

## 布迪椰子、沼地棕和油棕的耐寒性研究

阮志平<sup>1,2</sup> 向平<sup>1</sup> 李振基<sup>1</sup>

(1 厦门大学生命科学学院 2 厦门市园林植物园)

**摘要:**利用寒害指数、电解质渗透率与半致死温度研究了布迪椰子、沼地棕和油棕3种棕榈植物在厦门露地栽种的耐寒性。结果表明,它们的寒害指数差异明显,布迪椰子为7.29,在露地能顺利越冬;沼地棕为20.24,适当保护才能越冬;油棕的寒害指数为75.00,不能在露地越冬。低温锻炼前(10月份)和低温锻炼后(次年1月份)所采的叶片在不同低温处理时的电解质渗透率变化趋势不同,应用Logistic方程分别求出各自的半致死温度( $LT_{50}$ )。布迪椰子、沼地棕和油棕在低温锻炼前的半致死温度分别为-7.93、-5.03和-2.19,在低温锻炼后的半致死温度分别为-19.10、-6.60和-2.94。结果发现,布迪椰子的耐寒力最强而且对降温反应速度最快,沼地棕居中,油棕耐寒力最弱,对温度反应最慢。

**关键词:**棕榈植物;电解质渗透率;半致死温度;耐寒性

中图分类号:S718.3 文献标识码:A 文章编号:1000-1522(2008)04-0077-05

RUAN Zhi-ping<sup>1,2</sup>; XIANG Ping<sup>1</sup>; LI Zhen-ji<sup>1</sup>. **Cold tolerance of** *Butia capitata*, *Acoelorrhaphe wrightii* and *Elaeis guineensis*. *Journal of Beijing Forestry University* (2008) 30(4) 77-81 [Ch., 22 ref.]

1 College of Life Sciences, Xiamen University, Fujian Province, 361005, P. R. China;

2 Xiamen Botanical Garden, Fujian Province, 361005, P. R. China.

Cold tolerances of *Butia capitata*, *Acoelorrhaphe wrightii* and *Elaeis guineensis* were studied during the winter (October of 2005 to January of 2006) in Xiamen City by cold injury index, electrolyte leakage and semi-lethal low temperature. The results show that the cold injury indices (CI) of *B. capitata*, *A. wrightii* and *E. guineensis* were 7.29, 20.24 and 75.00, respectively. The electrolyte leakage of leaves was measured in October and January under different temperatures, and the semi-lethal low temperature ( $LT_{50}$ ) of leaves was assayed in different sampling periods by Logistic equation. The  $LT_{50}$  of *B. capitata*, *A. wrightii* and *E. guineensis* were -7.93, -5.03 and -2.19 in October, and were -19.10, -6.60 and -2.94 in January, respectively. The results indicate that the sequence of the cold tolerance is as follows: *B. capitata* > *A. wrightii* > *E. guineensis*.

Key words palm; electrolyte leakage; semi-lethal low temperature; cold resistance

棕榈科(Palmae)是单子叶植物纲中少有的具有乔木性状、宽阔的大型叶和发达的维管束系统的一个科,主要分布于热带,而且许多棕榈科植物是优良的园林观赏植物,挺拔多姿、形态优美,被著名植物学家林奈誉为“植物世界中的王子”<sup>[1]</sup>,其大、中型种类可用作主景植物,中、小型种类既可以作为主景,也可以作为盆栽等。中国棕榈科植物只有16属85种,仅占全世界棕榈植物总属数的8.8%<sup>[2]</sup>,近年来在园林上的应用越来越广泛,从国外引进大量的种

类,棕榈植物有迅速向北推移的趋势<sup>[3-5]</sup>,南北气温差异明显,所以寒害是棕榈植物最重要的自然灾害<sup>[6]</sup>,特别是在1991—1992年,1992—1993年以及1999—2000年等几个严寒冬春,厦门以北地区因强寒流的入侵,导致许多棕榈科植物受到相当大的伤害,严重的造成整株死亡,造成较大经济损失<sup>[7]</sup>,所以绝对最低温度成为棕榈植物主要的限制因素,是棕榈植物引种成败的关键。

到目前为止,虽然在棕榈植物的低温生理生化

收稿日期:2007-10-10

http://www.bjfujournal.cn, http://journal.bjfu.edu.cn

基金项目:教育部博士教育基金项目。

第一作者:阮志平,博士生,农艺师。主要研究方向:植物生理生态学与植物保护学。电话:0592-8630072 Email: rzp20012001@yahoo.com.cn  
地址:361005 厦门大学生命科学学院。

责任作者:李振基,教授。主要研究方向:植物生态学与生物多样性。电话:0592-2181431 Email: zhenjil@163.com 地址:同上。

和提高耐寒性的技术措施等方面开展了一些研究<sup>[8-17]</sup>,但尚没有发现把实地的耐寒性和实验室方法结合的系统研究及推广预测的报道。本研究调查了露地3种盆栽棕榈植物的越冬寒害情况,并结合离体组织冷冻法测定半致死温度,通过种间耐寒性的数量指标来探讨它们的耐寒性,推算潜在的低温适应极限和推广应用的区划,以提高引种和推广应用的成功率,为棕榈植物的引种栽培和发展提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验地概况

实验地位于厦门市园林植物园棕榈植物引种区内,位于24°24'N,118°04'E附近,属于南亚热带海洋性季风气候,年平均气温19.6℃,多年平均降水量1533.3mm。2005年10月—2006年1月实验期间,各月平均气温和极端低温见表1。

表1 厦门2005年10月—2006年1月平均温度和极端低温

TABLE 1 Average and lowest temperatures of Xiamen City from October 2005 to January 2006

时间	月平均气温	极端低温
2005-10	18.1	10.6
2005-11	15.2	5.0
2005-12	12.4	2.2
2006-01	10.3	-2.5

### 1.2 材料

实验材料为棕榈植物引种区所培育的5龄盆栽布迪椰子(*Butia capitata* Becc.)、沼地棕(*Acoelorrhapha wrightii* (Griseb. & H. Wendl.) H. Wendl. ex Becc.)和油棕(*Elaeis guineensis* Jacq.)幼苗,苗木生长状况良好,土壤肥力中等,采用常规管理,每月每盆施用复合肥10g,实验盆栽苗木随机排放在苗圃露地内,无保护措施。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 露地调查方法

露地的寒害调查于2006年1月下旬剧烈降温后的第5天进行,此时气温回暖,寒害明显,每种植物随机调查30株,重点观察记录在越冬期间叶片的寒害症状,并将寒害划分为5个等级(见表2),然后计算其寒害指数CI。

$$CI = \sum n_i W_i / (N W_{max}) \quad (1)$$

式中, $n_i$ 为某寒害级株数, $W_i$ 为某寒害级权值, $N$ 为调查的总株数, $W_{max}$ 为寒害最重一级的权值。

#### 1.3.2 耐寒力测定

采用速冻材料的电导率方法测定<sup>[18]</sup>,主要步骤如下:

1) 植物无病虫害和机械损伤的叶片,洗干净,用

表2 厦门棕榈植物寒害的评价标准

TABLE 2 Evaluation standard of cold injury to palm in Xiamen City

寒害级别	权数	叶片症状表现
0级	0.5	叶片无症状或仅褪绿变色,恢复生长后可重新长绿,对外观和生长影响不大
1级	1	树冠不到1/3受害或叶片边缘及先端受害,成不可逆黑色或褐色,对外观有一定影响,对生长影响不大,几个月内随着新叶长出,可完全恢复优美外观
2级	2	树冠不到2/3受害或叶片除主脉附近保持绿色外,全部成焦黑色或褐色,外观较难看,绝大多数健壮株在半年内能随着新叶生长而恢复优美的外观
3级	4	树冠几乎全部受冻,但纺锤体(芽体分生组织)未受害或叶片除叶鞘保持绿色外全部冻死,次年绝大多数能恢复生长
4级	8	芽体全部受冻,无法恢复生长

吸水纸吸干水分,将叶片剪短(约3cm长)分成6份,分别标上A1、A2、A3、A4、A5、A6等标记,每份约3g,用去离子水漂洗3次后用滤纸吸干水分,分装入带刻度的具塞试管。

2) 将试管置于Polyscience公司生产的9610型低温循环仪中,进行-2、-4、-6、-8、-10、-12、-14℃低温处理各1.5h。

3) 取出试管并置4℃冰箱中解冻30min,化冻后每试管加入8mL蒸馏水,在室温下放置4h,振荡,用DS-2型电导率仪测第1次电导率值( $C_1$ );然后将试管置沸水浴10min,取出后室温放置24h,振荡后测第2次电导率值( $C_2$ ),按下列公式计算试样的电解质渗透率,每处理重复3次。

$$Y = (C_1 - C_w) / (C_2 - C_w) \quad (2)$$

式中, $Y$ 为试样的电解质渗透率(%), $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_w$ 分别为试样第1次、第2次及蒸馏水的电导率(cm/s)。

4) 采用下列经修改的Logistic方程对不同温度和电解质渗透率之间的关系进行拟合,以曲线的拐点温度作为试样的半致死温度。

$$Y = K / (1 + ae^{-bt}) \quad (3)$$

式中, $t$ 为温度(℃), $K$ 、 $a$ 、 $b$ 均为常数。

### 1.4 数据处理

将所测数据用SPSS11.5统计软件进行非线性回归分析,用Logistic曲线拟合求出拐点温度,作为半致死温度。

## 2 结果与分析

### 2.1 寒害统计

从表3可以看出,经过一个冬季后,3种棕榈植物在厦门受寒害的程度明显不同,布迪椰子受寒害最轻,几乎没有受害,在所调查植株中寒害仅有1级

(占 6.7%) 和 2 级 (占 3.3%), 并且所占的比例极少, 寒害指数低, 仅为 7.29, 所以其在厦门地区露地能顺利越冬。沼地棕的寒害程度中等, 寒害主要集中在 2 级, 占 46.7%, 寒害指数为 20.24, 在越冬期间应通过适当的保护措施, 才可以安全越冬。而油棕受寒害最严重, 主要集中在 3 级和 4 级, 各占 50.0%, 寒害指数高达 75.00, 说明其不能在露地越冬, 不适合在当地引种栽培。

表 3 厦门地区 3 种棕榈植物的寒害分析比较

TABLE 3 Comparison of cold injury grades to three palm species leaves in Xiamen City

种名	寒害级别										寒害指数
	0 级		1 级		2 级		3 级		4 级		
	株数	比例/%	株数	比例/%	株数	比例/%	株数	比例/%	株数	比例/%	
布迪椰子	27	90.0	2	6.7	1	3.3	0	0	0	0	7.29
沼地棕	3	10.0	11	36.7	14	46.7	2	6.7	0	0	20.24
油棕	0	0	0	0.0	0	0.0	15	50.0	15	50.0	75.00

2.2 低温锻炼前叶片电解质渗透率变化与半致死温度

低温锻炼前 (2005 年 10 月下旬) 采样的叶片其电解质渗透率测定的结果在不同温度梯度下的变化列于表 4, 电解质渗透率都随温度下降而上升, 呈现“S”形曲线的变化趋势 (如图 1)。其中, 布迪椰子的

电解质渗透率在高于 - 8 的处理温度下变化不明显, 在 - 8 ~ - 10 温度处理之间的变化幅度最大, 当温度下降到 - 10 时, 电解质渗透率增加才略超过 56.75%; 沼地棕的电解质渗透率 - 2 ~ - 4 温度处理之间的变化幅度最大, 温度降低到 - 4 时, 已经达到 53.43%; 油棕的电解质渗透率在温度下降到 - 2 时, 就已经达到 45.10%。根据不同温度梯度下电解质渗透率的变化配以 Logistic 方程进行拟合, 以拐点温度表示半致死温度 ( $LT_{50}$ ), 布迪椰子的半致死温度为 - 7.93; 沼地棕的半致死温度为 - 5.03; 而油棕半致死温度为 - 2.19 (如表 6)。因此, 根据本实验电解质渗透率的指标可以认为供试材料的耐寒顺序为布迪椰子 > 沼地棕 > 油棕。

表 4 2005 年 10 月份不同温度梯度处理的 3 种棕榈叶片电解质渗透率的变化

TABLE 4 Changes of electrolyte leakages of three palm species leaves under different temperatures in October 2005

种名	处理温度/							
	- 2	- 4	- 6	- 8	- 10	- 12	- 14	- 16
布迪椰子	12.10	14.25	19.12	25.90	56.75	61.75	66.54	72.88
沼地棕	18.16	53.43	60.55	68.60	74.45	78.50	82.14	86.41
油棕	45.10	56.42	64.20	83.52	79.66	81.47	86.91	88.23

注: 表中数值为 3 次重复处理的平均值。表 5 同此。

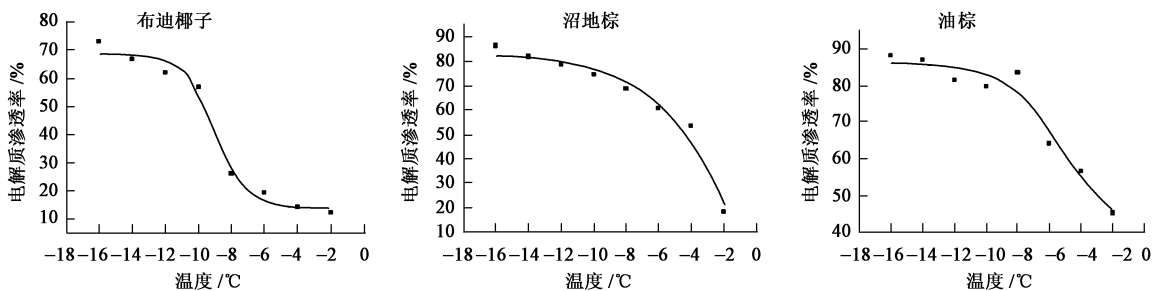


图 1 10 月份不同温度梯度处理的 3 种棕榈叶片电解质渗透率的变化

FIGURE 1 Changes of electrolyte leakages of *B. capitata*, *A. wrightii* and *E. guineensis* in October 2005

2.3 低温锻炼后的叶片电解质渗透率变化与半致死温度

低温锻炼后 (2006 年 1 月下旬) 采样所测定的 3 种棕榈植物的电解质渗透率变化见表 5, 从图 2 中可以看出, 布迪椰子的电解质渗透率在 - 2 ~ - 14 的处理温度下变化不明显, 在 - 14 与 - 16 之间猛增, 当温度下降到 - 14 时, 电解质渗透率才达到 46.26%, 到 - 16 时为 60.17%; 沼地棕的电解质渗透率在 - 6 ~ - 8 之间增幅最大, 温度降低到 - 8 时, 已达 50.60%; 油棕的电解质渗透率在 - 2 ~ - 4 处理之间的变化幅度最大, 当温度下降到 - 4 时, 就已经大于 50%。根据不同温度梯度下电解质渗透率的变化配合 Logistic 方程, 求出“S”形

曲线的拐点温度作为半致死温度 ( $LT_{50}$ ), 布迪椰子的  $LT_{50}$  为 - 19.10; 沼地棕的  $LT_{50}$  为 - 6.60; 而油棕  $LT_{50}$  为 - 2.94 (见表 6)。因此根据本实验电解质渗透率的指标可以认为供试材料的耐寒顺序为布迪椰子 > 沼地棕 > 油棕。

表 5 2006 年 1 月份不同处理温度梯度下 3 种棕榈叶片电解质渗透率的变化

TABLE 5 Changes of electrolyte leakages of three palm species leaves under different temperatures in January 2006

种名	处理温度/							
	- 2	- 4	- 6	- 8	- 10	- 12	- 14	- 16
布迪椰子	10.25	13.12	17.45	21.76	30.35	38.28	46.26	60.17
沼地棕	16.72	20.33	24.55	50.60	62.45	68.50	72.14	76.41
油棕	32.66	54.80	65.75	70.78	76.81	79.90	82.45	85.68

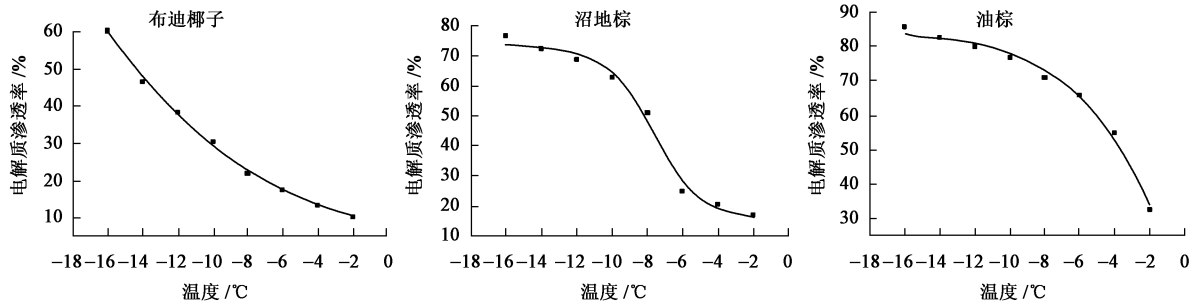


图2 1月份不同温度梯度处理的布迪椰子、沼地棕和油棕叶片电解质渗透率的变化

FIGURE 2 Changes of electrolyte leakages of *B. capitata*, *A. wrightii* and *E. guineensis* in January

## 2.4 低温锻炼前后的半致死温度比较

通过电解质渗透率的数值进行“S”型曲线拟合,所测定的3种棕榈植物在低温锻炼前和低温锻炼后半致死温度见表6。

表6 3种棕榈植物的电解质渗透率和温度的关系及  $LT_{50}$

TABLE 6 Relationships between electrolyte leakage and temperature and semi-lethal low temperature ( $LT_{50}$ ) of three palm species

种名	采样期	Logistic 方程	$LT_{50}$	$R^2$
布迪椰子	锻炼前	$Y=0.7526/(1+18.925e^{-0.372x})$	-7.93	0.945
	锻炼后	$Y=1.5366/(1+19.884e^{-0.157x})$	-19.10	0.998
沼地棕	锻炼前	$Y=1.2782/(1+1.5406e^{-0.086x})$	-5.03	0.987
	锻炼后	$Y=0.7809/(1+11.662e^{-0.372x})$	-6.60	0.972
油棕	锻炼前	$Y=0.9127/(1+1.698e^{-0.241x})$	-2.19	0.990
	锻炼后	$Y=0.8635/(1+2.846e^{-0.356x})$	-2.94	0.981

结果表明,3种棕榈植物低温锻炼后的  $LT_{50}$  都低于低温锻炼前  $LT_{50}$ ,即经过冬季的低温锻炼后,同种植物的耐寒性都有所增强,但不同植物的耐寒性差异较大。布迪椰子在两个时间段的  $LT_{50}$  显著增加,达11.17;沼地棕的  $LT_{50}$  在低温锻炼前后分别为-5.03和-6.60,增加了1.57,增加幅度介于上述两者之间;而油棕在低温锻炼前的  $LT_{50}$  为-2.19,低温锻炼后才达到-2.94,上升幅度最小,仅为0.75。由此可见,通过外界环境的影响,植物的耐寒性在一定程度上可得到提高,布迪椰子对降温的响应速度快,而油棕对降温的响应最慢;另外,低温锻炼前3种棕榈植物  $LT_{50}$  的差异不到5.74,而在锻炼后  $LT_{50}$  的差异近16.16。所以,布迪椰子的潜在耐寒力最强,油棕的潜在耐寒力最弱,沼地棕的潜在耐寒力介于两者之间。

## 3 结论与讨论

Lyons<sup>[19]</sup>认为,电解质渗透率可作为鉴定植物耐寒性的指标,耐寒性强的植物细胞质的膜透性增加的程度小,速度慢,而耐寒性弱的植物细胞质的膜透性快速大幅度增加。本实验的结果也说明了这一点,即未经低温锻炼的棕榈在低温胁迫下电解质渗

透率升高得快,而经过低温锻炼的棕榈质膜稳定性提高,受低温伤害程度降低。

综合上述测定耐寒性的结果,结合上海、福州和厦门等城市的实地调查结果和历年气温变化资料,制定了3种棕榈植物北移应用的模式。上海最低气温记录是1893年1月为-12.1,1977年1月31日的低温为-10.3,上海地区最低气温基本上不低于-10,因此引进的棕榈植物,至少应能忍受-10的低温才能顺利越冬。又由于热岛效应,市区温度比近郊高1~3,市区的平均最低气温明显增高,因此,耐寒性强的布迪椰子等棕榈植物种类可以应用于华东地区,北限可以应用到上海,尤其在市区的小环境绿化。根据实地考察的结果也证明,引种到上海的布迪椰子绿化苗木能够正常开花结果且种子能正常发芽成苗,但必须通过改变小环境或通过耐寒锻炼提高耐寒性等措施,以避免低温胁迫的致死影响。福州冬季1、2月份的平均气温为10.6,极端最低气温城区为-1.7,郊区-4,所以,沼地棕的北限只可应用到福州一带。厦门最低气温2.5,油棕也很难在厦门及厦门以北露地引种成功,所以对于油棕这类耐寒适应性差的棕榈植物,通过进一步的低温诱导来提高其耐寒性的意义不大,但是可以尝试利用生物技术的手段来提高其耐寒性<sup>[20]</sup>。

另外,还可通过这3种棕榈植物作为其他棕榈植物北移推广应用的参照模式,具有一定的理论指导意义和应用价值。但植物的耐寒性也是由多种基因调控的<sup>[21-22]</sup>,因此,如果大面积的推广应用还应该综合当地的湿度、土壤、海拔、日照的长短及小环境多个因子,并且相互印证,才能得出正确的结论<sup>[14,16]</sup>。

总之,通过几个点的露地调查,结合半致死温度能够对引种和推广做出比较精确的预测,在引种前就能较准确地了解到的最大耐寒能力,从而可判断出其耐受拟引进地区的最低气温的前景,以决定材料的取舍,但它要通过大量实验工作而且在引种后数年才能获得。

## 参 考 文 献

- [1] JONES D L. *Palms throughout the world* [M]. Washington D C: Smithsonian Institution Press, 1994.
- [2] 王兆芬. 棕榈科植物的地理分布[J]. 热带亚热带植物学报, 1995, 3(2): 1-18.  
WANG Z F. The geographic distribution of the palmæ [J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 1995, 3(2): 1-18.
- [3] 唐金明, 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.  
TANG J M, LIU Z Z. Seven varieties of palms planted in Fuzhou City, Fujian Province [J]. *Journal of Fujian College of Forestry*, 1994, 14(3): 257-261.
- [4] 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.  
CHEN H B, ZHOU X Y. The use of common palms in landscape gardening [J]. *Subtropical Plant Research Communications*, 1995, 24(2): 46-50.
- [5] 刘海桑. 棕榈植物的造景艺术[J]. 中国园林, 1999, 15(3): 19-22.  
LIU H S. Palms for the landscape architecture art [J]. *Chinese Landscape Architecture*, 1999, 15(3): 19-22.
- [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.  
HE J Y. Low temperature is the key factor for the tropical palm introduce in South China [J]. *Journal of Guangdong Landscape Architecture*, 1998(1): 33.
- [7] 张泓, 刘志忠, 陈登雄. 低温天气对厦门园林植物引种驯化的危害[J]. 中国园林, 2001, 17(4): 82-83.  
ZHANG H, LIU Z Z, CHEN D X. Freeze injury investigation of ornamental plants in Xiamen [J]. *Chinese Landscape Architecture*, 2001, 17(4): 82-83.
- [8] 廖启焯, 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 Q L, DING Y L, YANG S C, et al. Change of membrane lipid peroxidation and activities of cell defense enzyme in leaves of *Phoenix canariensis* seedling under low temperature stress [J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 2002, 41(5): 570-573.
- [9] 丁印龙, 廖启焯, 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 Y L, LIAO Q L, YANG S C, et al. Changes of the level of  $Ca^{2+}$  in leaf cells of *Pritchardia gaudichaudii* H. Wendl. under low temperature stress [J]. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*, 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]. 植物资源与环境学报, 2002, 11(4): 25-28.  
YANG S C, XIE C T, ZHANG P, 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]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 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.  
YANG S C, XIE C T, ZHANG P, 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 Horticulturae Sinica*, 2003, 30(1): 104-106.
- [12] 谢潮添, 杨盛昌, 廖启焯, 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 C T, YANG S C, LIAO Q L, et al. The changes in  $Ca^{2+}$  level and ultrastructure in the leaf cells of *Caryota urens* L. under low temperature stress [J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 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.  
CHEN X, LI J Q, WANG J L, et al. Some physiological changes of *Trachycarpus fortunei* under freezing stress and effect of low temperature acclimation [J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 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.  
CHEN X, FENG B H, ZHANG L J, 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]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2003, 39(3): 390-396.
- [15] 阮志平, 廖启焯, 丁印龙. 厦门地区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 Z P, LIAO Q L, DING Y L. Cold resistance of introduced *Phoenix canariensis* in Xiamen [J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2006, 26(2): 7-9.
- [16] 张庆贵, 吴海萍, 许东新. 上海引种的7种棕榈科植物冻害状况分析[J]. 浙江林学院学报, 2007, 24(1): 110-114.  
ZHANG Q F, WU H P, XU D X. Investigation of freezing injury on the seven introduced palm species in Shanghai [J]. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2007, 24(1): 110-114.
- [17] 阮志平, 廖启焯, 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.  
RUAN Z P, LIAO Q L, DING Y L. The physiological indices comparative study of four palm species during the winter in Xiamen [J]. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2007, 24(1): 115-118.
- [18] YANG S C, LIN P. A mathematical model of low temperature and exposure time interactions on *Kandelia candel* leaf cold sensitivity [J]. *Chinese Journal Botany*, 1995, 7: 164-168.
- [19] LYONS J M. Chilling injury in plants [J]. *Annual Review of Plant Physiology*, 1973, 24: 445.
- [20] PINO M T, SKINNER J S, PARK E J. Use of a stress inducible promoter to drive ectopic AtCBF expression improves potato freezing tolerance while minimizing negative effects on tuber yield [J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2007(5): 591-604.
- [21] 王荣富. 植物抗寒指标的种类及应用[J]. 植物生理学通讯, 1987(3): 49-55.  
WANG R F. Plant cold resistance index and application [J]. *Plant Physiology Communications*, 1987(3): 49-55.
- [22] 王洪春. 植物对低温逆境反应[M]//余叔文, 汤章诚. 植物生理与分子生物学. 北京: 科学出版社, 1992: 395.  
WANG H C. Plant response to low-temperature stress [M]//YU S W, TANG Z C. *Plant physiology and molecular biology*. Beijing: Science Press, 1992: 395.

(责任编辑 赵 勃)