

十个落叶乔木树种的抗寒性研究

王 姍 姍, 樊 保 国

(山西师范大学 生命学院, 山西 临汾 041000)

摘 要:以北方地区常见的 10 种落叶乔木的当年生休眠枝条为试材,采用人工低温诱导的方法,测定并分析了它们在不同处理温度 and 不同时间下的电解质外渗率、可溶性糖、可溶性蛋白质含量及 O_2^- 产生速率;用电解质外渗率结合 Logistic 方程拟合推算出各树种的低温半致死温度,并应用隶属函数法进行抗寒力排序。结果表明:10 个树种的抗寒性由强到弱依次为苦楝、白蜡、龙爪槐、二球悬铃木、银杏、五角枫、白杜、柿树、碧桃、紫叶李。研究结果可为高寒地区园林绿化乃至荒山治理树种的选择、引种及栽培管理工作提供理论参考。

关键词:落叶乔木;半致死温度;抗寒性;隶属函数法

中图分类号:S 792 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)09-0087-07

乔木冠幅大、寿命长、生长快^[1],具有遮阴、降温、滞尘、减噪和吸收有害气体等功能,因而成为园林绿化的骨干树种。由于高海拔地区气候寒冷,需要栽植一些抗寒性较强的树种,但是在园林绿化工作中,由于对乔木树种的选择利用不当,时常发生冻害现象,造成景观效益与经济效益的双重损失^[2],因此研究不同乔木树种的抗寒性具有重要意义。现选取北方地区常见的 10 种乔木作为研究对象,通过测定它们在不同温度梯度和不同处理时间下的生理生化变化,揭示其抗寒能力的强弱,以期高寒地区园林绿化乃至荒山治理树种的选择、引种及应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为露地生长的 10 种落叶乔木,分别是柿树(*Diospyros kaki*)、苦楝(*Melia azedarach* Linn.)、白杜(*Euonymus alatus* Rupr.)、龙爪槐(*Sophora japonica* ‘Pendula’)、白蜡(*Fraxinus chinensis*)、二球悬铃木(*Platanus hispanica*)、五角枫(*Acer elegantulum* Fang et P. L. Chiu)、银杏(*Ginkgo biloba* Linn.)、碧桃(*Prunus persica* Batsch. var. *duplex* Rehd.)、紫叶李(*Prunus cerasifera* Ehrh. f.),均取自山西师范大学校园内。剪取各树种

树龄和栽培管理基本相同且长势一致、无病虫害的一年生休眠枝条,将相同树种的枝条用湿纱布包裹后装入同一密封袋中密封,贴上标签,待采集完所有材料,迅速带回实验室。

1.2 试验方法

将枝条剪成 15~20 cm 长度,用自来水冲洗数遍,洗去杂物与灰尘,再用去离子水冲洗 3~4 次,最后用干净纱布擦净枝条表面水分。用石蜡液将枝条的破口、剪断处封好,在枝条表面包裹干净的湿纱布,保证冰冻效果,将每个品种分成 19 份,贴好标签。1 份作为对照材料,其余 18 份放于-8℃超低温冰箱中,温度梯度为 0、-10、-17、-24、-31、-38℃,冷冻处理时以 3℃/h 的速度降温,达到目的处理温度后,分别维持 24、48、72 h (对照材料不做低温处理,洗净晾干后直接测其生理指标),将低温处理结束后取出的样品放置于 4℃冰箱中解冻 24 h,取出后放室温中恢复 12 h 后进行各指标的测定。测定时每个处理均重复 3 次^[3-4]。

1.3 项目测定

1.3.1 生理指标的测定 参考前人研究结果,选择了植物抗寒性研究中最灵敏的几个指标:可溶性糖含量的测定采用蒽酮比色法;超氧阴离子自由基含量的测定采用盐酸羟胺法;可溶性蛋白质含量的测定采用考马斯亮蓝 G-250 法^[5-6]。

1.3.2 电解质外渗率的测定及半致死温度的计算 利用电导法结合低温半致死温度鉴定植物的抗寒性在以往的很多研究中都得到了可靠的结果,因此该研究使用电导法测定植物的电解质外渗率,并以此为依据,参照

第一作者简介:王姍姍(1991-),女,硕士研究生,研究方向为林业生态研究。E-mail:747183477@qq.com.

责任作者:樊保国(1962-),男,硕士,副教授,硕士生导师,现主要从事果树栽培生态等研究工作。E-mail:fbg2012@163.com.

基金项目:山西省科技攻关资助项目(20140311017-7)。

收稿日期:2015-12-16

RAJASHEKAR 等^[7]的方法拟合出相应的 Logistic 曲线,通过 Logistic 方程计算出各树种的半致死温度。

Logistic 方程的回归模型为: $y = \frac{k}{1 + ae^{-bx}}$, 式中: y 表示电解质外渗率(%); x 表示冷冻处理温度(°C), k 表示电解质外渗率的饱和容量, a 、 b 均为回归方程的参数^[8]。根据前人经验,在计算时令 $k=1$ ^[9]。

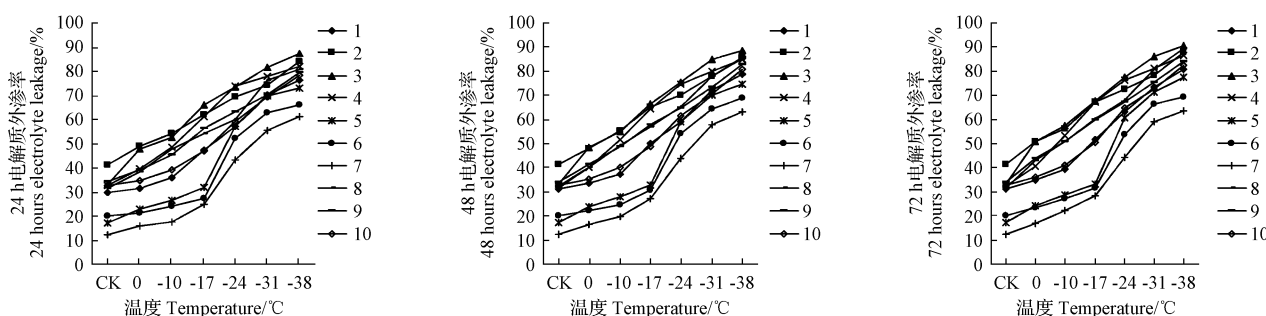
1.3.3 评价方法 为综合评价这 10 种乔木的抗寒性强弱,使用模糊数学的隶属度公式对各生理指标测定值进行定量转换,得到相应的隶属函数值后,将这些隶属函数值累加并求出平均值,隶属函数平均值越大,表示该树种的抗寒性越强^[10]。具体公式如下^[11]:若测得指标与抗寒性呈正相关,则 $Z_{ij} = (X_{ij} - X_{imin}) / (X_{imax} - X_{imin})$;若测得指标与抗寒性呈负相关,则 $Z_{ij}(\text{反}) = 1 - (X_{ij} - X_{imin}) / (X_{imax} - X_{imin})$ 。累加求平均值为 $\bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{ij}$ 。式中: Z_{ij} 表示 i 树种 j 指标的抗寒性隶属函数值; X_{ij} 表示

i 树种 j 指标的测定值; X_{imax} 、 X_{imin} 表示各树种中指标的最大和最小测定值。

2 结果与分析

2.1 电解质外渗率的变化

图 1 表明,10 个树种的电解质外渗率均随处理温度的下降呈上升趋势,说明电解质外渗率的变化与温度呈负相关关系,但每个树种随温度的下降又有不同的变化阶段:温度从 4°C 降至 0°C 时,除紫叶李的电解质外渗率变化幅度较大外,其它 9 个树种的电解质外渗率缓慢增加;温度在 0~−17°C 时,白杜的变化幅度最大;温度从 −17°C 下降到 −31°C 的过程中,10 个树种电解质外渗率均出现了急剧上升;温度继续下降到 −38°C,所有树种的电解质外渗率趋于平稳。通过比较 10 个树种在相同温度不同处理时间下的电解质外渗率的变化可以发现,随着处理时间的加长,各树种的电解质外渗率有所增大,说明处理时间的长短对植物的细胞膜也有影响。



注:1. 二球悬铃木;2. 碧桃;3. 紫叶李;4. 白杜;5. 白蜡;6. 龙爪槐;7. 苦楝;8. 柿树;9. 银杏;10. 五角枫。下同。

Note: 1. *Platanus hispanica*; 2. *Prunus persica* Batsch, var. *duplex* Rehd.; 3. *Prunus cerasi* f. *Ehrhar* f.; 4. *Euonymus alatus* Rupr.; 5. *Fraxinus chinensis*; 6. *Sophora japonica* 'Pendula'; 7. *Melia azedarach* Linn.; 8. *Diospyros kaki* Thunb.; 9. *Ginkgo biloba* L.; 10. *Acer elegantulum* Fang et P. L. Chiu. The same below.

图 1 电解质外渗率比较

Fig. 1 Comparison of electrolyte leakage rate

以图 1 中的 3 组电解质外渗率值为依据,结合 Logistic 方程计算各树种的低温半致死温度 LT_{50} (表 1),通过 LT_{50} 的大小反映各树种对低温的忍受程度, LT_{50} 越高,表示该树种耐低温能力越强,反之,则越弱^[12-13]。由表 1 可以看出,苦楝的 LT_{50} 最低,分别为 −29.73(24 h)、−28.30(48 h)、−27.92(72 h)°C;紫叶李的 LT_{50} 最高,分别是 −13.25(24 h)、−12.08(48 h)、−10.95°C(72 h);同一树种随着低温处理时间的延长, LT_{50} 也发生了规律性变化,说明低温处理时间的不断延长使植物体内的主动运输机制受到越来越大的损害,从而使膜脂的损伤程度不断增加。所有树种的 Logistic 方程拟合度均达到了极显著水平。根据半致死温度的大小,推断出 10 种落叶乔木的抗寒性顺序为苦楝、龙爪槐、白蜡、二球悬铃木、五角枫、银杏、柿树、

白杜、碧桃、紫叶李。且不同处理时间下的抗寒性排序一致。

2.2 O_2^- 产生速率的变化

随着环境温度的不断降低,植物体内会积累和产生较多活性氧自由基,引发细胞膜脂过氧化,严重时导致植物冷伤或死亡^[14],因此低温处理后植物体内活性氧的变化可以反映出植物的抗性大小。从图 2 可以看出,随着处理温度的下降,各树种枝条中 O_2^- 产生速率呈上升趋势。其中,二球悬铃木、碧桃、紫叶李和五角枫的 O_2^- 产生速率随温度下降不断上升;其余几种乔木随温度下降呈先上升后下降的趋势;白杜和柿树在 −24°C 出现最高峰,白蜡和银杏在 −31°C 出现最高峰,而苦楝和龙爪槐的 O_2^- 产生速率在 −17°C 达到最高,随后慢慢降低,但整个低温过程的数值都大于对照值。通过比较各树种

在相同温度不同时间内的 O_2^- 产生速率,发现随着处理时间的不断延长,各树种的 O_2^- 产生速率也在缓慢增加,如-24℃白杜的 O_2^- 值为 1.88(24 h)、1.91(48 h)、1.92 (72 h) $nmol \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$,说明同一温度下,通过延长胁迫时间也可以影响枝条的 O_2^- 产生速率。

表 1 不同温度和时间对 10 个树种枝条电解质外渗率影响的 Logistic 方程

Table 1 Logistic equation different temperature and time on 10 species affected branches electrolyte leakage

树种 Species	处理时间 Processing time/h	方程参数 Equation parameters			回归方程 Regression equation	半致死温度 LT ₅₀ /℃	相关系数 r Correlation coefficient
		k	a	b			
苦楝 <i>Melia azedarach</i> Linn.	24	1	2.127 8	0.025 4	$y=1/(1+2.127\ 8e^{-0.025\ 4x})$	-29.73	0.970 2 **
龙爪槐 <i>Sophora japonica</i> ‘Pendula’	24	1	3.968 5	0.050 7	$y=1/(1+3.968\ 5e^{-0.050\ 7x})$	-27.20	0.949 1 **
白蜡 <i>Fraxinus chinensis</i>	24	1	3.984 7	0.055 7	$y=1/(1+3.984\ 7e^{-0.055\ 7x})$	-24.84	0.968 9 **
二球悬铃木 <i>Platanus hispanica</i>	24	1	2.791 3	0.049 5	$y=1/(1+2.791\ 3e^{-0.049\ 5x})$	-20.74	0.985 4 **
碧桃 <i>Prunus persica</i> Batsch, var. <i>duplex</i> Rehd.	24	1	1.861 5	0.044 1	$y=1/(1+1.861\ 5e^{-0.044\ 1x})$	-14.09	0.971 4 **
紫叶李 <i>Prunus cerasifera</i> Ehrhar f.	24	1	2.173 6	0.058 6	$y=1/(1+2.173\ 6e^{-0.058\ 6x})$	-13.25	0.979 1 **
柿树 <i>Diospyros kaki</i> Thunb.	24	1	2.294 9	0.051 5	$y=1/(1+2.294\ 9e^{-0.051\ 5x})$	-16.13	0.972 5 **
白杜 <i>Euonymus alatus</i> Rupr.	24	1	2.382 6	0.055 3	$y=1/(1+2.382\ 6e^{-0.055\ 3x})$	-15.70	0.984 9 **
银杏 <i>Ginkgo biloba</i> Linn.	24	1	2.190 9	0.046 3	$y=1/(1+2.190\ 9e^{-0.046\ 3x})$	-16.94	0.984 7 **
五角枫 <i>Acer elegantulum</i> Fang et P. L. Chiu	24	1	3.687 3	0.071 5	$y=1/(1+3.687\ 3e^{-0.071\ 5x})$	-18.25	0.951 8 **
苦楝 <i>Melia azedarach</i> Linn.	48	1	2.445 6	0.031 6	$y=1/(1+2.445\ 6e^{-0.031\ 6x})$	-28.30	0.982 7 **
龙爪槐 <i>Sophora japonica</i> ‘Pendula’	48	1	3.557 3	0.048 0	$y=1/(1+3.557\ 3e^{-0.048\ 0x})$	-26.46	0.961 8 **
白蜡 <i>Fraxinus chinensis</i>	48	1	3.612 5	0.056 6	$y=1/(1+3.612\ 5e^{-0.056\ 6x})$	-22.70	0.971 1 **
二球悬铃木 <i>Platanus hispanica</i>	48	1	2.549 0	0.046 1	$y=1/(1+2.549\ 0e^{-0.046\ 1x})$	-20.03	0.960 0 **
碧桃 <i>Prunus persica</i> Batsch, var. <i>duplex</i> Rehd.	48	1	1.926 7	0.047 7	$y=1/(1+1.926\ 7e^{-0.047\ 7x})$	-13.75	0.985 1 **
紫叶李 <i>Prunus cerasifera</i> Ehrhar f.	48	1	2.124 8	0.062 4	$y=1/(1+2.124\ 8e^{-0.062\ 4x})$	-12.08	0.980 4 **
柿树 <i>Diospyros kaki</i> Thunb.	48	1	2.387 4	0.057 1	$y=1/(1+2.387\ 4e^{-0.057\ 1x})$	-15.24	0.979 6 **
白杜 <i>Euonymus alatus</i> Rupr.	48	1	1.902 8	0.044 8	$y=1/(1+1.902\ 8e^{-0.044\ 8x})$	-14.36	0.995 0 **
银杏 <i>Ginkgo biloba</i> Linn.	48	1	2.294 2	0.049 4	$y=1/(1+2.294\ 2e^{-0.049\ 4x})$	-16.81	0.982 6 **
五角枫 <i>Acer elegantulum</i> Fang et P. L. Chiu	48	1	3.402 8	0.070 3	$y=1/(1+3.402\ 8e^{-0.070\ 3x})$	-17.42	0.955 3 **
苦楝 <i>Melia azedarach</i> Linn.	72	1	2.873 4	0.037 8	$y=1/(1+2.873\ 4e^{-0.037\ 8x})$	-27.92	0.986 9 **
龙爪槐 <i>Sophora japonica</i> ‘Pendula’	72	1	3.715 8	0.050 9	$y=1/(1+3.715\ 8e^{-0.050\ 9x})$	-25.80	0.965 0 **
白蜡 <i>Fraxinus chinensis</i>	72	1	3.229 5	0.052 7	$y=1/(1+3.229\ 5e^{-0.052\ 7x})$	-22.24	0.972 0 **
二球悬铃木 <i>Platanus hispanica</i>	72	1	3.204 0	0.059 4	$y=1/(1+3.204\ 0e^{-0.059\ 4x})$	-19.62	0.971 7 **
碧桃 <i>Prunus persica</i> Batsch, var. <i>duplex</i> Rehd.	72	1	1.743 5	0.049 9	$y=1/(1+1.743\ 5e^{-0.049\ 9x})$	-11.14	0.970 6 **
紫叶李 <i>Prunus cerasifera</i> Ehrhar f.	72	1	2.050 9	0.065 6	$y=1/(1+2.050\ 9e^{-0.065\ 6x})$	-10.95	0.977 8 **
柿树 <i>Diospyros kaki</i> Thunb.	72	1	2.403 0	0.063 3	$y=1/(1+2.403\ 0e^{-0.063\ 3x})$	-13.85	0.966 9 **
白杜 <i>Euonymus alatus</i> Rupr.	72	1	2.129 3	0.061 7	$y=1/(1+2.129\ 3e^{-0.061\ 7x})$	-12.25	0.994 3 **
银杏 <i>Ginkgo biloba</i> Linn.	72	1	2.065 8	0.051 2	$y=1/(1+2.065\ 8e^{-0.051\ 2x})$	-14.17	0.981 8 **
五角枫 <i>Acer elegantulum</i> Fang et P. L. Chiu	72	1	2.327 5	0.049 5	$y=1/(1+2.327\ 5e^{-0.049\ 5x})$	-17.08	0.960 7 **

注: ** 表示差异极显著; * 表示差异显著。

Note: ** show highly significant difference; * show significant difference.

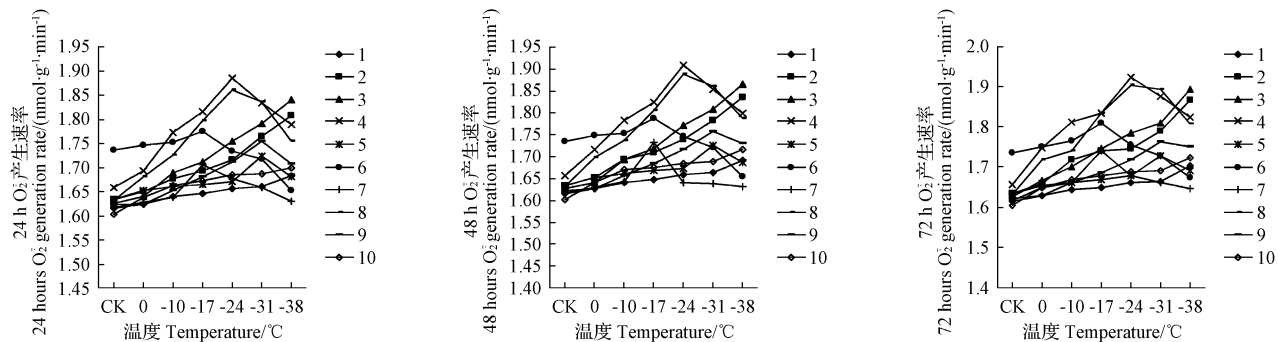


图 2 O_2^- 产生速率比较

Fig. 2 Comparison of O_2^- generation rate

2.3 可溶性糖含量的变化

可溶性糖作为一个重要的渗透调节因子,能够通过增加自身含量来调节植物组织的渗透势,降低低温对植物的伤害^[15]。从图3可以看出,随着温度的降低,二球悬铃木、白蜡、龙爪槐和苦楝的可溶性糖含量逐渐增加,其余树种的可溶性糖含量呈现先增大后减小的趋势。其中,白杜和五角枫的可溶性糖含量出现的最大值明显高于其它树种,五角枫从-10~-24℃增加最多,增加了2.93(24 h)、4.38(48 h)、3.87(72 h) mg/g FW;白杜从-17~-24℃增加最多,增加了1.59(24 h)、1.60(48 h)、2.08(72 h) mg/g FW,这符合植物抗寒生理变化规律。比较图3中各树种在相同温度不同时间内的可溶性糖含量发现,在相同处理温度下,若延长胁迫时间,各树种枝条内的可溶性糖含量也缓慢增加,如紫叶李在-17℃的可溶性糖含量为7.59(24 h)、7.84(48 h)、8.01(72 h) mg/g FW。因此,可以认为胁迫时间的长短

对枝条的可溶性糖含量也有影响。

2.4 可溶性蛋白质含量的变化

植物不断经过低温处理后,细胞内蛋白质合成量增加,从而加强了植物对低温的抵抗能力^[16]。从图4可以看出,随着处理温度的不断下降,各树种的变化趋势不同:碧桃、柿树和五角枫的可溶性蛋白质含量随温度下降呈先上升后降低的趋势,其中碧桃和柿树在-17℃时可溶性蛋白质含量达到最高值;五角枫在-31℃时达到最高值,但总体来说它们的数值仍高于对照值,表示它们虽然受到低温伤害,但伤害程度仍在其耐受范围内;紫叶李则呈较平稳状态;其它6个树种随处理温度的下降呈持续上升趋势。比较图4中各树种在相同温度下枝条内的可溶性蛋白质含量发现,相同温度下,处理时间的延长可以使各树种枝条的可溶性蛋白质含量发生改变,表示胁迫时间的长短可以对枝条内的可溶性蛋白质含量产生影响。

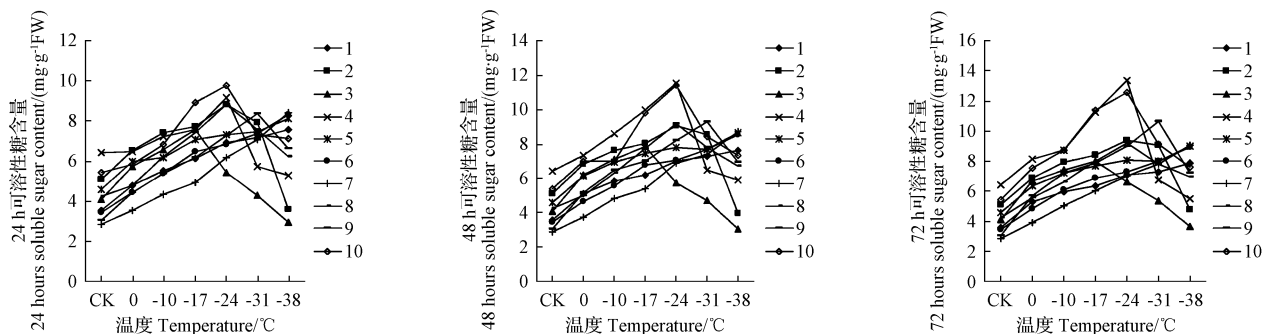


图3 可溶性糖含量比较

Fig. 3 Comparison of soluble sugar content

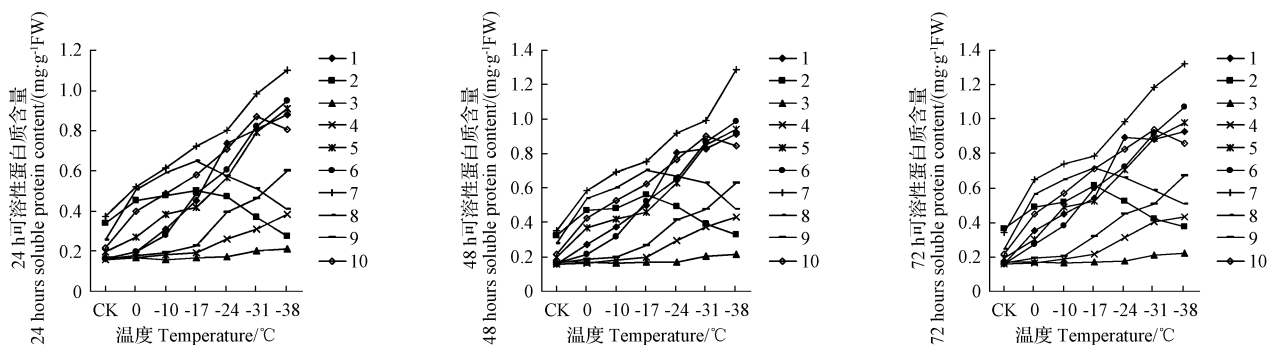


图4 可溶性蛋白质含量比较

Fig. 4 Comparison of soluble protein content

2.5 10个树种的隶属函数综合判断

植物抗寒性是由多个因素相互作用共同调控的,从不同角度进行分析结果必然会有差异,使用多个指标进行综合评价可以弥补单因素评价的局限性,能够较全面地反映出植物的抗寒性强弱。因此,该研究结合前人的经验,在使用电解质外渗率推算出各树种的 LT_{50} 的基础上,增加了可溶性糖、可溶性蛋白质含量和 O_2^- 产生速率的测定,采用模糊数学的隶属函数法,通过计算

平均隶属函数值对所测树种的抗寒性进行综合评价^[17]。

从表2可以看出,10种乔木的抗寒性由强到弱顺序是:苦楝>白蜡>龙爪槐>二球悬铃木>银杏>五角枫>白杜>柿树>碧桃>紫叶李,这与半致死温度 LT_{50} 得出的结果不同,可能是因为 LT_{50} 是单一指标的排序,而隶属函数法是所有指标综合分析的结果,因此所得结论更科学准确。

表 2
Table 2

10 个树种抗寒能力综合评价
Comprehensive evaluation of ten species on cold resistance

树种 Species	处理时间 Processing time/h	电解质外渗率 Electrolyte leakage rate	可溶性糖含量 Soluble sugar content /(mg·g ⁻¹ FW)	可溶性蛋白质含量 Soluble protein content /(mg·g ⁻¹ FW)	O ₂ ⁻ 产生速率 O ₂ ⁻ generation rate	平均隶属值 Average member value	抗寒力排序 Sort cold hardness
龙爪槐 <i>Sophora japonica</i> 'Pendula'	24	0.578 0	0.444 0	0.492 7	0.629 1	0.534 1	3
	48	0.539 4	0.603 0	0.477 4	0.589 6	0.552 4	3
	72	0.544 1	0.606 7	0.495 2	0.576 7	0.555 7	3
白蜡 <i>Frazinus chinensis</i>	24	0.546 1	0.594 2	0.434 1	0.605 3	0.544 9	2
	48	0.566 8	0.482 7	0.477 1	0.738 7	0.566 3	2
	72	0.550 2	0.609 6	0.574 5	0.548 4	0.570 7	2
苦楝 <i>Melia azedarach</i> Linn.	24	0.514 9	0.602 4	0.601 5	0.584 4	0.575 8	1
	48	0.566 7	0.621 2	0.517 3	0.561 1	0.566 6	1
	72	0.554 1	0.500 7	0.528 3	0.710 1	0.573 3	1
二球悬铃木 <i>Platanus hispanica</i>	24	0.511 7	0.489 9	0.620 2	0.462 0	0.520 9	4
	48	0.500 2	0.596 8	0.476 6	0.570 9	0.536 1	4
	72	0.497 8	0.537 2	0.668 8	0.419 0	0.530 7	4
银杏 <i>Ginkgo biloba</i> Linn.	24	0.531 5	0.536 5	0.353 4	0.576 2	0.499 4	5
	48	0.506 0	0.501 5	0.651 9	0.450 9	0.527 6	5
	72	0.566 0	0.488 2	0.604 4	0.431 5	0.522 5	5
五角枫 <i>Acer elegantulum</i> Fang et P. L. Chiu	24	0.587 7	0.438 3	0.557 5	0.367 1	0.487 6	6
	48	0.582 0	0.442 1	0.581 8	0.421 7	0.506 9	6
	72	0.562 8	0.554 2	0.470 9	0.474 9	0.515 7	6
白杜 <i>Euonymus mssckii</i> Rupr.	24	0.586 7	0.534 6	0.429 0	0.361 2	0.477 9	7
	48	0.518 0	0.565 8	0.365 4	0.541 4	0.497 6	7
	72	0.492 5	0.560 9	0.434 7	0.561 6	0.512 4	7
柿树 <i>Diospyros kaki</i> Thunb.	24	0.446 2	0.492 1	0.358 2	0.553 6	0.462 5	8
	48	0.575 5	0.553 2	0.448 3	0.392 5	0.492 4	8
	72	0.497 4	0.551 9	0.381 5	0.518 0	0.487 2	8
碧桃 <i>Prunus persica</i> Batsch, var. <i>duplex</i> Rehd.	24	0.571 2	0.598 7	0.479 7	0.544 2	0.428 5	9
	48	0.433 5	0.519 4	0.325 3	0.557 3	0.458 9	9
	72	0.425 8	0.532 4	0.321 8	0.549 7	0.457 4	9
紫叶李 <i>Prunus cerasifera</i> Ehrhar f.	24	0.456 6	0.399 1	0.344 3	0.469 9	0.417 5	10
	48	0.453 8	0.375 3	0.364 2	0.463 6	0.414 2	10
	72	0.444 9	0.395 6	0.403 4	0.425 4	0.417 3	10

3 结论

3.1 不同处理温度对植物抗寒性的影响

3.1.1 对植物电解质外渗率的影响 细胞膜是植物感受环境胁迫最敏感的部位,当植物遭受低温胁迫时,首先会破坏膜结构,使细胞内发生一系列生理生化变化,进一步增大膜透性,造成细胞内各种水溶性物质及电解质不同程度地外渗,随着胁迫程度的加强,电解质外渗率会相应增大,因此,电解质外渗率是评价植物遭受低温伤害的重要指标^[18]。该试验结果表明,随着处理温度的下降,10 个树种的电解质外渗率均不断上升,这与前人对挪威云杉^[19]和元宝枫^[13]的研究结果一致。温度从 4℃降到 0℃的过程中,抗寒性最弱的紫叶李的电解质外渗率变化幅度最大,温度在-24~-31℃时抗寒性较强的树种电解质外渗率明显升高,其它树种则普遍在-17~-24℃范围内电解质外渗率急速增大,到-38℃时所有树种的电解质外渗率趋于平稳增加,说明此时的温度已经对植物细胞膜造成了不可逆的伤害^[20]。并且电解质外渗率的变化与 Logistic 方程所得的抗寒力排序结果一致。

3.1.2 对植物其它生理指标的影响 可溶性糖和可溶

性蛋白质是植物体内重要的渗透调节物质,当植物受到低温胁迫时,会通过增加渗透调节物质的含量降低周围环境对自身的伤害程度^[21];O₂⁻ 则通过参与启动膜脂过氧化或膜脂脱脂作用破坏膜结构,因此植物体内的 O₂⁻ 含量越高,受伤害程度越深^[14]。该研究结果表明,随着处理温度的下降,10 个树种的 O₂⁻ 含量不断上升,说明细胞的膜脂过氧化程度逐渐加深,低温对植物的伤害不断增大;可溶性糖含量除二球悬铃木、白蜡、龙爪槐和苦楝逐渐增加外,其余树种均先增加后减少;可溶性蛋白质含量除碧桃、柿树和五角枫先增加后减少外,其余树种都呈增加趋势,这与前人^[22-23]的研究结果相似。可溶性糖和可溶性蛋白质含量增加,表示植物细胞正通过渗透调节作用来增强对低温的抵抗能力,随着环境温度的继续降低,糖和蛋白质含量开始减少说明它们的调节能力降低。通过对各指标进行相关性分析发现,温度与它们之间均呈极显著正相关关系,可溶性糖、可溶性蛋白质与电解质外渗率呈显著正相关,电解质外渗率与 O₂⁻ 含量呈极显著正相关,说明电解质外渗率、可溶性糖含量、可溶性蛋白质含量和 O₂⁻ 产生速率完全可以反映这

10 个树种的抗寒性强弱。

3.2 不同胁迫时间对植物抗寒性的影响

通过对图表的分析可知,随着处理时间的延长 10 个树种各指标的变化趋势不同。其中,电解质外渗率和 O_2^- 产生速率随时间延长持续增加;可溶性糖含量、可溶性蛋白质含量随时间的延长出现了增加-减少-增加的波动变化,但整体水平显著高于对照。说明处理时间的长短在一定程度上也可以影响植物抗寒性强弱,但该研究并未对此进行更深入的研究,建议今后可以将胁迫时间这一因素作为抗寒性研究的另一主攻方向。

比较试验结果可以发现,10 个树种各单项指标的变化幅度不同: O_2^- 含量高的树种可溶性糖含量并不一定高,电解质外渗率高的树种并非可溶性蛋白质含量或 O_2^- 含量也高,说明抗寒性是受多因素共同控制的,若仅用一个指标进行评价,不能准确反映出所有材料的抗寒性强弱,因此,必须使用多个指标进行综合分析,使结果更具说服力。该研究使用的 4 个指标随处理温度和处理时间的变化,表现出明显的变化趋势,说明利用这 4 个指标对 10 个树种的抗寒性强弱进行评价是十分恰当的。

落叶乔木树种在调节城市气候,丰富园林景观,改善生态环境等方面有着十分重要的作用。落叶乔木相对于大部分常绿乔木具有较强的生命力,因此该试验选择了北方地区 10 种常见落叶乔木作为研究对象,通过对其生理指标的测定分析进行抗寒力排序,为其在高纬度地区绿化树种的选择、引种、应用提供理论依据。该研究揭示,在园林绿化乃至荒山治理工作中,树种的选择不仅要考虑树种本身抗寒性的强弱,还应考虑引种、栽培地区的极端最低温度及低温持续时间。根据各树种 LT_{50} 大小和抗寒性综合排序判断,所研究的 10 个树种中苦楝、龙爪槐、白蜡、二球悬铃木具备向 -20°C 以上的寒冷地区移植的条件。

参考文献

- [1] 马娟,王飞,梁宗锁. 八种常绿阔叶树的抗寒性研究[J]. 西北林学院学报,2008,23(5):26-29.
- [2] 刘广林,梅梅,罗东明,等. 紫叶稠李在沈阳地区越冬安全性分析[J]. 沈阳农业大学学报,2014,45(6):696-700.
- [3] 曹冉,王海洋. 11 种常绿阔叶树的抗寒力研究[J]. 西南大学学报,

2014(8):57-64.

- [4] 杨惠,翟梅枝,李丽,等. 不同核桃品种的耐寒性及其渗透调节机制[J]. 西北植物学报,2013,33(10):2003-2009.
- [5] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [6] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [7] RAJASHEKAR C, GUSTA L V, BURKE M J. Membrane structural transition probable relation to frost damage in hardy herbaceous species [M]//LYSONS J M, ed. Low temperature stress in crop plants the role of membrane. New York: Academic Press, 1979: 255-274.
- [8] 王喆,朱春云. 3 种彩色树木抗寒生理指标测定与分析[J]. 青海大学学报(自然科学版),2010(10):10-14.
- [9] 冯献宾,董倩,李旭新,等. 黄连木和黄山栎树的抗寒性[J]. 应用生态学报,2011(5):1141-1146.
- [10] 玉苏甫·阿不力提甫,阿依古丽·铁木儿,帕提曼·阿布都热合曼. 利用隶属函数法综合评价梨砧木抗寒性[J]. 中国农业大学学报,2014,19(3):121-129.
- [11] 王琪,于晓南. 3 种彩叶树对低温的生理响应及抗寒性评价[J]. 北京林业大学学报,2013(9):104-109.
- [12] CANDALIOS J G. Oxygen stress and superoxide dismutase [J]. Plant Physiol, 1993, 101: 7-12.
- [13] 王岩,王玉玲,张金全,等. 北京市平原造林常见观叶树种抗寒性的比较[J]. 植物生理学报,2014,50(8):1223-1226.
- [14] 田景化,王红霞,张志华,等. 低温逆境对不同核桃品种抗氧化系统及超微结构的影响[J]. 应用生态学报,2015,26(5):1320-1326.
- [15] 曹泽文,徐瑾,刘燕. 嫁接砧木对‘猩红’平滑山楂抗寒性的影响[J]. 西北林学院学报,2015,30(1):116-119.
- [16] 李晓东,樊军锋,邱兴,等. 美洲黑杨×青杨派杂种无性系苗期抗寒性的鉴定与筛选[J]. 西北林学院学报,2015,30(2):100-104.
- [17] 赵红星,耿攀,杨勇. 39 份柿属种质资源的抗寒性综合评价[J]. 西北农业学报,2010,19(12):128-133.
- [18] 郁万文,曹福亮,汪贵斌. 银杏抗寒优良无性系选育[J]. 中南林业科技大学学报,2012(32):132-138.
- [19] KATHKE S, BRUELHEIDE H. Differences in frost hardiness of two Norway spruce morphotypes growing at Mt. Brocken, Germany [J]. Contents Lists Available at Science Direct, 2011, 206: 120-126.
- [20] 徐呈祥. 提高植物抗寒性的机理研究进展[J]. 生态学报,2012,32(24):7966-7980.
- [21] 令凡,焦健,李朝周,等. 不同油橄榄品种对低温胁迫的生理响应及抗寒性综合评价[J]. 西北植物学报,2015,35(3):508-515.
- [22] 赵明明,徐敏,周龙,等. 欧洲稠李休眠枝条抗寒性鉴定[J]. 新疆农业科学,2014,51(3):437-443.
- [23] 张成军,李婕,范慧萍,等. 不同杏品种幼果抗寒性研究[J]. 西北林学院学报,2008,23(3):29-32.

Cold Resistance of Ten Species of Deciduous Trees

WANG Shanshan, FAN Baoguo

(College of Life Sciences, Shanxi Normal University, Linfen, Shanxi 041000)

Abstract: Taking one-year-old dormant shoots of ten common deciduous garden arbors of Northern region as test material, the changes of their electrolyte leakage-rate, soluble sugar, soluble protein and O_2^- generation rate under artificial low temperature were studied, aimed to analyze the differences of ten trees in different temperature and times. The

十种野生地被植物的光合特性研究

董 谦¹, 李连龙², 刘悦梅², 刘冬云¹

(1. 河北农业大学 园林与旅游学院, 河北 保定 071000; 2. 北京中外建建筑设计有限公司, 北京 100192)

摘 要:以东方草莓(*Fragaria orientalis*)、斑叶堇菜(*Viola variegata*)、匍枝委陵菜(*Potentilla flagellaris*)、鹅绒委陵菜(*Potentilla anserina*)、野罂粟(*Papaver nudicaule*)、蓝花棘豆(*Oxytropis coerulea*)、求米草(*Oplismenus undulatifolius*)、大叶铁线莲(*Clematis heraclei folia*)、歪头菜(*Vicia unijuga*)、秃疮花(*Dicranostigma leptopodum*)等 10 种野生地被植物为试材, 利用 LI-6400 光合仪研究了净光合速率日变化以及对光合有效辐射和二氧化碳的响应。结果表明: 东方草莓及秃疮花的光合速率日变化为单峰曲线; 野罂粟、斑叶堇菜、东方草莓、匍枝委陵菜、鹅绒委陵菜、蓝花棘豆、求米草、大叶铁线莲等 8 种植物光合速率日变化为双峰曲线, 出现明显的“午休”现象; 求米草的光补偿点(LCP)和二氧化碳补偿点(CCP)最低, 分别为 $(9.64 \pm 0.525) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $(67.72 \pm 4.567) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 是典型的阴生植物; 蓝花棘豆的 LCP 最高, 为 $(74.21 \pm 1.065) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 秃疮花的 CCP 最高, 为 $(107.94 \pm 9.345) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 2 种植物表现出较强的喜阳性。

关键词:野生地被; 光合日变化; 光响应; 二氧化碳响应

中图分类号:S 688.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)09-0093-05

地被植物在园林绿化中扮演越来越重要的角色, 具有提高环境质量、涵养水源、降低管理成本等积极作用。光合作用是植物生长发育的基础, 是植物光合生产力的重要衡量指标, 对植物起着至关重要的作用, 因此研究地被植物的光合特性十分重要。目前对野生地被的研究多集中于筛选、调查、适应性等方面^[1-2], 对野生地被植物的光合特性的系统研究相对较少^[3-5]。现以 10 种野生地被植物为试材, 对光合特性进行了较为全面的研究, 以期园林应用提供基本的理论依据。

第一作者简介:董谦(1990-), 女, 河北定州人, 硕士研究生, 研究方向为园林植物资源与应用。E-mail:870168690@qq.com.

责任作者:刘冬云(1971-), 女, 河北赞皇人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 现主要从事百合遗传育种等研究工作。E-mail:dongyunliu@hebau.edu.cn.

基金项目:河北省科技厅资助项目(15227534)。

收稿日期:2015-12-18

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在河北农业大学试验田内, 北纬 $38^{\circ}50'$, 东经 $115^{\circ}27'$, 属温带季风性气候。全年平均气温约 12°C , 年降水量约 550 mm, 冬冷夏热, 春季多风沙, 雨热同期。

1.2 试验材料

以东方草莓(*Fragaria orientalis*)、斑叶堇菜(*Viola variegata*)、匍枝委陵菜(*Potentilla flagellaris*)、鹅绒委陵菜(*Potentilla anserina*)、野罂粟(*Papaver nudicaule*)、蓝花棘豆(*Oxytropis coerulea*)、求米草(*Oplismenus undulatifolius*)、大叶铁线莲(*Clematis heraclei folia*)、歪头菜(*Vicia unijuga*)、秃疮花(*Dicranostigma leptopodum*)等 10 种野生地被植物为试验材料。东方草莓、野罂粟、蓝花棘豆采于张家口小五台山, 斑叶堇菜、求米草、歪头菜、大叶铁线莲采于河北省易县蚕姑坨, 匍枝委陵菜采

semi-lethal temperature calculated by the Logistic equation of electrolyte leakage rate, and combined with the subordinate function method to make a comprehensive hardiness evaluation. The results showed that *Melia azedarach* Linn. was shown to be the most cold resistance, followed by *Fraxinus chinensis*, *Sophora japonica* 'Pendula', *Platanus acerifolia* Willd., *Ginkgo biloba* L., *Acer elegantulum* Fang et P. L. Chiu, *Euonymus mssckii* Rupr., *Diospyros kaki* Thunb., *Prunus persica* Batsch. var. *duplex* Rehd., and *Prunus cerasifera* Ehrhar f.. Results would be consulted by landscaping in cold areas, or the choice, introduction and cultivation of barren hills governance trees.

Keywords: deciduous garden arbors; semi-lethal temperature; cold resistance; subordinate function