

2 个种源邓恩桉木材纤维特性及变异

郭东强^{1,2,3}, 叶 露^{1,2,3}, 周 维^{1,2,3}, 刘 媛^{1,2,3}, 陈健波^{1,2,3}, 卢翠香^{1,2,3}, 项东云^{1,2,3}

(1. 广西壮族自治区林业科学研究院, 广西 南宁 530001; 2. 国家林业局 中南速生材繁育实验室, 广西 南宁 530001; 3. 广西优良用材林资源培育重点实验室, 广西 南宁 530001)

摘要: 采用木材离析方法对 2 个邓恩桉 *Eucalyptus dunnii* 种源木材纤维特性进行了测定分析。结果表明: 邓恩桉胸径生长与纤维长度、纤维宽度之间相关关系不显著; 纤维长度大致成正态分布, 种源 A 和种源 B 纤维长度均值分别为 986.44 μm 与 908.91 μm , 种源 A 长度在 700~1 700 μm 的纤维数量占纤维数的 97.11%, 种源 B 为 86.67%。在个体水平上分布范围较广, 为纤维长度的改良提供可能, 纤维长度呈自髓心向外逐渐增加。种源 A 和种源 B 纤维宽度均值分别为 25.71 μm 与 19.30 μm , 纤维宽度径向上种源 A 自髓心向外增长, 种源 B 自髓心向外减小。种源 A 和种源 B 纤维长宽比均值为 42.94 和 47.13, 纤维双壁厚均值分别为 13.44 μm 和 9.40 μm , 达到纸浆材要求。纤维壁腔比均值大于 1, 但个体水平上有些壁腔比小于 1。图 8 表 2 参 19

关键词: 木材科学与技术; 邓恩桉; 纤维特性; 变异; 种源

中图分类号: S792 39; S781.1

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2014)04-0502-06

Wood fiber features for two provenances of *Eucalyptus dunnii*

GUO Dongqiang^{1,2,3}, YE Lu^{1,2,3}, ZHOU Wei^{1,2,3}, LIU Yuan^{1,2,3}, CHEN Jianbo^{1,2,3},
LU Cuixiang^{1,2,3}, XIANG Dongyun^{1,2,3}

(1. Guangxi Forestry Science Research Institute, Nanning 530001, Guangxi, China; 2. Key Laboratory of Central South Fast-growing Timber Cultivation of State Forestry Administration of China, Nanning 530001, Guangxi, China; 3. Guangxi Key Laboratory of Superior Timber Trees Resource Cultivation, Nanning 530001, Guangxi, China)

Abstract: The timber segregation method was conducted to study the morphological features of wood fiber in two provenances of *Eucalyptus dunnii*. Results showed the linear correlation between DBH and fiber length and the linear correlation between DBH and fiber width were unremarkable. A roughly normal distribution was observed in fiber length with an average fiber length for the A provenance of 986.44 μm and for the B provenance of 908.91 μm . For fiber lengths of A and B provenances the number of fibers ranged from 700–1 700 μm accounting for 97.11% (for A) and 86.67% (for B) of the total fiber numbers. The fibers exhibited a broad distribution at the individual level, and the fiber length increased gradually from the pith outward. The average fiber widths were 25.71 μm (for A) and 19.30 μm (for B) with the A provenance gradually increasing from pith to bark, but the B provenance gradually decreasing. The average length-to-width ratio of A was 42.94:1 and B was 47.13:1; whereas the ratios of cell-wall thickness were 13.44 μm (for A) and 9.40 μm (for B). The average ratios of double wall thickness to diameter for both provenances were greater than 1 with some less than 1 at the individual level. The broad fiber distribution at the individual level meant it was possible to improve fiber length, and the length-to-width ratio and the ratio of cell-wall thickness indicated that *E. dunnii*

收稿日期: 2013-09-06; 修回日期: 2013-11-06

基金项目: 广西林业重大招标项目(桂林科字[2009]1号); 广西科学研究与技术开发计划课题项目(桂科基 0639023)

作者简介: 郭东强, 助理工程师, 从事桉树栽培研究。E-mail: n-one-y@163.com。通信作者: 项东云, 教授级高级工程师, 从事桉树遗传育种等研究。E-mail: xiang_dongyun@aliyun.com

was suitable for use as pulpwood. A further study on the genetic improvement of *E. dunnii* wood property is needed in order to make its fiber characteristics reach the excellent pulpwood standard. [Ch, 8 fig. 2 tab. 19 ref.]

Key words: wood science and technology; *Eucalyptus dunnii*; fiber characteristics; variation; provenance

木纤维是木材的主要组织, 木材纤维性质的变异规律是木材材性改良的基础^[1]。木纤维是两端尖锐, 呈纺锤形, 腔小壁厚细胞, 是阔叶树的重要组成分子。木纤维起到支持树体, 承受机械作用的功能, 其类别、排列方式及数量与木材密度、硬度和强度等物理力学性质有着密切联系^[2]。在造纸和纤维工业中对纤维长度有一定的要求, 长纤维可以提供的结合面多, 有利于提高纸张和纤维产品的强度。纤维长度大, 可以提高纸张的撕裂度、抗拉强度、耐破度和耐折性^[3]。邓恩桉 *Eucalyptus dunnii* 因生长快, 材质好, 抗逆性强等特点, 特别是由于其具有较强的耐寒能力, 使得对邓恩桉的遗传育种研究工作成为当前中国桉树育种工作的一个重要方向^[4-6]。在中国引进耐寒桉的研究过程中, 邓恩桉是在低海拔地区, 尤其是夏雨型凉冷地区试验中测试最充分的树种, 在广西、湖南、福建、云南、江西等地都表现出良好的适应性, 具有很强的耐寒能力, 生长速度和干形表现亦较好^[7-16]。笔者对 2 个邓恩桉种源的木材纤维长度、宽度、长宽比、双壁厚及壁腔比进行测定分析, 以期对邓恩桉的遗传改良提供参考。

1 材料及方法

1.1 试验地概况

试验地设在广西柳州市沙塘教学林场, 立地条件均一, 土壤为肥沃的土壤, 土层深厚, pH 4.0~6.0, 年降水量约为 1 400.0 mm, 年平均气温 20.5 ℃, 冬季有霜冻(年均约 25 d)。

1.2 种源材料

试验林于 1991 年 5 月营造, 共 13 个种源 106 个家系, 采用完全随机区组设计, 单株小区, 30 次重复, 株行距 2 m × 3 m。试验林于 3 年生时进行第 1 次选择性疏伐, 伐除 50% 生长较差的林木; 1999 年底进行第 2 次选择性疏伐, 保留 15% 生长表现较好的植株。

选取种源 A 和种源 B 等 2 个种源的平均木各 5 株, 采用生长锥取样, 在树高 1.3 m 处于北向钻入, 取得木芯迅速装入塑料管中, 并标好北向, 带回实验室待测。

1.3 纤维性状样品的处理及测定

分心材、中材和边材 3 个部分对样品进行测定, 用 $V(\text{冰醋酸}):V(\text{工业双氧水})=1:1$ (体积分数 > 27.5%) 的混合液对木材纤维进行离析, 采用 Nikon 80i 显微成像系统进行测定, 对各个试件随机测量 60 根完整纤维的长度、宽度、双壁厚、壁腔比等数据。数据分析采用 Excel 2003 进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 纤维长度及其变异

木材纤维长度是纤维形态中最重要的因子, 其变异大小是优良纸浆材选择的基础。在造纸原料中, 可通过纤维长度的分布和频率来确定造纸工业中各种纤维浆料的配比, 以保证纸张质量^[17]。

纤维长度越长, 纸张的撕裂度越大, 抗拉强度、耐破度和耐折性也都受到纤维长度的影响^[3]。从表 1 中可知: 种源 A 纤维长度为 874.11~1 058.00 μm, 平均长度为 986.64 μm; 种源 B 纤维长度为 826.83~981.57 μm, 平均长度为 908.91 μm。从表 2 可以看出: 种源 A 中等长度纤维频率达 80% 以上, 种源 B 中等长度纤维频率达 40% 以上。

由图 1 与图 2 可知: 邓恩桉林木胸径生长与纤维长度之间无显著相关。在树干的横切面上, 木纤维平均长度的径向变异为: 髓心周围最短, 在未成熟材部分向外逐渐增长, 到达成熟材后迅速减缓, 然后比较稳定^[1]。图 3 可见: 种源 A 和种源 B 心材部分纤维长度最小, 由心材向外逐渐增长, 纤维长度呈“心材 < 中材 < 边材”的规律。

表 1 邓恩桉木材纤维性状测试结果

Table 1 Testing results of morphological features for *Eucalyptus dunnii*

种源	胸径/cm	纤维长度/ μm	纤维宽度/ μm	纤维长宽比	纤维壁厚/ μm	纤维壁腔比
种源 A	21.8	925.14	26.74	34.60	10.23	1.56
	22.9	1 034.10	18.98	54.48	9.68	1.14
	24.1	1 041.78	45.00	23.15	28.41	1.84
	27.2	1 058.08	18.39	57.54	10.13	1.36
	27.5	874.11	19.45	44.94	8.76	0.93
种源 B	20.4	940.49	18.83	49.95	9.62	1.22
	22.1	856.35	18.88	45.36	8.77	0.99
	22.8	939.31	18.63	50.42	8.58	0.95
	23.3	981.57	21.35	45.98	10.76	1.09
	25.9	826.83	18.81	43.96	9.27	1.19

表 2 邓恩桉木材纤维形态的分布频率

Table 2 Distribution frequency of morphological features for *E. dunnii*

种源	长度(L)/ μm	频率/%	宽度(W)/ μm	频率/%	长宽比(R)	频率/%	双壁厚(T)/ μm	频率/%
种源 A	$L \leq 500$	0	$W \leq 15$	0.22	$R \leq 20$	0	$T \leq 10$	45.56
	$500 < L \leq 700$	0.56	$15 < W \leq 20$	13.67	$20 < R \leq 30$	9.11	$10 < T \leq 20$	30.33
	$700 < L \leq 900$	9.00	$20 < W \leq 25$	33.67	$30 < R \leq 40$	15.44	$20 < T \leq 30$	13.56
	$900 < L \leq 1\ 100$	26.11	$25 < W \leq 30$	20.67	$40 < R \leq 50$	16.33	$30 < T \leq 40$	9.00
	$1\ 100 < L \leq 1\ 300$	36.00	$30 < W \leq 35$	5.67	$50 < R \leq 60$	16.56	$40 < T \leq 50$	1.22
	$1\ 300 < L \leq 1\ 500$	20.67	$35 < W \leq 40$	3.89	$60 < R \leq 70$	18.33	$T > 50$	0.33
	$1\ 500 < L \leq 1\ 700$	5.33	$40 < W \leq 45$	5.33	$70 < R \leq 80$	12.33		
	$L > 1\ 700$	2.24	$W > 45$	16.89	$R > 80$	11.89		
种源 B	$L \leq 500$	0.44	$W \leq 15$	15.00	$R \leq 20$	0.22	$T \leq 10$	0
	$500 < L \leq 700$	12.89	$15 < W \leq 20$	45.78	$20 < R \leq 30$	5.44	$10 < T \leq 20$	63.11
	$700 < L \leq 900$	37.56	$20 < W \leq 25$	29.33	$30 < R \leq 40$	18.67	$20 < T \leq 30$	36.67
	$900 < L \leq 1\ 100$	32.78	$25 < W \leq 30$	8.00	$40 < R \leq 50$	31.89	$30 < T \leq 40$	0.22
	$1\ 100 < L \leq 1\ 300$	13.78	$30 < W \leq 35$	1.78	$50 < R \leq 60$	26.56	$40 < T \leq 50$	0
	$1\ 300 < L \leq 1\ 500$	2.22	$35 < W \leq 40$	0.11	$60 < R \leq 70$	10.89	$T > 50$	0
	$1\ 500 < L \leq 1\ 700$	0.33	$40 < W \leq 45$	0	$70 < R \leq 80$	3.78		
	$L > 1\ 700$	0	$W > 45$	0	$R > 80$	2.56		

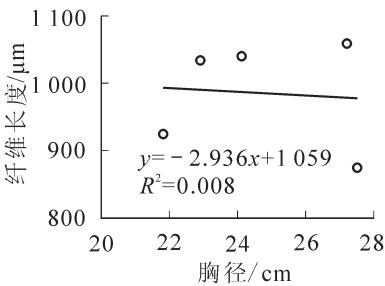


图 1 种源 A 胸径与纤维长度相 关系

Figure 1 The correlation between DBH and fiber length of provenance A

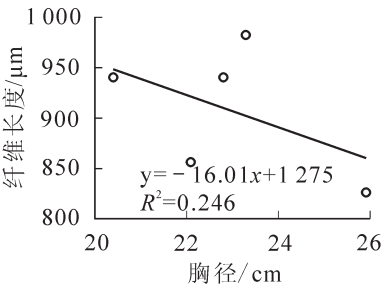


图 2 种源 B 胸径与纤维长度相 关系

Figure 2 The correlation between DBH and fiber length of provenance B

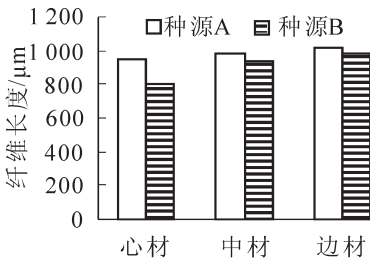


图 3 邓恩桉木材纤维长度径 向变异

Figure 3 Radial variation of the fiber length of *E. dunnii*

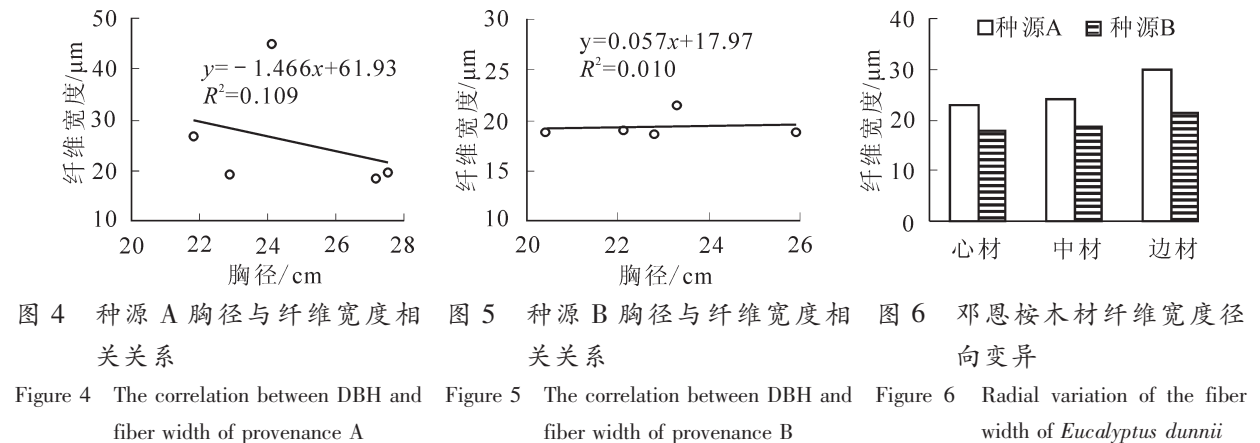
2.2 纤维宽度特征及其变异

木材制浆、造纸及纸张性能都受到木材纤维宽度的影响，通常腔大壁薄的纤维对纸张的成型和纤维

交织有利，反之纤维撕裂强度则较高^[18]。

从表 1 可知：种源 A 和种源 B 纤维宽度均值分别为 25.71 μm 和 19.30 μm。从表 2 可知，种源 A 纤维宽度集中在 15~30 μm，占 68.01%；种源 B 纤维宽度集中在 15~20 μm，占 75.11%。

由图 4 和图 5 可见：邓恩桉林木胸径生长与纤维宽度间关系不显著。图 6 中，2 种源心材部分纤维宽度相近，但其径向生长呈现出 2 种不同的规律。种源 A 自心材向中材部分，纤维宽度缓慢增长，自中材向边材部分纤维宽度增长幅度明显加大。种源 B 纤维宽度自心材向外呈逐渐减小的规律。



2.3 纤维长宽比及其变异

木纤维长宽比的重要性仅次于纤维长度，它是评价一个树种是否适于造纸的重要指标。纤维长宽比值越大，在制浆过程中有足够大的结合面，纸张的撕裂指数越高，强度越高。通常认为，纤维长宽比值小于 35~45 的木材不能用于制浆，否则纸张的强度过低，但也有学者提出纤维长宽比值小于 50 则不适于制浆^[19]。

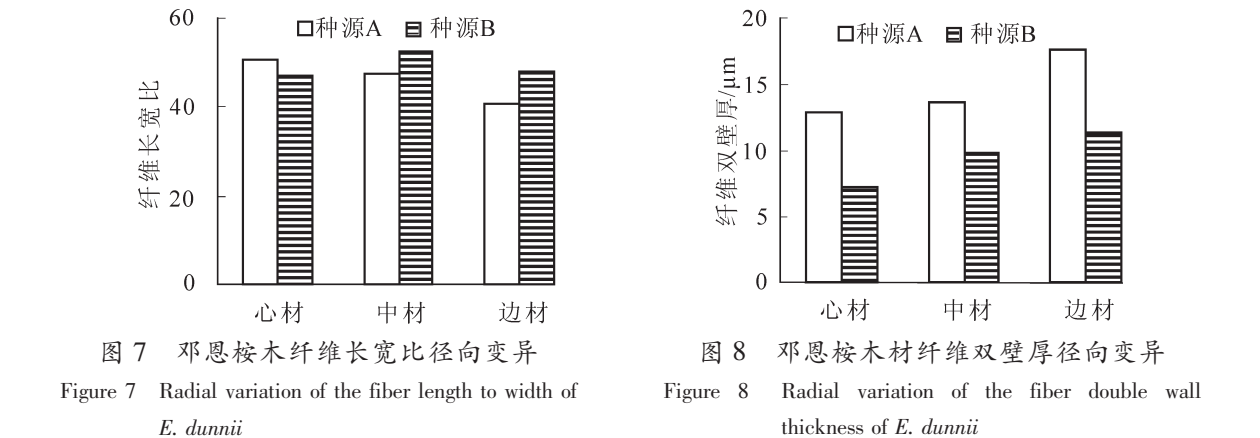
表 1 所示：种源 A 木材纤维长宽比的变动幅度较大，平均为 42.94，种源 B 变动幅度则较小，均值为 47.13。表 2 所示，种源 A 长宽比大于 40 和占 75.45%，种源 B 长宽比大于 40 占 75.67%。

由图 7 可见：种源 A 纤维长宽比自髓心向外逐渐减小，种源 B 自心材逐渐增长，在中材又逐渐减小，但边材长宽比值仍大于心材部分。

2.4 纤维双壁厚

木纤维双壁厚是木材基本密度、木材质量和强度的物质基础，与纸张强度有着重要关系。在制浆造纸工业中，木纤维壁厚度大，成纸的组织膨松多孔，撕裂度大，引力和爆破因子减小；木纤维壁薄，成纸的张力和耐折性强^[3]。

从表 1 可知：种源 A 和种源 B 的纤维双壁厚变化情况与纤维宽度变化情况相似，其纤维双壁厚均值分别为 13.44 μm 和 9.40 μm。从表 2 可知：种源 A 双壁厚多集中在 10.00 μm 以下，占 45.56%；种源 B 双壁厚为 10.00~20.00 μm，占 63.11%。从图 8 可以看出：邓恩桉木材纤维双壁厚自心材部分向边材增长，种源 A 双壁厚整体大于种源 B。



2.5 纤维壁腔比

纤维壁腔比是纤维双壁厚与腔径的比值,在造纸工业上称为劳氏系数(Runkel),是衡量纤维原料优劣的标准之一。通常认为,纤维壁腔比越小,纸张的质量越好。Runkel^[16]研究表明:壁腔比小于1的原料适合制浆造纸,为上等造纸用材,等于1的是中等用材,大于1的是劣等用材。

表1所示:种源A和种源B壁腔比优劣同存,种源A壁腔比最小值为0.93,最大比值为1.84,其均值为1.37;种源B壁腔比最小值为0.95,最大比值为1.22,均值为1.09。

3 结论与讨论

通过对2个邓恩桉种源纤维形态的测定与分析表明,邓恩桉胸径生长与纤维长度、纤维宽度之间无显著相关性。

依照国际木材解剖学会(IAWA)关于木材纤维的分类,2个种源邓恩桉木材纤维长度为中等纤维(900.00~1 600.00 μm),适合于纸浆造纸^[1]。纤维宽度径向变异呈自髓心向外逐渐增长规律。

种源A纤维宽度主要集中在15.00~30.00 μm ,种源B纤维宽度主要集中在15.00~20.00 μm ;纤维宽度与胸径间无显著相关性;径向上种源A纤维宽度自髓心向外呈逐渐增长规律,种源B则自髓心向外逐渐减小。

种源A纤维长宽比均值为42.94,种源B纤维长宽比均值为47.13;种源A纤维双壁厚为13.44 μm ,种源B纤维双壁厚为9.40 μm ,径向变异上两者均呈自髓心向外增长的规律;壁腔比种源A为1.37,种源B为1.09。

综上所述,2个种源邓恩桉纤维形态在纤维长度、纤维长宽比、纤维双壁厚等指标上达到纸浆材要求,但壁腔比未达到优良造纸材要求,其作为优良造纸材还需进行更为深入的遗传改良研究。本研究仅从解剖特性分析邓恩桉纤维形状,要更为全面准确地评价邓恩桉木材性质,还有待开展相关物理、化学、力学的研究。

参考文献:

- [1] 徐有明. 木材学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2006: 64.
- [2] 成俊卿. 木材学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1985: 256 - 258.
- [3] 方红, 刘善辉. 造纸纤维原料的评价[J]. 北京木材工业, 1996, 16(2): 19 - 25.
FANG Hong, LIU Shanhui. The evaluation of fiber resources [J]. *Beijing Wood Ind*, 1996, 16(2): 19 - 25.
- [4] 罗建中. 耐寒桉树良种: 邓恩桉[J]. 广西林业科学, 2002(4): 178 - 180.
LUO Jianzhong. Cold-tolerant eucalyptus species and provenances; *Eucalyptus dunnii* [J]. *Guangxi For Sci*, 2002(4): 178 - 180.
- [5] 罗建中. 邓恩桉等6种桉树的耐寒能力研究[J]. 桉树科技, 2011(2): 34 - 38.
LUO Jianzhong. Cold-tolerance study on 6 eucalypt species [J]. *Eucalypt Sci & Technol*, 2011(2): 34 - 38.
- [6] 刘友全, 李志辉, 马英, 等. 速生耐寒邓恩桉在桉树分布北缘区的适生性[J]. 中南林业科技大学学报, 2007, 27(2): 66 - 69.
LIU Youquan, LI Zhihui, MA Ying, et al. Adaptability of *Eucalyptus dunnii* in the northern limit areas [J]. *J Cent South Univ For & Technol*, 2007, 27(2): 66 - 69.
- [7] 黄绿荷, 何增明. 邓恩桉引种栽培及繁殖研究进展[J]. 作物研究, 2004(4): 448 - 450.
HUANG Lühe, HE Zengming. Research progress on the introduction cultivation and propagation of *Eucalyptus dunnii* [J]. *Crop Res*, 2004(4): 448 - 450.
- [8] 李洋, 兰永平, 李栋. 邓恩桉适应性栽培技术[J]. 中国林业, 2011(6): 52.
LI Yang, LAN Yongping, LI Dong. *Eucalyptus dunnii* adaptable cultivation technique [J]. *China For*, 2011(6): 52.
- [9] 王伟, 徐建民, 陆钊华, 等. 赣南地区邓恩桉的种源生长比较[J]. 桉树科技, 2008, 25(1): 35 - 38.
WANG Wei, XU Jianmin, LU Zhaohua, et al. The growth comparison of excellent provenances of *Eucalyptus dunnii* in Jiangxi Province [J]. *Eucalypt Sci & Technol*, 2008, 25(1): 35 - 38.
- [10] 黄德龙, 黄秀美, 吴载璋, 等. 耐寒桉树树种及种源引种试验[J]. 林业科技开发, 2003, 17(6): 18 - 21.

- HUANG Delong, HUANG Xiumei, WU Zaizhang, *et al.* Cold-resistant eucalyptus and its provenance test[J]. *China For Technol*, 2003, **17**(6): 18 – 21.
- [11] 薛华. 邓恩桉、赤桉在南平地区的引种试验[J]. 林业科技开发, 2006, **20**(6): 86 – 88.
XUE Hua. Introduction experiment of *Eucalyptus dunnii* and *E. longbeak* in Nanping [J]. *China For Technol*, 2006, **20**(6): 86 – 88.
- [12] 项东云. 新世纪广西桉树人工林可持续发展策略讨论[J]. 广西林业科学, 2002, **21**(3): 114 – 121.
XIANG Dongyun. Discuss on the sustainable development strategy in new century of eucalyptus plantation in Guangxi [J]. *Guangxi For Sci*, 2002, **21**(3): 114 – 121.
- [13] 石燕飞, 柏劲松, 朱金惠, 等. 耐寒桉树永州引种栽培技术研究[J]. 湖南林业科技, 2004, **31**(5): 31 – 34.
SHI Yanfei, BAI Jinsong, ZHU Jinhui, *et al.* The introduction and culture techniques of cold-resistant *Eucalyptus* in Yongzhou [J]. *J Hunan For Sci Technol*, 2004, **31**(5): 31 – 34.
- [14] 欧文琳. 邓恩桉在福建南平不同海拔区的生长调查[J]. 桉树科技, 2008, **25**(2): 20 – 24.
OU Wenlin. Investigation for the growth of *Eucalyptus dunnii* at different elevations in Nanping City of Fujian Province [J]. *Eucalypt Sci & Technol*, 2008, **25**(2): 20 – 24.
- [15] 卢新瑛. 2011 年初春持续低温对邓恩桉生长的影响[J]. 亚热带农业研究, 2011, **7**(2): 100 – 104.
LU Xinying. Effect of continuous low temperature on the growth of *Eucalyptus dunnii* in early spring of 2011 [J]. *Subtropic Agric Res*, 2011, **7**(2): 100 – 104.
- [16] 李柏海, ROGER A. 湖南省邓恩桉与柳桉高产纤维材引种培育研究进展[J]. 湖南林业科技, 2011, **38**(3): 5 – 15.
LI Baihai, ROGER A. *Eucalyptus dunnii* and *E. saligna* for high productivity fibre introduction and plantation development in Hunan province[J]. *J Hunan For Sci Technol*, 2011, **38**(3): 5 – 15.
- [17] 覃引鸾. 尾巨桉木材主要材性及其变异规律研究[D]. 南宁: 广西大学, 2011.
QIN Yinluan. *Study on Main Wood Properties and Their Variations Pattern of Eucalyptus urophylla × E. grandis* [D]. Nanning: Guangxi University, 2011.
- [18] 鲍甫成, 江泽慧. 中国主要人工林树种木材性质[M]. 北京: 中国林业出版社, 1998: 419 – 423.
- [19] 陆仁书. 纤维板制造学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1981: 23 – 24.