

# 电导率与极端低温分布在闽中 桉树引种决策上的研究

郭祥泉<sup>1</sup>, 洪伟<sup>1\*</sup>, 吴承祯<sup>1</sup>, 朱会芸<sup>2</sup>, 赵娟娟<sup>3</sup>

(1. 福建农林大学桉树研究中心, 福州 350002; 2. 福建省永安市气象局, 福建 永安 366000;

3. 中国科学院植物研究所, 北京 100093)

**摘要:** 依据闽中地区永安市 1971~2005 年的极端低温与极值分布数学模型和气象学原理, 探讨 5~10 a 内该区域不同海拔高度可能出现的极端异常低温, 利用电导率测定引种区所引种的不同抗寒程度的桉树种的半致死温度, 事前评价引种的可行性。首次提出利用极端低温与电导率进行引种决策, 并把该方法称作“极端环境反应法”。结果表明: 在出现 10 a 以上异常低温时, 邓恩桉(*Eucalyptus dunnii*)在该区域垂直分布可达海拔 775 m, 巨桉(*E. grandis*)及相近抗寒能力的桉树可在海拔 467 m 以下栽植, 赤桉(*E. camaldulensis*)可在海拔 960 m 以下栽植。该方法可广泛应用于其它区域与不同树种引种的事前评价与决策。

**关键词:** 桉树; 电导率; 极端低温分布; 引种决策

中图分类号: S722.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2008)04-0328-06

## Studies on the Application of Electrolyte Leakage Rate and the Distribution of the Lowest Temperature to Introduction Decision of *Eucalyptus* in the Centre of Fujian Province

GUO Xiang-quan<sup>1</sup>, HONG Wei<sup>1\*</sup>, WU Cheng-zhen<sup>1</sup>, ZHU Hui-yun<sup>2</sup>, ZHAO Juan-juan<sup>3</sup>

(1. Research Centre of *Eucalyptus* of Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Yong'an City Meteorological Bureau of Fujian Province, Yong'an 366000, China; 3. Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

**Abstract:** According to the recorded data of the lowest temperature from 1971 to 2005 in Yong'an City of Fujian Province and the maths model of extreme values distribution and meteorology theory, the possibility of the lowest temperature was estimated in different altitude within 5~10 years. The semilethal temperature of the different *Eucalyptus* species with different cold-resistant capability in the introducing area was determined by the method of electrolyte leakage rate. The introduction decision was estimated and made based on the likely occurrence of the lowest temperature at different altitude in 5~10 years and the semilethal temperature of the different species, called as “the extreme-environment reflecting method”. The results showed that *Eucalyptus dunnii* could distribute at altitude of 775 m, *Eucalyptus grandis* and other *Eucalyptus* sp. with similar cold-resistant capability could be planted below 467 m, *E. camaldulensis* could survive below 960 m, when the lowest temperature over decade occurred in the area. This method could be widely used to other areas and species in evaluation and decision making of the introduction.

**Key words:** *Eucalyptus*; Electrolyte leakage rate; Lowest temperature distribution; Introduction decision

收稿日期: 2007-09-05 接受日期: 2007-12-21

基金项目: 福建省财政厅重大科研专项基金资助

\* 通讯作者 Corresponding author

引种栽培是人类克服自然分布的一种栽培措施,它克服了自然地理区域对物种的选择。植物引种目前形成两大基本理论,即“气候相似理论与米丘林引种驯化理论”<sup>[1]</sup>。随着社会发展,人类对木材与纸浆的用量急剧增加,原有的乡土树种已满足不了社会的需求,人们试图利用引种手段克服乡土树种产量相对较低的缺点。成功引种一种植物通常需要几代人的努力,现代社会发展要求能在较短时间内进行有效的引种决策,同时避免或减少引种不必要的风险或损失,即做好事前评价。

福建省永安市是我国四大林区的重点林业县(市)之一。1992年起,开始陆续引种推广栽植桉树(*Eucalyptus* spp.),前后共引种十余种,尾细桉(*E. urophylla* × *E. tereticornis*)、细尾桉(*E. tereticornis* × *E. urophylla*)、尾巨桉(*E. urophylla* × *E. grandis*)、尾叶桉(*Eucalyptus urophylla*)、柳桉(*E. saligna*)、巨尾桉(*E. grandis* × *E. urophylla*)在该区域生长良好。在尾巨桉与马尾桉混交中,3 a生尾巨桉单株胸径达18 cm,树高达18 m以上<sup>[2]</sup>,具有良好的速生性;而窿桉(*E. exserta*)、邓恩桉(*E. dunnii*)、巨赤桉(*E. grandis* × *E. camaldulensis*)与柳窿桉(*E. saligna* × *E. exserta*)、赤桉(*E. camaldulensis*)在该区域生长不好。但赤桉有较强的抗寒能力,1999年12月份的极端低温给该区域引种的桉树造成了不同程度的冻害,依次为尾叶桉 > 尾巨桉 > 巨尾桉 > 邓恩桉 > 赤桉,尾叶桉冻害严重,巨桉与尾巨桉受中度冻害,而木质化程度高的能较好恢复生长,邓恩桉和赤桉未受冻害<sup>[3]</sup>。抗冻害适应能力表现为尾细桉、细尾桉、尾叶桉与尾巨桉相近,柳桉、柳窿桉、窿桉、巨赤桉与巨尾桉相近,邓恩桉、赤桉抗寒能力较好,做好事前决策可避免不必要的损失。

桉树包括杂交后培育的新种,达960余种。许多桉树种在引种区表现出极好的生产力,有的年单位生产量可达 $45 \text{ m}^3 \text{ hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 以上<sup>[4-5]</sup>,是福建省杉木速生丰产指标( $12 \text{ m}^3 \text{ hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ )的4倍,是当前主要的引种推广树种。但不同桉树的耐寒性限制了较高纬度桉树种的栽培。为此,我们认为利用电导率技术可较好地确定植物抗低温能力,极端低温分布模型方法可科学地预测某一区域在某一时间内可能出现的极端低温,首次利用电导率结合极端低温分布模型方法,对多树种与不同栽植区域的引种进行

决策,即做事前评价。该方法对引种植物的温度限制因子可在短时间内做出决策,且由原来的定性决策上升到定量来确定限制因子,同时还可进行多树种及不同区域的引种判断,能很好地指导引种,在生产实践上具有很好的应用价值,我们把该方法称作“极端环境反应法”。本文利用永安市1971~2005年35 a的极端最低气温资料(表1)建立极端低温分布数学模型,依据电导率确定不同桉树种的半致死温度,对不同桉树与垂直分布区进行实证选择决策探讨,为桉树的科学引种决策提供依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 研究区自然气候概况

引种地永安市为福建省,也是国家林业技术推广的重要基地。地处东经 $116^{\circ}55'$ ~ $117^{\circ}45'$ ,北纬 $25^{\circ}30'$ ~ $26^{\circ}15'$ ,为中亚热带南部季风湿润气候,土壤类型为红黄壤,多数土层中厚到深厚,垂直分布为175~1700 m,多年年均降雨量为1578 mm,年平均气温 $16^{\circ}\text{C}$ ,1月平均气温 $8^{\circ}\text{C}$ ,7月平均气温 $28^{\circ}\text{C}$ ,1971~2005年的极端低温见表1(本文气象资料来源于永安市气象局,气象站海拔为206 m)<sup>[2]</sup>。

### 1.2 电导率测定

不同桉树的抗寒性采用电导率测定<sup>[6-10]</sup>。试验桉树种苗由福建省林业厅种苗站提供,桉树种尾叶桉、巨尾桉、巨桉、赤桉为组培苗,邓恩桉为实生苗;试验苗盆栽于福建农林大学苗圃,试验苗为半年生,苗高在50~60 cm之间。

试验的胁迫温度处理在福建农林大学农副产品保鲜技术工程中心自制冷库,温度分别设置为 $-2^{\circ}\text{C}$ , $-4^{\circ}\text{C}$ , $-6^{\circ}\text{C}$ , $-8^{\circ}\text{C}$ , $-10^{\circ}\text{C}$ , $-12^{\circ}\text{C}$ , $-14^{\circ}\text{C}$ ,温度为逐渐降温形式。

处理时间为每天8:00~16:00。光照时间为每天8:00~17:00,光照强度为 $2250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ,光源为白炽灯。取样时间为每天8:00,10:00,12:00,14:00,16:00,18:00,20:00,共5 d<sup>[7]</sup>。

不同树种均取相同叶位的叶片,即顶芽下第三对新叶(每次一片),以2 h为时间间隔,测定不同胁迫与树种的电导率,每实验重复3次,利用logistic方程求得半致死温度<sup>[6-8]</sup>。

表 1 永安市 1971 ~ 2005 年极端最低气温统计

Table 1 The lowest temperature from 1975 to 2005 in Yong'an

年份 Year	最低温度 Lowest temperature (°C)	年份 Year	最低温度 Lowest temperature (°C)	年份 Year	最低温度 Lowest temperature (°C)	年份 Year	最低温度 Lowest temperature (°C)
1971	-3.4	1980	-1.1	1989	-0.5	1998	0.4
1972	-2.0	1981	-2.0	1990	0.1	1999	-5.8
1973	-6.4	1982	-3.6	1991	-4.6	2000	-2.1
1974	-3.8	1983	-1.2	1992	-2.7	2001	-1.1
1975	-4.0	1984	-3.0	1993	-2.9	2002	-0.1
1976	-4.4	1985	-3.5	1994	-1.9	2003	-1.6
1977	-1.8	1986	-3.3	1995	-2.2	2004	-1.6
1978	-3.3	1987	-1.6	1996	-0.8	2005	-3.8
1979	-2.2	1988	-0.7	1997	-0.9		

### 1.3 极端气温预测模型

对极端气温的预测, Gumbel 和 Brooks 等指出可用 Fisher-Tippet 第一型极值分布来分析气象要素的极值问题,并在实际中加以运用<sup>[11-13]</sup>。笔者首次应用极值分布模型对福建省尤溪县的黑荆树 (*Acacia mearnsii*) 作出引种决策<sup>[14]</sup>, Fisher-Tippet 第一型极值分布即为 Gumbel 分布, 假设  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$  是对于总体的  $n$  个随机观测值, 因而它们是具有同一概率分布的随机变量。设原始分布函数为

$$p\{\xi_i < x\} = F(x) \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$\begin{aligned} \text{那么有 } p\{\xi \geq x\} &= p\{\xi_1 \geq x, \xi_2 \geq x, \dots, \xi_n \geq x\} \\ &= 1 - F(x)^n \end{aligned}$$

$$\text{式中 } \xi = \min(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$$

$$\text{因此 } p = \{\xi < x\} = 1 - [1 - F(x)]^n \quad (1)$$

从式(1)看到极小值的分布依赖于原始分布  $F(x)$ 。

依式(1)可以导出极小值的 Gumbel 分布, 其分布函数为  $p\{\xi < x\} = 1 - \exp\{-e^y\}$

$$y = \alpha(x + \mu) \quad (2)$$

利用极大值的极值分布函数中  $y = \alpha(x + \mu)$  的线性关系<sup>[11-15]</sup>, 有  $\alpha = \delta_y / \delta_x$

$$\mu = E(x) - \frac{1}{\alpha} E(y) \quad (4)$$

假设极大值样本为  $x_1 \leq x_2 \leq x_3 \dots \leq x_i \leq \dots x_n$

$E(x)$  用  $\bar{x}$  代替,  $\delta_x$  用  $s_x$  代替, 对于  $E(y)$ ,  $\delta_y$  的

$$\text{估计值分别用 } \bar{y} = \frac{\sum y}{n} \quad s_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (y - \bar{y})^2}$$

$$\text{式中 } y_i = -\ln(-\ln \frac{i}{n+1}) \quad i = 1, 2, \dots, n$$

从而依据式(3), (4)可计算出  $\hat{\alpha}$  和  $\hat{\mu}$ , 作为式

(2)中的参数, 只是极小值分布用于求极大值分布的参数方法而已, 而样本观察值数据应该变号<sup>[11-15]</sup>。

在  $Ta$  内,  $1/T$  值等于或低于  $x$  的概率为

$$\frac{1}{T} = P = \{\xi < x\} = 1 - e^{-y} \quad (5)$$

$$\text{即 } y = -\ln[-\ln(1 - \frac{1}{T})]$$

$$\text{而 } x = -(\frac{1}{\alpha} y - \mu) \quad (6)$$

## 2 结果和分析

### 2.1 不同树种的电导率

Lyons 的研究结果表明植物在低温逆境中, 细胞质膜透性会发生不同程度的变化, 电解质大量外渗, 引起电导率提高。透性在一定程度内可以逆转, 植物在解除胁迫后可恢复正常, 但超过一定程度后, 植物会发生死亡。根据这一特性, 利用电导率结合回归分析或 logistic 方程求得半致死温度, 以评价植物抗寒力的大小<sup>[6-9]</sup>。本研究对不同抗寒力的桉树进行电导率测定, 经 logistic 方程求得赤桉、邓恩桉、巨桉、巨尾桉、尾叶桉的半致死温度分别为  $-11.1^\circ\text{C}$ 、 $-9.9^\circ\text{C}$ 、 $-7.9^\circ\text{C}$ 、 $-7.0^\circ\text{C}$ 、 $-5.9^\circ\text{C}$ 。这些桉树的抗寒力与永安地区桉树栽植适应表现相符合。

### 2.2 模型建立与检验

用 Gumbel 极值分布拟合永安市 1971 ~ 2005 年的极端最低气温分布模型, 计算  $Ta$  内可能出现的极端最低气温值。根据表 1 的数据并按极大值分布计算参数的方法可以计算得到相应的参数值,

这样依据式(5)、(6), 可得到  $Ta$  内可能出现 1 次或小于 1 次的  $x$  值。

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_i x_i = -82.8/35 = -2.365$$

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i x_i^2 - (\sum_i x_i/n)^2} = 1.5398$$

当  $n = 35$  时可以计算得到

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_i y = \sum_i \left\{ -\ln\left[\frac{i}{n+1}\right] \right\} / n = 0.5401$$

$$S_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i y_i^2 - (\sum_i y_i/n)^2} = 1.1286$$

根据式(3)、(4)  $\frac{1}{\hat{\alpha}} = 1.3643 \quad \hat{\alpha} = 0.7329$

$$\hat{\mu} = -3.102$$

这样将式(2)写成为  $\phi(x) = 1 - \exp^{-e^x}$

$$y = 0.7329 \times (-x - 3.102) \tag{7}$$

对于永安市极端最低气温的分布是否能用式(7)的模型描述, 为此, 用  $K - C$  检验法检验, 应用  $K - C$  临界数值表, 由于该表是对于  $D_n$  的精确分布, 因此适用于小样本检验, 结果见表 2。从表 2 可得出:  $D_n = \max |F(x) - s_n(x)| = 0.0239$

当  $n = 35, \alpha = 0.05$  时,  $D_{0.05} = 0.224$

而  $D < D_{0.05}$  时, 因此, 认为永安市年极端最低气温的极值分布是服从 Gumbel 分布。当  $T = 5, 6, 7, 8, 9, 10 a$  时, 在  $Ta$  内可能遇到极端最低气温值, 由式(5)、(6)求出。

假设  $T = 5 a$  时,  $y = -\ln[-\ln(1 - \frac{1}{T})] = 1.5001$

$$x = -\left(\frac{1}{\alpha}y - \mu\right) = -(1.3643y + 3.102) = -5.2$$

$$x = 1.3643y - 3.102$$

表 2 分布假设检验

Table 2 The distribution tentative test

T (°C)	样本频数 Sample frequency	$S_n(x)$	上限的 y 值 Upper limit of y	F(x)	F(x)- $S_n(x)$
$-\infty \sim -6$	1	0.0286	2.1239	0.0002	0.0284
$-6 \sim -5$	1	0.0576	1.391	0.018	0.0396
$-5 \sim -4$	3	0.1428	0.6581	0.0145	0.1283
$-4 \sim -3$	8	0.3714	-0.0747	0.3953	0.0239
$-3 \sim -2$	7	0.5714	-0.8076	0.6403	0.0789
$-2 \sim -1$	8	0.7778	-1.5405	0.8071	0.0293
$-1 \sim 0$	5	0.9428	-2.2734	0.9021	0.0407
$0 \sim +\infty$	2	1	-3.0063	0.9517	0.0483

$T$  为其他数值时的  $Ta$  内可能遇到的极端最低气温见表 3。从表 3 可以看出, 7 a 内在永安市出现少于等于 1 次的极端最低气温为  $-5.7^\circ\text{C}$ , 在 10 a 内, 出现少于等于 1 次的极端最低气温为  $-6.2^\circ\text{C}$ 。根据表 1 的记录可知, 10 a 内出现的极端最低气温是小概率事件。桉树轮伐期一般为 7 a, 对于发生一次的小概率事件, 对桉树的连续经营影响不大, 可以避免或少发生决策中适宜引种的桉树冻害威胁。根据不同树种半致死温度和表 3 可知, 依据不同时间区间可能出现的低温, 不同桉树栽植海拔高度可按表 3 进行选择, 这样可避免出现冻害的临界温度, 使不同桉树种在一定的生长周期内最多发生 1 次极端气温的冻害的威胁。

### 2.3 树种选择与垂直分布的决策

树种抗寒能力因年龄、树种而不同, 年龄越大, 抗寒能力越强。选择不同程度抗寒力的桉树种进行测定, 结果依次为赤桉 ( $-11.1^\circ\text{C}$ ) > 邓恩桉 ( $-9.9^\circ\text{C}$ ) > 巨尾桉 ( $-7.9^\circ\text{C}$ ) > 尾巨桉 ( $-7.0^\circ\text{C}$ ) > 尾叶桉 ( $-5.9^\circ\text{C}$ )。植物在低温胁迫下, 当环境温度高于半致死温度时, 胁迫解除后可恢复。异常年份极端低温胁迫时, 若栽培立地环境极端低温高于半致死温度, 不会引起死亡性灾害, 若低于半致死温度, 则将可能引起死亡性灾害。不同栽培立地环境气温的变化随海拔高度每上升 100 m, 气温约降低  $0.65^\circ\text{C}$ , 基于此理论, 相应海拔高度出现的极端低温与栽植树种的半致死温度将决定低温适宜状况。由表 1 与 Gumbel 极值分布预测该区域 5~10 a 可能出现的极

端最低气温见表 3, 利用观测站可能出现的极端最低气温与不同树种半致死温度差, 换算成海拔高度差; 依据不同树种半致死温度, 可求得不同树种适应的不同海拔高度差, 由此, 根据上述的“极端环境反应法”进行引种栽植决策, 其结果见表 3。

林木造林为连续栽植, 不能仅考虑某一树种轮伐期内的极端低温可能出现 1 次的频率。从轮伐期出发, 当最早栽植的林木达到轮伐期时, 遇上可能出现 1 次的极端低温概率, 则对于当年造林的以及最后三年栽植的幼树, 则可能造成冻害。在决策时, 前人提出用一个轮伐期可能出现的极端最低气温来决策<sup>[4,6]</sup>, 笔者认为这不能很好地适用生产, 可能造成后期栽植的幼树与中龄树的冻害, 该决策忽视了林木栽植的连续性。桉树的轮伐期限一般为

7 a, 若以 7 a 时间区间进行决策, 后造林的小树将出现极端低温威胁。而以 10 a 进行决策, 由表 1 可知, 10 a 可能出现的极端低温与历史可能出现的极端低温相近, 属于几十年发生一次的小概率事件, 低温对引种桉树为害可能性小。笔者认为, 要避免引种可能出现的危害, 以 10 a 可能出现概率来决策更适宜生产实践。依据 10 a 预测来决策树种和海拔高度, 就可较好避免幼林和中龄树种的危害。根据“极端环境反应法”进行引种栽植决策, 由表 3 可知, 巨桉种植最高海拔不能超过 467 m; 永安地区多为山地, 落差大, 不可大面积推广, 巨尾桉、尾叶桉及相近抗寒能力的桉树则不应栽植, 邓恩桉与赤桉能推广, 但赤桉生长性差, 没有经济价值, 不适宜。

表 3 可能出现的极端最低气温和桉树种植的最高海拔

Table 3 The lowest temperature possibly occurred and the highest altitude of *Eucalyptus* planted

	植物 Species	决策年份 Decision year (a)					
		5	6	7	8	9	10
极端低温 Lowest temperature (°C)		-5.2	-5.4	-5.7	-5.9	-6.0	-6.2
最高海拔 Highest altitude (m)	尾叶桉 <i>E. urophylla</i>	316	275	240	0	-	-
	巨尾桉 <i>E. grandis</i> × <i>E. urophylla</i>	483	452	406	375	359	329
	巨桉 <i>E. grandis</i>	621	592	544	513	498	467
	邓恩桉 <i>E. dumii</i>	929	898	852	821	806	775
	赤桉 <i>E. camaldulensis</i>	1113	1083	1036	1006	990	960

### 3 小结和讨论

桉树北移引种栽培受极端异常低温限制。前人的许多引种理论未能定量确定进行引种决策<sup>[3]</sup>。本文首次应用数学理论与电导率定量探讨林木引种和引种决策事前评价, 并把上述方法定义为“极端环境反应法”。根据本文研究结果, 笔者认为有以下几方面值得共同探讨:

1) 引种区域年极端低温分布遵从第 I 型极值分布, 模型为  $G(X) = 1 - \exp^{-e^{0.7329 \cdot (-x - 3.102)}}$ , 极端低温模型可预测引种区在一定时间区间可能出现的异常低温; 电导率定量确定林木的抗寒能力已获得成功, 应用电导率定量确定桉树的抗寒能力取得同样效果。在实验室条件下, 定量确定林木的抗寒能力与环境的限制因子, 可事前评价林木的抗寒能力与环境适应性。前人的许多引种理论属于定性评价, 需要许多循序的试验, 时间长且自然限制因子不可控制, 试验常带有盲目性, 易造成试验损失。

应用“极端环境反应法”, 可减少盲目试验与推广栽植风险, 对物种引种推广栽植决策具有很好的参考价值。

2) 应用“极端环境反应法”事前评价不同抗寒能力桉树在引种区的适应性, 认为该区域内邓恩桉与赤桉能推广, 巨桉及相近抗寒能力的桉树可低海拔栽植, 邓恩桉速生性好, 是该区域较理想适宜的推广桉树种。

3) 前人从桉树轮伐期探讨极端低温对桉树种选择决策, 笔者认为该方法在生产实践上还不能很好地适用。林木栽培是连续性的, 10 a 预测的极端低温值, 由气象记录表明, 可能出现的概率为小概率, 这样对连续栽植的林木总体影响小, 笔者认为以 10 a 进行预测决策, 更适用于生产, 能减少连续栽植风险。

4) 笔者所提出的“极端环境反应法”。在实验室条件下, 能适宜多树种、多区域的事前评价林木

的抗寒能力与环境适应性。该方法能被广泛应用,且能定量决策,所需时间短,可减少引种试验年限与不必要的试验,减少投资风险。应用数学模型与现代生物学技术,快速准确解决林木的抗寒能力与环境适应性的关系,属于多学科综合理论。

5) 林木的抗寒性评价已有研究,评价指标包括:生态指标,形态指标,代谢指标,生化指标和理化指标等。生态指标评价采用半致死温度,酶的活性用于评价代谢指标;丙二醛、不饱和脂肪酸、可溶性糖、可溶性蛋白质和游离脯氨酸为生化的评价指标,电导率为理化指标,这些指标已有学者用于不同树种的抗寒性研究。但代谢指标与生化指标在抗寒性研究中能定性反映生理变化,而电导率与半致死温度能定量说明不同树种的抗寒性,许多研究表明理化指标与代谢指标和生化指标表现一致<sup>[6-10]</sup>。极值分布是预测一定时间区域内可能出现的极端异常低温,比较极端异常低温与不同树种半致死温度,确定不同树种对极端异常低温的适应性。前人对上述两方面做了相对独立的研究与应用,各自均存在应用缺陷,而利用两个不同学科的横向交叉,则可得到新的成果。

## 参考文献

- [1] Liang Y C(梁一池). Forestry Breeding [M]. Xiamen: Xiamen University Press, 1997: 162-168.(in Chinese)
- [2] Guo X Q(郭祥泉). Study on the afforesting affect of the different mixed treatment stands of three-year-old for *Eucalyptus grandis* and Masson pine [J]. J Fujian Coll For(福建林学院学报), 2003, 23(4): 338-342.(in Chinese)
- [3] Lin P(林平). Investigation of afforestation and chilling of *Eucalyptus* in Yong'an [J]. Sci Techn *Eucalyptus*(桉树科技), 2001, 54(1): 15-20.(in Chinese)
- [4] Qi S X(祁述雄). Chinese *Eucalyptus* [M]. Beijing: Forestry Press, 2002: 1-12.(in Chinese)
- [5] Edition Group of Rice and Agricultural Organization of the World. Cultivation of *Eucalyptus* [M]. Roman: Rice and Agricultural Organization of the World, 1975: 1-16.
- [6] Yang J M(杨建民), Li Y H(李艳华), Yang M S(杨敏生), et al. Comparative study on cold resistance of apricot varieties [J]. Sci Agri Sin(中国农业科学), 1999, 32(1): 28-31.(in Chinese)
- [7] Zhao J J(赵娟娟), Hong W(洪伟), Wu C Z(吴承祯). Experiments and evaluations of physiological characteristics of the cold-injury and the cold-hardening of *Eucalyptus* clones [D]. Fuzhou: Fujian Agricultural and Forest University, 2006: 42-66.(in Chinese)
- [8] Huang Y H(黄永红), Shen H B(沈洪波), Chen X S(陈学森). A preliminary study on cold resistant physiology of Apricot [J]. J Shandong agri Univ (Nat Sci)(山东农业大学学报: 自然科学版), 2005, 36(2): 191-195.
- [9] Liu J(刘建), Xiang D Y(项东云), Zhou J(周坚). Research progression cold hardiness physiology of *Eucalyptus* spp. and the molecular mechanisms [J]. J SW For Coll(西南林学院学报), 2006, 25(5): 81-85.(in Chinese)
- [10] Zhang Z L(张志良), Qu W J(瞿伟菁). Experient Guide of Plant Physiology [M]. Beijing: Senior Education Press, 2003: 213-216.(in Chinese)
- [11] Gumbel E J. Statistical Theory of Extreme Values and Some Practical Application [M]. New York: Columbia University Press, 1954: 156-162.
- [12] Brooks C E P, Carruthers M. Handbook of Statistical Method in Meteorology [M]. London: Her Majesty's Stationary Office, 1953: 132-156.
- [13] Yao Z S(么枕生). Climate Statistics [M]. Beijing: Science Press, 1963: 78-86.(in Chinese)
- [14] Hong W(洪伟). Extreme distribution and application of annually extreme lowest temperature [J]. J Fujian Coll For(福建林学院学报), 1988, 8(3): 229-234.(in Chinese)
- [15] Chen J Z(陈建忠). Application of extreme distribution for ascertaining the altitude of *Eucalyptus dunnii* reproduction areas [J]. J Fujian Coll For(福建林学院学报), 2006, 26(3): 262-265.(in Chinese)