

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2018.01.001

## 四川桉木杂交子代苗期性状遗传分析及选择

杨汉波,郭洪英\*,陈 炙,王泽亮,黄 振,李佳蔓,肖兴翠

(四川省林业科学研究院,四川 成都 610081)

**摘要:**人工杂交和杂种优势利用是林木遗传改良的重要途径。研究四川桉木杂交子代的生长表现,为杂交四川桉木品种选育提供参考依据。以12个四川桉木优树和1个欧洲桉木优良品种为亲本,按照NC II 交配设计进行控制授粉,测定1 a 生种苗的苗期性状,结果显示,四川桉木杂交子代苗高和地径在家系间存在极显著差异。一般配合力效应在同一亲本不同性状及同一性状不同亲本间存在明显差异,母本JT4 各性状的一般配合力效应值相对较大。不同家系各个性状的特殊配合力差异显著,家系F6 苗高的特殊配合力效应值最大,家系F36 地径的特殊配合力效应值最大。各性状的广义遗传力均较高,其中苗高的广义遗传力超过50%。综合分析表明,四川桉木杂交子代的苗期表型性状差异显著,可进行家系间和家系内的初步选择,JT4、JG6 和BZ6 作母本,LD8 和XH5 作父本的一般配合力较高,初步认为这5 个亲本为优良的杂交育种亲本资源。家系F6、F32、F36 和F42 的苗高和地径特殊配合力相对较高,可用于进一步杂交选育四川桉木良种。

**关键词:**四川桉木;NC II 交配设计;杂交子代;苗高;地径

中图分类号:S722.3 文献标识码:A 文章编号:1003-5508(2018)01-0001-05

## Genetic Analysis and Selection of Morphological Traits of *Alnus cremastogyne* Burk. Hybrid Offspring

YANG Han-bo GUO Hong-ying\* CHEN Zhi WANG Ze-liang

HUANG Zhen LI Jia-man XIAO Xing-cui

(Sichuan Academy of Forestry, Sichuan Chengdu 610081, China)

**Abstract:** Crossbreeding and utilization of heterosis were the key ways of forest tree improvement. A NC II design was conducted with twelve plus trees of *A. cremastogyne* Burk. and one improved breeds of *A. glutinosa*. Phenotypic traits of one year seedlings were measured to reveal the growth performance and genetic stability of crossbreeding seedlings, and to provide reference for breeding of *A. cremastogyne*. The results showed that there were very significant differences between families in height and diameter. An obvious difference of the general combining ability (GCA) existed between different traits with the same parents or between different parents with the same traits. JT4 as a female parent had a relatively higher GCA value than other parents. There were significant differences of special combining ability (SCA) between families, F6 had the most SCA value in height, F36 had the most SCA value in diameter. High broad-sense heritability existed in all traits, with the broad-sense heritability of height above 50%. Comprehensive analysis showed that significant differences occurred between hybrid offspring, so primary selection of seed-

收稿日期:2017-11-27

基金项目:四川省科技支撑计划“突破性林木育种材料与与方法创新”(2016NYZ0035);桉木杂交子代苗木培育及苗期评价研究(ZL2017-02)。

作者简介:杨汉波(1988-),男,博士,主要从事林木遗传改良研究, yanghanbo6@163.com

\* 通讯作者:郭洪英(1973-),女,主要从事林木遗传改良及良种繁育技术研究, ghy0607@163.com

lings among and within families was workable. JT4, JG6 or BZ6 (as female parents), LD8 or XH5 (as male parents) had a high GCA value. It was primarily thought that these parents could be served as the better parents resources of crossbreeding. F6, F32, F36, and F42 could be used for breeding in *A. cremastogyne* because of their higher SCA value in height and diameter than other families.

**Key words:** *Alnus cremastogyne* Burk., NC II design, Hybrids, Height, Diameter

四川桤木(*Alnus cremastogyne* Burk.)是我国桤木属 11 个种中最重要的一个特有种,极具开发潜力<sup>[1-3]</sup>。四川桤木生长快,木材用途广,是重要的速生优质用材树种;根部具根瘤,能固定空气中游离的氮,对土壤改良效果明显,是理想的生态防护和混交造林树种<sup>[2]</sup>。20 世纪 60 年代以来,在浙江、湖南和湖北等长江中下游地区广泛引种栽培,现已成为我国长江流域水网地区防护林、丘陵山区水土保持林和短周期工业原料林基地建设的重要阔叶树种<sup>[4]</sup>。国内对四川桤木遗传变异的研究较少。陈益泰等<sup>[4]</sup>发现四川桤木存在极其丰富的地理变异和个体变异。王军辉等<sup>[2,5]</sup>分析了四川桤木优良种源/家系生长适应性和遗传稳定性,指出树高、材积、木材基本密度和纤维长度的种源差异显著,而家系间差异不显著。卓仁英等<sup>[6]</sup>建立了四川桤木 DNA 提取和 PCR 条件。任保青等<sup>[7]</sup>和杨汉波等<sup>[8]</sup>对四川桤木开展了染色体核型分析,均表明四川桤木的体细胞染色体数为 56,为多倍体木本植物。

随着生物技术的不断发展,新的育种途径也不断出现<sup>[9]</sup>。但杂交育种仍为最有效的育种方法,将是目前及今后相当长时间培育四川桤木新品种的重要手段<sup>[10,11]</sup>。而杂交育种作为一种重要的育种手段在四川桤木遗传改良方面的应用未见相关报道。为此,以 12 个四川桤木优树和 1 个欧洲桤木优良品种为亲本,按照 NC II 交配设计进行控制授粉,根据 1 a 生杂种苗的苗期生长性状测定结果,对各遗传参数进行估算,以期速生、丰产四川桤木优良品种的选育提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验地概况

试验地位于四川省林业科学研究院唐昌基地,地理坐标为东经 103°49'18",北纬 39°55'13",海拔 600 m,年均气温 16℃,年日照 1 014 h,年均降雨量 979.4 mm,土层深厚,含水层一般厚 15 m~25 m。

### 1.2 材料

以收集的 12 个四川桤木优树及引种的 1 个欧

洲桤木优良品种作为杂交亲本,采用 NC II 交配设计组成 42 个组合(家系)(见表 1)。于 2016 年 3 月进行控制授粉,12 月采集种子,4℃贮藏。

2017 年 2 月进行营养杯内播种育苗,试验采用完全随机区组设计,每个小区 100 杯,重复 3 次,定期浇灌。8 月调查杂交子代的苗高和地径。

表 1 供试四川桤木的 6×7 NC II 交配设计

Tab. 1 6×7 NC II cross design for excellent breeding in *Alnus cremastogyne* Burk.

母本	父本						
	YO2	TJ9	LD8	YO7	TT4	JT2	XH5
JG1	F1	F7	F13	F19	F25	F31	F37
BZ6	F2	F8	F14	F20	F26	F32	F38
SW2	F3	F9	F15	F21	F27	F33	F39
PC8	F4	F10	F16	F22	F28	F34	F40
JG6	F5	F11	F17	F23	F29	F35	F41
JT4	F6	F12	F18	F24	F30	F36	F42

### 1.3 数据分析

采用 SPSS 20.0 和 excel 软件对获得的试验数据进行处理,利用方差分析和多重比较进行家系间的差异分析。一般配合力(GCA)、特殊配合力(SCA)、广义遗传力和狭义遗传力等遗传参数的估算借助 DPS 软件进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 杂交子代家系间及家系内各性状的差异性

家系间的苗高和地径变异大小见表 2。苗高家系间变幅为 5.85 cm~27.53 cm,种间杂交组合 JT4×YO2 子代苗高最高;地径家系间变幅为 1.21 mm~3.05 mm, JT4×JT2 子代地径最大,种间杂交组合 JT4×YO2 子代地径也处于较高的水平,为 2.58 mm。苗高和地径在家系间存在显著差异,具有较大的选择潜力。苗高家系内变异系数在 9.24%~43.48%之间,平均为 20.82%;地径家系内变异系数在 12.85%~39.51%之间,平均为 21.72%,表明家系内也存在较大的变异,有必要进行家系内选择。由表 3 可知,四川桤木杂交种苗苗高和地径在家系间的差异均达到极显著水平,说明不同家系的苗高

表 2 四川桉木杂交子代各性状在家系间和家系内的变异

Tab. 2 Variation of hybrid offspring traits among and within families of *A. cremastogyne*

家系	苗高			地径		
	均值 /cm	0.05 水平	CV /%	均值 /cm	0.05 水平	CV /%
F1	7.70	opqrs	21.27	1.67	fghijklmn	34.42
F2	8.72	mnop	43.48	1.54	ijklmno	39.51
F3	6.73	rst	18.81	1.33	mno	20.50
F4	12.84	fg	16.35	1.86	efghijk	18.26
F5	10.61	ijk	19.04	2.03	efg	13.14
F6	27.53	a	26.34	2.58	bcd	23.95
F7	7.73	opqrs	19.63	1.76	efghijklm	19.87
F8	11.22	hij	19.87	1.87	efghijk	20.05
F9	7.48	opqrs	28.47	1.40	lmno	27.43
F10	8.13	nopqrs	21.66	1.66	fghijklmn	23.21
F11	17.71	c	17.42	2.47	cd	12.85
F12	11.77	ghi	16.96	1.36	lmno	19.04
F13	9.49	klmn	18.74	1.58	ghijklmno	19.58
F14	12.27	gh	17.52	1.90	efghij	21.38
F15	6.77	rst	20.31	1.38	lmno	21.19
F16	8.10	nopqrs	19.33	1.49	ijklmno	22.65
F17	13.86	ef	21.87	2.19	de	19.50
F18	17.63	c	15.01	2.58	bcd	15.78
F19	8.54	mnopq	30.19	1.57	hijklmno	29.20
F20	15.39	d	19.52	2.07	ef	17.22
F21	8.77	lmnop	13.75	1.69	fghijklmn	20.77
F22	8.49	mnopq	22.19	1.88	efghijk	18.75
F23	10.82	ijk	23.86	1.81	efghijkl	19.72
F24	10.26	jkl	19.51	1.53	ijklmno	21.33
F25	5.85	t	9.24	1.28	no	20.49
F26	9.45	klmn	21.23	1.68	fghijklmn	18.10
F27	7.34	pqrs	18.44	1.56	hijklmno	27.31
F28	9.33	klmn	15.05	1.79	efghijkl	15.89
F29	8.71	mnop	21.96	1.78	efghijkl	19.43
F30	9.81	jkml	24.53	1.95	efghi	22.50
F31	8.28	mnopqr	40.68	1.50	ijklmno	37.75
F32	15.09	de	16.85	2.59	bc	16.86
F33	7.04	qrst	23.68	1.21	o	36.20
F34	9.82	jkml	18.88	1.78	efghijklm	23.32
F35	8.25	mnopqr	18.09	1.65	fghijklmn	19.22
F36	15.40	d	27.60	3.05	a	121.78
F37	9.06	lmno	14.57	2.00	efgh	22.25
F38	7.63	opqrs	22.30	1.75	fghijklm	17.87
F39	6.62	st	16.70	1.39	lmno	17.94
F40	7.59	opqrs	15.64	1.44	klmno	22.99
F41	12.39	gh	14.90	2.50	cd	13.66
F42	23.59	b	22.97	2.94	ab	19.60

注:“0.05 水平”一列下标相同字母表示差异不显著,标不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

表 4

四川桉木 13 个亲本的一般配合力效应值

Tab. 4

Estimated values of GCA of 13 *A. cremastogyne* parents

性状	YO2	TJ9	LD8	YO7	TT4	JT2	XH5	JG1	BZ6	SW2	PC8	JG6	JT4
苗高	15.36	-0.32	6.02	-3.11	-21.43	-0.59	4.08	-24.43	6.40	-32.30	-14.21	9.83	54.72
地径	-0.01	-4.42	1.03	-4.17	-8.72	7.14	9.15	-11.50	4.39	-22.39	-7.38	12.37	24.51

### 2.3 各性状遗传力及性状间的相关性

从图 1 可以看出,四川桉木杂交苗在 1 a 生时苗高的广义遗传力较高,为 77.36%,地径的广义遗传力为 29.97%,表明该群体各性状的遗传潜力较大,从进行选择不但是可行的,而且从苗高性状能够获得较大的遗传增益。

表 3 四川桉木杂交子代各性状的方差分析结果

Tab. 3 Variance analysis of hybrid offspring traits of *A. cremastogyne*

变异来源	区组	家系	母本	父本	母本×父本	
苗高	df	2	41	5	6	30
	M. S.	0.15	587.19**	79.87**	8.70	37.63*
地径	df	2	41	5	6	30
	M. S.	0.26	5.80**	0.69**	0.08	0.33

注: \*\* 表示  $P < 0.01$  极显著水平, \* 表示  $P < 0.05$  显著水平。

和地径存在真实的遗传差异。母本的苗高和地径方差均达到极显著水平,而父本的苗高和地径方差均不显著。母本×父本在苗高上的方差达到显著水平,而在地径上的方差不显著。

### 2.2 配合力效应分析

对 13 个亲本估算一般配合力效应值(GCA),结果见表 4。GCA 效应值在同一亲本不同性状间及同一性状不同亲本间存在明显的差异,如 YO2 的苗高 GCA 效应值为 15.36,而地径 GCA 效应值为负值, JT2 的苗高 GCA 效应值为负值,而地径 GCA 效应值为正,其值为 7.14。母本 JT4、JG6、BZ6 和父本 LD8、XH5 的苗高和地径 GCA 效应值均为正值,其中母本 JT4 的苗高和地径 GCA 效应值均最大,分别为 54.72 和 24.51,其次为母本 JG6,苗高和地径 GCA 效应值分别为 9.83 和 12.37。

对 24 个家系各性状的特殊配合力(SCA)效应分析结果表明(见表 5),不同家系在各个性状上的差别较大,苗高和地径的 SCA 效应值变幅分别为 -55.85 ~ 86.99 和 -45.84 ~ 34.43。由表 5 还可知, F6 在苗高上具有最大特殊 SCA 效应值,其次为 F42 和 F11; F36 在地径上具有最大 SCA 效应值,其次为 F32 和 F42。F42 和 F32 在苗高和地径上的 SCA 效应值均较高,它们的杂种优势较为明显。

对 1 a 生四川桉木杂交苗的苗高和地径进行相关分析结果表明(见图 2),苗高与地径间存在显著正相关,相关系数为 0.6798,说明苗高与地径密切相关。因此,如果选择生长量高的优良家系,可以根据苗高和地径进行联合选择。

表5 四川桉木不同家系各性状的特殊配合力效应值

Tab. 5 Estimated values of SCA in the traits of the families of *A. cremastogyne*

家系 Family	苗高 Height	地径 Diameter	家系 Family	苗高 Height	地径 Diameter
F1	-19.03	2.33	F22	-3.38	13.97
F2	-40.36	-20.45	F23	-5.66	-9.55
F3	-20.24	-4.91	F24	-55.85	-37.15
F4	18.79	8.71	F25	0.50	-9.92
F5	-26.15	-1.94	F26	3.26	-4.12
F6	86.99	16.27	F27	22.25	16.38
F7	-3.03	11.77	F28	22.77	13.75
F8	-1.27	2.20	F29	-7.10	-6.41
F9	2.50	2.92	F30	-41.68	-9.68
F10	-9.51	2.45	F31	2.32	-13.64
F11	55.82	26.50	F32	35.06	29.88
F12	-44.50	-45.84	F33	-1.33	-18.58
F13	7.04	-3.27	F34	6.47	-2.78
F14	2.14	-2.00	F35	-32.23	-29.33
F15	-10.52	-3.23	F36	-10.29	34.45
F16	-16.15	-12.54	F37	4.96	11.36
F17	13.58	5.92	F38	-39.19	-18.34
F18	3.91	15.11	F39	-9.93	-11.10
F19	7.25	1.37	F40	-19.00	-23.56
F20	40.37	12.83	F41	1.74	14.81
F21	17.26	18.52	F42	61.43	26.83

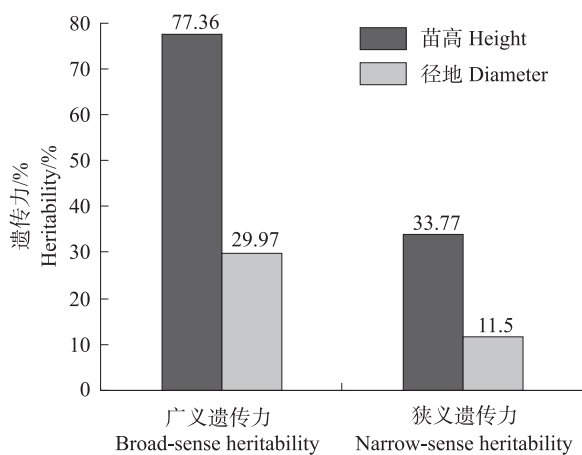


图1 四川桉木杂交子代各性状的遗传力

Fig. 1 Heritability of hybrid offspring traits in *A. cremastogyne* Burk.

### 3 结论与讨论

测定1 a生四川桉木杂交苗的苗高和地径两个性状并进行了遗传参数的估算,目的是为了研究四川桉木杂交子代的遗传规律,为优良家系/无性系的选育创造条件<sup>[12]</sup>。四川桉木杂交子代的苗高和地径在家系间存在极显著差异,家系内存在显著差异,可以进行家系间和家系内的初步选择,为进一步开

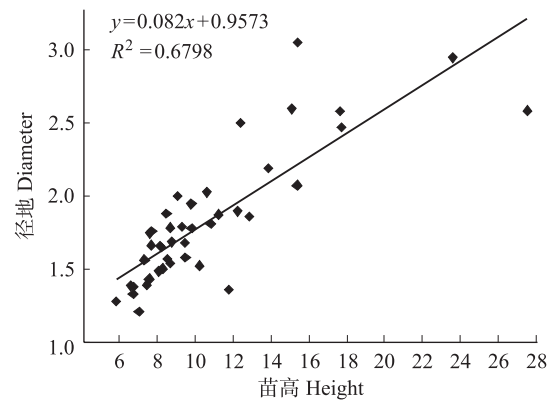


图2 四川桉木杂交子代苗高和地径之间的相关分析

Fig. 2 Correlation analysis between height and diameter of hybrid offspring of *A. cremastogyne*

展四川桉木遗传改良提供种质材料。母本×父本在苗高上的方差达到显著水平,而地径的方差不显著,表明母本×父本互作对苗高的影响更为重要<sup>[13]</sup>。四川桉木同一亲本不同性状及同一性状不同亲本间,一般配合力(GCA)效应存在明显差异,表明这些亲本的遗传特性均存在差异,即加性效应大小是不同的<sup>[14]</sup>。JT4、JG6和BZ6作母本的苗高和地径一般配合力(GCA)均为正,LD8和XH5作父本的苗高和地径一般配合力(GCA)均为正。多重比较结果表明,F6、F32、F36和F42等以JT4、BZ6和JG6为母本,XH5和LD8为父本的杂交子代均具有较高的苗高和地径生长量,因此,初步认为这5个亲本为优良的杂交育种亲本资源。不同家系不同性状的特殊配合力(SCA)效应值差异显著,其中家系F6(JT4×YO2)、F32(BZ6×JT2)、F36(JT4×JT2)和F42(JT4×XH5)的苗高和地径特殊配合力相对较高,利用这4个组合进行杂交,可获得优良杂交子代。

遗传力是表型变异受遗传因素影响的比例,是杂交后代选择的一个重要指标<sup>[14]</sup>。魏永成等<sup>[15]</sup>对杜仲杂交子代进行遗传分析发现,2 a生时各性状均具有较高的广义遗传力,苗期选择具有较大的遗传潜力。杜克兵等<sup>[11]</sup>对黑杨派杨树杂交子代进行遗传分析发现,苗高和地径具有较高的广义遗传力,与本研究结果类似,说明在林木遗传改良中,通过苗期选择,可以使杂交子代获得显著的遗传增益。遗传力分析结果显示,四川桉木杂交子代的苗高和地径均具有较高的广义遗传力,其中苗高的遗传力在50%以上,表明亲本基因型对子代有很大的影响。林木表型性状间的相关系数反映了性状间的相关程

度,可为林木遗传育种方案和改良策略的制定提供理论参考<sup>[16]</sup>。四川桉木杂交子代苗高和地径呈显著正相关,可根据苗高和地径开展联合选择,以选育优良家系/无性系,提高育种效率。长期以来,育种工作者都将 F1 代的选择作为育种主体,利用多群体、多世代改良提高杂交育种的预见性和效率<sup>[17]</sup>。根据 NC II 交配设计获得的杂交子代一般配合力和特殊配合力较高,可以在大范围内进行选择,在以后的工作中,可进一步扩大群体,进行 F1 代的选择。

由于只是基于 1 a 生四川桉木杂交子代苗期表型性状的调查分析,考虑到早期性状的可靠性问题,因此,在四川桉木后续遗传改良研究中,应进一步结合分子标记和连续多年观测数据进行分析,为四川桉木杂种优势的研究与利用提供更加详细、可靠的依据。

#### 参考文献:

- [1] 杨志成. 优良阔叶树种—桉木的分布、生长和利用[J]. 林业科学研究,1991,4(6):643~648.
- [2] 王军辉,顾万春,李斌,等. 桉木优良种源/家系的选择研究—生长的适应性和遗传稳定性分析[J]. 林业科学,2000,36(3):59~66.
- [3] 周永丽,刘福云,万军,等. 四川桉木木材材性初步研究[J]. 四川林业科技,2003,24(1):75~78.
- [4] 陈益泰,李桂英,王惠雄. 桉木自然分布区内表型变异的研究[J]. 林业科学研究,1999,12(4):379~385.
- [5] 王军辉,顾万春,夏良放,等. 桉木种源(群体)/家系材性性状的遗传变异[J]. 林业科学研究,2001,14(4):362~368.
- [6] 卓仁英,孟现东,陈益泰. 桉木群体遗传分化研究 I. DNA 提取和 PCR 条件的建立[J]. 林业科学研究,2003,16(1):117~122.
- [7] 任保青,刘军. 中国桉木属植物的细胞学研究(I)[J]. 广西植物,2006,26(4):356~359.
- [8] 杨汉波,饶龙兵,郭洪英,等. 5 种桉木属植物的核型分析[J]. 植物遗传资源学报,2013,14(6):1203~1207.
- [9] 杜克兵,许林,沈宝仙,等. 黑杨派杨树杂交子代的遗传分析及苗期选择[J]. 华中农业大学学报,2009,28(5):624~630.
- [10] 王庆菊,李晓磊,王磊,等. 紫叶稠李叶片花色苷及其合成相关酶动态[J]. 林业科学,2008,44(3):45~49.
- [11] Chung Y C, Kai W Y. Differential expression of MYB gene (Og-MYB1) determines color patterning in floral tissue of *Oncidium Gower Ramsey* [J]. *Plant Mol Biol*,2008,66:379~388.
- [12] 周素华,李周岐,李煜. 杜仲优树自由授粉家系遗传变异及苗期初选[J]. 西北林学院学报,2010,25(1):57~60.
- [13] 何旭东. 桉树杂种优势及其分子标记辅助选择研究[D]. 南京:南京林业大学,2010.
- [14] 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.
- [15] 魏永成,李周岐,李煜. 杜仲杂交子代苗期表型性状的遗传分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(8):137~143.
- [16] 李守勇,赵永军,孙明高. 11 个黑杨无性系叶片性状变异研究[J]. 山东林业科技,2002,2:5~7.
- [17] 栾启福. 几种松树杂交选育及其遗传分析[D]. 北京:中国林业科学研究院,2010.