

文章编号:1001-7380(2017)04-0001-07

## 锦绣含笑耐寒性研究

王伟伟<sup>1</sup>, 窦全琴<sup>1\*</sup>, 万丹丹<sup>2</sup>

(1. 江苏省林业科学研究院, 江苏 南京 211153; 2. 南京林业大学, 江苏 南京 210037)

**摘要:**低温是含笑属植物引种栽培的主要限制因子之一, 探明含笑属新品种‘锦绣含笑’的耐寒性, 了解其与台湾含笑、深山含笑和乐昌含笑在耐寒适应性上的差异, 对该新品种的推广应用有重要意义。该文对4种含笑的叶片在自然低温条件下受冻后的形态特征进行观测, 利用相对电导率配合 logistic 回归方程计算低温半致死温度(LT50), 并运用聚类分析和隶属函数法对叶片解剖结构进行耐寒指标的筛选和综合评价。结果表明:4种含笑受冻后的叶片形态特征有较大差异, 低温半致死温度的变化范围为-11.599—-15.263℃; 通过聚类分析将叶片9个结构指标分成3组, 分别筛选出栅栏组织厚度、叶片厚度和细胞结构紧密度等3个指标进行隶属函数综合评价, 锦绣含笑的耐寒性介于台湾含笑和深山含笑之间, 4种含笑的耐寒性由强到弱依次为台湾含笑>锦绣含笑>深山含笑>乐昌含笑。

**关键词:**含笑属新品种; 锦绣含笑; 耐寒性; 半致死温度; 叶片解剖结构

**中图分类号:**S685.15; Q948.112<sup>+</sup>.2

**文献标志码:**A

**doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2017.04.001

## Study of the cold-tolerance of new varieties *Michlia maudiae* ‘Jinxiu’

WANG Wei-wei<sup>1</sup>, DOU Quan-qin<sup>1\*</sup>, WAN Dan-dan<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 211153, China; 2. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

**Abstract:** Low temperature is one of the major limiting factors for the introduction and cultivation of *Michelia* plant. In this paper, to evaluate the cold tolerance of *M. maudiae* ‘Jinxiu’, the morphological characteristics of *M. maudiae* ‘Jinxiu’, *M. compressa* (Maxim.) Sarg., *M. maudiae* Dunn. and *M. chapensis* Dandy leaves were observed under natural low temperature. And their low semi-lethal temperatures(LT50) were obtained on the basis of leaf relative conductivities combined with Logistic Equation. The cold-tolerance indexes of leaf anatomical structure were also screened and comprehensively assessed by hierarchical cluster analysis and Membership Function Method. The results showed that the morphological characteristics of the leaves were different between 4 *Michelia* varieties. The range of LT50 of all tested *Michelia* plants was -11.599—-15.263℃. Nine morphological characteristics were clustered into 3 categories. Indices such as palisade tissue thickness, blade thickness and blade tightness were found to be suitable for using a comprehensive evaluation by membership function. The cold tolerance of *M. maudiae* ‘Jinxiu’ was between *M. compressa* (Maxim.) Sarg. and *M. maudiae* Dunn. The cold-tolerance of 4 *Michelia* varieties were in such a decreasing order as *M. compressa* (Maxim.) Sarg. > *M. maudiae* ‘Jinxiu’ > *M. maudiae* Dunn > *M. chapensis* Dandy.

**Key words:** New varieties of *Michelia*; *Michlia maudiae* ‘Jinxiu’; Cold-tolerance; Semi-lethal temperatures(LT50); Leaf anatomical structure

收稿日期:2017-07-10; 修回日期:2017-08-09

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金项目“耐寒观赏含笑新品种选育”[CX(14)2033]

作者简介:王伟伟(1986-),女,河南长垣人,助理研究员,硕士。从事植物生理方面的研究。E-mail:wanwewe1234@126.com。

\*通信作者:窦全琴(1965-),女,河南沈丘人,研究员,大学本科毕业。从事林木遗传育种及森林培育研究。E-mail:douqq@163.com。

江苏地处北亚热带向暖温带过渡地区,适生的常绿阔叶高大乔木树种相对较少,尤其在苏中和苏北地区,冬季缺乏绿色,森林景观单调问题较为突出。虽然江苏的气候环境不适应分布于中、南亚热带的多数含笑属(*Michelia*)植物的生长,但引种试验表明,一些耐寒性较强的含笑属树种、种源等能适应江苏长江以南地区的气候环境正常生长,台湾含笑(*M. compressa* (Maxim.) Sarg.)、深山含笑(*M. maudiae* Dunn)、乐昌含笑(*M. chapensis* Dandy)等引种已取得成功,并表现出良好的生长与观赏利用潜力<sup>[1-3]</sup>。因此,引种、选育适合江苏气候环境条件生长的含笑属优良耐寒乔木树种或品种,对于丰富江苏常绿阔叶观赏树种资源,满足城乡景观绿化、美化等多种目标的需求,增加森林景观多样性具有重要意义。

锦绣含笑(*M. maudiae* ‘Jinxiu’)是从深山含笑实生变异中选育的新品种。于2012年获得国家植物新品种保护权(编号20120148)。该品种为常绿高大乔木,主干通直,树冠呈尖塔形,生长速度快,树高和胸径生长量超过普通深山含笑50%以上<sup>[4]</sup>。据本研究组观察与测定,15年生母树树高可达12 m,胸径可达22 cm,冠幅有6 m;8年生时就开始开花结实,花白色。在南京地区已经历2015年冬季-9.4℃低温和2013年夏季40℃高温的极端气候考验,未见明显的冻害和热害。本文通过比较‘锦绣含笑’与台湾含笑、深山含笑和乐昌含笑等3种含笑低温半致死温度<sup>[5-6]</sup>的高低和叶片结构特征与耐寒性的关系,了解该新品种的耐寒特性,为其推广应用提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

以江苏省林业科学研究院内生长的5年生锦绣含笑、6年生台湾含笑、8年生深山含笑和8年生乐昌含笑为试验材料,选取当年生枝条上成熟叶片。

### 1.2 试验方法

1.2.1 叶片冻害形态观测 2016年1月25日观察并记录供试材料在越冬期间叶片受冻症状,参照谢晓金叶片冻害观测方法<sup>[7]</sup>,根据实际情况略作修改。

1.2.2 低温半致死温度测定 2015年11月24日,将采集4种含笑的叶片用自来水冲洗干净后再用去离子水漂洗3次,在滤纸上吸干水分,将叶片分别用0.6 cm打孔器打成圆片,分成5组共20份(重复

4次),每份圆片10个,置于密封塑料袋内备用。将叶圆片放入程控冰箱内进行降温处理,温度设定为0,-5,-10,-15,-20℃等5个温度梯度,即冰箱经预冷后从0℃开始降温,降温速率2.5℃/h,在每个设定温度停留24 h后再继续降温。在每个设定温度处理后取出样品1组,置于冰箱(冰箱温度设置为3.6℃)内解冻12 h后,再置于室温条件下恢复12 h进行电导率的测定<sup>[8-9]</sup>。采用电导仪法测定相对电导率<sup>[1,10-11]</sup>,并计算-5—-15℃相对电导率的相对变化值。根据相对电导率拟合 Logistic 回归方程,计算半致死温度 LT50<sup>[12]</sup>。

1.2.3 叶片解剖结构观测 2016年1月,选择1年生枝条上的成熟叶片,切取1 cm×1 cm的小块,用标准固定液固定,24 h后按常规石蜡切片法<sup>[13]</sup>制成永久切片,在光学显微镜下观察、测量和拍照。测定指标包括叶片厚度、角质层厚度、上表皮厚度、下表皮厚度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度,进而计算栅海比(栅栏组织厚度/海绵组织厚度)、细胞结构紧密度(栅栏组织厚度/叶片厚度)、细胞结构疏松度(海绵组织厚度/叶片厚度)。

### 1.3 数据处理与分析

用EXCEL2007和DPS16.05软件对试验数据进行统计分析,并采用聚类分析及隶属函数的方法对耐寒性进行综合评价。

叶片结构指标的相关指数  $R_i^2 = \sum r^2 / (n - 1)$

其中, $r$ 为同类中某一指标与其他指标之间的相关系数, $n$ 为同类中指标的个数, $i=1,2,\dots,n$ ;

隶属函数值:  $\mu_{(x_j)} = (x_j - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$

其中, $x_j$ 表示第 $j$ 个指标测定值, $x_{\max}$ 和 $x_{\min}$ 分别为某指标测定值中的最大值和最小值, $j=1,2,\dots,n$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 叶片冻害形态观测

2015年11月24日之前,气温保持在0℃以上,4种含笑均无冻害,生长正常。经过2015年11月25日和12月16日的急剧降温,各树种叶片均出现轻微的冻害。2016年1月20日下雪后气温一直维持在较低水平,1月23日达极端低温-9.4℃,此时各树种叶片冻害症状最为严重。于2016年1月25日进行各树种的冻害观测并记录。锦绣含笑叶正面叶脉处有轻微失绿,叶背面及叶缘无明显变化;台湾含笑叶背面叶缘、叶中脉及叶尖有小面积水渍状;深山含笑叶背面大面积水渍状,占叶片的

1/3—2/3;乐昌含笑叶片失绿,整个叶片卷曲,部分叶片从叶缘开始向内呈干枯状。

2.2 低温半致死温度 (LT50)

锦绣含笑等 4 种含笑叶片随着处理温度的降低,电解质渗出率不断升高,处理温度与相对电导率之间呈负相关的“S”型变化,但上升速度因树种不同而不同(见图 1)。在 0—-10℃ 之间,相对电导率增大缓慢;在-10—-15℃ 的处理下,相对电导率均急剧增大;当温度低于-15℃ 后,相对电导率上升趋势平缓。-5—-15℃ 电导率的相对变化值(见图 2),变化范围从 162.8%到 321.7%,按变化值的大小排序为台湾含笑<锦绣含笑<深山含笑<乐昌含笑。

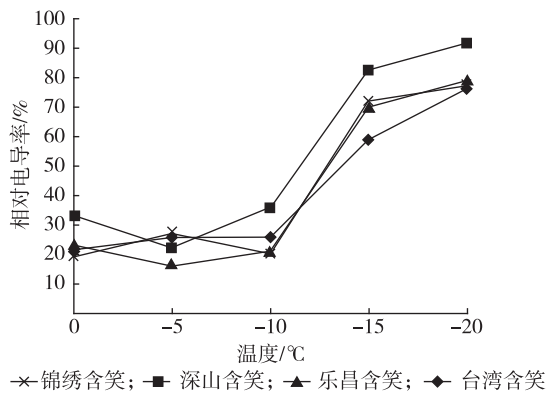


图 1 低温处理对相对电导率的影响

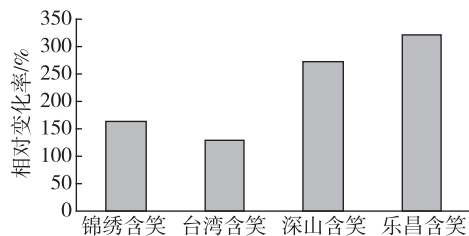


图 2 -5—-15℃ 叶片相对电导率的相对变化

应用 Logistic 拟合方程对处理温度下的相对电导率进行回归分析,计算出 4 种含笑的半致死温度(见表 1)。结果表明,供试树种的相对电导率与处理温度之间能较好地用 Logistic 曲线方程进行拟合,拟合度在 0.873—0.934 之间,均达到显著水平,拟合结果可靠,精确度较高。台湾含笑的半致死温度较低,为-15.263℃;乐昌含笑较高,为-11.599℃;锦绣含笑半致死温度为-14.324℃,仅次于台湾含笑。根据低温半致死温度,得出 4 种含笑的耐寒性从强到弱依次为台湾含笑>锦绣含笑>深山含笑>乐

昌含笑。

表 1 相对电导率的 Logistic 回归方程及低温半致死温度

品种	回归方程	拟合度 (R <sup>2</sup> )	半致死温度 (LT <sub>50</sub> )
锦绣含笑	$y = 77.581 / (1 + 453.502e^{-0.401x})$	0.873 *	-14.324
台湾含笑	$y = 82.288 / (1 + 555.018e^{-0.414x})$	0.882 **	-15.263
深山含笑	$y = 92.678 / (1 + 672.499e^{-0.514x})$	0.934 **	-12.692
乐昌含笑	$y = 79.334 / (1 + 915.985e^{-0.588x})$	0.890 **	-11.599

2.3 叶片解剖结构与抗寒性的综合评价

2.3.1 叶片解剖结构 对 4 种含笑叶片、角质层及上下表皮的厚度进行多重比较(见表 2,图 3)。叶片厚度平均值为 299.776 μm,分布范围为 244.800—419.317 μm,变异系数为 27.202%;其中锦绣含笑较厚,与其他树种间差异极显著( $P<0.01$ );乐昌含笑较薄,与深山含笑间差异不显著。角质层厚度平均值为 3.939 μm,分布范围为 2.983—4.567 μm,变异系数为 19.294%;其中台湾含笑最厚,与乐昌含笑间差异不显著;锦绣含笑角质层最薄,与其他树种间差异显著( $P<0.05$ )。4 种含笑上表皮厚度均大于其下表皮。上表皮厚度平均值为 21.488 μm,分布范围为 14.317—37.850 μm,变异系数较大,为 51.132%;其中锦绣含笑最厚,台湾含笑最薄,均与其他树种间有极显著差异( $P<0.01$ ),深山含笑和乐昌含笑间差异不显著。下表皮厚度平均值为 13.042 μm,分布范围为 11.183—17.850 μm,变异系数为 24.622%;其中锦绣含笑最厚,与其他树种间有极显著差异( $P<0.01$ );台湾含笑、深山含笑和乐昌含笑间差异均不显著。

对 4 种含笑叶肉结构指标进行多重对比(见表 3,图 3)。栅栏组织厚度平均值为 128.379 μm,分布范围为 95.483—154.517 μm,变异系数为 21.863%;其中台湾含笑最厚,与锦绣含笑间差异不显著;乐昌含笑最薄,与其他 3 种含笑均有极显著差异( $P<0.01$ )。海绵组织厚度平均值为 132.929 μm,分布范围为 99.533—211.917 μm,变异系数为 40.006%;其中锦绣含笑最厚,与其他树种间差异极显著( $P<0.01$ );台湾含笑最薄,与深山含笑间差异不显著。栅栅组织和海绵组织比平均值为 1.047,分布范围为 0.702—1.557,变异系数为 36.430%;其中台湾含笑最大,锦绣含笑最小,4 种含笑间差异极显著( $P<0.01$ )。细胞结构紧密度平均值为

0.437, 分布范围为 0.355—0.545, 变异系数为 19.130%;其中台湾含笑最大, 锦绣含笑最小, 4 种含笑间差异极显著( $P<0.01$ )。细胞结构疏松度平 均值为 0.436, 分布范围为 0.350—0.505, 变异系数 为 15.938%;其中锦绣含笑最大, 台湾含笑最小, 4 种含笑间差异极显著( $P<0.01$ )。

表 2 叶片厚度、角质层厚度与表皮特征及多重比较

树种	叶片厚度/ $\mu\text{m}$	角质层厚度/ $\mu\text{m}$	上表皮厚度/ $\mu\text{m}$	下表皮厚度/ $\mu\text{m}$
锦绣含笑	419.317±10.597 Aa	2.983±0.343 Bc	37.850±0.979 Aa	17.850±1.638 Aa
台湾含笑	284.117±14.320 Bb	4.567±0.802 Aa	14.317±1.170 Cc	11.183±1.162 Bb
深山含笑	250.871±18.610 Cc	3.671±0.205 Bb	17.500±1.192 Bb	11.500±0.990 Bb
乐昌含笑	244.800±20.474 Cc	4.533±0.345 Aa	16.283±1.225 Bb	11.633±0.871 Bb
平均值	299.776	3.939	21.488	13.042
变异系数/%	27.202	19.294	51.132	24.622

同列数据后的不同大、小写字母分别表示在  $P<0.01$ ,  $P<0.05$  水平上存在极显著、显著差异

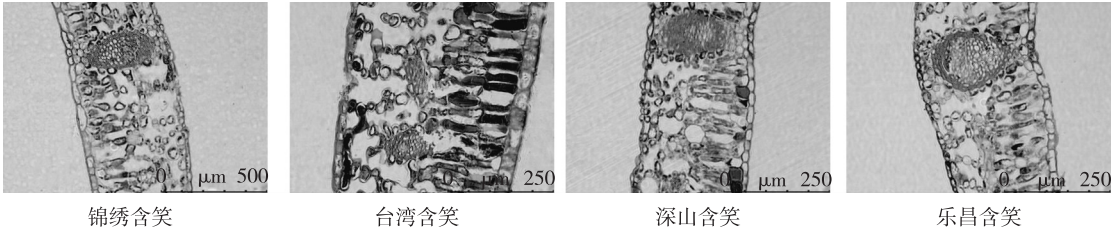


图 3 4 种含笑叶片横切面解剖结构

表 3 叶肉细胞结构特征及多重比较

树种	栅栏组织厚度/ $\mu\text{m}$	海绵组织厚度/ $\mu\text{m}$	栅海比	细胞结构紧密度	细胞结构疏松度
锦绣含笑	148.717±1.979 Aa	211.917±5.975 Aa	0.702±0.012 Dd	0.355±0.005 Dd	0.505±0.0036 Aa
台湾含笑	154.517±4.497 Aa	99.533±7.364 Cc	1.557±0.083 Aa	0.545±0.014 Aa	0.350±0.010 Dd
深山含笑	114.8±8.026 Bb	103.400±8.472 Cc	1.111±0.027 Bb	0.458±0.005 Bb	0.412±0.006 Cc
乐昌含笑	95.483±8.466 Cc	116.867±9.958 Bb	0.817±0.027 Cc	0.390±0.007 Cc	0.477±0.007 Bb
平均值	128.379	132.929	1.047	0.437	0.436
变异系数/%	21.863	40.006	36.430	19.130	15.938

同列数据后的不同大、小写字母分别表示在  $P<0.01$ ,  $P<0.05$  水平上存在极显著、显著差异

2.3.2 耐寒性的综合评价

(1)耐寒指标的筛选 用分层聚类的方法<sup>[14-15]</sup>对 4 种含笑叶片结构的 9 个指标进行分析。可分为 3 组:第 1 组包括栅栏组织和海绵组织厚度;第 2 组仅有叶片厚度;第 3 组包括角质层厚度、上表皮厚度、下表皮厚度、叶片厚度、栅栏组织厚度、海绵组织厚度、栅栏组织和海绵组织比、细胞结构紧密度、细胞结构疏松度。根据各指标间的相关系数(见表 4)计算出相关指数(见表 5)的大小。

同一组中,相关指数越大其代表性越强。第 1 组栅栏组织厚度和海绵组织厚度相关指数相同,因元白岩等<sup>[14]</sup>对木兰科含笑属的 8 种植物的抗寒性

研究发现,栅栏组织厚度是最具抗寒能力的 3 个指标之一,谢晓金等<sup>[1]</sup>南京地区引种的 24 种常绿阔叶树种的耐寒性研究发现,栅栏组织越厚耐寒性越强,许瑛等<sup>[16]</sup>在菊花中也同样的结论,所以选取栅栏组织厚度。第 2 组选取叶片厚度。第 3 组选择相关指数最大的细胞结构紧密度。

(2)耐寒性的综合评价 采用隶属函数法对 4 种含笑的耐寒性进行综合评价(见表 6)。筛选出来的指标均与耐寒性呈正相关,根据隶属函数公式计算出隶属函数值。根据综合评价值得出耐寒性由强到弱依次为台湾含笑>锦绣含笑>深山含笑>乐昌含笑。



表 4 叶片结构指标的相关系数矩阵									
相关系数	角质层厚度	上表皮厚度	下表皮厚度	栅栏组织厚度	海绵组织厚度	叶片厚度	栅栏组织海绵组织厚度比	细胞结构紧密度	细胞结构疏松度
角质层厚度	1								
上表皮厚度	-0.885	1							
下表皮厚度	-0.845	0.997	1						
栅栏组织厚度	-0.296	0.401	0.431	1					
海绵组织厚度	-0.809	0.989	0.996	0.371	1				
叶片厚度	-0.773	0.948	0.963	0.655	0.945	1			
栅栏组织、海绵组织厚度比	0.571	-0.665	-0.648	0.405	-0.698	-0.426	1		
细胞结构紧密度	0.59	-0.709	-0.697	0.341	-0.746	-0.486	0.997	1	
细胞结构疏松度	-0.563	0.712	0.705	-0.32	0.757	0.502	-0.992	-0.998	1

表 5 叶片结构指标的相关指数及排序			
组别	指标	相关指数	各类中排序
1	栅栏组织厚度	0.138	1
	海绵组织厚度	0.138	1
2	叶片厚度	0.000	1
3	角质层厚度	0.498	6
	上表皮厚度	0.646	3
	下表皮厚度	0.622	5
	栅栏组织、海绵组织厚度比	0.633	4
	细胞结构紧密度	0.665	1
	细胞结构疏松度	0.660	2

表 6 含笑属 4 个树种耐寒性综合评价					
树种	栅栏组织厚度	叶片厚度	细胞结构紧密度	综合评价	耐寒性排序
锦绣含笑	0.902	1	0	0.634	2
台湾含笑	1	0.225	1	0.742	1
深山含笑	0.327	0.035	0.543	0.302	3
乐昌含笑	0	0	0.186	0.062	4

3 讨论

3.1 叶片冻害形态特征与 4 种含笑的耐寒性关系

植物形态特征在逆境条件下的变化可反映植物对逆境胁迫环境的抗性强弱,具有直观、方便和快速等优点被广泛应用<sup>[17-19]</sup>。谢晓金对常绿阔叶树种在越冬期间进行野外观察发现,抗寒能力不同的树种叶片有不同级别冻害<sup>[7]</sup>。引种到北京的 7 种常绿阔叶植物和适应郑州地区轻型屋顶绿化景

天属植物按越冬期间的形态指标进行耐寒性排序与综合排序结果一致<sup>[20-21]</sup>。低温胁迫下西洋杜鹃形态指标与生化指标的变化相一致<sup>[22]</sup>。本研究中国锦含笑叶正面叶脉处有轻微失绿;台湾含笑受害较轻,仅叶背面有小面积水渍状;乐昌含笑受害较重,整个叶片卷曲,部分叶片从叶缘开始向内呈干枯状。

3.2 低温半致死温度与 4 种含笑的耐寒性关系

低温胁迫下细胞收缩和质膜物态变化导致细胞膜选择性散失。当细胞结冰伤害时,质膜失去半透性,电解质和某些小分子有机物大量外渗<sup>[23]</sup>。耐寒能力强的植物在低温时,细胞膜表现出明显的稳定性,电解质渗透率较小,且透性变化可逆转。而耐寒性差的植物膜透性变化较大,不能恢复正常<sup>[24]</sup>。植物质膜的伤害程度常用电解质渗透率来表示,即通过测定植物各器官的相对电导率来评价植物的抗寒性。低温半致死温度是指在该温度时植物达到半致死状态,当温度继续降低植物所受到的伤害将不可恢复甚至死亡。用电导法测定相对电导率配以 Logistic 回归方程计算植物的半致死温度,这在植物的耐寒性研究中已得到广泛应用<sup>[25-28]</sup>。本研究中深山含笑在低温条件下,电解质外渗率最大,但-5℃到-10℃间的相对电导率的相对变化值介于锦绣含笑与乐昌含笑之间。4 种含笑相对电导率的相对变化值越小,半致死温度越低,但由于本文仅有 4 个树种,样本量小,是否可以用相对电导率的相对变化值对含笑属植物进行耐寒性的排序尚需进一步研究。本研究中 4 种含笑的半致死温度由低到高依次为台湾含笑<锦绣含笑<深山含笑<乐昌含笑。

### 3.3 表皮特征与 4 种含笑耐寒性关系

叶片是植物感受温度变化最敏感的部位,经过对环境长期的适应,叶片结构体现出的耐寒性成为一种稳定的遗传特征<sup>[29]</sup>。植物叶片作为裸露在空气中的营养器官,其组织结构受环境影响最大,最能反映植物对生态环境的适应特性<sup>[30]</sup>。

角质层厚度可用于不同植物的抗寒性评价;角质层越厚,茶藨属植物抗寒性越强<sup>[31]</sup>;角质层厚度可作为长绿期金木耐寒性的鉴定指标<sup>[32]</sup>。在叶片厚度与植物抗寒性的研究中发现,冬油菜低温半致死温度与叶片厚度呈显著正相关<sup>[33]</sup>,叶片厚度可作为油棕<sup>[34]</sup>、椰子<sup>[35]</sup>耐寒种质鉴定时的结构指标,叶片越厚木兰科含笑属植物抗寒性越强<sup>[14]</sup>。本研究中 4 种含笑叶片角质层厚度台湾含笑和乐昌含笑较厚,锦绣含笑和深山含笑较薄;叶片厚度锦绣含笑较厚,深山含笑和乐昌含笑较薄;用这 2 个指标对 4 种含笑进行耐寒性的评价与综合评价结果不一致,所以不能作为其耐寒性鉴定指标。

### 3.4 叶肉结构特征与 4 种含笑的耐寒性关系

大量研究表明,植物叶片解剖结构特征与耐寒性有密切的关系。许瑛等<sup>[16]</sup>研究发现菊花半致死温度与栅栏组织厚度和上表皮厚度、栅/海、栅栏组织紧密度呈极显著负相关,与栅栏组织疏松度呈显著正相关。栅/海越大、叶片疏松度值越小,抗寒性越强,而且能够保持相对稳定,有可能作为越橘抗寒性的鉴定指标<sup>[36]</sup>。甘蓝叶片的栅栏组织海绵组织比、叶片紧密度、叶片疏松度可作为评价其耐寒能力的指标<sup>[37]</sup>。紫花苜蓿叶片组织紧密度大、疏松度小者抗寒性较强<sup>[38]</sup>。上、下表皮厚度作为评价不同倍性滇山茶耐寒性的形态指标<sup>[39]</sup>。耐冬山茶叶肉组织中栅栏组织所占的比例越大,栅栏组织与海绵组织的厚度比值越大,品种耐寒性越强<sup>[40]</sup>。本研究运用聚类分析和隶属函数法对叶片解剖结构进行抗寒指标的筛选和综合评价,筛选出栅栏组织厚度、叶片厚度和细胞结构紧密度等 3 个指标作为 4 种含笑耐寒性与叶片解剖结构特征关系研究的参考依据。自然环境中植物的耐寒性受到多种因子的影响,孤立地用某一指标很难反映植物的耐寒实质,也不利于揭示植物耐寒的本质。单独从各指标分析 4 种含笑的耐寒性排序不尽一致,因此有必要进行综合分析比较。4 种含笑叶片解剖结构指标通过综合性排序,耐寒性依次为台湾含笑>锦绣含笑>深山含笑>乐昌含笑。

## 4 结 论

本文对 4 种含笑(台湾含笑、锦绣含笑、深山含笑和乐昌含笑)的叶片在自然低温条件下受冻后的形态特征进行观测,利用相对电导率配合 logistic 回归方程计算低温半致死温度(LT50),并运用聚类分析和隶属函数法对叶片解剖结构进行抗寒指标的筛选和综合评价。结果表明:锦绣含笑的耐寒性介于台湾含笑和深山含笑之间,能适应江苏长江以南地区的气候环境,可在该地区进行推广应用。

### 参考文献:

- [1] 谢晓金,郝日明.南京地区引种的 24 种常绿阔叶树种耐寒性比较[J].浙江林学院学报,2006,23(3):285-289.
- [2] 李晓储,黄利斌,施士争,等.深山含笑和乐昌含笑的引种栽培技术[J].江苏林业科技,2001,28(9):37-38,41.
- [3] 徐海兵,万志洲,刘江伟.中山陵园风景区深山含笑、乐昌含笑引种栽培试验[J].江苏林业科技,2005,32(3):9-10,40.
- [4] 黄利斌,窦全琴,董筱昀,等.深山含笑新品种‘锦绣含笑’[J].林业科学,2016,52(9):154.
- [5] 鲍思伟.云锦杜鹃低温半致死温度对自然降温的适应[J].西南民族大学学报(自然科学版),2005,31(1):99-102.
- [6] 严寒静,谈 锋.自然降温过程中栀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.
- [7] 谢晓金.南京地区引种常绿阔叶树种的抗寒性研究[D].南京:南京农业大学,2005.
- [8] 薛建辉,苏 敏,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.
- [9] 苏 敏.自然降温过程中 5 个常绿阔叶树种的抗寒性研究[D].南京:南京林业大学,2007.
- [10] 刘 建,项东云,陈健波,等.应用 Logistic 方程确定三种桉树的低温半致死温度[J].广西林业科学,2009,38(2):75-78.
- [11] 张 倩,刘崇怀,郭大龙,等.5 个葡萄种群的低温半致死温度与其抗寒适应性的关系[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(5):149-154.
- [12] 盖钧镒.试验统计方法[M].北京:中国农业出版社:2000:56-59.
- [13] 李正理.植物制片技术:2 版[M].北京:科学出版社,1987:138-148.
- [14] 亓白岩,殷云龙,於朝广,等.木兰科含笑属 8 种植物叶片解剖结构性状与抗寒性的关系[J].江苏农业科学,2013,41(4):150-153.
- [15] 王 宁,袁美丽,苏金乐.几种樟树叶片结构比较分析及其与抗寒性评价的研究[J].西北林学院学报,2013,28(4):43-49.
- [16] 许 瑛,陈 煜,陈发棣,等.菊花耐寒特性分析及其评价指标的确定[J].中国农业科学,2009,42(3):974-981.
- [17] 杜中军,翟 衡,罗新书,等.苹果砧木耐盐性鉴定及其指标判

- 定[J].果树学报,2002,19(1):4-7.
- [18] 宗鹏鹏,曲艳华,柴朋等.八棱海棠耐盐碱性评价[J].中国农业大学学报,2013,18(3):96-100.
- [19] 王伟伟,乔志攀,何旭东,等.灌木柳种质资源的耐盐性变异[J].江苏林业科技,2016,43(6):15-17.
- [20] 金花,王斌,戴思兰,等.北京引种7种常绿阔叶植物的抗寒适应性研究[J].湖南农业科学,2011,(1):121-125.
- [21] 张杰,李海英.轻型屋顶绿化景天属植物的耐寒性[J].中国农学通报,2010,26(23):249-253.
- [22] 余丽玲.西洋杜鹃四个品种抗寒性对比研究[J].福建农林大学,2014.
- [23] PALTA J P, LEVITT J, STADELMANN E J. Freezing injury in onion bulb cells: I. Evaluation of the conductivity method and analysis of ion and sugar efflux from injured cells[J]. Plant Physiology, 1977. 60(3): 393-397.
- [24] LYONS J M. Chilling injury in plants[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1973(24): 445-446.
- [25] 王飞,陈登文,李嘉瑞.应用 Logistic 方程确定杏枝条低温半致死温度的研究[J].河北农业技术师范学院学报,1998,12(4):31-35.
- [26] 高志红,章镇,韩振海.果梅种质枝条抗寒性鉴定[J].果树学报,2005,22(6):709-771.
- [27] 姜慧,徐迎春,李永荣,等.香橼不同品系耐寒性的研究[J].园艺学报,2012,39(3):525-532.
- [28] 李静,宁德鲁,马婷,等.12个核桃品种低温半致死温度与抗寒性的关系[J].湖南农业科学,2005(3):73-75.
- [29] 李正理,张新英.植物解剖学[M].北京:高等教育出版社,1983:261-266.
- [30] LYONS J M, RAISON J K. Oxidative activity of mitochondria isolated from plant tissues sensitive and resistant to chilling injury[J]. Plant Physiology, 1970, 45(4): 386-389.
- [31] 林玉友,张志东,蒋春光,等.茶藨属植物叶片解剖结构与抗寒性关系研究[J].北方园艺,2014(2):6-10.
- [32] 郑志勇,石进朝,王德芳.长绿期金银木耐寒性与叶片组织结构的关系[J].华北农学报,2009,24(增刊):331-333.
- [33] 杨宁宁,孙万仓,刘自刚,等.北方冬油菜抗寒性的形态与生理机制[J].中国农业科学,2014,47(3):452-461.
- [34] 曹红星,黄汉驹,雷新涛,等.不同低温处理对油棕叶片解剖结构的影响[J].热带作物学报,2014,35(3):454-459.
- [35] 曹红星,黄汉驹,雷新涛,等.低温胁迫下椰子叶片解剖结构差异研究[J].热带作物学报,2014,35(12):2420-2425.
- [36] 吴林,刘海广,刘雅娟,等.越橘叶片组织结构及其与抗寒性的关系[J].吉林农业大学学报,2005,27(1):48-50,54.
- [37] 靳哲.甘蓝耐寒材料叶片结构、生理特征及其 BoCBF 基因标记的研究[D].北京:中国农业科学院,2012.
- [38] 崔国文,马春平.紫花苜蓿叶片形态结构及其与抗寒性的关系[J].草地学报,2007,15(1):70-75.
- [39] 杨桂英,何瀚,曹子林,等.3种不同倍性滇山茶的耐寒性研究[J].云南大学学报(自然科学版),2016,38(2):335-343.
- [40] 王奎玲,黄鑫,刘庆超,等.耐冬山茶茶叶结构与耐寒性关系研究[J].青岛农业大学学报(自然科学版),2007,24(3):189-192.

## · 征订启事 ·

### 欢迎订阅 2017 年度《江苏林业科技》

《江苏林业科技》为国内外公开发行的综合性林业科学技术刊物。1974 年创刊。为《中国学术期刊(网络版)》入编期刊、全国优秀期刊、江苏省优秀期刊、全国优秀农业期刊、华东地区优秀期刊。加入“万方数据——数字化期刊群”和中国期刊网等。

《江苏林业科技》主要刊登良种选育、育苗造林、园林绿化、林副特产、森林经营、森林保护、调查设计、野生动物等方面的学术论文、科研报告、经验总结,以及林业新成果、新技术,有较强的指导性、技术性、实用性,是林业科研、教学工作者、管理部门及广大林业生产者不可少的参考资料。欢迎订阅,欢迎投稿,欢迎刊登广告,宣传产品等。

《江苏林业科技》为双月刊,大 16 开本,国内外公开发行。国内统一刊号:CN 32-1236/S,国际标准刊号:ISSN 1001-7380,每期定价 6.00 元,全年订费 36.00 元。全年办理订阅手续,需订阅者请到当地邮局订阅或将订款汇至南京市江宁区东善桥江苏省林业科学研究院本刊编辑部,邮政编码 211153。电话(025) 52745438,83602820,83602060。由银行或邮局汇寄均可。开户银行:南京市农业银行金鹰支行,户名:江苏省林业科学研究院,帐号:10105101040000010。邮发代号:28-303。