

5种常绿阔叶植物在北京越冬的抗寒性研究

张敏,王明梅,王晨阳,王意敏,刘忠华*

(北京林业大学 生物科学与技术学院,北京 100083)

摘要:秋冬季自然降温过程中,以5种常绿阔叶植物为试验材料,通过测定不同月份中各植物叶片的相对电导率及低温半致死温度(LT_{50}),确定抗寒性评价最佳时期;利用主成分分析、隶属函数法对抗寒性评价最佳时期各植物叶片 LT_{50} 、可溶性蛋白、可溶性糖、游离脯氨酸含量及过氧化物酶活性进行抗寒指标综合评价,评定植物抗寒能力,以期对常绿阔叶植物的选择推广提供理论依据。结果表明,6个月中,5种常绿阔叶植物叶片相对电导率均呈“S”型上升,遵循 Logistic 的变化规律; LT_{50} 随自然温度的变化呈先降后升的趋势,其中,黄杨的 LT_{50} 为 $-33.210\text{ }3 \sim -13.302\text{ }3\text{ }^{\circ}\text{C}$,抗寒能力最强,其他4种植物 LT_{50} 为 $-24.268\text{ }3 \sim -6.443\text{ }1\text{ }^{\circ}\text{C}$;不同月份中各植物 LT_{50} 排序不同,选择抗寒能力最强且自然温度最低的2月(1月21日—2月21日)为抗寒性评价最佳时期;综合评定2月温度统计区间内各常绿阔叶植物抗寒性依次为:黄杨>冬青卫矛>广玉兰>石楠>皱叶莢蒾。研究表明, LT_{50} 可以比较准确地反映植物抗寒性,与抗寒性综合指数排序基本一致。

关键词:常绿阔叶植物;相对电导率;半致死温度;抗寒性

中图分类号:S792;Q945.78 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-3268(2017)10-0116-06

Study on Cold Resistance of Five Evergreen Broad-leaf Plants during the Winter in Beijing

ZHANG Min, WANG Mingmei, WANG Chenyang, WANG Yimin, LIU Zhonghua*

(College of Biological Sciences and Biotechnology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: During the natural decreasing process of air temperature from autumn to winter, the relative electrical conductivity (REC) and the semi-lethal temperature (LT_{50}) were determined in leaves of five evergreen broad-leaf plants in order to determine the best period for evaluation of cold resistance. Using principal component analysis and subordinate functions to assess comprehensively the LT_{50} , soluble protein, soluble sugar, peroxide enzyme (POD) and proline content in the leaves of five tree species in the best period and to provide theoretical basis for the selection and promotion of evergreen broad leaved plants. The results showed that: The REC of the five evergreen broad-leaf plants increased following an S-curve in the 6 months and obeyed the regulation of Logistic model. The LT_{50} of five tree species decreased with the decrease in temperature firstly, and then increased, the range of LT_{50} in *Buxus sinica* (Rehd. et Wils.) was from $-33.210\text{ }3\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $-13.302\text{ }3\text{ }^{\circ}\text{C}$, which possessed high cold resistance. The range of LT_{50} in other four tree species was from $-24.268\text{ }3\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $-6.443\text{ }1\text{ }^{\circ}\text{C}$, which lower than that of *Buxus sinica* (Rehd. et Wils.). The LT_{50} sorted differently in different months. The best period of cold resistance evaluation was selected in February (January 21th—February 21th) with the strongest cold resistance and the lowest natural temperature. For a comprehensive evaluation of the cold resistance of the five tree species in February, the results indicated that *Buxus sinica* (Rehd. et Wils.) was the strongest cold resistant plant, followed by *Euonymus japonicus* Thunb., then *Magnolia grandiflora* Linn, and *Photinia*

收稿日期:2017-03-23

基金项目:北京市科技计划项目(Z121100008512002)

作者简介:张敏(1991-),女,山东日照人,在读硕士研究生,研究方向:植物生长发育与系统进化。

E-mail:562898994@qq.com

*通讯作者:刘忠华(1969-),男,湖南邵阳人,副教授,博士,主要从事植物生长发育与系统进化研究。

E-mail:liuzhtony@163.com

serrulata Lindl., finally *Viburnum rhytidophyllum* Hemsl. The present study showed that LT₅₀ can accurately reflect cold resistance of plants, and it was basically consistent with cold resistant index sorting.

Key words: evergreen broad-leavf plants; relative electrical conductivity; semi-lethal temperature; cold resistance

植物的耐寒能力是城市园林绿化中植物选择的一个重要参考因素,抗寒性强弱更是制约其能否引种成败的关键性因子,耐寒研究与耐寒资源开发是合理应用园林植物的重要理论依据^[1]。Dexter 等^[2]首次提出用电导法测定植物材料的抗寒性,并发现电导率大小与植物组织受寒害程度呈正相关。朱根海等^[3]发现,应用电导法配以 Logistic 方程求拐点温度能较准确地估计出植物组织的低温半致死温度(LT₅₀),在多种植物应用上取得了良好结果。通过 Logistic 方程确定 LT₅₀的可靠性,也在火龙果、锦带花等植物中得到验证^[4-7]。

对于自然温度下植物抗寒性的研究,多以某一种植物为试材^[8-10],对其不同时期的 LT₅₀进行评价^[11-12],并未讨论选择抗寒性评价的最佳时期。多年生木本植物的抗寒性是受其自身基因型、外界环境及栽培条件共同制约的多基因控制性状^[13],单独以某个或某 2 个抗寒相关指标来评价其抗寒性都存在片面性,应该对多个抗寒相关指标进行综合评价。北京市具有典型的中国北方气候特点,秋冬季寒冷干旱。为适应冬季环境特点,北京园林绿化多用落叶树及松、杉、柏等针叶树。构建北京丰富的冬季植物景观,合理利用常绿阔叶植物显得尤为重要。本研究以北京市 5 种常绿阔叶植物为试验材料,测定并计算秋冬季自然降温过程中不同月份下各植物叶片的相对电导率、LT₅₀、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量、过氧化物酶活性以及游离脯氨酸含量,利用主成分分析和隶属函数法对 5 种常绿阔叶植物的抗寒性进行排序,以期对北京市常绿阔叶植物的选择推广提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料与设计

供试 5 种常绿阔叶植物中,冬青卫矛 (*Euonymus japonicus* Thunb.)、石楠 (*Photinia serrulata* Lindl.)、黄杨 [*Buxus sinica* (Rehd. et Wils.) Cheng]、广玉兰 (*Magnolia grandiflora* Linn.) 均采自北京动物园,皱叶莢蒾 (*Viburnum rhytidophyllum* Hemsl.) 采自北京植物园。5 种常绿阔叶植物均有较好的小气候环境,能够在北京露地越冬。自 2015 年 10 月 19 日起,平均每隔 30 d 集中取材 1 次(10

月 19 日、11 月 19 日、12 月 20 日、1 月 21 日、2 月 21 日与 3 月 23 日):取植株中部南向当年生枝条顶端向下第 3~6 片生长健壮、无病虫害的功能叶,采摘后立即用潮湿纱布包裹装入密封的自封袋中带回,置冰箱冷藏室备用。以取样日的前 30 d 为当月自然温度的统计区间(如 10 月份温度统计区间为 2015 年 9 月 19 日至 2015 年 10 月 19 日),测定各月份温度统计区间内的生理指标。

1.2 试验方法

人工低温处理:试验期间共设置 3 组低温处理梯度,即 2015 年 10 月温度梯度为 5、0、-5、-10、-15、-20 ℃;2015 年 11、12 月与 2016 年 3 月的温度梯度为 0、-5、-10、-15、-20、-25 ℃;2016 年 1 月和 2 月的温度梯度为 -6、-10、-14、-18、-22、-26 ℃。将采回的试验材料依次用自来水、蒸馏水冲洗干净,于滤纸上吸干水分,按照每种植物 6 个处理温度随机分装于自封袋中,在数字控温冰箱内进行低温处理。每月试验材料均从 5 ℃开始降温,降温速率为 3 ℃/h,在每个设定温度停留 24 h(包括降温时间)后再继续降温。取出 1 组经设定温度处理后的样品,置于 4 ℃ 冰箱解冻 12 h 后,用电解质渗出法^[14] 测定相对电导率。LT₅₀ 的确定参照盖钩鑑^[15] 的方法。

未经人工低温处理的试验材料直接进行可溶性蛋白、可溶性糖、游离脯氨酸含量和过氧化物酶活性的测定,每种生理指标的测定均设置 3 次重复。可溶性糖含量的测定采用蒽酮法^[16],可溶性蛋白含量的测定采用考马斯亮蓝法,过氧化物酶活性的测定采用愈创木酚法,游离脯氨酸含量的测定采用酸性茚三酮法^[17]。

1.3 数据处理

利用 Excel 2007 进行数据处理并作图,利用软件 SPSS 19.0 进行 Logistic 方程的拟合及主成分分析。

应用隶属函数法对 5 种常绿阔叶植物进行抗寒性综合评价^[18],主要公式如下:

1) 权重

$$D_i = \sum_{i,j=1}^n (F_{ij} Y_{ij}) \quad (1)$$

$$W_i = D_i / \sum_{i=1}^n D_i \quad (2)$$

式中: i 表示第 i 个指标, j 表示第 j 种植物($j=1 \sim 5$), D_i 表示 i 指标对抗寒性的作用大小, F_{ij} 表示 i 指标在第 j 主成分上的负荷量, Y_{ij} 表示第 j 主成分的贡献率, W_i 表示各指标的权重。

2) 隶属度值

当某指标与抗寒性呈正相关时,采用升型分布函数,即

$$f(x_i) = (x_{ij} - x_{imin}) / (x_{imax} - x_{imin}) \quad (3)$$

当某指标与抗寒性呈负相关时,采用降型分布函数,即

$$f(x_i) = (x_{imax} - x_{ij}) / (x_{imax} - x_{imin}) \quad (4)$$

式中: $f(x_i)$ 表示各指标的隶属度值, x_{ij} 表示 j 树种 i 指标的测定值, x_{imax} 、 x_{imin} 分别表示所有物种 i 指标 的最大值和最小值。

3) 抗寒性综合指数

根据各指标隶属度值与权重,通过加乘法计算出抗寒性综合指数 I ,依据其大小确定植物的抗寒性强弱。

$$I = \sum_{i=1}^n [W_i f(x_i)] \quad (5)$$

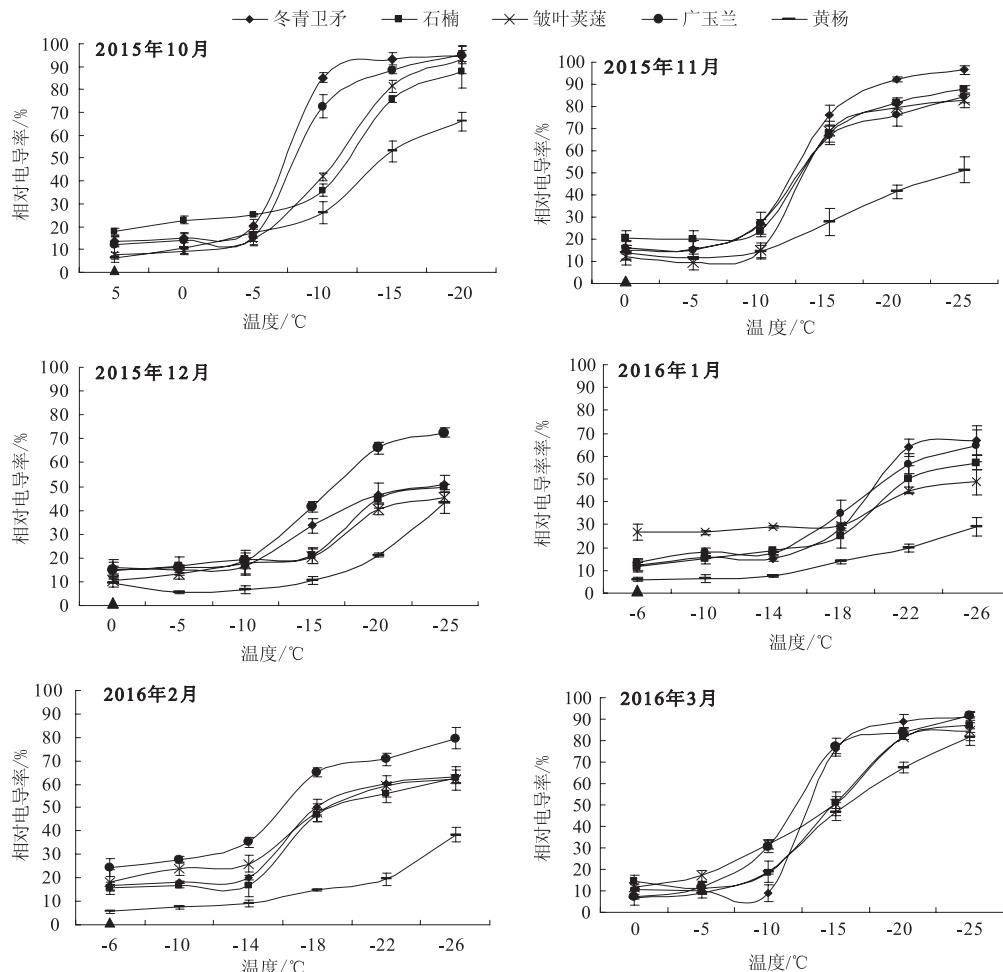


图 1 不同低温处理对 5 种常绿阔叶树种叶片相对电导率的影响

2 结果与分析

2.1 试验期间自然温度与相对电导率的变化

2.1.1 自然温度 2015 年 10 月至 2016 年 3 月期间,北京市气温总体呈现先降后升的变化趋势。10、11 月,极端最低温度逐步下降至 0 ℃;12、1、2 月,极端最低温度进一步下降,并在 2 月达到最低值 -17.00 ℃,同时,1、2 月平均最低温度明显低于 12 月;3 月,平均最高温度、平均最低温度与极端最低温度较 2 月均明显升高(表 1)。

2.1.2 相对电导率 由图 1 显示,随着低温胁迫的

表 1 取材期间北京海淀区各月的平均最高、最低与月最低温

时间/(年-月)	平均最高温度	平均最低温度	极端最低温度
2015 - 10	23.71	11.90	6.00
2015 - 11	12.29	4.10	0
2015 - 12	3.71	-4.10	-10.00
2016 - 01	1.39	-7.71	-13.00
2016 - 02	3.42	-6.13	-17.00
2016 - 03	11.81	-0.29	-7.00

不断加剧,6 个月中 5 种常绿阔叶植物叶片组织的相对电导率均呈增加趋势,在低温处理初期相对电导率上升缓慢,当达到某一温度时相对电导率急剧上升,呈明显的“S”增长曲线,但每个月份的具体变化情况又有所不同。2015 年 10 月,除黄杨与石楠的相对电导率在 -10 ℃ 时开始急剧上升外,其他 3 种植物相对电导率均在 -5 ℃ 时开始急剧上升。11 月,经过 10 月的低温锻炼,5 个树种叶片的相对电导率在 -10 ℃ 时开始急剧上升。12 月相对电导率增长趋势较前 2 个月更为平缓,最大值由 10、11 月的 90% 左右降到不足 70%。皱叶荚蒾 2016 年 1 月的起始相对电导率明显高于其他月份,说明此时皱叶荚蒾叶片细胞膜受到较大伤害。与 1 月相比,2 月 5 种常绿阔叶植物相对电导率在 -14 ℃ 后的变化趋势更为急剧。3 月,5 种植物叶片相对电导率开始急剧上升的温度升高到 -10 ℃,最大值也由前 3 个月的不到 70% 变为 90% 左右。6 个月中,黄杨的相对电导率明显低于其他 4 种植物,说明其叶片细胞膜伤害最小,耐低温能力最强。

2.2 LT₅₀ 的变化及抗寒性评价最佳时期的选择

2.2.1 LT₅₀ 的变化 用 Logistic 方程对不同月份中

5 个常绿阔叶树种的相对电导率进行拟合分析,得到 LT₅₀ 如表 2 所示。2015 年 10 月到 2016 年 3 月期间,5 种常绿阔叶植物的 LT₅₀ 均呈先下降后上升的变化趋势,变化幅度因树种不同而异。其中,黄杨的 LT₅₀ 变化幅度最大且温度最低,在 -33.210 3 ~ -13.302 3 ℃,LT₅₀ 最大值与最小值间相差 19.908 0 ℃,其他 4 个树种均相差 15 ℃左右。

结合表 1 可知,2015 年 10 月北京海淀地区极端最低温度在 6.00 ℃以上,此时各树种生长较旺盛,对低温的抗性较弱,LT₅₀ 普遍较高,为抗寒能力较弱期。11 月,5 种植物的 LT₅₀ 随气温变化均有所降低,其中,黄杨 LT₅₀ 较 10 月降低 10.204 5 ℃;其他 4 种植物 LT₅₀ 降低幅度在 1.018 1 ~ 5.477 0 ℃,为抗寒能力增强期。12 月,北京地区温度首次降到零下,极端低温达到 -10.00 ℃,各植物 LT₅₀ 急剧下降,冬青卫矛和石楠 LT₅₀ 达到 6 个月中最低值,较 11 月分别降低 -14.207 1 ℃ 和 -12.960 9 ℃;5 种植物叶片的 LT₅₀ 在 12 月至次年 2 月间保持相对稳定,且均低于北京海淀地区最低温度,达到抗寒能力最强期。2016 年 3 月,5 种植物 LT₅₀ 随温度升高普遍升高,植物开始进入生长期,为抗寒能力减弱期。

表 2 5 种常绿阔叶树种的 LT₅₀

树种	时间/(年-月)					
	2015-10	2015-11	2015-12	2016-01	2016-02	2016-03
冬青卫矛	-6.577 1	-7.595 2	-21.802 3	-19.310 7	-20.885 0	-10.063 4
石楠	-8.987 3	-10.821 1	-23.782 0	-22.864 0	-19.698 9	-13.483 7
皱叶荚蒾	-9.671 3	-12.337 7	-23.336 8	-24.268 3	-17.252 1	-13.628 3
广玉兰	-6.443 1	-11.920 1	-17.443 6	-20.263 4	-21.359 6	-10.801 9
黄杨	-13.817 3	-24.021 8	-26.583 6	-33.210 3	-30.329 5	-13.302 3

2.2.2 抗寒性评价最佳时期的选择 由表 2 可知,由于不同植物对温度变化响应速度不同^[11],各月份中 LT₅₀ 排序不同,需选择最佳时期进行抗寒性评价。5 个树种 LT₅₀ 最低值集中出现在 2015 年 12 月至次年 2 月的抗寒能力最强期,且 LT₅₀ 在这期间变化幅

度不大。考虑到最低温度 -17.00 ℃ 出现在 2016 年 2 月(表 1),同时 2016 年 3 月平均最低温度较 2 月有明显升高,2 月是植物能否安全越冬的关键时期,故对 2 月 5 种常绿阔叶植物的各项生理指标(表 3)进行抗寒性综合评价。

表 3 2 月 5 种常绿阔叶植物抗寒性生理指标值

树种	可溶性糖含量/(mg/g)	可溶性蛋白含量/(mg/g)	游离脯氨酸含量/(μg/g)	过氧化物酶活性/(μg/g)
冬青卫矛	51.632 4 ± 0.65	1.184 0 ± 0.16	201.821 9 ± 2.69	90.037 0 ± 0.93
石楠	55.200 0 ± 1.19	1.855 0 ± 0.14	26.821 9 ± 1.11	0.400 0 ± 0.04
皱叶荚蒾	77.704 5 ± 1.57	1.898 3 ± 0.12	21.511 4 ± 1.26	28.344 4 ± 0.51
广玉兰	50.875 7 ± 1.22	3.170 1 ± 0.26	37.933 0 ± 0.99	10.274 1 ± 0.34
黄杨	93.218 0 ± 2.38	3.113 0 ± 0.22	307.295 8 ± 3.26	179.666 7 ± 4.91

2.3 抗寒综合评价体系的建立

2.3.1 5 种常绿阔叶植物叶片抗寒指标的相关性分析 利用 SPSS 19.0 对 2016 年 2 月 5 种常绿阔叶植物的各生理指标平均值进行主成分分析,得到相关系数矩阵如表 4 所示,LT₅₀、可溶性糖含量、游

离脯氨酸含量、过氧化物酶活性 4 个指标之间的相关系数均在 0.513 ~ 0.976,相关性较强,证明存在信息上的重叠;而可溶性蛋白含量与游离脯氨酸含量、过氧化物酶活性相关性分别为 0.156、0.232,相关性较弱。因此,选 LT₅₀、可溶性糖含量、游离脯氨

酸含量、过氧化物酶活性 4 项指标作为 5 种常绿阔叶植物抗寒性综合评价的指标。

表 4 2 月 5 种常绿阔叶植物抗寒性指标相关系数矩阵

生理指标	LT_{50}	可溶性糖含量	可溶性蛋白含量	游离脯氨酸含量	过氧化物酶活性
LT_{50}	1.000				
可溶性糖含量	-0.590	1.000			
可溶性蛋白含量	-0.601	0.381	1.000		
游离脯氨酸含量	-0.857	0.513	0.156	1.000	
过氧化物酶活性	-0.866	0.684	0.232	0.976	1.000

2.3.2 抗寒指标权重的确定 如表 5 所示,1—4 主成分分别代表 LT_{50} 、可溶性糖含量、过氧化物酶活性、游离脯氨酸含量的特征向量,贡献率依次为 81.740%、13.849%、4.382% 和 0.029%,累计贡献率为 100.000%。第一主成分特征向量贡献率大于 70%,从成分矩阵表得出 4 个指标在第一主成分上的负荷量(表 6),并确定权重 W_i (公式 1、2),来计算抗寒性综合指数。

表 5 5 种常绿阔叶植物抗寒性指标的特征根及相应贡献率

主成分	特征向量		
	特征根	贡献率/%	累计贡献率/%
1	3.270	81.740	81.740
2	0.554	13.849	95.589
3	0.175	4.382	99.971
4	0.001	0.029	100.000

表 7 2 月 5 种常绿阔叶植物抗寒性指标的隶属度值

树种	LT_{50}	可溶性糖含量	过氧化物酶活性	游离脯氨酸含量	平均隶属度值	位次
冬青卫矛	0.539 5	0.473 8	0.360 3	0.539 4	0.478 3	2
石楠	0.495 2	0.518 9	0.000 4	0.046 3	0.265 2	5
皱叶莢蒾	0.403 8	0.803 7	0.112 6	0.031 3	0.337 9	3
广玉兰	0.557 3	0.464 2	0.040 0	0.077 6	0.284 8	4
黄杨	0.892 4	1.000 0	0.720 1	0.836 6	0.862 3	1

2.3.4 抗寒性综合指数的确定 根据公式 5 计算 5 种常绿阔叶植物抗寒性的综合指数,并对其进行抗寒性强弱进行排序,结果如表 8 所示,2 月温度统

表 6 5 种常绿阔叶植物抗寒性指标的负荷量和权重

生理指标	负荷量	方差贡献率 × 负荷量	权重
LT_{50}	-0.925	0.756 1	0.837 155
可溶性糖含量	0.749	0.103 7	0.114 850
过氧化物酶活性	0.983	0.043 1	0.047 693
游离脯氨酸含量	0.941	0.000 3	0.000 302

2.3.3 抗寒指标隶属度值的确定 由于各指标的性质、数量和单位不同,因此需要对其进行标准数量化。主成分因子中 LT_{50} 与抗寒性呈负相关,采用降型分布函数(公式 4),其他 3 个指标采用升型分布函数(公式 3)。对 6 个月中 5 种常绿阔叶植物各指标的隶属度值进行分析,得到 2 月温度统计区间各树种抗寒性指标的平均隶属度值(表 7)。由平均隶属度值得到各树种的抗寒能力由强到弱为黄杨 > 冬青卫矛 > 皱叶莢蒾 > 广玉兰 > 石楠。

表 7 2 月 5 种常绿阔叶植物抗寒性指标的隶属度值

树种	LT_{50}	可溶性糖含量	过氧化物酶活性	游离脯氨酸含量	平均隶属度值	位次
冬青卫矛	0.539 5	0.473 8	0.360 3	0.539 4	0.478 3	2
石楠	0.495 2	0.518 9	0.000 4	0.046 3	0.265 2	5
皱叶莢蒾	0.403 8	0.803 7	0.112 6	0.031 3	0.337 9	3
广玉兰	0.557 3	0.464 2	0.040 0	0.077 6	0.284 8	4
黄杨	0.892 4	1.000 0	0.720 1	0.836 6	0.862 3	1

计区间 5 种常绿阔叶植物抗寒能力由强到弱为黄杨 > 冬青卫矛 > 广玉兰 > 石楠 > 皱叶莢蒾。

表 8 5 种常绿阔叶植物抗寒性综合指数及强弱排序

树种	LT_{50}	可溶性糖含量	过氧化物酶活性	游离脯氨酸含量	综合指数	位次
冬青卫矛	0.451 6	0.054 4	0.017 2	0.000 2	0.523 4	2
石楠	0.414 6	0.059 6	0.000 0	0.000 0	0.474 2	4
皱叶莢蒾	0.338 0	0.092 3	0.005 4	0.000 0	0.435 7	5
广玉兰	0.466 5	0.053 3	0.001 9	0.000 0	0.521 8	3
黄杨	0.747 1	0.114 9	0.034 3	0.000 3	0.896 5	1

3 结论与讨论

综合分析 5 种常绿阔叶植物越冬期间各抗寒指标的变化可以看出,半致死温度与植物抗寒性指标呈负相关,可溶性糖含量、游离脯氨酸含量、过氧化物酶活性与抗寒性指标呈正相关,这与其他学者研

究结果基本一致^[19-21]。分析 2 月温度统计区间 5 种常绿阔叶植物的各项生理指标值发现,相同条件下不同植物的同一指标存在较大差异,5 种植物在不同生理指标下排序也不相同,其中,半致死温度由低到高顺序为黄杨 > 广玉兰 > 冬青卫矛 > 石楠 > 皱叶莢蒾,与 5 种常绿阔叶植物的抗寒性综合指数排序

基本一致,表明半致死温度可以较为准确地反映植物抗寒性的强弱;而平均隶属度值所反映的抗寒性排序则与抗寒性综合指数排序有一定差异,需要进一步进行主成分分析,结合各抗寒指标的权重综合分析植物抗寒性。

越冬期间 5 种常绿阔叶植物 LT_{50} 分别在 12、1、2 月达到最低值,反映出各植物对温度变化的响应速度不同,应根据当年的平均最低温度与极端最低温度合理选择抗寒性研究的试验时间,预判最冷时期进行抗寒性研究。由于北京冬季最冷时期大多出现在 1 月下旬到 2 月上旬,推荐在 2 月中旬进行抗寒性试验,并根据当年实际温度作适当调整。

本研究从越冬期间 5 种供试植物的相对电导率及半致死温度入手,利用主成分分析法和隶属度函数法,对 2 月温度统计区间各植物进行抗寒性综合评价,发现半致死温度可以比较准确地反映植物抗寒性的强弱。而 5 种常绿阔叶植物叶片半致死温度均在自然温度以下,但根据北京地区多年引种常绿阔叶植物的经验发现,许多可以在北美和欧洲海洋性气候环境下,甚至纬度比北京高,最低温度比北京低的温带地区能正常生长发育的常绿树种,如海桐 (*Pittosporum tobira* Ait.)、南天竹 (*Nandina domestica* Thunb.)、火棘 [*Pyracantha fortuneana* (Maxim.) Li] 等,在北京却很难栽培成功^[22]。供试的 5 种常绿阔叶植物均栽植在半封闭下的小气候环境中,在开放式露地环境中很难生存,说明北京地区引种常绿阔叶植物不仅与其温度有关,可能还与湿度、光照或风力有关。联系北京地区的气候现状,从多个生态因子分析,寻找影响北京地区引种常绿阔叶植物的关键限制因子,有针对性地创造适宜常绿阔叶植物生长的小气候环境,意义重大。

参考文献:

- [1] Améglio T, Pigeon D, Archilla O, et al. Adaptation to cold temperature and response to freezing in roses [J]. Acta Horticulturae, 2003, 618: 344-356.
- [2] Dexter S T, Tottingham W E, Graber L F. Preliminary results in measuring the hardiness of plants [J]. Plant Physiology, 1930, 5(2): 215-223.
- [3] 朱根海, 刘祖祺, 朱培仁. 应用 Logistic 方程确定植物组织低温半致死温度的研究 [J]. 南京农业大学学报, 1986, 9(3): 11-16.
- [4] 邓仁菊, 范建新, 王永清, 等. 低温胁迫下火龙果的半致死温度及抗寒性分析 [J]. 植物生理学报, 2014, 50(11): 1742-1748.
- [5] 王玲, 王春雷, 马喜娟, 等. 锦带花新品种抗寒性 [J]. 东北林业大学学报, 2012, 40(12): 43-46.
- [6] 唐士勇. Logistic 方程在果树半致死温度测定中的应用 [J]. 北方果树, 1993(4): 23-24.
- [7] 许瑛, 陈发棣. 菊花 8 个品种的低温半致死温度及其抗寒适应性 [J]. 园艺学报, 2008, 35(4): 559-564.
- [8] 芦站根, 周文杰, 赵昌琼, 等. 曼地亚红豆杉对自然降温的适应性研究 [J]. 植物生态学报, 2004, 28(1): 73-77.
- [9] 王冠群, 李丹青, 张佳平, 等. 德国鸢尾 6 个品种的耐寒性比较 [J]. 园艺学报, 2014, 41(4): 773-780.
- [10] 严寒静, 谈锋. 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 [J]. 植物生态学报, 2000, 24(1): 91-95.
- [11] 谢晓金, 郝日明. 南京地区 12 种常绿阔叶树种冬季抗寒性动态变化 [J]. 生态学报, 2009, 29(4): 2149-2154.
- [12] 薛建辉, 苏敬, 田如男, 等. 自然降温过程中 5 个常绿阔叶树种的抗寒性分析 [J]. 植物资源与环境学报, 2009, 18(1): 52-56.
- [13] 柳新红, 何小勇, 苏冬梅, 等. 翅葵木种源抗寒性综合评价体系的构建与应用 [J]. 林业科学, 2007, 43(10): 45-50.
- [14] 房义福, 吴晓星, 李长贵, 等. 电导法对 11 种常绿阔叶树种抗寒性的测定 [J]. 东北林业大学学报, 2007, 35(12): 11-12.
- [15] 盖钧镒. 试验统计方法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [16] 赵世杰, 苍晶. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002.
- [17] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [18] 袁金凤, 牛亚洁, 陈红贤, 等. 春季——冻融交替时期 9 种落叶及半常绿小灌木抗寒性综合评价 [J]. 植物科学学报, 2014, 32(6): 630-637.
- [19] 严寒静, 谈锋. 梔子叶片生理特性与抗寒性的关系 [J]. 植物资源与环境学报, 2005, 14(4): 21-24.
- [20] 鲍思伟. 自然降温过程中云锦杜鹃抗寒适应性研究——水分、渗透调节物的动态变化与低温半致死温度的关系 [J]. 福建林业科技, 2005, 32(2): 13-16.
- [21] 吴娜. 卫矛科三种常绿阔叶植物抗寒性研究 [D]. 保定: 河北农业大学, 2006: 24-25.
- [22] 张治明. 丰富北京城市园林树种的问题与对策 [J]. 北京林业大学学报, 2001, 23(增刊): 50-52.