

模拟低温或自然低温条件下牡竹属 3 种类抗寒性及生理指标的比较

李迎春, 陈双林^①, 郭子武, 杨清平

(中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400)

摘要: 以牡竹属(*Dendrocalamus* Nees)的清甜竹(*D. sapidus* Q. H. Dai et D. Y. Huang)、花吊丝竹[*D. minor* var. *amoenus* (Q. H. Dai et C. F. Huang) Hsueh et D. Z. Li]和勃氏甜龙竹[*D. brandisii* (Munro) Kurz]盆栽苗为实验材料, 测定了模拟低温(0 ℃、-5 ℃、-10 ℃、-15 ℃、-20 ℃和-25 ℃)条件下3个竹种离体叶片的相对电导率和伤害率, 在此基础上根据Logistic方程推算出3个竹种的低温半致死温度(LT_{50})。对自然低温(15 ℃、10 ℃、5 ℃、3 ℃、0 ℃和-2 ℃)条件下3个竹种叶片的形态变化以及相对电导率、叶绿素和MDA含量及SOD活性的变化也进行了比较分析。结果表明:在模拟低温条件下, 3个竹种离体叶片的相对电导率和伤害率均随温度降低逐渐增大, 且总体上与对照(25 ℃)有显著差异($P<0.05$);根据Logistic方程推算出花吊丝竹、勃氏甜龙竹和清甜竹的 LT_{50} 分别为-3.07 ℃、-1.83 ℃和-1.40 ℃。在日最低温度大于5 ℃的自然低温条件下3个竹种的叶片均能够正常生长, 而随温度降低, 叶片逐渐出现水浸斑点、失绿等症状直至干枯脱落, 其中清甜竹叶片伤害症状最重;在自然低温条件下, 随日最低气温的降低, 3个竹种叶片的叶绿素含量总体呈下降趋势、相对电导率则逐渐升高、MDA含量和SOD活性总体上均呈波动的趋势;与日最低气温15 ℃相比, 在日最低气温-2 ℃条件下清甜竹叶片叶绿素含量和SOD活性降幅最大而花吊丝竹降幅最小, 清甜竹叶片相对电导率最高而花吊丝竹最低。根据 LT_{50} 和叶片形态及生理指标的变化, 可确定3个竹种的抗寒性均较差, 其中清甜竹的耐寒能力最弱。

关键词: 牡竹属; 低温半致死温度(LT_{50}); 模拟低温; 自然低温; 生理指标; 抗寒性

中图分类号: Q945.78; Q948.112⁺.2; S644.2 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2012)03-0013-07

Comparison of cold resistance and physiological indexes of three species in *Dendrocalamus* Nees under simulated or natural low temperature conditions LI Ying-chun, CHEN Shuang-lin^①, GUO Zi-wu, YANG Qing-ping (Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2012, 21(3): 13–19

Abstract: Taking pot seedlings of three species in *Dendrocalamus* Nees including *D. sapidus* Q. H. Dai et D. Y. Huang, *D. minor* var. *amoenus* (Q. H. Dai et C. F. Huang) Hsueh et D. Z. Li and *D. brandisii* (Munro) Kurz as experimental materials, the relative electric conductivity and damage rate of *in vitro* leaf of three species under simulated low temperature conditions (0 ℃, -5 ℃, -10 ℃, -15 ℃, -20 ℃ and -25 ℃) were determined, and on this basis, their semilethal low temperatures (LT_{50}) were calculated according to Logistic equation. And leaf morphological change and changes of relative electric conductivity, contents of chlorophyll and MDA, and SOD activity in leaf of three species were also compared and analyzed under natural low temperature conditions (15 ℃, 10 ℃, 5 ℃, 3 ℃, 0 ℃ and -2 ℃). The results show that under simulated low temperature conditions, relative electric conductivity and damage rate of *in vitro* leaf of three species all increase gradually with decreasing of temperature, and generally have significant difference ($P<0.05$) with those of the control (25 ℃). According to Logistic equation, LT_{50} of *D. minor* var. *amoenus*, *D. brandisii* and *D. sapidus* calculated is -3.07 ℃, -1.83 ℃ and -1.40 ℃, respectively. Under natural low temperature conditions with daily minimum

temperature higher than 5 °C, three species leaves all grow normally, but as temperature decreasing, leaves appear gradually water-soaked spots, chlorosis until withered and abscission, in which, damage symptom of *D. sapidus* leaf is the most serious. Under natural low temperature conditions, chlorophyll content in leaf of three species appears decreasing trend generally, relative electric conductivity increases gradually with decreasing of daily minimum temperature, while MDA content and SOD activity appear the fluctuation tendency. Compared with daily minimum temperature of 15 °C, decreasing range of chlorophyll content and SOD activity in leaf of *D. sapidu* is the greatest but that of *D. minor* var. *amoenus* is the least, and relative electric conductivity of *D. sapidus* is the highest while that of *D. minor* var. *amoenus* is the lowest under daily minimum temperature of -2 °C. According to LT_{50} and changes of morphological and physiological indexes, it is determined that cold resistance of three bamboo species are all weak, in which, that of *D. sapidus* is the weakest.

Key words: *Dendrocalamus* Nees; semilethal low temperature (LT_{50}); simulated low temperature; natural low temperature; physiological index; cold resistance

中国有丛生竹 250 余种,种质资源丰富,其中许多竹种的竹笋可供食用。丛生笋用竹普遍栽培于热带、南亚热带、南亚热带与中亚热带气候过渡区的竹产区,在中国主要栽培于福建、广东、广西、云南、贵州和浙江等省区^[1]。丛生笋用竹具有繁殖容易、成林速度快、笋期长、竹笋产量高、经济效益好等特点,是夏、秋季深受人们喜爱的森林蔬菜,在区域特色竹产业和生态环境建设中发挥着重要作用,是区域农村经济社会发展的重要资源。但丛生竹抗寒性比散生竹差,且多不耐低温^[2],因而,低温胁迫不仅影响丛生竹的生长发育,也是丛生竹竹种“南竹北移”的主要限制因子^[3]。目前丛生竹耐寒性研究多集中在对竹种冻害的调查分析^[4-6],从生理生化水平研究低温胁迫对丛生竹生长影响的研究报道尚不多见^[7-8]。

目前,国内外评价林木抗寒性的主要指标包括形态指标、理化指标以及代谢指标等,其中,细胞膜结构的稳定性是植物抗寒性的关键标志,而相对电导率则是反映细胞质膜透性的重要指标,因此,利用相对电导率、结合 Logistic 方程推导低温半致死温度(LT_{50}),能准确反映植物抗寒能力和所能耐受的低温极限,该方法在竹子抗寒性研究方面已有所应用^[9-10]。此外,植物在低温胁迫条件下受到的伤害与一些毒害物质(如氧自由基和过氧化物等)大量积累所引起的膜脂过氧化作用增强、丙二醛(MDA)含量增高等现象有关^[11-12];而在逆境条件下,细胞内超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)等保护酶被激活,以清除植物体内的自由基和活性氧,减轻细胞膜系统的伤害^[13-14]。因而,这些指标特征的变化也是低温胁迫条件下植物抗寒性的评价指标。

作者以牡竹属(*Dendrocalamus* Nees)的清甜竹

(*D. sapidus* Q. H. Dai et D. Y. Huang)、花吊丝竹 [*D. minor* var. *amoenus* (Q. H. Dai et C. F. Huang) Hsueh et D. Z. Li] 和勃氏甜龙竹 [*D. brandisii* (Munro) Kurz] 3 种优良丛生笋用竹种为实验对象,分析了不同模拟低温条件下 3 个竹种离体叶片的相对电导率和伤害率,并进行了 Logistic 方程拟合分析;同时还对不同自然低温条件下 3 个竹种叶片的形态及主要生理指标(相对电导率、叶绿素含量、MDA 含量和 SOD 活性)变化进行了测定和分析,以比较 3 个竹种的耐寒能力,以期为丛生笋用竹种的区域引种栽培或抗寒竹种筛选研究提供实验依据。

1 研究地概况和研究方法

1.1 研究地概况

研究地位于浙江省富阳市中国林业科学研究院亚热带林业研究所种苗圃内,具体地理坐标为东经 119°57'、北纬 30°04',属亚热带季风气候。年平均气温 16.2 °C,最热月的平均气温 28.7 °C,最冷月的平均气温 3.6 °C,极端最高气温 40.2 °C,极端最低气温 -14.4 °C;年均无霜期 196 d;年均降水量 1 464 mm,年均蒸发量 1 392 mm,年均空气相对湿度 75%。

1.2 研究材料

供试的勃氏甜龙竹、花吊丝竹和清甜竹 3 种优良丛生笋用竹种均来源于福建省华安县竹类植物园。2008 年 4 月,选取立竹地径基本一致 [(2.0 ± 0.2) cm] 且生长健壮的 2 年生竹秆插苗,栽植于上口直径 35 cm、下口直径 32 cm、高度 35 cm 的塑料容器中,每盆栽植 1 株,每一竹种各栽植 30 盆。盆栽基质为 V(红壤):V(细沙)=3:2 的混合基质(pH 4.99),盆栽

基质中有机质含量为 $20.32\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全N、全P和全K含量分别为 0.89 、 0.86 和 $8.40\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效N、速效P和速效K含量分别为 75.28 、 5.30 和 $45.59\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。盆栽实验期间竹苗需定期补充水分并及时去除笋芽和杂草等。

1.3 研究方法

1.3.1 离体叶片的低温胁迫实验及低温半致死温度测定 按照梁莉等^[15]的方法设置模拟低温胁迫条件,温度梯度为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。将体积分数95%乙醇置于密闭容器内于低温冰箱($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$)中过夜,根据低温胁迫实验设置要求按不同比例将其与室温($25\text{ }^{\circ}\text{C}$)下的体积分数95%乙醇混合后置于保温瓶内(经检测保温瓶的保温性能良好且较一致,3 h内温度变化在 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 内),对照为室温下的体积分数95%乙醇。

于2008年9月15日,取3个竹种立竹梢部枝条上生长正常的叶片,每个竹种取15片叶,用打孔器在叶片上取直径 0.5 cm 小圆片,自来水冲洗30 min后用去离子水冲洗3次,置于装有干燥滤纸的离心管中, $1\,000\text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心5 min以去除表面的水分;在每个乳胶套内放20个小圆片,扎紧并系上重物后分别放入上述保温瓶内,处理1 h后取出。各加入5 mL去离子水,于 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保温1 h后用DDSJ-308A型电导仪(上海精密科学仪器有限公司生产)测定电导率(E_1);再于 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 沸水浴中保温15 min,冷却至室温后测定电导率(E_2);根据公式“相对电导率(R)= $(E_1/E_2)\times 100\%$ ”和“伤害率(I)=[($R-R_c$)/($1-R_c$)] $\times 100\%$ ”^[16]计算各处理叶片的相对电导率和伤害率, R_c 为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的相对电导率。每一温度处理均设3次重复。

用Logistic方程“ $y=k/(1+ae^{-bx})$ ”对处理温度和对应的相对电导率进行拟合,式中, y 为低温处理下的相对电导率; x 为处理温度; k 、 a 和 b 均为参数,其中 k 为 y 的最大极限值, b 反映了 x 和 y 之间的对应关系, a 表示曲线对原点的相对位置。计算该方程的二阶导数并令其为零,即可获得曲线的拐点 d^2y/d^2x 的 x 值,即 $x=\ln a/b$,所得的 x 值即为低温半致死温度(LT_{50})^[17-18]。

1.3.2 盆栽苗的低温胁迫实验及生理指标测定 在气温变化明显的季节(2008年9月至2009年3月)将3个竹种的盆栽苗置于自然条件下实施低温胁迫实验,胁迫期间空气相对湿度均在70%以上。在自

然降温过程中,用温度计逐日测定最低气温,达到实验设定的温度范围(日最低气温为 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$)时取叶片测定生理指标。每处理10盆,并重复3次。

在当日最低温度分别达到 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2008年10月27日)、 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2008年11月10日)、 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2008年11月29日)、 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2008年12月4日)、 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2008年12月25日)、 $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2009年1月5日)和 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2009年1月25日)2 d后,于第3天8:00左右采集立竹梢部的功能叶(混合取样),分别用于各项生理指标测定(由于 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时叶片冻害严重,故未进行生理指标测定)。取样前观察叶片受冻情况,取样时气温和日最低气温的差值均在 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ~ $1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[19]。

将样叶洗净并用去离子水漂洗3次,吸干叶表面水分,剪取叶片中部用于各项生理指标的测定,均设3次重复。采用改良光合色素浸提法^[20]测定叶片叶绿素含量;细胞质膜透性用相对电导率表示,采用DDSJ-308A型电导仪测定^[21];采用硫代巴比妥酸法^{[22]260-261}测定丙二醛(MDA)含量;采用氮蓝四唑(NBT)法^{[22]167-169}测定超氧化物歧化酶(SOD)活性。

1.4 数据处理与统计分析

采用Excel 2003统计分析软件对实验数据进行整理和图表制作,并采用SPSS 17.0统计分析软件分别在0.05和0.01水平上进行差异显著性分析。

2 结果和分析

2.1 3种丛生笋用竹离体叶片抗寒性相关指标分析

2.1.1 叶片相对电导率和伤害率分析 模拟低温条件下,3种丛生笋用竹离体叶片的相对电导率及伤害率见表1。由表1可以看出:3种丛生笋用竹离体叶片的相对电导率均随模拟温度的降低而增大,但降温过程中叶片相对电导率的增幅并不均匀,变化节律表现为“慢—快—慢—快”。其中,从室温($25\text{ }^{\circ}\text{C}$)降到 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$,叶片相对电导率缓慢增大,仅清甜竹叶片的相对电导率有极显著变化;从 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 至 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$,随温度降低,叶片相对电导率急剧增大,且3个竹种的相对电导率变化极显著;当温度降到 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 至 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,叶片相对电导率则缓慢增大并趋于相对稳定,3个竹种相对电导率的变化不显著;随温度继续降低($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 至 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$),叶片相对电导率又急剧升高,直至趋于100%,且3个竹种相对电导率的变化极显著。

表1 模拟低温条件下3种丛生笋用竹离体叶片相对电导率和伤害率的比较($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

Table 1 Comparison of relative electric conductivity and damage rate of *in vitro* leaf of three sympodial bamboo species under simulated low temperature conditions ($\bar{X} \pm SD$)¹⁾

温度/℃ Temperature	3个竹种的相对电导率/% Relative electric conductivity of three bamboo species			3个竹种的伤害率/% Damage rate of three bamboo species		
	DMA	DB	DS	DMA	DB	DS
25(CK)	9.30±1.30dD	12.72±3.06cC	15.08±2.02dD	-	-	-
0	12.85±2.29dD	23.00±5.51cC	30.31±9.69cC	3.92±1.22dC	11.56±9.29cC	18.04±10.18cC
-5	51.57±1.70cC	63.32±6.05bB	69.88±5.34bB	46.58±2.57cB	57.79±8.21bB	64.44±7.02bB
-10	65.79±3.07bB	70.26±7.72bB	70.13±2.42bB	62.25±3.88bAB	65.97±8.68bB	64.82±2.80bB
-15	66.27±8.97bAB	73.50±2.55bB	70.15±7.81bB	62.83±9.80bAB	69.55±3.95bB	64.70±9.96bB
-20	67.52±4.18bAB	69.58±8.50bB	72.13±4.93bB	64.17±4.82bA	65.31±8.58bAB	67.09±6.46bB
-25	80.30±8.57aA	90.50±5.73aA	89.30±1.63aA	78.19±9.70aA	88.97±6.79aA	87.36±2.24aA

¹⁾ DMA: 花吊丝竹 *Dendrocalamus minor* var. *amoenus* (Q. H. Dai et C. F. Huang) Hsueh et D. Z. Li; DB: 勃氏甜龙竹 *D. brandisii* (Munro) Kurz; DS: 清甜竹 *D. sapidus* Q. H. Dai et D. Y. Huang. 同列中不同的小写字母和大写字母分别表示差异显著和极显著($P=0.05$, $P=0.01$). Different small letters and capitals in the same column indicate the significant and extremely significant differences, respectively ($P=0.05$, $P=0.01$).

由表1还可见:经不同低温处理后3个竹种叶片伤害率的变化趋势与相对电导率相似。 -5°C 条件下3个竹种的叶片伤害率均极显著高于 0°C 条件下,清甜竹、勃氏甜龙竹和花吊丝竹的叶片伤害率分别为64.44%、57.79%和46.58%;随温度进一步降低,3个竹种的叶片伤害率均逐渐增大,但 -10°C 、 -15°C 和 -20°C 处理组间差异不显著;在 -25°C 条件下花吊丝竹、勃氏甜龙竹和清甜竹的叶片伤害率均显著高于 -20°C 条件下,说明细胞质膜受伤害程度加重。

2.1.2 低温半致死温度分析 对温度与3个竹种对应的叶片相对电导率进行Logistic方程拟合分析,获得的花吊丝竹、勃氏甜龙竹和清甜竹的Logistic方程分别为 $y=70.8996/(1+e^{1.4340+0.4674x})$ 、 $y=76.8575/(1+e^{0.8097+0.4413x})$ 和 $y=83.2451/(1+e^{0.5564+0.3978x})$,方程的拟合度(R^2)分别为0.9554、0.9110和0.9370,且拟合度均达到极显著水平($P<0.01$),说明获得的Logistic方程可靠性较强。

根据Logistic方程进一步计算得出花吊丝竹、勃氏甜龙竹和清甜竹的低温半致死温度(LT_{50}),分别为 -3.07°C 、 -1.83°C 和 -1.40°C 。并据此推断3个竹种间的抗寒性从强到弱依次为花吊丝竹、勃氏甜龙竹、清甜竹。

2.2 自然低温条件下3种丛生笋用竹叶片的形态和生理指标变化

2.2.1 形态变化 在 15°C 、 10°C 、 5°C 、 3°C 、 0°C 和 -2°C 自然低温条件下,3个竹种的外部形态有不同的变化。日最低温度大于 5°C ,3个竹种的叶片均能够正常生长;日最低气温为 3°C ,花吊丝竹的叶片生长正常,勃氏甜龙竹有少量植株先端叶片边缘变黄,而

清甜竹先端叶片出现水浸斑点;日最低气温为 0°C ,花吊丝竹顶部少量叶片自尖端边缘出现蔫枯现象但未见整片叶面变黄,勃氏甜龙竹叶片出现水浸斑点,清甜竹基部叶片失绿且枝梢叶片开始干枯;日最低气温达 -2°C ,花吊丝竹有15%叶片变为暗绿色且枝梢顶端的部分叶片出现蔫枯现象,勃氏甜龙竹有20%的叶片变为暗绿色,清甜竹则有50%以上的叶片干枯;日最低气温达到 -5°C ,花吊丝竹叶片变黄并失水卷曲、约10%叶片干枯,勃氏甜龙竹约有60%叶片失绿干枯,清甜竹90%以上的叶片脱落,约有20%的竹枝干枯。由上述叶片的形态变化可见清甜竹受伤害最严重。

2.2.2 叶绿素含量的变化 在 15°C 、 10°C 、 5°C 、 3°C 、 0°C 和 -2°C 自然低温条件下,3个竹种叶片叶绿素含量的测定结果见表2。实验结果表明:在自然降温范围内,3种丛生笋用竹叶片的叶绿素含量随气温的降低总体上呈下降趋势,且在同一温度条件下3个竹种的叶片叶绿素含量变化幅度有一定的差异。与日最低气温 15°C 相比,日最低气温 -2°C 时清甜竹和勃氏甜龙竹的叶片叶绿素含量降幅较大,分别达到86.50%和80.38%,而花吊丝竹的叶片叶绿素含量降幅相对较小,为58.01%。

差异显著性分析结果表明:在日最低气温 3°C 、 0°C 和 -2°C 条件下,花吊丝竹和勃氏甜龙竹叶片的叶绿素含量显著低于 15°C 条件下;而在 10°C 条件下清甜竹叶片叶绿素含量极显著低于 15°C 条件下,说明 10°C 的低温即可影响清甜竹叶片的叶绿素合成。

2.2.3 相对电导率的变化 在 15°C 、 10°C 、 5°C 、 3°C 、 0°C 和 -2°C 自然低温条件下,3个竹种叶片相

对电导率的比较结果见表2。实验结果表明:自然降温过程中,3种丛生笋用竹叶片的相对电导率总体上随气温的降低而逐渐增大,即气温越低细胞膜的透性越大,说明低温对细胞膜造成的损伤越大。日最低气温高于5℃,3个竹种的叶片相对电导率随气温降低而缓慢增大,但基本无显著差异。日最低气温降低到3℃及以下,3个竹种叶片的相对电导率显著增大。

差异显著性分析结果表明:与日最低气温15℃相比,在日最低气温3℃及以下条件下,3个竹种叶片的相对电导率均极显著($P<0.01$)或显著($P<0.05$)增大。

2.2.4 MDA含量的变化 在低温胁迫下,植物细胞内发生膜脂过氧化反应,MDA是膜脂过氧化反应的最终分解产物,MDA的积累可能会对质膜和细胞造成伤害。在15℃、10℃、5℃、3℃、0℃和-2℃自然低温条件下,3个竹种叶片的MDA含量见表2。结果表明:随气温的降低,3个竹种叶片的MDA含量呈现波动的趋势,但三者的波动幅度有差异。与日最低气温15℃相比,在日最低气温10℃时花吊丝竹和勃氏甜龙竹叶片的MDA含量极显著升高($P<0.01$),而清甜竹叶片的MDA含量也有所增加但差异不显著;在日最低气温5℃时,3个竹种叶片的MDA含量均显著

下降且达到最低值;在日最低气温降到3℃时,3个竹种叶片的MDA含量又极显著升高,与日最低气温15℃相比,清甜竹、花吊丝竹和勃氏甜龙竹叶片MDA含量分别增加了3.80、0.59和0.34倍;在日最低气温0℃和-2℃条件下,勃氏甜龙竹和清甜竹叶片的MDA含量均持续下降,而花吊丝竹叶片的MDA含量则在日最低气温0℃的条件下有所升高,而在-2℃条件下则显著降低。

2.2.5 SOD活性的变化 在15℃、10℃、5℃、3℃、0℃和-2℃自然低温条件下,3个竹种叶片的SOD活性见表2。由表2数据可知:随气温的降低,3个竹种叶片的SOD活性呈现波动的变化趋势,但三者的波动幅度及波动规律有一定的差异。在日最低气温10℃条件下,3个竹种叶片的SOD活性均高于15℃条件下,但差异均不显著($P>0.05$);在日最低气温5℃和3℃条件下,清甜竹叶片SOD活性显著降低($P<0.05$),花吊丝竹叶片SOD活性在5℃条件下升高而在3℃条件下有所降低但差异不显著($P>0.05$),而勃氏甜龙竹叶片SOD活性在5℃条件下降低而在3℃条件下有所增加但差异均不显著;日最低气温0℃条件下,清甜竹和勃氏甜龙竹叶片SOD活性较3℃时升高,而花吊丝竹叶片SOD活性则显著降

表2 自然低温条件下3种丛生笋用竹叶片4个生理指标的比较($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

Table 2 Comparison of four physiological indexes of leaf of three sympodial bamboo species under natural low temperature conditions ($\bar{X}\pm SD$)¹⁾

温度/℃ Temperature	3个竹种的叶绿素含量/mg·g ⁻¹ Chlorophyll content of three bamboo species			3个竹种的相对电导率/% Relative electric conductivity of three bamboo species		
	DMA	DB	DS	DMA	DB	DS
15	10.36±0.85abA	15.34±0.74abA	14.74±1.35aA	20.11±4.82cC	22.70±8.59dB	27.85±5.59dC
10	11.91±1.86aA	16.23±1.32aA	10.23±1.97bB	27.55±10.86cBC	27.78±9.64dB	35.22±5.89dC
5	9.21±2.14bcAB	13.43±1.94bA	7.94±1.38bBC	28.06±5.76cBC	40.29±2.80cB	35.81±4.98dC
3	6.94±1.01cdBC	7.58±0.84cB	3.91±0.82cCD	44.69±4.51bB	70.92±2.64bB	64.40±4.75cB
0	5.97±0.36deBC	3.21±1.04dC	4.86±0.78cdD	76.29±4.50aA	70.59±8.63bA	76.77±5.98bB
-2	4.35±0.49eC	3.01±1.04dC	1.99±0.41dD	80.80±15.14aA	85.31±4.93aA	95.00±4.91aa

温度/℃ Temperature	3个竹种的MDA含量/μmol·g ⁻¹ MDA content of three bamboo species			3个竹种的SOD活性/U·min ⁻¹ ·g ⁻¹ SOD activity of three bamboo species		
	DMA	DB	DS	DMA	DB	DS
15	8.29±0.90bcdBC	9.48±1.52bBC	9.51±2.02cC	1 248±161.97aA	1 266±31.05abA	1 047±68.40abA
10	20.28±7.11aA	15.40±1.86aA	11.29±2.14cC	1 297±227.79aA	1 300±221.62abA	1 167±147.01aA
5	2.56±0.61dC	3.39±0.86cD	2.33±0.96dC	1 294±96.95aA	1 093±18.33bA	850±223.00bcAB
3	13.20±2.74bcAB	12.70±2.36aAB	45.62±4.78aA	1 197±204.36aAB	1 295±77.31abA	531±113.12dB
0	13.92±1.79bAB	9.01±1.28bBC	21.82±5.01bB	803±176.12bBC	1 376±63.24aA	683±125.65cdB
-2	7.30±2.29cdBC	6.70±1.26bCD	10.90±4.06cC	679±123.12bC	472±116.51cB	120±15.72eC

¹⁾ DMA: 花吊丝竹 *Dendrocalamus minor* var. *amoenus* (Q. H. Dai et C. F. Huang) Hsueh et D. Z. Li; DB: 勃氏甜龙竹 *D. brandisii* (Munro) Kurz; DS: 清甜竹 *D. sapidus* Q. H. Dai et D. Y. Huang. 同列中不同的小写字母和大写字母分别表示差异显著或极显著($P=0.05, P=0.01$)。不同小写字母和大写字母在同列中表示差异不显著($P>0.05$)。不同的小写字母和大写字母在同列中表示差异不显著($P>0.05$)。

低;在日最低气温-2 ℃条件下,3个竹种叶片的SOD活性均最低,与日最低气温15 ℃相比,清甜竹、花吊丝竹和勃氏甜龙竹叶片SOD活性的降幅分别为88.54%、45.59%和62.72%。

3 讨论和结论

膜系统是植物遭受低温伤害和抗低温伤害的关键结构^[23],低温对膜的伤害可导致电解质渗透率增加,采用简便、灵敏的电导率检测法并配合Logistic方程可计算出植物的低温半致死温度(LT_{50})^[16,24-25]。实验结果显示:处理低温与供试的3个竹种叶片相对电导率的Logistic方程拟合度达极显著水平,由此得出的花吊丝竹、勃氏甜龙竹和清甜竹3个竹种的 LT_{50} 均较高,分别为-3.07 ℃、-1.83 ℃和-1.40 ℃,说明这3个竹种的耐寒性均较差,在进行竹种区域性推广时可将 LT_{50} 作为参考指标之一。

低温能够加剧叶绿体的降解并抑制其合成,因此叶绿素含量的变化也能反映低温对植物的伤害程度^[26-28]。研究结果表明:在自然越冬过程中,随温度的降低,3种丛生笋用竹叶片叶绿素含量总体上呈逐渐下降的趋势,3个竹种的叶片叶绿素含量的降幅有较大差异,降低幅度最大的为清甜竹,最小的为花吊丝竹。

在逆境胁迫或衰老过程中,植物细胞内自由基代谢的平衡被破坏,大量的自由基可引发或加剧膜脂过氧化作用,造成细胞膜系统的损伤,严重时可导致植物细胞死亡。MDA是膜脂过氧化的产物,细胞内MDA的积累会加剧膜脂过氧化,其含量变化可反映出植物体受到逆境过氧化伤害的程度,体现出质膜过氧化作用的强弱^[29-30]。由3个竹种叶片MDA含量变化趋势可见:在自然低温条件下,10 ℃时叶片细胞膜即受到伤害,MDA含量明显增加;而当温度降至5 ℃时MDA含量显著减少,则可能是由于在胁迫过程中植物通过增加保护酶的活性抵抗低温的伤害,抑制膜脂过氧化作用,致使MDA含量下降;但植物的自我保护能力是有限的,当温度进一步降低(3 ℃和0 ℃)后,对3个竹种的伤害超出了它们的自我保护能力,膜脂过氧化作用加剧,MDA含量达到峰值;3 ℃条件下清甜竹叶片MDA含量比15 ℃条件下增加了3.80倍,花吊丝竹增加了0.59倍,而勃氏甜龙竹只增加了0.34倍,说明在3 ℃时,清甜竹已经受到明显的低温

伤害,这与叶绿素含量、SOD活性和相对电导率的测定结果以及叶片受冷害后植株形态变化均较为一致。推测在低于3 ℃的条件下,清甜竹叶片MDA含量下降的原因可能与低温导致部分细胞死亡、丧失生理功能、代谢产物减少有关。

综合考虑花吊丝竹、勃氏甜龙竹和清甜竹3个竹种的 LT_{50} 和自然低温条件下3个竹种叶片形态及部分生理指标的变化,可以认为3个竹种的抗寒性均较差,但三者中,花吊丝竹的抗寒能力相对较强,而清甜竹的抗寒能力最弱。

参考文献:

- [1] 江泽慧, 萧江华, 许煌灿. 世界竹藤[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2002: 3-4.
- [2] 马乃训. 国产丛生竹类资源与利用[J]. 竹子研究汇刊, 2004, 23(1): 1-5.
- [3] 易守理, 雷霆, 高素萍. 低温胁迫对两种丛生竹抗氧化剂活性影响的研究[J]. 北方园艺, 2010(19): 153-156.
- [4] 孙鹏, 吴越华, 马光良, 等. 四川秦巴山区引种丛生竹冻害初报[J]. 世界竹藤通讯, 2006, 4(2): 14-17.
- [5] 苏福妹, 李沛然. 丛生竹冻害成因及防冻与发展措施[J]. 江西林业科技, 2008(5): 26-27, 35.
- [6] 蒋俊明, 李本祥, 蒋南青, 等. 2008年南方雪灾对川南丛生竹的影响[J]. 林业科学, 2008, 44(11): 141-144.
- [7] 马兰涛, 陈双林, 李迎春. 低温胁迫对Guadua amplexifolia抗寒性生理指标的影响[J]. 林业科学研究, 2008, 21(2): 235-238.
- [8] 张玮, 谢锦忠, 吴继林, 等. 低温驯化对部分丛生竹种叶片膜脂脂肪酸的影响[J]. 林业科学研究, 2009, 22(1): 139-143.
- [9] 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.
- [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] 杜永吉, 于磊, 孙吉雄, 等. 结缕草品种抗寒性和抗寒机理研究[J]. 草地学报, 2008, 16(4): 347-352.
- [12] 应叶青, 魏建芬, 郭璟, 等. 自然低温对红秆寒竹生理特性的影响[J]. 竹子研究汇刊, 2010, 29(3): 10-14.
- [13] 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.
- [14] 万红, 刘惠民, 何承忠, 等. 自然低温胁迫下腰果幼苗抗寒生理指标的研究[J]. 北方园艺, 2011(12): 42-44.
- [15] 梁莉, 谈锋. 四川大头茶低温半致死温度与对低温的适应性[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 1997, 22(4): 463-465.
- [16] 曹红星, 宋唯一, 孙程旭, 等. 应用电导率法及Logistic方程测试椰子幼苗耐寒性研究[J]. 广西植物, 2009, 29(4): 510-513.

- [17] 盖钩鑑. 试验统计方法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 217–218.
- [18] 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.
- [19] 段若溪. 农业气象学 [M]. 北京: 气象出版社, 2005: 42–45.
- [20] 张宪政, 陈凤玉, 王荣富, 等. 植物生理学试验技术 [M]. 2 版. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1994: 164–165.
- [21] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验指导 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2002: 10–124.
- [22] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 1 版. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [23] 刘颖, 沈益新, 顾洪如, 等. 两种结缕草品种对低温胁迫的生理响应研究 [J]. 草地学报, 2010, 18(2): 228–232.
- [24] 徐康, 夏宜平, 徐碧玉, 等. 以电导法配合 Logistic 方程确定茶梅‘小玫瑰’的抗寒性 [J]. 园艺学报, 2005, 32(1): 148–150.
- [25] 宣继萍, 刘建秀. 培用狗牙根 (*Cynodon* spp.) 优良品种(选系)的抗寒性初步鉴定 [J]. 植物资源与环境学报, 2003, 12(2): 28–32.
- [26] 黄秋凤, 罗兴录, 王春莲, 等. 低温胁迫对木薯幼苗生理特性的影响 [J]. 中国农学通报, 2010, 26(17): 172–177.
- [27] 岳海, 李国华, 李国伟, 等. 澳洲坚果不同品种耐寒特性的研究 [J]. 园艺学报, 2010, 37(1): 31–38.
- [28] 何跃君, 薛立, 任向荣, 等. 低温胁迫对六种苗木生理特性的影响 [J]. 生态学杂志, 2008, 27(4): 524–531.
- [29] 严寒静, 谈峰. 桔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.
- [30] 张玉翠, 王连翠. 低温对茶树叶片膜透性和保护酶活性的影响 [J]. 北方园艺, 2010(9): 38–40.

(责任编辑: 佟金凤)

2013年《植物分类与资源学报》征订启事

《植物分类与资源学报》(原刊名《云南植物研究》)创刊于1979年, 是由中国科学院主管、中国科学院昆明植物研究所及中国植物学会承办的全国性自然科学学术期刊。经过30多年的努力, 现已成为国内与植物科学研究相关的主要学术性期刊之一, 目前已成为“中国科技论文统计源期刊”、“中国科技核心期刊”、“中国科学引文数据库来源期刊”及《中文核心期刊要目总览》(2011版)来源期刊。本刊所发表的论文在国内生物、农林、医药、轻工等二次文献刊物中均有收录;国外美国《化学文摘》(CA)、美国《生物学文摘》(BA)、生物科学的当代进展(CABS)、俄罗斯《文摘杂志》(PK)、国际农业科技情报系统(Agris)、国际农业与生物科学研究中心(CABI)数据库等均有收录;乌利希国际期刊指南(UIPD)自20世纪80年代就刊载本刊的相关出版事宜。本刊已同30多个国家和地区有发行和交换关系, 目前已加入中国学术期刊光盘版、中国学术期刊网及万方数据库资源系统。

本刊主要刊登以下列内容为主的原创性论文、简报和综述(以约稿为主):广义植物系统学相关学科,包括植物分类学、系统学、命名法、系统发生、植物区系和生物地理学;植物多样性保护及植物资源的可持续性利用,包括植物分子生物学、植物生理学、植物生态学、植物化学及民族植物学;植物资源管理和监测;农业、林业、园艺及药用植物资源利用与保护。研究对象以野生植物为主,兼顾引种驯化后的野生物种;分布地以中国及喜马拉雅地区为主,兼顾其他地区。

本刊为双月刊,单月25日出版;国内外公开发行,各地邮局均可订阅,邮发代号64-11;2013年每期定价25元。若在邮局漏订的读者可直接与编辑部联系订阅。编辑部地址:云南昆明市蓝黑路132号 中国科学院昆明植物研究所(邮编650201);E-mail: bianji@mail.kib.ac.cn, linnana@mail.kib.ac.cn;网址: <http://www.journal.kib.ac.cn>;电话(传真):0871-5223032。

欢迎订阅! 欢迎投稿!