

# NaCl 胁迫对红厚壳幼苗生长及生理特性的影响

陈娟<sup>1,2</sup>, 陶忠良<sup>1,3,4</sup>, 吴志祥<sup>1,3,4</sup>

(1. 中国热带农业科学院 橡胶研究所, 海南 儋州 571737; 2. 海南大学 环境与植物保护学院, 海南 儋州 571737; 3. 农业部热带作物栽培生理学重点开放实验室, 海南 儋州 571737; 4. 农业部儋州热带农业资源与生态环境重点野外科学观测试验站 海南 儋州 571737)

**摘要:**以红厚壳盆栽幼苗为试验材料,研究了 NaCl 胁迫对幼苗生长和生理特性的影响。结果表明:1.5%和2.5%浓度的 NaCl 胁迫时,红厚壳幼苗生长更快,叶绿素含量、CAT 和 SOD 活性均增加;之后随着浓度的升高,红厚壳生长减缓,叶绿素含量减少,脯氨酸和丙二醛含量显著增加, CAT、SOD 活性显著下降, POD 活性变化不明显。红厚壳幼苗能耐 3.5%的 NaCl 胁迫,在 2.5%浓度时生长最好。

**关键词:** NaCl 胁迫; 红厚壳; 生长; 生理指标

**中图分类号:** S 181 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2009)09-0026-04

红厚壳(*Calophyllum inophyllum* Linn), 又名海棠果、胡桐等, 为藤黄科(Guttiferae)红厚壳属(*Calophyllum* Linn)植物<sup>[1]</sup>, 是世界稀有物种之一, 也是我国珍贵的野生资源<sup>[1-3]</sup>。红厚壳具有药用、油用、生态、材用、观赏等多方面的功能<sup>[3]</sup>, 是颇具发展潜力的一种稀有物种。特别是红厚壳作为半红树林植物<sup>[4]</sup>, 具有较好的耐盐性, 是海岸防护林的优秀备选树种。为了解其耐盐性, 因而进行了 NaCl 胁迫对红厚壳生长及生理特性的影响试验研究, 以研究红厚壳作为海岸防护林的适宜性。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

1.1.1 植物材料 试验用红厚壳幼苗为 6 月龄, 花盆口径 20 cm, 高 30 cm, 每盆栽土 2 kg, 所用土壤有机质、全氮、速效磷、速效钾的含量分别为 12.25 g/kg、0.73%、15.12 mg/kg、69.45 mg/kg。

1.1.2 主要试剂和药品 乙醇、茚三酮、冰乙酸、三氯乙酸、脯氨酸、硫代巴比妥酸、氯化硝基氮蓝四唑、萘酚、牛血清蛋白、浓硫酸。

1.1.3 仪器 UV-1102 紫外-可见分光光度计、高速冷冻离心机、恒温箱、冰箱、水浴锅。

### 1.2 试验设计

试验选取长势良好基本一致的幼苗, 放于离地约

30 cm 的铁架上, 防止地表温度、水分对其影响。在苗所在顶部搭盖透明塑料薄膜, 防止雨水对其影响。试验时苗高在 14~24 cm, 均无分枝。7 月下旬开始对幼苗进行盐胁迫处理, 试验共设 5 个 NaCl 质量分数分别为 1.5%、2.5%、3.5%、4.5%、6.0% 的处理, 以清水作为对照, 每个处理 20 株苗。每隔 5 d 浇 1 次 NaCl 溶液, 每株浇每盆失重的量(mL), 连续控制 1 个月。选取长势良好的红厚壳叶片, 用样品袋装好, 放入有冰袋的泡沫箱, 带回实验室进行各项指标的测定。

### 1.3 研究方法

1.3.1 生长记录 从盐胁迫开始, 每隔 2 d 记录每株红厚壳幼苗的株高、茎围、叶片数, 同时观察记录红厚壳叶片、茎秆萎蔫、叶色变化等外部特征, 连续记录 1 个月。

1.3.2 生理指标的测定 游离脯氨酸含量的测定采用酸性茚三酮的方法<sup>[5]</sup>。丙二醛的浓度采用硫代巴比妥酸的方法测定<sup>[6]</sup>。叶绿素含量、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)的活性采用《植物生理实验》上的方法测定<sup>[7]</sup>。

1.3.3 数据处理 采用 Excel 2003 和 SAS 9.0 软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 NaCl 胁迫对红厚壳幼苗生长的影响

试验结果表明, 随着 NaCl 浓度的增加, 红厚壳幼苗的株高、茎围、叶片数生长量均呈现出差异。在 1.5%和 2.5% NaCl 浓度时, 株高生长量分别比对照增加了 11.33%和 8.02%。而在 3.5%、4.5%、6.0% NaCl 浓度时, 株高生长量分别降低了 12.94%、52.57%、76.84%, 与对照之间差异均达极显著水平。茎围和叶片也呈现出同样的差异, 而且 2.5%浓度时, 增加量比 1.5%浓度更大。由数据可以看出, 红厚壳幼苗的株高在 1.5%

第一作者简介: 陈娟(1983-), 女, 江西高安人, 硕士, 主要研究方向为农业生态学。E-mail: chenjuan309@163.com。

通讯作者: 陶忠良(1968-), 男, 博士, 副研究员, 现主要从事农业生态学和农业气象学及生态资源评价等方面的研究工作。

基金项目: 中国热带农业科学院重点基金资助项目(Rykj0008)。

收稿日期: 2009-04-20

NaCl 浓度时增长量达到最大, 茎围、叶片增长量(数)均在浓度为 2.5% 浓度时达到最大。此时红厚壳生长旺盛, 叶片青绿, 枝条粗壮。而后期随着浓度的升高, 红厚壳的生长逐渐减慢, 株高、茎围增长量减少, 叶片增长数也随之减少。在高 NaCl 浓度下, 随着胁迫时间的延长, 红厚壳出现叶片脱落萎蔫、枝条变细等症状, 说明低 NaCl 浓度对红厚壳有一定的促进作用, 而过高的 NaCl 浓度会抑制红厚壳的生长。

表 1 NaCl 胁迫对红厚壳幼苗生长的影响

Table 1 Effect of NaCl stress on growth of *Calophyllum inophyllum* L. seedlings

NaCl 浓度 NaCl concentration/%	CK	1.5	2.5	3.5	4.5	6.0
株高增长量 Height growth/cm	19.32	21.51	20.87	16.82	8.95	4.37
茎围增长量 Stem growth/cm	0.427	0.441	0.442	0.354	0.246	0.166
叶片增长数 Leaves growth/片	23.9	24.1	24.6	20.8	14.8	8.5

## 2.2 NaCl 胁迫对红厚壳幼苗叶绿素含量的影响

试验结果表明, 盐胁迫 60 d 后, 随着 NaCl 浓度的增加, 红厚壳幼苗中的叶绿素含量出现先增加后减少的趋势。当 NaCl 浓度为 1.5%、2.5% 时, 叶绿素 a 和 b 的含量均明显高于对照及其他胁迫。随着浓度的增加, 红厚壳幼苗中叶绿素 a 及叶绿素 b 的含量均逐渐减少, 到 6.00% 浓度时, 叶绿素 a 和 b 的含量减至最低, 说明红厚壳出现较大的盐害。

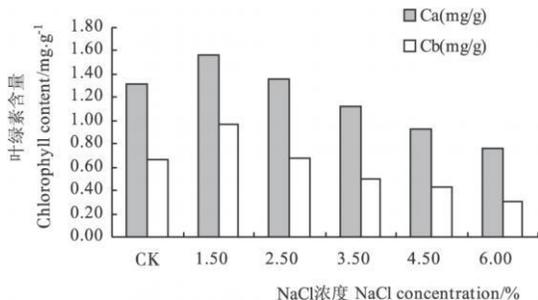


图 1 NaCl 胁迫下叶绿素含量变化

Fig. 1 The chlorophyll content of *Calophyllum inophyllum* L. seedlings on NaCl stress

## 2.3 NaCl 胁迫对红厚壳幼苗脯氨酸含量的影响

脯氨酸是植物体内的渗透调节物质, 对于植物在逆境中的适应, 减少伤害起着非常重要的作用。试验结果表明, 不同浓度的 NaCl 胁迫下, 红厚壳幼苗中脯氨酸积累的量均比对照增加, 1.5%、2.5%、3.5% 浓度下, 脯氨酸含量差异不显著。随着时间的延长, 低浓度胁迫下, 脯氨酸含量无太大变化, 说明此时红厚壳已经适应了这种胁迫, 依然能够正常生长。但高浓度胁迫下, 脯氨酸含量逐渐增加, 增加的幅度也逐渐增大, 此时红厚壳已经受到盐害, 生长受到一定的抑制。

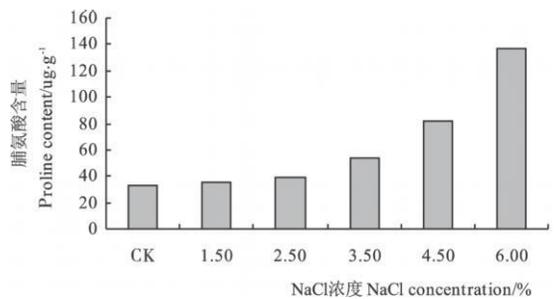


图 2 NaCl 胁迫下脯氨酸含量变化

Fig. 2 The proline content of *Calophyllum inophyllum* L. seedlings on NaCl stress

## 2.4 NaCl 胁迫对红厚壳幼苗丙二醛含量的影响

不同浓度的 NaCl 胁迫下, 红厚壳幼苗的丙二醛含量均逐渐增加, 1.5%、2.5% 浓度下, 增加幅度不大, 与对照差异不显著。随着浓度的升高, 丙二醛含量逐渐增加, 增加幅度也较大, 与对照呈现出极显著差异。

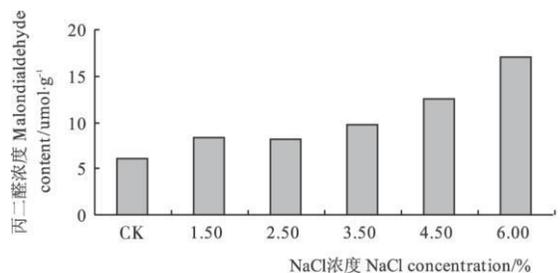


图 3 NaCl 胁迫下丙二醛含量变化

Fig. 3 The malondialdehyde content of *Calophyllum inophyllum* L. seedlings on NaCl stress

## 2.5 NaCl 胁迫对红厚壳幼苗 CAT、POD、SOD 活性的影响

在逆境条件下, 植物由于代谢受阻产生大量的活性氧  $O_2^-$ 、 $H_2O_2$  和  $OH^-$  等, 这些活性氧浓度的提高破坏了活性氧产生与清除之间的动态平衡, 在此过程中植物主动或被动地调动抗氧化酶类如 SOD、POD、CAT、GR 等和抗氧化物质如 GSH、AsA 等来清除这些活性氧和自由基, 以减缓和抵御细胞伤害<sup>[15]</sup>。从图 4、5、6 可以看出, 随着 NaCl 浓度的不同, 红厚壳幼苗中 CAT、POD、SOD 呈现出不同程度的增加或减少。

随着 NaCl 浓度的升高, 红厚壳中过氧化氢酶活性 (CAT) 出现先增加后减少的趋势。但浓度为 1.5%、2.5% 时, CAT 和 SOD 均增加。到 3.5% 时, CAT 和 SOD 增加到最大, 幼苗表现出较强的抗氧化能力, 说明此时红厚壳受到较大的盐胁迫。而随着浓度的进一步升高, 红厚壳中 CAT、SOD 均减少, 说明此时红厚壳已

经受到毒害,不足以形成足够的酶来调节其平衡。在所有抗氧化酶中,POD的含量在1.5%和3.5%时达到最高,但与2.5%和4.5%时差异不显著,说明NaCl处理红厚壳幼苗,POD活性较为稳定。

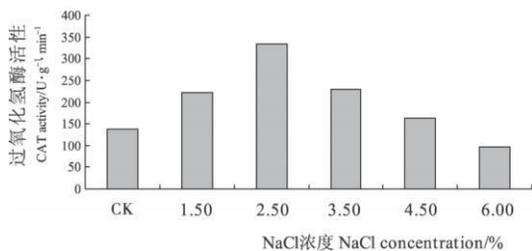


图4 NaCl胁迫下红厚壳幼苗过氧化氢酶活性变化  
Fig.4 The CAT activity of *Calophyllum inophyllum* L. seedlings on NaCl stress

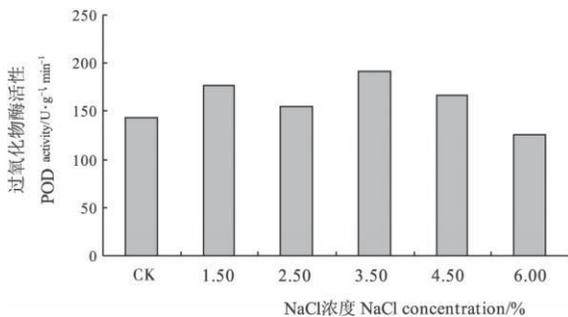


图5 NaCl胁迫下红厚壳幼苗过氧化物酶活性变化  
Fig.5 The POD activity of *Calophyllum inophyllum* L. seedlings on NaCl stress

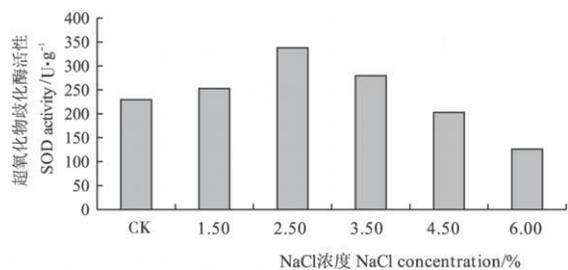


图6 NaCl胁迫下红厚壳幼苗超氧化物歧化酶活性变化  
Fig.6 The SOD activity of *Calophyllum inophyllum* L. seedlings on NaCl stress

### 3 结论与讨论

由试验结果得知,红厚壳是一种耐盐性植物,在NaCl浓度为3.5%时依然能够正常生长,在NaCl浓度为2.5%时生长比对照更好,各增长量更高,说明红厚壳更适合在盐分条件下生长。当NaCl浓度进一步升高时,红厚壳生长则开始减慢,在4.5%NaCl浓度下开始显示出一些盐害的症状,幼苗茎秆变细,株高变小,叶片

出现轻度萎蔫。到6.0%NaCl浓度时,红厚壳幼苗植株矮小,基本停止生长,并且叶片失绿黄化,甚至个别叶片干枯脱落,表明高浓度NaCl胁迫抑制了红厚壳幼苗的生长。

大多数情况,植物受到盐分胁迫时,往往造成植物生长受阻和组织伤害,植物体内则产生一些生理物质来减轻这些伤害,如脯氨酸、丙二醛及CAT、POD、SOD活性等<sup>[8-10]</sup>。由试验分析结果可以看出,脯氨酸和丙二醛含量随着NaCl浓度的升高逐渐增加,在高浓度下,增加的幅度也逐渐增大,6.0%NaCl浓度时,脯氨酸含量比对照增加了308.9%。丙二醛的含量与脯氨酸呈现出相似的变化,NaCl浓度为4.5%和6.0%时,丙二醛含量比对照分别增加了90.67%和157.39%。试验结果表明,浓度高时,红厚壳细胞的膜系统可能受到了伤害,已经不能合成更多的脯氨酸和丙二醛来维持渗透平衡。该试验中,随着NaCl浓度的升高,红厚壳幼苗中的CAT和SOD活性呈现先增加后减少的趋势,而POD活性则变化相对不显著,这可能是红厚壳幼苗对NaCl胁迫的适应性表现。但高浓度胁迫下,超过了幼苗自身的忍耐程度,CAT、SOD活性则下降,不能有效地清除氧自由基从而启动膜脂过氧化作用,破坏了膜的结构,可能是造成幼苗盐害的重要原因。

从以上结果分析得知,红厚壳幼苗的生长在2.5%NaCl时达到最好,叶绿素含量在2.5%时达到最高,脯氨酸和丙二醛的含量在2.5%时,与对照差异不显著,说明此时基本没有受到盐害,而CAT、SOD活性在2.5%时也达到最大,此时红厚壳幼苗本身能产生足够的酶物质来清除氧自由基,从而达到减轻植物伤害的效果,最终认为,红厚壳幼苗在NaCl为2.5%时生长最好,在NaCl浓度为3.5%时仍能正常生长,低浓度NaCl胁迫对红厚壳幼苗不造成盐害,浓度逐渐增加,则出现盐害症状。一般的海水盐分浓度约为3.5%,随着海水作用强度的递减,海岸带土壤盐分呈平行线由近海岸到陆地逐渐降低。靠近海岸线附近土壤全盐量为2.3%~2.8%,平均为2.61%<sup>[11]</sup>。说明红厚壳幼苗可耐海岸的盐分,可以作为海岸防护林栽培。

### 参考文献

[1] 中国科学院植物研究所. 中国高等植物图鉴 [M]. 北京: 科学出版社 1980.  
[2] 吴德邻. 海南及广东沿海岛屿植物名录 [M]. 北京: 科学出版社 1994.  
[3] 陈娟, 陶忠良. 红厚壳野生资源的开发型保护途径分析 [J]. 资源开发与市场, 2007, 23(11): 1029-1031.  
[4] 陶忠良, 方佳, 赖齐贤. 红厚壳在海南岛的分布及其生长习性 [J]. 资源与开发市场, 2003, 19(2): 85-87.  
[5] 王三根. 植物生理研究技术 [M]. 重庆: 西南农业大学, 2000.  
[6] 魏鹏. 茶树抗旱性部分生理生化指标的研究 [D]. 重庆: 西南农业大学硕士学位论文, 2003.

[7] 郝再彬, 苍晶, 徐仲, 等. 植物生理实验[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004.

[8] Foyer C H. Ascorbic acid[A]. In: Alscher RG, Hess JL, eds. Antioxidants in higher plants[M]. Boca Raton: CRC Press, 1993: 31-58.

[9] 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): 86-89.

[10] A Levent Tuna, Cengiz K, Muhammad A. The effects of calcium sulphate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants

grown under salt stress[J]. Journal of Arid Environments, 2006, 67: 715-720.

[11] 张玉铭, 刘金铜, 韩庆华. 淤泥质海岸带土壤盐分空间分布规律初探[J]. 生态农业研究, 1997, 5(4): 54-57.

(致谢: 该试验得到了曹建华、王令霞、蔡明道、占胜利、戴进用、陈晏飞等同志的帮助, 在此一并表示感谢。)

## Effect of NaCl Stress on Growth and Physiological Characteristics of *Calophyllum inophyllum* L Seedlings

CHEN Juan<sup>1,2</sup>, TAO Zhong-liang<sup>1,3,4</sup>, WU Zhi-xiang<sup>1,3,4</sup>

(1. China Rubber Research Institute, CATAS, Danzhou, Hainan 571737, China; 2. Hainan University Environment and Plant protective College, Danzhou, Hainan 571737, China; 3. Ministry of Agriculture Key Laboratory for Tropical Crops Physiology, Danzhou, Hainan 571737, China; 4. Ministry of Agriculture Danzhou Key Field Station of Observation and Research for Tropical Agricultural Resources and Environments, Danzhou, Hainan 571737, China)

**Abstract:** Using *Calophyllum inophyllum* L. seedlings as material, the growth and physiological characteristics of the seedlings were studied under NaCl stress. The results were as follows: under 1.5‰ and 2.5‰ concentration NaCl stress, *Calophyllum inophyllum* L. seedlings grew more quickly, chlorophyll content, CAT and SOD activity were all increasing; then along with the content increasing, *Calophyllum inophyllum* L. grew more slowly, chlorophyll content decreased, proline and MDA content increased, CAT, SOD activity increased distinctly, POD activity changed non constant. *Calophyllum inophyllum* L. seedlings can tolerate stress of 3.5‰ NaCl, *Calophyllum inophyllum* L. seedlings grew better under 2.5‰ NaCl.

**Key words:** NaCl stress; *Calophyllum inophyllum* L.; Growth; Physiological characteristics

### 中国科技核心期刊、全国优秀农业期刊

## 《植物遗传资源学报》征订启事

《植物遗传资源学报》是中国农业科学院作物科学研究所和中国农学会主办的学术期刊,为全国中文核心期刊、中国科技核心期刊、全国优秀农业期刊。该刊为中国科技论文统计源期刊、中国科学引文数据库来源期刊(核心期刊)、中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊、中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊,又被《中国生物学文摘》和中国生物学文献数据库、中文科技期刊数据库收录。据中国期刊引证研究报告统计,2007年度《植物遗传资源学报》影响因子达0.914。

报道内容为大田、园艺作物,观赏、药用植物,林用植

物、草类植物及其一切经济植物的有关植物遗传资源基础研究、应用研究方面的研究成果、创新性学术论文和高水平综述或评论。诸如,种质资源的考察、收集、保存、评价、利用、创新,信息学、管理学等;起源、演化、分类等系统学;基因发掘、鉴定、克隆、基因文库建立、遗传多样性研究。

双月刊,大16开本,128页。定价20元,全年120元。各地邮局发行,邮发代号:82-643。国内刊号CN11-4996/S,国际统一刊号ISSN1672-1810。

本刊编辑部常年办理订阅手续,如需邮挂每期另加3元。

地址:北京市中关村南大街12号 中国农业科学院《植物遗传资源学报》编辑部 邮编:100081

电话:010-82105794 010-82105796(兼传真) E-mail:zwyczyxb2003@163.com zwyczyxb2003@sina.com