

## 大节竹属 4 种竹子叶片抗寒性

岳祥华, 雷 刚

(安徽太平试验中心, 黄山 245700)

**摘 要:** 以 11 月、12 月、翌年 1 月、2 月和 3 月的摆竹、棚竹、中华大节竹和浦竹仔的半致死温度、可溶性糖含量和丙二醛质量摩尔浓度的测定和计算结果为依据, 对 4 种竹子的抗寒性进行了研究。结果表明, 4 种竹子之间的抗寒能力存在不同程度的差异。4 种竹子不同月份间的半致死温度呈现显著差异, 且均表现为 1 月份半致死温度最低, 3 月份最高。可溶性糖含量与半致死温度变化规律相反, 表现为 1 月份最高, 3 月份最低。4 种竹子的丙二醛质量摩尔浓度也存在显著差异, 其中 1 月份, 中华大节竹的丙二醛质量摩尔浓度最低, 浦竹仔最高。在试验的几个月中, 半致死温度与可溶性糖含量均呈极显著负相关, 说明增加可溶性糖含量能够提高竹子的抗寒性。从 4 种竹子不同月份的半致死温度的计算结果看, 1 月份 ( $-3.75^{\circ}\text{C}\sim-8.5^{\circ}\text{C}$ ) 最低, 3 月份 ( $-0.57^{\circ}\text{C}\sim-0.64^{\circ}\text{C}$ ) 最高, 抗寒能力强弱均表现为 1 月 > 12 月 > 2 月 > 11 月 > 3 月。以 1 月份的半致死温度及野外冬季受低温胁迫的形态表现综合判断, 4 种竹子抗寒能力强弱顺序为中华大节竹 > 摆竹 > 棚竹 > 浦竹仔。

**关键词:** 大节竹属; 抗寒性; 半致死温度; 可溶性糖; 丙二醛

中图分类号: S795

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2018)01-0059-05

### Cold resistance of four species of bamboo leaves in *Indosasa*

YUE Xianghua, LEI Gang

(Anhui Taiping Experimental Center, Huangshan 245700)

**Abstract:** Cold resistance adaptability of *Indosasa shibataeoides*, *Indosasa longispicata*, *Indosasa sinica*, *Indosasa hispida* leaves was studied based on the measurement and calculation results of the semi-lethal temperature, soluble sugar and malondialdehyde (MDA) mass molar content of the bamboo leaves in November, December and January, February and March in next year. The results showed that there were different degrees of cold resistance among the four kinds of bamboo. The semi-lethal temperatures among the four different species of bamboo in different months showed significant differences with the lowest in January and the highest in March. The law of change about soluble sugar was opposite to the semi-lethal temperature, which was the highest in January and lowest in March. The MDA in the four kinds of bamboo were different too. In January, the lowest MDA was *Indosasa sinica* and the highest was *Indosasa hispida*. During the months of the experiment, the semi-lethal temperature was negatively correlated with the soluble sugar, which indicated that increasing the soluble sugar could improve the cold resistance of bamboo. According to the calculation results of the semi-lethal temperature of 4 kinds of bamboo in different months with the lowest in January ( $-3.75^{\circ}\text{C}\sim-8.5^{\circ}\text{C}$ ) and the highest in March ( $-0.57^{\circ}\text{C}\sim-0.64^{\circ}\text{C}$ ), the cold resistance from strong to weak was January > December > February > November > March. Based on the comprehensive judgments of the semi-lethal temperature in January and the morphological characteristics of low temperature stress in winter, the cold resistance adaptability of 4 kinds of bamboo from strong to weak is *Indosasa sinica* > *Indosasa shibataeoides* > *Indosasa longispicata* > *Indosasa hispida*.

**Key words:** *Indosasa*; cold resistance; semi-lethal temperature; soluble sugar; MDA

竹子是多年生常绿植物, 是一种非常重要的非木材可再生林业资源, 在园林绿化中也占有非常重要的地位。由于竹子枝叶繁茂, 而且地下鞭特别发达, 因此其保水固土和环境净化能力很强, 具有很

收稿日期: 2017-04-05

基金项目: 国家十二五科技支撑项目“竹藤种质资源数据库的构建”(2015BAD04B03)资助。

作者简介: 岳祥华, 工程师。E-mail: yuexianghua@icbr.ac.cn

高的生态效益和经济效益。全世界的竹类大约有 70 多属 1 200 多种, 主要分布在热带及亚热带地区, 少数分布在温带和寒带。

大节竹属为灌木或乔木状竹, 该属约 15 种, 分布于亚洲东部和南部, 中国已知 13 种, 但都分布和栽培在湖南、广东、广西和贵州等中国南方地区。本研究通过对安徽太平基地引种的大节竹属的摆竹 (*Indosasa shibataeoides*)、棚竹 (*Indosasa longispicata*)、中华大节竹 (*Indosasa sinica*) 和浦竹仔 (*Indosasa hispida*) 4 种竹子进行可溶性糖、丙二醛的含量以及电导率的测定, 再以不同低温处理下的电导率求得半致死温度, 研究了 4 种竹子的抗寒性及其机制。由于低温是限制南方植物北引的主要环境胁迫因子<sup>[1-6]</sup>, 因此, 本研究可为南竹北引, 筛选适宜竹种及划分其培育区提供科学依据<sup>[7-8]</sup>。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

该试验地设在太平试验中心, 地处皖南山区中部的山间盆谷区, 地势南高北低, 河流属于钱塘江水系和长江水系, 位于 30°00'N~30°32'N, 117°50'E~118°21'E。全境属亚热带季风气候, 四季分明, 雨量充沛, 湿润温暖, 小气候特点显著, 过去 30 年气象统计资料显示, 年平均气温 15.5℃, ≥10℃的有效积温 4 977℃, 最热月份 7 月平均气温 27.4℃, 最冷月 1 月平均气温 2.8℃, 极端最高温度 41℃(1988 年 7 月 23 日), 极端最低温度 -11℃(2008 年 1 月 30 日), 年降水量 1 540 mm, 无霜期 210~230 d。试验地土壤黄红壤, 土层厚度 60 cm 以上, 有机质平均含量 2.0%, pH 值 5.5~6.0。

### 1.2 试验设计

以摆竹、棚竹、中华大节竹和浦竹仔等 4 种竹子为研究对象, 选择竹龄相同 (1~2 年生), 生长健壮、无病虫害的竹株为试材, 分别于 2015 年 11 月至 2016 年 3 月每月中旬取叶片 300 g 左右, 用保鲜膜裹住带回实验室, 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, 把每种叶片分成 6 份, 每份约 30 g, 用保鲜膜包好置于 Polyscience 公司生产的低温循环仪上进行低温处理, 设置 6 个温度梯度, 即 0℃、-5℃、-10℃、-15℃、-20℃和 -25℃。以 2℃·h<sup>-1</sup> 降温, 每达到目标温度时维持 12 h, 取出一组样品, 其余的继续降温, 直到将至 -25℃<sup>[9]</sup>。

### 1.3 相对电导率的测定和半致死温度的计算

每种竹子取 60 片, 分成 3 组, 分装在 3 个 25 mL 的三角瓶中, 加入 20 mL 去离子水, 密闭再抽成真

空状态, 20 min 后置于水浴锅中 25℃ 平衡 2 h, 用上海雷磁仪器厂生产的 DDS-307 型电导仪测定其测定其电导率  $C_1$ , 再将这些三角瓶封口, 置于沸水浴中 10 min, 冷却至 25℃, 测定其电导率  $C_2$ , 用去离子水的电导率  $C$  作为对照, 利用公式计算电导率:

$$\text{相对电导率} = (C_1 - C) / (C_2 - C) \times 100\%$$

测定数据用 DPS7.0 统计软件进行方差分析、线性回归分析, 再用 Logistic 曲线拟合求拐点温度, 以此作为半致死温度, 比较不同竹子的抗寒性差异以及相同竹子在不同月份的抗寒性的差异。

将 2015 年 11 月和 2016 年 3 月 2 次采样期间的电导率进行数据分析, 低温胁迫下电导率与温度之间的关系呈 S 型曲线, 与 logistic 方程  $Y = k / (1 + ae^{-bx})$  有较好的拟合度 ( $R^2$ ), 根据朱根海等<sup>[9]</sup>的方法, 求出 logistic 方程  $Y = k / (1 + ae^{-bx})$  得  $a$ 、 $b$ 、 $k$  的值。再计算 logistic 方程的二阶导数, 并使其为 0, 即可求出曲线的拐点,  $X = -\ln a / b$  即为半致死温度<sup>[10-12]</sup>。

### 1.4 其他抗寒生理指标的测定

采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量, 硫代巴比妥酸法测定丙二醛的含量<sup>[13-14]</sup>。

### 1.5 数据处理

数据分析利用 DPS7.05 统计软件进行相关分析和方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 竹子叶片半致死温度变化规律

从表 1 可以看出, 4 种竹子叶片的半致死温度在不同月份间呈极显著差异, 且其半致死温度的在季节上的变化规律大致相同, 即半致死温度从高到低的排列顺序均为 3 月 > 11 月 > 2 月 > 12 月 > 1 月, 这与温度的变化有较好的吻合性, 1 月份, 环境温度最低, 竹子的半致死温度也最低, 说明一定范围内的低温锻炼, 有助于提高竹子对低温的适应能力, 从而半致死温度降低, 抗寒能力提高。相反, 翌年 3 月, 气温已经开始回升, 竹子的半致死温度也升高了, 说明竹子随着低温胁迫的降低, 抗寒能力减弱。

对于同一时期, 4 种竹子的半致死温度也存在差异, 其中 1 月、2 月和 12 月差异最明显。由表 1 可见, 1 月份, 中华大节竹的半致死温度显著低于其他竹种, 说明 1 月份中华大节竹的抗寒能力最强。3 月份, 4 种竹子的半致死温度相差不大, 说明该时期 4 种竹子的抗寒能力大体相当, 这是由于 3 月份的气温已经升高, 不会对这些竹子产生寒冷胁迫。综合 1 月份 (最冷月) 半致死温度和野外冬季受低温胁迫的形态表现综合判断, 4 种竹子的抗寒能力从强到弱

表 1 4 种竹子叶片半致死温度 ( $LT_{50}$ ) 变化Table 1 The changes of semi-lethal temperature ( $LT_{50}$ ) of the leaves of the four species of bamboos

°C

竹种 Bamboo species	测定时间 Measuring time				
	1 月 Jan.	2 月 Feb.	3 月 Mar.	11 月 Nov.	12 月 Dec.
摆竹 <i>Indosasa shibataeoides</i>	-6.78±0.19 <sup>eE(cC)</sup>	-4.23±0.09 <sup>cC(cC)</sup>	-0.61±0.16 <sup>aA(aA)</sup>	-2.19±0.11 <sup>bB(cB)</sup>	-5.57±0.28 <sup>dD(cC)</sup>
棚竹 <i>Indosasa longispicata</i>	-5.96±0.08 <sup>eE(bB)</sup>	-3.01±0.14 <sup>cC(bB)</sup>	-0.59±0.16 <sup>aA(aA)</sup>	-1.4±0.14 <sup>bB(bA)</sup>	-4.22±0.15 <sup>dD(bB)</sup>
中华大节竹 <i>Indosasa sinica</i>	-8.5±0.18 <sup>eE(dD)</sup>	-6.09±0.23 <sup>cC(dD)</sup>	-0.64±0.16 <sup>aA(aA)</sup>	-3.53±0.18 <sup>bB(dC)</sup>	-7.22±0.29 <sup>dD(dD)</sup>
浦竹仔 <i>Indosasa hispidia</i>	-3.75±0.13 <sup>eE(aA)</sup>	-1.90±0.05 <sup>cC(aA)</sup>	-0.57±0.18 <sup>aA(aA)</sup>	-1.10±0.17 <sup>bB(aA)</sup>	-2.6±0.10 <sup>dD(aA)</sup>

注: (1) 括号表示纵向比较, 括号外表示横向比较。(2) 小写字母间有相同表示差异不显著 ( $P>0.05$ ); 小写字母间无相同但大写字母间有相同表示差异显著 ( $P<0.05$ ); 小写字母间无相同且大写字母间亦无相同表示差异极显著 ( $P<0.01$ )。下同。

Note: (1) The expression in brackets indicates vertical comparisons, while no brackets indicates horizontal comparisons. (2) Lowercase letters having the same indicate no significant difference ( $P>0.05$ ); lowercase letters having no same but capital letters have the same indicates significant differences ( $P<0.05$ ); Neither lowercase letters nor capital letters neither of them having the same indicating extremely significant differences ( $P<0.01$ ). The same below.

表 2 4 种竹子叶片可溶性糖含量变化

Table 2 The changes of soluble sugar in the leaves of the four species of bamboos

%

竹种 Bamboo species	测定时间 Measuring time				
	1 月 Jan.	2 月 Feb.	3 月 Mar.	11 月 Nov.	12 月 Dec.
摆竹 <i>Indosasa shibataeoides</i>	4.60±0.05 <sup>aA(bB)</sup>	2.88±0.04 <sup>cC(bB)</sup>	0.46±0.04 <sup>eE(bB)</sup>	1.19±0.05 <sup>dD(bB)</sup>	3.37±0.04 <sup>bB(bB)</sup>
棚竹 <i>Indosasa longispicata</i>	3.64±0.02 <sup>aA(cC)</sup>	1.67±0.05 <sup>cC(cC)</sup>	0.45±0.08 <sup>eE(cC)</sup>	0.87±0.04 <sup>dD(cC)</sup>	2.20±0.05 <sup>bB(cC)</sup>
中华大节竹 <i>Indosasa sinica</i>	5.29±0.05 <sup>aA(aA)</sup>	3.37±0.04 <sup>cC(aA)</sup>	0.48±0.05 <sup>eE(aA)</sup>	2.28±0.02 <sup>dD(aA)</sup>	4.45±0.03 <sup>bB(aA)</sup>
浦竹仔 <i>Indosasa hispidia</i>	1.89±0.04 <sup>aA(dD)</sup>	0.85±0.02 <sup>cC(dD)</sup>	0.45±0.03 <sup>eE(dD)</sup>	0.65±0.02 <sup>dD(dD)</sup>	1.26±0.03 <sup>bB(dD)</sup>

表 3 竹子叶片丙二醛质量摩尔浓度变化

Table 3 The changes of MDA in the leaves of the four species bamboos

nmol·g<sup>-1</sup>

竹种 Bamboo species	测定时间 Measuring time				
	1 月 Jan.	2 月 Feb.	3 月 Mar.	11 月 Nov.	12 月 Dec.
摆竹 <i>Indosasa shibataeoides</i>	40.89±1.2 <sup>aA(cBC)</sup>	32.09±1.27 <sup>cC(cB)</sup>	23.41±1.78 <sup>eD(aA)</sup>	28.80±0.71 <sup>dC(bcBC)</sup>	36.37±1.40 <sup>bB(cC)</sup>
棚竹 <i>Indosasa longispicata</i>	46.08±2.26 <sup>aA(bB)</sup>	35.66±1.72 <sup>cC(bB)</sup>	23.93±1.99 <sup>eD(aA)</sup>	31.98±1.15 <sup>dC(bB)</sup>	41.03±1.93 <sup>bB(bB)</sup>
中华大节竹 <i>Indosasa sinica</i>	37.73±2.11 <sup>aA(dC)</sup>	27.93±1.20 <sup>cC(dC)</sup>	23.27±1.66 <sup>dD(aA)</sup>	26.25±0.86 <sup>cD(cC)</sup>	31.92±1.09 <sup>bB(dD)</sup>
浦竹仔 <i>Indosasa hispidia</i>	66.65±2.60 <sup>aA(aA)</sup>	54.89±2.40 <sup>cB(aA)</sup>	24.09±1.99 <sup>eD(aA)</sup>	45.08±1.18 <sup>dC(aA)</sup>	56.85±1.95 <sup>bB(aA)</sup>

表 4 不同月份竹子叶片各项抗寒指标的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of cold resistance indexes of bamboo leaves in different months

因子 Factor	测定时间 Measuring time				
	1 月 Jan.	2 月 Feb.	3 月 Mar.	11 月 Nov.	12 月 Dec.
半致死温度与可溶性糖 Semi-lethal temperature and soluble sugar	-0.99**	-0.97**	-1.00**	-0.99**	-1.00**
半致死温度与丙二醛 Semi-lethal temperature and MDA	0.97**	0.87	0.95*	0.78	0.95*
可溶性糖与丙二醛 Soluble sugar and MDA	-0.99**	-0.91*	-0.94*	-0.75	-0.93*

注: “\*” 表相关显著, “\*\*” 表示相关极显著。Notes: “\*” indicates significant correlation, and “\*\*” indicates extremely significant correlation.

的顺序为中华大节竹>摆竹>棚竹>浦竹仔。

## 2.2 竹子叶片可溶性糖含量

从表 2 可以看出, 4 种竹子叶片的可溶性糖含

量在不同月份间也呈极显著差异, 且在季节上的变化规律大致相同, 即可溶性糖含量从高到低的排列为 1 月>12 月>2 月>11 月>3 月, 与半致死温度

的季节变化呈现完全相反的规律。同一时期,4种竹子叶片的可溶性糖含量也存在不同程度的差异,其中浦竹仔叶片可溶性糖含量各月含量均最低,而中华大节竹叶片可溶性糖的含量均最高,特别在1月份,浦竹仔的可溶性糖含量为1.89%,而中华大节竹的可溶性糖含量达到5.29%,后者是前者的2倍多。由表2可知,各竹种叶片可溶性糖含量在测定季节的高低顺序均为中华大节竹>摆竹>棚竹>浦竹仔,与半致死温度的种间差异正好呈现完全相反的规律。因此,可以推断,4种竹子叶片可溶性糖含量的变化是其半致死温度变化的重要原因。

### 2.3 竹子叶片丙二醛质量摩尔浓度

植物组织丙二醛质量摩尔浓度是反映植物受低温伤害程度的一项重要指标,丙二醛质量摩尔浓度越高,说明植物受到低温伤害的程度越高。在1月份,浦竹仔的丙二醛质量摩尔浓度明显高于其他3个竹种,且在1月份大幅度升高,高达 $66.65 \text{ nmol} \cdot \text{g}^{-1}$ ,说明在1月份的低温胁迫下,浦竹仔叶片的细胞膜脂过氧化程度比其他竹种严重,细胞膜受害程度较重。在1月份,中华大节竹的丙二醛质量摩尔浓度低于其他3种竹子,说明中华大节竹受到的低温伤害要比其他的小,即1月份中华大节竹的抗寒能力强于其他竹种,其次为摆竹,再为棚竹,最后为浦竹仔。这与半致死温度变化和可溶性糖含量呈现相同的变化规律。

从表3可以看出,除中华大节竹外,其他3种竹子叶片的丙二醛质量摩尔浓度的变化在测定季节上均表现为1月>12月>2月>11月>3月,且其差异达到显著程度,而与试验地各月平均温度呈现完全相反的变化规律。由此可见,摆竹、棚竹和浦竹仔的叶片在其引种区都受到了冬季低温的明显胁迫。

### 2.4 不同低温处理下各种竹子各项抗寒生理指标的相关性分析

表4显示,半致死温度与可溶性糖含量各月份间皆呈极显著负相关,即可溶性糖含量越高,半致死温度越低,抗寒性越强,也说明可溶性糖含量与抗寒性呈正相关。半致死温度与丙二醛质量摩尔浓度在1月、3月和12月呈不同程度正相关,说明半致死温度越高,丙二醛质量摩尔浓度越高,竹子叶片细胞膜脂过氧化程度越高,受损越强,也就是抗寒性越低。可溶性糖含量与丙二醛质量摩尔浓度大体上呈显著负相关,说明可溶性糖含量的升高有效减轻了低温对竹叶细胞膜的伤害,即抗寒性增强。

## 3 讨论与结论

竹叶的半致死温度、可溶性糖含量以及丙二醛质量摩尔浓度是研究竹子抗寒能力强弱和用来反映低温下受害程度的重要生理指标<sup>[15-25]</sup>。

试验结果表明,随着外界温度的变化,4种竹子的抗寒能力也随之变化,从本试验的研究周期来看,4种竹叶的半致死温度高低变化规律为3月>11月>2月>12月>1月,竹子的抗寒能力强弱的排列顺序为1月>12月>2月>11月>3月。1月份半致死温度最低,此时也是外界环境温度最低的时候,说明4种竹子均用调节自身生理代谢提高其抗寒能力的生态对策。半致死温度与可溶性糖含量呈极显著负相关,说明可溶性糖含量是竹子抗寒能力强弱的重要影响因子。除中华大节竹外,其余3种竹子叶片的丙二醛质量摩尔浓度高低与气温呈显著负相关,虽然1月份的半致死温度最低,抗寒性最强,但丙二醛质量摩尔浓度依然很高,说明1月份3种竹子还是受到了明显的低温胁迫,细胞发生膜脂过氧化反应严重,植物组织造成较重伤害<sup>[26]</sup>。因此,做好防寒管理、低温锻炼以及一定程度的施肥措施能够增强竹子的抗寒能力<sup>[27]</sup>。综合半致死温度、可溶性糖含量以及丙二醛质量摩尔浓度和野外叶片冬季受胁迫形态表现等指标可见,4种竹子的抗寒能力强弱顺序为中华大节竹>摆竹>棚竹>浦竹仔。同时也可以推断,就其气温而言,黄山太平基地是引种中华大节竹适宜区。

4种竹子叶片丙二醛摩尔浓度与其半致死温度呈显著正相关,即叶片丙二醛摩尔浓度越高,其半致死温度也越高,综合4种竹子叶片的半致死温度和野外受害形态观测,对4种竹子叶片抗寒性的排序结果与其丙二醛摩尔浓度的排序结果具有高度一致性,因此,叶片丙二醛摩尔浓度可以用来作为判断4种竹子抗寒性的重要依据。

本试验以竹龄相同,一年中不同时期的各竹子叶片为对象来研究其抗寒性,但竹子的抗寒能力强弱还与其立地条件以及光照强度、温度等因素有关,而且不同品种间抗寒性也有所差异。因此,对于光温控制、水肥调控和品种选育等对竹子抗寒能力的影响还需进一步开展研究<sup>[28]</sup>。

### 参考文献:

- [1] STUSHNOFF C, JUNTILA O. Seasonal development of cold stress resistance in several plant species at a coastal and a continental location in North Norway[J]. Polar Biol, 1986, 5(3): 129-133.

- [2] 王相娥, 薛立, 谢腾芳, 等. 低温处理对 6 种园林绿化树种幼苗生理生化特性的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2009, 33(3): 139-142.
- [3] 钱芝龙. 低温胁迫对辣(甜)椒幼苗膜脂过氧化水平及保护酶活性的影响[J]. 园艺学报, 1994, 21(2): 203-204.
- [4] 曾骧. 桃花芽越冬过程中的多糖的积累和质壁分离动态与品种抗寒性的关系[J]. 果树科学, 1991, 8(1): 13-18.
- [5] 朱世东. 茄果类幼苗低温伤害与膜脂过氧化作用[J]. 安徽农学院学报, 1991, 18(2): 141-146.
- [6] 朱月, 赵雪梅, 唐立红. 低温对几种引种紫斑牡丹叶片可溶性糖含量的影响[J]. 北方园艺, 2012(2): 62-64.
- [7] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 159-160.
- [8] 秦宇. 山东省引种观赏竹的抗寒性研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
- [9] 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(3): 11-16.
- [10] 徐传保, 赵兰勇, 张廷强, 等. 以电导法配合 Logistic 方程确定四种竹子的抗寒性[J]. 北方园艺, 2009(2): 182-184.
- [11] 林树燕, 丁雨龙. 电导法对 7 种观赏竹的抗寒性测定[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(1): 34-38.
- [12] 陈建白. 电导法在植物抗寒研究中的应用[J]. 云南热作科技, 1999, 22(1): 26-28.
- [13] 李合生. 植物生理生化试验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [14] 潘冬明, 李合生. 植物生理学试验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [15] 方小平, 李昌艳, 胡光平. 贵州 4 种木兰科植物幼苗的抗寒性研究[J]. 林业科学研究, 2010, 23(6): 863-865.
- [16] 王孝宣, 李树德, 东惠茹, 等. 番茄品种耐寒性与 ABA 和可溶性糖含量的关系[J]. 园艺学报, 1998, 25(1): 56-60.
- [17] 何开跃, 李晓储, 黄利斌, 等. 3 种含笑耐寒生理机制研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2004, 28(4): 62-63.
- [18] 刘秋芳, 张旭东, 周金星, 等. 我国竹子抗寒性研究进展[J]. 世界林业研究, 2006, 19(5): 59-62.
- [19] 田海涛, 高培军, 温国胜. 7 种箬竹抗寒特性比较[J]. 浙江林学院学报, 2006, 23(6): 641-646.
- [20] 刘千玲, 赵燕, 刘桂华. 香榧叶片抗寒性[J]. 东北林业大学学报, 2015, 43(1): 24-27.
- [21] 徐传保. 部分竹子抗寒性研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2009.
- [22] 刘国华, 栾以玲, 张艳华. 自然状态下竹子的抗寒性研究[J]. 竹子研究汇刊, 2006, 25(2): 10-14.
- [23] WANG J, ZHANG H, HUANG R. Expression analysis of low temperature responsive genes in *Eupatorium adenophorum Spreng* using cDNA-AFLP[J]. Plant Mol Biol Rep, 2007, 25(1/2): 37-44.
- [24] FUKUZAWA K, SHIBATA H, TAKAGI K, et al. Vertical distribution and seasonal pattern of fine-root dynamics in a cool-temperate forest in northern Japan: implication of the understory vegetation, Sasa dwarf bamboo[J]. Ecol Res, 2007, 22(3): 485-495.
- [25] 罗丽雯, 江明艳, 陈其兵. 磷对慈竹抗寒性的影响研究[J]. 竹子研究汇刊, 2011, 30(3): 24-28.
- [26] 王爱国, 邵从本, 罗广华. 丙二醛作为植物脂质过氧化指标的探讨[J]. 植物生理学通讯, 1986(2): 55-57.
- [27] 陈建华, 马宗艳, 毛丹. 笋用竹引种栽培的问题与对策[J]. 经济林研究, 2004, 22(3): 86-88.
- [28] TAKAHASHI K, UEMURA S, SUZUKI J I, et al. Effects of understory dwarf bamboo on soil water and the growth of overstory trees in a dense secondary *Betula ermanii* forest, northern Japan[J]. Ecol Res, 2003, 18(6): 767-774.