



崔之益, 徐大平, 杨曾奖, 等. 桉树无性系在华南 6 种立地条件下的适生性评价[J]. 华南农业大学学报, 2017, 38(3): 79-86.

桉树无性系在华南 6 种立地条件下的适生性评价

崔之益, 徐大平, 杨曾奖, 张宁南, 刘小金, 洪 舟
(中国林业科学研究院 热带林业研究所, 广东 广州 510520)

摘要:【目的】科学评价桉树无性系在不同立地条件下的抗性和适生性,为桉树“适地适树”种植提供科学依据。【方法】从成活率、树高、胸径、发病率、风害率以及材积等方面,在广东、广西 6 种不同立地条件下,开展了目前主要推广种植的 10 个桉树无性系的适生性对比试验。【结果】杂交桉树无性系仍然保持着其适应性强的优良特性,成活率除 LH9224 为 93.7% 以外,其余全部在 95.0% 以上。不同立地条件下各无性系的抗病能力存在较大差异,无性系中以 LH9224 发病率最高,平均超过 6.7%,LH9211 没有病株,抗病性最强;立地类型中的黏重土壤发病率最高,平均为 3.63%,轻质砂壤土为 0。各无性系间的抗风性存在显著差异,在平均风力为 9 级时,1.5 年生幼林的风害率为 5%~64%,DH3327 和 DH3226 的抗风性最差,风害率大于 60%,LH9211、LH9224 和 Sh1 的抗风性最强,风害率小于 10%;6 年生成林则以 M1 和 DH2012 的风折情况较为严重,遇 11 级大风时,风折率>12%。各无性系间的速生性也存在极显著差异,8.5 年生时年均出材量(MAI)为 17.19~38.87 m³·hm⁻²·a⁻¹,其中以钦廉试验地的 DH3213 表现最好,U6 表现最差,6 种立地条件下 6.5 年生时,10 个桉树无性系的平均 MAI 为 12.24~26.97 m³·hm⁻²·a⁻¹。【结论】台风频发地区可多种植抗风性强的尾细桉 *E. urophylla* × *E. tereticornis* 系列的 LH9224 无性系,而在内陆少有风害的地区,DH3213 和 DH3327 是较为理想的种植品系,对于成活率最差和发病率最高的唐家等地区,适宜选择成活率最高的 M1 和抗病性较好的 LH9211,而对于出材率较差的吴川和遂溪等地区,适宜选择速生性最佳的 DH3213。

关键词:桉树;无性系;成活率;抗病性;抗风性;速生性;适生性评价
中图分类号:S792.39 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-411X(2017)03-0079-08

Adaptability evaluations of *Eucalyptus* clones at six stand conditions in Southern China

CUI Zhiyi, XU Daping, YANG Zengjiang, ZHANG Ningnan, LIU Xiaojin, HONG Zhou
(Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China)

Abstract:【Objective】To evaluate scientifically the resistance and adaptability of *Eucalyptus* clones at different stand conditions, and provide a scientific basis for planting proper trees at different areas. 【Method】The adaptability of ten eucalyptus clones were compared at six sites in Guangdong and Guangxi Provinces. The survival rates, tree heights, diameters at breast height, incidence of disease, wind damage rates and volumes were studied. 【Result】Hybrid *Eucalyptus* clones kept excellent characteristics of strong adaptability, and the survival rates were above 95% except for LH9224 (93.7%). There were large differences in disease resistance among clones at different sites. LH9224 had the highest incidence of disease (averaged over 6.7%), while LH9211 had the highest disease resistance with no diseased plant. The incidence of disease was the highest (3.63%) under heavy clay soil condition, and 0 under light sandy soil condition. There were significant differences in wind resistance among clones. Under the

收稿日期:2016-08-03 优先出版时间:2017-04-12
优先出版网址:<http://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20170412.1446.034.html>
作者简介:崔之益(1988—),男,博士研究生,E-mail: cuizhiyi2012@126.com;通信作者:杨曾奖(1962—),男,研究员,硕士,
E-mail: yzengjiang@126.com
基金项目:广东省林业科技创新项目(2015KJCX033);中央级公益性科研院所专项(RITFYWZX201301)

average wind speed of nine grade, the wind damage rates for the 1.5-year-old young forests ranged from 5% to 64%, DH3327 and DH3226 had the poorest wind resistance with above 60% wind damage rates, and LH9211, LH9224 and Sh1 had the highest wind resistance with below 10% wind damage rates. For the 6-year-old forests, M1 and DH2012 had the poorest wind resistance with above 12% windthrow rates under the 11-grade wind. There were highly significant differences in growth speed among clones, and the mean annual increments (MAI) for the 8.5-year-old forests ranged from 17.19 to 38.87 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$. DH3213 at Qinlian had the fastest growth, while U6 at Qinlian had the least growth. The average MAI from six sites ranged from 12.24 to 26.97 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ for ten *Eucalyptus* clones. 【Conclusion】In typhoon-prone areas, LH9224 clone with strong wind resistance is suggested to be planted, while DH3213 and DH3327 clones are the desired strains for the inland areas with little wind damage. In Tangjia area with the lowest survival rate and the highest incidence of disease, we suggest planting M1 with the highest survival rate and LH9211 with the highest disease resistance, and for Wuchuan and Suixi areas with low volume production, the best choice is DH3213 with the fastest growth rate.

Key words: *Eucalyptus*; clone; adaptability; disease resistance; wind resistance; fast growing; adaptability evaluation

桉树 *Eucalyptus* spp. 在中国南方的种植已经超过 367 万 hm^2 ^[1], 因其显著的速生性和丰产性而被列为我国短周期工业原料林造林的首选树种之一, 它用不到 3% 的林地面积解决了 18% 的工业用材需求, 其良好的短期经济效益为其大面积的发展起到了积极的作用^[2]。然而, 由于桉树引种和推广种植的地区大多为台风频发的东南沿海地区, 又因杂交无性系的推出使其品种繁多, 其适生性和抗性又各不同, 造成明显产量差异, 因此有必要对广泛推广种植的品种作系统的多点对比, 为其造林品种的选择提供科学的依据。目前关于桉树适生性和抗性方面的研究多集中于桉树的抗病性^[3-5]和抗寒性^[6-7], 虽然前人亦有相关桉树的适生性研究^[8]和抗性对比试验^[9-13], 但多为单一地区的研究, 缺乏对多个立地、多个桉树无性系的系统比较, 且研究的品种和立地情况也各有不同。本文对 10 个目前主要推广种植的桉树无性系, 在广东和广西的 6 个不同立地的生长情况进行对比研究, 以期对其抗性和适生性作出科学评价, 为“适地适树”的选择提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

广东 3 个试验地位于雷州林业局的唐家林场 (20°50′01″ N, 109°51′76″ E) 和遂溪林场 (21°21′81″ N, 110°01′66″ E), 及湛江林业局属下的吴川林场 (21°18′37″ N, 110°31′13″ E)。唐家林场林地玄武岩发育的厚有机质层赤红壤, 土壤黏重, 肥力较好; 吴川林场林地花岗岩发育的赤红壤, 中壤土, 肥力

中等; 遂溪林场林地浅海沉积物发育的砂壤土, 松散而少黏粒, 肥力中下。广西 3 个试验地: 钦廉林场 (21°45′46″ N, 109°03′08″ E), 浅海沉积物发育的中壤土, 肥力中上; 防城林地 (21°48′02″ N, 108°25′16″ E), 沙页岩发育的赤红壤, 土层较薄, 中壤土, 肥力中下; 东门林场 (22°28′N, 107°51′E), 石灰岩发育的赤红壤, 土层深厚黏重, 肥力较好, 相对干旱。各试验地土壤分析结果见表 1。除广西东门林场试验地属于亚热带湿润季风气候外, 其余 5 个试验地均属于典型热带北缘海洋性季风气候, 干湿季明显, 夏季盛行东南风、南风及西南风, 冬季多北风和东北风, 每年 6—11 月为热带风暴和台风季节, 这为各无性系的抗风性比较提供了条件。

1.2 供试材料

供试桉树无性系有来自广西东门林场的尾巨桉 *E. urophylla* × *E. grandis* 系列 DH3226、DH3213、DH3327、DH3222 和巨赤桉 *E. grandis* × *camaldulensis* DH2012, 尾细桉 *E. urophylla* × *E. tereticornis* 系列中有来自雷州林业局林业科学研究所的 M1 和来自热带林业研究所的 LH9211 及 LH9224, 天然杂交种有雷州林业局选育的石岭 1 号 (SH1) 和来自湛江的尾叶桉 *E. urophylla* 自然杂交种 U6, 合计 10 个无性系, 全部使用扦插苗, 苗高 25 ~ 30 cm, 挑选生长基本均匀一致的苗木, 统一于 2002 年 6 月雨后造林。

1.3 试验设计和造林

6 个试验地, 全部采用随机区组设计, 广东各试验地重复 4 次, 广西各试验地重复 3 次。6 月间定植, 每小区 10 行每行 20 株, 株行距 2 m × 3 m, 小区

表1 各试验地土壤分析结果

Tab.1 The analysis results of soil in six experimental plots

试验地	取样 深度/cm	pH	w/(g·kg ⁻¹)				w/(mg·kg ⁻¹)				土壤	土层
			有机质	全氮	全磷	全钾	速效氮	速效磷	速效钾	有效硼	质地	深度/m
吴川	0~20	4.22	6.14	0.31	0.13	1.04	26.68	3.27	14.13	0.76	中壤	>2.0
	20~40	4.27	4.84	0.26	0.12	1.11	19.47	1.85	11.79	0.66		
唐家	0~20	4.31	7.15	0.43	0.11	0.75	48.60	4.29	116.11	1.12	黏土	>2.0
	20~40	4.40	5.63	0.34	0.11	0.84	42.32	1.30	145.79	1.09		
遂溪	0~20	4.19	5.41	0.20	0.17	0.75	22.51	2.75	16.51	0.39	轻壤	>2.0
	20~40	4.26	3.99	0.14	0.17	0.77	16.13	1.99	12.52	0.31		
钦廉	0~20	3.90	24.28	0.98	0.15	10.60	82.86	1.79	37.27	1.58	中壤	>1.5
	20~40	4.08	19.57	0.77	0.15	11.49	66.11	1.07	80.43	0.91		
防城	0~20	4.10	14.67	0.75	0.15	15.20	53.48	0.53	47.14	1.67	中壤	>0.8
	20~40	4.15	9.67	0.63	0.15	17.28	39.60	0.41	29.60	1.54		
东门	0~20	4.27	17.02	0.80	0.40	3.65	66.14	0.85	50.41	0.79	重壤	>1.5
	20~40	4.32	13.97	0.69	0.35	3.81	54.37	0.53	35.45	0.66		

面积1 200 m²。3种桉树基肥(S-芬兰的Kemira“星王”复合肥N₁₅P₁₅K₁₅, R-热林所Ritf桉树专用配方肥N₅P₁₈K₈B_{0.1}, L-雷林1号桉树专用配方肥N₁₀P₁₀K₁₀B_{0.1})处理10个无性系(各肥料名称中元素N、P、K、B及下标分别表示N、P₂O₅、K₂O、B的质量百分比),等质量施加3种桉树基肥,造林前统一每穴施桉树基肥500 g,造林后2个半月结合抚育除草,每株分别追施尿素50 g和氯化钾30 g。第2和第3年4—5月间抚育追施桉树专用肥N₁₆P₄K₈B_{0.02} 250 g·株⁻¹,广东各试验地机械开沟小穴种植,广西防城试验地人工垦带后挖穴种植,其余2个试验地采用机耕全垦小穴造林。

1.4 调查指标及方法

试验的调查指标包括成活率、树高、胸径、发病率和风害率等,每小区从第3行第3株开始,每木进行检测,观测3行每行10株,即每小区有效观测30株,3次重复。成活率调查在植后1个月内,各试验地各处理调查3个重复,每重复观测30株。风害调查在台风“伊布都”和“黑格比”登陆广东后进行,其中心风力分别为11级和14级,台风过后4 d内完成。

风害率=受害株数/调查总株数×100%;风折率=折断株数/调查总株数×100%^[9-11]。文中单株材积和蓄积量均取自当地采伐数据,由于年均出材量数据有所缺失,本文中年均出材量(MAI)=单株材积×种植密度(每公顷株数)/材积年份。

1.5 模糊判别的隶属函数

单一指标的排序结果无法恰当反映多指标的综合效应,所以采用模糊数学中隶属函数的方法对各

桉树无性系的适生性进行综合评价^[14]。用于分析的隶属函数R(X_i)计算方程为:

$$R(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}), \quad (1)$$

$$R(X_i) = 1 - (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}), \quad (2)$$

式中,X_i为指标测定值,X_{min}和X_{max}分别为所有处理的某一指标的最小值和最大值。如果某一指标与生长表现为正相关,则采用式(1)计算隶属值,反之则用式(2)。累加具体各指标的隶属值,并求出平均值进行比较。

1.6 数据统计与分析

所有试验数据采用Microsoft Excel 2010输入并整理绘图,使用SPSS19.0软件进行方差分析、相关分析和Duncan’s多重比较。

2 结果与分析

2.1 成活率分析

在同一生长环境条件及相同栽培管理的情况下,造林成活率、抗逆性(如抗风、旱、寒、病虫害等)能力的大小,基本可以反映品系(树种/种源/无性系)对环境的适应程度及遗传差异^[12]。造林成活率的高低是树种适生性的第一反应,调查结果(表2)表明,10个桉树无性系的成活率平均为96.0%,LH9224的成活率(平均93.7%)相对较差,显著低于其余品系(95.2%~97.4%);试验点间,黏重土壤(唐家)和降雨量相对较少的立地(东门)有相对较低的成活率,分别为93.9%和92.2%,低于平均值。

由表2可知,桉树成活率的平均值在无性系间的差异小于4%,立地间的差异小于6%,说明绝大部分杂交桉树无性系仍然保持桉树适生性强的优良

表 2 各试验地各桉树无性系成活率¹⁾

Tab.2 The survival rates of ten *Eucalyptus* clones at six sites

%

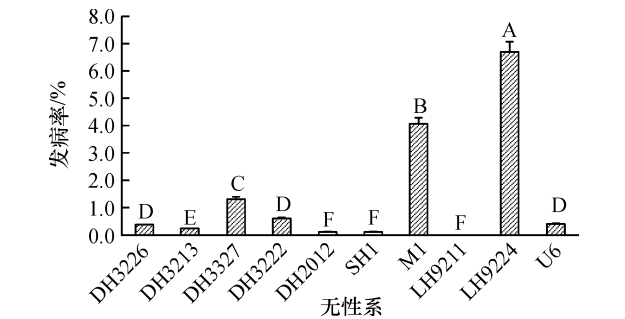
试验地	DH3226	DH3213	DH3327	DH3222	DH2012	SH1	M1	LH9211	LH9224	U6	平均值
唐家	92.8±0.9	94.2±1.1	91.7±1.2	93.6±1.4	93.9±1.5	93.9±1.2	97.8±1.2	91.4±1.2	93.6±1.6	96.7±1.1	93.9b
吴川	98.4±1.6	96.1±1.2	98.2±0.7	95.6±1.2	99.7±2.1	98.2±1.1	99.5±1.4	97.7±1.4	87.8±2.3	98.4±0.9	96.9a
遂溪	97.9±1.3	99.1±1.5	98.5±0.9	99.1±1.1	97.3±1.2	98.5±1.2	98.2±1.6	95.8±1.3	97.3±0.9	98.8±2.3	98.1a
钦廉	96.3±1.1	97.8±1.6	91.9±1.2	98.1±1.2	99.3±0.9	96.3±1.2	94.8±0.8	96.3±1.2	98.1±2.2	98.5±1.3	96.7a
防城	98.5±1.2	97.8±1.6	99.3±1.1	98.1±0.9	98.5±2.1	97.8±1.4	97.4±1.2	98.1±1.1	98.9±0.9	97.8±2.1	98.2a
东门	93.0±0.9	86.7±1.3	90.0±1.1	93.7±2.3	95.2±1.2	94.1±2.1	96.7±1.5	95.9±1.7	86.3±2.1	90.7±1.8	92.2b
平均值	96.1a	95.2a	94.9a	96.3a	97.3a	96.4a	97.4a	95.8a	93.7b	96.8a	96.0

1)表中同行或同列数据后,凡是有一个相同小写字母者,表示无性系或试验地间差异不显著(Duncan's法, $P>0.05$)。

特性,不论在黏重的立地(唐家)还是沙质土地(遂溪),不论在降雨量大(防城年降雨量>2 000 mm)或
小(东门年降雨<1 200 mm)的地方均有理想的成活率。

2.2 抗病性分析

对各试验地各无性系桉树的抗病性调查发现,当年生桉树以 LH9224 的发病率最高,主要为青枯病造成的死亡或黄株落叶,在唐家、吴川和钦廉其发病率均超过 10%,6 个试验地其平均发病率为 6.7%;其次为 M1 无性系,其平均发病率为 4.08%;以 LH9211 抗病性最强,在 6 个试验地 1 620 株有效调查株中,没有 1 株病例,其次为 DH2012 和 SH1,发病率只为 0.12%(图 1)。从立地类型上分析,桉树在黏重的土壤上发病率较高,同在广东雷州半岛地区的 3 个试验地,唐家土壤黏重,其平均发病率为 3.63%,而中壤土的吴川林地发病率为 1.62%,沙质土的遂溪林地发病率为 0;东门林场发病率较低则可能是其降雨量明显减少所致(图 2)。



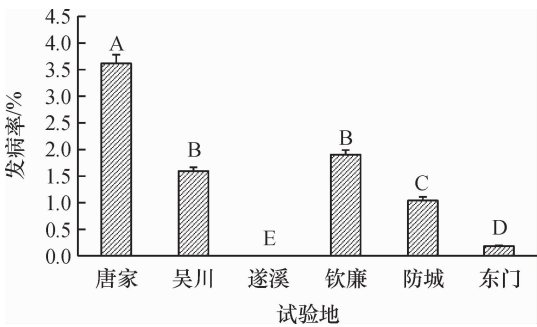
柱子上方,凡是有一个相同大写字母者表示无性系间差异不显著(Duncan's法, $P>0.01$)。

图 1 10 个桉树无性系发病率

Fig.1 The disease incidences of ten *Eucalyptus* clones

2.3 抗风性分析

由于桉树大多种植在台风多发的东南沿海地区,所以桉树抗风性强弱是其推广种植的重要指



柱子上方,凡是有一个相同大写字母者表示无性系或试验地间差异不显著(Duncan's法, $P>0.01$)。

图 2 6 个试验地桉树无性系发病率

Fig.2 The disease incidences of *Eucalyptus* clones at six sites

标^[6-7]。试验林营建后第 2 年受台风“伊布都”的影响,广东 3 个试验地的桉树都受到较大幅度的台风危害,经过试验地的风力 8~10 级。对桉树试验林的抗风情况调查结果列于表 3,认为抗风无性系(风害率 1%~10%)有 LH9211、LH9224 和 SH1,较抗风无性系(风害率 10%~20%)有 U6 和 M1,抗风性较差的无性系(风害率 20%~40%)有 DH3213、DH2012 和 DH3222,抗风性差的无性系(风害率>50%)为 DH3327 和 DH3226。调查还发现 DH2012 无性系易风折,其次为 DH3226,而 M1 则易折顶(树顶 1.0~1.5 m 折断),在吴川受风害严重的小区 DH2012 风折率高达 56%,主要在树干基部 1~2 m 处折断,且发生在生长最好的 IIR5 小区,在唐家 III1 小区 DH3226 风折率也高达 52%,在吴川 M1 风折率高达 46%。

表 3 中结果同时表明,几乎任何无性系其风害率都随风力的增大而显著增大,吴川风力 8 级,其平均风害率为 16.1%,遂溪风力 9 级,其平均风害率为 25.8%,唐家风力 10 级,其平均风害率为 38.2%。

表3 广东各试验地1.5年生桉树无性系风害率 ¹⁾											
Tab.3 The wind damage rates of 1.5-year-old <i>Eucalyptus</i> clones at three Guangdong sites											%
试验地	DH3226	DH3213	DH3327	DH3222	DH2012	SH1	M1	LH9211	LH9224	U6	平均值
唐家	70.5±3.2E	48.6±3.2C	80.5±3.4EF	58.3±3.2CD	40.0±2.8C	16.9±1.3B	29.0±1.4BC	3.7±0.4A	18.3±0.9B	16.3±0.8B	38.2
遂溪	65.8±4.3C	22.9±2.3B	65.4±2.1C	27.8±1.3B	15.0±1.2A	11.1±0.6A	19.8±1.2AB	9.2±0.7A	6.2±0.3A	14.5±0.7A	25.8
吴川	55.8±2.1D	7.4±1.2A	37.9±0.9C	13.5±0.7B	25.0±1.7BC	1.1±0.1A	3.2±0.2A	2.1±0.1A	3.4±0.2A	11.8±1.1B	16.1
平均值	64.0	26.3	61.3	33.2	26.7	9.7	17.3	5.0	9.3	14.2	26.7

1)表中同行数据后,凡是有一个相同大写字母者,表示无性系间差异不显著(Duncan's法, $P>0.01$);试验地唐家、遂溪和吴川的风力依次为10、9和8级。

桉树试验林6年生时,台风“黑格比”在广东阳江地区登陆,中心风力14级,主要对其邻近的吴川和遂溪2个试验地试验林造成了危害,吴川风力12级,遂溪风力11级。对所有观察株(每无性系360

株)的调查结果(表4)显示,6年生桉树试验林以M1的抗风性最差,平均风折率达到17.5%,其次为DH2012,平均风折率12.4%,以LH9211和DH3222最为抗风,风折率为1.8%,风倒情况少有发生。

表4 6年生桉树无性系受台风危害的风折率 ¹⁾											
Tab.4 The breakage rates of 6-year-old <i>Eucalyptus</i> clones under typhoon											%
试验地	DH3226	DH3213	DH3327	DH3222	DH2012	SH1	M1	LH9211	LH9224	U6	
吴川	10.5±1.3C	3.9±0.6A	2.1±0.1A	2.1±0.2A	13.2±1.3CD	2.3±0.4A	13.2±0.9CD	2.1±0.3A	4.5±0.2AB	5.8±0.4B	
遂溪	3.8±0.5A	5.6±0.3AB	8.9±0.5B	1.4±0.3A	11.6±1.0C	5.0±0.6AB	21.7±2.0D	1.4±0.3A	8.0±0.7B	1.4±0.1A	
平均值	7.2	4.8	5.5	1.8	12.4	3.7	17.5	1.8	6.2	3.6	

1)表中同行数据后,凡是有一个相同大写字母者,表示无性系间差异不显著(Duncan's法, $P>0.01$);吴川和遂溪的风力分别为12和11级。

表3、表4还表明,不同林龄桉树受台风危害的情况有所不同,幼林易受风害,当风力8级以上时,幼林平均风害率达到16.1%,而当风力11级时成林平均风害率仅为6.9%。幼林主要以风倒或倾斜为主,因其枝叶特别茂盛,有头重脚轻的情况,但无性系间亦有差别,DH2012风折情况同样严重就是例证;成林则主要以风折为主,少见风倒情况,不同林龄不同无性系其抗风性表现亦不相同。总体而言,以来自广东的LH9211和LH9224抗风性最强,其次

为SH1和U6,以来自广西东门的DH系列无性系抗风性相对较差。

2.4 速生性分析

短轮伐期桉树的砍伐周期一般为6年。对6.5年生桉树无性系各立地的生长调查结果列于表5和表6,从树木的速生性来看,除受台风影响最为严重的唐家试验地外,其余各试验地无论树高和胸径均以DH3213表现最为良好,以U6表现为差,其他无性系在各试验地生长表现各异。

表5 6.5年生桉树无性系在广东不同试验地的生长表现 ¹⁾						
Tab.5 The growth traits of 6.5-year-old <i>Eucalyptus</i> clones at different sites in Guangdong Province						
无性系	吴川		遂溪		唐家	
	树高/m	胸径/cm	树高/m	胸径/cm	树高/m	胸径/cm
DH3226	13.62±2.5E	10.29±0.7D	13.67±1.2BC	11.60±0.6A	14.94±0.6C	11.18±0.9DE
DH3213	17.22±1.4A	13.09±1.3A	14.94±2.3A	12.26±0.7A	16.46±1.4B	12.84±0.8ABC
DH3327	14.41±1.3D	10.56±1.2BD	11.56±2.2D	9.93±0.7BCD	12.28±1.1D	8.88±1.0F
DH3222	15.25±1.2C	11.27±2.1BC	14.87±2.1A	11.81±0.3A	14.43±0.8C	10.97±0.7E
DH2012	12.90±0.7F	9.45±1.0E	13.12±1.2C	9.73±1.4BCD	16.51±0.6B	12.15±0.6BCDE
SH1	16.41±0.9B	10.60±0.9CD	14.21±2.1AB	9.52±2.2CDE	18.52±2.2A	12.10±0.8CDE
M1	15.48±1.1C	11.27±0.6BC	10.99±0.9D	8.74±1.1E	16.72±2.4B	13.49±1.1A
LH9211	17.03±1.3AB	11.77±0.7B	13.52±1.3BC	10.23±2.1BC	19.79±1.6A	13.34±0.9AB
LH9224	15.68±1.5C	11.46±0.7B	14.00±2.1ABC	10.57±0.3B	17.14±1.4B	12.55±1.2ABC
U6	12.44±1.1F	10.22±0.8D	10.92±0.8D	9.08±0.8DE	14.97±1.3C	12.23±1.1BCD
平均值	15.04	11.01	13.47	10.42	16.32	11.99
F值	75.34**	28.56**	38.93**	23.81**	18.14**	73.17**

1)表中同列数据后,凡是有一个相同大写字母者,表示无性系间差异不显著(Duncan's法, $P>0.01$)。

表6 6.5年生桉树无性系在广西不同试验地的生长表现¹⁾
Tab.6 The growth traits of 6.5-year-old *Eucalyptus* at different sites in Guangxi Province

无性系	钦廉		东门		防城	
	树高/m	胸径/cm	树高/m	胸径/cm	树高/m	胸径/cm
DH3226	17.68 ± 1.2CD	12.95 ± 0.8BCD	17.72 ± 0.8B	13.26 ± 0.7B	13.48 ± 1.1CD	10.66 ± 0.6BC
DH3213	20.34 ± 1.3A	15.10 ± 1.0A	18.86 ± 1.2A	15.01 ± 0.6A	15.91 ± 1.3A	12.75 ± 1.1A
DH3327	18.69 ± 1.4BC	13.55 ± 0.7B	16.77 ± 1.4CD	12.39 ± 0.9CD	13.45 ± 1.2CD	10.00 ± 0.6CD
DH3222	18.84 ± 2.1B	13.15 ± 1.1BC	17.70 ± 1.6B	12.87 ± 0.9BC	14.45 ± 1.1B	10.96 ± 0.9B
DH2012	18.20 ± 0.9BCD	12.05 ± 0.4DE	17.36 ± 1.7BC	11.99 ± 2.1DE	13.82 ± 1.2BC	10.98 ± 0.8B
SH1	17.69 ± 0.7CD	11.71 ± 0.6E	15.79 ± 0.9EF	11.08 ± 1.2F	13.25 ± 1.0CD	9.68 ± 0.7D
M1	17.63 ± 0.8D	12.33 ± 2.0CDE	16.91 ± 1.3BCD	11.87 ± 1.6DEF	14.46 ± 0.6B	10.76 ± 1.3B
LH9211	18.42 ± 0.9BCD	12.85 ± 1.2BCD	15.59 ± 1.3F	11.43 ± 0.8EF	13.46 ± 0.9CD	11.02 ± 0.9B
LH9224	18.93 ± 0.9B	13.17 ± 0.8BC	16.45 ± 1.2DE	12.51 ± 1.1BCD	13.57 ± 0.5CD	11.02 ± 1.0B
U6	14.91 ± 0.6E	11.64 ± 1.1E	13.95 ± 1.1G	11.28 ± 0.9EF	12.94 ± 0.7D	10.39 ± 0.6BC
平均值	18.13	12.85	19.07	13.50	13.88	10.82
F 值	29.59 **	18.61 **	40.93 **	27.86 **	16.90 **	16.25 **

1) 表中同列数据后,凡是有一个相同大写字母者,表示无性系间差异不显著(Duncan's 法, $P>0.01$)。

8.5年生时,保存最为完好的钦廉试验地为代表的单株材积见图3,速生性最好的为DH3213,其单株材积达到 $0.222\text{ m}^3\cdot\text{株}^{-1}$,年均出材量(MAI)为 $38.87\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,其次为DH3327和DH3222,单株材积分别为 0.167 和 $0.146\text{ m}^3\cdot\text{株}^{-1}$,MAI为 29.12 和 $25.46\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,再次为抗风性强的LH9224,单株材积为 $0.140\text{ m}^3\cdot\text{株}^{-1}$,MAI为 $24.52\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,表现最差的U6单株材积为 $0.08\text{ m}^3\cdot\text{株}^{-1}$,MAI为 $17.19\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

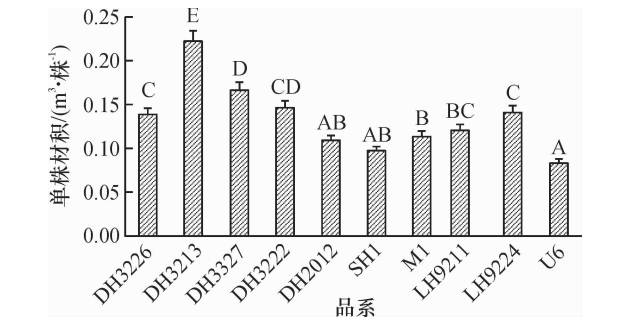


图3 钦廉8.5年生桉树无性系单株材积
Fig.3 The individual volumes of 8.5-year-old *Eucalyptus* clones in Qinlian

图4结果则表明,立地对桉树产量的影响极为明显,好的立地比差的立地增产1倍以上,6.5年生时,遂溪的平均出材蓄积量为 $79.6\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$,MAI为 $12.24\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,而东门的平均出材蓄积量为 $175.3\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$,MAI为 $26.97\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。

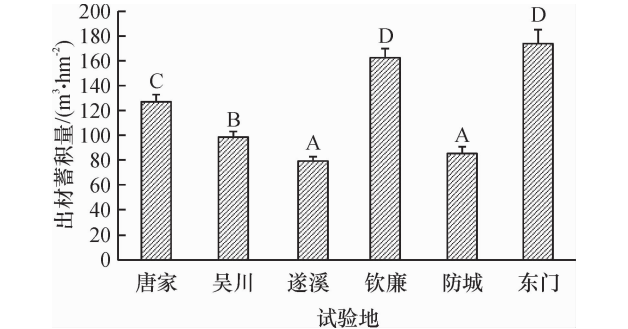


图4 6.5年生桉树无性系各试验地平均出材蓄积量
Fig.4 The average volume production of 6.5-year-old *Eucalyptus* clones at different sites

2.5 综合评价
采用模糊数学中隶属函数的方法对各桉树无性系的适生性进行综合评价,隶属值越大,说明桉树的生长表现越好。由表7结果可知,在广东和广西6个试验地条件下,无性系LH9211、DH3213、SH1、DH3222和U6的隶属值均不小于3.5,高于其他5个无性系,其中,最大隶属值与最小隶属值相差近1倍。表8表明,由于较低的成活率和最高发病率,种植于唐家的桉树生长综合表现较差,隶属值最低,其他5个立地的隶属值相差不大。就具体某个地区而言:从表9可以看出,唐家最适合M1和LH9211这2个无性系,隶属值相对较高;从表10可以看出,吴川适宜种植DH3213、LH9211和SH1这3个无性系,这3个无性系的隶属值排在前三;从表11可以看出,适宜在遂溪种植的桉树无性系为DH3213和DH3222。

2.5 综合评价

采用模糊数学中隶属函数的方法对各桉树无性系的适生性进行综合评价,隶属值越大,说明桉树的生长表现越好。由表7结果可知,在广东和广西6个试验地条件下,无性系LH9211、DH3213、SH1、DH3222和U6的隶属值均不小于3.5,高于其他5个无性系,其中,最大隶属值与最小隶属值相差近1倍。表8表明,由于较低的成活率和最高发病率,种植于唐家的桉树生长综合表现较差,隶属值最低,其他5个立地的隶属值相差不大。就具体某个地区而言:从表9可以看出,唐家最适合M1和LH9211这2个无性系,隶属值相对较高;从表10可以看出,吴川适宜种植DH3213、LH9211和SH1这3个无性系,这3个无性系的隶属值排在前三;从表11可以看出,适宜在遂溪种植的桉树无性系为DH3213和DH3222。

表 7 不同桉树无性系适生性综合评价

Tab. 7 The adaptability evaluation of different *Eucalyptus* clones

无性系	得分						排名
	成活率	发病率	风害率	风折率	单株材积	总和	
DH3226	0.65	0.94	0.00	0.65	0.40	2.64	7
DH3213	0.41	0.96	0.64	0.81	1.00	3.82	2
DH3327	0.32	0.80	0.05	0.76	0.60	2.53	8
DH3222	0.70	0.91	0.52	1.00	0.46	3.59	4
DH2012	0.97	0.98	0.63	0.32	0.19	3.09	6
SH1	0.73	0.98	0.92	0.88	0.10	3.61	3
M1	1.00	0.39	0.79	0.00	0.22	2.40	9
LH9211	0.57	1.00	1.00	1.00	0.27	3.84	1
LH9224	0.00	0.00	0.93	0.72	0.41	2.06	10
U6	0.84	0.94	0.84	0.88	0.00	3.50	5

表 8 不同试验地桉树的适生性综合评价

Tab. 8 The comprehensive evaluation of *Eucalyptus* plantation at different sites

试验地	得分				排名
	成活率	发病率	出材蓄积量	总和	
唐家	0.28	0.00	0.50	0.78	6
吴川	0.78	0.55	0.20	1.53	5
遂溪	0.98	1.00	0.00	1.98	2
钦廉	0.75	0.47	0.87	2.09	1
防城	1.00	0.71	0.07	1.78	4
东门	0.00	0.95	1.00	1.95	3

表 9 唐家 10 个桉树无性系适生性综合评价

Tab. 9 The adaptability evaluation of ten *Eucalyptus* clones in Tangjia

无性系	得分					排名
	成活率	风害率	树高	胸径	总和	
DH3226	0.22	0.13	0.35	0.50	1.20	8
DH3213	0.44	0.42	0.56	0.86	2.28	5
DH3327	0.05	0.00	0.00	0.00	0.05	9
DH3222	0.34	0.29	0.29	0.45	1.37	7
DH2012	0.39	0.53	0.56	0.71	2.19	6
SH1	0.39	0.83	0.83	0.70	2.75	3
M1	1.00	0.67	0.59	1.00	3.26	1
LH9211	0.00	1.00	1.00	0.97	2.97	2
LH9224	0.34	0.81	0.65	0.80	2.60	4
U6	0.83	0.84	0.36	0.73	2.76	3

表 10 吴川 10 个桉树无性系适生性综合评价

Tab. 10 The adaptability evaluation of ten *Eucalyptus* clones in Wuchuan

无性系	得分						排名
	成活率	风害率	风折率	树高	胸径	总和	
DH3226	0.89	0.00	0.24	0.25	0.23	1.61	10
DH3213	0.70	0.88	0.84	1.00	1.00	4.42	1
DH3327	0.87	0.33	1.00	0.41	0.30	2.91	7
DH3222	0.66	0.77	1.00	0.59	0.50	3.52	4
DH2012	1.00	0.56	0.00	0.10	0.00	1.66	9
SH1	0.87	1.00	0.98	0.83	0.32	4.00	3
M1	0.98	0.96	0.00	0.64	0.50	3.08	5
LH9211	0.83	0.98	1.00	0.96	0.64	4.41	2
LH9224	0.00	0.96	0.78	0.68	0.55	2.97	6
U6	0.89	0.80	0.67	0.00	0.21	2.57	8

表 11 遂溪 10 个桉树无性系适生性综合评价

Tab. 11 The adaptability evaluation of ten *Eucalyptus* clones in Suixi

无性系	得分						排名
	成活率	风害率	风折率	树高	胸径	总和	
DH3226	0.64	0.00	0.88	0.68	0.81	3.01	6
DH3213	1.00	0.72	0.79	1.00	1.00	4.51	1
DH3327	0.82	0.01	0.63	0.16	0.34	1.96	9
DH3222	1.00	0.64	1.00	0.98	0.87	4.49	2
DH2012	0.45	0.85	0.50	0.55	0.28	2.63	8
SH1	0.82	0.92	0.82	0.82	0.22	3.60	3
M1	0.73	0.77	0.00	0.02	0.00	1.52	10
LH9211	0.00	0.95	1.00	0.65	0.42	3.02	5
LH9224	0.45	1.00	0.67	0.77	0.52	3.41	4
U6	0.91	0.86	1.00	0.00	0.10	2.87	7

3 讨论与结论

杂交桉树无性系保留了桉树适应性强的特性,各无性系造林成活率均能达到 93% 以上,平均为 96.0%,对比桉树实生苗造林^[13]没有太大的差异,保留了桉树强大生命力的优点,在桉树的适宜种植地区,其成活率均不成为问题。

桉树无性系的选择一要考虑其速生性,二要考虑其抗风性,特别是台风频发的沿海地区。试验中 DH 系列有相对理想的速生性,但其抗风能力严重不足,在风力 9 级时即可造成 65% 以上的风害。因此,建议台风频发地区可多种植抗风性强的尾细桉系列的 LH9224 无性系,以减少因风倒伏以致重新种植的麻烦,产量亦能达中等以上水平,其在福建闽南地区亦有良好表现^[12]。在内陆少有风害的地区,DH3213 和 DH3327 是较为理想的种植品系,其能使产量提高 30% 以上,并取得较为理想的经济效益,DH 系列的速生性也被前人的试验所肯定^[13,15]。

10 个桉树无性系,在唐家和吴川的综合评价隶属值较差,因此,对于成活率差和发病率最高的唐家,只能选择成活率最高的 M1 和具抗病性的 LH9211,而对于出材率较差的吴川和遂溪,适宜选择速生性最佳的 DH3213 无性系。

立地条件的好坏显著地影响桉树单位面积的产量,良好立地条件下的桉树产量可以比较差立地条件下桉树产量多 1 倍甚至 3 倍以上,因此,林地的选择极为重要,虽然桉树的适生性很强,但不同无性系产值有着极大的差别,因此,选好地、种好桉树具有极为现实的意义。

桉树各无性系的抗病性虽然有差别,但目前桉树种植更多地使用组培苗,并在造林地附近直接培育进行造林,一定程度上减少了病害的传播。桉树成林的病害也可能在桉树与相思 *Acacia confusa*、桉树与西南桦 *Betula* spp.、桉树与红椎 *Castanopsis hystrix* 等的混交种植模式中得以减少,改变桉树大面积纯林种植的方式是减少桉树病虫害发生的有效途径。

参考文献:

[1] 马兵. 万物并育不相害 桉树生材又固碳 [J]. 科学中国人, 2012(17): 56-57.

[2] 徐大平, 张宁南. 桉树人工林生态效应研究进展 [J]. 广西林业科学, 2006, 35(4): 179-187.

[3] 王艳丽, 李正楠, 李会平, 等. 桉树抗青枯病的鉴定技术 [J]. 林业科学, 2011, 47(6): 101-107.

[4] 唐芬, 冯丽贞, 林燕萍, 等. 不同浓度水杨酸诱导桉树抗焦枯病保护酶活性变化 [J]. 福建林学院学报, 2013, 33(3): 249-252.

[5] OUYANG L J, LI L M. Effects of an inducible *aiiA* gene on disease resistance in *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* [J]. Transgenic Res, 2016, 25(4): 441-452.

[6] 曾炳山, 裴珍飞, 刘英, 等. 巨桉耐寒无性系井冈 1 号的选育 [J]. 林业科学研究, 2014, 27(5): 667-671.

[7] ZOHAR Y, WAISEL Y, KARSCHON R. Heat and cold resistance of *Eucalyptus occidentalis* Endl. leaves and its relationship to soil water conditions [J]. Austral Ecology, 1981, 6(1): 79-84.

[8] 杨东海, 李吉生. 宁都县桉树林适生性的调查研究 [J]. 江西林业科技, 2011(S1): 16-18.

[9] 杨宗武, 李宝福, 黄信金, 等. 桉树无性系抗风对比试验 [J]. 福建林业科技, 2010, 37(3): 41-44.

[10] 朱成庆. 雷州半岛桉树无性系抗风性的研究 [J]. 林业科学研究, 2006, 19(4): 532-536.

[11] 陈少雄, 王观明, 罗建中. 桉树幼林不同株行距配置抗台风效果 [J]. 林业科学研究, 1995, 8(5): 582-585.

[12] 周顺得. 闽南丘陵山地桉树不同无性系栽培试验研究 [J]. 安徽农学通报, 2010, 16(1): 165-166.

[13] 陈孝, 欧生, 梁学明, 等. 杂交桉 DH 系列无性系生长比较 [J]. 广东林业科技, 2001, 17(2): 11-14.

[14] 肖玉, 杨曾奖, 林国雄, 等. 不同附主树种对金钗石斛生长的影响 [J]. 生态学杂志, 2015, 34(9): 2410-2414.

[15] 徐建民, 李光友, 陆钊华, 等. 杂种桉无性系综合筛选试验研究 [J]. 桉树科技, 2009, 26(2): 1-8.

【责任编辑 李晓卉】