

# 南京地区 12 种常绿阔叶树种冬季抗寒性动态变化

谢晓金<sup>1,2</sup>, 郝日明<sup>1,\*</sup>

(1. 南京农业大学园艺学院, 南京 210095; 2. 南京信息工程大学应用气象学院, 南京 210044)

**摘要:**选取南京地区露地引种的 12 种常绿阔叶树种, 借助电导法对其抗寒性进行研究, 结果表明: 12 种常绿树种在 2003 年与 2005 年冬季期间, 抗寒能力高低排序具有很好的一致性与重复性。12 种常绿树种在 2005 年 10 月至 2006 年 3 月期间随冬季低温诱导进行其抗寒能力呈逐渐增强趋势, 其中在 1 月中旬树种抗寒能力均达到最强, 而通常在 10 月份或 3 月份期间树种抗寒能力最弱。比较而言, 12 种常绿阔叶树种对冬季低温条件响应的快慢程度各有差异, 其中樟科的香樟 (*Cinnamomum camphora*)、浙江樟 (*Cinnamomum japonicum*) 属于低温快速响应型, 而冬青科的冬青 (*Ilex purpurea*)、大叶冬青 (*Ilex latifolia*) 属于低温滞缓响应型, 其余树种为正常响应型。12 种常绿阔叶树种试验所得抗寒能力结果与引种地冬季观察结果具有很好的对应性。研究结果可为常绿阔叶树种进一步向较高纬度地区的引种与栽培管理工作提供重要的参考。

**关键词:**常绿阔叶树种; 抗寒性; 电导法; 动态变化; 南京

文章编号: 1000-0933(2009)04-2149-06 中图分类号: Q945 文献标识码: A

## Dynamic changes of cold hardiness in winter in twelve evergreen broad-leaved species from Nanjing

XIE Xiao-Jin<sup>1,2</sup>, HAO Ri-Ming<sup>1,\*</sup>

1 College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

2 College of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China

*Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(4): 2149 ~ 2154.

**Abstract:** Cold hardiness of twelve evergreen broad-leaved species that introduced to the open field of Nanjing was evaluated by means of electric conductivity. The results found that the order of cold hardiness in those species is consistent and repeated during the winter from 2003 to 2005. Cold hardiness in these species was increased with a period of low temperature induction in winter from October, 2005 to March, 2006. The highest value was observed in the middle of January, with lowest observed on October or March as usual. The responding speed to the low temperature in winter in these species varies. While *Cinnamomum camphora* and *Cinnamomum japonicum* respond fast to low temperature, *Ilex purpurea* and *Ilex latifolia* respond slowly. The rest respond normally. The cold hardiness revealed in this study is well agreed with the observation of winter in Nanjing. Therefore, the results obtained may be used as important reference in introducing evergreen broad-leaved species into higher latitude regions.

**Key Words:** evergreen broad-leaved species; cold hardiness; electric conductivity method; dynamic change; Nanjing

常绿阔叶树种以其叶片四季常青、叶形与色彩多变而十分适合应用于园林绿化与景观建设。近几年来, 为了改变北方冬季园林景观单一萧条的景象, 改善城市生态环境, 许多城市园林建设者尤为重视常绿阔叶树种引种与栽培工作<sup>[1]</sup>。据国内外一些学者研究发现<sup>[2~6]</sup>, 限制喜温常绿树种进一步向较高纬度地区引种与栽培的一个重要生态因子为低温, 并且树种的抗寒能力易受外界环境温度变化而改变, 突然天气异常如冬季的

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30771761)

收稿日期: 2007-10-31; 修订日期: 2008-06-26

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: haoriming@163.com

极端最低温度、秋寒与春寒都会带来树种抗寒能力的差异。本研究借助于电导法,定量估测并比较了目前园林上应用价值较高的 12 种常绿阔叶树种抗寒能力的强弱,以及它们在引种地冬季低温诱导下抗寒能力的动态变化,为这些树种在较高纬度地区的城市园林中的合理利用提供重要的科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料选自于南京中山植物园露地引种的 12 种常绿阔叶树种,隶属于 4 科 7 属,它们分别为樟科的香樟(*Cinnamomum camphora*)、浙江樟(*Cinnamomum japonicum*)与浙江楠(*Phoebe chekiangensis*);冬青科的冬青(*Ilex purpurea*)、大叶冬青(*Ilex latifolia*)与铁冬青(*Ilex rotunda*);木兰科的乐东拟单性木兰(*Parakmeria lotungensis*)、深山含笑(*Michelia maudiae*)与灰毛含笑(*Michelia foveolata* var. *cinerascens*)以及壳斗科的青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)、细叶青冈(*Cyclobalanopsis gracilis*)和石栎(*Lithocarpus glabra*),其中香樟和冬青园林中引种广泛,作为其他实验树种的对照,在植物园内 12 种树种的引种年限有 15a 左右。南京中山植物园纬度 32°02',经度 118°28',年平均温度 15.4℃,1 月份最低气温记录为 -14.0℃,7 月份最高气温记录为 43.0℃,年平均降雨量为 1013 mm。该地区地处亚热带和暖温带的过渡地带,是研究常绿阔叶树种抗寒性的理想地区之一。

### 1.2 试验方法(电导法)

测试分 3 个步骤:①试验于 2003 年 12 月与 2005. 10 ~ 2006. 3 月两个阶段进行,两次试验选用同一批采样树种。每次采样选择东南方向生长健康的 1a 生长枝条进行,参照朱根海等人<sup>[7]</sup>的方法,取枝条健康的倒 2 和倒 3 叶,除去中脉后,先用自来水冲洗干净,再用去离子水漂洗 3 次,在滤纸上吸干。将叶片剪短(约 3 cm 长)分成 5 份,每份约 3 g,然后用纱布包好置于试管中,置于 Polyscience 公司生产的 9610 型低温循环仪进行低温处理,温度梯度分别设定为: -5、-10、-15、-20℃与 -25℃,每两个温度间降温过程 1 h,并在处理温度保持 1 h。②将处理后的材料,取出置于冰箱里(冰箱温度设置 3.6℃)解冻 24 h,每个温度设 3 个重复,每个重复约 1 g 左右,在每个重复中加入 20 ml 去离子水,然后在室温下浸提 12 h。③在上海雷磁仪器厂生产 DDS-307 型电导仪上测其电导率,然后置沸水浴中 20 min 冷却,测其煮沸电导率,按下列公式计算其相对电导率:

$$\text{相对电导率}(\%) = (\text{冰冻电导率} \times 100\%) / \text{煮沸电导率}$$

低温胁迫下细胞电解质渗透率与温度之间的关系呈 S 型曲线,与 Logistic 方程  $Y = k / (1 + ae^{-bx})$  具有较好的拟合度,计算该 Logistic 方程的二阶导数,并令其等于零,则可获得曲线的拐点,  $X = -\ln a / b$ ,即为半致死温度(Lethal temperature 50,  $LT_{50}$ )。在此点,低温对电解质的递增效应最大<sup>[8]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 常绿阔叶树种在不同年份入冬期间 $LT_{50}$ 的差异

图 1 和图 2 分别为南京地区 2003 年、2005 年冬季逐日最低气温变化情况,从图可以看出两个冬季逐日最低气温的温度值和变化趋势基本相同,2003 年冬季最低气温为 -7.3℃,而 2005 年冬季最低气温为 -7.9℃,两个冬季温度变化趋势基本为,自 11 月下旬开始气温大幅度下降,5℃以下的低温出现次数逐渐增多,到 1 月中旬左右气温下降到最低值,此后一直在 0℃左右徘徊,当进入 2 月下旬时,气温开始出现回升趋势。

由于在 12 月左右,南京地区已出现持续性低温(南京地区 2003 年、2004 年与 2005 年 12 月份的月最高温的平均温度值分别为 12.60、12.94℃与 12.59℃),大部分树种都进入低温诱导状态,因此选择两个年份 12 月份左右时期进行试验,比较同种树种在不同年份相近时期抗寒能力的强弱。表 1 即为 12 种常绿阔叶树种在 2003 年与 2005 年 12 月上中旬所测的  $LT_{50}$ ,可以明显看出两段时期所测 12 种树种的  $LT_{50}$  从低到高排序基本一致,它们依次为大叶冬青、冬青、浙江樟、浙江楠、乐东拟单性木兰、铁冬青、深山含笑、细叶青冈、青冈、香樟、灰毛含笑、石栎。以  $LT_{50}$  高低作为抗寒能力的强弱评价指标,  $LT_{50}$  越低,树种抗寒能力越强,反之,  $LT_{50}$  越高,抗寒能力越弱<sup>[7]</sup>。所选的 3 种樟科树种中,浙江樟抗寒能力最强;3 种冬青科树种中,大叶冬青抗寒能力最强;3

种木兰科树种中,乐东拟单性木兰抗寒能力最强;而 3 种壳斗科树种,青冈抗寒能力最强。2a 的抗寒能力从低到高的排序反映测试结果有很好的一致性与重复性,证明了数据的可靠性。

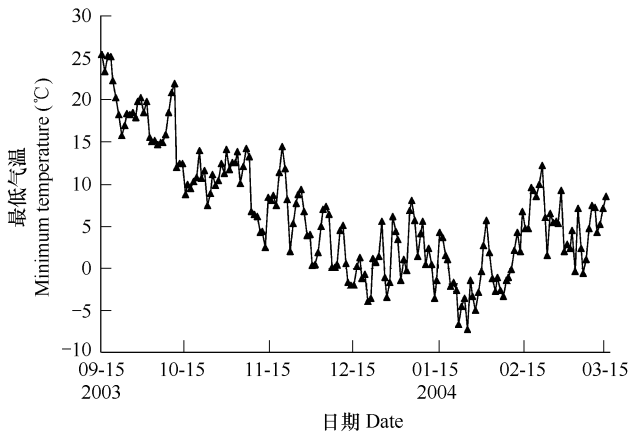


图 1 2003 年底到 2004 年初南京地区冬季逐日最低气温的变化  
Fig.1 Changes of daily minimum air temperature in winter from 2003 to 2004 in Nanjing

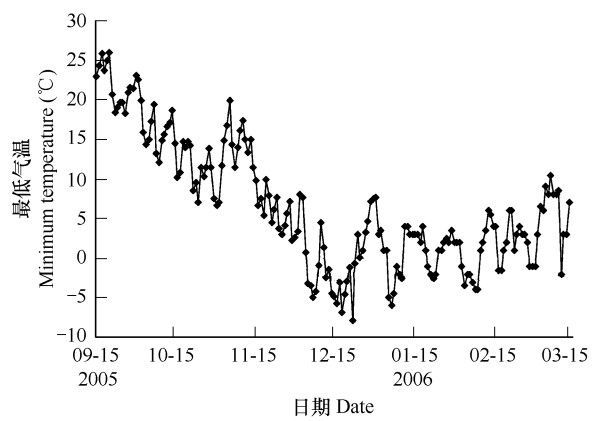


图 2 2005 年底到 2006 年初南京地区冬季逐日最低气温的变化  
Fig.2 Changes of daily minimum air temperature in winter from 2005 to 2006 in Nanjing

表 1 常绿阔叶树种在不同年份  $LT_{50}$  (°C) 的差异比较

Table 1 Difference comparison of  $LT_{50}$  (°C) of evergreen broad-leaved species during different year sampling

| 树种<br>Species                                          | 不同年份采样的 $LT_{50}$ $LT_{50}$ of different year sampling |               |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------|
|                                                        | 2003-12-05                                             | 2005-12-15    |
| 大叶冬青 <i>Ilex latifolia</i>                             | -21.27 ± 0.23                                          | -22.05 ± 0.18 |
| 冬青 <i>Ilex purpurea</i>                                | -19.55 ± 0.12                                          | -19.94 ± 0.09 |
| 浙江樟 <i>Cinnamomum japonicum</i>                        | -18.17 ± 0.53                                          | -18.28 ± 0.45 |
| 浙江楠 <i>Phoebe chekiangensis</i>                        | -17.20 ± 0.77                                          | -17.61 ± 0.62 |
| 乐东拟单性木兰 <i>Parakmeria lotungensis</i>                  | -16.88 ± 1.23                                          | -17.10 ± 0.98 |
| 铁冬青 <i>Ilex rotunda</i>                                | -16.63 ± 1.04                                          | -16.90 ± 0.87 |
| 深山含笑 <i>Michelia maudiae</i>                           | -16.55 ± 0.31                                          | -17.12 ± 0.85 |
| 细叶青冈 <i>Cyclobalanopsis gracilis</i>                   | -11.55 ± 0.11                                          | -11.73 ± 0.08 |
| 青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>                       | -10.58 ± 0.25                                          | -11.21 ± 0.59 |
| 香樟 <i>Cinnamomum camphora</i>                          | -10.26 ± 0.13                                          | -10.89 ± 0.24 |
| 灰毛含笑 <i>Michelia foveolata</i> var. <i>cinerascens</i> | -9.67 ± 3.76                                           | -9.89 ± 2.56  |
| 石栎 <i>Lithocarpus glabra</i>                           | -7.10 ± 0.05                                           | -7.33 ± 0.78  |

## 2.2 常绿阔叶树种在入冬期间不同月份 $LT_{50}$ 的差异

随着冬季低温诱导的进行,通常植物的抗寒能力呈逐渐增强趋势<sup>[9,10]</sup>。图 2 为 2005 ~ 2006 年 12 种测试树种受冻前逐日最低气温变化。2005 年 9 月 15 号至 10 月 14 号,日最低温平均值为 19.41℃,气温均在 10℃ 以上,各树种还未接受冷锻炼;2005 年 10 月 15 号至 11 月 14 号,日最低温平均值为 12.56℃,气温均在 5℃ 以上,各树种开始接受冷锻炼,此时抗低温能力较差;2005 年 11 月 15 号至 12 月 14 号,日最低温平均值为 3.15℃,0℃ 以下低温有 8 次,其中 8 次在 -0.9 ~ -4.8℃ 之间,经过近 1 个月低温锻炼,各树种抗低温能力增强;2005 年 12 月 15 号至 2006 年 1 月 14 号,日最低温平均值为 0.05℃,0℃ 以下低温有 14 次,其中 10 次在 -0.6 ~ -7.9℃ 之间,树种抗低温能力继续增强,达到最大;2006 年 1 月 15 号至 2 月 14 号,日最低温平均值为 0.87℃,0℃ 以下低温有 11 次,其中 9 次在 -1.0 ~ -4.0℃ 之间,气温开始回升,树种抗低温能力相对前者稍微减弱;2006 年 2 月 15 号至 3 月 14 号,日最低温平均值为 3.58℃,0℃ 以下低温有 6 次,其中 4 次在 -1.0 ~ -2.0℃ 之间,气温快速回升<sup>[4]</sup>。

表 2 为 2005 年 10 月至 2006 年 3 月期间,每月中旬所测的 12 种常绿阔叶树种的  $LT_{50}$ 。由表 2 可以看出,12 种常绿阔叶树种  $LT_{50}$  的最低值都出现于深冬 1 月份,最高值出现在 3 月或 10 月中旬(春寒或秋寒时期)。如大叶冬青、浙江樟与乐东拟单性木兰等树种的  $LT_{50}$  最小值都出现于 1 月 15 号, $LT_{50}$  数值分别为  $-23.11^{\circ}\text{C}$ 、 $-18.99^{\circ}\text{C}$  与  $-17.64^{\circ}\text{C}$ ,是 3 种树种在 6 次测试中所得  $LT_{50}$  的最低值;香樟、冬青、灰毛含笑与石栎等树种的  $LT_{50}$  最高值出现于 10 月 15 号, $LT_{50}$  分别为  $-6.24^{\circ}\text{C}$ 、 $-5.40^{\circ}\text{C}$ 、 $-4.38^{\circ}\text{C}$  与  $-4.92^{\circ}\text{C}$ ,表明对冬季低温适应慢;而浙江樟、深山含笑与青冈等树种的  $LT_{50}$  最高值出现于 3 月 15 号, $LT_{50}$  分别为  $-14.97^{\circ}\text{C}$ 、 $-6.83^{\circ}\text{C}$  与  $-6.24^{\circ}\text{C}$ ,对春季响应快。根据 12 种常绿阔叶树种对冬季低温的响应速度的差异,将其分为 3 种类型,第 1 类,滞缓响应型,如冬青科的冬青、大叶冬青与铁冬青,3 种冬青树种在刚开始进入初冬时  $LT_{50}$  很高,抗寒能力弱,但进入深冬时  $LT_{50}$  很低,抗寒能力强,如大叶冬青在 10 月 15 号时  $LT_{50}$  为  $-6.98^{\circ}\text{C}$ ,抗寒能力弱,但在 1 月 15 日测试发现,大叶冬青的  $LT_{50}$  达到  $-23.11^{\circ}\text{C}$ ,与 10 月 15 号相比, $LT_{50}$  增幅为  $-16.13^{\circ}\text{C}$ ,抗寒能力急剧增强,这类树种对低温的适应慢但对极端低温的耐受性高。第 2 类,快速响应型,如樟科的香樟、浙江樟与浙江楠,3 种樟科树种对冬季低温的响应表现恰好与冬青科的 3 种树种相反,3 种樟科树种一进入初冬时,其  $LT_{50}$  较低,抗寒能力较强,进入深冬时它们抗寒能力达到最强时,其  $LT_{50}$  值却低于大叶冬青和冬青,但两段时期树种抗寒能力的变化不明显,如浙江樟在 10 月 15 号测试时  $LT_{50}$  为  $-16.22^{\circ}\text{C}$ ,抗寒能力较强,而在 1 月 15 号测试发现,浙江樟  $LT_{50}$  为  $-18.99^{\circ}\text{C}$ ,其  $LT_{50}$  增幅仅为  $-2.77^{\circ}\text{C}$ ,这类树种对低温响应快但对极端低温的耐受性低。第三类,正常响应型,随气温逐渐降低抗寒性相应提高,如木兰科及壳斗科的 6 种树种,如乐东拟单性木兰与青冈,在 10 月 15 号测定时  $LT_{50}$  分别为  $-9.29^{\circ}\text{C}$ 、 $-7.40^{\circ}\text{C}$ ,抗寒能力较强,在 1 月 15 号测定时  $LT_{50}$  分别为  $-17.64^{\circ}\text{C}$ 、 $-11.66^{\circ}\text{C}$ ,与 10 月 15 号测定数据相比, $LT_{50}$  增幅分别为  $-8.35^{\circ}\text{C}$ 、 $-4.26^{\circ}\text{C}$ ,增幅大小介于冬青科和樟科之间。

表 2 常绿阔叶树种 2005 年冬季  $LT_{50}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) 的动态变化Table 2  $LT_{50}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) of dynamic change of evergreen broad-leaved species in winter in 2005

| 树种 Species | 日期 Date                             |                                      |                                      |                                     |                                      |                                   |
|------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
|            | 2005-10-15<br>October 15th,<br>2005 | 2005-11-15<br>November 15th,<br>2005 | 2005-12-15<br>December 15th,<br>2005 | 2006-01-15<br>January 15th,<br>2006 | 2006-02-20<br>February 20th,<br>2006 | 2006-03-15<br>March 15th,<br>2006 |
| 大叶冬青 Il    | $-6.98 \pm 0.60$                    | $-10.82 \pm 0.11$                    | $-22.05 \pm 0.18$                    | $-23.11 \pm 0.16$                   | $-20.95 \pm 0.32$                    | $-10.30 \pm 0.09$                 |
| 冬青 Ip      | $-5.40 \pm 0.15$                    | $-11.67 \pm 0.21$                    | $-19.94 \pm 0.09$                    | $-20.03 \pm 0.08$                   | $-16.17 \pm 0.53$                    | $-12.75 \pm 0.17$                 |
| 浙江樟 Cj     | $-16.22 \pm 0.08$                   | $-17.99 \pm 0.16$                    | $-18.28 \pm 0.45$                    | $-18.99 \pm 0.11$                   | $-17.54 \pm 0.08$                    | $-14.97 \pm 0.20$                 |
| 浙江楠 Pc     | $-14.69 \pm 0.31$                   | $-16.55 \pm 3.04$                    | $-17.61 \pm 0.62$                    | $-17.66 \pm 2.03$                   | $-15.00 \pm 4.23$                    | $-12.73 \pm 0.54$                 |
| 乐东拟单性木兰 Pl | $-9.29 \pm 2.10$                    | $-11.47 \pm 0.13$                    | $-17.10 \pm 0.98$                    | $-17.64 \pm 0.87$                   | $-15.04 \pm 2.19$                    | $-8.39 \pm 0.12$                  |
| 铁冬青 Ir     | $-1.71 \pm 5.21$                    | $-7.88 \pm 2.01$                     | $-16.90 \pm 0.87$                    | $-17.51 \pm 0.25$                   | $-14.48 \pm 0.36$                    | $-8.56 \pm 0.11$                  |
| 深山含笑 Mm    | $-8.39 \pm 1.41$                    | $-12.75 \pm 0.78$                    | $-17.12 \pm 0.85$                    | $-16.15 \pm 0.32$                   | $-15.49 \pm 0.55$                    | $-6.83 \pm 4.15$                  |
| 细叶青冈 Cgr   | $-4.91 \pm 0.08$                    | $-8.46 \pm 0.53$                     | $-11.73 \pm 0.08$                    | $-12.91 \pm 1.04$                   | $-9.19 \pm 0.87$                     | $-7.65 \pm 3.23$                  |
| 青冈 Cgl     | $-7.40 \pm 1.12$                    | $-8.80 \pm 0.14$                     | $-11.21 \pm 0.59$                    | $-11.66 \pm 2.15$                   | $-9.00 \pm 0.59$                     | $-6.24 \pm 0.71$                  |
| 香樟 Cc      | $-6.24 \pm 0.23$                    | $-8.21 \pm 0.17$                     | $-10.89 \pm 0.24$                    | $-11.42 \pm 0.21$                   | $-8.57 \pm 0.93$                     | $-7.69 \pm 0.06$                  |
| 灰毛含笑 Mfc   | $-4.38 \pm 1.56$                    | $-4.57 \pm 0.08$                     | $-9.89 \pm 2.56$                     | $-9.99 \pm 0.17$                    | $-7.43 \pm 0.07$                     | $-4.42 \pm 2.01$                  |
| 石栎 Lg      | $-4.92 \pm 0.02$                    | $-5.74 \pm 0.20$                     | $-7.33 \pm 0.78$                     | $-9.19 \pm 0.08$                    | $-6.48 \pm 3.04$                     | $-4.79 \pm 0.21$                  |

Il: *Ilex latifolia*; Ip: *Ilex purpurea*; Cj: *Cinnamomum japonicum*; Pc: *Phoebe chekiangensis*; Pl: *Parakmeria lotungensis*; Ir: *Ilex rotunda*; Mm: *Michelia maudiae*; Cgr: *Cyclobalanopsis gracilis*; Cgl: *Cyclobalanopsis glauca*; Cc: *Cinnamomum camphora*; Mfc: *Michelia foveolata* var. *cinerascens*; Lg: *Lithocarpus glabra*

### 3 结论与讨论

植物抗寒能力的强弱通常指植物在引种地整个冬季所表现出抗寒能力。在南京地区,通常在 1 月份左右气温最低(图 1、图 2),极端低温引发的冻害常发生在这一时期<sup>[11]</sup>。以 1 月 15 号所测的 12 种常绿阔叶树种叶片  $LT_{50}$  高低进行各树种抗寒能力的排序,它们分别依次为大叶冬青、冬青、浙江樟、乐东拟单性木兰、浙江楠、铁冬青、深山含笑、石栎、香樟、青冈、灰毛含笑与细叶青冈。试验所得结果与 12 种常绿阔叶树种在引种地

越冬适应性具有很好的对应性。通过收集前人的调查资料,以及作者 2003 ~ 2005 年的冬季实地观察与记录发现<sup>[12,13]</sup>,大叶冬青、浙江樟与乐东拟单性木兰越冬适应性好,在冬季同样生长状态良好,树体未受到任何冻害;香樟与灰毛含笑在 1 月份深冬季节及 3 月中旬春季寒潮时叶面或叶背出现小面积褐色斑块,石栎与细叶青冈在上述两个时期叶片边缘出现轻微的卷缩,这些轻微的冻害都不影响这些树种在冬季的园林观赏价值。在近十多年暖冬气候条件下,香樟已引种到淮河以南,冬青在长江流域城市园林中广为应用,这两个树种的引种栽培北界可作为参照,预测其他树种向更高纬度引种推广的可能性。此外随着全球气候变暖效应,城市热岛效应等环境变化,也为 12 种常绿阔叶树种中的抗寒性好的种类向淮安、徐州等更高纬度地区引种提供参考依据(2000 ~ 2006 年淮安最低温度 -10.3℃,徐州最低温度为 -13.2℃)。

随外界环境温度条件的变化,树种的抗寒能力会产生相应的变化,特别是随季节变化的外界低温的诱导可不同程度地提高树种的抗寒性<sup>[14,15]</sup>,如果抗寒试验的测定时间选在非冬季,仅仅靠在冰箱内诱导数小时测得的结果是不可靠的。而且各类树种对冬季低温诱导条件产生响应的快慢各有差异,如樟科的香樟、浙江樟与浙江楠,对低温的响应较快,冬季外界气温稍微降低,马上表现出较强的抗寒能力;而冬青科的冬青、大叶冬青与铁冬青,对低温的响应较慢,只有当外界气温降低到一定程度,其抗寒能力才能得到增强。同科属的树种对抗寒性的适应有某种程度上的一致性,可能与其起源和演化有一定联系。对于园林工作者来讲,掌握各树种的冬季抗寒能力强弱,并了解其在引种地对冬季低温响应的进程,对于属于低温滞缓响应型的树种,应加强入冬时的防寒管理,在引种与栽培管理工作中应分类型采用不同的措施。

#### Reference:

- [ 1 ] Zang D K, Li P B, Wang J. Selection and application of ornamental evergreen broadleaf trees and shrubs in Shangdong region. *China Garden*, 2001, (5): 71 - 73.
- [ 2 ] Shi F C, Li L G, Xu L G. Study on cold hardness of evergreen *Magnolia*. *Acta Ecologica Sinica*, 1993, 13(3): 197 - 205.
- [ 3 ] Li S J, Wang J H. The effect of disastrous climate on the introduction and domestication of horticultural plants in Xi'an area. *Acta Bot. Boreal. - occident. Sin.*, 1996, 16(5): 38 - 43.
- [ 4 ] Hao R M, Wei H T. Succession tendency of Zhongshan vegetation and discussion of possibility of reconstructing evergreen and deciduous broad-leaved mixed forest. *Acta Phytocologica Sinica*, 1999, 23(2): 108 - 115.
- [ 5 ] Thomashow M F. Role of cold responsive gene in plant freezing tolerance. *Plant Botany*, 1998, 118: 1 - 7.
- [ 6 ] Chen Y, Zhang M, Chen T, *et al.* The relationship between seasonal changes in anti-oxidative system and freezing tolerance in the leaves of evergreen woody plants of *Sabina*. *South African Journal of Botany*, 2006, 72: 272 - 279.
- [ 7 ] Zhu G H, Zhu P R. Effects of Season changes and temperature on de-hardening in *Triticum aestivum*. *Journal of Nanjing Agricultural College*, 1984, (2): 9 - 16.
- [ 8 ] Mo H D. Logistic equation and its application. *Journal of Jiangsu Agricultural College*, 1983, 4(2): 53 - 57.
- [ 9 ] Yan H J, Tan F. The relation between the membrane protective system and semilethal temperature of *Gardenia jasminoides* Ellis leaves as temperature fell. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(1): 91 - 95.
- [ 10 ] Silim, S N, Lavender D P. Seasonal patterns and environmental regulation of frost hardiness in shoots of seedlings of *Thuja plicata*, *Chamaecyparis nootkatensis*, and *Picea glauca*. *Canadian Journal of Botany*. 1994, 72: 309 - 316.
- [ 11 ] Hao R M, Wu J Z, Wang Z L, *et al.* Introduction of evergreen broad-leaved trees in Zhongshan region and discussion of their adaptability. *Biodiversity Conservation and Regional Sustainable Development in China-Proceeding of the Fourth National Symposium on the Conservation and Sustainable Use of Biodiversity in China*. Beijing: Chinese Forestry Press, 2002. 118 - 125.
- [ 12 ] Xie X J, Hao R M, Zhang J L. Low-temperature tolerance characteristics and ecological evaluation of broad-leaved evergreen tree species. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(11): 2671 - 2678.
- [ 13 ] Bi H Y, Gu S, Sun Z J, *et al.* Research on methods of cold-resistance of broad-leaved evergreen species. *Bulletin of Nanjing Botanical Garden Mem. Sun Yat Sen*. Nanjing: Scientific and Technological Press in Jiangsu, 1986. 68 - 74.
- [ 14 ] Beck E, Heim R, Hansen J. Plant resistance to cold stress: mechanisms and environmental signals triggering frost hardening and dehardening. *Journal of Bioscience*, 2004, 29: 440 - 459.

- [15] Kang S K, Motosugi H, Yonemori K, et al. Freezing injury to persimmons (*Diospyros kaki* Thunb.) and four other *Diopyros* species during deacclimation in the spring as related to bud development. *Scientia Horticulturae*, 1998, 77: 33—43.

#### 参考文献:

- [1] 臧德奎, 李鹏波, 王瑾. 山东园林中常绿阔叶树种的选择与应用. *中国园林*, 2001, 5: 71~73.
- [2] 施福诚, 李量冈, 徐连根. 常绿木兰科植物的抗寒性研究. *生态学报*, 1993, 13(3): 197~205.
- [3] 李淑娟, 王景红. 西安地区灾害性天气对园林植物引种驯化的危害. *西北植物学报*, 1996, 16(5): 38~43.
- [4] 郝日明, 魏宏图. 紫金山森林植被性质与常绿落叶阔叶混交林重建可能性的探讨. *植物生态学报*. 1999, 23(2): 108~115.
- [7] 朱根海, 朱培仁. 小麦抗寒性的季节变化及温度对脱锻炼的效应. *南京农学院学报*, 1984, (2): 9~16.
- [8] 莫惠栋. Logistic 方程及其应用. *江苏农学院学报*, 1983, 4(2): 53~57.
- [9] 严寒静, 谈峰. 自然降温过程中梔子叶片膜保护系统的变化与低温半致死温度的关系. *植物生态学报*, 2000, 24(1): 91~95.
- [11] 郝日明, 吴建忠, 王中磊, 等. 常绿阔叶植物在紫金山地区的引种及其适应性分析. 生物多样性保护与区域可持续发展. 第四届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集. 北京: 中国林业出版社, 2002. 118~125.
- [12] 谢晓金, 郝日明, 张纪林. 常绿阔叶树种的耐低温特性及其生态学评价. *生态学报*, 2004, 24(11): 2671~2678.
- [13] 毕绘蟾, 顾姗, 孙醉君, 等. 常绿阔叶树抗冻种质评选方法的研究. 南京中山植物园研究论文集, 南京: 江苏科学技术出版社. 1986, 68~74.