浙 江 农 林 大 学 学 报，2012，**29**(1)：23－28
Journal of Zhejiang A & F University

硝酸镧对董棕幼苗耐寒性的影响

阮志平[1]，黄全能[1]，王芬芬[1]，姚碧艳[2]，刘与明[1]，李振基[2]

（1. 厦门市园林植物园，福建 厦门 361003；2. 厦门大学 生命科学学院，福建 厦门 361005）

摘要：为了研究不同质量浓度的硝酸镧溶液对董棕 *Caryota urens* 幼苗耐寒性的影响，用 0，100，350 和 500 mg·L^{-1} 4 种质量浓度的硝酸镧溶液喷施董棕叶片，并分别经过 25 ℃—5 ℃—25 ℃各 24 h 变温冷胁迫处理后，研究董棕叶片在变温冷胁迫过程中的超氧化物歧化酶(SOD)，过氧化物酶(POD)，丙二醛(MDA)，脯氨酸(Pro)，可溶性蛋白质和叶绿素生理指标的动态变化规律，并对 25 ℃恢复 24 h 后的董棕幼苗上述耐寒指标进行模糊隶属函数综合评价。结果表明：4 种质量浓度下隶属函数值分别为 0.39，0.34，0.85 和 0.76，其中 350 mg·L^{-1} 的硝酸镧溶液对提高董棕的耐寒性效果最好。图 3 表 1 参 16

关键词：植物学；硝酸镧；董棕；生理指标；耐寒性

中图分类号：S718.4；Q945.78　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：2095-0756(2012)01-0023-06

$La(NO_3)_3$ and cold tolerance with *Caryota urens* seedlings

RUAN Zhi-ping[1]，HUANG Quan-neng[1]，WANG Fen-fen[1]，YAO Bi-yan[2]，LIU Yu-ming[1]，LI Zhen-ji[2]

（1. Xiamen Botanical Garden，Xiamen 361003，Fujian，China；2. College of Life Sciences，Xiamen University，Xiamen 361005，Fujiang，China）

Abstract：The study was performed to investigate the effects of $La(NO_3)_3$ on the cold tolerance of *Caryota urens* seedlings. Effects of $La(NO_3)_3$ were tested by spraying the foliage of *C. urens* with 0，100，350 and 500 mg·L^{-1} $La(NO_3)_3$ solution. Then，physiological indices，including activity of superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) as well as the content of malondialdehyde (MDA)，proline，soluble protein，chlorophyll，and chlorophyll a/b，were determined after treated in 25 ℃(1)，5 ℃，and 25 ℃(2) for 24 h respectively in turn. It was indicated that all the above-mentioned physiological indices varied with different concentrations of $La(NO_3)_3$. Results of the fuzzy membership functions comprehensive evaluation for different $La(NO_3)_3$ solution at 25 ℃(2) were 0.39 for 0 mg·L^{-1}，0.34 for 100 mg·L^{-1}，0.85 for 350 mg·L^{-1}，and 0.76 for 500 mg·L^{-1}. It was concluded that spraying leaves with different concentrations of $La(NO_3)_3$ could affect the cold tolerance of *C. urens* seedlings with the most effective being 350 mg·L^{-1}. [Ch，3 fig. 1 tab. 16 ref.]

Key words：botany；$La(NO_3)_3$；*Caryota urens*；physiological indices；cold tolerance

寒害是棕榈科 Palmaceae 植物最重要的自然灾害，也是棕榈植物推广应用主要的限制因素。在 1992 年，1993 年，2000 年和 2008 年严寒冬春，厦门等地区因强寒流的入侵，导致多种棕榈植物寒害严重，甚至造成整株死亡，给社会和经济带来较大损失。目前，在棕榈植物的钙离子(Ca^{2+})和保护酶等低温生理生化方面有开展一些研究[1-8]，但尚未见有提高其耐寒性技术措施的报道。稀土元素镧(La)可以提高水稻 *Oryza sativa* 和香蕉 *Musa nana* 等植物抗逆能力，但不同植物在稀土元素用量方面有不同的结论，不同植物所需要的最适浓度各不同[9-12]。董棕 *Caryota urens* 为国家Ⅱ级重点保护植物，姿态优美，叶形似鱼尾，整体造型独特，是理想的园林绿化树种。本研究探讨变温胁迫后不同质量浓度硝酸镧处理对董棕耐寒性指标的影响，目的在于明确硝酸镧对董棕的浓度效应，以期为减轻董棕寒害提供技术途径和理论依据。

收稿日期：2011-03-21；修回日期：2011-04-24

基金项目：厦门市科技计划资助项目(3502Z20092019)；厦门市建设与管理局科技资助项目(2008-1-7)

作者简介：阮志平，高级农艺师，博士，从事植物生理生态学工作。E-mail：rzp20012001@yahoo.com.cn

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于厦门植物园棕榈植物引种区内，即 24°27′N 附近，属于南亚热带海洋性季风气候型，年平均气温为 20.8 ℃，1 月的平均气温为 10.5 ℃，极端最低气温为 1.5 ℃。

1.2 材料

试验材料为引种区所培育的 2 年生盆栽董棕幼苗，苗木生长状况良好，采用定期浇水，保持土壤湿润和肥力中等的常规管理，试验盆栽苗随机排放在苗圃大棚内。

1.3 实验方法

叶面分别喷施 0(对照)，100，350，500 mg·L^{-1} 的硝酸镧溶液，1 次·d^{-1}，喷至叶片湿透下滴为止，连续喷施 3 d，9 株·处理$^{-1}$，各个质量浓度梯次重复 3 次。然后将供试叶片放入人工气候箱进行不同温度处理：先 25 ℃预处理 24 h，然后 5 ℃低温胁迫 24 h，最后再于 25 ℃恢复 24 h。在各温度处理后，均分别取出供试叶片测定各项生理生化指标。

1.4 生理指标测定方法

超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定采用氮蓝四唑法(NBT)，过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法，丙二醛(MDA)的测定采用硫代巴比妥酸(TBA)法，脯氨酸(Pro)的测定采用酸性茚三酮显色法，可溶性蛋白质的测定采用考马斯亮蓝 G-250 染色法，叶绿素的测定采用丙酮直接浸提法[13]。

1.5 统计分析方法

用 SPSS 17.0 进行方差分析和多重比较(LSD 法)，进行差异性分析，采用模糊隶属函数法综合评价[14]，耐寒隶属函数值计算方法为：$X_u=(X-X_{min})/(X_{max}-X_{min})$。若 25 ℃恢复 24 h 后某一指标与耐寒性呈负相关，则用反隶属函数进行定量转换计算：$X_{u\,反}=1-(X-X_{min})/(X_{max}-X_{min})$。其中：$X_u$ 为隶属函数值；X 为各处理某指标测定值，X_{max} 和 X_{min} 为所有参试处理中某一指标内的最大值和最小值。把各指标的耐寒隶属值进行累加，并求平均值。平均值越大，则耐寒性越强。

2 结果与分析

2.1 喷施硝酸镧对董棕幼苗超氧化物歧化酶活性的影响

从图 1-A 可看出，不同质量浓度的硝酸镧溶液喷施董棕幼苗后，超氧化物歧化酶活性表现出先降低后升高的变化趋势。5 ℃低温胁迫 24 h 后，对照组降低了 32.03%，低中高质量分数组分别下降了 12.88%，7.17%和17.09%，且对照组显著低于其他处理组($P<0.05$)。当 25℃恢复 24 h 后，超氧化物歧化酶活性表现出经硝酸镧处理的组显著高于对照组，且中质量浓度组与低高组间差异显著($P<0.05$)。可见喷施 3 种质量浓度的硝酸镧溶液均对董棕幼苗超氧化物歧化酶的活性有效，其中 350 mg·L^{-1} 的溶液效果最显著。

2.2 喷施硝酸镧对董棕幼苗过氧化物酶活性的影响

不同质量浓度硝酸镧溶液对董棕幼苗的过氧化物酶活性变化如图 1 所示。无论在低温胁迫下还是温

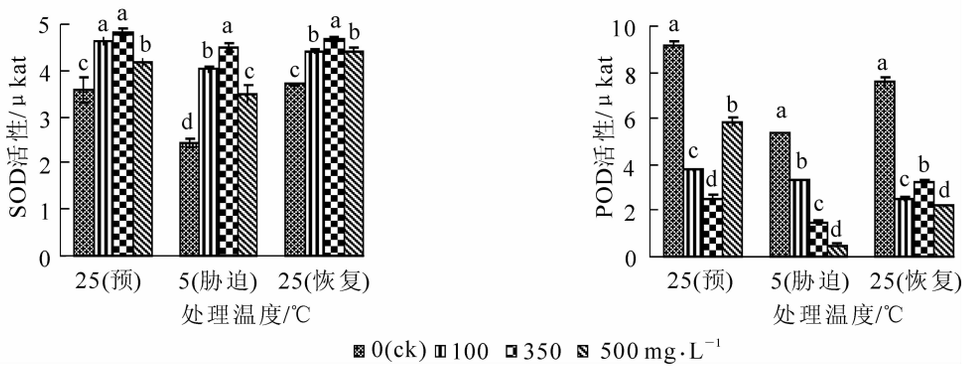

图 1 硝酸镧对董棕叶片超氧化物歧化酶活性和过氧化物酶活性的影响

Figure 1 Effect of $La(NO_3)_3$ on SOD and POD activity in leaves of *Caryota urens*

度恢复后，3 种质量浓度硝酸镧溶液处理过氧化物酶活性均显著低于对照组($P<0.05$)，说明经喷施硝酸镧溶液的董棕不利于维持高水平的过氧化物酶活性，对清除植物体内的自由基效果不佳。

2.3　喷施硝酸镧对董棕幼苗丙二醛质量摩尔浓度的影响

喷施不同质量浓度硝酸镧溶液对董棕幼苗丙二醛质量摩尔浓度的影响如图 2-A。各个组均表现出先上升后下降的变化趋势，而且对照组的丙二醛质量摩尔浓度始终最高。25 ℃处理 24 h 后，3 个处理组丙二醛质量摩尔浓度均显著低于对照组($P<0.05$)；5 ℃低温胁迫 24 h 后，对照组的丙二醛上升 31.97%，低中高质量浓度处理组分别上升 22.82%，19.29%和 20.77%，可见喷施硝酸镧能减缓丙二醛的积累；25 ℃恢复 24 h 后，与胁迫时相比，对照组及低中高质量浓度处理组分别下降了 21.55%， 31.94%，29.24%和 8.69%，且对照组显著高于处理组。喷施低中质量浓度硝酸镧溶液后丙二醛最低($P<0.05$)。可见喷施 100~350 $mg\cdot L^{-1}$ 的硝酸镧溶液对降低董棕丙二醛效果较显著。

2.4　喷施硝酸镧对董棕幼苗脯氨酸质量分数的影响

喷施不同质量浓度硝酸镧溶液对董棕幼苗脯氨酸质量分数在变温冷胁迫下变化如图 2-B 所示。对照组脯氨酸显著下降，中高质量浓度处理组先小幅增加，再大幅升高，低质量浓度组脯氨酸相对稳定，先稍下降后稍升高。25 ℃预处理 24 h 后，对照组显著高于处理组($P<0.05$)；5 ℃低温胁迫 24 h 后，对照组和低质量浓度组分别降低了 32.54%和 10.99%，中高浓度组则分别增加了 23.11%和 6.09%，说明中高质量浓度组能快速启动植物体内脯氨酸代谢，使其质量分数增加，以降低寒害；25 ℃恢复 24 h 后，与胁迫时相比，对照组降低了 57.07%，低中高组的增幅分别为 15.72%，60.01%和 51.44%，且中高质量浓度组已显著高于对照组及低质量浓度组($P<0.05$)。可见喷施 350 与 500 $mg\cdot L^{-1}$ 的硝酸镧溶液效果较好。

2.5　喷施硝酸镧对董棕幼苗可溶性蛋白质量分数的影响

喷施不同质量浓度硝酸镧溶液对董棕可溶性蛋白质量分数在变温冷胁迫下变化如图 2-C，对照组和低质量浓度组先升高后降低，中高质量浓度组则先下降后升高。25 ℃预处理 24 h 后，对照组及高质量浓度组显著高于低中质量浓度组($P<0.05$)；5 ℃低温胁迫 24 h 后，对照组及低质量浓度组分别上升了3.17%和 27.17%，中高质量浓度组则分别下降了 9.40%和 52.39%，对照组的可溶性蛋白质量分数最高；25 ℃恢复 24 h 后，与胁迫时相比，对照组和低质量浓度组分别下降了 14.76%和 10.75%，中高质量浓度组则分别上升了 19.11%和 36.02%，对照组仍然显著高于其他组($P<0.05$)。但与 25 ℃预处理 24 h 时相比，喷施 100 和 350 $mg\cdot L^{-1}$ 硝酸镧溶液后，可溶性蛋白质量分数有所增加，说明对提高低温胁迫下董棕幼苗的保护物质有一定效果。

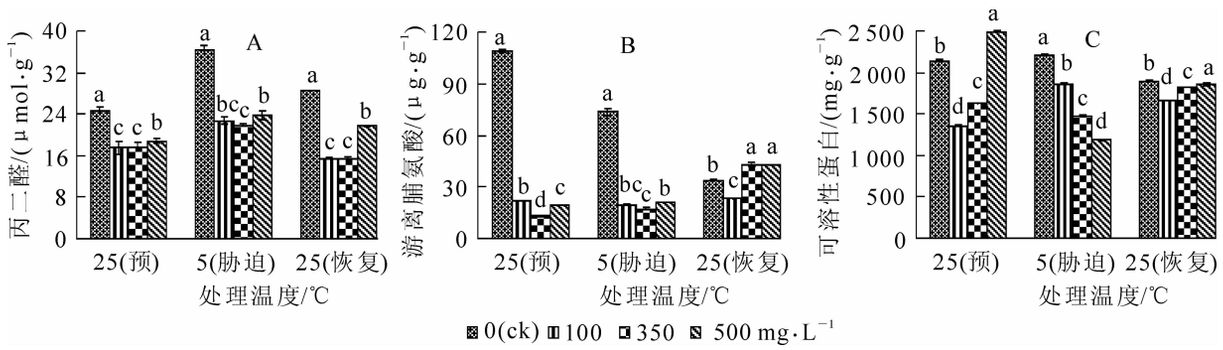

图 2　硝酸镧对董棕叶片丙二醛质量摩尔分数(A)，游离脯氨酸(B)和可溶性蛋白质量分数(C)的影响

Figure 2　Effect of $La(NO_3)_3$ on MDA(A), proline(B) and soluble protein (C) concentrations in leaves of *Caryota urens*

2.6　喷施硝酸镧对董棕幼苗叶绿素质量分数的影响

2.6.1　*对叶绿素 a 质量分数的影响*　不同质量浓度硝酸镧溶液对董棕叶绿素 a 质量分数在低温冷胁迫下变化如图 3-A 所示，对照组的叶绿素质量分数一直降低，低中质量浓度处理组先降低后升高，高质量浓度处理组则表现为持续上升。5 ℃低温胁迫 24 h 后，对照组及低中质量浓度处理组分别降低了 13.97%，3.45%和 3.38%，高质量浓度处理组则上升了 3.10%，高质量浓度处理组显著高于其他组($P<0.05$)。25 ℃恢复 24 h 后，与胁迫时相比，对照组下降了 4.06%，低中高质量浓度处理组分别上升了 2.97%，15.97%和 11.37%，且对照组显著低于处理组($P<0.05$)。可见喷施硝酸镧能保持和提高叶绿素 a 的质量分数，且质

量浓度越高效果越好。

2.6.2 对叶绿素 b 质量分数的影响 不同质量浓度硝酸镧对董棕叶绿素 b 质量分数在低温冷胁迫下的影响如图 3-B 所示，对照组和中高质量浓度处理组先下降后上升，低质量浓度组变化不明显。5 ℃低温胁迫 24 h 后，对照组及低中高质量浓度处理组分别降低了 16.88%，7.69%，12.66%和 2.53%，对照组降幅最大，且显著低于其他 3 个处理组($P<0.05$)，说明硝酸镧能减缓叶绿素 b 的降解。25 ℃恢复 24 h 后，与胁迫时相比，对照组和中高质量浓度处理组分别上升了 11.11%，17.86%和 12.50%，低质量浓度处理组则下降了 1.39%，表现为中高质量浓度处理组显著高于对照及低质量浓度处理组，但中高质量浓度组间差异不显著($P<0.05$)。可见喷施 500 mg·L^{-1} 的硝酸镧溶液最有效。

2.6.3 对叶绿素 a /叶绿素 b 的影响 不同质量浓度硝酸镧对董棕叶绿素 a /叶绿素 b 值在低温冷胁迫下变化如图 3-C 所示。对照组与中高质量浓度处理组先上升后下降，低质量浓度组则持续上升。5 ℃低温胁迫 24 h 后，对照与低中高质量浓度处理组分别上升了 3.55%，5.13%，9.62%和 5.80%，对照组最高。低温胁迫解除后，与胁迫时相比，对照组及中高质量浓度处理组分别下降了 15.16%，2.06%和 1.02%，低质量浓度处理组则上升了 3.53%，中高质量浓度处理组显著高于对照($P<0.05$)，且中高质量浓度处理组没有差异。可见喷施 350 和 500 mg·L^{-1} 均能维持较高的叶绿素 a/叶绿素 b 值。

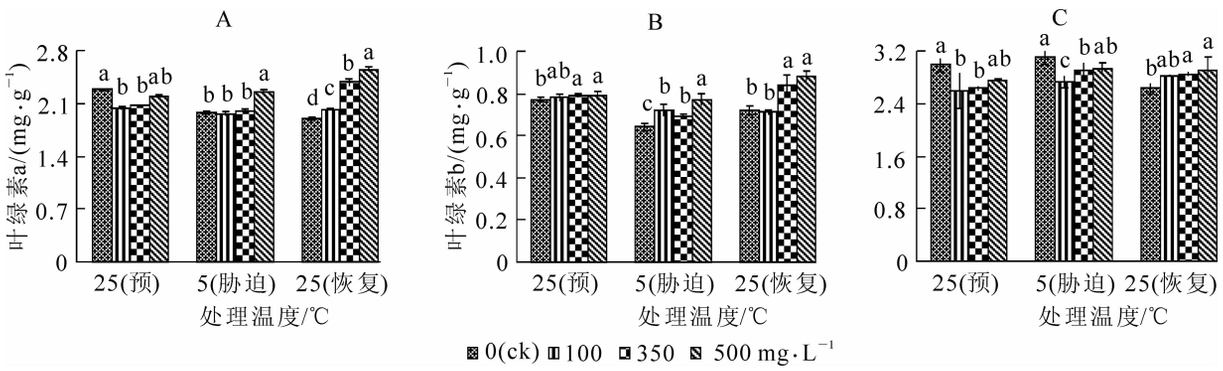

图 3 硝酸镧对董棕叶片叶绿素 a 质量分数(A)，叶绿素 b(B)和叶绿素 a/叶绿素 b(C)的影响

Figure 3 Effect of $La(NO_3)_3$ on chlorophyll a concentration(A), chlorophyll b concentration(B) and chlorophyll a/b ratio(C) in leaves of *Caryota urens*

2.7 董棕的耐寒性指标的综合评价

对 25 ℃恢复 24 h 后的董棕耐寒性指标进行模糊隶属函数综合评价，不同质量浓度硝酸镧溶液对董棕的耐寒性影响的排列顺序为：中质量浓度(350 mg·L^{-1})处理组＞高质量浓度(500 mg·L^{-1})处理组＞对照组＞低质量浓度(100 mg·L^{-1})处理组，对提高董棕耐寒性影响存在较大差异，其隶属函数值分别为 0.39，0.34，0.85 和 0.76，以喷施 350 mg·L^{-1} 硝酸镧溶液效果最佳，500 mg·L^{-1} 硝酸镧溶液效果次之，100 mg·L^{-1} 的硝酸镧溶液对提高董棕的耐寒性没有效果。

表 1 不同质量浓度的硝酸镧对董棕耐寒性综合评价

Table 1 Fuzzy membership functions comprehensive evaluation of $La(NO_3)_3$ for the cold tolerance of *Caryota urens*

硝酸镧处理/(mg·L^{-1})	耐寒性指标								综合评价	排序
	POD	SOD	MDA	Pro	可溶性蛋白质	叶绿素 a	叶绿素 a	叶绿素 a/b		
0(对照)	1.00	0	0	0.54	1.00	0	0.06	0	0.39	3
100	0.06	0.72	0.99	0	0	0.19	0	0.74	0.34	4
350	0.20	1.00	1.00	1.00	0.67	0.74	0.76	0.81	0.85	1
500	0	0.73	0.51	0.98	0.83	1.00	1.00	1.00	0.76	2

3 结论与讨论

逆境胁迫引起植物的生理生化代谢紊乱，产生活性氧，而超氧化物歧化酶和过氧化物酶属于清除活

性氧的保护酶。本研究表明：喷施 3 种质量浓度硝酸镧溶液均能有效提高董棕叶片超氧化物歧化酶的活性，但均降低了过氧化物酶活性。而徐健等[13]研究发现适宜质量浓度的硝酸镧喷施香蕉幼苗叶片，能显著提高香蕉过氧化物酶活性。丙二醛是膜脂过氧化的产物，反映了生物膜被伤害的程度。经硝酸镧溶液处理后董棕丙二醛质量分数显著低于对照组，因此，喷施硝酸镧溶液有利于减少膜脂过氧化作用对细胞造成的伤害。游离脯氨酸和可溶性蛋白质是最有效的渗透调节物质之一，能提高细胞液浓度，从而增加细胞的渗透势，保护细胞避免因失水而造成对膜的伤害，起到增强耐寒性的作用。本实验证实了喷施 350 和 500 mg·L^{-1} 硝酸镧溶液在低温胁迫下董棕脯氨酸保持增加趋势，但在最初 25 ℃和 5 ℃处理下游离脯氨酸质量分数显著低于对照组，可能是硝酸镧溶液处理限制了谷氨酸生成脯氨酸的 2 种酶吡咯啉-5-羧酸还原酶(p5cR)和吡咯啉-5-羧酸合成酶(p5cS)的基因表达，而且硝酸镧本身也作为渗透调节物质起到保护作用。可溶性蛋白质在 25 ℃预处理下 500 mg·L^{-1} 硝酸镧溶液处理组显著高于对照组，而其他处理组显著低于对照组，在 5 ℃下处理组显著低于对照组，这可能与不同质量分数的蛋白质与硝酸镧溶液的螯合程度有关，其机制有待进一步探讨。植物体叶绿素的含量及比值放映了光能转换特性，通常植物在逆境胁迫下，表现为叶绿素降低，叶绿素 a/叶绿素 b 值下降[15]。本实验中适宜质量浓度的硝酸镧溶液能够显著增加董棕叶绿素 a 和叶绿素 b 的质量分数以及增大叶绿素 a/叶绿素 b 值，进而增强植物的光合作用，达到快速的恢复的目的。

通常植物体对稀土元素吸收有一个临界量，当外源施用稀土量合适时，植物生长发育才表现出促进作用；用量太低时，对植物生长发育并无明显的影响；而当用量过高，超过临界量时，植物生长发育则将受到抑制甚至毒害而死亡，这就是稀土的“低促高抑”现象[16]。本研究认为：对董棕喷施 350 和 500 mg·L^{-1} 的硝酸镧对提高耐寒性效果显著，而 100 mg·L^{-1} 硝酸镧溶液不但没有提高反而降低了董棕的耐寒性，这与前人的研究有些不一致，其机制有待进一步研究。

参考文献：

[1] 廖启炓，丁印龙，杨盛昌，等. 低温胁迫下加拿利海枣膜脂过氧化及保护酶活性的变化[J]. 厦门大学学报：自然科学版，2002，**41** (5)：570 – 573.
LIAO Qiliao， DING Yinlong，YANG Shengchang，*et al*. Change of membrane lipid peroxidation and activities of cell defense enzyme in leaves of *Phoenix canariensis* seedling under low temperature stress [J]. *J Xiamen Univ Nat Sci*，2002，**41** (5)：570 – 573.

[2] 丁印龙，廖启炓，杨盛昌，等. 低温胁迫下夏威夷椰子幼苗叶肉细胞 Ca^{2+}水平及细胞超微结构的研究[J]. 厦门大学学报：自然科学版，2002，**41** (5)：679 – 682.
DING Yinlong，LIAO Qiliao，YANG Shengchang，*et al*. Changes of the level of Ca^{2+} in leaf cells of *Pritchardia gaudichaudii* H.Wendl. under low temperature stress [J]. *J Xiamen Univ Nat Sci*，2002，**41** (5)：679 – 682.

[3] 杨盛昌，谢潮添，张平，等. 冷锻炼对低温胁迫下夏威夷椰子膜脂过氧化及保护酶活性的影响[J]. 资源与环境学报，2002，**11** (4)：25 – 28.
YANG Shengchang，XIE Chaotian，ZHANG Ping，*et al*. Effects of cold hardening membrane lipid peroxidation and activities of cell defense enzymes in leaves of *Pritchardia gaudichaudii* seedling under low temperature stress [J]. *J Plant Res Environ*，2002，**11** (4)：25 – 28.

[4] 杨盛昌，谢潮添，张平，等. 低温胁迫下弓葵幼苗膜脂过氢化及保护酶活性的变化[J]. 园艺学报，2003，**30** (1)：104 – 106.
YANG Shengchang，XIE Chaotian，ZHANG Ping，*et al*. Changes in membrane lipid peroxidation and activities of cell defense enzyme in leaves of *Butia capitata* Becc. seedling under low temperature stress [J]. *Acta Hort Sin*，2003，**30** (1)：104 – 106.

[5] 谢潮添，杨盛昌，廖启炓，等. 低温胁迫下董棕(*Caryota urens* L.)幼苗叶肉细胞内 Ca^{2+}水平及细胞超微结构的变化[J]. 植物学通报，2003，**20** (2)：212 – 217.
XIE Chaotian，YANG Shengchang，LIAO Qiliao，*et al*. The changes in Ca^{2+} level and ultrastructure in the leaf cells of *Garyota urens* L. under low temperature stress [J]. *Chin Bull Bot*，2003，**20** (2)：212 – 217.

[6] 陈星，冯宝华，张凌俊，等. 棕榈在北方不同生态环境下越冬栽培适应性的生理研究[J]. 北京师范大学学报：自

然科学版，2003，**39**（3）：390 – 396.

CHEN Xing，FENG Baohua，ZHANG Lingjun，*et al*. Physiological adaptability for the palm plants grew in the different Eco-environments of north region during the period of planting through the winter［J］. *J Beijing Normal Univ Nat Sci*，2003，**39**（3）：390 – 396.

［7］阮志平，廖启炓，丁印龙. 厦门地区引种加拿利海枣的抗寒适应性研究［J］. 热带农业科学，2006，**26**（2）：7 – 9.

RUAN Zhiping，LIAO Qiliao，DING Yinlong. Cold resistance of introduced *Phoenix canariensis* in Xiamen［J］. *J Trop Agric Sci*，2006，**26**（2）：7 – 9.

［8］阮志平，廖启炓，丁印龙. 4 种棕榈植物在厦门越冬的生理指标比较［J］. 浙江林学院学报，2007，**24**（1）：115 – 118.

RUAN Zhiping，LIAO Qiliao，DING Yinlong. The physiological indices comparative study of four palm species during the winter in Xiamen［J］. *J Zhejiang For Coll*，2007，**24**（1）：115 – 118.

［9］李美茹，刘鸿先，王以柔. 氯化镧对水稻幼苗耐冷性的影响［J］. 热带亚热带植物学报，1997，**5**（4）：62 – 64.

LI Meiru，LIU Hongxian，WANG Yirou. Effect of $La(NO_3)_3$ on cold tolerance of rice seedlings［J］. *J Trop Subtrop Bot*，1997，**5**（4）：62 – 64.

［10］严重玲，洪业汤，林鹏，等. 酸雨胁迫下，稀土元素对菠菜膜保护系统作用［J］. 生态学报，1999，**19**（4）：543 – 545.

YAN Chongling，HONG Yetang，LIN Peng，*et al*. The effect of acid rain stress on membrane protective system of spinach and the conservation of rare earth elements［J］. *Acta Ecol Sin*，1999，**19**（4）：543 – 545.

［11］徐健，李国辉，周玉萍，等. 硝酸镧对香蕉幼苗两个抗寒生理指标的影响［J］. 广西植物，2002，**22**（3）：268 – 272.

XU Jian，LI Guohui，ZHOU Yuping，*et al*. Effect of $La(NO_3)_3$ on the POD activity and relative conductivity of leaves in banana seedlings under chilling condition［J］. *Guihaia*，2002，**22**（3）：268 – 272.

［12］刘斌，薛立，许鹏波，等. 短期低温下稀土对麻楝幼苗生理指标的影响［J］. 华南农业大学学报，2010，**31**（4）：82 – 85.

LIU Bin，XUE Li，XU Pengbo，*et al*. Effects of rare earth on physiological indices of *Chukrasia tabularis* seedling under short-time low temperature［J］. *J South China Agri Univ*，2010，**31**（4）：82 – 85.

［13］张志良. 植物生理学实验指导［M］. 北京：高等教育出版社，2003.

［14］魏秀俭. 玉米自交系耐旱性的模糊隶属函数法分析［J］. 山东农业科学，2005（2）：25 – 27.

WEI Xiujian. The drought tolerance analysis of maize inbred lines by fuzzy administering function ［J］. *Shangdong Agric Sci*，2005（2）：25 – 27.

［15］刘建. 2 种桉树对低温胁迫的响应机制研究［D］. 南京：南京林业大学，2008：54 – 55.

LIU Jian. *Studies on Response Mechanisms of Two Eucalypts to Low Temperature Stress*［D］. Nanjing：Nanjing Forestry University，2008：54 – 55.

［16］熊炳昆. 稀土生物功能化合物的应用研究［J］. 中国稀土学报，1994，**12**（4）：358 – 365.

XIONG Bingkun. The application of rare earth compounds biological function［J］. *J Rare-Earths*，1994，**12**（4）：358 – 365.