

# 自然降温过程中3种樟树渗透调节物质的动态变化

姚方<sup>1</sup>, 吴国新<sup>1</sup>, 梅海军<sup>2</sup>

(1 河南科技大学林业职业学院, 河南 洛阳 471002; 2 鹤壁市淇滨区园林局, 河南 鹤壁 458030)

**摘要:**依据越冬期间叶片内脯氨酸、可溶性糖等渗透调节物质含量及电解质渗透率的变化,对尾叶樟 *Cinnamomum camphora*、猴樟 *C. bodinieri* 和樟 *C. caudiferum* 3种樟树的自然降温胁迫响应特性及抗寒能力进行对比研究. 结果表明:自然降温过程中,12月中旬前,渗透调节物质含量及电解质渗透率变化不明显,可能与低温持续时间较短,且气温又时有回升相关;进入1月后,连续4 d -8℃的低温(1月5—8日)造成了渗透调节物质含量的迅速增加. 与12月28日相比,1月9日3种樟树可溶性蛋白含量分别增加了16.59%、43.44%和24.29%,可溶性含量分别增加了8.19%、21.27%和16.72%,其中猴樟和樟的增幅均达到显著水平. 之后,随着气温的持续降低,过度的低温胁迫导致渗透调节物质含量下降和电解质渗透率上升;春季,随着气温的逐渐回升,渗透调节物质含量又略有上升,而电解质渗透率则呈明显的下降态势. 结合隶属函数法的应用,得出自然越冬过程中樟树的抗寒性呈先增强后减弱再增强的变化. 综合评价结果显示,抗寒性强弱顺序为:猴樟 > 樟 > 尾叶樟,这与越冬期间外部形态观察的结果基本一致.

**关键词:**樟树; 抗寒性; 自然降温; 综合评价; 渗透调节物质

中图分类号: S792.23

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2012)03-0378-06

## Dynamic Changes in Osmotic Adjustment Substance of Three Camphor Species Under Natural Cooling

YAO Fang<sup>1</sup>, WU Guo-xin<sup>1</sup>, MEI Hai-jun<sup>2</sup>

(1 Forestry Vocational College, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471002, China;

2 Landscape Bureau of Qibin District in Hebi City, Hebi 458030, China)

**Abstract:** By using *Cinnamomum bodinieri*, *C. camphora* and *C. caudiferum* as experimental materials, dynamic variations in soluble sugar, proline, soluble protein and the leakage rate of electrolyte were investigated in the process of natural cooling from October 2009 to April 2010, and their comparison was analyzed to identify the cold resistance of three camphor tree species. The results indicated that in the process of natural cooling, before the middle of December, with a shorter duration of low temperature, the leakage rate of electrolyte changed with temperature but the change was not significant. In January, the content of osmotic adjustment substance increased rapidly with four successive days of low temperature at -8℃. Compared with December 28, 2009, the content of soluble protein and soluble sugar increased by 16.59%, 43.44%, 24.29% and 8.19%, 21.27%, 16.72% on 9 January, 2010, and the increase amplitude of *C. bodinieri* and *C. caudiferum* reached a significant level. As temperatures continued to decrease, the content of osmotic adjustment substance decreased and the leakage rate of electrolyte increased; from February to March, as the temperature increased, soluble protein and proline content increased again, but the leakage rate of electrolyte reduced to the minimum, which indicated that the damage of cell membrane caused by low temperature gradually restored; a fuzzy mathematics method showed that the cold resistance of the camphor trees first increased and then reduced, but finally further

收稿日期: 2011-11-30

作者简介: 姚方(1963—), 女, 副教授, E-mail: Luoyangyaofang@163.com

基金项目: 国家林业行业专项(201104047)

strengthened. The cold tolerance abilities are ranked in the following order: *C. bodinieri* > *C. camphora* > *C. caudiferum*.

**Key words:** camphor tree; cold resistance; natural temperature reduction; fuzzy synthetic evaluation; osmotic adjustment substance

低温是限制植物北引的主要环境胁迫因子<sup>[1]</sup>. 尽管自然界中有许多在自然分布范围以北依然能生长良好的植物(如火炬松等),但大量研究数据显示低温(尤其是极端低温)依然是影响植物分布范围的直接因素<sup>[2]</sup>. 目前,有关植物的抗寒性研究大多仅对低温锻炼过程<sup>[3-4]</sup>、冷冻过程<sup>[5]</sup>、或解冻过程<sup>[6-7]</sup>中的某一过程进行研究,却少见有对3个过程的综合动态研究,而三者又是一个密切联系的过程,其中某一过程的是否抗寒很难真实地反映植物抗寒性<sup>[8]</sup>. 自然界中,复杂多变的气候环境,诸如极端最低温度、寒潮,特别是春寒,其降温幅度、持续时间长短等对植物的抗寒性均有直接影响<sup>[9]</sup>. 对不同种樟树的抗寒性研究<sup>[10-11]</sup>相对较少,对几种樟树进行抗寒对比性研究却鲜见报道. 为此,本文以尾叶樟 *Cinnamomum camphora*、猴樟 *C. bodinieri* 和樟 *C. caudiferum* 为材料,通过对自然降温过程中3种樟树叶片内渗透调节物质可溶性蛋白质、可溶性糖和脯氨酸含量及电解质渗透率动态变化的研究,以期更加全面科学地鉴定不同樟树的抗寒性,揭示植物在越冬过程中的适应机制.

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于河南省郑州市上街区,地理坐标东经 113°14'45"~113°19'05",北纬 34°35'~34°40',属

暖温带季风气候. 年平均气温 13.5~15.3℃,极端最低温为 -16.5℃. 土壤为褐土类.

### 1.2 试验材料与设计

选取上街区登封路行道树中已引种多年的8年生尾叶樟、猴樟及樟优株作为试材,每种选择生长势相近的3株作为研究对象,其生长状况如表1所示. 选择2009年秋季气温出现明显下降时为起始时间(10月30日),次年春季气温回升平缓时为终止日期(4月16日),共持续169d,日最高和最低温度见图1. 考虑到温度变化的不规律性,试验未设固定的采样时间,通常于明显降温后出现的晴天进行取样和形态指标观测,每月至少1次,第1次取样为11月3日,作为对照(CK). 共取样11次,采样日期及日最高和最低温度见表2. 随机采取树冠中上部不同方面,当年生侧枝的第4~6枚完好叶片,每树种30枚,采后立即用潮湿纱布包裹,并用自封袋密封. 带回实验室后,依次用自来水和蒸馏水冲洗干净并吸干水分,取部分叶片立即测定电解质渗透率,其余置超低温冰箱保存,用于其他生理指标的测定.

表1 供试樟树的生长状况

Tab.1 Growth conditions of the three camphor tree species

树种	平均树高/m	平均冠幅/m <sup>2</sup>	平均胸径/cm
尾叶樟	4.64	4.67	13.71
猴樟	3.84	3.87	12.85
樟	4.96	4.64	13.21

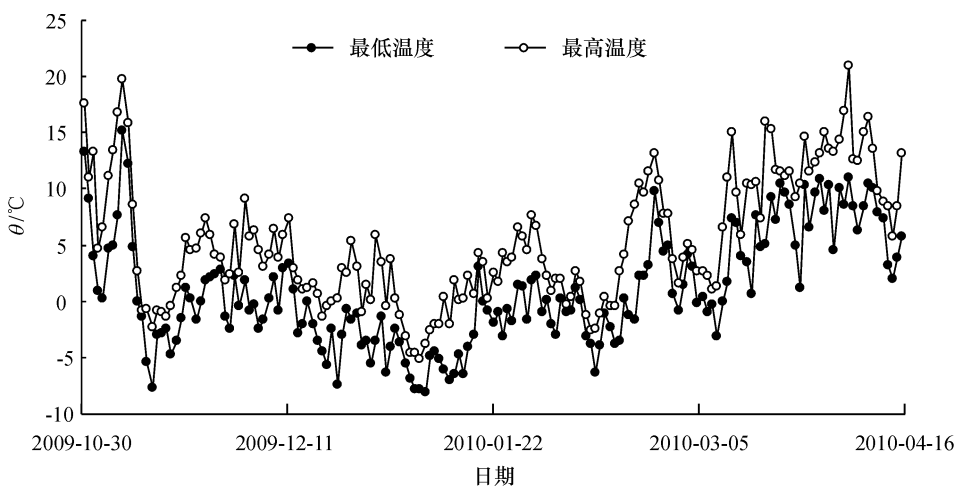


图1 2009年10月30日至2010年4月16日郑州市上街区日最高与最低气温

Fig.1 The highest and lowest day temperatures of Zhengzhou City from October 30 in 2009 to April 16 in 2010

表2 采样日期的日最高和最低气温

Tab. 2 The highest and lowest day temperature of sampling dates

采样日期	$\theta_{最高}/^{\circ}\text{C}$	$\theta_{最低}/^{\circ}\text{C}$
2009-11-03	6.5	0.2
2009-11-19	2.2	-1.5
2009-12-17	0.6	-3.6
2009-12-28	0.1	-5.5
2010-01-09	-2.6	-4.9
2010-01-23	1.7	-1.0
2010-02-03	0.9	-2.1
2010-03-10	6.5	0
2010-03-16	10.3	0.6
2010-03-27	14.5	10.3
2010-04-16	13.1	5.7

### 1.3 测定项目及方法

参考李合生<sup>[12]</sup>方法,脯氨酸含量测定采用磺基水杨酸法,可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法,考马斯亮蓝法测定可溶性蛋白质的含量.参照邹琦<sup>[13]</sup>电导法进行电解质渗透率的测定.

### 1.4 综合评价方法

应用 Fuzzy 数学中隶属函数法进行综合评判<sup>[8,14]</sup>,其计算公式如下:

对与抗寒性正相关参数可溶性糖、可溶性蛋白质和脯氨酸采用公式

$$f(x_{ij}) = (X_{ij} - X_{j\min}) / (X_{j\max} - X_{j\min}), \quad (1)$$

对与抗寒性呈负相关的参数电解质渗透率,采用公式

$$f(x_{ij}) = 1 - (X_{ij} - X_{j\min}) / (X_{j\max} - X_{j\min}), \quad (2)$$

式中: $f(x_{ij})$ 为*i*树种*j*指标耐寒隶属函数值; $X_{ij}$ 为*i*树种*j*指标测定值; $X_{j\max}$ 和 $X_{j\min}$ 为*j*指标测定值中的最大值和最小值.

### 1.5 数据处理

所得试验数据用 SPSS 统计软件进行相关分析和方差分析.

## 2 结果与分析

### 2.1 电导率的变化

越冬期间,几种樟树叶片的质膜透性均发生了明显变化,尽管相对电导率峰值出现的时间不尽相同,但整体呈先升后降再升的变化趋势(表3).猴樟及樟的相对电导率峰值出现在1月23日,而尾叶樟却出现在1月9日,由此表明1月5—8日持续-8℃左右的低温对其造成的影响相对较大.与CK相比,尾叶樟、猴樟和樟的电导率峰值分别增加了2.23、1.16和1.67倍,其中以猴樟增幅最小,表明冬季低温对其影响最小.另外,4月份的再次降温胁迫中,除猴樟外,另外2种樟树的电导率均有不同程度的增加,表明其忍受“倒春寒”的能力不尽相同,但与3月27日电导率相比差异均不显著.

表3 自然降温对3种樟树叶片相对电导率的影响<sup>1)</sup>

Tab. 3 Effects of natural cooling on the leakage rate of electrolyte in leaves of three camphor tree species %

树种	2009-11-03	2009-11-19	2009-12-17	2009-12-28	2010-01-09	2010-01-23	2010-02-03	2010-03-10	2010-03-16	2010-03-27	2010-04-16
尾叶樟	13.14 ± 2.11a	15.36 ± 1.14a	23.46 ± 2.31b	8.80 ± 0.51a	42.42 ± 2.32d	28.60 ± 2.11bc	21.44 ± 1.50b	12.80 ± 1.01a	15.63 ± 1.31a	10.76 ± 1.22a	13.45 ± 1.03a
猴樟	15.67 ± 2.03ab	10.03 ± 1.12a	16.41 ± 1.52ab	11.38 ± 0.12a	27.58 ± 2.14b	33.80 ± 2.62bc	17.89 ± 1.63ab	13.69 ± 2.33a	10.74 ± 1.87a	10.37 ± 1.66a	9.37 ± 1.45a
樟	14.28 ± 1.65a	10.67 ± 0.24a	13.65 ± 1.97a	11.05 ± 0.12a	29.29 ± 2.47c	38.09 ± 3.01d	17.46 ± 1.45ab	9.98 ± 1.54a	15.43 ± 2.14a	11.05 ± 0.12a	12.75 ± 1.16a

1)表中数据为平均值±标准差;同行数据后,凡具有相同字母者表示差异不显著(Duncan's法, $P > 0.05$ ).

### 2.2 可溶性蛋白质含量变化

自然降温过程中,不同种樟树的可溶性蛋白质含量随气温的下降而增加,春季随温度的回升而逐渐减少(表4).其中,降温过程中,与12月17日相比,12月28日3种樟树的可溶性蛋白质含量分别增加了16.73%、25.16%和22.39%;而2010年1月9日可溶性蛋白质又较2009年12月28日分别增加了

16.59%、43.44%和24.29%,猴樟及樟的增幅均达到显著水平;与12月份的增幅相比,猴樟与樟可溶性蛋白质依然呈增加趋势,而尾叶樟增幅却略有下降,由此表明3个树种对低温胁迫的适应性不同,随着温度的持续降低,猴樟和樟依然能通过可溶性蛋白质的增加,抵御外界的低温胁迫,而尾叶樟对持续低温胁迫的适应性逐渐减小.

表4 自然降温对3种樟树叶片的可溶性蛋白质质量比的影响<sup>1)</sup>Tab. 4 Effects of natural cooling on the soluble protein mass ratio in leaves of three camphor tree species  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 

树种	2009-11-03	2009-11-19	2009-12-17	2009-12-28	2010-01-09	2010-01-23	2010-02-03	2010-03-10	2010-03-16	2010-03-27	2010-04-16
尾叶樟	2.50 ± 0.31a	3.42 ± 0.11a	5.32 ± 0.10b	6.21 ± 0.55bc	7.24 ± 0.43c	6.38 ± 0.54bc	6.19 ± 0.55bc	5.32 ± 0.25b	4.04 ± 0.48ab	4.04 ± 0.34ab	4.25 ± 0.29ab
猴樟	2.10 ± 0.12a	3.89 ± 0.29ab	4.69 ± 0.21ab	5.87 ± 0.30b	8.42 ± 0.32d	7.66 ± 0.22c	6.56 ± 0.11bc	5.44 ± 0.52b	5.32 ± 0.51b	4.34 ± 0.55ab	4.97 ± 0.25ab
樟	2.53 ± 0.10a	3.35 ± 0.21a	5.18 ± 0.54ab	6.34 ± 0.55b	7.88 ± 0.31c	6.19 ± 0.41b	6.11 ± 0.78b	5.45 ± 0.39ab	4.78 ± 0.52ab	4.26 ± 0.35ab	4.65 ± 0.54ab

1)表中数据为平均值±标准差;同行数据后,凡具有相同字母者表示差异不显著(Duncan's法, $P > 0.05$ ).

### 2.3 可溶性糖含量变化

自然降温过程中,随气温的下降,3种樟树可溶性糖含量呈增加趋势,而后随春季温度的回升整体呈下降趋势(表5)。其中,前期降温过程中,与12月17日相比,12月28日尾叶樟、猴樟及樟的可溶性糖含量分别增加了9.84%、20.12%和18.52%,其中以猴樟的增幅最大,而尾叶樟增幅最小。随后,2010年1月9日又较2009年12月28日的可溶性糖含量分别增加了8.19%、21.27%和16.72%,其中猴樟与樟

的增幅均达到显著水平,与12月的增幅相比,仅有猴樟的增幅明显增加,其余树种的增幅均略为降低,由此说明,1月份中持续-8℃左右的低温出现后,猴樟依然可通过可溶性糖含量的迅速增加抵御外界的低温胁迫,而尾叶樟和樟的可溶性糖含量虽然同样增加,但其对低温的适应能力却逐渐减弱。4月份的降温胁迫中,可溶性糖含量均出现小幅增加,其中以猴樟增幅最大,为20.89%,表明其对“倒春寒”的适应能力最强。

表5 自然降温对3种樟树叶片可溶性糖质量比的影响<sup>1)</sup>

Tab.5 Effects of natural cooling on the soluble sugar mass ratio in leaves of three camphor tree species mg · g<sup>-1</sup>

树种	2009-11-03	2009-11-19	2009-12-17	2009-12-28	2010-01-09	2010-01-23	2010-02-03	2010-03-10	2010-03-16	2010-03-27	2010-04-16
尾叶樟	3.32 ± 0.11a	4.49 ± 0.22ab	4.37 ± 0.35ab	4.80 ± 0.32b	5.19 ± 0.26b	5.12 ± 0.54b	4.37 ± 0.36ab	4.07 ± 0.33a	4.02 ± 0.28a	3.06 ± 0.28a	3.54 ± 0.11a
猴樟	3.80 ± 0.32a	4.72 ± 0.31ab	4.97 ± 0.54ab	5.97 ± 0.15b	7.24 ± 0.66c	5.58 ± 0.26b	4.69 ± 0.54ab	4.32 ± 0.52a	4.12 ± 0.46a	3.84 ± 0.31a	4.64 ± 0.31ab
樟	3.74 ± 0.14a	4.34 ± 0.18ab	4.59 ± 0.51ab	5.44 ± 0.25b	6.35 ± 0.32c	5.25 ± 0.22b	4.70 ± 0.25ab	4.58 ± 0.34ab	4.29 ± 0.44ab	4.08 ± 0.12a	4.83 ± 0.19ab

1)表中数据为平均值±标准差;同行数据后,凡具有相同字母者表示差异不显著(Duncan's法, P > 0.05)。

### 2.4 脯氨酸含量变化

自然降温过程中,随着温度的降低,不同种樟树叶片中脯氨酸含量出现持续的增加,春季随着温度的回升整体呈逐渐降低趋势(表6)。3种樟树脯氨酸含量的峰值均出现在2010年1月9日,与2009年11月3日相比,脯氨酸含量分别增加了1.15、3.29和2.00倍,其中以猴樟增加最大,尾叶樟最小,表明猴樟对低温的适应能力最强。前期降温过程中,与12月17日相比,12月28日3个树种脯氨酸含量分别增加了15.15%、18.37%和17.94%,其中仅猴樟增幅达到显著水平;与2009

年12月28日相比,至2010年1月9日,经连续-8℃左右低温后,脯氨酸含量分别增加了13.18%、56.63%和21.51%,其中以猴樟增加最为明显,与前面的增加情况相比,猴樟和樟增幅明显增加,而尾叶樟则出现明显下降,由此说明,持续-8℃左右的低温胁迫后,猴樟和樟依然通过脯氨酸的大幅增加提高其对低温的适应能力,而尾叶樟的适应能力却逐渐减弱。4月份的“倒春寒”中,3个树种的脯氨酸含量均有不同程度的增加,与3月27日相比,以猴樟增加最为明显,达24.41%,而尾叶樟增幅最小,仅为14.69%。

表6 自然降温对3种樟树叶片脯氨酸质量比的影响<sup>1)</sup>

Tab.6 Effects of natural cooling on the proline mass ratio in leaves of three camphor tree species mg · g<sup>-1</sup>

树种	2009-11-03	2009-11-19	2009-12-17	2009-12-28	2010-01-09	2010-01-23
尾叶樟	0.112 3 ± 0.013 2a	0.134 7 ± 0.015 1ab	0.185 3 ± 0.021 1b	0.213 4 ± 0.012 1b	0.241 5 ± 0.032 5c	0.217 6 ± 0.029 5b
猴樟	0.092 3 ± 0.022 2a	0.147 3 ± 0.023 1ab	0.213 9 ± 0.030 0b	0.253 2 ± 0.033 3c	0.396 6 ± 0.029 7e	0.374 4 ± 0.028 7de
樟	0.086 7 ± 0.012 5a	0.153 2 ± 0.012 5ab	0.181 7 ± 0.037 1b	0.214 3 ± 0.011 2b	0.260 4 ± 0.022 1c	0.203 0 ± 0.023 0b
树种	2010-02-03	2010-03-10	2010-03-16	2010-03-27	2010-04-16	
尾叶樟	0.194 1 ± 0.026 4b	0.173 1 ± 0.036 5b	0.145 1 ± 0.032 5ab	0.113 7 ± 0.034 7a	0.130 4 ± 0.022 3a	
猴樟	0.325 5 ± 0.040 0d	0.215 4 ± 0.035 6b	0.218 7 ± 0.034 5b	0.152 2 ± 0.035 0ab	0.189 4 ± 0.024 5b	
樟	0.198 7 ± 0.017 8ab	0.178 6 ± 0.032 5ab	0.165 6 ± 0.035 6ab	0.119 1 ± 0.038 7a	0.143 7 ± 0.025 6ab	

1)表中数据为平均值±标准差;同行数据后,凡具有相同字母者表示差异不显著(Duncan's法, P > 0.05)。

### 2.5 自然降温过程中各抗寒指标隶属值

以猴樟为例,运用公式(1)、(2)求出其各抗寒相关指标参数的隶属函数值,隶属函数值乘以各指标权重后求出几个生理指标隶属函数加权平均值(D)(表7),对自然降温过程中猴樟的抗寒性变化进行评价,综合评价价值越大表示抗寒性越强。由表7可以看出,猴樟的综合评价价值呈“升-降-升”的变化趋势,表明自然降温过程中猴樟的抗寒性呈先增强后减弱又增强的变化。由此说明,自然降温过程中猴

樟的抗寒性分为3个时期:①抗寒性增强期:2009年11月—12月底,随着气温的降低,通过渗透调节物质含量的增加,增强其对低温胁迫的抵御能力;②抗寒性减弱期:2010年1月初—2月初,随着1月5—8日持续-8℃左右低温的出现,猴樟的抗寒性迅速降低,这可能是低温的过渡胁迫所致;③2010年2月初—4月,随着气温的逐渐回升,受低温胁迫伤害的细胞膜逐渐得到恢复,樟树的抗寒性也随之逐渐增强。

表7 自然降温过程中猴樟叶片中各抗寒指标参数的D值

Tab.7 D value and comprehensive evaluation of the cold tolerance

日期	相对电导率	可溶性蛋白质	可溶性糖	脯氨酸	D值	评序号
2009-11-03	0.130 8	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.130 8	11
2009-11-19	0.171 5	0.041 3	0.046 5	0.024 6	0.283 9	10
2009-12-17	0.125 6	0.059 8	0.059 1	0.054 3	0.298 9	8
2009-12-28	0.161 7	0.087 1	0.109 6	0.071 9	0.430 3	2
2010-01-09	0.044 9	0.146 0	0.173 8	0.135 9	0.500 6	1
2010-01-23	0.000 0	0.071 5	0.089 9	0.125 9	0.287 4	9
2010-02-03	0.079 5	0.088 5	0.044 9	0.090 6	0.303 5	7
2010-03-10	0.145 1	0.077 2	0.028 0	0.054 9	0.305 2	6
2010-03-16	0.166 4	0.074 4	0.016 2	0.056 4	0.313 3	5
2010-03-27	0.169 0	0.066 3	0.040 3	0.040 3	0.315 9	4
2010-04-16	0.176 4	0.066 3	0.042 5	0.043 4	0.328 6	3

## 2.6 抗寒性综合评价

逆境胁迫中的植物由于受多种因素的影响,其生理变化相对也较为复杂,因此,孤立地应用某一种指标表示这一复杂的生理过程,较难真实地反映植物的抗寒性强弱<sup>[15]</sup>. 低温胁迫过程中,虽然植物的生理及生化指标能够从不同角度一定程度上反映出植物抗寒性的强弱,但采用一种指标反映植物的耐寒能力具有一定的片面性<sup>[16]</sup>. 运用公式(1)、(2)求出3种樟树各指标参数的隶属函数值,乘以各指标权重后,求其平均值,得其综合评价价值,综合评价价值越大,抗寒性越强. 3种樟树6项抗寒指标参数的综合评判结果如表8所示,得出抗寒性强弱顺序为:猴樟 > 樟 > 尾叶樟.

表8 3种樟树抗寒性综合评判

Tab.8 Synthetic evaluation of the cold resistance character of three camphor tree species

树种	电解质渗透率	可溶性蛋白质	可溶性糖	脯氨酸	综合评判	评序号
尾叶樟	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 0	3
猴樟	0.252 6	0.273 5	0.009 1	0.249 1	0.196 1	1
樟	0.073 3	0.279 0	0.219 3	0.077 9	0.162 4	2

## 3 讨论与结论

生物膜结构是一个动态平衡体系,随外界温度的变化,内部成分进行适应性调整,细胞膜是细胞与环境发生物质交换、能量转换、信息传递等生命活动的重要场所和媒介,也是细胞感受环境胁迫最敏感的部位<sup>[16]</sup>,是低温伤害的原初部位<sup>[17-18]</sup>. 低温胁迫能引起植物细胞膜膜结构改变,膜透性增加,胞内溶质外渗. 植物细胞电解质渗漏的多少,常反映出低温下植物受到伤害的严重程度. 抗寒性强的植物或受到伤害较轻者,不仅透性增大程度较慢,而且透性的变化

可以逆转,易恢复正常;相反,抗寒性弱的植物或受伤害较重者,透性增大程度较快,又不可逆转,不能恢复正常<sup>[19]</sup>. Lyons<sup>[20]</sup>认为,植物受到低温影响时,细胞质膜透性会发生不同程度增大,电解质会有不同程度外渗. 本研究结果表明,自然降温过程中,尽管几种樟树细胞内相对电导率的峰值出现日期不尽相同,但整体变化趋于一致. 降温初期相对电导率的上升较为平缓,然后,随着1月份温度的持续降低,相对电导率出现急剧升高,这与自然降温过程中对曼地亚红豆杉<sup>[21]</sup>、茉莉<sup>[22]</sup>的研究结果一致. 与CK相比,其中,以尾叶樟增幅最大,猴樟最小,表明尾叶樟电解质外渗严重,细胞膜受到了伤害,其抗寒性也最弱.

细胞膜是细胞对外界的屏障. 当细胞面临环境的低温胁迫时,需要进行渗透调节以维持细胞内外的渗透平衡,因此必然会使机体内参与渗透调节的物质如脯氨酸、可溶性糖、可溶性蛋白质等发生变化,从而避免冻害,提高植物抗寒能力. 有证据表明,脯氨酸、可溶性糖和可溶性蛋白质参与调控抗冷力的形成<sup>[23-25]</sup>,在植物抗寒中起重要作用. 因为脯氨酸、可溶性蛋白质和可溶性糖等是重要的渗透调节物质和营养物质,它们的增加积累能提高细胞的保水能力,对细胞的生命物质及生物膜起保护作用,防止活性氧对膜脂和蛋白质的过氧化作用<sup>[26-27]</sup>,也是植物越冬、再生的重要能量物质<sup>[28]</sup>. 自然降温过程中,3种樟树通过可溶性糖、可溶性蛋白质及脯氨酸含量的增加,抵御1月份最低温的胁迫,从而保证其安全越冬,这与左宝峰等<sup>[29]</sup>对雪松、王瑾等<sup>[30]</sup>对櫻桃李及李小燕等<sup>[31]</sup>对四翅滨藜等的研究结果相一致.

植物在秋季抗寒锻炼中可溶性糖含量增加,而春季解除锻炼时降低,许多研究结果表明这是一种比较普遍的现象<sup>[32]</sup>. 本试验中3种樟树可溶性糖含量的变化情况与此观点相同.

应用Fuzzy数学隶属函数,以猴樟为例,不同抗寒指标隶属值的综合评判结果表明,自然越冬过程中樟树的抗寒性呈增强、减弱、再增强的变化. 冬季最低温到来前,前期的抗寒性锻炼提高了樟树的耐寒性,并使其逐步达到最强,从而保证樟树能够安全越冬,但随着气温的继续降低,导致其抗寒性的逐渐减弱. 随后,随着气温的回升,樟树的抗寒性逐渐得到恢复.

植物的抗寒性是受其生理生化特征综合作用的遗传表现,因此,单一抗寒指标难以判断植物对低温的综合适应能力<sup>[8]</sup>. 韩宏伟等<sup>[33]</sup>、柳新红等<sup>[34]</sup>运用Fuzzy数学隶属函数综合评判法对中国刺槐种源间和翅荚木种源的抗寒性进行了综合评判,并得出了满意

的结果.本研究通过对渗透调节物质及膜透性等指标参数进行的综合评判结果显示,3种樟树中以猴樟抗寒性最强,以尾叶樟抗寒性最弱.这也与越冬过程中观测到的猴樟叶色浓绿,正常,樟仅叶缘干枯,而尾叶樟出现冻伤叶片大面积干枯、卷曲的现象一致.

#### 参考文献:

- [1] STUSHNOFF C, JUNTTILA O. Seasonal development of cold stress resistance in several plant species at a coastal and a continental location in north Norway[J]. *Polar Biology*, 1986, 5(3):129-133.
- [2] PARKER J S. Cold resistance in woody plants [J]. *The Botanical Review*, 1963, 29(2):123-201.
- [3] MARKOVSKAYA E F, SHERUDILO E G, SYSOYEVA M I. Influence of long-term and short-term drops on acclimation and deacclimation in cucumber cold resistance [J]. *Acta Hort.* 2003, 618, 233-236.
- [4] STAVANG J A, HANSEN M, OLSEN J E. Short term temperature drops do not enhance cold tolerance [J]. *Plant Growth Regul.* 2008, 55(3), 199-206.
- [5] 周瑞莲,赵哈林. 春季高寒山区牧草低温保护物质变化与其脱冻适应间关系研究[J]. *西北植物学报*, 2004, 24(2):199-204.
- [6] JANOWIAK F, LUCK E, DÖRFFLING K. Chilling tolerance of maize seedlings in the field during cold periods in spring is related to chilling-induced increase in abscisic acid level[J]. *J Agron Crop Sci*, 2003, 189(3):156-161.
- [7] 周瑞莲,张普金. 春季高寒草地牧草根中营养物质含量和保护酶活性的变化及其生态适应性研究[J]. *生态学报*, 1996, 16(4):402-407.
- [8] 李轶冰,杨顺强,任广鑫,等. 低温处理下不同禾本科牧草的生理变化及其抗寒性比较[J]. *生态学报*, 2009, 29(3):1341-1347.
- [9] 郝日明,魏宏图. 紫金山森林植被性质与常绿阔叶混交林重建可能性的探讨[J]. *植物生态学报*, 1999, 23(2):108-115.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 邹琦. 植物生理生化实验指导[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [14] 田钦谟. 模糊综合评价中的若干问题[J]. *模糊系统与数学*, 1996, 10(2):62-69.
- [15] 杨敏生,裴保华,程志鹏. 白杨杂种无性系抗寒性生理指标动态分析[J]. *生态学报*, 1997, 21(4):367-375.
- [16] 沈漫,王明麻,黄敏仁. 植物抗寒机理研究进展[J]. *植物学通报*, 1997, 14(2): 1-8.
- [17] 王洪春. 植物抗逆性与生物膜结构功能研究进展[J]. *植物生理学通讯*, 1985, (1): 60-66.
- [18] 何若韞. 植物低温逆境生理[M]. 北京:中国农业出版社, 1995.
- [19] 简令成. 生物膜与植物寒害和抗寒性的关系[J]. *植物学通报*, 1983(1): 48-57.
- [20] LYONS J M. Chilling injury in plants[J]. *Ann Rev Plant Physiol*, 1973, 24: 445-466.
- [21] 邓云,谢吉容,谈锋. 自然降温过程中曼地亚红豆杉叶片膜保护系统的变化与低温半致死温度的关系[J]. *西南师范大学学报:自然科学版*, 2001, 26(4): 452-456.
- [22] 何丽斯,夏冰,孟祥静,等. 茉莉对自然降温的生理生化响应[J]. *南京农业大学学报*, 2010, 33(6): 28-32.
- [23] 艾希珍,于贤昌,王绍辉,等. 低温胁迫下黄瓜嫁接苗与自根苗某些物质含量的变化(简报)[J]. *植物生理学通讯*, 1999, 35(1):26-28.
- [24] 陈杰忠,徐春香,梁立峰. 低温对香蕉叶片中蛋白质和脯氨酸的影响[J]. *华南农业大学学报*, 1999, 20(3): 54-58.
- [25] 柴团耀,张玉秀. 菜豆富含脯氨酸、蛋白质基因在生物和非生物胁迫下的表达[J]. *植物学报*, 1994, 41(1): 111-113.
- [26] 简令成,孙龙华,史国顺. 抗寒锻炼中不同抗寒性小麦细胞膜糖蛋白的细胞化学研究[J]. *实验生物学报*, 1991, 24(3): 249-257.
- [27] 蒋明义,郭绍川,张学明. 氧化胁迫下稻苗体内积累的脯氨酸的抗氧化作用[J]. *植物生理学报*, 1997, 23(4): 347-352.
- [28] 周瑞林,赵哈林. 秋季牧草根系中营养含量和酶活性变化及其抗寒性研究[J]. *植物生态学报*, 1995, 18(4): 345-351.
- [29] 左宝峰,冀支林,姚延涛. 越冬时期雪松叶片中SOD、CAT及可溶性糖的变化[J]. *山西农业大学学报:自然科学版*, 2007, 27(3): 238-241.
- [30] 王瑾,廖康,王燕凌,等. 秋季自然降温对野生樱桃李叶片渗透调节物质的影响[J]. *新疆农业科学*, 2010, 47(5): 952-957.
- [31] 李小燕,丁丽萍. 自然越冬状态下四翅滨藜抗寒性生理指标的动态变化[J]. *东北农业大学学报*, 2008, 36(5): 11-12.
- [32] KATAOKA K, SUMITOMO K, FUDANO T, et al. Changes in sugar content of Phalaenopsis leaves before floral transition [J]. *Sciential Horticulture*. 2004, 102(1):121-132.
- [33] 韩宏伟,张世红,徐兴兴,等. 中国刺槐种源间抗寒性地理变异研究[J]. *河北农业学报*, 2008, 31(2): 57-60.
- [34] 柳新红,何小勇,苏冬梅,等. 翅荚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.