

硝酸镧处理对短穗鱼尾葵幼苗耐寒性的影响

阮志平^{1*}, 王芬芬¹, 黄全能¹, 姚碧艳², 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 为探明硝酸镧对短穗鱼尾葵(*Caryota mitis*)耐寒生理指标的影响, 用4个不同浓度的硝酸镧溶液(0、100、350、500 mg/L)喷施盆栽短穗鱼尾葵叶片, 经变温处理后检测各项耐寒指标。结果表明, 超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、丙二醛(MDA)、脯氨酸、可溶性蛋白和叶绿素的含量表现出明显的浓度效应, 而且25℃恢复后幼苗叶片的各项耐寒指标的模糊隶属函数值分别为0.41、0.46、0.70、0.50, 其中350 mg/L硝酸镧溶液处理对提高短穗鱼尾葵幼苗的耐寒性具有显著的效应。

关键词 硝酸镧; 短穗鱼尾葵; 生理指标; 耐寒性

中图分类号 S68

文献标识码 A

Effect of La(NO₃)₃ on the Cold Tolerance of *Caryota mitis* Lour.

RUAN Zhiping¹, WANG Fenfen¹, HUANG Quanneng¹, YAO Biyan², LI Zhenji²

1 Xiamen Botanical Garden, Xiamen, Fujian 361003

2 School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361005

Abstract The effects of La(NO₃)₃ on cold tolerance of *Caryota mitis* seedlings were conducted by several physiological indices. The foliage of *Caryota mitis* was sprayed with 0, 100, 350 and 500 mg/L La(NO₃)₃ solution. The changes of activities of SOD, POD, and the contents of MDA, proline, soluble protein, chlorophyll and chlorophyll a/b of *Caryota mitis* were studied under different temperature. All the above-mentioned physiological indices varied with different solution. The results of the comprehensive evaluation indices of the fuzzy membership functions system under the 25℃ were 0.41, 0.46, 0.70 and 0.50, respectively. It was shown that spraying leaves with different concentrations of La(NO₃)₃ could enhance the cold tolerance of *Caryota mitis* seedlings, and the appropriate concentration was 350 mg/L.

Key words La(NO₃)₃; *Caryota mitis*; Physiological indices; Cold tolerance

doi 10.3969/j.issn.1000-2561.2011.06.014

棕榈科(Palmae)植物种类繁多, 习性多样, 主要分布于热带^[1], 多年来在我国南方园林绿化上广泛应用^[2-5]。但寒害是棕榈科植物最重要的自然灾害, 在1992、1993、2000、2008年的严寒冬春, 厦门等地区因强寒流的入侵, 导致许多棕榈科植物寒害严重, 特别是幼苗, 在温度骤降骤升后, 易被冻伤而导致枯萎, 造成较大的损失^[6-7]。目前在棕榈植物的低温生理生化方面开展了一些研究^[8-16], 但尚未见提高其耐寒性技术措施的报道。稀土元素可以提高植物的抗逆性, 稀土元素镧(La)可以提高水稻、香蕉和麻楝等植物抗寒能力, 但不同植物所需要的最适浓度各不相同^[17-19]。本研究探讨变温处理后不同浓度的硝酸镧处理对短穗鱼尾葵(*Caryota mitis*)耐寒性指标的影响, 目的在于明确硝酸镧对短穗鱼尾葵的浓度效应, 以期减轻短穗鱼尾葵寒害提供技术途径和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于厦门市园林植物园棕榈植物引种区, 24°27'N附近, 属于南亚热带海洋性季风气候类型, 年平均气温20.8℃, 1月份的平均气温为10.5℃, 极端低温为1.5℃。

1.2 材料

试验材料为棕榈植物引种区所培育的2年生盆栽短穗鱼尾葵幼苗, 苗木生长状况良好, 盆土肥力中等。选择大小一致的盆株, 随机排放在试验大棚内, 采用常规管理。

1.3 试验方法

2010年11月10日开始用硝酸镧溶液对盆株进行叶面喷施, 浓度分别为0(对照)、100、350、500 mg/L, 喷施到叶片滴水为止, 1次/d, 连续喷施3 d。第4天剪下叶片, 放入人工气候箱进行变

收稿日期: 2011-03-20

修回日期: 2011-05-12

基金项目: 厦门市科技计划项目(No. 3502Z20092019), 厦门市建设与管理局科技项目(No. 2008-1-7)。

作者简介: 阮志平(1969年—), 男, 博士, 高级农艺师。研究方向: 植物生理生态学。*通讯作者, E-mail: rzp20012001@yahoo.com.cn。

温处理：先用 25 ℃处理 24 h，然后 5 ℃低温胁迫 24 h，最后再用 25 ℃恢复处理 24 h。在每次变温处理后，都取部分叶片进行各项生理指标的测定。

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(NBT)法，过氧化物酶(POD)活性的测定采用愈创木酚法，丙二醛(MDA)含量的测定采用硫代巴比妥酸(TBA)法，脯氨酸含量的测定采用酸性茚三酮显色法，可溶性蛋白质含量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^[20]。

1.5 统计分析方法

用 SPSS17.0 进行方差分析和多重比较(LSD 法)，综合评价方法采用模糊隶属函数法^[21]，

耐寒性隶属函数值计算方法： $X_u=(X-X_{min})/(X_{max}-X_{min})$

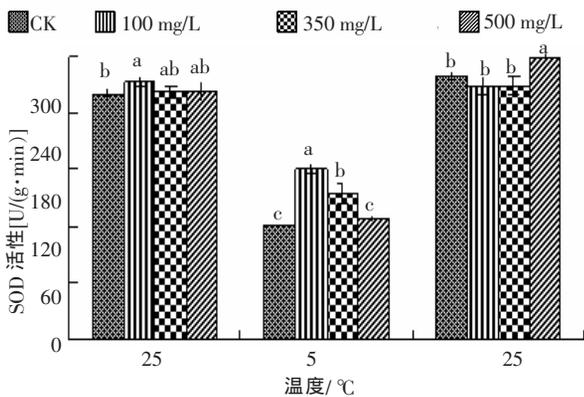
若 25 ℃恢复处理 24 h 后某一指标与耐寒性呈负相关，则用反隶属函数进行定量转换计算，方法如下： $X_{u反}=1-(X-X_{min})/(X_{max}-X_{min})$

X_u 为隶属函数值； X 为各处理某指标测定值， X_{max} 、 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，耐寒性越强。

2 结果与分析

2.1 硝酸镧对短穗鱼尾葵 SOD 活性的影响

SOD 能够清除超氧阴离子，减轻自由基对质膜的伤害。不同浓度的硝酸镧溶液处理对短穗鱼尾葵 SOD 活性的影响如图 1 所示。



相同字母表示差异不显著，不同字母表示差异显著 ($p<0.05$)，下同。
图 1 不同浓度的硝酸镧处理对短穗鱼尾葵 SOD 活性的影响

由图 1 可知，各处理 SOD 活性均呈现先降低后升高的趋势。25 ℃处理 24 h 后，仅 100 mg/L 的 $La(NO_3)_3$ 处理组显著高于对照。5 ℃低温胁迫 24 h

后，0、100、350、500 mg/L 处理组 SOD 活性分别降低了 53.24%、33.76%、41.20%、51.34%，降幅均小于对照组，且 100、350 mg/L 处理组的 SOD 活性显著高于对照及 500 mg/L 处理组。说明在低温胁迫下，3 种浓度均能减缓 SOD 活性的降速。当 25 ℃恢复处理 24 h 后，与胁迫时相比，0、100、350、500 mg/L 处理组分别上升了 56.40%、32.67%、42.68%、57.01%，且 500 mg/L 处理组的 SOD 活性显著高于其它处理。可见 500 mg/L 的高浓度硝酸镧溶液对提高和维持高水平的 SOD 活性效果较好。

2.2 硝酸镧对短穗鱼尾葵 POD 活性的影响

POD 能减轻各种活性氧及自由基对植物的伤害，因此是植物的重要保护酶。不同浓度的硝酸镧溶液对短穗鱼尾葵的 POD 活性影响如图 2 所示。

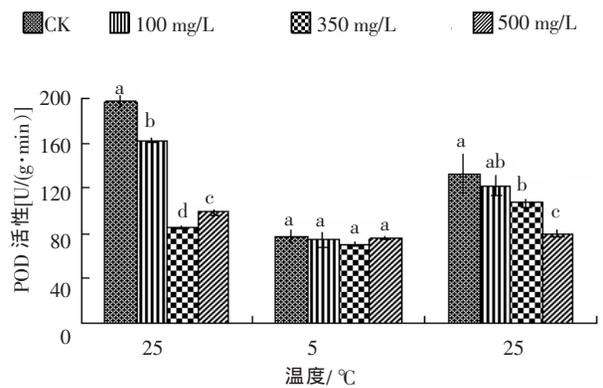


图 2 不同浓度的硝酸镧处理对短穗鱼尾葵 POD 活性的影响

由图 2 可见，各处理组的 POD 活性均呈现出先降低后升高的趋势。25 ℃处理 24 h 后，100、350、500 mg/L 处理组的 POD 活性均显著低于对照组。5 ℃低温胁迫 24 h 后，0、100、350、500 mg/L 组的 POD 活性分别下降了 61.04%、54.73%、17.35%、23.61%，且各处理组间差异不显著。由此可见，经硝酸镧溶液处理的幼苗降幅小于对照，表明 3 种浓度均能减缓低温逆境下 POD 活性的降速。当 25 ℃恢复处理 24 h 后，与胁迫时相比，0、100、350、500 mg/L 处理组的 POD 活性分别上升了 41.83%、39.59%、34.11%、5.50%，且对照组的 POD 活性显著高于其它各处理组。表明 3 种浓度的硝酸镧溶液对维持和提高 POD 活性效果均不佳。

2.3 硝酸镧对短穗鱼尾葵 MDA 含量的影响

植物细胞膜受到逆境伤害后，打破了细胞内自由基的平衡，膜脂过氧化作用加剧，造成膜脂过氧化产物 MDA 的累积。不同浓度硝酸镧溶液对短穗鱼尾葵的 MDA 含量的影响如图 3 所示。

由图 3 可见，各处理组的 MDA 含量均呈现先

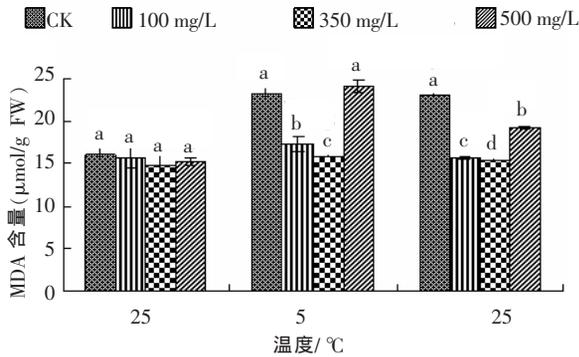


图 3 不同浓度的硝酸镧处理对短穗鱼尾葵 MDA 含量的影响

升高后下降的趋势。25 °C 处理 24 h 后，各处理间差异均不显著。5 °C 低温胁迫 24 h 后，0、100、350、500 mg/L 处理组分别上升了 31.00%、9.58%、6.22%、36.66%，且 100、350 mg/L 处理组的升幅明显小于对照、500 mg/L 处理组，差异达显著水平，说明 100、350 mg/L 的 $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 溶液能减缓 MDA 的累积速率。当 25 °C 恢复处理 24 h 后，与胁迫时相比，0、100、350、500 mg/L 处理组的 MDA 含量分别下降了 0.95%、9.35%、3.27%、20.42%，且对照组显著高于其它各处理组，100、350 mg/L 组的 MDA 含量最低，且与对照、500 mg/L 组差异显著。可见 100、350 mg/L 的硝酸镧溶液对降低和维持细胞内低水平的 MDA 含量效果较好。

2.4 硝酸镧对短穗鱼尾葵游离脯氨酸含量的影响

硝酸镧对短穗鱼尾葵游离脯氨酸含量的影响如图 4 所示。

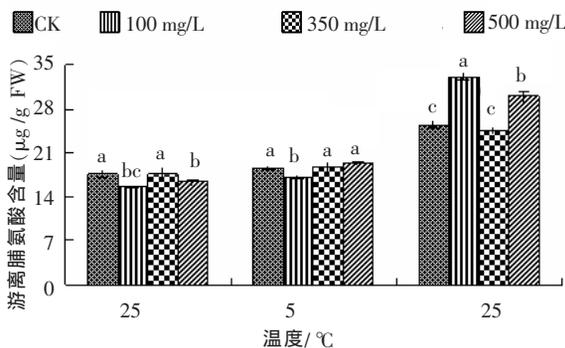


图 4 不同浓度的硝酸镧处理对短穗鱼尾葵游离脯氨酸含量的影响

由图 4 可知，各处理组的游离脯氨酸含量均持续上升。5 °C 低温胁迫 24 h 后，0、100、350、500 mg/L 处理组的游离脯氨酸含量分别增加了 5.68%、8.70%、5.82%、15.62%，其中 100 mg/L 处理组的显著低于其它组。当 25 °C 恢复 24 h 后，0、100、350、500 mg/L 处理组的游离脯氨酸含量分别上升

了 26.73%、48.28%、23.42%、35.62%，且 100、500 mg/L 处理组显著高于对照组和 350 mg/L 处理组，可见 100 mg/L 的低浓度硝酸镧溶液对维持和提高高水平游离脯氨酸含量效果最好。

2.5 硝酸镧对短穗鱼尾葵可溶性蛋白含量的影响

可溶性蛋白质的累积主要是保护细胞膜系统免受严重脱水而造成伤害。不同浓度的硝酸镧溶液对短穗鱼尾葵可溶性蛋白含量的影响如图 5 所示。

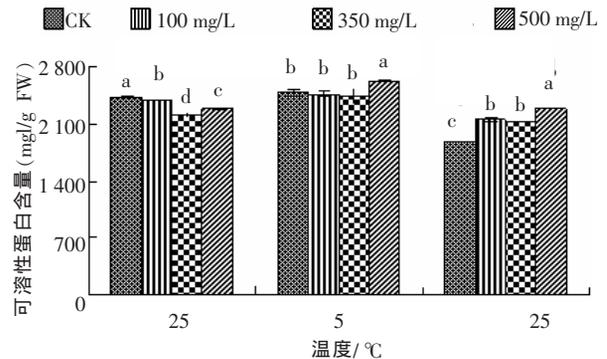


图 5 不同浓度硝酸镧处理对短穗鱼尾葵可溶性蛋白含量的影响

由图 5 可知，各处理组的可溶性蛋白含量均呈先升高后降低的趋势。5 °C 低温胁迫 24 h 后，0、100、350、500 mg/L 处理组的可溶性蛋白含量分别上升了 2.57%、3.44%、9.46%、13.31%，且 500 mg/L 组显著高于其它组。当 25 °C 恢复处理 24 h 后，与胁迫时相比，0、100、350、500 mg/L 组分别降低了 24.57%、12.97%、12.56%、13.07%，且 3 个浓度均显著高于对照组。其中 500 mg/L 的高浓度硝酸镧溶液对保持较高含量的可溶性蛋白效果最佳。

2.6 硝酸镧对短穗鱼尾葵叶绿素 a 含量的影响

叶绿素 a 是绿色植物光能吸收、传递和转换的重要色素。不同浓度硝酸镧处理时短穗鱼尾葵叶片中叶绿素 a 含量变化如图 6 所示。

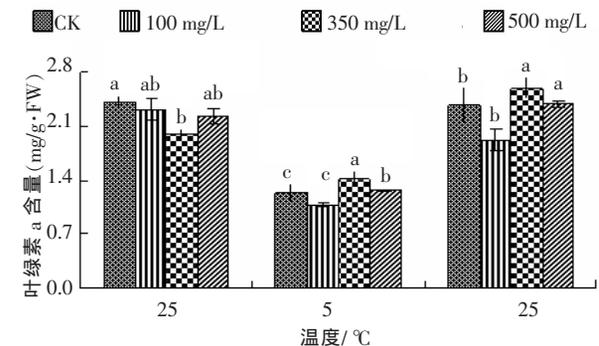


图 6 不同浓度硝酸镧处理对短穗鱼尾葵叶绿素 a 含量的影响

由图 6 可知，各处理组的叶绿素 a 含量均表现出先降低后升高的趋势。5 °C 低温胁迫 24 h 后，0、

100、350、500 mg/L 组叶绿素 a 含量分别下降了 48.55%、53.45%、29.15%、43.05%，且 350、500 mg/L 处理组显著高于对照和 100 mg/L 组。说明低温胁迫下，350、500 mg/L 能够减缓叶绿素 a 的降解。当 25 °C 恢复 24 h 后，与胁迫时相比，0、100、350、500 mg/L 组的叶绿素 a 含量分别上升了 47.68%、43.75%、45.56%、46.64%，350、500 mg/L 处理组显著高于对照和 100 mg/L 组，可见 350 mg/L 的中浓度硝酸镧溶液对维持和提高高水平叶绿素 a 含量效果最好。

2.7 硝酸镧对短穗鱼尾葵叶绿素 b 含量的影响

叶绿素 b 是绿色植物光能吸收、传递和转换的辅助色素。不同浓度硝酸镧处理对短穗鱼尾葵叶绿素 b 的变化如图 7 所示。各处理组叶绿素 b 含量均表现出先下降后上升的趋势。5 °C 低温胁迫 24 h 后，0、100、350、500 mg/L 处理组的叶绿素 b 含量分别下降了 47.83%、54.55%、29.73%、46.59%，而 350 mg/L 处理组显著高于其它组，说明 350 mg/L 处理组能减缓叶绿素 b 的降解。当 25 °C 恢复 24 h 后，与胁迫时相比，0、100、350、500 mg/L 处理组的叶绿素 b 含量分别上升了 43.53%、39.39%、45.83%、50.00%，且 350、500 mg/L 组显著高于对照、100 mg/L 组，可见 350 mg/L 比 500 mg/L 的硝酸镧溶液对提高和维持高水平的叶绿素 b 效果更好。

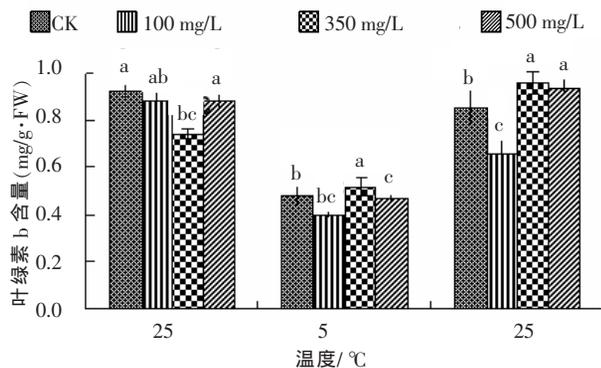


图 7 不同浓度硝酸镧处理对短穗鱼尾葵叶绿素 b 含量的影响

2.8 硝酸镧对短穗鱼尾葵叶绿素 a/b 的影响

不同浓度硝酸镧溶液对短穗鱼尾葵的叶绿素 a/b 值的影响如图 8 所示。由图 8 可知，对照组的叶绿素 a/b 呈现先降低后升高的趋势，100、350 mg/L 处理组处于一直升高趋势，而 500 mg/L 处理组则呈现先升高后降低的趋势。5 °C 低温胁迫 24 h 后，对照组降低了 2.27%，而 100、350、500 mg/L 组则分别升高了 0.38%、1.11%、6.64%，且与对照组差异达显著水平。当 25 °C 恢复 24 h 后，与胁迫时相比，对照、100 mg/L 组分别升高了 7.86%、

8.28%，350 mg/L 组几乎不变，500 mg/L 组则下降了 6.27%，且 100 mg/L 组叶绿素 a/b 值显著高于其它组。可见 100 mg/L 的低浓度硝酸镧对提高和维持相对较高的叶绿素 a/b 值有一定效果。

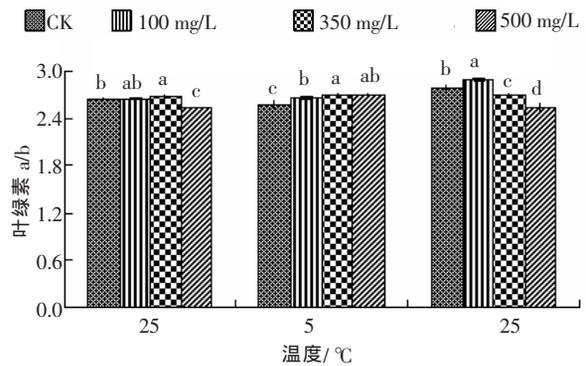


图 8 不同浓度硝酸镧处理对短穗鱼尾葵叶绿素 a/b 的影响

2.9 硝酸镧对短穗鱼尾葵耐寒性影响

25 °C 恢复 24 h 后的幼苗各项耐寒指标进行模糊隶属函数综合评价，其隶属函数值分别为 0.41、0.46、0.70、0.50，不同浓度的硝酸镧溶液对短穗鱼尾葵耐寒性影响的排列顺序为：350 mg/L 组 > 500 mg/L 组 > 100 mg/L 组 > 对照组 (见表 1)。可见喷施 3 种浓度的硝酸镧溶液都能提高短穗鱼尾葵幼苗的耐寒性，其中以喷施 350 mg/L 组的硝酸镧溶液效果最好。

表 1 不同浓度的硝酸镧对短穗鱼尾葵耐寒性综合评价

耐寒性指标	0(对照)	100 mg/L	350 mg/L	500 mg/L
POD	1.00	0.37	0.00	0.01
SOD	0.19	0.69	1.00	0.00
MDA	0.00	0.96	1.00	0.50
游离脯氨酸	0.12	1.00	0.00	0.14
可溶性蛋白	0.00	0.66	0.62	1.00
叶绿素a	0.67	0.00	1.00	0.69
叶绿素b	0.63	0.00	1.00	0.93
叶绿素a/b	0.66	0.00	1.00	0.75
综合评价	0.41	0.46	0.70	0.50
排序	4	3	1	2

3 讨论

在降温过程中，植物体内会发生一系列代谢变化和生理生化反应，以提高植物的耐寒性。SOD、POD、可溶性糖、游离脯氨酸以及可溶性蛋白在逆境胁迫下能保护植物免受低温伤害，增强植物的耐寒性 [10-11, 13-14, 22-23]。植物体进行光合作用的叶绿素根据结构和光能转换特性的不同，可分为叶绿素 a 和

叶绿素 b, 它们的含量及比值决定着植物的光合特性。通常植物在逆境胁迫下, 表现为叶绿素含量的降低, 叶绿素 a/b 值的下降^[24]。

植物对稀土元素吸收有一个临界量, 当外源施用稀土量合适时, 植物才表现出促进作用; 用量太低时, 对植物无明显影响; 而浓度过高, 超过临界含量时, 植物则将受到抑制甚至受毒害而死亡, 即稀土的“低促高抑”现象^[25]。本研究通过 8 种耐寒指标的模糊隶属函数综合分析结果表明, 适宜浓度的硝酸镧溶液 (350 mg/L) 对提高短穗鱼尾葵耐寒性效果显著, 而 100、500 mg/L 的硝酸镧溶液的效果不明显。之所以适宜浓度的稀土溶液喷施植物叶面能够提高短穗鱼尾葵的耐寒性, 可能是因为镧元素能够清除生物体内有害的自由基, 喷施后 SOD 或 POD 活性提高, 进而减轻植物的膜脂过氧化作用, 导致 MDA 含量降低或累积速度减慢, 这与徐健等的研究结论有相似之处^[18]; 同时, 适宜浓度的硝酸镧能够增加短穗鱼尾葵的叶绿素 a、b 的含量及增大叶绿素 a/b 值, 进而增强植物的光合作用, 达到快速恢复的目的。本实验也证实了合适浓度的硝酸镧能够增加短穗鱼尾葵叶片的可溶性蛋白和游离脯氨酸的含量, 从而增加细胞的渗透势, 降低冰点, 保护细胞避免因严重失水或因结冰而造成的机械物理伤害, 起到增强耐寒性的作用。100 mg/L 的低浓度硝酸镧溶液的作用效果不显著, 可能是 100 mg/L 未达到其最低临界值。故只有 350 mg/L 的硝酸镧溶液处理短穗鱼尾葵幼苗, 才能够显著提高短穗鱼尾葵的耐寒性。

参考文献

- [1] 马炜梁. 高等植物及其多样性[M]. 北京: 高等教育出版社; 海德堡: 施普林格出版社, 1998, 127.
- [2] 陈榕生, 谭忠奇, 廖启料, 等. 试谈把厦门建成“椰风海韵”的热带海滨城市的构想[J]. 广东园林, 1998(1): 11-12.
- [3] 吴桂昌. 广东观赏棕榈栽培概况与思考[J]. 广东园林, 1998(1): 10-16.
- [4] 唐金明, 林立增, 刘志忠. 福州园林中应用的 7 种棕榈科植物[J]. 福建林学院学报, 1994, 14(3): 257-261.
- [5] 陈恒彬, 周新月. 常见棕榈科植物在园林绿化中的应用[J]. 亚热带植物通讯, 1995, 24(2): 46-50.
- [6] 何洁英. 华南的短期绝对低温是引种热带棕榈成败的关键[J]. 广东园林, 1998(1): 33.
- [7] 林应枢, 黄华庆, 徐 炜. 福州市棕榈科植物寒害调查报告[J]. 广东园林, 1998(1): 29-32.
- [8] 廖启料, 丁印龙, 杨盛昌, 等. 低温胁迫下加加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.
- [9] 丁印龙, 廖启料, 杨盛昌, 等. 低温胁迫下夏威夷椰子幼叶肉细胞 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.
- [10] 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.
- [11] 杨盛昌, 谢潮添, 张 平, 等. 低温胁迫下弓葵幼苗膜脂过氧化及保护酶活性的变化[J]. 园艺学报, 2003, 30(1): 104-106.
- [12] 谢潮添, 杨盛昌, 廖启料, 等. 低温胁迫下董棕 (*Caryota urens* L.) 幼叶肉细胞内 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.
- [13] 陈 星, 李俊全, 王君玲, 等. 低温下棕榈某些生理变化及低温锻炼对棕榈耐寒性的影响[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 1999, 35(2): 257-260.
- [14] 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.
- [15] 阮志平, 廖启料, 丁印龙. 厦门地区加加利海枣的抗寒适应性研究[J]. 热带农业科学, 2006, 26(2): 7-9.
- [16] 阮志平, 廖启料, 丁印龙. 四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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [21] 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.
- [22] Ruiz J M. Proline metabolism and NAD kinase activity in greenbean plants subjected to cold-shock[J]. Phytochem, 2002, 59: 473-478.
- [23] Yin Y Q, Hu J B, Deng M J. Latest development of antioxidant system and responses to stress in plant leaves[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2007, 23(1): 105-110.
- [24] 刘 建. 两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.
- [25] 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.

责任编辑: 高 静