

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2022.006.007

广西引种伞房属三种桉树的生长和抗病性早期选择

李昌荣¹, 郑永邓², 郭东强¹, 覃开锋², 陈升侃¹,
李娟², 唐庆兰¹, 吴秦展^{3*}

(1. 广西壮族自治区林业科学研究院, 国家林业和草原局中南速生材繁育实验室, 广西优良用材林资源培育重点实验室, 广西南宁 530002; 2. 广西壮族自治区国有三门江林场, 广西柳州 545006; 3. 广西壮族自治区国有大桂山林场, 广西贺州 542899)

摘要: [目的] 了解伞房属斑皮桉、大叶斑皮桉和柠檬桉 2 个亚种(柠檬桉和斑皮柠檬桉)引种广西的生长情况, 初步选育抗病的树种、种源、家系, 为桉树锯材树种定向培育提供科学依据。[方法] 以广西国有三门江林场伞房属桉树种源/家系试验林为研究材料, 调查林龄 3 个月试验林的树高和病害情况, 采用抗病指数分析试验林病害情况, 方差及变异分析性状差异性与遗传变异情况, 独立淘汰法初步选择抗病树种、种源、家系。[结果] 树种间树高、保存率、抗病指数差异极显著 ($P < 0.001$); 斑皮桉和大叶斑皮桉种源间树高、保存率、抗病指数差异不显著, 但 2 树种 3 性状在家系间差异极显著 ($P < 0.01$), 斑皮桉抗病指数家系间差异不显著除外; 斑皮柠檬桉种源间和家系间树高、抗病指数差异极显著 ($P < 0.001$), 保存率差异不显著; 柠檬桉种源间和家系间仅抗病指数差异极显著 ($P < 0.01$)。各性状遗传力和重复力变化范围为 0.05~0.43, 受弱至中等强度遗传控制。柠檬桉比其他 3 个树种生长快, 最抗病; 共选出 7 个抗病种源和 47 个抗病家系, 其树高、保存率、抗病指数平均值比总体平均值高 57.1%、1.8%、67.4% 和 57.1%、0.9%、69.8%, 种源和家系的树高、抗病指数遗传增益分别为 12.0%、21.9% 和 17.1%、21.6%。[结论] 选择出的抗病树种柠檬桉、抗病种源和家系为下一步改良提供种质材料。

关键词: 伞房属; 斑皮桉; 斑皮柠檬桉; 大叶斑皮桉; 柠檬桉; 抗病指数

中图分类号: S763; S792.39

文献标志码: A

文章编号: 1001-1498(2022)06-0064-09

桉树是桃金娘科 (Myrtaceae) 杯果木属 (*Angophora* Cav.)、伞房属 (*Corymbia* K.D. Hill & L.A.S. Johnson) 和桉树属 (*Eucalyptus* L'Herit.) 树种的统称^[1]。伞房属包含一些优质锯材树种和亚种, 如斑皮桉 (*Corymbia maculata* Hook.)、大叶斑皮桉 (*Corymbia henryi* S.T.Blake)、柠檬桉 (*Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson) 和斑皮柠檬桉 (*Corymbia citriodora* Hook. subsp. *variegata* F. Muell)^[2], 这几个树种是澳大利亚有名的硬木树种^[3-5], 其木材可用作造

纸、原木和锯材等, 大径级原木更是优良的造船材, 是澳大利亚东部地区主要的商业木材来源^[6]。

目前, 已开展一些伞房属树种的育种改良研究。澳大利亚较早研究了不同自然环境下斑皮柠檬桉和柠檬桉的生长潜力, 选育出了抗病能力强、速生的杂种子代和无性系^[3,7-10]; 巴西^[11] 和南非^[12] 等国家已经成功引种伞房属树种。我国引种最早的伞房属树种是柠檬桉, 早期仅作为行道树, 后来进行了斑皮桉种源试验^[13]。2000 年华南农业大学开展了系统的伞房属引种试验, 在广东 4 个点建立试验

收稿日期: 2021-04-11 修回日期: 2022-04-20

基金项目: 广西青年基金 (2021GXNSFBA196003)

* 通讯作者: 吴秦展, 男, 工程师, 研究方向: 林木栽培与管理。E-mail: 247679007@qq.com

林,早期适应性研究表明,不同树种间和同一树种不同地点间差异极显著,初步筛选出平均单株材积高于对照的种源和家系^[14-16]。国内早期引种未有病害的相关报道,但近年发现伞房属一些树种易受彼特氏桉座孢(*Quambalaria pitereka*)引起的顶梢与白叶枯萎病危害^[17],病害主要症状为顶端和枝条尖梢嫩叶与新芽出现白斑,感病部位逐渐白化、枯萎^[17-19],甚至全株死亡^[20]。本课题组在国家林业局“948”项目支持下,系统引种了伞房属3个树种,试验林中发生了较严重的顶梢与白叶枯萎病^[17],对伞房属树种的推广应用有不良影响,这使得对伞房属树种的抗病种质筛选成了必要之举。

本文基于广西引种的伞房属3个树种生长和病害调查数据,分析树种、种源和家系间的差异,初步筛选抗病树种、种源和家系,为种质资源改良利用提供材料保障。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验点位于广西壮族自治区国有三门江林场江口分场(109°30'E, 24°30'N),海拔132 m,属南亚热带与中热带交替过度气候带,年平均气温20.5℃,年平均降水量1490 mm,土壤以红壤为主。

1.2 试验材料

参试材料为伞房属3个树种,包括斑皮桉、大叶斑皮桉和柠檬桉2个亚种(柠檬桉和斑皮柠檬桉),共23个种源209个家系(表1,斑皮桉种批20772的家系58无苗,未参试),材料来源于澳大利亚林木种子中心(堪培拉)。试验设计为随机完全区组,4株小区,8次重复,株行距为2 m×3 m,2015年4月造林。

1.3 性状调查

造林后第2个月发现病害,第3个月进行每株调查。用测杆测量每株树高,精确到0.1 m。参照有关桉树病害研究^[17],调查每株树的病害情况,受害程度分为0、1、2、3共4级。0级:无病害;1级:受害程度30%以下;2级:受害程度30%~60%;3级:受害程度60%以上。

1.4 数据处理

保存率=保存植株数/调查总株数×100%。

参考病害相关研究^[21-22],计算抗病指数(表2)。

抗病指数=1-Σ(各级病株数×发病级别数)/(总

株数×最高发病级别数)。

树种间方差分析的线性模型为:

$$Y_{ijk} = \mu + P_{i(j)} + T_j + R_k + E_{ijk}$$

树种内方差分析的线性模型为:

$$Y_{ijk} = \mu + F_{i(j)} + P_j + R_k + E_{ijk}$$

式中: Y_{ijk} 为观察值, μ 为总体平均值, $P_{i(j)}$ 为树种内种源随机效应, T_j 为树种随机效应, R_k 为重复的固定效应; E_{ijk} 为随机误差; $F_{i(j)}$ 为种源内家系随机效应; P_j 为种源随机效应。方差分析利用小区平均值,采用SAS/STAT® 8.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)完成GLM过程。

性状间存在的显著差异,利用Duncan法对各树种、种源、家系的树高、保存率、抗病指数进行多重比较。

本文采用独立淘汰法^[21],以抗病指数在0.6以上、保存率在75%以上、树高大于总体平均值为标准进行种源和家系的选择。

表型变异系数(PCV)和遗传变异系数(GCV)计算公式:

$$PCV = \sqrt{\delta_F^2 + \delta_P^2 + \delta_E^2} / \bar{X} \times 100\%$$

$$GCV = \sqrt{\delta_F^2} / \bar{X} \times 100\%$$

式中: δ_F^2 表示家系方差分量, δ_P^2 表示种源方差分量, δ_E^2 表示环境方差分量, \bar{X} 表示性状总平均值。

狭义遗传力(h_i^2)和种源重复力(H^2)计算公式:

$$h_i^2 = \delta_F^2 / ((\delta_F^2 + \delta_P^2 + \delta_E^2) \times r)$$

$$H^2 = \delta_P^2 / (\delta_F^2 + \delta_P^2 + \delta_E^2)$$

式中: r 为家系间的相关系数。

遗传增益计算公式: $\Delta G = S \times h^2 / \bar{X} \times 100\%$

式中: h^2 为性状的遗传力, S 为选择差(入选各抗病种源/家系性状平均值与参试种源/家系平均值的差值), \bar{X} 为参试种源/家系平均值^[23]。

2 结果分析

2.1 方差分析

对树种、种源、家系的树高、保存率、抗病指数进行方差分析,由表3可知:斑皮桉、大叶斑皮桉、柠檬桉、斑皮柠檬桉的树高、保存率、抗病指数在种间差异极显著($P < 0.001$);斑皮桉的树高、保存率、抗病指数在种源间差异不显著,树

表 1 参试树种/种批/家系的起源
Table 1 Origin information of species, seedlots and families

树种/亚种 Species/subspecies	种批 Seedlot	家系号 Family code	种源地 State of origin	经度(E) Longitude	纬度(S) Latitude	海拔 Altitude/m
斑皮桉 <i>Corymbia maculata</i>	20598	7~9	新南威尔士州 New South Wales	150°01'	36°16'	100
	20599	10~24	新南威尔士州 New South Wales	150°06'	36°17'	60
	20772	25~65	新南威尔士州 New South Wales	145°14'	35°29'	100
	20884	66~78	新南威尔士州 New South Wales	145°14'	35°29'	100
	21075	79~87	维多利亚州 Victoria	142°04'	37°49'	205
大叶斑皮桉 <i>Corymbia henryi</i>	21040	180~187	新南威尔士州 New South Wales	147°23'	35°32'	343
	20664	188~192	新南威尔士州 New South Wales	145°13'	35°01'	100
	20539	193~203	新南威尔士州 New South Wales	145°13'	35°31'	100
	20786	204~210	新南威尔士州 New South Wales	145°13'	35°01'	100
柠檬桉 <i>Corymbia citriodora</i>	19693	1、2、4、6	昆士兰州 Queensland	150°59'	24°48'	500
	20014	3	昆士兰州 Queensland	144°42'	15° 53'	700
	19961	5	昆士兰州 Queensland	144°14'	19° 47'	880
斑皮柠檬桉 <i>Corymbia citriodora</i> ssp. <i>variegata</i>	19664	88~93	昆士兰州 Queensland	150°32'	26°16'	300
	20753	94~99	昆士兰州 Queensland	152°18'	27°17'	300
	20883	100~116	昆士兰州 Queensland	152°39'	26°00'	113
	19666	117~127	昆士兰州 Queensland	147°59'	24°53'	1 000
	19694	128~132	昆士兰州 Queensland	150°56'	24°49'	475
	20756	133~138	昆士兰州 Queensland	151°42'	25°19'	130
	19691	139~150	昆士兰州 Queensland	149°11'	25°17'	420
	20396	151~166	新南威尔士州 New South Wales	152°10'	30°06'	1 100
	20422	167	新南威尔士州 New South Wales	152°48'	28°38'	350
	19665	168~173	昆士兰州 Queensland	148°04'	25°06'	700
20787	174~179	新南威尔士州 New South Wales	145°13'	35°01'	100	

高、保存率在家系间差异极显著 ($P < 0.01$), 抗病指数在家系间差异不显著; 大叶斑皮桉的树高、保存率、抗病指数在种源间差异不显著, 树高、保存

率、抗病指数在家系间差异极显著 ($P < 0.001$); 柠檬桉仅有抗病指数在种源间和家系间差异极显著 ($P < 0.01$); 斑皮柠檬桉的各性状在种源间和家

表2 抗病指数对应的抗病水平

Table 2 The grade of resistance level

抗病水平 Resistance level	抗病指数 Resistance index
特抗 Extremely high resistance	1.0
高抗 High resistance	0.8~1.0
抗病 Resistance	0.6~0.8
易感 Susceptibility	0.4~0.6
高感 High susceptibility	≤0.4

系间差异显著性表现一致,树高、抗病指数差异极显著 ($P < 0.001$),保存率差异不显著。性状的差

异性为树种、种源、家系选择提供了重要基础。

2.2 遗传变异分析

斑皮桉、大叶斑皮桉、柠檬桉、斑皮柠檬桉的树高、保存率、抗病指数变异参数见表4。各性状表型变异系数变化范围为16.43%~119.65%,遗传变异系数变化范围为5.77%~72.23%;表型变异系数均大于遗传变异系数,树高和抗病指数变异系数大于保存率变异系数;斑皮桉的树高和抗病指数变异系数最大,表型变异系数分别为104.18、119.65和遗传变异系数分别为71.19、72.23,其次是大叶斑皮桉,变异较小的是柠檬桉。树高、保

表3 树高、保存率、抗病指数方差分析

Table 3 Variance analysis of height, survival and resistance disease index

树种 Species	变异来源 Source of variation	自由度 Df	树高 Height		保存率 Survival		抗病指数 Resistance index	
			F	Pr	F	Pr	F	Pr
斑皮桉 <i>Corymbia maculata</i>	种源 Provenance	4	2.22	0.06	0.04	0.99	1.27	0.28
	家系 Family	79	3.50	<0.000 1	1.49	0.006	1.02	0.44
大叶斑皮桉 <i>Corymbia henryi</i>	种源 Provenance	3	1.61	0.19	1.54	0.20	0.72	0.54
	家系 Family	30	3.87	<0.000 1	2.35	0.000 2	2.15	0.000 8
柠檬桉 <i>Corymbia citriodora</i>	种源 Provenance	2	1.59	0.22	0.61	0.54	6.88	0.003
	家系 Family	5	0.66	0.66	0.34	0.88	4.14	0.005
斑皮柠檬桉 <i>Corymbia citriodora</i> ssp. <i>variegata</i>	种源 Provenance	10	22.70	<0.000 1	1.56	0.11	36.93	<0.000 1
	家系 Family	91	5.32	<0.000 1	1.15	0.17	7.93	<0.000 1
树种间 Between species		3	1002.08	<0.000 1	83.92	<0.000 1	354.18	<0.000 1

表4 不同树种树高、保存率、抗病指数变异参数

Table 4 Variation parameters of height, survival and resistance disease index of different species

树种 Species	性状 Traits	平均值 Means	变幅 Range	表型变异系数 PCV/%	遗传变异系数 GCV/%	狭义遗传力 h_i^2	种源重复力 H^2
斑皮桉 <i>Corymbia maculata</i>	树高 Height/m	0.5	0.1~4.9	104.18	71.19	0.25	0.37
	保存率 Survival/%	90.0	30.0~100.0	28.32	12.73	0.12	0.15
	抗病指数 Resistance index	0.15	0~0.83	119.65	72.23	0.14	0.31
大叶斑皮桉 <i>Corymbia henryi</i>	树高 Height/m	0.7	0.1~2.4	76.21	45.15	0.43	0.35
	保存率 Survival/%	73.4	30.0~100.0	31.61	12.71	0.13	0.11
	抗病指数 Resistance index	0.33	0~0.92	83.41	49.88	0.23	0.26
柠檬桉 <i>Corymbia citriodora</i>	树高 Height/m	2.4	1.6~3.0	16.57	8.69	0.28	0.16
	保存率 Survival/%	90.6	50.0~100.0	16.43	6.76	0.11	0.12
	抗病指数 Resistance index	0.71	0.17~1.0	35.08	22.35	0.25	0.31
斑皮柠檬桉 <i>Corymbia citriodora</i> ssp. <i>variegata</i>	树高 Height/m	1.9	0.3~4.5	29.24	18.15	0.32	0.26
	保存率 Survival/%	85.3	30.0~100.0	19.73	5.77	0.08	0.05
	抗病指数 Resistance index	0.55	0~1.0	50.27	35.02	0.37	0.34

存率、抗病指数狭义遗传力变化范围分别为 0.25~0.43、0.08~0.13、0.14~0.37, 种源重复力变化范围分别为 0.16~0.37、0.05~0.15、0.26~0.34, 保存率的遗传力较小, 为弱遗传控制, 树高和抗病指数遗传力相近, 为弱至中等强度遗传控制。

2.3 生长、抗病指数及早期选择

斑皮桉、大叶斑皮桉和柠檬桉 (2 个亚种) 共 23 个种源的树高、保存率和抗病指数平均值见表 5, 由于家系数量较多 (209 个), 限于篇幅, 只列出抗病家系的树高、保存率和抗病指数平均值 (表 6)。

从表 5 可知: 柠檬桉平均树高、保存率、抗病指数分别为 2.4 m、90.6%、0.71, 斑皮桉平均树高、保存率、抗病指数分别为 0.5 m、90.1%、0.15, 大叶斑皮桉平均树高、保存率、抗病指数分别为 0.7 m、73.4%、0.33, 斑皮柠檬桉平均树高、保存率、抗病指数分别为 1.9 m、85.3%、0.55, 4 个树种 (亚种) 的生长、保存率和抗病指数存在差异, 柠檬桉生长最快, 保存率最高, 最抗病, 树高和抗病指数显著高于其余 3 个树种, 其次是斑皮柠檬桉, 最易感病的是斑皮桉和大叶斑皮桉。柠檬桉和斑皮柠檬桉内部种源生长、保存率和抗病指数差异较大, 而斑皮桉和大叶斑皮桉种源间差异较小; 柠檬桉种源 20014 最抗病, 抗病指数为 0.90, 显著高于其余 2 个种源, 属高抗种源 (表 2); 斑皮柠檬桉种源 20756、19694、20883、20753、20396 属于抗病种源, 而其余 6 个种源为易感病种源; 斑皮桉和大叶斑皮桉 9 个种源均为高感病种源 (表 2)。

根据独立淘汰法, 柠檬桉 2 个种源 (20014、19693)、斑皮柠檬桉 5 个种源 (20756、19694、20883、20753、20396) 共有 7 个抗病种源入选 (表 5), 占参试种源的 30%, 其树高、保存率、抗病指数平均值分别为 2.2 m、86.4%、0.73 (表 7), 树高、保存率、抗病指数比总体平均值高 57.1%、1.9%、69.8%, 树高、抗病指数遗传增益分别为 12.0%、21.9% (表 7)。

从表 6 可知: 只有柠檬桉和斑皮柠檬桉 2 个种树共有抗病家系 47 个人选, 占参试家系的 22.5%, 其树高、保存率、抗病指数平均值分别为 2.2 m、85.6%、0.73, 树高、保存率、抗病指数比总体平均值高 57.1%、0.9%、69.8%, 树高、抗病指数遗传增益分别为 17.1%、21.6% (表 7); 柠檬桉有

表 5 不同树种不同种源的树高、保存率和抗病指数

Table 5 Mean values of height, survival and resistance disease index of species and provenance

树种 Species	种源 Provenance	树高 Height/ m	保存率 Survival/ %	抗病指数 Resistance index	
斑皮桉 <i>Corymbia maculata</i>	20598	0.4	86.5	0.16	
	20884	0.6	90.4	0.16	
	20599	0.6	90.0	0.16	
	20772	0.6	91.0	0.14	
	21075	0.5	92.7	0.11	
平均值 Mean		0.5 c	90.1 a	0.15 d	
大叶斑皮桉 <i>Corymbia henryi</i>	20539	0.6	68.5	0.36	
	21040	0.7	73.0	0.33	
	20664	0.7	76.3	0.32	
	20786	0.7	75.9	0.30	
	平均值 Mean		0.7 c	73.4 c	0.33 c
柠檬桉 <i>Corymbia citriodora</i>	20014	2.4	90.6	0.90 A	
	19693	2.4	87.5	0.63 B	
	19961	2.2	93.8	0.59 B	
	平均值 Mean		2.4 a	90.6 a	0.71 a
斑皮柠檬桉 <i>Corymbia citriodora ssp. variegata</i>	20756	2.3 A	86.6	0.75 A	
	19694	2.3 A	85.6	0.73 A	
	20883	2.1 A	85.8	0.72 A	
	20753	2.2 A	81.3	0.71 A	
	20396	2.0 AB	87.5	0.64 A	
	20422	2.1 A	78.1	0.58 A	
	19664	1.7 BC	85.4	0.46 B	
	20787	1.7 BC	83.9	0.45 B	
	19691	1.7 BC	89.9	0.40 BC	
	19665	1.7 BC	85.1	0.36 BC	
	19666	1.5 C	88.7	0.28 C	
	平均值 Mean		1.9 b	85.3 b	0.55 b
	总体平均值 Total mean		1.4	84.8	0.43

注: 同列不同大写字母表示同一树种不同种源间差异显著 ($P < 0.01$); 树种性状平均值后面的小写字母表示不同树种间差异显著 ($P < 0.01$)。

Notes: The difference capital letters indicate significant difference among provenances within the same species upon the error bars ($P < 0.01$). The small letters after the mean values of traits indicate significant difference among different species upon the error bars ($P < 0.01$).

4 个抗病家系, 其中, 家系 3 为高抗病家系, 斑皮柠檬桉有 43 个抗病家系, 其中, 家系 113、136、107、109、104、128、97、133、110、138、100 为高抗病家系; 斑皮柠檬桉抗病种源 20396 和

表 6 抗病家系树高、保存率、抗病指数平均表现

Table 6 Mean values of height, survival and resistance disease index of resistance family

树种 Species	种源 Provenance	家系 Family	树高 Height/ m	保存率 Survival/ %	抗病指数 Resistance index	树种 Species	种源 Provenance	家系 Family	树高 Height/ m	保存率 Survival/ %	抗病指数 Resistance index
柠檬桉 <i>Corymbia citriodora</i>	20014	3	2.4	90.6	0.90		20753	99	2.0	75.0	0.76
	19693	6	2.4	84.4	0.72		20753	95	2.2	78.1	0.64
	19693	1	2.5	87.5	0.63		20753	96	1.9	75.0	0.64
	19693	2	2.5	87.5	0.62		20753	94	2.4	96.9	0.60
斑皮柠檬桉 <i>Corymbia citriodora ssp. variegata</i>	19691	142	1.6	84.4	0.73		20756	136	2.5	78.1	0.87
	19691	148	2.0	90.6	0.65		20756	133	2.4	84.4	0.83
	19694	128	2.3	81.3	0.83		20756	138	2.7	90.6	0.80
	19694	132	2.5	96.9	0.71		20756	135	2.3	82.1	0.76
	19694	129	2.2	87.5	0.69		20756	134	2.0	90.6	0.65
	20396	164	2.2	90.6	0.78		20787	174	2.2	90.6	0.68
	20396	158	1.7	75.0	0.78		20883	113	2.3	81.3	0.91
	20396	157	2.2	87.5	0.77		20883	107	2.2	75.0	0.87
	20396	166	2.1	90.6	0.71		20883	109	2.0	87.5	0.85
	20396	165	2.2	81.3	0.69		20883	104	2.3	84.4	0.84
	20396	155	2.2	84.4	0.67		20883	110	2.5	90.6	0.81
	20396	159	2.1	81.3	0.67		20883	100	2.3	81.3	0.80
	20396	153	2.2	87.5	0.66		20883	106	2.6	90.6	0.77
	20396	151	2.0	87.5	0.65		20883	116	2.0	81.3	0.75
	20396	156	1.9	84.4	0.64		20883	114	2.0	93.8	0.71
	20396	154	2.0	87.5	0.63		20883	102	1.7	84.4	0.71
	20396	160	2.1	100.0	0.62		20883	101	2.0	87.5	0.70
	20396	161	2.3	93.8	0.62		20883	103	2.0	75.0	0.66
	20753	97	2.5	84.4	0.83		20883	115	1.9	84.4	0.63
	20753	98	2.5	78.1	0.76		平均值 Mean		2.2	85.6	0.73

表 7 入选种源/家系树高、保存率、抗病指数的均值和遗传增益

Table 7 Mean values and genetic gain of height, survival and resistance index of selected provenances and families

种源/家系 Provenance/ Family	树高 Height		保存率 Survival	抗病指数 Resistance index	
	均值 Mean/m	遗传增益 Genetic gain/%	均值 Mean/%	均值 Mean	遗传增益 Genetic gain/%
入选种源(7个) Selected Provenances	2.2	12.0	86.4	0.73	21.9
入选家系(47个) Selected Family	2.2	17.1	85.6	0.73	21.6

20883 各有 13 个抗病家系, 是 23 个种源中抗病家系最多的 2 个种源。

抗病指数与树高生长基本一致, 抗病的树种、种源、家系生长较快, 反之生长则受抑制。抗病指数与保存率并不一致, 如柠檬桉为抗病树种, 保存

率为 90.6%, 斑皮桉为高感病树种, 保存率达 90.1%, 这主要是因为抗病指数只与顶梢和白叶枯萎病病症等级有关, 而保活率还受病害以外的多种条件影响。

3 讨论

本研究发现,斑皮桉和大叶桉斑皮桉易感顶梢与白叶枯萎病,所有种源和家系均为易感病或高感病,抗病指数分别为 0.15 和 0.33;生长也受抑制,3 个月树高平均值仅为 0.5 m 和 0.7 m。相反,抗病性较强的柠檬桉抗病指数和树高平均值分别为 0.71 和 2.4 m。因此,顶梢与白叶枯萎病对斑皮桉和大叶斑皮桉的推广种植是至关重要的限制因子。在澳大利亚伞房属树种的种源试验中,斑皮桉所有种源均受顶梢与白叶枯萎病危害,大叶斑皮桉没有发现抗顶梢与白叶枯萎病的种源^[24];研究也发现,斑皮桉顶梢与白叶枯萎病受害情况与降雨量有一定的关系,降雨量越大的地方发病率越高,认为降雨量可以作为斑皮桉推广种植的一个参考指标,斑皮桉适应于年均降雨量 700~1 400 mm 的不同土壤类型区^[25-27]。广西柳州试验点的斑皮柠檬桉和柠檬桉种源、家系抗病指数差异极显著 ($P < 0.001$),受中等强度遗传控制,通过改良可以选育出抗病种源和家系。澳大利亚研究也发现,斑皮柠檬桉不同种源和家系对顶梢与白叶枯萎病的抗性表现出很大的差异,如昆士兰州 Gympie 地区的种源对这种病害具有很强的抗性^[7]。本研究初步选择出柠檬桉和斑皮柠檬桉抗性较强的种源 7 个和家系 47 个,树高、抗病指数遗传增益分别为 12.0%、21.9% 和 17.1%、21.6%。这仅是 3 个月时调查数据分析的结果,此时的选择结果具有一定的偏差,需要继续跟踪调查。柳州试验点年平均降雨量为 1 490 mm,根据国外研究结论,下一步把选育的抗病种源和家系在降雨量 1 000 mm 左右的桂西北地区测试。

广西引种伞房属桉树出现严重的病害,在大规模推广之前必须解决病害问题。目前,还没有有效的物理和化学方法可以防治顶梢与白叶枯萎病,对林业而言,抗病品种的选育是最主要的途径,杂交是引入外源基因的有效方法,种间杂种可以综合亲本的优良性状,为进一步的选育提供广阔的遗传基础^[28]。因此,下一步的育种工作主要对选育出的抗病种源、家系进行纯种改良,为生产选育高抗良种。同时,伞房属树种间的杂交育种也是一种改良抗病品系的重要途径。据澳大利亚伞房属改良研究发现,托里桉 (*Corymbia torelliana* (F.Muell.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson) 在自然条件和试验测

试中均不会感染顶梢与白叶枯萎病,是伞房属树种理想的杂交亲本^[29],并进行了杂交育种研究,初选了一批抗顶梢与白叶枯萎病的杂交种和无性系^[30];在杂交子代测定中,托里桉和斑皮桉的杂交种能保持亲本的优良特性,对顶梢与白叶枯萎病有很强的抗性^[7-8,24],其适应性、抗病性、抗寒性比纯种更强,能够在纯种生长表现不好的区域推广种植^[7]。因此,对伞房属桉树树种的改良工作,重点放在抗病遗传材料的挖掘,设计合理的纯种和杂交育种策略,选择优良家系或单株,以托里桉作为母本,斑皮柠檬桉、柠檬桉、斑皮桉和大叶斑皮桉为父本进行杂交,通过杂交子代测试,评估子代生长、材性和抗病性,选择优良家系或单株建立种子园或无性系测试。同时扩大抗病性较强的柠檬桉和斑皮柠檬桉种源的引种,丰富遗传资源基础。

4 结论

适应性分析表明,柠檬桉和斑皮柠檬桉抗病能力较强,选出种源 7 个和家系 47 个,为进一步利用提供材料基础。

参考文献:

- [1] 王豁然. 桉树生物学概论[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [2] Mcdonald M W, Bean A R. A new combination in *Corymbia* 'section Politaria': *C. citriodora* subsp. *variegata* (Myrtaceae)[J]. *Austrobaileya*, 2000, 5(4): 735-736.
- [3] Lee D J, Lawson S, Armstrong M, et al. The performance of 15 hardwood species/provenances on a red soil type in this region [M]. Queensland: Queensland Forestry Research Institute, 2002.
- [4] Boland D J, Brooker M I H, Chippendale G M, et al. Forest Trees of Australia [M]. Melbourne: CSIRO Publishing, 2006.
- [5] Brawner J D, Dillon S, Lee D J, et al. The use of genetic correlations to evaluate associations between SNP markers and quantitative traits[J]. *Tree Genetics & Genomes*, 2012, 8(6): 1423-1435.
- [6] Lewis T, Osborne D, Hogg B, et al. Tree growth relationships and silvicultural tool to assist stand management in private native spotted gum dominant forests in Queensland and northern New South Wales [R]. Melbourne: Forest and Wood Products Australia, 2010.
- [7] Lee D J. Achievements in forest tree genetic improvement in Australia and New Zealand 2: Development of *Corymbia* species and hybrids for plantations in eastern Australia[J]. *Australian Forestry*, 2007, 70(1): 11-16.

- [8] Rawner J T, Meder R, Lee D J. Improving the pulp productivity of a *Eucalypt* suited to challenging environments - *Corymbia citriodora* [R]. Brazil: IUFRO, 2011.
- [9] Huang T D, Brawner J T, Lee D J, et al. Genetic variation in growth and wood-quality traits of *Corymbia citriodora* subsp. *variegata* across three sites in south-east Queensland, Australia[J]. Journal of the South African Forestry Association, 2016, 78(3): 1-15.
- [10] Tambarussi E V, Pereira F B, SILVA P H M, et al. Are tree breeders properly predicting genetic gain? A case study involving *Corymbia* species[J]. Euphytica, 2018, 214(8): 150-160.
- [11] Assis T F. Production and use of *Eucalyptus* hybrids for industrial purposes [R]. Australia Brisbane: Department of Primary Industries, 2000.
- [12] Gardner R A W, Little K M, Arbuthnot A. Wood and fibre productivity of promising new *Eucalypt* species for coastal Zululand, south Africa[J]. Australian Forestry, 2007, 70(1): 37-47.
- [13] 翁启杰, 郑海水, 杨曾奖, 等. 斑皮桉地理种源生长试验[J]. 林业科学研究, 1996, 9(2): 211-214.
- [14] 何华, 孔凡启, 黄少伟, 等. 伞房属4个树种在广东德庆的引种试验[J]. 福建林学院学报, 2007, 27(3): 226-230.
- [15] 刘天颐, 刘纯鑫, 林元霞, 等. 桉树伞房属4个种在广东清远的早期生长表现[J]. 华南农业大学学报, 2009, 30(4): 61-64.
- [16] 刘天颐, 刘纯鑫, 孔凡起, 等. 桉树伞房属4个种在广东乐昌的早期生长表现[J]. 华南农业大学学报, 2011, 32(2): 70-75.
- [17] 郭东强, 邓紫宇, 郑永邓, 等. 桉树伞房属4个树种在广西的早期病害调查[J]. 桉树科技, 2017, 34(4): 47-52.
- [18] Simpson J A. *Quambalaria*, a new genus of Eucalypt pathogens[J]. Australasian Mycologist, 2000, 19(2): 57-62.
- [19] Pegg G S, Drenth A, Wingfield M J. *Quambalaria pitereka* on spotted gum plantations in Queensland and northern New South Wales, Australia[J]. International Forestry Review, 2005, 7(5): 337-345.
- [20] Johnson I G, Carnegie A J, Henson M. Growth, form and *Quambalaria* shoot blight tolerance of spotted gum in north-eastern New South Wales, Australia[J]. Silvae Genetica, 2009, 58(4): 180-191.
- [21] 李梅, 甘四明, 李发根, 等. 桉属种间杂种生长和抗青枯病的联合选择[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2007, 31(6): 25-28.
- [22] 吴鹏飞, 龚洪恩, 姚小华, 等. 普通油茶无性系抗炭疽病评价[J]. 林业科学研究, 2018, 31(4): 158-163.
- [23] 洪舟, 杨曾奖, 张宁南, 等. 越南黄花梨种源家系生长遗传变异及早期选择[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2020, 44(1): 25-30.
- [24] Dickinson G R, Lee D J, Huth J R. Early plantation growth and tolerance to *Ramularia* shoot blight of provenances of the spotted gums taxa on a range of sites in southern Queensland[J]. Australian Forestry, 2004, 67(2): 122-130.
- [25] Lee D J, Huth J R, Osborne D O, et al. Selecting hardwood taxa for wood and fibre production in Queensland's subtropics[J]. Australian Forestry, 2010, 73(2): 106-114.
- [26] Brawner J T, Lee D J, Meder A R, et al. Classifying genotype by environment interactions for targeted germplasm deployment with a focus on *Eucalyptus*[J]. Euphytica, 2013, 191(3): 403-414.
- [27] Nichols J D, Smith R G B, Grant J, et al. Subtropical *Eucalypt* plantations in eastern Australia[J]. Australian Forestry, 2010, 73(1): 53-62.
- [28] Dianese J C, Dristig M C G, Cruz A P. Susceptibility to wilt associated with *Pseudomonas solanacearum* among six species of *Eucalyptus* growing in equatorial Brazil[J]. Australasian Plant Pathology, 1990, 19(3): 71-76.
- [29] Self N M, Aitken E A B, Dale M D. Susceptibility of provenances of spotted gums to ramularia shoot blight[J]. New Zealand Plant Protection, 2002, 55: 68-72.
- [30] Harwood C, Bulman P, Bush D, et al. Australian low rainfall tree improvement group compendium of hardwood breeding strategies [M]. Canberra: Rural Industries Research and Development Corporation, 2001.

Early Selection on Growth and Disease Resistance in Three *Corymbia* Species in Guangxi

LI Chang-rong¹, ZHENG Yong-deng², GUO Dong-qiang¹, QIN Kai-feng², CHEN Sheng-kan¹,
LI Juan², TANG Qing-lan¹, WU Qin-zhan³

(1. Guangxi Forestry Research Institute, Key Laboratory of Central South Fast-growing Timber Cultivation of National Forestry and Grassland Administration, Guangxi Key Laboratory of Superior Timber Trees Resource Cultivation, Nanning 530002, Guangxi, China; 2. Guangxi State Sanmenjiang Forest Farm, Liuzhou 545006, Guangxi, China;
3. Guangxi State Daguishan Forest Farm, Hezhou 542899, Guangxi, China)

Abstract: [Objective] To understand the growth of three *Eucalyptus* species of the genus *Corymbia* introduced in Guangxi, and preliminarily select species, provenances and families with disease resistance for providing scientific basis for the orient cultivation of sawn wood. [Method] Based on the 3 month-old provenance/family trial of *Corymbia* in Guangxi State Sanmenjiang Forest Farm, tree height and disease status were investigated. The disease resistance index was used to analyze the disease status., Differences between species, provenances, and families were evaluated by analysis of variance. Genetic variation parameters of traits were estimated, and the excellent species, provenances, and families for disease resistance were selected by independent elimination method. [Results] The results showed that: tree height, survival rate and resistance disease index had significant difference among four species ($P < 0.001$); there were no significant difference in height, survival rate and resistance disease index between provenances of *Corymbia maculate* and *Corymbia henryi*. The three traits were significant different among the families of these two provenances ($P < 0.01$), except that the disease resistance index of *Corymbia maculate* was not significantly different among families; there were extremely significant differences in tree height and disease resistance among the provenances and families of *Corymbia citriodora* ssp. *variegata* ($P < 0.001$), but the differences in survival rate were not significant; the difference of resistance disease index among provenances and families of *Corymbia citriodora* were significant ($P < 0.001$), but difference in height and survival rate were not significant. The heritability and repeatability ranged from 0.05 to 0.43, which was controlled by weak to moderate genetic intensity. *Corymbia citriodora* was the superior species with the best growth and disease resistance. A total of 7 provenances and 47 families were selected. Their mean values of height, survival rate and resistance disease index were 57.1%、1.8%、67.4% and 57.1%、0.9%、69.8% higher than the population mean values, respectively. The genetic gains of height and resistance disease index of provenance and family were 12.0%, 21.9% and 17.1%, 21.6%, respectively. [Conclusion] The disease-resistant species, provenances and families were selected, which provides basis of germplasm materials for further breeding.

Keywords: *Corymbia*; *Corymbia maculate*; *Corymbia citriodora* ssp. *variegata*; *Corymbia henryi*; *Corymbia citriodora*; disease resistance index

(责任编辑: 徐玉秀)