

鹅掌楸不同交配组合子代苗期生长变异及遗传稳定性分析

张晓飞^{1,2}, 李火根¹, 尤录祥¹, 曹 健³

(1. 南京林业大学 森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037; 2. 中国热带农业科学院 橡胶研究所, 海南 儋州 571737; 3. 湖北省林木育种技术中心, 湖北 武汉 430079)

摘要: 种间杂交和杂种优势利用是鹅掌楸 *Liriodendron* spp. 遗传改良的重要途径。报道了鹅掌楸不同交配类型和不同交配组合子代的生长表现及遗传稳定性, 为杂交鹅掌楸品种选育提供参考依据。参试鹅掌楸交配组合 39 个, 分属 3 种交配类型(种间杂交、种内杂交及回交), 以鹅掌楸自由授粉子代为对照, 在 3 个试验点进行子代测定。通过对各交配组合子代 2 年生苗进行苗高和地径比较分析。结果表明, 就苗期生长量而言, 鹅掌楸种间杂交、种内杂交及回交均显著高于对照。其中, 种间杂交组合子代生长最好, 种内杂交组合子代次之, 回交组合优势较小。种间正反交组合间差异不显著, 而同一交配类型的不同组合间差异达极显著水平 ($P < 0.01$)。表明在鹅掌楸杂种优势利用时, 应重视杂交亲本的选择。同时, 利用 Eberhart 和 Russell 模型评价了各杂交组合的生长适应性与遗传稳定性, 并初选出生长快、适应性强、综合性状较优的组合 J × L, 而组合 BK1 × H 和 Z × WYS1 生长较快, 但稳定性较差。表 5 参 16

关键词: 林木育种学; 鹅掌楸; 交配组合; 遗传变异; 遗传稳定性

中图分类号: S722.3; S792.21 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2011)01-0103-06

Variation and genetic stability of two-year-old *Liriodendron* seedling growth for 39 mating combinations

ZHANG Xiao-fei^{1,2}, LI Huo-gen¹, YOU Lu-xiang¹, CAO Jian³

(1. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China;
2. Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Danzhou 571737, Hainan, China;
3. Scientific and Technical Center for Forest Tree Breeding of Hubei Province, Wuhan 430079, Hubei, China)

Abstract: In order to select the best mating combinations from three mating systems (inter-species crossing, intra-species crossing, and backcross), interspecific hybridization and heterosis (two preferred genetic improvement methods) were utilized in progeny testing of all 39 mating combinations in *Liriodendron* (*L. chinense*, *L. tulipifera* and *L. chinense* × *tulipifera*) to determine variation and genetic stability of growth, in terms of height and ground diameter, for two-year-old seedlings. Progeny testing at the seedling stage was implemented simultaneously in three sites, with open-pollinated offspring of *Liriodendron chinense* taken as the control. Also, the Eberhart and Russell analysis was used with a regression of genetic stability for the 39 combinations. Results showed that seedling growth for all 39 mating combinations was significantly greater ($P < 0.01$) than the control. Seedling growth from high to low was: inter-specific mating > intra-specific mating > backcross. No significant differences were found between progenies of reciprocal crosses with the same parents, whereas significant differences ($P < 0.01$) existed among combinations within the same mating

收稿日期: 2010-04-01; 修回日期: 2010-05-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30771748, 30972391); “十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD01A16)

作者简介: 张晓飞, 助理研究员, 硕士, 从事林木遗传改良研究。E-mail: nfuzhangx@163.com。通信作者: 李火根, 教授, 博士, 博士生导师, 从事林木遗传育种研究。E-mail: hgli@njfu.com.cn

types. Furthermore, the Eberhart and Russell analysis showed that mating combination J × L had good potential due to fast growth and high genetic stability, whereas BK1 × H and Z × WYS1 had fast growth but low genetic stability. Thus, to utilize the hybrid vigor within *Liriodendron*, selection of mating parents should be a priority consideration. [Ch, 5 tab. 16 ref.]

Key words: forest tree breeding; *Liriodendron*; mating combination; genetic variation; genetic stability

杂交鹅掌楸 *Liriodendron chinense* × *tulipifera* 为鹅掌楸 *Liriodendron chinense* 与北美鹅掌楸 *L. tulipifera* 的人工杂种。杂交鹅掌楸适应性强, 生长迅速, 树形美观, 花色鲜艳, 表现出明显的杂种优势, 在中国珍贵用材树种资源培育及园林绿化等领域具有十分广阔的推广应用前景^[1]。20世纪80年代以来, 国内众多学者在杂交鹅掌楸的选育、杂种优势分析及推广应用方面开展了大量研究^[2-7], 取得了可喜的成就。但以往选育的杂交鹅掌楸存在亲本来源少, 杂种子代遗传基础狭窄等缺陷。近年来, 为拓宽鹅掌楸育种群体的遗传基础, 选育杂种优势强、适应性广的鹅掌楸新品种, 南京林业大学开展了鹅掌楸与北美鹅掌楸的优良基因资源收集、杂交亲本选择与交配设计等领域研究, 并已获得大量的交配组合子代。研究以3个试验点的39个鹅掌楸交配组合子代为材料, 通过比较分析鹅掌楸不同交配组合子代苗期生长表现及遗传稳定性, 对鹅掌楸育种亲本进行评价, 希望为今后进一步的杂交鹅掌楸新品种选育提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

参试材料为鹅掌楸属 *Liriodendron* 树种不同交配组合子代。交配亲本来自南京林业大学下蜀林场的鹅掌楸种源试验林^[6]。根据用材树种的育种目标, 选取鹅掌楸12株(FY1, J, J1, S, H, SN, SZ1, YY1, WYS, C1, C4, C5), 北美鹅掌楸8株(L, Z, Z1, M, BK1, BM, N1, N2), 杂交鹅掌楸2株(F1-1和F1-2)作为杂交亲本, 于2005年4-5月进行控制授粉, 包括种间杂交(包括正交和反交)、北美鹅掌楸种内杂交及杂种F1与鹅掌楸的回交3种交配类型。2005年11月采种, 同时采集鹅掌楸自由授粉子代作为对照, 共得到50个交配组合种子, 2006年1月播种于南京林业大学校园苗圃。由于部分组合种子出苗率较低, 仅对符合试验要求的39个组合进行苗期测定, 2007年3月, 分别在南京林业大学校园苗圃, 湖北省林木种苗站咸宁苗圃和江苏镇江新民洲苗木基地进行苗期试验。由于各组合苗木数量不等, 3个试验点的参试组合数不同。南京试验点为39个组合, 咸宁点为28个组合, 镇江点为26个组合, 其中14个组合在3个试验点均有配置。试验采用随机完全区组设计, 以鹅掌楸自由授粉子代为对照, 每个试验点设置3个区组, 每小区10株, 株行距40 cm × 40 cm。试验的39个交配组合如表1所示。

1.2 试验地概况

南京属北亚热带季风气候区, 31°14' ~ 32°37'N, 118°22' ~ 119°14'E, 四季分明, 雨水充沛, 光能资源丰富, 年平均气温为15.7℃, 苗圃地土壤类型为黏性壤土; 镇江属北亚热带季风气候, 年平均气温为15.6℃, 降水量1 088.2 mm, 试验点设在镇江市新民洲苗圃基地, 基地紧挨长江, 土壤属于长江冲积土, 土壤类型为混合土; 咸宁试验点设在湖北省林木种苗站咸宁苗圃, 该试验点属亚热带大陆性季风气候, 气候温和, 降水充沛, 日照充足, 四季分明, 无霜期长, 年平均降水量为1 577.4 mm, 年平均

表1 参试各交配组合

Table 1 39 mating combinations tested

| 交配类型 | 交配组合 |
|------|--|
| 种间杂交 | BK1 × H, BK1 × S, BM × C4, BM × C5, BM × FY1, H × L, J × L, L × C1, L × FY, L × J1, L × S, L × YY1, M × H, M × J1, M × S, M × S1, M × SZ1, M × WYS, N1 × J1, N1 × S, N1 × SN, N1 × SZ1, N2 × J1, N2 × SZ1, N2 × WYS, S × BK1, S × L, S × M, S × N1, S × Z1, Z × FY1, Z × WYS |
| 种内杂交 | BM × L, L × BM, M × N1, N1 × M |
| 回交 | J × F1-1, S × F1-1, S × F1-2 |

气温 16.8 ℃。3 个试验点的抚育管理措施一致。

1.3 统计分析方法

2007 年 12 月，测定 3 个试验点内各交配组合子代的苗期生长量，对参试组合的所有苗木进行每木调查，调查指标为苗高(m)与地径(cm)。以鹅掌楸自由授粉子代为对照，计算各交配组合子代苗期生长的杂种优势，杂种优势率($R_H/\%$) = $(\bar{X}_t - \bar{X}_{ck})/\bar{X}_{ck}$ ，其中， \bar{X}_t 为家系 t 平均值， \bar{X}_{ck} 为对照平均值。

对各交配组合子代苗期生长(苗高和地径)进行方差分析，并估算交配组合遗传率，模型为^[8-9]：单地点： $X_{ijk} = \mu + F_i + B_j + F_{Bij} + S_k + e_{ijk}$ ；多地点： $X_{ijkl} = \mu + F_i + L_j + B/L_{k(j)} + F_{Lij} + F_{B/L_{ik(j)}} + e_{ijkl}$ ；家系(组合)遗传率： $H^2 = 1 - 1/F$ 。其中： μ 表示总体平均值； F_i 为交配组合效应； B_j 和 $B/L_{k(j)}$ 为区组效应； L_j 为地点效应； S_k 为交配类型效应； F_{Bij} 和 $F_{B/L_{ik(j)}}$ 为交配组合×区组效应； F_{Lij} 为交配组合与地点的互作效应； e_{ijk} 和 e_{ijkl} 为随机误差， H^2 为家系(组合)遗传率。数据整理采用 Excel 软件，统计分析采用 SAS 6.01 软件。同时，对 3 个试验点相同的 14 个交配组合子代采用 Eberhard 和 Russell 回归法^[10]进行遗传稳定性分析。

2 结果与分析

2.1 鹅掌楸不同交配类型子代苗期生长量的遗传变异

分别对不同地点对各交配类型子代的 2 年生长量进行杂种优势率统计(表 2)及方差分析(表 3)。结果显示，镇江试验点，交配类型内交配组合之间在苗高和地径 2 个性状上均达到 1%显著水平；在种间杂交(包含正和反交)、种内杂交及回交等 4 种交配类型间无显著差异，但是，在这 4 种交配类型间，正交组合生长最好，回交组合生长最差。正交、反交、回交及种内杂交 4 种交配类型的平均苗高生长杂种优势率分别为 94.07%，88.14%，6.48%和 51.29%，地径生长杂种优势分别为 71.73%，66.17%，38.26%和 45.83%。咸宁试验点，正交、反交和种内杂交 3 种交配类型间的苗期生长无显著差异，但在同一交配类型内不同交配组合之间差异极显著，正交、反交和种内杂交 3 种交配类型的平均杂种优势率均在 15%以上。南京试验点，对于苗高和地径 2 个性状，正反交组合间无显著差异，种内杂交与回交 2 种交配类型间无显著差异，种间杂交(包括正交和反交)子代表现优于回交子代。同一交配类型内不同交配组合之间在 2 个性状上均达到差异极显著水平。正反交和种内杂交 3 种交配类型的苗期生长平均杂种优势率均高于 15%，而回交系统的杂种优势率低于 10%。可见，在鹅掌楸属杂种优势的利用中，正交、反交、种内杂交 3 种交配类型均可利用，但回交子代应慎重使用。

表 2 不同地点内不同交配类型生长性状变异

Table 2 Variation of height and diameter of seedlings for different mating types in 3 test sites

| 交配类型 | 镇江试验点 | | | | 咸宁试验点 | | | | 南京试验点 | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | 苗高 | | 地径 | | 苗高 | | 地径 | | 苗高 | | 地径 | |
| | 平均/m | 优势率/% | 平均/cm | 优势率/% | 平均/m | 优势率/% | 平均/cm | 优势率/% | 平均/m | 优势率/% | 平均/cm | 优势率/% |
| 正交 | 1.049 | 94.07 | 1.980 | 71.73 | 1.329 | 19.40 | 1.937 | 24.17 | 0.626 | 29.55 | 1.359 | 19.33 |
| 反交 | 1.018 | 88.14 | 1.916 | 66.17 | 1.366 | 22.73 | 1.949 | 24.92 | 0.690 | 30.52 | 1.410 | 23.51 |
| 种内杂交 | 0.818 | 51.29 | 1.681 | 45.83 | 1.399 | 25.70 | 1.855 | 18.91 | 0.565 | 16.98 | 1.322 | 16.33 |
| 回交 | 0.576 | 6.48 | 1.594 | 38.26 | | | | | 0.475 | - 1.77 | 1.195 | 5.91 |
| 对照 | 0.541 | | 1.153 | | 1.113 | | 1.560 | | 0.483 | | 1.123 | |

同时，还发现在相同交配类型内不同组合间也存在极显著的差异(表 3)，表明杂交亲本选配或杂交组合选择在鹅掌楸杂交育种中是非常重要的。通过选择优良杂交组合，可最大限度地利用鹅掌楸属种间杂种优势。各试验点内苗高性状的家系遗传率为 0.84 ~ 0.92，地径性状的家系遗传率为 0.70 ~ 0.89，两者皆具有较高的家系遗传率，表明生长性状受较强的遗传控制，因此，通过选择优良交配组合(全同胞家系)可获得较大的遗传增益。

2.2 鹅掌楸不同交配组合子代基因型与环境交互作用

基因型与环境交互作用效应(G × E)是林木育种和品种推广过程中不容忽视的重要问题，研究基因

表3 不同地点内不同交配类型生长性状方差分析

Table 3 Analysis of variance of height and diameter of seedlings for different mating types in 3 test sites

| 试验点 | 变异来源 | 自由度 | 苗高 | | | | 地径 | | | |
|-----|----------|------|--------|------|---------|------|--------|------|--------|------|
| | | | 平方和 | 均方 | F值 | 遗传率 | 平方和 | 均方 | F值 | 遗传率 |
| 镇江点 | 交配类型间 | 3 | 13.18 | 4.39 | 2.94 | | 12.59 | 4.20 | 1.84 | |
| | 交配类型内组合间 | 20 | 29.87 | 1.49 | 12.05** | 0.92 | 45.72 | 2.28 | 9.89** | 0.89 |
| | 区组间 | 2 | 3.76 | 1.88 | 15.16** | | 0.99 | 0.49 | 2.14 | |
| | 机误 | 694 | 86.05 | 0.12 | | | 160.38 | 0.23 | | |
| 咸宁点 | 交配类型间 | 2 | 0.38 | 0.19 | 0.23 | | 0.68 | 0.34 | 0.30 | |
| | 交配类型内组合间 | 25 | 20.76 | 0.83 | 6.27** | 0.84 | 28.26 | 1.13 | 3.40** | 0.70 |
| | 区组间 | 2 | 1.98 | 0.99 | 7.50** | | 0.84 | 0.42 | 1.26 | |
| | 机误 | 810 | 107.30 | 0.13 | | | 269.33 | 0.33 | | |
| 南京点 | 交配类型间 | 3 | 4.95 | 1.65 | 3.24** | | 5.14 | 1.71 | 1.69 | |
| | 交配类型内组合间 | 35 | 17.85 | 0.51 | 9.42** | 0.89 | 35.50 | 1.01 | 7.60** | 0.86 |
| | 区组间 | 2 | 2.16 | 1.08 | 19.93** | | 2.54 | 1.27 | 9.52** | |
| | 机误 | 1129 | 61.10 | 0.05 | | | 150.60 | 0.13 | | |

说明：**表示0.01水平差异显著。

型与环境交互作用效应对林木遗传改良具有重要意义，了解各品种的生长适应性和遗传稳定性，可以确定品种的适宜推广范围，已成为林木遗传育种的一个重要组成部分^[8,10]。

对观测数据进行 Bartlett χ^2 方差齐性检验，结果表明，3个试点误差方差不显著。基于此，以各试验点小区平均值为单位，对本试验3个试验点内14个相同的交配组合子代进行多点联合方差分析。结果表明(表4)，组合与地点的交互作用达到显著水平，因此有必要对各组合的遗传稳定性作进一步分析。

2.3 鹅掌楸不同交配组合子代苗期生长的遗传稳定性

采用 Eberhart 模型的回归系数 b_i 和校正的离回归均方 S_w^2 来评价鹅掌楸不同交配组合子代苗高和地径生长的遗传稳定性(表5)。在苗高性状上，稳定性较好的交配组合子代为 BM × FY1, L ×

J1, S × BK1 和 J × L。结合平均生长量，J × L 和 L × J1 交配组合子代生长较快。在地径性状上，稳定性较好的交配组合为 J × L, N2 × J1, L × J1 和 L × YY1，结合平均生长量，组合 J × L 和 N2 × J1 生长较快。综合苗高、地径性状，交配组合 J × L 综合性状较优，具有生长快、适用性广等特点。而交配组合 BK1 × H 和 Z × WYS1 平均生长量大，但遗传稳定性较低。

3 讨论与结论

3.1 鹅掌楸不同交配类型子代苗期生长表现

在苗期生长(苗高、地径)性状上，鹅掌楸种间正、反交组合间无显著差异，种内杂交与正反交差异显著，但仍可以获得较大的杂种优势，以鹅掌楸为轮回亲本的回交子代的生长优势较弱。苗高和地径性

表4 鹅掌楸不同交配组合子代基因与环境交互作用的方差分析

Table 4 Analysis of variance of gene by environment for different mating combinations offspring in *Liriodendron*

| 性状 | 差异来源 | 自由度 | 平方和 | 均方 | F值 |
|----|---------|-----|------|-------|---------|
| 苗高 | 交配组合 | 13 | 2.14 | 0.164 | 2.10 |
| | 地点 | 2 | 8.21 | 4.105 | 98.88** |
| | 组合 × 地点 | 26 | 2.02 | 0.078 | 2.23** |
| | 地点内区组 | 6 | 0.80 | 0.133 | 3.21** |
| | 误差 | 78 | 2.70 | 0.035 | |
| | 交配组合 | 13 | 4.21 | 0.324 | 4.15** |
| 地径 | 地点 | 2 | 7.31 | 3.654 | 82.69** |
| | 组合 × 地点 | 26 | 2.01 | 0.078 | 2.89** |
| | 地点内区组 | 6 | 0.42 | 0.07 | 1.58 |
| | 误差 | 78 | 2.13 | 0.027 | |

说明：**表示0.01水平差异显著。

状的家系遗传率呈强度遗传，表明通过不同交配组合的选择，均有可能获得较大的遗传增益。这与李周岐等^[11]的正交、反交、以北美鹅掌楸为轮回亲本的回交和 F1 个体间杂交等 4 个交配类型无差异的结果不同。笔者认为，这可能与两批交配组合子代材料的亲本来源不同有关。鹅掌楸在中国分布较散，种群较小，造成适应性较差，因此，选择鹅掌楸不同种源个体作为回交亲本，回交子代的生长优势因亲本的环境适应性差异表现不同。李斌等^[12]对 7 年生时长江中下游 5 省区鹅掌楸种源试验林全面测定其树高、胸径、冠幅等主要生长性状，遗传变异分析结果表明：鹅掌楸生长性状在种源间存在显著的遗传差异。地点间差异极显著，种源对环境反映灵敏，种源与地点间存在明显的交互作用。郝日明等^[13]也指出鹅掌楸天然

种群在中国的“一带五岛”的分布型式，长期处于生殖隔离状态，天然更新不良，在自然群落中多为偶见种。在南京林业大学下蜀实习林场建立的包含鹅掌楸与北美鹅掌楸 2 个种 17 个种源的试验林中，各种源 12 年生时的生长量在两个种间差异明显，北美鹅掌楸明显优于鹅掌楸；同时，生长量在种内不同种源间也存在显著差异，而种源内个体间差异不显著^[6]。因此，在鹅掌楸杂交育种的亲本选择上，必须考虑种源的适应性，在突出育种目标性状的同时，尽量兼顾杂交亲本的适应性，选择适应性差异大的种源作为杂交亲本，有可能培育出杂种优势强、适应性广的优良杂交组合。

3.2 鹅掌楸不同交配组合子代的遗传稳定性

林木大多数性状为数量性状，而数量性状对环境条件较为敏感，即存在基因型与环境交互作用^[14-15]。如 Zalesny 等^[14]在杨树 *Populus* 大多数扦插生根性状上也存在较强的基因型与环境交互作用；对直干桉 *Eucalyptus maidenii* 全同胞家系生长性状遗传稳定性分析结果也表明，直干桉生长性状在全同胞家系间、地点间及地点与家系的交互作用均达到了显著水平^[15]。在推广优良组合时，应充分利用基因型与环境的交互作用，为特定环境选择特定的杂交组合。本试验中，综合 3 个试验点的结果可以看出，鹅掌楸不同交配组合子代的苗期生长存在显著差异，且存在显著的基因型与环境交互作用。通过对各交配组合的遗传稳定性分析，可以对各交配组合子代进行科学的评价，从而为新品种的选育与推广提供依据。遗传稳定性分析结果显示，交配组合 J×L 综合性状较优，生长快，适用性强，适宜大面积种植。而交配组合 BK1×H 和 Z×WYS1 的遗传稳定性较差，不适宜于大范围推广种植。

3.3 鹅掌楸优良杂交组合的苗期测定

林木子代测定一般分两阶段进行，即苗期测定与林期测定^[8]。苗期测定实际为早期测定，根据苗期测定结果可对参试组合(家系)进行初步评价与选择，而最终的评价与选育要依赖于林期测定结果。本研究根据 2 年生苗期生长表现对鹅掌楸不同交配组合进行评价，考虑到苗期生长受环境的影响较大且参试组合数较少，性状表现不稳定。同时，依据苗期性状进行选择实际为早期选择，早期选择效率与早晚相关性大小有关^[16]。因此，本试验初选的组合尚需进一步的林期试验测定。

参考文献：

[1] 王章荣. 鹅掌楸属(*Liriodendron*)杂交育种回顾与展望[J]. 南京林业大学学报：自然科学版, 2003, 27 (3): 76

表 5 14 个鹅掌楸交配组合子代苗期生长稳定性分析

Table 5 Mean performances and stability parameters of the 2 growth characters of 14 combinations in 3 sites

| 交配组合 | 苗高/m | | | 地径/cm | | |
|--------|-------------|---------|-------------|-------------|---------|-------------|
| | \bar{x}/m | b_i | $S_{d_i}^2$ | \bar{x}/m | b_i | $S_{d_i}^2$ |
| BK1×H | 1.190 3 | 1.125 6 | 0.053 4 | 1.964 6 | 1.193 3 | 0.029 4 |
| BM×C4 | 0.957 2 | 0.583 6 | 0.059 1 | 1.879 2 | 0.625 1 | 0.070 0 |
| BM×C5 | 0.851 3 | 0.759 6 | 0.113 3 | 1.651 1 | 0.475 5 | 0.055 4 |
| BM×FY1 | 0.855 6 | 0.771 6 | 0.001 7 | 1.584 1 | 0.998 9 | 0.000 2 |
| BM×L | 0.773 4 | 1.080 6 | 0.076 1 | 1.424 7 | 0.733 9 | 0.036 2 |
| J×L | 1.108 3 | 1.240 1 | 0.002 8 | 1.821 1 | 1.106 5 | 0.000 4 |
| L×J1 | 0.963 4 | 1.257 8 | 0.000 6 | 1.646 3 | 0.978 4 | 0.003 1 |
| L×S | 0.995 7 | 1.094 4 | 0.044 6 | 1.787 8 | 1.486 0 | 0.062 9 |
| L×YY1 | 1.084 8 | 0.718 0 | 0.047 5 | 1.816 3 | 0.820 9 | 0.001 7 |
| N2×J1 | 1.197 3 | 0.750 5 | 0.016 1 | 1.936 8 | 1.196 9 | -0.000 4 |
| S×BK1 | 0.994 3 | 0.640 1 | 0.000 6 | 1.724 6 | 0.694 9 | 0.021 5 |
| S×N1 | 1.003 2 | 1.626 9 | 0.006 4 | 1.790 3 | 1.584 8 | 0.015 3 |
| S×Z1 | 0.918 7 | 1.274 0 | 0.006 5 | 1.613 9 | 1.217 3 | 0.019 8 |
| Z×WYS1 | 1.200 4 | 1.077 4 | 0.012 8 | 2.097 6 | 0.887 5 | 0.026 5 |

- 78.

WANG Zhangrong. The review and outlook on hybridization in tulip tree breeding in China [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2003, **27** (3): 76 - 78.

- [2] 李周岐, 王章荣. 鹅掌楸属种间杂交可配型与杂种优势的早期表现[J]. 南京林业大学学报, 2001, **25** (2): 34 - 37.

LI Zhouqi, WANG Zhangrong. Crossability and heterosis for seed-traits in *Liriodendron* [J]. *J Nanjing For Univ*, 2001, **25** (2): 34 - 37.

- [3] 李周岐, 王章荣. 鹅掌楸属种间杂种 F1 与亲本花果数量性状的遗传变异分析[J]. 林业科学研究, 2000, **13** (3): 290 - 294.

LI Zhouqi, WANG Zhangrong. Inheritance and variation of floral and fruit quantitative traits of *Liriodendron* interspecific hybrid and its parent species [J]. *For Res*, 2000, **13** (3): 290 - 294.

- [4] 叶金山, 季孔庶, 王章荣. 杂种马褂木无性系插条生根能力的遗传变异[J]. 南京林业大学学报, 1998, **22** (2): 71 - 74.

YE Jinshan, JI Kongshu, WANG Zhangrong. The variation of cutting rootforming ability in the hybrid Chinese tulip tree clones [J]. *J Nanjing For Univ*, 1998, **22** (2): 71 - 74.

- [5] 李周岐, 王章荣. 鹅掌楸属种间杂种苗期生长性状的亲本配合力分析[J]. 西北林学院学报, 2001, **16** (3): 7 - 10.

LI Zhouqi, WANG Zhangrong. Combining ability analysis of six parents diallel cross of *Liriodendron* [J]. *J Northwest For Univ*, 2001, **16** (3): 7 - 10.

- [6] 李火根, 陈龙, 梁呈元, 等. 鹅掌楸属树种种源试验研究[J]. 林业科技开发, 2005, **19** (5): 13 - 17.

LI Huogen, CHEN Long, LIANG Chenyuan, et al. A case study on provenance testing of tulip tree (*Liriodendron* spp.) [J]. *China For Sci Technol*, 2005, **19** (5): 13 - 17.

- [7] 叶金山, 王章荣. 杂种马褂木杂种优势的遗传分析[J]. 林业科学, 2002, **38** (4): 68 - 71.

YE Jinshan, WANG Zhangrong. Genetic analysis of heterosis for hybrid tulip tree [J]. *Sci Silv Sin*, 2002, **38** (4): 68 - 71.

- [8] 沈熙环. 林木育种学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1990.

- [9] 续九如. 林木数量遗传学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.

- [10] 胡秉民, 耿旭. 作物稳定性分析法[M]. 北京: 科学出版社, 1993.

- [11] 李周岐, 王章荣. 鹅掌楸属种间杂种苗期生长性状的遗传变异与优良遗传型选择[J]. 西北林学院学报, 2001, **16** (2): 5 - 9.

LI Zhouqi, WANG Zhangrong. Variation and selection of interspecific hybrid in *Liriodendron* [J]. *J Northwest For Univ*, 2001, **16** (2): 5 - 9.

- [12] 李斌, 顾万春, 夏良放, 等. 鹅掌楸种源遗传变异和选择评价[J]. 林业科学研究, 2001, **14** (3): 237 - 244.

LI Bin, GU Wanchun, XIA Liangfang, et al. Genetic variation and provenance selection of Chinese tulip tree [J]. *For Res*, 2001, **14** (3): 237 - 244.

- [13] 郝日明, 贺善安, 汤诗杰, 等. 鹅掌楸在中国的自然分布及其特点[J]. 植物资源与环境, 1995, **4** (1): 1 - 6.

HAO Riming, HE Shan'an, TANG Shijie, et al. Geographical distribution of *Liriodendron chinense* in China and its significance [J]. *J Plant Resour Environ*, 1995, **4** (1): 1 - 6.

- [14] ZALESNY R S, RIEMENSCHNEIDER D E, HALL R B. Early rooting of dormant hardwood cuttings of *Populus*: analysis of quantitative genetics and genotype \times environment interactions [J]. *Can J For Res*, 2005, **35**: 918 - 929.

- [15] 蓝桉直干桉全同胞子代测定课题组. 直干桉全同胞家系生长性状遗传稳定性分析[J]. 西南林学院学报, 2002, **22** (4): 5 - 8.

Project Group of Full-sib Progeny Test of *Eucalyptus globules* and *Eucalyptus maidenii*. A hereditary stability analysis of growth characteristics of *Eucalyptus maidenii* full-sib family [J]. *J Southwest For Coll*, 2002, **22** (4): 5 - 8.

- [16] CARNEGIE A J, JOHNSON I G, HENSON M. Variation among provenances and families of blackbutt (*Eucalyptus pilularis*) in early growth and susceptibility to damage from leaf spot fungi [J]. *Can J For Res*, 2004, **34**: 2314 - 2326.