、田野,或人工栽培.具有清热解毒、散结消炎、消肿止痛、止咳化痰等药效,用于治疗扁桃腺炎及腰痛等症^[20].射干适应性强,耐干旱,抗寒,较耐盐碱,可起到水土保持、防风固沙的作用.李龙梅等研究了射干的耐盐性,表明射干和德国鸢尾对盐胁迫有抵抗能力,但射干的抵抗能力要高于德国鸢尾^[21].近年来王桂霞等人把药用植物射干用于改造多建筑垃圾土地,结果表明射干具有改良土壤特性,降低土壤碱性的效果^[22].迄今,关于鸢尾属植物的研究还比较零散,多集中于核型分析、花粉形态、药用、引种及组培快繁等领域,育种、繁殖生物学、重金属胁迫的生理抗性等方面亦有探讨^[23-25].

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试的射干种子由河北安国胜利药材种子市场提供,经何平教授鉴定为射干成熟种子.

1.2 主要药品及试剂

外源一氧化氮供体硝普钠(SNP)由韩国KAIST提供.由于SNP见光极易分解,因此,试验中现配现用,Spd为Sigma公司生产.

1.3 主要仪器

UV-2550紫外用分光光度计,万分之一天平.

1.4 幼苗相关生理指标的测定方法

超氧化物歧化酶(SOD)活性:采用氮蓝四唑(NBT)光化学反应法^[26];过氧化物酶(POD)活性:采用愈创木酚法^[27];过氧化氢酶(CAT)活性:采用紫外分光光度法^[28].

1.5 数据处理

试验图用Excel2003软件根据SPSS分析结果制作.数据采用SPSS 19.0软件进行一般线性模型中的重复度量量和多变量两种分析方法进行分析.并用Duncan's多重比较法检验每个生理指标($\alpha=0.05$)的差异显著性.

1.2 试验设计

射干幼苗栽培于西南大学生命科学学院三峡库区教育部重点实验室温室.选择籽粒饱满,大小一致和无病虫害的射干种子,用45~50℃的水浴浸泡24h,期间经常进行搅拌,边搅拌边用手揉搓种子达到去除种皮的目的.24h后取出种子将种皮清洗去除干净,并用纱布包好放在瓷盘里置于25~30℃的环境中,每天定时用水淋湿,等到种子有60%露白以后,选择胚芽健壮的种子播种于上口口径12cm、下口径8cm、高度8cm的花盆中,每盆平均播种6~7粒.待其长到2叶1心期时进行定苗,每盆留长势整齐且健壮的4株幼苗,待其长至3叶1心时,定苗后对幼苗进行恢复实验.

通过前期的实验结果, 选择了 NaCl, Na₂SO₃, NaHCO₃ 及 Na₂CO₃ 4 种盐的比为 9 : 1 : 9 : 1, 盐浓度为 100 mmol/L 做盐碱胁迫处理, 并用 SNP 和 Spd 两种外源恢复物质做恢复试验, 每种物质共设计 6 个处理梯度, 包括空白对照组 CK1, 混合盐胁迫对照组 CK2, 不同浓度 SNP 处理组 T1~T4, 不同浓度 Spd 处理组 T5~T8, 具体实验设计见表 1. 每处理设置 3 个重复, 每隔 2 d 向花盆内添加恢复液直到花盆里面的土淋透为止. 分别在盐碱胁迫后第 10, 20, 30 d 取样测定, 取样时选取植株等大小功能的叶片.

表 1 试验设计

处理	NaCl : Na ₂ SO ₃ : NaHCO ₃ :		SNP/	Spd/
	Na ₂ CO ₃ 为 9 : 9 : 1 : 1		(mmol · L ⁻¹)	(mmol · L ⁻¹)
CK1	0		0	0
CK2	100		0	0
T1	100		0.5	0
T2	100		1	0
T3	100		0.25	0
T4	100		0.5	0
T5	100		0	0.5
T6	100		0	1
T7	100		0	0.25
T8	100		0	0.5

2 外源物质 SNP, Spd 对盐碱胁迫下射干幼苗叶片中保护酶的影响

2.1 外源物质 SNP, Spd 对盐碱胁迫下射干幼苗叶片中超氧化物歧化酶(SOD)的影响

经过 SNP 处理后的射干幼苗, 球形检验结果显示, $p > 0.05$, 满足球形检验, 主体内效应检验结果显示, 各个时间点上的数据差异有统计学意义($p \leq 0.001$); 时间和各处理浓度之间有交互作用($p < 0.05$), 说明时间因素的作用随着各处理浓度的不同而不同; 主体间效应检验结果显示, 各处理浓度之间差异没有统计学意义($p > 0.05$).

经过 Spd 处理后的射干幼苗, 球形检验结果显示, $p > 0.05$, 满足球形检验, 主体内效应检验结果显示, 外源物质 Spd 处理后各个时间点上的数据差异有统计学意义($p \leq 0.001$); 时间和 Spd 各处理浓度之间没有交互作用($p > 0.05$), 说明时间因素的作用随着各处理组合的不同而不同; 主体间效应检验结果显示, 各处理浓度之间差异没有统计学意义($p > 0.05$).

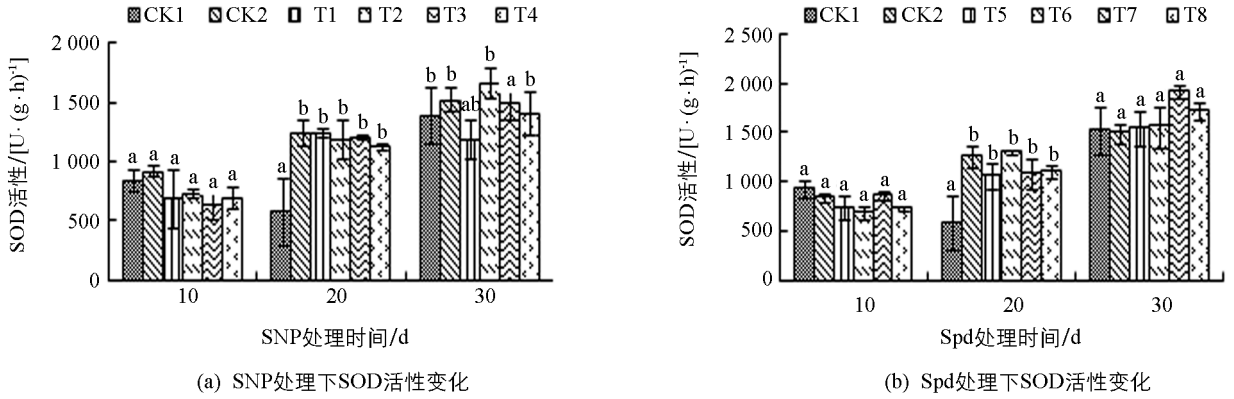
由分析结果和图 1(a, b)得出, 经过盐碱胁迫后 SOD 酶的活性增加, 并且随着时间的延长出现逐渐升高的趋势. 一旦经过外源物质 SNP 处理后, SOD 酶的活性基本呈不同程度继续增加的趋势. SNP 对 SOD 活性的影响, 前期差异没有统计学意义($p > 0.05$), 但中、后期差异有统计学意义($p < 0.05$). 其中当处理时间为 30 d, 处理浓度为 0.1 mmol/L 时恢复达到最大值 1 669.87 U/(g · h); 经过外源物质 Spd 处理后, SOD 酶的活性也呈不同程度增加的趋势. 在前、后期差异没有统计学意义($p > 0.05$), 但在处理中期差异有统计学意义($p < 0.05$). 其中当处理时间为 30 d, 处理浓度为 0.1 mmol/L 时恢复达到最大值 1 908.02 U/(g · h).

2.2 外源物质 SNP, Spd 对盐碱胁迫下射干幼苗叶片中过氧化物酶(POD)的影响

经过 SNP 处理后的射干幼苗, 球形检验结果显示, $p > 0.05$, 满足球形检验, 主体内效应检验结果显示, 各个时间点上的数据差异有统计学意义($p \leq 0.001$); 时间和各处理浓度之间没有交互作用($p > 0.05$), 说明时间因素的作用随着各处理浓度的不同而不同; 主体间效应检验结果显示, 各处理浓度之间差异没有统计学意义($p > 0.05$).

经过 Spd 处理后的射干幼苗, 球形检验结果显示, $p > 0.05$, 满足球形检验, 主体内效应检验结果显示, 外源物质 Spd 处理后各个时间点上的数据差异有统计学意义($p \leq 0.001$). 时间和 Spd 各处理浓度之间

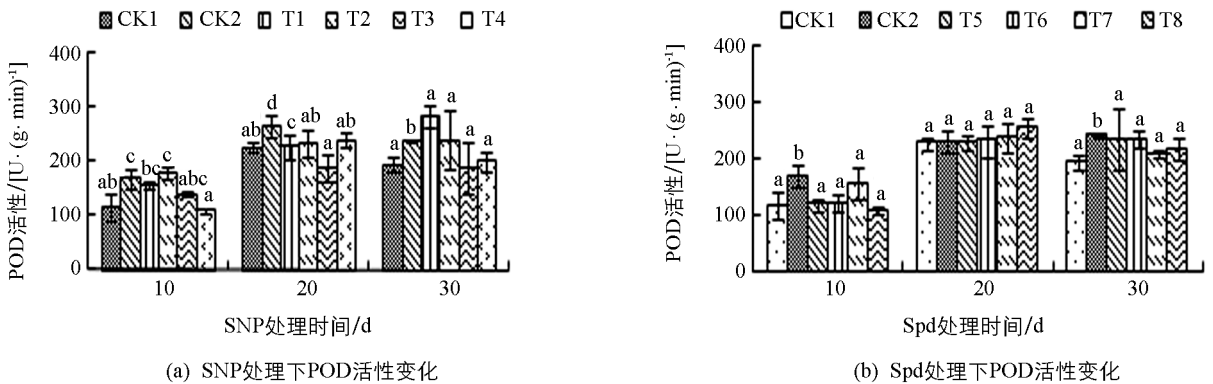
没有交互作用($p > 0.05$),说明时间因素的作用随着各处理组合的不同而不同;主体间效应检验结果显示,各处理浓度之间差异没有统计学意义($p > 0.05$).



不同小写字母表示各处理间在 0.05 水平上差异有统计学意义。

图 1 SOD 酶活性的变化

由分析结果和图 2(a,b)得出,在盐碱胁迫下射干幼苗叶片中 POD 酶活性与空白对照相比增加,并且随着胁迫时间的延长,POD 的活性呈增加的趋势.经过外源物质 SNP 处理后,POD 酶活性在低浓度时升高,高浓度降低.而且 SNP 对射干幼苗叶片中 POD 活性的影响,在前期差异有统计学意义($p < 0.05$),中、后期差异没有统计学意义($p > 0.05$).其中,当处理时间为 10 d,处理浓度为 0.05 mmol/L 时恢复效果达到最大值 283.077 U/(g·min),与同期 CK2[239.82U/(g·min)]相比差异有统计学意义($p < 0.05$);而且 Spd 对射干幼苗叶片中 POD 活性的影响,在前期差异有统计学意义($p < 0.05$),中后期差异没有统计学意义($p > 0.05$).其中当处理时间为 20 d,处理浓度为 0.5 mmol/L 时恢复达到最大值 254.16 U/(g·min),与同期 CK2 相比,差异没有统计学意义($p > 0.05$).



不同小写字母表示各处理间在 0.05 水平上差异有统计学意义。

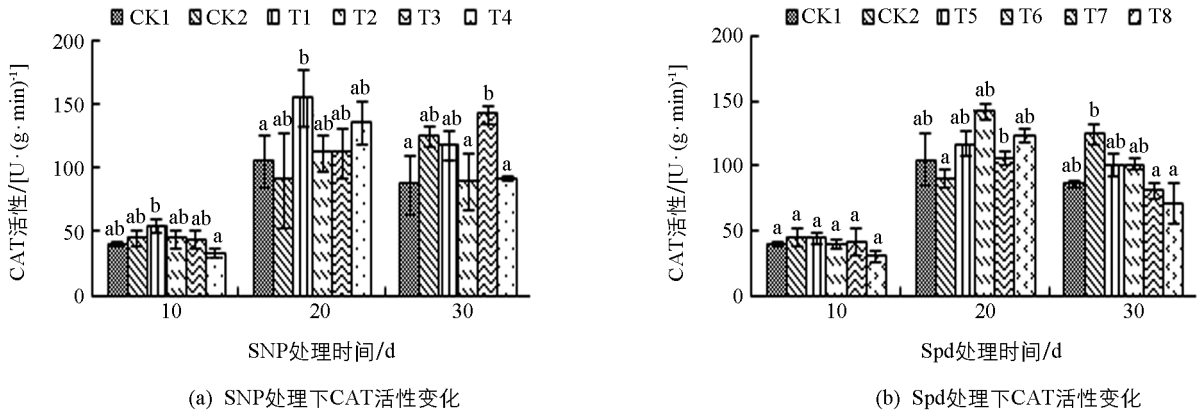
图 2 POD 酶活性的变化

2.3 外源物质 SNP, Spd 对盐碱胁迫下射干幼苗叶片中过氧化氢酶(CAT)的影响

经过 SNP 处理后的射干幼苗,球形检验结果显示, $p < 0.05$,不满足球形检验,进行自由度调整,主体内效应检验结果显示,各个时间点上的数据差异有统计学意义($p \leq 0.001$);时间和各处理浓度之间没有交互作用($p > 0.05$),说明时间因素的作用随着各处理浓度的不同而不同;主体间效应检验结果显示,各处理浓度之间差异没有统计学意义($p > 0.05$).

经过 Spd 处理后的射干幼苗,球形检验结果显示, $p > 0.05$,满足球形检验,主体内效应检验结果显示,外源物质 Spd 处理后各个时间点上的数据差异有统计学意义($p \leq 0.001$).时间和 Spd 各处理浓度之间有交互作用($p < 0.05$),说明时间因素的作用随着各处理组合的不同而不同;主体间效应检验结果显示,各处理浓度之间差异没有统计学意义($p > 0.05$).

由分析结果和图 3(a, b) 得出, 在盐碱胁迫下随着胁迫时间的延长, CAT 酶的活性呈增加的趋势. 经过外源物质 SNP 处理后 CAT 酶活性继续增加, 但是 CAT 酶活性在各个时间点上差异没有统计学意义 ($p > 0.05$). 当处理时间为 20 d, 处理浓度为 0.05 mmol/L 时恢复效果达到最大值 154.68 U/(g·min), 与同期 CK2 相比差异有统计学意义 ($p < 0.05$); 经过外源物质 Spd 处理后, CAT 酶活性在各个时间点上差异没有统计学意义 ($p > 0.05$), 其中当处理时间为 20 d, 处理浓度为 0.1 mmol/L 时恢复达到最大值 142.90 U/(g·min), 与同期 CK2 相比, 差异有统计学意义 ($p < 0.05$).



不同小写字母表示各处理间在 0.05 水平上差异有统计学意义。

图 3 CAT 酶活性的变化

3 讨论

植物清除超氧阴离子自由基($O_2^{\cdot-}$)的酶主要是 SOD, 清除 H_2O_2 的酶主要是 POD, CAT, APX 等. 其中, SOD 是抗氧化系统中的第一道防线, 催化细胞中多余的 $O_2^{\cdot-}$ 转化成 H_2O_2 和 O_2 [29-30]. 在酶保护系统中, SOD 处于核心地位 [31]. POD 的作用是清除细胞膜中的 H_2O_2 , CAT 为在过氧化物体中清除 H_2O_2 的酶. 在盐分胁迫下, 植物体内抗氧化酶系的活性与植物的抗氧化胁迫能力呈正相关, 而且在盐分胁迫下, 盐生植物与非盐生植物相比, 其 SOD, CAT, POD 活性更高, 从而更能有效地清除活性氧, 防止膜脂过氧化 [32]. 而射干幼苗叶片 SOD, POD, CAT 活性在处理 10 d 后显著降低. 这可能是由于盐胁迫可使活性氧在植物体内积累, 进而破坏 SOD, POD, CAT 等活性氧清除系统的结构活性, 使植物清除活性氧的能力下降, 从而在细胞水平上对植物造成氧化损伤 [33]; 同时 Mata [34] 等人也研究发现, NO 能缓解盐胁迫对植物细胞膜造成的氧化损伤, 主要是由于 NO 可以与活性氧自由基发生反应, 从而阻止盐碱胁迫对细胞膜造成的损伤, 提高了保护酶的活性. 分析其原因可能是由于 NO 与含铁的相关酶之间有较高的亲和性, 通过调节 CAT 酶活性 (CAT 是一种含血红素铁的酶类) 和抑制顺乌头酸酶活性 (一种含非血红素铁的酶) 来参与植物抗性生理反应 [35]. 而本论文的实验结果显示, 在盐碱胁迫射干幼苗叶片中 SOD, POD, CAT 酶的活性基本增加, 并且随着时间的延长继续增加, 但是, 又由于不同植物的情况不一样, 射干幼苗叶片中 SOD, POD, CAT 酶的活性增加, 并且随着碱性盐的比例和盐浓度的不同也出现不同的变化规律.

本试验旨在探讨经过外源物质 SNP 和 Spd 处理后, 射干幼苗叶片中抗氧化酶系统出现的变化情况, 试验结果显示, SNP 和 Spd 可以有效提高抗氧化酶的活性, SOD, POD 和 CAT 成为有效的抗氧化系统、清除活性氧从而减缓射干幼苗在盐碱胁迫下受到的伤害, 这与前人的研究结果是一致的.

参考文献:

- [1] 杨秀玲, 郁继华, 李雅佳, 等. NaCl 胁迫对黄瓜种子萌发及幼苗生长的影响 [J]. 甘肃农业大学学报, 2004, 39(1): 6-9.
- [2] 何欢乐, 蔡润, 潘俊松, 等. 盐胁迫对黄瓜种子萌发特性的影响 [J]. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2005, 23(2): 148-152, 162.

- [3] 李 丽, 闵犁园, 陈怡平, 等. 铜盐与锌盐配合物的生物学研究 [J]. 新疆大学学报: 自然科学版, 2003, 20(2): 161—164.
- [4] 王广印, 周秀梅, 张建伟, 等. NaCl 胁迫对不同品种黄瓜种子发芽的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(1): 121—124.
- [5] 吕有军, 叶武威, 祝水金, 等. 陆地棉种子萌发过程中盐处理对 NaCl 胁迫的缓解作用 [J]. 棉花学报, 2005, 17(4): 256.
- [6] 蔡 曹, 丁同楼, 王宝山. 外源 GA₃, ABA 和 Ca(NO₃)₂ 缓解盐对小麦种子萌发的抑制作用 [J]. 西北植物学报, 2004, 24(4): 583—587.
- [7] 李和生. 现代植物生理学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [8] AL-HELAL A A, AL-FARRAJ M M, EL-DESOKI R L, et al. Germination Response of Cassia senna L seeds to Sodium Salts and Temperature [J]. Journal of the University of Kuwait(Science), 1989, 16(2): 281—287.
- [9] 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.
- [10] ZHAO L Q, ZHANG F, GUO J K, et al. Nitric Oxide Functions as a Signal in Salt Resistance in the Calluses from Two Ecotypes of Reed [J]. Plant Physiology, 2004, 134(2): 849—857.
- [11] CHENG F Y, HSU S Y, KAO C H. Nitric Oxide Counteracts the Senescence of Detached Rice Leaves Induced by Dehydration and Polyethyleneglycol but not by Sorbitol [J]. Plant Growth Regul, 2002, 38(3): 265—272.
- [12] 王宪叶, 沈文飏, 徐朗莱. 外源一氧化氮对渗透胁迫下小麦幼苗叶片膜脂过氧化的缓解作用 [J]. 植物生理与分子生物学学报, 2004, 30(2): 195—200.
- [13] 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): 92—97.
- [14] 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.
- [15] 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(3): 583—591.
- [16] KASUKABE Y, HE L, 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 and Cell Physiology, 2004, 45(6): 712—722.
- [17] 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 Biotechnology, 2006, 23(1): 75—83.
- [18] ANASYASIA K, PAPADAKIS KALLIOPI A, ROUBELAKIS-ANGELAKIS. Polyamines Inhibit NADPH Oxidase-Mediated Superoxide Generation and Putrescine Prevents Programmed Cell Death Induced by Poly-Amine Oxidase-Generated Hydrogen Peroxide [J]. Planta, 2005, 220(6): 826—837.
- [19] 李晓东, 徐继忠, 史宝胜, 等. 外源多胺及其合成抑制剂对核桃叶片光合作用的影响 [J]. 果树学报, 2003, 20(1): 73—75.
- [20] 中国科学院中国植物志编委会. 中国植物志: 16(1)卷 [M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- [21] 李龙梅, 王瑞刚. 盐胁迫对射干和鸢尾 2 种地被植物理化特性的影响 [J]. 中国农学通报, 2012, 28(7): 181—184.
- [22] 王桂霞, 安广义, 陆贵巧, 等. 3 种草本药用植物绿化建筑垃圾土地的研究 [J]. 草业科学, 2004, 21(4): 69—71.
- [23] 付宝春, 薄 伟, 康红梅. 干旱胁迫 13 种优良鸢尾属植物的生理影响 [J]. 山西农业科学, 2013, 41(9): 924—929.
- [24] 原海燕, 黄苏珍, 郭 智, 等. 镉对镉胁迫下马蔺生长、镉积累及生理抗性的影响 [J]. 应用生态学报, 2007, 18(9): 2111—2116.
- [25] 孙延东, 黄苏珍. 镉、铜复合胁迫下黄菖蒲部分生理抗性研究 [J]. 江苏农业科学, 2007(6): 308—311.
- [26] 张以顺, 黄 霞, 陈云凤. 植物生理学实验教程 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2009: 136—142.
- [27] 郝再彬, 苍 晶, 徐 仲. 植物生理实验 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004: 115—116.
- [28] 张士功, 高吉寅, 宋景芝, 等. 硝酸钙对小麦幼苗生长过程中盐害的缓解作用 [J]. 麦类作物, 1998, 18(5): 60—63.

- [29] VAIDYANATHAN H, SIVAKUMAR P, CHAKRABARTY R, et al. Scavenging of Reactive Oxygen Species in NaCl Stressed Rice (*Oryza sativa* L.) Differential Response in Salt-Tolerant and Sensitive Varieties [J]. *Plant Sci*, 2003, 165(6): 1411–1418.
- [30] MELONI D A, OLIVA M A, MARTINEZ C A, et al. Photosynthesis and Activity of Superoxide Dismutase, Peroxidase and Glutathione Reductase in Cotton Under Salt Stress [J]. *Environ Exp Bot*, 2003, 49: 69–76.
- [31] BADAWI G H, YAMAUCHI Y, SHIMADA E, et al. Enhanced Tolerance to Salt Stress and Water Deficit by Overexpressing Superoxide Dismutase in Tobacco (*Nicotiana tabacum*) Chloroplasts [J]. *Plant Sci*, 2004, 166(4): 919–928.
- [32] 赵可夫. 植物抗盐生理 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993: 24–27, 230–231.
- [33] 汪良驹, 刘友良, 马 凯, 等. 无花果细胞系耐盐性与抗氧化酶活性的变化 [J]. *园艺学报*, 1999, 26(6): 351–355.
- [34] MATA C G, LAMATTINA L. Nitric Oxide Induces Stomatal Closure and Enhances the Adaptive Plant Responses Against Drought Stress [J]. *Plant Physiol*, 2001, 126(3): 1196–1204.
- [35] CLARK D, DURNER J, NAVARRE D A, et al. Nitric Oxide Inhibition of Tobacco Catalase and Ascorbate Peroxidase [J]. *Mol Plant Mic Inter*, 2000, 13(12): 1380–1384.

Effects of Exogenous SNP and Spd on the Activity of Antioxidant Enzyme System in *Belamacanda chinensis* (L.) DC. Seedlings Under Saline-Alkali Stress

YANG Mou, HE Ping, DUAN Cai-xu, XU Meng-ping

Key Laboratory of Eco-environments of Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, Chongqing;
Key Laboratory of Plant Ecology and Resources Research for Three Gorges Reservoir Region,
School of Life Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: In order to simulate the natural salt-alkali soil condition, a mixture of salt and alkali ($\text{NaCl} : \text{Na}_2\text{SO}_3 : \text{NaHCO}_3 : \text{Na}_2\text{CO}_3 = 9 : 1 : 9 : 1$) was used to treat *Belamacanda chinensis* (L.) DC. seedlings. Then, SNP and Spd were introduced as extraneous sources, and the variation of SOD, POD and CAT contents in them was studied. The result showed that the contents of SOD, POD and CAT increased with processing time under salt-alkali stress, and that after the introduction of exogenous SNP and Spd, the content level of the above three substances continued to increase. The above results indicated that the salt-tolerant plant *B. chinensis* (L.) DC had a self-healing ability under salt-alkali stress by increasing the contents of antioxidant enzymes, and that exogenous SNP and Spd could further increase the activities of the antioxidant enzymes, which would remove the harmful active oxygen within plants incurred by salt-alkali stress.

Key words: *Belamacanda chinensis* (L.) DC.; salt-alkali stress; antioxidant enzyme system; active oxygen

