

龙珠果茎段离体培养和组培苗耐盐性分析

刘艳艳^{1,2}, 司灿², 何春梅², 俞振明², 段俊^{2*}

(1. 广州花卉研究中心, 广州 510360; 2. 中国科学院华南植物园, 广东省应用植物学重点实验室, 中国科学院华南农业植物分子分析与遗传改良重点实验室, 广州 510650)

摘要: 为建立龙珠果(*Passiflora foetida*)的快繁再生体系, 以实生苗茎段为外植体, 研究了植物生长调节剂对丛生芽诱导、壮苗生根的影响, 同时对组培苗的耐盐性进行研究。结果表明, MS+6-BA 0.5 mg/L+NAA 0.05 mg/L 培养基有利于诱导丛生芽并促进芽的生长; MS+6-BA 3.0 mg/L+NAA 0.3 mg/L 培养基有利于诱导愈伤组织; 1/2 MS+IBA 0.2 mg/L 培养基适合小芽壮苗生根。组培苗移栽至泥炭土:蛭石:珍珠岩(2:1:1)的基质中, 成活率可达 92.6%, 且植株生长良好。0~200 mmol/L NaCl 处理的组培苗生长不受影响; 超过 200 mmol/L NaCl 处理, 植株出现矮化、叶片萎蔫、变黄等现象。随 NaCl 浓度升高, 叶片的 SOD 活性逐渐升高, POD、CAT 和 APX 活性则呈先升高后降低的趋势。这为龙珠果的种苗繁育、海滨生态修复提供了技术支持。

关键词: 龙珠果; 茎段; 丛生芽; 愈伤组织; 盐胁迫

doi: 10.11926/jtsb.4323

Stem Culture *in vitro* of *Passiflora foetida* and Salt Tolerance of Seedlings

LIU Yan-yan^{1,2}, SI Can², HE Chun-mei², YU Zhen-ming², DUAN Jun^{2*}

(1. Guangzhou Flowering Research Center, Guangzhou 510360, China; 2. Guangzhou Provincial key laboratory of Applied Botany, Key Laboratory of South China Agricultural Plant Molecular Analysis and Gene Improvement, South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China)

Abstract: In order to establish a rapid regeneration system of *Passiflora foetida*, the effect of plant growth regulators on adventitious bud induction, rooting were studied by using stems as explants, as well as the salt tolerance of seedlings. The results showed that the induction and growth of adventitious buds were suitable on MS+6-BA 0.5 mg/L+NAA 0.05 mg/L medium; the callus induction was appropriate on MS+6-BA 3.0 mg/L+NAA 0.3 mg/L medium; and the rooting of plantlets was available on 1/2MS+IBA 0.2 mg/L medium. The survival rate of plantlets could up to 92.6% after transplanted on matrix (peat : vermiculite : perlite=2 : 1 : 1). The growth of *P. foetida* seedlings was not affected under 0–200 mmol/L NaCl, while plants appeared dwarfing, leaf wilting, and yellow under more than 200 mmol/L NaCl stress. The SOD activity in leaves increased with increment of NaCl concentration, while POD, CAT and APX activities increased at first, and then decreased. These would provide technical support for the breeding of *P. foetida* and the restoration of seashore ecology.

Key words: *Passiflora foetida*; Stem; Cluster shoot; Callus; Salt stress

龙珠果(*Passiflora foetida*), 别名香花果、天仙果、野仙桃等, 为西番莲科(Passifloraceae)西番莲属

草质藤本植物。原产于西印度群岛, 在我国主要分布于广东、海南、福建和台湾等地, 生长于荒山草

收稿日期: 2020-10-21

接受日期: 2021-01-25

基金项目: 广东省林业科技创新项目(2015KJCX040)资助

This work was supported by the Project for Forestry Science and Technology Innovation in Guangdong (Grant No. 2015KJCX040).

作者简介: 刘艳艳(1992~), 女, 硕士。E-mail: 1970291025@qq.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: duanj@scib.ac.cn

坡、灌丛或近海边沙滩^[1]。龙珠果花朵秀丽, 颜色多变; 果实外形美观, 香甜可食^[2]。

龙珠果茎秆和叶片中含有黄酮类化合物, 主要成分为牡荆素、异牡荆素、荭草素, 异荭草素等^[3]。龙珠果具有清热解毒、清肺止咳的作用, 可用于治疗肺热咳嗽、小便混浊、痈疮肿毒、外伤性眼角膜炎、淋巴结炎等症^[4-5]。果实可用作催吐剂, 煎煮后可用于治疗哮喘; 叶片外敷可治疗创伤, 干燥叶片泡茶有助于提高睡眠质量; 根可用于调经, 对治疗过度兴奋和暴躁有作用^[6]。

龙珠果的自然繁殖方式是种子繁殖, 但种子萌发率低、繁殖周期长。关于龙珠果组织培养技术, 国内尚未见文献报道。本文以龙珠果带节茎段为外植体, 通过调整植物生长调节剂的种类和浓度, 探讨适合丛生芽诱导、壮苗生根、炼苗移栽等阶段的培养基, 为龙珠果直接器官发生体系的建立提供试验依据。龙珠果作为一种海滨植物, 多生长于高盐环境, 组培苗的耐盐程度是其能否在海滨环境成活的重要指标, 通过对2月龄组培苗进行盐胁迫处理, 探讨其对盐胁迫的适应程度。

1 材料和方法

1.1 材料

龙珠果(*Passiflora foetida*)种子发芽后种植在中国科学院华南植物园生物技术育种实验室。3个月后苗高约12 cm, 选取生长健壮、长势基本一致的植株, 截取带节的茎段用于组织培养。取移栽至基质中生长2个月长势基本一致的组培苗用于盐胁迫试验。

1.2 组织培养

以MS为基本培养基^[7], pH 5.7。培养条件: (25±2)℃、光照强度 32.57 μmol/(m²·s)、12 h 光照/12 h 黑暗。将清洗过的龙珠果茎段置于超净工作台上, 用75%酒精浸泡约30 s, 无菌水清洗2~3次, 然后用0.1% HgCl₂浸泡5 min, 最后无菌水冲洗4~5次。将消毒过的茎段切成约2 cm带节点小段, 插入在已灭菌的培养基中。

植物生长调节剂组合的影响 将带节茎段接种于添加不同质量浓度的6-BA (0.5、1.0、2.0、3.0 mg/L)与IBA (0.05、0.1、0.2、0.3 mg/L)或NAA (0.05、0.1、0.2、0.3 mg/L)组合的MS培养基中, 以

不添加任何植物生长调节剂的MS培养基为对照。每处理接种5瓶, 每瓶15个茎段。40 d后统计丛生芽诱导率、芽分化率、愈伤组织诱导率等。丛生芽诱导率(%)=诱导出芽或芽点的茎段数/接种的茎段总数×100%, 芽分化率(%)=分化出芽的数量/芽点的总数×100%, 愈伤组织诱导率(%)=诱导出愈伤组织的茎段数/接种的茎段总数×100%。

壮苗生根 将诱导出的丛生芽分离, 接种于含不同质量浓度的NAA (0.05、0.1、0.2 mg/L)和IBA (0.05、0.1、0.2 mg/L)的1/2MS培养基中进行壮苗生根培养, 以1/2MS培养基为对照。每处理接种8瓶, 每瓶3个小芽。40 d后统计生根率、根长、根粗等。生根率(%)=诱导出根的芽数量/接种芽的总数×100%。

炼苗移栽 组培苗长至8~12 cm高时, 选择长势旺盛、叶片较多且根系发育良好的组培苗, 打开瓶盖, 转移到自然条件下炼苗1周。小心从组培瓶中取出幼苗, 用自来水将根部冲洗干净, 移栽至泥炭土:蛭石:珍珠岩为2:1:1的基质中, 共移栽121株。基质浇透水, 同时提高空气湿度, 保持适当通风, 30 d后统计移栽成活率。移栽成活率(%)=成活苗数/移栽总苗数×100%。

1.3 盐胁迫试验

组培苗移栽2个月后, 隔天用不同浓度的NaCl溶液浇灌, 共设6个处理: 0、100、200、400、600、800 mmol/L, 以0 mmol/L NaCl为对照, 每处理5株。5 d后每处理分别称取0.5 g功能叶片(从上向下第二片), 冻存于-80℃冰箱中, 3次重复。

SOD、POD、CAT和APX活性测定 取出叶片置于预冷的研钵中, 加入少量的石英砂和5 mL 0.05 mol/L的磷酸缓冲液(pH 7.8, 1% PVP, 0.1 mmol/L EDTA), 在冰上迅速研磨成均一浑浊的悬浮液, 转入15 mL离心管中。在4℃, 7 104×g离心10 min, 取上清液, 4℃放置。SOD活性采用核黄素-NBT法^[8]测定; POD活性采用愈创木酚法^[9-10]测定; CAT活性采用紫外分光光度计^[11]测定; APX酶活性采用抗坏血酸氧化法^[12]测定。

1.4 数据统计

采用Excel 2010对数据进行整理和统计, 显著性分析采用SPSS 22.0中的邓肯氏多重检测法(Duncan's multiple range test, DMRT), 以P<0.05表示差

异显著。

2 结果和分析

2.1 植物生长调节剂的影响

茎段接种到诱导培养基后定期观察, 约 15 d 在节点处开始长出芽点或小芽, 随后茎段两端慢慢变黄, 培养 40 d 后统计丛生芽诱导率、芽分化率、愈伤组织诱导率等指标(表 1 和图 1: A)。

培养基中添加 0.5 mg/L 6-BA+0.05 mg/L IBA, 诱导的丛生芽中有 14.6%芽长可达 4 cm; 随 6-BA、IBA 浓度的升高, 丛生芽诱导率没有显著变化, 芽分化率下降, 小芽(1 cm 长)比例增加。当 6-BA 浓

度为 3.0 mg/L、IBA 浓度为 0.3 mg/L 时, 芽分化率为 2.3%, 诱导出的都是小芽。这表明 6-BA 与 IBA 组合能诱导出丛生芽或芽点, 且随浓度升高芽分化率降低, 小芽比例升高。

培养基中添加 0.5 mg/L 6-BA+0.05 mg/L NAA, 丛生芽诱导率为 98.7%, 4 cm 大芽达 9.9%; 随着 6-BA、NAA 浓度的升高, 丛生芽诱导率和芽分化率显著下降, 小芽比例明显增加, 从茎段诱导出有白色愈伤层的浅绿色愈伤组织(图 1: B), 且愈伤组织的数量随 6-BA、NAA 浓度的升高而增多。当 6-BA 浓度为 3.0 mg/L、NAA 浓度为 0.3 mg/L 时, 丛生芽诱导率下降为 40%, 诱导出的全是 1 cm 小芽, 愈伤组织诱导率为 59.5%。这表明较低浓度的 6-BA

表 1 植物生长调节剂对丛生芽诱导的影响

Table 1 Effect of plant growth regulator on induction of cluster buds

	植物生长调节剂 (mg/L) Plant growth regulator	丛生芽诱导率 /% Bud induction rate	出芽率 Bud rate /%			芽分化率 /% Bud differentiation rate	愈伤组织诱导率 /% Callus induction rate
			1 cm	2 cm	4 cm		
1	0	0	0	0	0	0	0
2	6-BA 0.5+IBA 0.05	95.0	46.3	39.0	14.6	24.6	0
3	6-BA 1.0+IBA 0.1	97.8	73.5	26.5	0	15.5	0
4	6-BA 2.0+IBA 0.2	100.0	86.1	13.9	0	16.0	0
5	6-BA 3.0+IBA 0.3	96.0	100.0	0	0	2.3	0
6	6-BA 0.5+NAA 0.05	98.7	60.6	29.6	9.9	21.6	0
7	6-BA 1.0+NAA 0.1	86.7	90.0	0	10.0	4.7	13.3
8	6-BA 2.0+NAA 0.2	49.3	100.0	0	0	13.2	50.7
9	6-BA 3.0+NAA 0.3	40.0	100.0	0	0	7.0	59.5

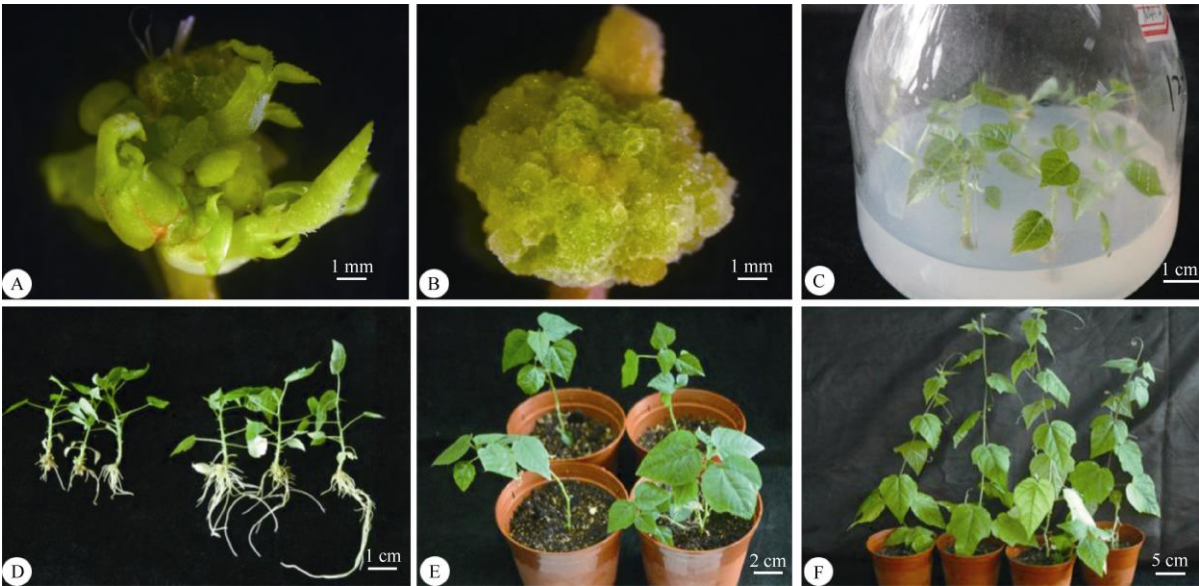


图 1 龙珠果茎段的离体培养和植株再生。A: 丛生芽诱导; B: 愈伤组织诱导; C: 小芽; D: 生根; E: 移栽 30 d; F: 移栽 90 d。

Fig. 1 Culture *in vitro* and regeneration from stems of *Passiflora foetida*. A: Cluster bud induction; B: Callus induction; C: Buds without root; D: Rooting; E: Transplant after 30 days; F: Transplant after 90 days.

与 NAA 组合有利于茎段诱导丛生芽和芽的分化, 较高浓度的 6-BA 与 NAA 组合有利于茎段诱导产生愈伤组织。

因此, MS+6-BA 0.5 mg/L+NAA 0.05 mg/L 培养基有利于龙珠果茎段诱导丛生芽并促进芽的生长, 而 MS+6-BA 3.0 mg/L+NAA 0.3 mg/L 培养基有利于茎段诱导愈伤组织。

2.2 植物生长调节剂对壮苗生根的影响

将大小均匀一致的丛生芽(图 1: C)转接到壮苗生根培养基后定期观察, 约 15 d 根开始形成, 培养 40 d 后对根的生长情况进行统计、分析(表 2)。

培养基中添加 0.05 mg/L NAA, 生根率为 100%, 29.2%的根长达 5 cm, 根细, 植株生长正常; 当 NAA

为 0.2 mg/L 时, 生根率为 83.3%, 10.0%的根长达 5 cm, 根略粗, 植株叶片较黄。这表明低浓度 NAA 有利于诱导分化芽长根, 但根细长; 高浓度 NAA 对根的诱导有抑制作用, 但根较粗, 叶片较黄。

培养基中添加 0.05 mg/L IBA, 生根率为 54.2%, 38.5%的根长达 5 cm, 根略粗, 植株正常生长; 当 IBA 为 0.2 mg/L 时, 生根率为 95.8%, 73.9%的根长达 5 cm, 根略粗, 叶片较绿(图 1: D)。这表明, 低浓度 IBA 诱导生根的效果较差, 根短粗; 而高浓度 IBA 有利于诱导生根, 根长且粗, 植株叶片较绿。

当 NAA 与 IBA 配合使用时, 随浓度升高, 生根率反而下降, 但根较粗, 植株叶片较黄。因此, 培养基 1/2MS+IBA 0.2 mg/L 适合龙珠果小芽的壮苗生根培养。

表 2 植物生长调节剂对壮苗生根的影响

Table 2 Effect of plant growth regulator on rooting						
植物生长调节剂 (mg/L)	生根率 /%	5 cm 根的百分率		植物生长调节剂 (mg/L)	生根率 /%	5 cm 根的百分率
Plant growth regulator	Rooting	% of 5 cm root		Plant growth regulator	Rooting	% of 5 cm root
1 1/2 MS	87.5	23.8		6 IBA 0.1	95.8	65.2
2 NAA 0.05	100.0	29.2		7 IBA 0.2	95.8	73.9
3 NAA 0.1	75.0	27.8		8 NAA 0.05 + IBA 0.05	58.3	64.3
4 NAA 0.2	83.3	10.0		9 NAA 0.1 + IBA 0.1	58.3	28.6
5 IBA 0.05	54.2	38.5		10 NAA 0.2 + IBA 0.2	45.8	45.5

2.3 炼苗移栽

待组培瓶苗长到 8~12 cm 高时, 打开瓶盖置于自然条件下炼苗, 7 d 后将组培苗取出, 洗净根部培养基, 移栽至泥炭土: 蛭石: 珍珠岩为 2: 1: 1 的基质中。移栽后定期补充水分, 30 d 后(图 1: E)龙珠果成活率达 92.6%, 90 d 后植株长势良好(图 1: F)。

2.4 盐胁迫的影响

盐胁迫对龙珠果组培苗的生长总体表现为抑制作用, 随 NaCl 浓度的升高, 植株出现矮化现象, 叶片逐渐萎蔫卷曲, 颜色变黄(图 2: A)。随 NaCl 浓度的升高, 株高逐渐降低(图 2: B)。当 NaCl 浓度 < 200 mmol/L 时, 株高与对照的差异不显著($P>0.05$); NaCl 浓度 >400 mmol/L 时, 株高显著低于对照($P<$

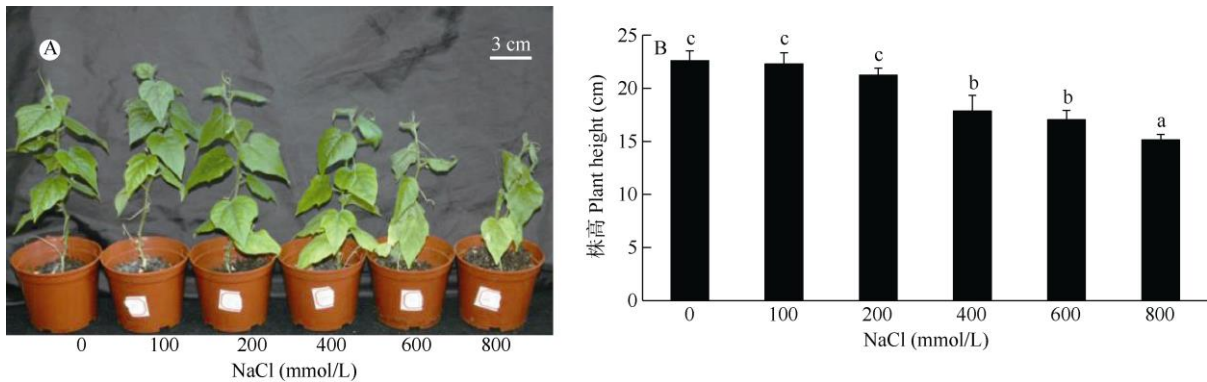


图 2 盐胁迫下龙珠果组培苗的表型(A)和株高(B)变化。n=3; 柱上不同字母表示差异显著($P<0.05$)(DMRT)。
Fig. 2 Phenotype (A) and height (B) of *Passiflora foetida* plantlets under NaCl stress. n=3. Different letters upon column indicate significant differences at 0.05 level by using DMRT. The same is following Figure.

0.05)。表明龙珠果组培苗能适应 200 mmol/L 以下的 NaCl 胁迫。

从图 3 可见, 龙珠果组培苗叶片的 SOD 活性随 NaCl 浓度升高呈逐渐升高的变化趋势, 当 NaCl 浓度大于 400 mmol/L 时, SOD 活性显著升高($P < 0.05$)。NaCl 浓度为 0~400 mmol/L 时, POD 活性较低, 当 NaCl 浓度大于 400 mmol/L 时, POD 活性显著升高($P < 0.05$)。CAT 活性随 NaCl 浓度升

高呈先升后降的变化趋势, 0~200 mmol/L NaCl 处理时, CAT 活性逐渐升高, 以 200 mmol/L NaCl 处理的最高, 随后(200~800 mmol/L NaCl) CAT 活性逐渐降低。APX 活性随 NaCl 浓度升高呈先升后降的变化趋势, 低浓度 NaCl (0~400 mmol/L)处理的 APX 活性总体升高, 以 400 mmol/L NaCl 处理的最高, 随后(400~800 mmol/L NaCl) APX 活性逐渐降低。

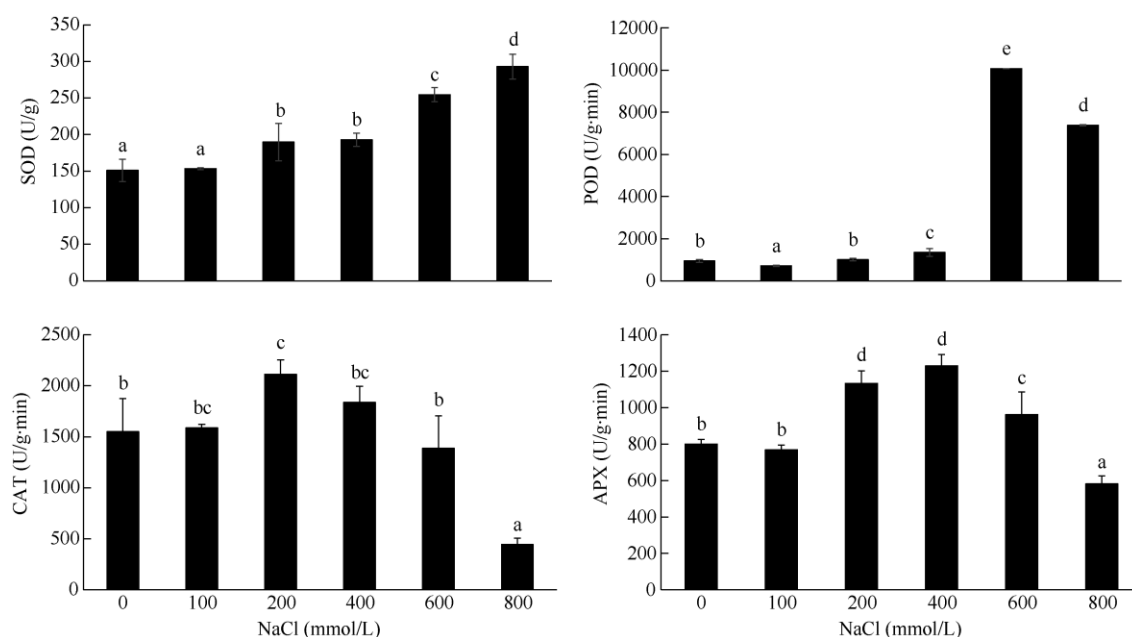


图 3 盐胁迫下龙珠果叶片的 SOD、POD、CAT 和 APX 活性

Fig. 3 Activities of SOD, POD, CAT and APX in *Passiflora foetida* leaves under NaCl stress

3 结论和讨论

6-BA 与 NAA 或 IBA 组合诱导茎段产生丛生芽在很多植物中都有报道^[13-15], 本试验结果表明, 6-BA 与 NAA 组合诱导龙珠果茎段产生丛生芽的效果较好, 且较低浓度的 6-BA 与 NAA 组合有利于茎段诱导丛生芽和芽的生长; 较高浓度的 6-BA 与 IBA 组合不能使龙珠果茎段产生愈伤组织, 而较高浓度的 6-BA 与 NAA 组合诱导茎段产生愈伤组织的效果较好, 推测 NAA 在龙珠果茎段诱导产生愈伤组织过程中占据主导地位, 且 NAA 浓度的升高有利于龙珠果茎段形成愈伤组织。辜夕容等^[16]的研究表明, NAA 浓度增高有利于香樟(*Cinnamomum camphora*)茎段诱导出愈伤组织, 这与本试验结果一致。由于愈伤组织数量有限, 本试验没有进行愈伤组织增殖、分化的研究, 还有待今后深入研究。

植株受到盐胁迫时, 细胞内会产生大量的活性氧, 抗氧化酶系统只能清除已经产生的活性氧, 无法减少活性氧的生成, 属于被动应答机制, 一旦活性氧产生大于抗氧化酶系统的清除能力, 植物会出现一系列不良症状, 最明显的表现是生长受到抑制, 甚至死亡^[17-18]。本研究结果表明, 0~200 mmol/L NaCl 对龙珠果组培苗生长没有影响; 200~800 mmol/L NaCl 使植株变矮, 叶片变黄萎蔫, 这可能是较高浓度盐使细胞液泡积累较多的无机离子, 水势降低, 同时根系吸收不到充分的水分和矿质元素, 进而影响植株生长。

SOD 能促进超氧阴离子转化为 H_2O_2 , 并传递 H_2O_2 给下游酶; POD 能与 SOD 联合作用, 将 SOD 催化反应产生的 H_2O_2 分解清除; CAT 是 SOD 的下游保护酶, 能够进一步催化 H_2O_2 转化为 H_2O ; APX 也是 SOD 的下游保护酶, 是叶绿体内解毒过氧化

氢的关键酶,能够以抗坏血酸为底物,催化 H_2O_2 生成 H_2O ^[19-20]。张乃群等^[21]对野生大豆(*Glycine soja*)幼苗的研究表明,随 NaCl 浓度的升高,POD 和 CAT 活性呈先升高后下降的变化趋势,与本研究结果相似。

本文首次以海滨植物龙珠果为研究对象,以不同 NaCl 浓度模拟海滨附近生长环境,并通过 4 种抗氧化酶活性的变化探讨龙珠果组培苗对盐胁迫的适应程度。结果表明,SOD 活性随 NaCl 浓度升高逐渐升高,POD、CAT 和 APX 活性整体呈先升高后下降的变化趋势。0~200 mmol/L NaCl 使叶片的 SOD、POD、CAT 和 APX 活性均呈现不同程度的升高,说明这 4 种酶协同发挥保护作用;当 NaCl 浓度大于 400 mmol/L 时,CAT 和 APX 活性下降明显,说明盐浓度已超过龙珠果植株的耐盐阈值,生长受到严重抑制。综合来看,作为一种海滨植物,龙珠果对盐胁迫具有一定的耐受能力,200 mmol/L 以下的 NaCl 对其生长影响不大,耐盐阈值为 400 mmol/L,SOD、POD、CAT 和 APX 等抗氧化酶共同构筑了龙珠果抵御盐胁迫的保护系统。

本研究成功建立了龙珠果茎段丛生芽诱导和植株再生体系,探究了组培苗对盐胁迫的适应程度,为龙珠果种苗繁育和移栽提供了理论依据和技术支持,对海滨生态环境绿化和修复具有重要意义。

参考文献

- [1] WANG D, LU H J, SONG H D, et al. Determination of vitexin from different medicinal parts of *Passiflora foetida* Linn. [J]. Food Drug, 2014, 16(6): 425-427. doi: 10.3969/j.issn.1672-979X.2014.06.014.
王东, 卢慧娟, 宋洪东, 等. 龙珠果不同入药部位中牡荆素的含量测定 [J]. 食品与药品, 2014, 16(6): 425-427. doi: 10.3969/j.issn.1672-979X.2014.06.014.
- [2] HUANG D. Ornamental plants and their application in Hainan seashore [J]. Flowers, 2016(3): 43-47.
黄丹. 海南海滨观赏植物及应用 [J]. 花卉, 2016(3): 43-47.
- [3] Editorial Board of Chinese Materia Medica of State Administration of Traditional Chinese Medicine. Chinese Materia Medica, Vol. 7 [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1999: 478-479.
国家中医药管理局《中华本草》编委会. 中华本草, 第 7 卷 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1999: 478-479.
- [4] JI S G, YANG K W, HE C Y, et al. Microscopic identification of *Passiflora foetida* [J]. Chin Med Mat, 2012, 35(3): 391-393. doi: 10.13863/j.issn1001-4454.2012.03.020.
姬生国, 杨克伟, 何纯瑶, 等. 龙珠果的显微鉴定 [J]. 中药材, 2012, 35(3): 391-393. doi: 10.13863/j.issn1001-4454.2012.03.020.
- [5] Delectis Florae Reipublicae Popularis Sinicae, Agendae Academiae Sinicae Edita. Florae Reipublicae Popularis Sinicae, Tomus 52(1) [M]. Beijing: Science Press, 1999: 111.
中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志, 第 52 卷第 1 分册 [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 111.
- [6] KRISHNAVENI A, THAAKUR S R. Pharmacognostical and preliminary phytochemical studies of *Passiflora foetida* [J]. Anc Sci Life, 2008, 27(3): 19-23.
- [7] MURASHIGE T, SKOOG F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures [J]. Physiol Plant, 1962, 15(3): 473-497. doi: 10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x.
- [8] BEAUCHAMP C, FRIDOVICH I. Superoxide dismutase: Improved assays and an assay applicable to acrylamide gels [J]. Anal Biochem, 1971, 44(1): 276-287. doi: 10.1016/0003-2697(71)90370-8.
- [9] MUÑOZ-MUÑOZ J L, GARCÍA-MOLINA F, GARCÍA-RUIZ P A, et al. Enzymatic and chemical oxidation of trihydroxylated phenols [J]. Food Chem, 2009, 113(2): 435-444. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.07.076.
- [10] QUINTANILLA-GUERRERO F, DUARTE-VÁZQUEZ M A, GARCÍA-ALMENDAREZ B E, et al. Polyethylene glycol improves phenol removal by immobilized turnip peroxidase [J]. Bioresour Technol, 2008, 99(18): 8605-8611. doi: 10.1016/j.biortech.2008.04.031.
- [11] CHANCE B, MAEHLI A C. Assay of catalases and peroxidases [J]. Method Enzymol, 1955, 2: 764-775. doi: 10.1016/S0076-6879(55)02300-8.
- [12] NAKANO Y, ASADA K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts [J]. Plant Cell Physiol, 1981, 22(5): 867-880. doi: 10.1093/oxfordjournals.pcp.a076232.
- [13] WANG Q, CHEN D Y, YANG G, et al. Tissue culture and rapid propagation *in vitro* of *Clinacanthus nutans* [J]. Plant Physiol J, 2018, 54(2): 232-236. doi: 10.13592/j.cnki.ppj.2018.0006.
王强, 陈冬怡, 杨国, 等. 鳄嘴花的组织培养和快速繁殖 [J]. 植物生理学报, 2018, 54(2): 232-236. doi: 10.13592/j.cnki.ppj.2018.0006.
- [14] HOU S X, ZHAO Y X, LI J W, et al. Effects of different growth regulators on the rapid propagation *in vitro* of *Dianthus caryophyllus* [J]. Mol Plant Breed, 2018, 16(3): 938-942. doi: 10.13271/j.mpb.016.000938.
侯少霞, 赵永秀, 李佳雯, 等. 生长调节剂对香石竹离体快繁的影响 [J]. 分子植物育种, 2018, 16(3): 938-942. doi: 10.13271/j.mpb.016.000938.

- [15] WANG G P, XIAO R, LI C Y, et al. Study on the establishment of stem regenerating system from *Ziziphus jujuba* [J]. Chin Agric Sci Bull, 2011, 27(31): 184–188.
- 王国平, 肖蓉, 李春燕, 等. 枣茎段再生体系建立的研究 [J]. 中国农学通报, 2011, 27(31): 184–188.
- [16] GU X R, HUANG J G, YANG Q. Initial culture of *Cinnamomum caphora* (L.) Presl *in vitro* [J]. Chin Agric Sci Bull, 2005, 21(2): 97–100. doi: 10.3969/j.issn.1000-6850.2005.02.030.
- 辜夕容, 黄建国, 杨庆. 香樟离体培养体系的构建初探 [J]. 中国农学通报, 2005, 21(2): 97–100. doi: 10.3969/j.issn.1000-6850.2005.02.030.
- [17] QI Q, MA S R, XU W D. Advances in the effects of salt stress on plant growth and physiological mechanisms of salt tolerance [J]. Mol Plant Breed, 2020, 18(8): 2741–2746. doi: 10.13271/j.mpb.018.002741.
- 齐琪, 马书荣, 徐维东. 盐胁迫对植物生长的影响及耐盐生理机制研究进展 [J]. 分子植物育种, 2020, 18(8): 2741–2746. doi: 10.13271/j.mpb.018.002741.
- [18] LIAO Q L. Influence of soil salinity on growth and physiological indexes of *Phoenix canariensis* seedlings [J]. J Trop Subtrop Bot, 2012, 20(2): 163–168. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2012.02.010.
- 廖启科. 土壤盐度对加拿利海枣幼苗生长与生理指标的影响 [J]. 热带亚热带植物学报, 2012, 20(2): 163–168. doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2012.02.010.
- [19] ISHIKAWA T, SAKAI K, YOSHIMURA K, et al. cDNAs encoding spinach stromal and thylakoid-bound ascorbate peroxidase, differing in the presence or absence of their 3'-coding regions [J]. Febs Lett, 1996, 384(3): 289–293. doi: 10.1016/0014-5793(96)00332-8.
- [20] SI C, ZHANG J Y, XU H C. Advances in studies on growth metabolism and response mechanisms of medicinal plants under drought stress [J]. China J Chin Mat Med, 2014, 39(13): 2432–2437. doi: 10.4268/cjcmm20141316.
- 司灿, 张君毅, 徐护朝. 药用植物在干旱胁迫下生长代谢变化规律及应答机制的研究进展 [J]. 中国中药杂志, 2014, 39(13): 2432–2437. doi: 10.4268/cjcmm20141316.
- [21] ZHANG N Q, LIU Y N, XIE Y H. Effects of salt stress on growth of wild soybean (*Glycine soja*) seedlings [J]. Soybean Sci, 2012, 31(6): 920–923. doi: 10.3969/j.issn.1000-9841.2012.06.013.
- 张乃群, 刘彦娜, 解艳华. 盐胁迫对野生大豆幼苗生长的影响 [J]. 大豆科学, 2012, 31(6): 920–923. doi: 10.3969/j.issn.1000-9841.2012.06.013.