

常绿阔叶树种的耐低温特性及其生态学评价

谢晓金<sup>1</sup>, 郝日明<sup>1\*</sup>, 张纪林<sup>2</sup>

(1. 南京农业大学园艺学院, 南京 210095; 2. 江苏省林业科学研究院, 南京 211153)

**摘要:**选取在南京地区已露地引种的 24 种常绿阔叶树种, 其自然分布北界止于亚热带不同的纬度, 运用生理生态方法, 测定它们在模拟低温处理下的电导率, 并结合寒冷指数和引种后其适应性表现, 分析这些树种的耐低温能力。结果表明, 以某一树种自然分布北界气象资料为依据的寒冷指数与其自然植被的水温条件关系更为密切, 寒冷指数有时不能反映树种本身耐低温能力的高低。如乐东拟单性木兰, 其自然分布于亚热带南部 26°N, 引种到南京耐低温表现明显好于自然分布于亚热带北部的香樟。而采用低温循环仪自动降温程序模拟冰冻处理来测定离体叶片的相对电导率, 计算出各常绿阔叶树种叶片的一半致死温度, 能定量地反映这些树种本身的耐低温能力高低。在测试中如借助已知耐低温能力的树种作对照, 其数据结果可作为常绿园林阔叶树种能否向更高纬度引种的重要参考依据。在上述研究基础上选出 6 种, 以其离体叶片为试材, 测定其可溶性糖和游离脯氨酸含量, 结果显示, 随处理温度的降低, 可溶性糖和游离脯氨酸的含量呈增加趋势, 然而只有在适宜的处理下才呈现规律性变化, 这些研究结果可作为树种耐低温能力的定性补充证据。对常绿阔叶树种的耐低温能力评价及预测有重要的参考价值。

**关键词:**常绿树种; 耐低温特性; 寒冷指数; 电导法

Low-temperature tolerance characteristic and ecological evaluation of broad-leaved evergreen tree species

XIE Xiao-Jin<sup>1</sup>, HAO Ri-Ming<sup>1\*</sup>, ZHANG Ji-Lin<sup>2</sup> (1. College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095; 2. Forestry Academy of Jiangsu Province, Nanjing 211153, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(11): 2671~2677.

**Abstract:** Three eco-physiological characteristics including electric conductivity under lower temperature treatment, coldness index and adaptability of growth were used to analysis the ability of 24 broad-leaved evergreen tree species to withstand the rigors of cold temperature. These plants which naturally distributed over the north limit of differently subtropical latitude were introduced to the open in Nanjing. It is found that coldness index based on the meteorological records of the north limit of their natural habitats is closely related to climate condition of natural vegetations, but is not tightly correspondent to their low temperature tolerance. The best example is that the hardness of *Parakmeria lotungensis* in Nanjing was stronger than that of *Cinnamomum camphora* which naturally distributed over the north of subtropical area, although the former naturally distributed over 26° N south of subtropical area. Electric conductivities of excised-leaves under simulated freezing treatment were measured and lethal temperature 50 (LT50) were calculated. The results could correctly indicate the low temperature tolerance of these tree species in quantitative determination. They are also important indexes to introduce new broad-leaved evergreen tree species to higher latitude by comparing with the tree species of known adaptabilities. Six species selected from 24 broad-leaved evergreen tree species were chosen to measure the contents of soluble sugars and proline in excised-leaves. The results show that the contents of soluble sugars and proline were increased under the proper conditions as the temperature was decreased, suggest that they could be supplementary characteristics of the low temperature tolerance. Altogether the research results demonstrate high value to predict the low temperature tolerance of broad-leaved evergreen tree species and provide the best clue as to the potential usefulness of that species in its new habitat.

基金项目: 国家林业局“948”资助项目(2001-59-01)

收稿日期: 2004-02-19; 修订日期: 2004-07-18

作者简介: 谢晓金(1979~), 女, 安徽安庆人, 硕士生, 主要从事常绿阔叶树种抗寒性研究。E-mail: xxj-200210@sina.com

\* 通讯作者 Author for correspondence.

Foundation item: “948” item of National Forestry Bureau(No. 2001-59-01)

Received date: 2004-02-19; Accepted date: 2004-07-18

Biography: XIE Xiao-jin, Master candidate, mainly engaged in cold-tolerance of broad-leaved evergreen species. E-mail: xxj-200210@sina.com

**Key words:** evergreen tree species; low temperature tolerance characteristics; coldness index; electric conductivity  
文章编号: 1000-0933(2004)11-2671-07 中图分类号: Q945 文献标识码: A

我国常绿阔叶树种丰富, 主要分布于我国长江流域以南亚热带温暖湿润地区, 是亚热带常绿阔叶林的主要组成树种<sup>[1]</sup>。近年来随着城市化进程的加快, 人们对环境质量的要求也越来越高。在较高纬度的长江流域城市, 城市园林中引种和应用四季常青的常绿阔叶树种, 美化城市园林景观, 已经广泛引起重视<sup>[2]</sup>。但目前有盲目引种趋势, 因为低温及其冻害仍然是常绿阔叶树种自然分布的主要限制因子。另外, 研究常绿阔叶树种的耐低温特性, 对研究全球气候变化有重要的意义。植物地理学家吉良教授<sup>[3~5]</sup>最早采用两种热量指标(即 Kira 指标; 温暖指标 Warmth index 和寒冷指标 Coldness index)来分析日本森林带的分布与热量之间的关系, 国内一些学者运用 Kira 指标探讨中国植被与气候关系, 发现寒冷指标对于我国北亚热带常绿阔叶植物与气候关系有较好的指示作用<sup>[6]</sup>。而国内外生理学家, 则运用耐寒生理指标揭示植物的耐低温特性<sup>[7~10]</sup>, 两类方法具有各自的优点。金山地区位于长江下游南岸, 北纬 32°N, 是常绿阔叶树种分布的北缘地带。因此, 在亚热带北缘地区对常绿阔叶树种进行抗冻种质的引种及耐低温的适应性观察, 一方面可以丰富北缘地区的常绿阔叶树种的种类, 对能否进一步向更高纬度引种提供科学参考; 另一方面, 对提高农林业的经济效益和城乡绿化的环境效益都有很大的参考价值<sup>[11]</sup>。

# 1 试验材料与方法

## 1.1 试验材料

供试材料是从中山植物园 100 多种已露地引种正常越冬的常绿阔叶植物中<sup>[2]</sup>, 选取了 24 种树种(见表 1), 从它们的自然地理分布的北界看可分别归入北亚热带分布种、中亚热带分布种和南亚热带分布种。选各个树种引种时间最长的个体采样, 从 10~40a 不等。

表 1 24 种常绿阔叶树种名录  
Table 1 Lists of 24 species of broad-leaved evergreen tree species

| 分布北界<br>North limit of distribution | 树种<br>Tree species                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 亚热带北部<br>North of subtropical       | 青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i> , 香樟 <i>Cinnamomum camphora</i> , 浙江樟 <i>Cinnamomum chekiangensis</i> , 细叶青冈 <i>Cyclobalanopsis gracilis</i> , 石栎 <i>Lithocarpus glabra</i> , 厚皮香 <i>Terstroemia gymnanthera</i> , 茶梅 <i>Camellia sasanque</i> , 油茶 <i>Camellia oleifera</i> , 大叶冬青 <i>Ilex latifolia</i> , 铁冬青 <i>Ilex rotunda</i> , 球核荚 <i>Viburnum rhytidophyllum</i> , 宁波木犀 <i>Osmanthus cooperi</i> , 飞蛾槭 <i>Acer oblongum</i> |
| 亚热带中部<br>Middle of subtropical      | 浙江楠 <i>Phoebe chekiangensis</i> , 灰毛含笑 <i>Michelia foveolata</i> var. <i>cinerascens</i> , 深山含笑 <i>Michelia maudiae</i> , 小叶蚊母树 <i>Distylium buxifolium</i> , 水丝梨 <i>Sycopsis sinensis</i> , 亮叶蜡梅 <i>Chimonanthus nitens</i> , 杜英 <i>Elaeocarpus decipiens</i> , 罗浮槭 <i>Acer fabri</i>                                                                                                                                               |
| 亚热带南部<br>South of subtropical       | 乐昌含笑 <i>Michelia chapensis</i> , 细柄阿丁枫 <i>Altingia gracilipes</i> , 乐东拟单性木兰 <i>Parakmeria lotungensis</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

## 1.2 试验方法

1.2.1 分布北界的热量指标计算方法 Kira 热量指标包括两个含意, 即温暖指标(WI)和寒冷指标(CI)。温暖指标是采用月平均气温高于 5℃ 的总和, 作为植物生长的热量条件, 为了计算方便, 通常是以月的累加代替日的累加法。同样, 寒冷指标是采用月平均气温低于 5℃ 的总和来表示。计算公式如下:

$$WI = \sum (t - 5) \quad CI = - \sum (5 - t)$$

式中, *t* 为月平均气温。

1.2.2 电导法测试方法 测试分 4 个步骤: ①试验于 2003 年 10~12 月进行, 以 12 月冬季树种抗冻性最好时为主。选择东南方向生长健康的 1 年生长枝条进行采样, 参照朱根海等人的方法<sup>[12]</sup>, 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 3cm 长)分成 6 份, 分别标上 A1、A2、A3、A4、A5、A6 等, 每份约 3g, 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, 设定的温度梯度分别为: -5、-8、-11、-14、-17 与 -20℃, 每两个温度间降温过程 0.5h, 并在处理温度保持 1h。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 24h, 每个温度设 3 个重复, 每个重复约 1g 左右, 分别标记为 A1-1、A1-2、A1-3 等, 依次类推总共 432 份, 在每个重复中加入 20ml 去离子水, 然后在室温下浸提 12h。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 分钟冷却, 测其煮沸电导率, 按下列公式计算其相对电导率:

万方数据 相对电导率(%) = (冰冻电导率 × 100) / 煮沸电导率

1.2.3 可溶性糖与游离脯氨酸测试方法 试验材料从上述 24 种常绿阔叶树种中, 选取分别在北亚热带、中亚热带、南亚热带

分布的有代表性6种树种,首先如电导法1.2.2所示,在Polyscience公司生产9610型低温循环仪进行低温处理,处理温度分别是-5、-11与-17℃,每两个温度间降温过程1.0h,并在处理温度保持1.5h。对照处理5℃,放于冰箱中处理。

**可溶性糖测试方法** 分4个步骤:①标准曲线制作:先在0~100μg/ml蔗糖浓度范围内配置系列标准溶液,浓度分别为0、20、40、60、80、100μg/ml,取出标准溶液0~1.0ml,加蒸馏水1.0~0ml,每份共2ml溶液,再加入4ml 萘酮,震动,再沸水提取10min,流水冷却,室温放置10min后,再620nm下进行比色。②测植物叶片,擦净组织表面污物,去除中脉后,在上海恒科公司生产DHG-9145A型电热恒温鼓风干燥箱烘干,先将干燥箱温度调制到105℃,作用15min,然后调制80℃,一直等叶片的重量没有下降趋势为宜。③将烘干叶片用粉碎机粉碎,称取干样0.03g左右,共3份,分别放入20ml刻度试管中,加5ml水,管口封膜,然后在沸水中提取30min-1h,提取液过滤到25ml容量瓶,反复漂洗试管与残渣,定容至刻度。④吸取样品提取液0.5ml于20ml刻度试管中,加去离子水1.5ml,以下步骤跟标准曲线测定相同,测定样品的吸光度。根据标准线性方程计算出可溶性糖的含量。

**游离脯氨酸试验方法** 分3个步骤:①标准曲线制作,先在0~20ug/ml脯氨酸浓度范围内配置系列标准溶液,浓度分别是0、5、10、15、20ug/ml。取标准溶液2ml,加入2ml3%磺基水杨酸、2ml冰乙酸和4ml2.5%茚三酮溶液,置沸水浴中显色30min。冷却至室温,加入4ml甲苯萃取红色物质。静置后,取甲苯相测定520nm波长处的吸光值,依据脯氨酸量和相应吸收值绘制标准曲线。②脯氨酸提取,取0.1g左右低温处理下烘干的粉碎干样(烘干方法如同可溶性糖含量测定),共3份,分别置于大试管中,然后向各管分别加入5ml3%磺基水杨酸溶液,在沸水浴中提取10min(提取过程要经常摇动),冷却后过滤于干净的试管中,滤液即为脯氨酸的提取液。③样品测定,在试管中依次加入2ml上清液+2ml冰乙酸+4ml2.5%茚三酮,置沸水浴中显色30min。冷却后用4ml甲苯萃取,测甲苯相520nm波长处的吸收值,根据标准曲线计算脯氨酸量。

## 2 结果与分析

### 2.1 24种常绿阔叶树种分布北界的热量指标

尽可能多的收集各树种分布区北界的气候资料,按Kira热量指标计算寒冷指数,结果显示(见表2),寒冷指数介于-20.9~-6.2℃的树种有11种,由低到高依次为青冈、厚皮香、大叶冬青、球核荚、细叶青冈、浙江樟、香樟、油茶、水丝梨、石栎和茶梅;寒冷指数介于-5.2~-1.6℃的树种有8种,由低到高依次为罗浮槭、铁冬青、宁波木犀、浙江楠、杜英、亮叶蜡梅、飞蛾槭和小叶蚊母树;寒冷指数介于-1.4~-1.1℃的树种仅有3种,分别为灰毛含笑、乐昌含笑、深山含笑;寒冷指数为-0.5℃是乐东拟单性木兰,寒冷指数为-0.4℃的树种是细柄阿丁枫。虽然由于收集北界地理分布资料不全,可能会出现一定的误差,但从数据归类看,寒冷指数负值大的一类大致为亚热带北部分布树种,寒冷指数负值小的一类属亚热带南部分布种,而介于两者之间的大致以亚热带中部为分布中心,与表1的传统植被生态学的观点基本一致。

### 2.2 24种常绿阔叶树种半致死温度LT<sub>50</sub>

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, $X=\ln(1/a)/b$ ,即为半致死温度(Lethal temperature 50, LT<sub>50</sub>)。在此点,低温对电解质的递增效应最大<sup>[12,13]</sup>。

根据莫惠栋<sup>[13]</sup>的计算方法,求出Logistic方程的各参数(a、b、k)、半致死温度(LT<sub>50</sub>)及拟合度列于表3,其中以香樟与茶梅的S型曲线为代表(见图1)。

用电导法得出的24种树种的半致死温度(LT<sub>50</sub>)结果显示(见表3),半致死温度低于-10℃的有12种,从低到高依次为大叶冬青、宁波木犀、浙江樟、浙江楠、乐东拟单性木兰、深山含笑、铁冬青、细叶青冈、厚皮香、青冈、小叶蚊母树和香樟;半致死温度介于-10~-7℃的有10种,从低到高依次为细柄阿丁枫、灰毛含笑、水丝梨、杜英、油茶、亮叶蜡梅、茶梅、乐昌含笑、飞蛾槭和石栎;只有罗浮槭和球核荚的半致死温度分别为-5.2℃和-4.9℃。以半致死温度高低作为耐低温能力的强弱,部分种类的排序与Kira热量指标计算寒冷指数的排序结果基本一致,如大叶冬青、青冈、细叶青冈、厚皮香、浙江樟和香樟均属耐低温能力好的一类,而罗浮槭均在耐低温能力差的位置。部分种类的排序明显不同于Kira热量指标计算寒冷指数的排序结果,如宁波木犀、乐东拟单性木兰、深山含笑、细柄阿丁枫、灰毛含笑等的半致死温度表明它们和香樟一样耐低温。依据半致死温度得到的结果与这些树种在南京地区引种露地栽培的耐寒能力强弱基本一致,半致死温度可以较好的指示树种的耐低温能力。

### 2.3 6种常绿阔叶树种低温处理条件下的可溶性糖含量变化

从24种已测定过半致死温度的常绿阔叶树种中选取6种有代表性的树种,进行可溶性糖含量和游离脯氨酸含量测定,进一步验证半致死温度的测定结果。作可溶性糖含量测定时,设定-17℃、-11℃和-5℃3个低温梯度处理,加一个5℃处理作对照,测定结果见表4,结果显示,3个低温处理条件下,与5℃对照处理相比,6种常绿阔叶树种可溶性糖的含量都有相应的增加。但在不同低温处理条件下,6种常绿阔叶树种可溶性糖的含量变化趋势较为复杂,各不相同,其中大叶冬青、青冈和罗浮槭3种树种在3个低温处理条件下,随温度降低可溶性糖含量呈正比增加,只是罗浮槭的增加幅度极不显著;而香樟、乐东拟单性木兰和杜英3种树种在-5℃和-11℃这2个低温处理条件下,随温度降低可溶性糖的含量呈正比增加,其中杜英的增加幅度不显

著,而-17℃处理条件可溶性糖含量变化不呈正比关系。

表2 24种常绿阔叶树种分布的热量状况

| Table 2 Temperature distribution of twenty-four broad-leaved evergreen tree species |                                            |               |               |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------|---------------|
| 种名<br>Tree species                                                                  | 北界统计分布点<br>Distributed site of north limit | 温暖指数(℃)<br>WI | 寒冷指数(℃)<br>CI |
| 香樟 <i>Cinnamomum camphora</i>                                                       | 5                                          | 66.1          | -7.4          |
| 浙江楠 <i>Phoebe chekiangensis</i>                                                     | 3                                          | 37.4          | -3.8          |
| 浙江樟 <i>Cinnamomum japonicum</i>                                                     | 5                                          | 61.9          | -9.3          |
| 细叶青冈 <i>Cyclobalanopsis gracilis</i>                                                | 5                                          | 60.3          | -10.3         |
| 青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>                                                    | 8                                          | 91.9          | -20.9         |
| 石栎 <i>Lithocarpus glabra</i>                                                        | 5                                          | 65.2          | -7.0          |
| 乐东拟单性木兰 <i>Parakmeria lotungensis</i>                                               | 2                                          | 25.2          | -0.5          |
| 灰毛含笑 <i>Michelia foveolata</i> var. <i>cinerascens</i>                              | 2                                          | 24.7          | -1.4          |
| 深山含笑 <i>Michelia maudiae</i>                                                        | 2                                          | 24.8          | -1.1          |
| 乐昌含笑 <i>Michelia chapensis</i>                                                      | 2                                          | 25.0          | -1.3          |
| 小叶蚊母树 <i>Distylium buxifolium</i>                                                   | 2                                          | 24.1          | -1.6          |
| 水丝梨 <i>Sycopsis sinensis</i>                                                        | 4                                          | 44.9          | -7.5          |
| 细柄阿丁枫 <i>Altingia gracilipes</i>                                                    | 2                                          | 24.5          | -0.4          |
| 厚皮香 <i>Terstroemia gymnanthera</i>                                                  | 6                                          | 71.0          | -13.5         |
| 茶梅 <i>Camellia sasanque</i>                                                         | 1                                          | 59.0          | -6.2          |
| 油茶 <i>Camellia oleifera</i>                                                         | 5                                          | 60.6          | -7.1          |
| 飞蛾槭 <i>Acer oblongum</i>                                                            | 3                                          | 35.9          | -1.7          |
| 罗浮槭 <i>Acer fabri</i>                                                               | 2                                          | 14.6          | -5.1          |
| 大叶冬青 <i>Ilex latifolia</i>                                                          | 5                                          | 60.6          | -13.4         |
| 铁冬青 <i>Ilex rotunda</i>                                                             | 3                                          | 36.1          | -4.3          |
| 杜英 <i>Elaeocarpus decipiens</i>                                                     | 2                                          | 25.3          | -2.1          |
| 亮叶蜡梅 <i>Chimonanthus nitens</i>                                                     | 2                                          | 25.8          | -2.0          |
| 球核英 <i>Viburnum rhytidophyllum</i>                                                  | 6                                          | 69.5          | -11.8         |
| 宁波木犀 <i>Osmanthus cooperi</i>                                                       | 4                                          | 40.6          | -4.3          |

表3 常绿阔叶树种电导率的Logistic方程参数及半致死温度LT<sub>50</sub>

| Table 3 The parameters of Logistic and LT <sub>50</sub> of broad-leaved evergreen tree species |                |                |                |                               |                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------|------------------------------------|
| 树种<br>Tree species                                                                             | a <sup>①</sup> | b <sup>②</sup> | k <sup>③</sup> | 半致死温度<br>LT <sub>50</sub> (℃) | 拟合度 <sup>④</sup><br>R <sup>2</sup> |
| 香樟 <i>Cinnamomum camphora</i>                                                                  | 21.5657        | 0.2973296      | 90.59678       | -10.3                         | 0.9880**                           |
| 浙江楠 <i>Phoebe chekiangensis</i>                                                                | 6.262822       | 0.1068771      | 109.883        | -17.2                         | 0.9885**                           |
| 浙江樟 <i>Cinnamomum japonicum</i>                                                                | 9.249665       | 0.1224006      | 96.5834        | -18.2                         | 0.9737*                            |
| 细叶青冈 <i>Cyclobalanopsis gracilis</i>                                                           | 14.96546       | 0.2325609      | 80.26997       | -11.6                         | 0.9843**                           |
| 青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>                                                               | 9.531765       | 0.2122116      | 81.86549       | -10.6                         | 0.9716**                           |
| 石栎 <i>Lithocarpus glabra</i>                                                                   | 21.21753       | 0.4312594      | 79.82815       | -7.1                          | 0.9852**                           |
| 乐东拟单性木兰 <i>Parakmeria lotungensis</i>                                                          | 8.214293       | 0.1247985      | 136.595        | -16.9                         | 0.9963**                           |
| 灰毛含笑 <i>Michelia foveolata</i> var. <i>cinerascens</i>                                         | 3.68639        | 0.13999522     | 96.00597       | -9.3                          | 0.9870**                           |
| 深山含笑 <i>Michelia maudiae</i>                                                                   | 5.260814       | 0.10000422     | 135.3771       | -16.6                         | 0.9802**                           |
| 乐昌含笑 <i>Michelia chapensis</i>                                                                 | 4.20509        | 0.2450975      | 91.34095       | -7.4                          | 0.9993**                           |
| 小叶蚊母树 <i>Distylium buxifolium</i>                                                              | 18.96192       | 0.2743986      | 97.96856       | -10.7                         | 0.9829**                           |
| 水丝梨 <i>Sycopsis sinensis</i>                                                                   | 3.395566       | 0.1310101      | 88.4363        | -9.3                          | 0.9910**                           |
| 细柄阿丁枫 <i>Altingia gracilipes</i>                                                               | 21.06859       | 0.3181132      | 77.99639       | -9.6                          | 0.9805**                           |
| 厚皮香 <i>Terstroemia gymnanthera</i>                                                             | 33.8148        | 0.3178556      | 85.20246       | -11.1                         | 0.9943**                           |
| 茶梅 <i>Camellia sasanque</i>                                                                    | 59.76543       | 0.5356852      | 85.66926       | -7.6                          | 0.9847**                           |
| 油茶 <i>Camellia oleifera</i>                                                                    | 23.01297       | 0.3593977      | 87.33661       | -8.7                          | 0.9769**                           |
| 飞蛾槭 <i>Acer oblongum</i>                                                                       | 1.608058       | 0.0661962      | 110.0406       | -7.2                          | 0.8406*                            |
| 罗浮槭 <i>Acer fabri</i>                                                                          | 3.064852       | 0.2138862      | 60.23592       | -5.2                          | 0.9678**                           |
| 大叶冬青 <i>Ilex latifolia</i>                                                                     | 8.448085       | 0.1000924      | 111.2664       | -21.3                         | 0.8699*                            |
| 铁冬青 <i>Ilex rotunda</i>                                                                        | 5.678523       | 0.1045159      | 105.2335       | -16.6                         | 0.9796**                           |
| 杜英 <i>Elaeocarpus decipiens</i>                                                                | 4.921104       | 0.1812101      | 81.3235        | -8.8                          | 0.9668**                           |
| 亮叶蜡梅 <i>Chimonanthus nitens</i>                                                                | 9.43945        | 0.2609087      | 78.68556       | -8.6                          | 0.9587**                           |
| 球核英 <i>Viburnum rhytidophyllum</i>                                                             | 1.843917       | 0.1237709      | 97.48096       | -4.9                          | 0.8905*                            |
| 宁波木犀 <i>Osmanthus cooperi</i>                                                                  | 8.90288        | 0.1105954      | 126.558        | -19.8                         | 0.9466**                           |

①曲线渐进度 Indicate gradual curve;②曲线斜率 Curve slope;③方程系数 Equation coefficiently ④ \*\*, \* 分别表示拟合度达到极显著和显著水平 Indicate the significance of R<sup>2</sup>, respectively

万方数据

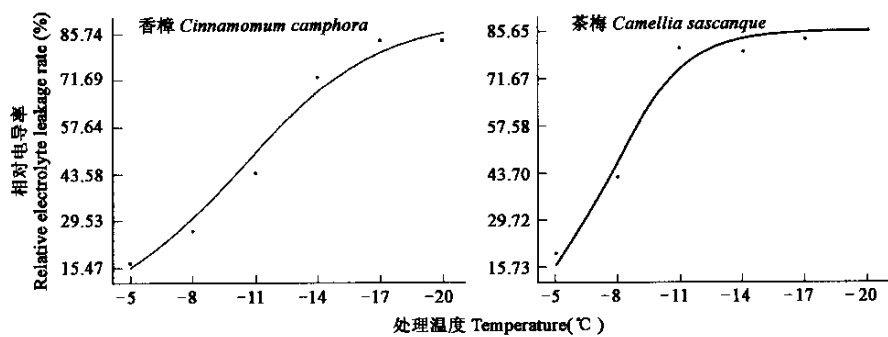


图1 香樟和茶梅的相对电导率随温度变化的 Logistic 曲线

Fig. 1 Logistic curve of electrolyte leakage(%) to temperature of *Cinnamomum camphora* and *Camellia sasanqua*

从可溶性糖的含量增加幅度看,大叶冬青增加幅度最高达 13.08g/100g DW,其它增加幅度由高到低依次为乐东拟单性木兰、香樟和青冈,而杜英和罗浮槭的增加幅度较小,仅为 2.60g/100g DW 和 1.61g/100g DW。就测试结果而言,低温处理条件下可溶性糖含量的增加幅度高低以及能够随温度降低可溶性糖含量呈正比变化的低温差异幅度大小,反映其耐低温能力。

表4 6种常绿阔叶树种在不同温度处理下可溶性糖含量的平均值

| 树种<br>Tree species                    | 可溶性糖含量 The content of soluble sugar(g/100g DW) |          |            |            | 极差<br>Range |
|---------------------------------------|------------------------------------------------|----------|------------|------------|-------------|
|                                       | -17 C                                          | -11 C    | -5 C       | 5 C        |             |
| 香樟 <i>Cinnamomum camphora</i>         | 31.59abAB                                      | 33.80aA  | 29.06bcAB  | 26.29cdABC | 7.51        |
| 大叶冬青 <i>Ilex latifolia</i>            | 35.53aA                                        | 29bAB    | 23.29cdeBC | 22.45cdeBC | 13.08       |
| 乐东拟单性木兰 <i>Parakmeria lotungensis</i> | 42.44bB                                        | 46.99aA  | 42.8bB     | 36.8cC     | 10.19       |
| 青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>      | 36.76aA                                        | 35.86abA | 32.03bcA   | 31.1cA     | 5.66        |
| 杜英 <i>Elaeocarpus decipiens</i>       | 38.47aA                                        | 38.69aA  | 39.05aA    | 36.45aA    | 2.60        |
| 罗浮槭 <i>Acer fabri</i>                 | 17.57aA                                        | 17.55aA  | 17.56aA    | 15.96aA    | 1.61        |

2.4 6种常绿阔叶树种低温处理条件下的游离脯氨酸含量变化

对选出的 6 种常绿阔叶树种同时作游离脯氨酸含量测定,设定-17℃、-11℃和-5℃ 3 个低温梯度处理,加一个 5℃ 处理作对照,测定结果所示(见表 5),6 种常绿阔叶树种在不同低温处理条件下游离脯氨酸含量均不同程度地高于 5℃ 对照处理的游离脯氨酸的含量。但在低温胁迫下,随着种类不同,6 种常绿阔叶树中的游离脯氨酸含量消长动态亦有差异,如大叶冬青,从-5℃到-17℃温度条件下,其游离脯氨酸含量随温度降低呈正比增加,且存在极显著的差异。而其它种类在-5℃到-11℃温度条件下,随温度降低游离脯氨酸含量增加,呈正比关系。比较而言,乐东拟单性木兰和青冈的游离脯氨酸含量上升明显,差异显著;而香樟、杜英和罗浮槭的游离脯氨酸含量上升不明显,差异不显著。从游离脯氨酸含量的上升幅度看,6 种种差异均不大,在 0.03~0.06mg/g DW 之间,而大叶冬青、乐东拟单性木兰和青冈的游离脯氨酸含量上升幅度较高,在 0.06~0.05 mg/g DW;杜英和罗浮槭偏低在 0.03 mg/g DW;香樟居中,为 0.04 mg/g DW。

表5 6种常绿阔叶树在不同温度处理下游离脯氨酸平均值

| 树种<br>Tree species                    | 游离脯氨酸含量 The content of Pro(mg/g DW) |        |         |        | 极差<br>Range |
|---------------------------------------|-------------------------------------|--------|---------|--------|-------------|
|                                       | -17 C                               | -11 C  | -5 C    | 5 C    |             |
| 香樟 <i>Cinnamomum camphora</i>         | 0.13aA                              | 0.14aA | 0.12aA  | 0.10aA | 0.04        |
| 大叶冬青 <i>Ilex latifolia</i>            | 0.13aA                              | 0.11bB | 0.07cC  | 0.07cC | 0.06        |
| 乐东拟单性木兰 <i>Parakmeria lotungensis</i> | 0.14bAB                             | 0.17aA | 0.14bAB | 0.11cB | 0.06        |
| 青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i>      | 0.14aAB                             | 0.16aA | 0.12bB  | 0.11bB | 0.05        |
| 杜英 <i>Elaeocarpus decipiens</i>       | 0.14aA                              | 0.15aA | 0.14aA  | 0.12aA | 0.03        |
| 罗浮槭 <i>Acer fabri</i>                 | 0.10aA                              | 0.12aA | 0.13aA  | 0.11aA | 0.03        |

3 讨论 万方数据

常绿阔叶树种的抗冻能力强弱受季节变化影响较大,所以在采样时要力求同一时间取样,或者叶片采回后,在-3~-5℃

低温下进行人工锻炼预处理,以克服由于气温的波动而引起抗冻性的差异。然而,事实上不同树种在自然低温诱导下的抗冻性逐渐增强的进程快慢是不一样,当天气进入深秋,随着日照的昼长夜短,气温趋冷,树种本身的耐低温能力逐渐增强,入冬后,往往树种能够表现最大的抗冻能力。选6种常绿阔叶树种(见表6),在2个时间段测定半致死温度( $LT_{50}$ ),结果显示,2种樟科树种对季节变化的响应快,10月下旬的耐低温能力就很强;而2种冬青植物对季节变化的响应较慢,10月下旬的耐低温能力较差,但到12月初其耐低温的能力超过或接近2种樟科树种。因此在采样时要选择最适宜的时间,才能反映该树种的最大的抗冻能力。

植物地理学方法中的寒冷指数<sup>[14]</sup>,低温胁迫下的电导率变化<sup>[15]</sup>、可溶性糖含量变化<sup>[16]</sup>和游离脯氨酸含量变化<sup>[17]</sup>等生理生态测试方法,均已有用作对植物抗冻能力的研究报道。以寒冷指数对24种常绿阔叶树种的耐低温高低排序与半致死温度对这些树种的耐低温能力高低排序,有基本相符的一类,也存在一定的不一致性。大叶冬青、青冈、细叶青冈、厚皮香、浙江樟和香樟的两个指标基本一致,这些树种在引种地南京除香樟在大寒年份有冻害外其它种类抗冻性较好,且大多能够天然更新。然而宁波木犀、乐东拟单性木兰、深山含笑、细柄阿丁枫、灰毛含笑等依据所测的半致死温度,表明它们耐低温能力较强,而寒冷指数却不能反映这些树种具有耐低温能力。事实上,这些树种在南京地区的抗冻性较强,明显好于香樟。寒冷指数反映以某一建群种的自然群落在现状自然分布中的耐寒冷能力,不仅反映树种本身的耐寒能力,还反映树种在这一水热条件下能够正常完成生活史、繁殖过程,以及在种间竞争过程中占据自己的生态位,通常树种本身的耐低温能力应高于寒冷指数。参考引种后的耐低温适应性表现<sup>[2]</sup>,作者认为,半致死温度能够较为客观的反映树种本身的耐低温能力,如果在每次测试中加入诸如香樟等明确知道耐低温范围的树种作对照,测试结果可作为园林上常绿阔叶树种能否向更高纬度引种应用的重要参考依据。

本项耐低温试验所选取的24种常绿阔叶树种,自然分布原生境各不相同,其水热条件也各有差异,但所选树种均为南京中山植物园引种成功,已包含有驯化的成分,可以代表各树种耐低温的潜在能力,可以作为能否继续向北引种推广的科学依据。乐昌含笑、细柄阿丁枫和乐东拟单性木兰等耐低温测定结果和其在南京引种地的适应性表现,难以用诸如气候相似论、生境因子分析方法和历史生态分析方法等现有引种理论加以合理解释<sup>[18]</sup>,尽管这些树种自然分布区偏南,但遗传进化上具有潜在的耐寒冷能力。

测试数据中,有与引种表现不一致的地方,如浙江楠的半致死温度表现出抗冻性好,事实上在引种地南京20多年的耐低温生长适应性表现并不好;相反球核荚 半致死温度表现出抗冻性并不好,但事实上在引种地南京近20a的耐低温生长适应性表现较好。作者认为,综合比较分析对预测植物的抗冻能力高低是非常重要的。每种抗冻性实验只测其中的一个生理指标,有一定的局限性。另外,由于试验测试均以理想气候条件为前提,仅测了离体叶片。树种的抗冻性易受环境温度变化而改变,突然天气异常带来抗冻性差异,诸如极端最低温度、寒潮,特别春寒,其降温幅度、持续时间长短等对植物的抗冻性有直接影响<sup>[19]</sup>。树种的抗冻性还与驯化时间有一定的关系,一般是驯化时间越长引种植物的抗冻性越好。最终应以引种后植物在引种地的抗冻性表现来证明这些推测。

植物受低温条件刺激时,其体内的可溶性糖和游离脯氨酸含量会呈增加趋势。以不同常绿阔叶树种为材料,进行低温胁迫下可溶性糖的含量和游离脯氨酸含量等指标的进行比较,能从其它角度反映出不同常绿阔叶树种的抗冻性的差异,也可用来衡量不同常绿阔叶树种的抗冻性的强弱,但这两种方法只能定性,可比性不直观,可作补充验证。

References:

[1] Wu Z Y, Li B T, Fang R Z, *et al.* *Chinese vegetation*. Beijing: Scientific and Technological Press, 1980.

[2] 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.

[3] Shidei T. and T. Kira. Primary productivity of Japanese forests. *JIBP synthesis*, 1977. 16.

[4] Yang J. 万方数据 Distribution of forest vegetation and climate in the Korean peninsula Ⅲ. Distribution of tree species along the thermal gradient. *Jap. J. Ecol*, 1977, 27(4): 177~189.

[ 5 ] Yang-Jai YIM. Zonal distribution of forest vegetation in relation to thermal climate. *Jap. J. Ecol.* ,1977, **27**(4):269~278.

[ 6 ] Ni J. Development of Kira,s indices and its application to vegetation-climate interaction study of China. *Chineses Journal of Applied Ecology*,1997, **8**(2):161~170.

[ 7 ] Peter M Rosen, George L Good, and Peter L. Steponkus. Desiccation injury and direct freezing injury to evergreen Azaleas: A comparison of cultivars. *J. Amer. Hort. Sci.* , 1983, **108**(1):28~31.

[ 8 ] Akira Sakai, Naotoshi Hakoda. Cold hardiness of the Genus *Camellia*. *J. Amer. Soc, Hort. Sci.* , 1979, **104**(1): 53~57.

[ 9 ] Orville M. Lindstrom. The use of leaf parts to estimate the cold hardiness of southern Magnolia(*Magnolia grandiflora* L. ). *Hortscience*. 1992. **27**(3): 247~249

[ 10 ] Gusta L V, Wilen R W, and Fu P. Low-temperature stress tolerance: The role of abscisic acid, sugars, and heat-stable proteins. *Hortscience*, 1996, **31**(1): 39~46

[ 11 ] Bi H Y, Gu S, Sun Z J, *et al.* Research on methods of cold-resistance of broad-leaved evergreen Species. *Bulletion of Nanjing Botanical Garden Mem. Sun Yat Sen*. Nanjing;Scientific and Technological Press in Jiangsu, 1986. 68~74.

[ 12 ] 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.

[ 13 ] Mo H D. Logistic equation and its application. *Journal of Jiangsu Agricultural College*, 1983, **4**(2):53~57.

[ 14 ] Hong B G, Li S Z. The preliminary study of the correlations between the distribution of main everygreen broad-leaf tree species in Jiangsu and climates. *Acta Ecologica Sinica*, 1981, **1**(2):105~111.

[ 15 ] Yang J Y, Liu Z Q, Liu G L. An examination and certification to the responsiveness and procision of testing the cold resistance in citrus by electrical conducting method. *Journal of Nanjing Agricultural College*, 1980, (1): 87~95.

[ 16 ] Wang X X, Li S D, Dong H Y, *et al.* The correlationship of cold-tolerance with ABA, soluble sugar and respiratory intensity in tomato. *Acta Horticulturae Sinica*, 1998, **25**(1): 56~60.

[ 17 ] Yao M H, Xu Y J, Li X L, *et al.* Research on physiological and biochemical characteristics of cold-tolerance to *Solanum melongena* L. *Acta Horticulturae Sinica*, 2001, **28**(6):527~531.

[ 18 ] Wang M J, Liu K H, Wu S P, *et al.* *General instruction of introduction and acclimatization of woody plants*, Nanjing;Scientific and Technological Press Province Jiangsuof, 1990. 48~59.

[ 19 ] 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.

参考文献:

[ 1 ] 吴征镒,李秉滔,方瑞征,等. 中国植被. 北京:科技出版社,1980.

[ 2 ] 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.

[ 6 ] 倪健. KIRA 指标的拓展及其在中国植被与气候关系研究中的应用. 应用生态学报,1997, **8**(2):161~170.

[ 11 ] 毕绘蟾,顾嫫,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.

[ 12 ] 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.

[ 13 ] 莫惠栋. Logistic 方程及其应用. 江苏农学院学报,1983, **4**(2):53~57.

[ 14 ] 洪必恭,李绍珠. 江苏主要常绿阔叶树种的分布与热量关系的初步研究. 生态学报, 1981, **1**(2):105~111.

[ 15 ] 杨家 , 刘祖祺, 刘谷良. 电导法测定柑桔耐寒性的灵敏度和精确度的检验. 南京农学院学报, 1980, (1):87~95.

[ 16 ] 王孝宣,李树德,东惠茹,等. 番茄品种耐寒性与 ABA 和可溶性糖含量德关系. 园艺学报, 1998, **25**(1):56~60.

[ 17 ] 姚明华,徐跃进,李晓丽,等. 茄子耐冷性生理生化指标的研究. 园艺学报, 2001, **28**(6):527~531.

[ 18 ] 王名金,刘克辉,伍寿彭,等. 树木引种驯化概论. 南京:江苏科学技术出版社,1990. 48~59.

[ 19 ] 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.

| 2002 年生物类期刊影响因子排序表 * (节选) |        |       |        |
|---------------------------|--------|-------|--------|
| 名次                        | 期刊名称   | 总被引频次 | 影响因子   |
| 1                         | 生态学报   | 2257  | 1. 206 |
| 2                         | 植物生态学报 | 1045  | 0. 968 |
| 3                         | 植物学报   | 2927  | 0. 904 |
| 4                         | 遗传学报   | 983   | 0. 888 |
| 5                         | 生物多样性  | 333   | 0. 842 |

| 2002 年环境类期刊影响因子排序表 * (节选) |             |       |        |
|---------------------------|-------------|-------|--------|
| 名次                        | 期刊名称        | 总被引频次 | 影响因子   |
| 1                         | 自然资源学报      | 579   | 0. 931 |
| 2                         | 环境科学        | 1353  | 0. 883 |
| 3                         | 环境科学学报      | 885   | 0. 761 |
| 4                         | 水处理技术       | 522   | 0. 626 |
| 5                         | 环境污染治理技术与设备 | 128   | 0. 612 |

| 2002 年生物类期刊总被引频次排序表 * (节选) |         |       |        |
|----------------------------|---------|-------|--------|
| 名次                         | 期刊名称    | 总被引频次 | 影响因子   |
| 1                          | 植物学报    | 2927  | 0. 904 |
| 2                          | 生态学报    | 2257  | 1. 206 |
| 3                          | 应用生态学报  | 1087  | 0. 684 |
| 4                          | 植物生理学通讯 | 1430  | 0. 348 |
| 5                          | 植物生态学报  | 1045  | 0. 968 |

| 2002 年环境类期刊总被引频次排序表 * (节选) |        |       |        |
|----------------------------|--------|-------|--------|
| 名次                         | 期刊名称   | 总被引频次 | 影响因子   |
| 1                          | 环境科学   | 1353  | 0. 883 |
| 2                          | 中国环境科学 | 922   | 0. 610 |
| 3                          | 环境科学学报 | 885   | 0. 761 |
| 4                          | 自然资源学报 | 579   | 0. 931 |
| 5                          | 上海环境科学 | 538   | 0. 334 |

| 2002 年 1534 种科技期刊影响因子总排序表 * (节选) |                            |       |        |
|----------------------------------|----------------------------|-------|--------|
| 名次                               | 期刊名称                       | 总被引频次 | 影响因子   |
| 1                                | WORLD J OF GASTROENTEROLOG | 1633  | 2. 579 |
| 2                                | 冰川冻土                       | 674   | 2. 426 |
| 3                                | 地理学报                       | 1204  | 2. 301 |
| 4                                | 地质学报                       | 935   | 2. 133 |
| 5                                | 世界华人消化杂志                   | 4151  | 1. 926 |
| 6                                | 中华肝病杂志                     | 767   | 1. 858 |
| 7                                | 中华医院管理杂志                   | 1638  | 1. 708 |
| 8                                | 草业学报                       | 342   | 1. 676 |
| 9                                | 中国科学 D                     | 1020  | 1. 453 |
| 10                               | 地理研究                       | 559   | 1. 418 |
| 11                               | 中华传染病杂志                    | 763   | 1. 416 |
| 12                               | 物理学报                       | 2870  | 1. 397 |
| 13                               | 中华心血管病杂志                   | 1649  | 1. 370 |
| 14                               | 中华医院感染学杂志                  | 1362  | 1. 349 |
| 15                               | CHIN PHYS                  | 563   | 1. 277 |
| 16                               | 地理科学进展                     | 276   | 1. 245 |
| 17                               | 中华结核和呼吸杂志                  | 1812  | 1. 239 |
| 18                               | 生态学报                       | 2257  | 1. 206 |
| 19                               | 高原气象                       | 536   | 1. 203 |
| 20                               | 岩石学报                       | 711   | 1. 197 |

| 2002 年 1534 种科技期刊总被引频次总排序表 * (节选) |           |       |        |
|-----------------------------------|-----------|-------|--------|
| 名次                                | 期刊名称      | 总被引频次 | 影响因子   |
| 1                                 | 世界华人消化杂志  | 4151  | 1. 926 |
| 2                                 | 科学通报      | 3321  | 0. 706 |
| 3                                 | 植物学报      | 2927  | 0. 904 |
| 4                                 | 物理学报      | 2870  | 1. 397 |
| 5                                 | 高等学校化学学报  | 2707  | 0. 782 |
| 6                                 | 中华外科杂志    | 2653  | 0. 604 |
| 7                                 | 中华骨科杂志    | 2463  | 0. 834 |
| 8                                 | 分析化学      | 2268  | 0. 608 |
| 9                                 | 生态学报      | 2257  | 1. 206 |
| 10                                | 中华放射学杂志   | 2241  | 0. 975 |
| 11                                | 中国实用外科杂志  | 2044  | 0. 989 |
| 12                                | 第四军医大学学报  | 2025  | 0. 769 |
| 13                                | 中国中西医结合杂志 | 2003  | 0. 472 |
| 14                                | 中华医学杂志    | 2002  | 0. 636 |
| 15                                | 中草药       | 1999  | 0. 478 |
| 16                                | 中国临床康复    | 1984  | 0. 927 |
| 17                                | 中华内科杂志    | 1902  | 1. 117 |
| 18                                | 中华儿科杂志    | 1838  | 0. 800 |
| 19                                | 中华妇产科杂志   | 1838  | 0. 800 |
| 20                                | 中华结核和呼吸杂志 | 1812  | 1. 239 |

\* 数据源于 2003 年版“中国科技期刊引证报告”。