

文章编号: 1001-1498(2010)03-0382-05

## 楸树与滇楸种间杂交的初步研究<sup>\*</sup>

贾继文<sup>1,2</sup>, 王军辉<sup>1\*</sup>, 张金凤<sup>2</sup>, 张守攻<sup>1</sup>, 张建国<sup>1</sup>, 赵 鲲<sup>3</sup>

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091; 2. 北京林业大学林木育种国家工程实验室, 教育部林木花卉遗传育种重点实验室, 北京 100083; 3. 河南省洛阳市林业科学研究所, 河南 洛阳 471002)

**摘要:** 采用常规杂交方法, 开展楸树与滇楸种间杂交育种, 对结实率、果实性状、千粒质量、有胚率、发芽性状及 1 年生株高、胸径等数据进行统计分析。结果表明: 父本对结实率的影响不显著, 母本对结实率影响显著; 父本对果实性状的影响均不显著, 母本对果实长度的影响显著; 父母本对千粒质量的影响均不显著; 父母本对有胚率、发芽势、发芽率的影响显著或极显著。不同杂交组合间株高和胸径存在极显著差异, 杂交组合 8-12 × 滇 3 表现最好, 其株高为 2.09 m, 胸径达到 1.38 cm, 杂交组合 8-13 × 滇 2 和 5-8 × 滇 2 表现也较好, 依据株高、胸径进行苗期早期选择的潜力较大; 表现最差的组合是 8-14 × 滇 2, 株高 1.69 m, 胸径 1.00 cm。

**关键词:** 楸树; 滇楸; 种间杂交; 育种

中图分类号: S722.3

文献标识码: A

## Interspecific Hybridization of *Catalpa bungei* and *Catalpa fargesii* f. *duclouxii*

JIA Ji-wen<sup>1,2</sup>, WANG Jun-hui<sup>1</sup>, ZHANG Jin-feng<sup>2</sup>, ZHANG Shou-gong<sup>1</sup>, ZHANG Jian-guo<sup>1</sup>, ZHAO Kun<sup>3</sup>

(1. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry; Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China; 2. Beijing Forestry University, National Engineering Laboratory for Tree Breeding; Key Laboratory for Genetics and Breeding in Forest Trees and Ornamental Plants, Ministry of Education, Beijing 100083, China; 3. Luoyang Forestry Research Institute, Luoyang 471002, He 'nan, China)

**Abstract:** The interspecific hybridization between *Catalpa bungei* C. A. Mey. and *Catalpa fargesii* Bur. f. *duclouxii* (Dode) Gilmour was undertaken using conventional pollination approaches. The percentage of fruit set, fruit traits, thousand-grain seeds weight, the percentage of seeds with embryo, germination traits of seeds, and the height and diameter at breast height (DBH) of the annual hybrid seedlings were all investigated and analyzed. The results showed that there was no significant differences in the percentage of fruit set among male parents, but significant differences existed among female parents; concerning fruit traits, no significant differences existed among male parents, only the length of fruit showed significant differences among female parents; there was no significant differences in seeds thousand-grain weight among male and female parents; the percentage of seeds with embryo, germination energy, germination rate were all showed significant or extremely significant differences among male and female parents. The height and DBH were extremely significant differences among mating combinations, for the best mating combination the tree height was 2.09 m, the DBH 1.38 cm, The potential of early selecting based on height and DBH of annual hybrid seedlings would be great. For the poorest mating combinations, the tree height was 1.69 m, the DBH 1.00 cm.

**Key words:** *Catalpa bungei*; *Catalpa fargesii*; interspecific hybridization; breeding

收稿日期: 2009-04-15

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划课题(2006BAD24B08, 2006BAD01A1602) 和国家林业局林木培育实验室基金项目(2005-03)

作者简介: 贾继文(1983—), 女, 硕士, 从事楸树种质资源多样性及杂交育种研究。

\* 本文承蒙中国林科院林业所的马常耕研究员审阅并提出修改意见, 特此致谢!

\*\* 通讯作者: 王军辉, 博士, 研究员, 主要从事云杉、楸树的遗传育种研究。E-mail: wangjh@caf.ac.cn

楸树 (*Catalpa bungei* C. A. Mey.) 为紫葳科 (Bignoniaceae) 梓树属 (*Catalpa* Scop.), 原产我国, 高大落叶乔木, 适应性强, 可营造用材林、农楸间作林、防护林及庭院观赏、道路绿化等, 是综合利用价值很高的优质用材树种<sup>[1]</sup>。通过近 20 年的研究, 我国目前已选育出一批不同楸树类型在生产上推广, 但是由于楸树自花不育, 且一个地区只有一个单一无性系存在, 从而造成楸树很少结实的现象。叶培忠<sup>[2]</sup>较早开展了楸树杂交育种的探索性试验, 并获得了楸树种间杂种。为了选育优良的杂种无性系, 中国林科院从 2002 年开始进行楸树种内杂交育种工作, 并得到部分种内杂交种子<sup>[3-4]</sup>。本试验在前期杂交试验的基础上, 进一步开展楸树种间杂交, 并对杂交后代性状作了初步分析, 为获得楸树新种质奠定了基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料及杂交

杂交亲本中母本材料来源于洛阳楸树基因库和偃师无性系试验林, 父本材料来源于贵州林科院滇楸 (*C. fargesii* Bur. f. *duclouxii* (Dode) Gilmour) 优树。

于 2007 年 4 月底在洛阳进行杂交。母本为 22 个楸树无性系, 父本为 3 个滇楸无性系。共设计 50 个杂交组合。滇楸优树花粉于 2007 年 4 月初在贵阳采集, 在滇楸花开放之时, 收集即将散粉的花药, 置于室内 25℃ 自然干燥散粉, 收集存放于有干燥剂的密闭容器内, 置于 2~4℃ 冰箱储存备用。在开花盛期 (4 月 25 日至 4 月 27 日), 将花粉直接抹到母本柱头上, 由于楸树自花不育, 杂交后不必去雄和套袋, 为确保授粉成功, 同一杂交组合, 连续进行至少 3 次授粉。授粉后挂好标签, 注明其母本、父本及授粉日期, 记录每个杂交组合杂交花朵数。2007 年 9 月调查坐果情况, 10 月底从树上将果实采下自然干燥后存放于 4℃ 冰箱中备用。

### 1.2 杂交种子发芽和育苗

将每个组合所得杂交种子按每份 100 粒分开, 随机选择 4 份 (总数不足 400 粒的全部选择), 统计完种子百粒质量后, 按 4 个重复进行发芽试验, 计算种子发芽率和发芽势, 每个组合发芽高峰期不同, 一般在发芽第 3 天至第 7 天之间。最后统计种子的有胚率 (有胚种子 = 发芽种子数 + 未发芽有胚种子数)。

千粒质量 = 百粒质量 × 10

发芽率 = (正常发芽种子数 / 参试种子总数) × 100%

发芽势 = (达到高峰时正常发芽种子数 / 参试种

子总数) × 100%

有胚率 = (有胚种子 / 参试种子总数) × 100%

2008 年 3 月将统计完发芽率的发芽种子播种于中国林业科学研究院温室 (气温为 20~25℃, 湿度 60%) 内, 采用营养钵 (规格为 6 cm × 6 cm, 基质为泥炭土 蛭石 = 7:3) 育苗。2008 年 5 月底当幼苗出现 6 片子叶时, 将营养钵移出温室炼苗; 2008 年 6 月初移植到洛阳试验场大田 (温暖带大陆性气候; 土壤为褐土, 土层厚度 30 cm, 成土母质为黄土), 常规大田管理 (杂交苗半个月浇 1 次水; 楸小螟防治 2 次, 分别在 6 月下旬和 7 月下旬, 采用喷雾器, 药物为桃小光和金手指按 1:1 比例 1:500 倍液全面喷洒防治)。2008 年年底对 1 年生所有杂种苗进行株高和胸径的生长测量。

### 1.3 统计分析方法

所有数据的分析均由 SPSS16.0 完成。遗传参数的估算如下<sup>[5-6]</sup>:

组合遗传力  $h^2 = 1 - 1/F$  ( $F$  表示  $F$  值)

遗传变异系数  $GCV = \frac{\sigma^2_g}{\bar{g}} \times 100\%$  ( $\sigma^2_g$  表示遗传方差,  $\bar{g}$  表示均值)

表型变异系数  $PCV = \frac{\sigma^2_p}{\bar{p}} \times 100\%$  ( $\sigma^2_p$  表示表型方差,  $\bar{p}$  表示均值)

## 2 结果与分析

### 2.1 楸树 × 滇楸不同组合杂交苗的不同性状

由于多种原因, 2007 年进行的 50 个楸树种间杂交组合中, 只有 27 个杂交组合得到杂交种子, 占杂交组合的 54%。本论文只对杂交成功的 27 个组合进行相应性状的统计分析, 结果见表 1。

### 2.2 结实率及种实性状的变异程度

由表 1 可以看出: 各个性状在组合间的变异系数都较大, 说明结实率及果实、种子性状在各个组合间是存在差异的。种子有胚率最小的为 0, 最高的达到 94.26%, 差异较大, 种子发芽势、发芽率的差异也很大, 有胚率、发芽势、发芽率的变异系数均大于 100%。

### 2.3 父本对结实率及果实、种子性状的影响

通过不同父本与同一母本的杂交表现研究了父本效应。由表 2 可以看出, 3 个父本对结实率、果实性状、千粒质量的影响均不显著; 父本对有胚率、发芽势和发芽率影响显著, 其中有胚率、发芽势、发芽率的变异系数均大于 100%。

表1 楸树 × 滇楸不同组合杂交结实和种子发芽情况

母本	父本	杂交花朵数/ 朵	坐果数/ 个	结实率/ %	果实长度/ cm	单果实种子数/ 个	千粒质量/ g	有胚率/ %	发芽势/ %	发芽率/ %
11-2	滇 537	15	2	13.33	31.5	26.5	2.43	0.00	0.00	0.00
5012	滇 2	34	4	11.76	27.9	31.3	1.17	1.50	0.00	0.00
6049	滇 2	30	11	36.67	31.0	59.5	2.24	13.00	0.50	0.50
4018	滇 2	34	15	44.12	36.2	53.1	2.08	2.00	0.00	0.00
4046	滇 2	17	2	11.76	45.2	75.0	2.28	3.50	1.00	1.00
6004	滇 2	29	1	3.45	37.6	59.0	1.71	10.17	0.00	0.00
6025	滇 2	17	2	11.76	24.8	19.0	1.08	0.00	0.00	0.00
1039	滇 2	33	9	27.27	29.5	26.2	1.31	1.93	1.59	1.59
5-6	滇 2	9	4	44.44	10.2	9.3	0.95	32.43	18.92	21.62
8-12	滇 2	29	3	10.34	45.1	45.0	4.45	87.36	18.14	46.14
8-13	滇 2	20	6	30.00	40.5	69.7	3.17	89.25	21.00	43.75
8-14	滇 2	9	3	33.33	32.2	77.0	3.41	94.26	45.43	74.59
11-1	滇 2	4	1	25.00	48.4	48.0	1.92	8.33	4.17	4.17
11-2	滇 2	25	4	16.00	35.0	36.8	2.88	5.13	2.06	2.06
6-7	滇 2	52	5	9.62	38.5	50.8	1.98	16.12	3.23	6.19
8-11	滇 2	28	1	3.57	53.3	88.0	5.08	87.50	27.27	44.32
5-8	滇 2	50	17	34.00	51.7	96.5	3.13	90.25	16.00	33.25
4018	滇 3	33	8	24.24	29.6	44.9	1.22	0.75	0.00	0.00
5012	滇 3	54	4	7.41	26.9	25.8	1.46	0.00	0.00	0.00
4046	滇 3	19	1	5.26	32.4	32.0	2.00	3.13	0.00	0.00
1039	滇 3	57	11	19.30	30.7	43.9	1.41	2.25	0.25	0.25
8-12	滇 3	14	3	21.43	41.8	76.0	1.49	4.67	1.67	2.33
11-1	滇 3	15	4	26.67	36.8	39.8	3.05	13.13	0.85	1.69
11-2	滇 3	22	7	31.82	27.5	27.0	1.66	1.06	0.56	0.56
6-7	滇 3	39	5	12.82	28.2	13.6	1.37	2.94	0.00	0.00
7-8	滇 3	7	3	42.86	25.7	46.0	0.79	0.00	0.00	0.00
9-13	滇 3	28	6	21.43	25.9	20.5	1.27	2.17	0.00	0.00
平均值				21.47	34.23	45.93	2.11	21.22	6.02	10.52
变异系数/%				58.61	27.55	50.28	50.22	160.26	185.65	188.56

表2 父本对杂交结实率、果实及种子性状的影响

性状	均值	变化范围	变异系数/%	均方	F值	P值
结实率/%	18.91	13.33 ~ 22.07	25.62	0.004	0.150	0.862
果实长度/cm	32.91	30.55 ~ 36.69	10.05	119.999	1.391	0.268
果实内种子数/个	38.74	26.50 ~ 52.76	34.13	965.429	1.941	0.165
千粒质量/g	2.14	1.57 ~ 2.43	23.08	2.305	2.248	0.127
有胚率/%	12.31	0.00 ~ 33.92	152.52	0.631	4.018	0.031
发芽势/%	3.43	0.00 ~ 9.96	164.87	0.147	4.190	0.028
发芽率/%	5.98	0.00 ~ 17.45	166.26	0.275	3.702	0.040

表3 母本对杂交结实率、果实及种子性状的影响

性状	均值	变化范围	变异系数/%	均方	F值	P值
结实率/%	22.80	3.45 ~ 44.44	57.53	0.035	4.005	0.020
果实长度/cm	34.05	10.20 ~ 53.30	30.16	120.716	4.197	0.017
果实内种子数/个	48.74	9.30 ~ 96.50	49.58	674.244	2.525	0.080
千粒质量/g	2.15	0.79 ~ 5.08	50.63	1.341	1.879	0.168
有胚率/%	27.49	0.00 ~ 94.26	132.96	0.263	4.250	0.016
发芽势/%	8.08	0.00 ~ 45.43	158.73	0.062	6.204	0.004
发芽率/%	13.92	0.00 ~ 74.59	157.13	0.124	4.870	0.010

## 2.4 母本对结实率及果实、种子性状的影响

通过不同母本与同一父本的杂交表现研究了母

本效应。杂交母本为洛阳的楸树。由表3可以看出:母本对结实率、果实长度和有胚率的影响显著,

母本对发芽势、发芽率的影响极显著,但对果实内种子数和千粒质量的影响不显著。有胚率、发芽势、发芽率的变异系数相对于其他性状的变异系数也较高,均大于100%。

## 2.5 杂交苗的苗期表现

本试验最后只有11个杂交组合得到杂交苗,其中有5株以上的组合8个,这8个组合的杂交苗保存株数及生长表现见表4。由表4可以看出:生长量最大的杂交组合是8-12 × 滇3,其株高为2.09 m,胸径达到1.38 cm,最小的杂交组合是8-14 × 滇2,株高1.69 m,胸径达到1.00 cm。8-12 × 滇3的杂交苗在苗期总体表现最好,但杂交实生苗也只有6株,而8-13 × 滇2和5-8 × 滇2的杂交苗在苗期表现也较好,其株高的变异系数分别为12.12%、15.14%,胸径的变异系数为20.70%和25.12%,存活实生苗也较多,因此在这2个组合内选择优良单株的潜力较大。

表4 不同杂交组合的杂交苗生长情况

杂交组合	保存数/ 株	株高		胸径	
		均值/ m	变异系 数/%	均值/ cm	变异系 数/%
8-11 × 滇2	12	1.78	20.28	1.25	23.02
8-12 × 滇2	16	1.87	13.43	1.12	24.69
8-12 × 滇3	6	2.09	7.78	1.38	8.45
8-13 × 滇2	82	1.96	12.12	1.26	20.70
8-14 × 滇2	46	1.69	12.13	1.00	24.30
6-7 × 滇2	6	1.92	18.03	1.12	23.64
5-8 × 滇2	52	1.99	15.14	1.29	25.12
5-6 × 滇2	5	1.88	15.45	1.36	21.18

对株高、胸径进行方差分析及遗传参数估算,结果见表5,不同杂交组合间株高和胸径存在极显著差异。二者的组合遗传力都较高,遗传变异系数和表型变异系数都在10%以上,依据株高、胸径进行优良组合选择的潜力较大。

表5 杂交苗生长性状方差分析及遗传参数

性状	均方	F值	组合遗传力	遗传变异 系数/%	表型变异 系数/%
株高	0.452	6.555**	0.85	11.53	18.00
胸径	0.428	5.824**	0.83	17.23	28.05

注:\*\*表示性状差异在0.01水平上的显著性。

## 3 结论与讨论

### 3.1 种间杂交亲和性

研究种间可交配性、杂种优势程度是楸树育种中亟待解决的问题。王丹菲等<sup>[7]</sup>认为蒴果膨大程度

和有胚率可作为百合(*Lilium Brownii* var. *viridulum* Baker)种间杂交亲和性的判定指标,蒴果膨大程度间接反映了内部种子的发育情况,但用杂交种子的有胚率作为判断杂交亲和性的依据更为可靠。李周岐等<sup>[8]</sup>通过对鹅掌楸属(*Liriodendron* L.)种间杂交的研究认为,饱满率是反映种子质量的一个重要指标,也是度量杂交可配性的指标。在洛阳地区,虽然多数楸树植株的花粉正常,但是普遍不结实。本试验中楸树杂交的结实率均不高,且组合间结实率的变化范围很大(3.45%~44.44%),杂交种子有胚率为0.00~94.26%,发芽率为0.00~74.59%。郝明灼等<sup>[9]</sup>研究发现,楸树杂交授粉所结的种子空粒现象较严重,饱满粒种子所占的比例仅1.35%~17.89%,发芽率0.00~14.71%。结实率可能与花粉生活力和受精前后胚胎发育期的亲和性有关,有胚率则和杂交亲和性直接相关,有胚率低说明楸树种间杂交存在一定的杂交不亲和。欧阳彤等<sup>[10]</sup>研究发现郁金香(*Tulipa Gesneriana* L.)杂交时平均受精率均较高,甚至1个月的平均座果率也比较高,但最终发育为成熟的种子却很少,相当比例的胚在发育过程中死亡。Kho等<sup>[11]</sup>的研究表明,郁金香花粉在柱头上萌发受限及花粉管在胚囊内发育不正常都会造成杂交结实率低。本研究发现,杂交父本对结实率的影响均不显著,母本对结实率影响显著,而父母本对种子有胚率的影响均达到显著水平,由此可知,父母本对杂交亲和性的影响都较大。在进行杂交育种时,不仅要注重对母本的选择,也要加强对父本的选择。

### 3.2 子代苗期评价

苗期生长性状在杂交组合间和杂交组合内均有较大差异,为苗期无性系化和选择提供了可能,但由于早期生长表现受环境影响较大,因此在进行无性系测定和选择时,应遵循大淘大淘的原则。如饶显生等<sup>[12]</sup>研究发现,大多数杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook)无性系在不同年度苗木生长表现较为稳定,因此杉木无性系苗期选择具有一定的可靠性。楸树作为一种优质珍贵阔叶树种,对其杂交后代的选择不仅要考虑其生长指标,木材性状的优劣同样重要。Pliura等<sup>[13-14]</sup>、Zhang等<sup>[15]</sup>认为,白杨(*Poplar*)杂种的生长性状与木材密度没有很强的遗传相关性,Shepherd等<sup>[16]</sup>研究发现,热带松(*Pinus tropicalis* Morelet)杂种的生长性状与木材密度为独立遗传的性状,不存在遗传相关性。由于楸树杂种

苗期选择评价的可靠性、选择评价指标等尚待研究,因此当前对楸树杂交组合进行苗期选择时,应采取降低选择强度和淘汰劣株结合的大选大淘原则,把选择对象放到无性系上,而不能以单株表现为依据。

#### 参考文献:

- [1] 潘庆凯,康平生,郭明.楸树[M].北京:中国林业出版社,1991: 1 - 4
- [2] 叶培忠,刘玉莲.促进楸树结实的研究[J].南京林产工业学院学报,1980(1): 116 - 121
- [3] 王苏珂,王军辉,张守攻,等.楸树不同交配组合种子发芽特性的研究[J].林业科学研究,2008,21(2): 275 - 278
- [4] 王小艳,赵 鲲,赵牧峰,等.楸树杂交育种初报[J].河南林业科技,2008,28(2): 16 - 18
- [5] 续九如.林木数量遗传学[M].北京:高等教育出版社,2006: 34 - 53
- [6] Kumar A. Growth performance and variability in different clones of *Gmelina arborea* (ROXB.) [J]. *Silvae Genetica*, 2007, 56(1): 32 - 36
- [7] 王丹菲,赵 珺,雷家军.百合种间杂交亲和性的研究[J].沈阳农业大学学报,2006,37(1): 26 - 30
- [8] 李周岐,王章荣.鹅掌楸属种间杂交可配性与杂种优势的早期表现[J].南京林业大学学报,2001,25(2): 34 - 38
- [9] 郝明灼,彭方仁,王改萍,等.楸树人工杂交授粉试验及种实分析[J].南京林业大学学报:自然科学版,2008,32(5): 131 - 134
- [10] 欧阳彤,姜彦成,栾启富,等.新疆野生郁金香与栽培品种的杂交性状[J].植物学通报,2008,25(6): 656 - 664
- [11] Kho Y O, Baer J. Incompatibility problem in species crosses of *Tulips* [J]. *Euphytica*, 1971, 20(1): 30 - 35
- [12] 饶显生,程书建,刘化桐,等.杉木无性系苗期选择可靠性分析[J].福建林学院学报,2002,22(1): 82 - 85
- [13] Pliura A, Yu Q B, Zhang S Y, *et al.* Variation in wood density and shrinkage and their relationship to growth of selected poplar hybrid crosses [J]. *Forest Science*, 2005, 51(5): 472 - 482
- [14] Pliura A, Zhang S Y, Mackay J, *et al.* Genotypic variation in wood density and growth traits of poplar hybrids at four clonal trials [J]. *Forest Ecology and Management*, 2007, 238: 92 - 106
- [15] Zhang S Y, Yu Q B, Chauret G, *et al.* Selection for both growth and wood properties in hybrid poplar clones [J]. *Forest Science*, 2003, 49(6): 901 - 908
- [16] Shepherd M, Cross M, Dieters M J, *et al.* Genetics of physical wood properties and early growth in a tropical pine hybrid [J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 2003, 33(10): 1923 - 1932