

# 引种桉树苗期的抗寒性分析

张露<sup>1</sup> 张俊红<sup>1</sup> 温忠辉<sup>2</sup> 胡松竹<sup>1</sup> 陶丹<sup>1</sup> 张丽<sup>1</sup>

(1. 江西农业大学 园林与艺术学院 江西 南昌 330045; 2. 上犹县林业局 江西 上犹 341200)

**摘要:** 为了筛选出适合江西省推广栽培的速生耐寒桉树, 通过桉树幼苗对低温胁迫的生理反应和冻害后的形态变化来研究其抗寒能力。以引进的 7 种桉树(*Eucalyptus* spp.) 1 年生苗叶片为研究材料, 通过人工低温处理, 测定桉树相对电导率和 MDA 含量变化, 并用 Logistic 方程拟合求拐点值来估计其半致死温度, 结合田间冻害症状变化探讨其抗寒性。结果表明: 相对电导率和 MDA 含量随处理温度降低而逐步升高, 不同种间抗寒性存在显著差异, 抗寒性从强到弱依次为: 樟脑桉(*E. camphora*)、邓恩桉(*E. dunnii*)、多利桉(*E. dorriigoensis*)、山灰桉(*E. cypellocarpa*)、赤桉(*E. camaldulensis*)、巨桉(*E. grandis*)、柳桉(*E. saligna*)。从苗期耐寒性来看, 樟脑桉和邓恩桉其耐寒性最强, 可以在赣北地区试种。

**关键词:** 抗寒性; 电导率; MDA 含量; 半致死温度; 桉树

中图分类号: S792.397 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2011)01-0047-05

## The Analysis of Cold Resistances of Introduced *Eucalyptus* at the Seedling Stage

ZHANG Lu<sup>1</sup>, ZHANG Jun-hong<sup>1</sup>, WEN Zhong-hui<sup>2</sup>,  
HU Song-zhu<sup>1</sup>, TAO Dan<sup>1</sup>, ZHANG Li<sup>1</sup>

(1. College of Landscape and Art, JAU, Nanchang 330045, China; 2. Forestry Bureau of Shangyou County, Jiangxi Province, Shangyou 341200, China)

**Abstract:** In this paper, to screen out *Eucalyptus* species which are fast-growing and cold-resistant ability for cultivation in Jiangxi province, especially in Ganbei area of Jiangxi province, their physiological reaction under low temperature stress and their morphological change after freezing injury in *Eucalyptus* seedling are studied. The relative electrical conductivity and MAD content of *Eucalyptus* were tested and analyzed with 7 one-year-old leaves of *Eucalyptus* under controlled low temperature treatments. The semi-lethal temperature was determined by using Logistic equation fitting for inflection point value. The results showed that the relative electrical conductivity, MDA content increased with the lowering of the treating temperature. The cold resistance of *Eucalyptus* species has significant difference. It is concluded that the cold resistance order of the seven *Eucalyptus* at the seedling stage was *E. camphora* > *E. dunnii* > *E. dorriigoensis* > *E. cypellocarpa* > *E. camaldulensis* > *E. grandis* > *E. saligna*. *E. camphora* and *E. dunnii* can be planted experimentally for their cold resistance in Ganbei area of Jiangxi province.

**Key words:** cold resistance; electrical conductivity; MDA contents; semi-lethal temperature; *Eucalyptus* spp.

桉树(*Eucalyptus* spp.)是人工造林的三大速生树种之一,原产澳大利亚及临近岛屿,世界热带和亚热带地区竞相引种。在我国南方特别是在广东、广西等地已发展成为一个大产业,由于桉树畏寒和对低温敏感特性<sup>[1]</sup>,限制了桉树的向北扩展。实际上,桉树中有很多优良品种可以耐受-10℃左右的低温,近年来,国内桉树界在桉树北移工作中做了大量的工作,工作重心在引种方面,如河南、湖南、福建、江西赣南地区等地均开展了耐寒桉树或无性系引种和造林区域试验及相关研究<sup>[2-8]</sup>,取得了较好成效,但在江西赣北地区,低温是桉树引种、扩大栽培与速生丰产的主要限制因子,因此有必要对桉树的抗寒性进行研究探讨,筛选出适合我省建设速生工业用材林的桉树品种进行推广,推动桉树产业的发展。

为进一步扩大桉树遗传资源,提高桉树生产力水平,本课题组从澳大利亚引进了7个具潜质性耐寒能力桉树,进行苗期抗寒和引种栽培试验,旨在通过其桉树苗期对低温胁迫的生理反应和冻害后的形态变化来分析其抗寒能力,为江西省尤其是赣北地区选育抗寒性强的桉树品种提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地设于江西农业大学园林与艺术学院试验苗圃,位于N28°46',E115°50'。地势平坦,坡度约4~5℃,育苗圃地土壤为红壤,呈酸性(pH5~6),肥力中等。该地区年平均气温17℃,7月平均气温最高29℃,1月平均最低气温为4.8℃,极端最高气温为40.3℃,出现在8月。极端最低气温为-9℃,出现在1月。年平均降雨量为1580mm,年平均霜期为105d。

### 1.2 试验材料

供试材料为具有潜质性抗寒能力的桉树树种7种,分别为巨桉(*Eucalyptus grandis*)、赤桉(*E. camaldulensis*)、多利桉(*E. dorrigoensis*)、柳桉(*E. saligna*)、山灰桉(*E. cypelloarpa*)、樟脑桉(*E. camphora*)和邓恩桉(*E. dunnii*),其中巨桉和柳桉分别有2个种源。种子均从澳大利亚进口,于2005年2月在赣州市苗圃进行容器育苗,2005年5月种植在江西农大园林与艺术学院实习苗圃。

### 1.3 试验方法

1.3.1 实验室间接鉴定 (1) 丙二醛(MDA)测定。2005年5月选取叶片舒展、生长健壮的7种桉树2个种源共9类桉树百日容器苗的叶片,分别置于培养箱中进行低温处理,采取每天降3℃的方法,直至降到25℃、7℃和-4℃,再恒温处理1d。丙二醛(MDA)的测定采用郝在彬等的方法<sup>[9]</sup>。

(2) 细胞质膜透性测定。选取生长正常的一年生功能叶,分别按0℃、-3℃、-7℃、-10℃、-13℃和-16℃各处理1h,3次重复。利用上海精密科学仪器有限公司生产的DDB-303A型便携式电导率仪,相对电导率测定采用侯福林<sup>[10]</sup>的方法。

(3) 半致死温度确定。以重复处理温度下的电导率配合Logistic曲线确定半致死温度<sup>[11]</sup>。朱根海等认为应用电导法配合Logistic方程求出“S”形曲线的拐点温度能较准确地估计出植物组织的低温半致死温度<sup>[12]</sup>。采用DPS统计分析软件对数据进行分析,得出半致死温度,在此拐点低温下叶片相对电导率的递增效应最大,拐点温度值越低,表明其半致死温度越低,即该树种的抗寒性越强。

1.3.2 田间鉴定 田间直接鉴定就是在冻害发生期对受冻的田间植株器官和组织按一定的标准进行比较,然后根据冻害情况评价其抗寒性。

本试验参照中华人民共和国国家标准《林木引种》(GB/T14175-93)和桉树苗木受冻后出现的冻害症状,制订了相应的等级标准,见表1。冻害调查在冻害发生后,于2006年1月进行每株观测,调查冻害状况并根据受害程度进行分级(6级)。于2006年3月进行恢复生长调查,其指标有顶芽的萌发、幼叶的冻害情况、抽梢状况以及长势。

表1 桉树冻害等级划分标准

Tab.1 The grading standards of freezing injury of *Eucalyptus*

冻害等级	冻害症状
Freezing injury standards	Freezing injury symptom
0级	未受害,生长正常
I级	顶梢、嫩叶受害
II级	部分枝条受害
III级	树冠全枯
IV级	主干半枯
V级	主干全枯

## 2 结果与分析

### 2.1 低温胁迫对 MDA(丙二醛)的影响

在低温胁迫下,细胞内活性氧代谢的平衡被破坏,从而有利于活性氧的产生。活性氧过剩的毒害之一是引发或加剧膜质过氧化作用,造成细胞膜系统的损害。MDA 是膜脂氧化的主要产物,其含量的变化是质膜损伤程度的重要标志之一<sup>[13]</sup>。一般认为,抗寒性强的种或种源 MDA 含量明显低于抗寒性弱的种或种源。从表 2 可以看出,随着处理温度的降低,各种 MDA 含量均呈逐渐上升趋势。方差分析表明,不同温度处理时 MDA 含量差异均达极显著水平( $F_2 = 13.00^{**}$ ,  $F_{0.01}(2, 16) = 6.23$ )。桉树树种之间 MDA 含量存在显著差异( $F_1 = 2.74^*$ ,  $F_{0.05}(8, 16) = 2.59$ )。柳桉 2 在低温胁迫中 MDA 的含量显著高于其他,在  $-4\text{ }^\circ\text{C}$  时 MDA 含量急剧增大,达到最大值,为  $3.575\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ ,是  $25\text{ }^\circ\text{C}$  时的 MDA 含量的 4.8 倍;是  $7\text{ }^\circ\text{C}$  时的 MDA 含量的 2.9 倍,说明柳桉 2 在低温胁迫时 MDA 含量急剧增加,耐寒性较弱。柳桉 3 在  $-4\text{ }^\circ\text{C}$  时的 MDA 含量为  $2.323\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$ ,是  $25\text{ }^\circ\text{C}$  时的 MDA 含量的 3.0 倍;是  $7\text{ }^\circ\text{C}$  时的 MDA 含量的 1.6 倍。而樟脑桉和邓恩桉在低温胁迫中 MDA 的含量显著低于其他种,说明这两种具有较强的耐寒性。供试的桉树种抗寒性从强到弱依次是:樟脑桉、邓恩桉、赤桉、山灰桉、多利桉、巨桉 2、巨桉 1、柳桉 3、柳桉 2。

表 2 不同温度处理 MDA 含量变化

Tab. 2 Variation of MDA content in different temperature on *Eucalyptus*

树种 Tree species	处理温度/ $^\circ\text{C}$ Treatment temperature			-4 $^\circ\text{C}$ 时的 MDA 相对 25 $^\circ\text{C}$ 的增长幅度/% MDA increasing rate of 25 $^\circ\text{C}$ , relative to -4 $^\circ\text{C}$	-4 $^\circ\text{C}$ 时的 MDA 相对 7 $^\circ\text{C}$ 的增长幅度/% MDA increasing rate of 7 $^\circ\text{C}$ , relative to -4 $^\circ\text{C}$
	25	7	-4		
樟脑桉( <i>E. camphora</i> )	0.198	0.626	0.797	302	27
邓恩桉( <i>E. dunnii</i> )	0.399	0.582	0.880	120	51
赤桉( <i>E. camaldulensis</i> )	0.299	0.661	0.904	202	37
山灰桉( <i>E. cypellocarpa</i> )	0.433	0.657	0.910	110	38
多利桉( <i>E. dorrigoensis</i> )	0.309	0.795	0.990	221	25
巨桉 2( <i>E. grandis</i> )	0.300	0.948	1.710	470	80
巨桉 1( <i>E. grandis</i> )	0.377	0.637	1.918	409	201
柳桉 3( <i>E. saligna</i> )	0.765	1.452	2.323	204	60
柳桉 2( <i>E. saligna</i> )	0.742	1.241	2.575	247	107

### 2.2 不同低温处理对桉树叶片相对电导率的影响

植物细胞电解质渗漏的多少常反映在低温下植物受伤害的严重程度,抗寒性强的植物或受害较轻者,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害较重者,透性增大程度较快,又不可逆转,不能恢复正常,以至造成伤害死亡。

7 种桉树的叶片经一系列低温胁迫处理后,相对电导率变化见表 3。随着处理温度的下降,细胞内相对电导率上升,相对电导率上升是低温对叶片内原生质膜透性破坏的反应,低温处理初期相对电导率上升迅速,随后又趋于缓慢或稍有下降,即相对电导率随着温度的下降呈“S”型曲线变化。从表 3 可看出,当处理在  $-3\text{ }^\circ\text{C} \sim -7\text{ }^\circ\text{C}$  相对电导率急剧增大,下降到  $-7\text{ }^\circ\text{C}$  以后相对电导率变化趋于缓慢,而巨桉、赤桉和多利桉在  $-7\text{ }^\circ\text{C}$  时相对电导率达到最大值。不同种或种源之间相对电导率存在明显的差异,不同种之间的抗寒能力有所不同,在  $-10\text{ }^\circ\text{C} \sim -16\text{ }^\circ\text{C}$  不同种对寒冷的忍耐程度存在较大差异。

### 2.3 不同低温处理对叶片组织半致死温度的影响

根据电导法配合 Logistic 方程求出植物组织的低温半致死温度,拐点温度值越低,表明其半致死温度越低,即该桉树种越抗寒。从表 3 中可以看出不同桉树树种的半致死温度不同,樟脑桉耐寒性最高达

到  $-14.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  柳桉3耐寒性最低,只能达到  $-2.21\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,其中相同种不同种源也具有不同耐寒性。供试的桉树抗寒性从强到弱依次是:樟脑桉、邓恩桉、多利桉、山灰桉、柳桉2、赤桉、巨桉2、巨桉1、柳桉3。

表3 不同温度处理下对桉树电导率及半致死温度的影响

Tab.3 Conductance rate and semi-lethal temperature of *Eucalyptus* in different temperature

树种 Tree species	处理温度/ $^{\circ}\text{C}$ Treatment temperature						拟合方程 Fitting equation	半致死温度/ $^{\circ}\text{C}$ Semi-lethal temperature
	0	-3	-7	-10	-13	-16		
樟脑桉( <i>E. comphora</i> )	28.50	45.75	50.45	50.85	65.81	70.65	$y = 100.89 / (1 + 2.08e^{0.098x})$	-14.4
邓恩桉( <i>E. dunnii</i> )	40.00	47.50	66.80	68.20	71.41	97.85	$y = 3806.19 / (1 + 2.976.85e^{0.051x})$	-7.22
多利桉( <i>E. dorrigoensis</i> )	48.50	54.50	64.90	57.00	54.98	56.80	$y = 58.13 / (1 + 0.2e^{0.58x})$	-7.02
山灰桉( <i>E. cypellocarpa</i> )	31.70	48.85	72.45	74.95	80.18	83.55	$y = 83.29 / (1 + 1.67e^{0.31x})$	-6.72
柳桉2( <i>E. saligna</i> )	20.10	44.20	58.80	59.55	66.28	84.30	$y = 87.22 / (1 + 2.28e^{0.19x})$	-6.00
赤桉( <i>E. camaldulensis</i> )	21.20	35.75	68.62	52.95	45.14	29.80	$y = 48.4 / (1 + 1.46e^{0.67x})$	-5.70
巨桉2( <i>E. grandis</i> )	25.00	28.50	66.76	74.06	80.31	82.30	$y = 84.97 / (1 + 3.49e^{0.32x})$	-5.03
巨桉1( <i>E. grandis</i> )	20.40	24.80	67.00	47.50	43.45	47.80	$y = 50.87 / (1 + 2.43e^{0.53x})$	-4.32
柳桉3( <i>E. saligna</i> )	46.20	49.40	60.56	65.10	67.75	71.75	$y = 81.75 / (1 + 0.81e^{0.11x})$	-2.21

## 2.4 田间测定及恢复情况

不同桉树种间抗寒力的差异变化研究,可以充分挖掘抗寒资源,为生产提供抗寒良种,为育种提供抗寒种质材料。在2006年初,苗木冻害情况不是太严重,但不同种之间抗寒力还是有差异(表4)。桉树苗木的冻害等级0~II级,受害的苗木主要表现为部分枝干枯死,叶焦黄。但在气温回升时受害树种均可从侧芽萌发,能恢复生长。樟脑桉的抗寒性最强,顶芽完好,且正常萌发,长势良好。不同种的抗寒力排序为:樟脑桉、邓恩桉、多利桉、山灰桉、赤桉、巨桉2、巨桉1、柳桉2、柳桉3。

表4 参试桉树受冻情况

Tab.4 The freezing injury complexion of the tested *Eucalyptus*

树种 Tree species	冻害等级 Freezing injury standards	受冻症状 Freezing injury symptom	恢复调查结果 Recovery survey
柳桉2( <i>E. saligna</i> )	II级	顶芽干枯,部分枝条受害	大部分的侧芽萌发,恢复了长势
柳桉3( <i>E. saligna</i> )	II级	顶芽干枯,部分枝条受害	大部分的侧芽萌发,恢复了长势
巨桉1( <i>E. grandis</i> )	II级	顶芽干枯,部分枝条受害	大部分的侧芽萌发,恢复了长势
巨桉2( <i>E. grandis</i> )	II级	顶芽干枯,部分枝条受害	大部分的侧芽萌发,恢复了长势
赤桉 ( <i>E. camaldulensis</i> )	I级	顶梢、嫩叶受害部分顶芽良好, 幼叶边缘略反卷	抽梢,展叶,恢复长势
多利桉 ( <i>E. dorrigoensis</i> )	I级	顶梢、嫩叶受害部分顶芽良好, 幼叶边缘略反卷	抽梢,展叶,恢复长势
山灰桉 ( <i>E. cypellocarpa</i> )	I级	顶梢、嫩叶受害部分顶芽良好, 幼叶边缘略反卷	抽梢,展叶,恢复长势
邓恩桉( <i>E. dunnii</i> )	I级	大部分顶芽良好,幼叶边缘略反卷	抽梢,展叶,恢复长势
樟脑桉( <i>E. comphora</i> )	0级	未受害,顶芽完好,生长正常	正常萌发,长势良好

## 3 结论与讨论

### 3.1 抗寒性与桉树幼苗叶片细胞膜透性变化的关系

细胞膜不仅是细胞与环境发生物质交换的主要通道,也是感受环境胁迫最敏感的原生质体的组成。植物受到环境胁迫时,表现为膜透性增大,离子外渗<sup>[13]</sup>,并最终引起细胞的死亡,这种变化大多出现在形态变化之前。细胞膜透性的变化可通过测定溶液的电导率来反映,其数值的大小可反映出所测材料的细胞膜伤害程度,进而判断植物抗寒性的大小<sup>[13-14]</sup>。研究结果表明:桉树幼苗叶片的相对电导率随温度的降低而升高,只是不同树种桉树其相对电导率升高的幅度不一样。不同树种的桉树,随温度的下降,其细胞膜透性(相对电导率)的变化有显著差异,说明不同树种桉树其抗寒性存在差异。抗寒性较

强的细胞膜透性变化幅度小,抗寒性较弱的细胞膜透性变化幅度大。本试验在已知该树种抗寒性较强的基础上,通过测定电导率,并拟合 Logistic 曲线方程求出树种的半致死温度,即樟脑桉发生最初冻害的温度为  $-14.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,因此樟脑桉为抗寒性相对较强的树种。

### 3.2 抗寒性与桉树幼苗叶片丙二醛含量变化的关系

本研究结果表明,低温处理下桉树幼苗叶片内丙二醛的含量随温度的降低而不断增加,与前人研究结果是一致的<sup>[7,15]</sup>,且升高的幅度不一样。在正常情况下,植物体内的 MDA 含量极少。在逆境中,MDA 含量就会增加,它是一种对植物细胞有害的物质,含量越高,植物伤害程度就越大。MDA 含量高的种抗寒性弱,反之则强。由此可初步判定樟脑桉、邓恩桉为相对耐寒树种,巨桉和柳桉为相对不耐寒树种,其他耐寒性居中。

### 3.3 桉树苗期抗寒性的综合评价

植物生理过程错综复杂,受多种因素影响,指标单一化,很难反映植物的抗寒性实质。在对不同桉树抗寒性的各指标测定结果中发现,树种抗寒性有些差异。田间鉴定能直接地反映不同品种在同一条件下的抗寒性差异,该法直接、简单、可进行大范围大群体的评价,田间试验是最终评判依据,但实验室间接鉴定可以使抗寒能量化,可以起参考作用,但个别出现差异,引起的原因可能是实验材料的不同导致的,田间鉴定和电导法时的材料是一年生植株,而 MDA 含量测定采用的是百日苗龄的植株。从生产上说,一年生植株的抗寒性研究更具有实用价值。

从田间试验与实验室测定的综合结果看,樟脑桉的耐寒性最优,能适于江西的大多数地区栽培,山灰桉、多利桉、邓恩桉次之,需要选择,所以在引种前需对引种区进行气候调查,特别要掌握可能出现的最低温度,因此应选择相应的地区栽培,赤桉较巨桉更具耐寒性已在赣州引种试验中得到佐证<sup>[4]</sup>,而柳桉、巨桉的耐寒性最低,只能在赣南一些地区栽培,且具有寒害风险。因此对 7 种桉树的耐寒性进行综合评价,其抗寒水平由强到弱依次为:樟脑桉、邓恩桉、多利桉、山灰桉、赤桉、巨桉、柳桉。

### 参考文献:

- [1] 祁述雄. 中国桉树[M]. 2 版. 北京: 中国林业出版社, 2002: 132 - 135.
- [2] 刘友全, 刘加林, 潘天玲. 赤桉在湖南的抗寒与生长适应性[J]. 中南林学院学报, 2000, 20(3): 86 - 89.
- [3] 赵娟娟, 洪伟. 我国桉树抗寒性研究进展[J]. 福建农林大学学报, 2005, 25(3): 284 - 288.
- [4] 曾赣林, 李小芸, 李师阳. 赣州市桉树引种栽培现状与对策[J]. 中国林副特产, 2006, 84(5): 73 - 74.
- [5] 李宝福. 福建中亚热带 7 个桉树无性系多点造林对比试验研究[J]. 林业科学研究, 2007, 20(2): 181 - 187.
- [6] 李宝福. 7 个耐寒桉树的无性系区域试验[J]. 中南林业科技大学学报, 2007, 27(3): 14 - 19.
- [7] 杨喜田, 曾玲玲, 王琳, 等. 桉树幼苗耐寒特性研究[J]. 河南农业大学学报, 2007, 41(1): 38 - 41.
- [8] 祁述雄. 中国引种桉树与发展现状[J]. 广西林业科学, 2006, 35(4): 250 - 252.
- [9] 郝在彬, 苍晶, 徐仲, 等. 植物生理学实验[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2004: 54 - 58.
- [10] 侯福林. 植物生理学实验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 87 - 89.
- [11] 唐士勇. Logistic 方程在果树半致死温度测定中的应用[J]. 北方果树, 1993(4): 23 - 24.
- [12] 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, 9(3): 12 - 16.
- [13] 沈漫, 王明麻. 植物抗寒机理研究进展[J]. 植物学通报, 1997, 14(2): 1 - 8.
- [14] 郑东虎, 王兴国. 电导法在植物抗寒性研究中的应用[J]. 延边大学农学学报, 1998, 20(2): 73 - 78.
- [15] 冯建灿, 张玉洁. 低温胁迫对喜树幼苗 SOD 活性、MDA 和脯氨酸含量的影响[J]. 林业科学研究, 2002, 15(2): 197 - 202.