

## · 研究简报 ·

## 蛋黄果在 NaCl 胁迫下的生理生态响应

刘育梅<sup>1\*</sup>, 胡宏友<sup>1</sup>, 李学梅<sup>1</sup>, 池敏杰<sup>2</sup>, 卢昌义<sup>1\*\*</sup>, 童庆宣<sup>2</sup>

(1. 厦门大学海洋与环境学院, 福建 厦门 361005; 2. 厦门华侨亚热带植物引种园, 福建 厦门 361002)

**摘要:** 采用盆栽实验法, 分别用盐度为 2, 4, 6, 8 的 NaCl 溶液对蛋黄果(*Lucuma nervosa* A. DC)进行了 NaCl 胁迫处理, 测定其叶绿素、超氧化物酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、游离脯氨酸、可溶性蛋白、可溶性糖、丙二醛等生理生态指标以及盆土的实际盐度, 研究蛋黄果的耐盐性并为果树的耐盐机理提供理论依据。结果表明: 在 NaCl 胁迫下, 蛋黄果的生长及叶绿素合成受到明显抑制, 在土壤盐度小于 0.19 时无盐害现象; SOD、POD 的活性均随 NaCl 浓度增加而显著升高, CAT 活性在盐度为 4~8 时与对照有显著差异; 脯氨酸、可溶性蛋白、可溶性糖、丙二醛含量变化均与处理盐度呈现正相关, 其中, 脯氨酸、可溶性蛋白含量在各个处理盐度均与对照存在显著差异, 可溶性糖含量在处理盐度为 6 和 8 时与对照存在显著差异。

**关键词:** 蛋黄果; NaCl 胁迫; 生理生态

中图分类号: S 688.9

文献标识码: A

文章编号: 0438-0479(2011)05-0951-04

盐度是限制植物生长的主要环境因素<sup>[1]</sup>。土壤的沙漠化、盐碱化问题已日益威胁着人类赖以生存的有限土壤资源, 关于植物的耐盐性研究应运而生<sup>[2-8]</sup>, 但耐盐机理相当复杂<sup>[9]</sup>, 我国目前在开展果树耐盐性研究主要有葡萄、草莓、无花果、桃、苹果等十来种, 尤其对南方果树资源的耐盐性研究十分薄弱, 这对于明确不同果树或同种果树不同品种的耐盐性差异远远不够。

蛋黄果(*Lucuma nervosa* A. DC)系山榄科(Sapotaceae)蛋黄果属(*Lucuma*), 原产于南美洲, 在厦门、漳州的引种年限较长, 能正常开花结果, 适应性好, 产量高。果实多为球形、桃形或纺锤形, 果实营养丰富、质地似蛋黄且有香气、水分含量少、粉质, 含糖 29%~31%、淀粉 5%~9%, 每 100 g 果肉约含维生素 C 24 mg。果实除生食外, 可制果酱、冰奶油、饮料或果酒。树姿美观, 可作行道树和庭院观赏树栽培, 是一种极富市场前景的树种<sup>[10]</sup>, 蛋黄果的繁殖技术已有报道<sup>[11-12]</sup>。本文研究 NaCl 浓度梯度对国外引种的热带果树蛋黄果幼苗的影响, 旨在探讨蛋黄果的耐盐性及其在 NaCl 胁迫下的生理生态响应, 为果树的耐盐机理提供一定的科学依据。

## 1 材料与方法

选择发育程度基本一致、规格相同的盆栽实生苗(苗龄 2 年)用于不同程度的 NaCl 胁迫处理, 5 个处理, 每个处理 3 次重复。盆土为腐殖土, 在搭盖塑料薄膜的荫棚下进行实验, 光照充足, 湿度较大, 处理时间为 2009-12-21—2010-01-22, 自来水为对照, 稀释法配制盐度为 2, 4, 6, 8 的 NaCl 溶液, NaCl 处理以一次浇透为准, 表层土干时继续 NaCl 处理(约 10 d), 观察蛋黄果的盐害现象, 至叶子出现 3 级盐害时停止 NaCl 处理(0 级: 无盐害症状; 1 级: 轻度盐害, 叶尖、叶缘变黄的叶片约占 1/5; 2 级: 中度盐害, 叶尖、叶缘变黄的叶片约占 1/2; 3 级: 重度盐害, 叶尖、叶缘变黄的叶片超过 1/2; 4 级: 极重度盐害, 叶片焦枯脱落、枝枯, 最终死亡)。NaCl 处理结束后测试株高变化、培养土实际含盐量, 并采集各植株中部成熟叶测试生理生态指标, 应用 SPSS16.0 统计软件分析实验数据, Excel 程序绘图并拟合回归方程。

采用丙酮-乙醇混合液法<sup>[13]</sup>测定叶绿素含量; 参照张志良等的方法<sup>[14]</sup>略作修改测定过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)活性及丙二醛、可溶性糖; 李合生的氮蓝四唑(NBT)光还原法<sup>[15]</sup>并略作修改测定超氧化物酶(SOD)活性; 分别采用酸性茚三酮显色法、考马斯亮蓝染料结合法<sup>[15]</sup>测定游离脯氨酸、可溶性蛋白。

收稿日期: 2010-09-23

基金项目: 厦门市科技局资助项目(3502Z20092023)

\* 现工作单位: 厦门华侨亚热带植物引种园

\*\* 通信作者: lucy@xmu.edu.cn

## 2 结果与分析

### 2.1 盆土实际盐度与盐害现象

盐害处理结束时,测试的盆土实际盐度从低到high为0,0.08,0.19,0.41,0.53,其中前3个梯度处理没出现盐害,盐度为0.41的盆土环境出现2级盐害,盐度为0.53的盆土环境出现3级盐害.

### 2.2 NaCl 胁迫下蛋黄果株高及叶绿素含量变化<sup>[16]</sup>

图1和2表明,蛋黄果幼苗的株高变化与NaCl胁迫浓度呈现负相关( $r=0.993$ ).土壤盐度高于0.41时,植株出现2级盐害,生长缓慢;至土壤盐度为0.53时,植株出现3级盐害,几乎停止生长.通过对叶绿素含量与NaCl胁迫浓度的回归分析(回归方程为 $y=-0.1134x+1.4056$ , $F=36.377$ ),叶绿素含量变化与盐度呈现负相关( $r=0.977$ ),叶绿素含量在各处理盐度与对照存在显著差异( $p<0.05$ ).

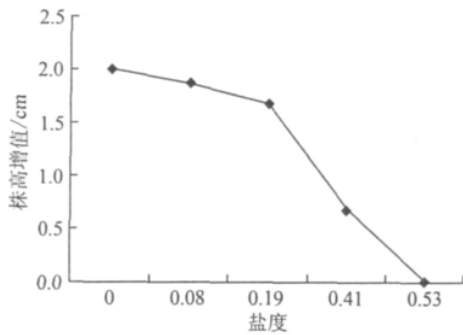


图1 不同NaCl胁迫浓度下株高变化  
Fig.1 NaCl effect on the growth

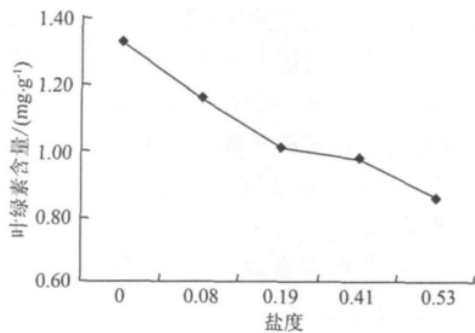
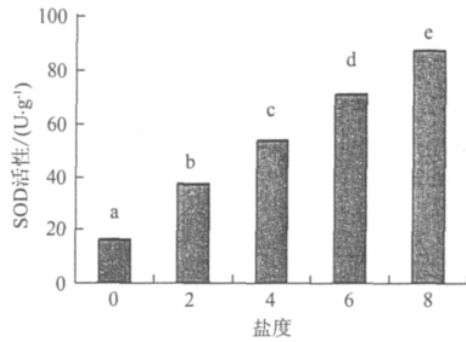


图2 不同NaCl胁迫浓度下叶绿素含量  
Fig.2 NaCl effect on the chlorophyll content

2.3 NaCl胁迫对蛋黄果保护酶系的影响  
结合保护酶系与NaCl胁迫浓度的回归分析(图3

~5),蛋黄果在梯度浓度NaCl胁迫下,SOD、POD、CAT活性与盐度均呈现正相关( $r$ 值分别为0.998,0.990,0.890),即SOD、POD及CAT活性均随盐度增加而升高,活性变化趋势一致,SOD、POD活性在各处理盐度与对照有显著差异,CAT活性在处理盐度为4~8时与对照有显著差异( $p<0.05$ ).



不同字母表示差异显著( $p<0.5$ )(下同).

图3 不同NaCl胁迫浓度下SOD活性  
Fig.3 NaCl effect on the SOD activity

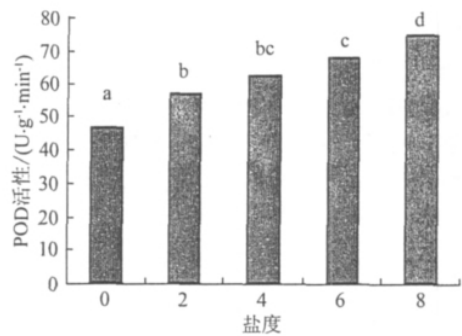


图4 不同NaCl胁迫浓度下POD活性  
Fig.4 NaCl effect on POD activity

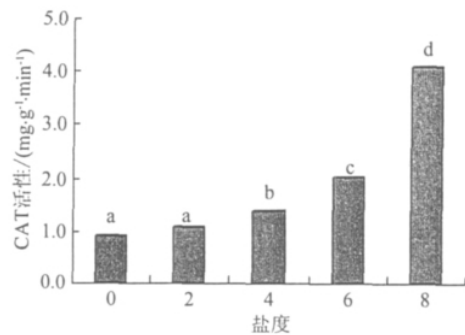


图5 不同NaCl胁迫浓度下CAT活性  
Fig.5 NaCl effect on the CAT activity

2.4 NaCl胁迫对蛋黄果有机物及丙二醛的影响

表 1 NaCl 胁迫对蛋黄果叶中脯氨酸、可溶性蛋白、可溶性糖、丙二醛等含量的影响

Tab. 1 Proline, soluble protein, soluble sugar, malonaldehyde content in leaves of *Lucuma nervosa* A. DC. under NaCl stress

盐度	脯氨酸/(mg·g <sup>-1</sup> )	可溶性蛋白/(mg·g <sup>-1</sup> )	可溶性糖/(mmol·g <sup>-1</sup> )	丙二醛/(μmol·g <sup>-1</sup> )
0	0.184±0.010 <sup>a</sup>	1.061±0.010 <sup>a</sup>	0.167±0.000 <sup>a</sup>	0.020±0.000 <sup>a</sup>
2	0.308±0.020 <sup>b</sup>	1.151±0.010 <sup>b</sup>	0.182±0.000 <sup>a</sup>	0.023±0.000 <sup>ab</sup>
4	0.876±0.040 <sup>c</sup>	1.217±0.020 <sup>c</sup>	0.188±0.010 <sup>a</sup>	0.025±0.000 <sup>b</sup>
6	3.504±0.080 <sup>d</sup>	1.321±0.100 <sup>d</sup>	0.225±0.010 <sup>b</sup>	0.029±0.000 <sup>c</sup>
8	4.546±0.080 <sup>e</sup>	1.407±0.010 <sup>e</sup>	0.219±0.020 <sup>b</sup>	0.036±0.000 <sup>d</sup>

注:表中数据是 3 个重复实验的平均值,同列的不同字母表示差异显著( $p < 0.05$ ).

根据表 1 结合回归分析,在 NaCl 胁迫下,蛋黄果的脯氨酸、可溶性蛋白、可溶性糖含量变化均与 NaCl 处理浓度呈现正相关(回归方程分别为  $y = 1.192 1x - 1.692 3$ ,  $y = 0.086 2x + 0.973 1$ ,  $y = 0.014 8x + 0.151 8$ , 相关系数  $r$  值分别为 0.939, 0.998, 0.939), 脯氨酸、可溶性蛋白含量在各个浓度梯度均与对照存在显著差异,可溶性糖含量在处理盐度为 6~8 与对照存在显著差异,在处理盐度 4 以内没有明显差异. 丙二醛变化趋势与处理盐度呈现正相关( $r = 0.962$ ), 在处理盐度为 4~8 时与对照存在显著差异,在处理盐度为 2 以内没有明显差异.

### 3 讨论

1) 叶绿素含量的高低是反映植物光合能力的一个重要指标. 随着 NaCl 胁迫浓度的递增,叶绿素合成遭受破坏,叶绿素含量随之递减,蛋黄果植株的株高增加量减少,至土壤盐度为 0.53 时,植株出现 3 级盐害,植株几乎停止生长,实验结果和理论相符.

2) SOD、POD 及 CAT 是植物体内抗氧化酶系统中的几种主要保护酶类,它们系统作用,有效地清除代谢过程中产生的活性氧,使生物体内的活性氧维持在一个低水平上,从而防止了活性氧引起的膜脂过氧化及其他伤害过程<sup>[16]</sup>. 在本实验中,土壤盐度小于 0.19 时植株没有盐害现象,随着 NaCl 胁迫浓度的递增,达到 0.41 时,植株出现了二级盐害,此时 SOD、POD 及 CAT 活性均随处理盐度增加而显著上升,目的为防止膜脂过氧化及其他伤害过程.

3) 盐生植物以无机离子、非盐生植物以有机小分子为主要渗透调节物质. 蛋黄果为非盐生植物,在本实验中,随 NaCl 胁迫浓度增加,脯氨酸、可溶性蛋白及可溶性糖的含量均随盐浓度增加而增加,其中脯氨酸、可溶性蛋白的含量在各个处理盐度下均与对照有显著

差异. 骆建霞等在亮叶忍冬、红叶女贞、蔓生紫薇的耐盐性研究中指出<sup>[2]</sup>, 3 种木本植物中耐盐性最差的蔓生紫薇在 NaCl 胁迫下脯氨酸含量随胁迫浓度上升而上升,且在高浓度下增幅很大,与其余 2 种变化规律不同,本实验中蛋黄果耐盐性不高,其脯氨酸变化规律和蔓生紫薇一致,脯氨酸变化规律可以作为耐盐性评价的参考指标之一.

4) 丙二醛为膜脂过氧化最重要的产物之一,可通过测定丙二醛了解膜脂过氧化的程度,以间接测定膜系统受损程度以及植物的抗逆性. 植物细胞膜透性大小随土壤盐度的变化而变化<sup>[17]</sup>, 盐胁迫下,植物细胞的膜透性增加,耐盐性较强的植物细胞膜透性稳定性较强,膜透性增加较少,伤害率低,而耐盐性弱的植物则相反<sup>[18]</sup>. 蛋黄果的耐盐性较差,在土壤盐度小于 0.19 时没有出现盐害现象,丙二醛含量缓慢上升,此后,随着盐度增加,丙二醛含量显著上升,植株出现盐害现象,可见随着 NaCl 胁迫浓度增加,渗透胁迫和离子效应使蛋黄果细胞膜系统的完整性受到破坏,影响细胞内的各种生理代谢过程,对细胞造成损伤产生盐害现象,丙二醛含量变化规律与盐害现象一致.

### 参考文献:

- [1] Allakhverdiev S I, Sakamoto A, Nishiyama Y, et al. Ionic and osmotic effects of NaCl-induced inactivation of photosystems I and II in *Synechococcus* sp. [J]. *Plant Physiol*, 2000, 123: 1047-1056.
- [2] 骆建霞, 史燕山, 吕松, 等. 3 种木本地被植物耐盐性的研究[J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2005, 33(12): 121-124, 128.
- [3] 王瑞刚, 陈少良, 刘力源, 等. 盐胁迫下 3 种杨树的抗氧化能力与耐盐性研究[J]. *北京林业大学学报*, 2005, 27(3): 46-52.
- [4] 廖岩, 彭友贵, 陈桂珠. 植物耐盐性机理研究进展[J]. *生态学报*, 2007, 27(5): 2077-2089.

- [5] 姜珊,张文辉,刘新成. 3种园林树木种子萌发期耐盐性研究[J]. 西北植物学报, 2009, 29(4): 733-741.
- [6] Forment J, Naranjo M A, Roldan M, et al. Expression of *Arabidopsis* SR like splicing proteins confers salt tolerance to yeast and transgenic plants[J]. Plant J, 2002, 30(5): 511-519.
- [7] Fukushima E, Arata Y, Endo T, et al. Improved salt tolerance of transgenic tobacco expressing apoplastic yeast derived invertase[J]. Plant Cell Physiol, 2001, 42(2): 245-249.
- [8] Guxiola R A, Li J, Undurraga S, et al. Drought and salt tolerant plants result from overexpression of the AVP1 H<sup>+</sup>-pump[J]. PNAS, 2001, 98(20): 11444-11449.
- [9] 赵可夫, 范海. 盐生植物及其对盐渍生境的适应生理[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 121-191.
- [10] 尼章光, 罗心平, 王跃全, 等. 值得开发的热带亚热带果树——蛋黄果[J]. 中国南方果树, 2003, 32(1): 25-26.
- [11] 刘江平, 黄小华, 万年青, 等. 热带珍稀果树蛋黄果的生物学特性及栽培技术要点[J]. 广东农业科学, 2008, 3: 24-25.
- [12] 罗心平, 尼章光. 蛋黄果圈枝育苗技术[J]. 柑橘与亚热带果树信息, 2003, 19(10): 29-30.
- [13] 张治安, 陈展宇. 植物生理实验学技术[M]. 长春: 吉林大学出版社, 2008: 68.
- [14] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 3版. 北京: 高等教育出版社, 2003: 268-272.
- [15] 李合生. 现代植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001: 415-420.
- [16] 刘素纯, 萧浪涛, 廖柏寒, 等. 铅胁迫对黄瓜幼苗抗氧化酶活性及同功酶的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(2): 300-304.
- [17] 李国旗, 安树青, 张纪林, 等. 盐胁迫对杨树形成层过氧化物酶活性及其效应的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(6): 871-874.
- [18] 叶维杨. 厦门地区 10 种园林植物的耐盐性研究[J]. 现代农业科学, 2008, 15(8): 16-18.

## The Eco-physiological Response of *Lucuma nervosa* A. DC. to NaCl Stress

LIU Yu-mei<sup>1\*</sup>, HU Hong-you<sup>1</sup>, LI Xue-mei<sup>1</sup>, CHI Min-jie<sup>2</sup>,  
LU Chang-yi<sup>1\*\*</sup>, TONG Qing-xuan<sup>2</sup>

(1. College of Oceanography and Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

2. Xiamen Overseas Chinese Subtropical Plant Introduction Garden, Xiamen 361002, China)

**Abstract:** In this paper, the eco-physiological characteristics of NaCl stress in *Lucuma nervosa* A. DC. were researched by watering the potted plants with 0, 2, 4, 6, 8 NaCl. The characteristics include the changes about growth, chlorophyll, proline, soluble protein, soluble sugar, SOD, POD, CAT, MDA and so on. The results showed that the growth and chlorophyll synthesis were significantly restricted, the plants grew well when the soil salinity was below 0.19, the activity of the SOD, POD, CAT and the content of the proline, protein, sugar, MDA increased significantly under the NaCl stress. The content of the proline and the soluble protein rose obviously when the concentration of NaCl is from 2 to 8, while content of soluble sugar rises obviously when the concentration of NaCl is 6 or 8. Through the eco-physiological response to NaCl stress, the NaCl tolerance of *Lucuma nervosa* is learned and the theory about salt tolerance mechanism is enriched also.

**Key words:** *Lucuma nervosa* A. DC.; NaCl stress; eco-physiological response