

4个绿竹地理种源的抗寒性

黄耀华¹, 郑蓉², 邵继锋¹, 方伟¹

(1. 浙江林学院 浙江省现代森林培育技术重点实验室, 浙江 临安 311300; 2. 福建省林业科学研究院, 福建 福州 350012)

摘要: 为探明4个绿竹 *Dendrocalamopsis oldhami* 地理种源的抗寒特性, 测定了它们在越冬期间叶片低温半致死温度 (LT₅₀)、过氧化物酶(POD)活性、丙二醛(MDA)、脯氨酸和可溶性蛋白质量分数的动态变化。结果表明: 越冬过程中, 4个绿竹地理种源的 LT₅₀ 值均随温度的下降而下降, 并在1月份降到-5.10~-8.14℃; 各地理种源绿竹的 POD 活性、MDA 质量摩尔浓度和脯氨酸质量分数均随着气温的升高而增加, 但上升幅度因种源而异。各抗寒指标的相关分析表明, 可溶性蛋白与 POD、MDA 和脯氨酸、POD 和脯氨酸均呈极显著负相关 ($P<0.01$); 纬度与 LT₅₀ 和 MDA 均呈显著负相关 ($P<0.05$); POD 与脯氨酸, LT₅₀ 与可溶性蛋白均呈极显著正相关 ($P<0.01$)。采用主成分分析法进行抗寒综合评价表明: 4个绿竹种源抗寒能力排序为温州种源>福安种源>尤溪种源>漳州种源。图7表6参16

关键词: 植物学; 绿竹; 半致死温度; 丙二醛; 抗寒性; 种源

中图分类号: S795.5; Q948.112 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5692(2009)02-0188-08

Cold resistance in *Dendrocalamopsis oldhami* from four different geographical provenances

HUANG Yao-hua¹, ZHENG Rong², SHAO Ji-feng¹, FANG Wei¹

(1. The Key Laboratory for Modern Silvicultural Technology of Zhejiang Province, Zhejiang Forestry College, Lin'an 311300, Zhejiang; China; 2. Fujian Forestry Academy, Fuzhou 350012, Fujian, China;)

Abstract: To determine cold resistance of *Dendrocalamopsis oldhami* from four different geographical provenances (Wenzhou, Fu'an, Youxi, and Zhangzhou), changes in semilethal temperature (LT₅₀); peroxidase (POD) activities, malondialdehyde (MDA), proline and soluble protein content over the course of a winter were compared. Results showed that from the four different geographical provenances the semilethal temperature of *Dendrocalamopsis oldhami* decreased with the drop in temperature, and decreased to -5.1 to -8.1 °C in January. Over the winter, POD, MDA, and proline content increased with the drop in temperature, but the ranges differed for different geographical provenances. The correlation analysis showed significant, negative correlations between soluble protein in and POD ($P<0.01$), MDA ($P<0.01$), and proline ($P<0.01$); between POD and proline ($P<0.01$); and between latitude and LT₅₀ ($P<0.05$) and MDA ($P<0.05$). However, there was a highly significant, positive correlation between POD and proline ($P<0.01$), LT₅₀ and soluble protein ($P<0.01$). Principal component analysis indicated that cold-resistance of Wenzhou provenance was best, followed by Fu'an, Youxi, and Zhangzhou provenances. [Ch, 7 fig. 6 tab. 16 ref.]

Key words: botany; *Dendrocalamopsis oldhami*; semilethal temperature; malondialdehyde(MDA); cold-resistance; provenances

收稿日期: 2008-09-19; 修回日期: 2008-11-15

基金项目: 浙江省重大科技攻关项目(2004C12034, 2006C12008); 浙江省新苗人才计划项目(2007R40G2100022)

作者简介: 黄耀华, 从事竹林培育与利用研究。E-mail: hyh212@163.com。通信作者: 方伟, 教授, 博士, 从事森林培育学研究。E-mail: fwl@zjfc.edu.cn

植物的抗寒能力因种类而异。通过抗寒性鉴定,可以测定不同植物对低温的适应能力,而低温半致死温度(LT₅₀)作为植物抗寒性的生态指标,反映了温度和植物抗寒性之间的数量关系,能较直观且准确地反映植物的抗寒力和所能容忍的低温极限^[1-3]。丙二醛(MDA)是膜脂氧化的最终产物,直接影响膜上结合酶的比例和活性,过量的 MDA 使代谢失调,并对细胞产生毒害作用;脯氨酸作为渗透调节物质,通过保护酶的空间结构,提供足够的自由水及生理活性物质对细胞起保护作用^[4]。把自然降温过程中的保护酶活性、脯氨酸、MDA 和可溶性蛋白的动态变化与半致死温度的变化联系起来将有助于考察植物的抗寒性的变化,探讨抗寒性的形成机制。绿竹 *Dendrocalamopsis oldhami* 属禾本科 Gramineae 竹亚科 Bambusoideae 绿竹属 *Dendrocalamopsis* 之模式种,是绿竹属中利用价值最高,分布栽培最广的竹种,亦是亚热带地区优良速生的丛生竹种之一^[5]。近年来,许多学者进行了大量的引种试验,研究发现低温是限制绿竹进一步推广的主要因素之一^[6-7]。为了深入了解绿竹的抗寒特性,选育出抗寒能力强的绿竹优质种质,作者测定了低温条件下 4 个绿竹种源的生理生态指标的变化,了解其抗寒性变化规律。

1 试验地概况

试验地位于福建省福安市绿竹科技示范园,26°30'N,119°36'E,属中亚热带海洋性季风气候。光照充足,雨水充沛,年降水量为 1 350 ~ 2 050 mm,年平均气温为 15.0 ~ 20.0 °C,1 月平均气温 9.6 °C,7 月平均气温为 24.0 ~ 30.0 °C,极端最高气温 43.2 °C,极端最低气温 -5.2 °C,年平均相对湿度 78% ~ 83%,无霜期 285 d。土壤为肥沃的沙壤土,微酸性,是绿竹生长的适宜地区。

2 材料和方法

2.1 试验材料

试验材料来源于福安绿竹种源试验林^[8]。4 个地理种源样地分别位于绿竹分布区的东、西、南、北部,原产地概况见表 1。分别于 2007 年 11 月 22 日和 12 月 12 日,2008 年 1 月 2 日和 2 月 2 日,每个地理种源选取 5 株 1 年生竹,采集竹秆中部向阳面当年生枝条顶端向下数第 2 ~ 6 片生长充实的功能叶,取其中部分叶片立即测定低温半致死温度,其余叶片置于(-68 ± 5) °C 低温冰箱保存,用于其他生理指标测定(重复 3 次)。

表 1 4 个绿竹地理种源的地理位置和气候因子

Table 1 Geographical location and climatic factors of *Dendrocalamopsis oldhami* from four different geographical provenances

编号	种源	地理坐标		年均气温 / °C	1 月平均气温 / °C	年最低气温 / °C	≥10 °C 年积温 / °C	无霜期 / d	降水量 / mm	海拔 / m	土壤类型
		N	E								
1	浙江温州	27°30'	120°23'	17.9	7.6	-7.0	5 600 ~ 5 700	277	1 647	80	砂壤土
2	福建福安	27°06'	119°40'	19.3	10.4	-5.2	6 219	285	2 050	100	砂壤土
3	福建尤溪	25°58'	118°09'	18.9	8.0	-6.0	6 677	312	1 600 ~ 1 800	100	山地红壤
4	福建漳州	24°20'	117°10'	21.0	10.4	-6.0	7 701	328	1 500	100	红壤

2.2 试验地自然降温过程中月平均最高气温和最低气温的变化

2007 年 11 月至 2008 年 2 月,利用最高温度和最低温度计实测试验地每日的最高和最低温度,统计每月平均最高气温和最低气温(图 1),试验地气温在实测期间呈现先降后升的变化趋势,月平均温最低值为 1 月。

2.3 试验方法

2.3.1 低温半致死温度测定 按梁莉等^[9]的方法将工业乙醇置于密闭的容器于低温冰箱(-40 °C)中过夜,以得到较低温度的乙醇,将它与室温下的乙醇按不同比例在保温桶内混合,得到 0, -2, -4, -6, -8, -10, -12 和 -14 °C 乙醇。保温桶的保温性能良好,3 h 内温度变化在 1 °C 以内。分别取

样品 5 g 用自来水冲洗 0.5 h 后, 用去离子水冲洗 3 次, 然后以 $1\ 000\ \text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ 离心 2 min 甩去表面水分。每个乳胶指套内放 0.5 g 叶片, 再将指套分别置于不同温度的保温桶内 1 h 后取出, 将叶片放入试管中, 各加入 5 mL 蒸馏水, 然后置干燥器中抽真空 0.5 h, 于 $30\ ^\circ\text{C}$ 保温 1 h 后于室温下测定其电导率, 再于 $100\ ^\circ\text{C}$ 沸水浴 15 min 后测定其电导率, 两值之比为相对电导率。再通过 Logistic 方程 $y = k/(1 + ae^{-bt})$ 拟合曲线, 求得半致死温度。

2.3.2 生理指标测定 过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚比色法^[10]; 脯氨酸质量分数测定采用茚三酮比色法^[11]; 丙二醛(MDA)质量摩尔浓度测定采用硫代巴比妥酸(TBA)法^[11]; 可溶性蛋白质质量分数测定采用考马斯亮蓝 G-250 染色法^[11]。

2.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 13 统计分析软件进行处理。

3 结果与分析

3.1 不同低温处理对 4 个种源绿竹相对电导率的影响

对 2008 年 1 月 2 日所采样品经不同低温处理后进行相对电导率的测定。结果显示(图 2), 随着处理温度的下降, 各种源叶片细胞内相对电导率不断上升。相对电导率的上升是低温对叶片原生质膜透性破坏的反应, 在低温处理初期, 相对电导率上升比较缓慢, 随后在一定低温范围内相对电导率急剧升高, 再后又趋于缓升, 即相对电导率随着温度的下降呈反“S”型曲线变化。

3.2 4 个种源绿竹低温半致死温度

将 4 个地理种源绿竹的叶片组织在不同低温处理下的相对电导率用 Logistic 方程确定其半致死温度, Logistic 方程回归模型为: $y = k/(1 + ae^{-bt})$, 其中 y 代表相对电解质透率, t 代表处理温度, k 为细胞伤害率的饱和容量, a 为曲线渐进度, b 为曲线斜率。求该方程的二阶导数并使之等于 0, 即 $t = \ln a/b$, 可获得曲线拐点温度, 即半致死温度。半致死温度越低, 表明该植物抗寒性越强^[12-13]。表 2 列出了 4 个种源绿竹在不同采样期低温半致死温度。拟合度 R^2 值越大, 表明回归方程的拟合数据越好^[14]。由表 2 可知, R^2 均达到 0.905 以上, 各拟合方程均具有较好的拟合结果。

在越冬过程中, 各绿竹种源的半致死温度值为 $-2.83 \sim -8.14\ ^\circ\text{C}$, 漳州种源的最高, 尤溪和福安种源居中, 温州种源最低。从 11 月到翌年 1 月, 4 个种源绿竹的半致死温度均有不同程度的下降, 下降幅度为 $-2.27 \sim -3.66\ ^\circ\text{C}$ 。表明, 随着气温的降低, 4 个地理种源绿竹抗寒性均逐渐增强, 其中, 温州种源下降幅度最大, 其次为尤溪和福安种源, 漳州种源的降幅最低。各采样期间的变异系数均超过 10%, 最大达到 18.8%, 显示 4 个地理种源绿竹的抗寒能力有着较大差异。

3.3 4 个种源绿竹的低温半致死温度与日最低温度的相关分析

在自然越冬过程中, 4 个地理种源绿竹的半致死温度随着气温的变化而变化。对低温半致死温度

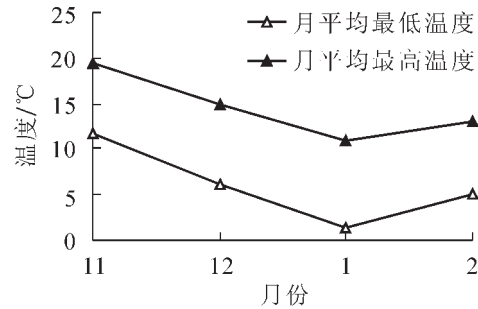


图 1 2007 年 11 月至 2008 年 2 月福安月平均最高温度和最低温度

Figure 1 Monthly even highest and lowest temperature from November 2007 to February 2008 in Fu'an City

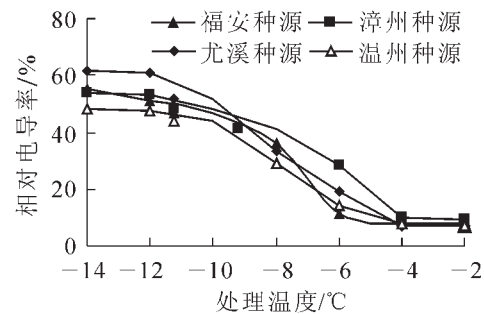


图 2 不同低温处理对 4 个种源绿竹相对电导率的影响(2008 年 1 月 2 日采样)

Figure 2 Impacts of different low-temperature treatments on relative electric conductivity of *Dendrocalamopsis oldhami* from four geographical provenances (January 2, 2008)

表 2 越冬过程中 4 个种源绿竹叶片电导率 Logistic 方程参数和低温半致死温度

Table 2 Logistic parameters and LT_{50} of *Dendrocalamopsis oldhami* from different geographical provenances during overwintering

采样日期	采样期平均 最低气温/°C	种源地	方程参数			$LT_{50}/^{\circ}C$	R^2
			a	b	k		
2007-11-22	11.6	福建福安	2.418	0.208 6	41.684	- 4.23	0.958**
		福建尤溪	2.772	0.257 0	45.449	- 3.97	0.965**
		浙江温州	3.819	0.299 4	45.462	- 4.48	0.914*
		福建漳州	2.207	0.297 7	47.988	- 2.83	0.971**
		变异系数/%	25.5	16.1	5.8	18.80	
2007-12-12	8.0	福建福安	3.807	0.248 4	42.736	- 5.38	0.925*
		福建尤溪	6.388	0.394 7	43.752	- 4.70	0.937*
		浙江温州	5.578	0.325 0	45.351	- 5.29	0.927*
		福建漳州	3.570	0.306 0	51.000	- 4.16	0.964**
		变异系数/%	28.3	18.9	8.1	11.60	
2008-01-02	1.4	福建福安	17.573	0.433 7	49.500	- 6.61	0.929*
		福建尤溪	29.111	0.486 1	62.070	- 6.93	0.911*
		浙江温州	15.358	0.335 8	57.519	- 8.14	0.968**
		福建漳州	14.850	0.529 5	53.990	- 5.10	0.962**
		变异系数/%	34.8	18.7	9.6	18.70	
2008-02-02	5.0	福建福安	23.781	0.525 9	60.511	- 6.03	0.935*
		福建尤溪	20.548	0.509 2	54.359	- 5.94	0.961**
		浙江温州	15.871	0.379 1	64.779	- 7.29	0.905*
		福建漳州	18.319	0.620 0	59.867	- 4.69	0.945*
		变异系数/%	17.1	19.5	10.5	17.70	

说明： a, b, k 分别表示曲线渐进度、曲线斜率和细胞伤害率的饱和容量；** 和 * 分别表示拟合度达到极显著和显著水平。

和月最低气温进行相关性分析(图 3)表明, 两者呈极显著相关(相关系数为 0.935 7 ~ 0.990 3), 这说明低温半致死温度与气温的变化密切相关。在自然降温过程中, 叶片抗寒能力的变化反映了气温的降温变化, 气温越高, 低温半致死温度越高, 抗寒力越低; 而随着气温的降低低温半致死温度降低, 植物抗寒力增强。

3.4 越冬期间 4 个地理种源绿竹 POD 的变化

POD 作为植物细胞内重要的保护酶之一, 在清除低温引起的 H_2O_2 中起着重要的作用^[15]。越冬过程中, 各种源绿竹的 POD 活性随着温度的升降而有着相同的先升高后降低变化规律(图 4), 但上升幅度不

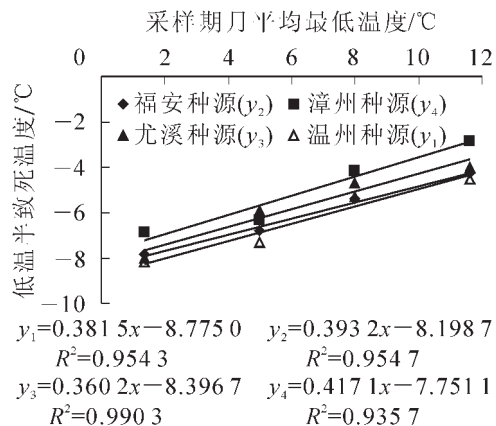


图 3 叶片低温半致死温度与月平均最低温度的相关分析

Figure 3 Correlogram between the semilethal temperature of leaves and the monthly even lowest temperature

同,温州、福安、尤溪及漳州种源分别上升 1.63, 1.56, 1.45 和 1.26 倍。

3.5 越冬期间 4 个地理种源绿竹脯氨酸的变化

图 5 表明,各地理种源绿竹脯氨酸质量分数都随着气温的升降而发生变化,但各不同种源绿竹间升降幅度各有不同,以温州种源的增加幅度最大,由 11 月 22 日的 $1.832 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 上升到 1 月 2 日的 $3.577 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, 上升了 1.93 倍;其次为尤溪和福安种源,分别上升了 1.91 和 1.81 倍。漳州种源的最低,仅上升了 1.63 倍。2 月份温度有所回升,各不同种源绿竹脯氨酸质量分数又呈下降趋势,并且表现为抗寒性强的种源下降幅度最大,抗寒性弱的种源下降幅度最小。

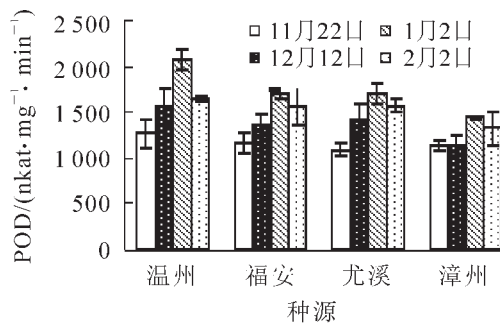


图 4 越冬过程中 4 个种源绿竹的 POD 的变化
Figure 4 Change of POD in leaves of *Dendrocalamopsis oldhami* from four geographical provenances during overwintering

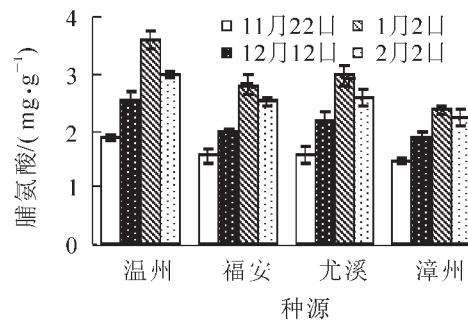


图 5 越冬过程中 4 个种源绿竹的脯氨酸的变化
Figure 5 Change of proline in leaves of *Dendrocalamopsis oldhami* from four geographical provenances during overwintering

3.6 越冬期间 4 个种源绿竹 MDA 的变化

图 6 表明,4 个种源绿竹的 MDA 的变化规律具有一致性。在 11 月 MDA 质量摩尔浓度较低,随着温度的降低,在最冷的 1 月显著升高,达到最大值,2 月温度回升时,均有所下降。4 个地理种源绿竹的 MDA 质量摩尔浓度差异显著。在整个越冬过程中,漳州种源的 MDA 质量摩尔浓度一直高于其他种源绿竹,福安和尤溪种源居中,温州种源的最低。从上升幅度来看,1 月份温州、福安、尤溪和漳州种源绿竹分别增长了 55%, 45%, 48% 和 68%, 以漳州种源上升幅度最大。

3.7 越冬期间 4 个种源绿竹可溶性蛋白质量分数的变化

从图 7 可以看出,温州和福安种源绿竹可溶性蛋白质量分数随气温变化,呈现先稍升后降再上升的变化趋势,而尤溪和漳州种源绿竹呈先下降后上升趋势。11 - 12 月,各地理种源的可溶性蛋白质量分数无较大差异,至翌年 1 月,此时月均温达到最低,蛋白质分解加速,合成减少,使得可溶性蛋白质量分数均出现最低值,而后随气温回升可溶性蛋白也增加。

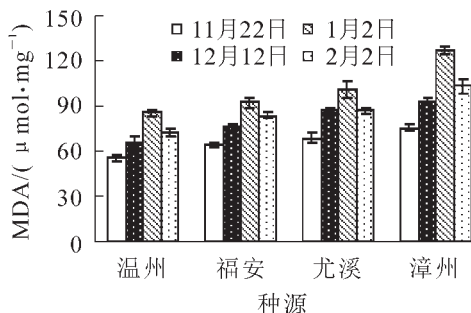


图 6 越冬过程中 4 个地理种源绿竹的 MDA 的变化

Figure 6 Change of content of MDA in leaves of *Dendrocalamopsis oldhami* from four geographical provenances during overwintering

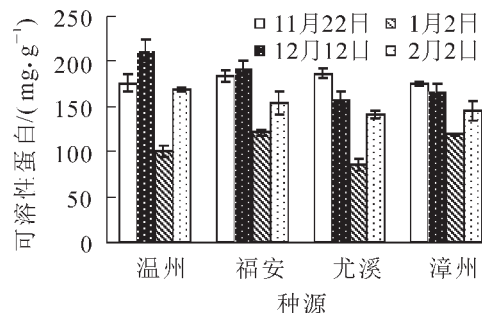


图 7 越冬过程中 4 个种源绿竹的可溶性蛋白质量分数的变化

Figure 7 Change of content of soluble protein in leaves of *Dendrocalamopsis oldhami* from four geographical provenances during overwintering

3.8 越冬期间各生理指标的方差分析

对绿竹 4 个地理种源越冬过程中各生理指标进行方差分析与 F 检验(表 3)。结果表明, 不同地理种源、不同月份的 F 值相差较大。在 11 月和 12 月, MDA 质量摩尔浓度和脯氨酸质量分数变化均达到显著水平以上; 翌年 1 月, POD 活性、MDA 和脯氨酸变化均达到显著或极显著水平, 即绿竹 4 个地理种源间各越冬指标差异明显。同一地理种源绿竹在不同月份间除漳州绿竹 POD 活性未达显著水平, 其他种源的各生理指标在不同月份均达到显著或极显著水平, 这表明在越冬过程中绿竹各生理指标随气温的变化显著。可见, 不同地理种源的绿竹, 由于生长物候的差异, 在同一个栽植地的生理指标表现出较大的不同。

表 3 不同地理种源及不同月份各生理指标的差异性检验

Table 3 Test of significance of difference in physiological indexes for different geographical provenances and different months

方差源	F 值				方差源	F 值				
	POD	MDA	脯氨酸	可溶性蛋白		POD	MDA	脯氨酸	可溶性蛋白	
种源间	11 月	0.308	24.063**	37.659**	2.586	温州	6.068*	31.815**	133.507**	37.914**
	12 月	1.862	30.094**	16.610**	2.833	尤溪	7.758**	50.872**	133.936**	12.875**
	翌年 1 月	5.085*	36.432**	40.901**	3.153	漳州	1.114	21.816**	367.09**	17.453**
	翌年 2 月	1.606	24.926**	152.523**	15.648**	福安	4.435*	62.621**	35.112**	21.506**

说明: $F_{0.01} = 7.591$, $F_{0.05} = 4.066$ 。

3.9 纬度、最低气温及其他抗寒指标的相关分析

把各抗寒指标进行相关性分析, 结果表明(表 4), 月平均最低气温与半致死温度、可溶性蛋白质质量分数呈极显著正相关, 与 POD 活性、MDA 质量摩尔浓度和脯氨酸质量分数呈极显著负相关; 纬度与半致死温度和 MDA 呈显著负数相关; 半致死温度与 POD 和脯氨酸呈极显著负相关, 与可溶性蛋白质质量分数呈极显著正相关; POD 与脯氨酸呈极显著正相关, 与可溶性蛋白呈极显著负相关; 可溶性蛋白与 MDA、脯氨酸呈极显著负相关; MDA 与 POD 和脯氨酸有一定相关性, 但均不显著。

表 4 纬度、最低温度及其他指标的相关性分析

Table 4 Correlation of latitude, lowest temperature and other indexes

项目	最低气温	纬度	LT ₅₀	POD	MDA	脯氨酸
LT ₅₀	0.791**	- 0.508*				
POD	- 0.800**	0.478	- 0.921**			
MDA	- 0.737**	- 0.623*	- 0.242	0.239		
脯氨酸	- 0.859**	0.373	- 0.906**	0.971**	0.336	
可溶性蛋白	0.831**	0.186	0.626**	- 0.629**	- 0.700**	- 0.667**

说明: * 表示通过双尾检验($N=16$), 在 0.05 水平上显著相关; ** 表示通过单尾检验($N=16$), 在 0.01 水平上显著相关。

3.10 越冬过程中绿竹 4 个地理种源抗寒能力综合评价

低温胁迫下绿竹的抗性反应是一个复杂的生理、生化、生态过程, 并且各种生理生化指标之间存在相互影响和相互作用^[16]; 同时, 由于各地理种源绿竹在低温锻炼过程中抗寒性有不同程度增加, 因此, 单一根据某一时期的抗寒性鉴定结果无法准确判断各品种的抗寒性。为了尽量克服单一指标鉴定

表 5 主成分的特征向量、特征值及贡献率

Table 5 Eigenvectors, eigen values and contribution rate of principal components

主成分	特征根	贡献率/%	累积贡献率/%	特征向量				
				POD	MDA	脯氨酸	LT ₅₀	可溶性蛋白
第一主成分	3.590	71.804	71.804	0.493 0	0.275 1	0.503 2	0.483 6	- 0.440 7
第二主成分	1.090	21.810	93.613	0.302 5	- 0.784 7	0.212 3	0.287 7	0.406 6
第三主成分	0.193	3.869	97.483	0.128 1	0.536 5	0.261 9	0.014 4	0.793 3

的不足,采用主成分分析法对绿竹4个地理种源的抗寒性生理指标进行了综合评价。由表5可以看出,前3个主成分的贡献率分别达到71.804%,21.810%和3.869%,累计贡献率达97.483%,已反映了5个指标的绝大部分信息,这说明前3个主成分起的作用非常重要。同时,还可以看出,第一主成分中脯氨酸、半致死温度和POD负载权数高,均与抗寒性呈一定正相关,第二主成分主要反映了MDA的作用,且与抗寒性呈一定负相关;第三主成分主要反映可溶性蛋白指标的作用。

表6列出了所4个种源的3个主成分值,根据公式 $\sum \lambda_j \mu_j$ (λ :主成分贡献率, μ :不同种源绿竹主成分值, j :1~3),求出各地理种源的抗寒力大小,主成分综合评价结果表明,各地理种源抗寒能力大小依次为:温州种源>福安种源>尤溪种源>漳州种源。

4 小结与讨论

研究发现,4个地理种源绿竹在经过一定时间低温锻炼后,半致死温度均大幅度下降,抗寒适应性增强,各地理种源绿竹的半致死温度变异系数在不同采样期均较高(10%以上),这说明不同地理种源绿竹对低温适应的能力存在差异,这种差异反映了绿竹在不同的气候区生长和栽培习性。同时,各地理种源绿竹的POD活性、MDA质量摩尔浓度和脯氨酸质量分数均随着温度的升高而呈现不同程度的增加。方差分析结果表明,不同地理种源的绿竹在同一个栽植地的生理指标表出较大的差异性。相关性分析表明,半致死温度与POD活性和脯氨酸质量分数呈极显著负相关,与可溶性蛋白质量分数呈极显著正相关;POD活性与脯氨酸质量分数呈极显著正相关,与可溶性蛋白呈极显著负相关;可溶性蛋白与MDA、脯氨酸呈极显著负相关。由此可知,在越冬的过程中,绿竹表现出了自身的协调能力,其过程较为复杂,包括了细胞膜透性、保护酶活性、渗透调节物质质量分数的变化。由主成分分析可知,脯氨酸、半致死温度和POD活性与抗寒性有较为密切的正相关。

对4个地理种源绿竹的抗寒能力综合评价结果表明:温州种源的抗寒能力最强,其次为福安和尤溪种源,漳州种源的抗寒能力最低,从地理分布上看,纬度越高,种源抗寒性较好,这与地理种源所处原产地的气候环境有着密切相关,也正是植物长期适应自然选择的结果。

由于本研究虽然从中国绿竹主要分布区选择了有代表性的种源,但由于主客观原因,仅对4个地理种源的绿竹进行了研究,种源数量有限,因而研究结论有一定的局限性,有待于进一步扩大研究范围,才能使研究结果更科学,代表性更强。

参考文献:

- [1] 王荣富. 植物抗寒指标的种类及其应用[J]. 植物生理学通讯, 1987(3): 49-55.
WANG Rongfu. The variety and application of indexes of plant cold-resistance[J]. *Plant Physiol Commun*, 1987(3): 49-55.
- [2] 苏维埃, 宓容钦, 王文美, 等. 植物抗性指标的数量化研究(I)[J]. 中国科学:B辑, 1987, 17(10): 1059-1067.
SU Weiai, BI Rongqin, WANG Wenmei, et al. Quantitative analysis for indexes of plants resisting stress(I)[J]. *Sci China Ser B*, 1987, 17(10): 1059-1067.
- [3] 刘祖祺, 王洪春. 植物耐寒性与防寒技术[M]. 北京: 学术书刊出版社, 1990: 193-197.
- [4] 李海林, 殷绪明, 龙小军. 低温胁迫对水稻幼苗抗寒性生理生化指标的影响[J]. 安徽农学通报, 2006, 12(11): 50-53.
LI Hailin, YIN Xuming, LONG Xiaojun. Effects of chilling stress on physiological and biochemical indexes of chill-resistance in rice seedlings[J]. *Anhui Agric Sci Bull*, 2006, 12(11): 50-53.
- [5] 郑蓉, 方伟, 郑维鹏, 等. 绿竹研究[J]. 竹子研究汇刊, 2007, 26(1): 20-26.

表6 各地理种源主成分值及抗寒力排序

Table 6 Comparison of cold hardness and the numbers of principal components of four geographical provenances

种源	第一主成分	第二主成分	第三主成分	综合得分	排序
温州	1.739 6	1.055 0	0.010 0	2.804 6	1
福安	0.574 3	-0.213 6	-0.034 5	0.326 2	2
尤溪	-0.200 1	0.314 6	-0.000 9	0.113 7	3
漳州	-2.113 8	-1.156 1	0.025 4	-3.244 5	4

- ZHENG Rong, FANG Wei, ZHENG Weipeng, *et al.* Research progress in *Dendrocalamopsis oldhami*[J]. *J Bamboo Res*, 2007, **26** (1): 20 – 26.
- [6] 柴雪芹, 蔡全法, 洪中跃, 等. 舟山海岛引种绿竹试验初报[J]. 浙江林业科技, 2002, **22** (2): 32 – 35.
CHAI Xueqin, CAI Quanfa, HONG Zhongyue, *et al.* Preliminary report on introduction of *Dendrocalamopsis oldhami* [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2002, **22** (2): 32 – 35.
- [7] 郑维鹏. 福建绿竹地理种源的生长适应性[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2003, **27** (5): 51 – 54.
ZHENG Weipeng. The growth adaptability of different provenances of *Dendrocalamopsis oldhami* in Fujian[J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2003, **27** (5): 51 – 54.
- [8] 郑蓉. 绿竹地理种源越冬生理指标的地理变异分析[J]. 福建林业科技, 2008, **35** (3): 38 – 42.
ZHENG Rong. Variation of winter-survival physiological index in geographical provenances of *Dendrocalamopsis oldhami* [J]. *J Fujian For Sci Technol*, 2008, **35** (3): 38 – 42.
- [9] 梁莉, 谈锋. 四川大头茶低温半致死温度与对低温的适应[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 1997, **22** (4): 463 – 465.
LIANG Li, TAN Feng. The semilethal temperature of *Gordonia acuminata* and its adaptation to the low temperature condition[J]. *J Southwest China Norm Univ Nat Sci Ed*, 1997, **22** (4): 463 – 465.
- [10] 郑炳松. 现代植物生理生化研究技术[M]. 北京: 气象出版社, 2006.
- [11] 邹琦. 植物生理生化实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [12] 朱根海, 朱培仁. 小麦抗寒性的季节变化及温度对脱锻炼的效应[J]. 南京农学院学报, 1984 (2): 9 – 16.
ZHU Genghai, ZHU Peiren. Effects of season changes and temperature on de-hardening in *Triticum aestivum*[J]. *J Nanjing Agric Coll*, 1984 (2): 9 – 16.
- [13] 毛志滨, 谢晓金, 汤庚国. 7 种冬青树种耐低温能力比较[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2006, **30** (1): 33 – 36.
MAO Zhibin, XIE Xiaojin, TANG Gengguo. The comparison of low temperature tolerance ability of seven species of *Ilex* trees[J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2006, **30** (1): 33 – 36.
- [14] 田如男, 薛建辉. 6 个常绿阔叶乔木树种抗寒性研究[J]. 西南林学院学报, 2005, **25** (4): 110 – 112.
TIAN Runan, XUE Jianhui. A study on cold resistance of six evergreen broadleaved tree species[J]. *J Southwest For Coll*, 2005, **25** (4): 110 – 112.
- [15] 陈钰, 郭爱华, 姚延涛, 等. 自然降温对杏品种生理指标的影响[J]. 科技情报开发与经济, 2007, **35** (6): 53 – 55.
CHEN Yu, GUO Aihua, YAO Yantao, *et al.* The influences of natural temperature reduction on the physiological indexes of *Prunus armeniaca* Linn. [J]. *Sci-Tech Inf Dev Econ*, 2007, **35** (6): 53 – 55.
- [16] 韦如萍, 胡德活, 王润辉, 等. 自然低温条件下南洋楹抗寒生理研究[J]. 广东林业科技, 2008, **24** (1): 10 – 15.
WEI Ruping, HU Dehuo, WANG Runhui, *et al.* Study on physiological resistance to the cold of *Paraserianthes falcataria* under the situation of naturally low temperature[J]. *J Guangdong For Sci Technol*, 2008, **24** (1): 10 – 15.