

白桦 5×5 完全双列杂交种苗性状的遗传效应分析

李开隆 姜 静 姜 莹 夏德安 杨传平 刘桂丰

(东北林业大学林木遗传育种黑龙江省重点实验室)

摘要:通过对白桦杂交子代种苗性状的分析,估算白桦亲本的遗传参数,为白桦第二代强化种子园的亲本选配提供理论依据.2003年在白桦强化种子园中以小北湖(BH)³个优树、帽儿山(M)²个优树作为杂交亲本,按5×5完全双列交配设计进行控制杂交,测定白桦25个杂交组合种子的千粒重、发芽率、发芽势及其苗高、地径等.结果表明,25个杂交组合的种子千粒重、发芽率、发芽势及其苗高、地径均存在着极显著的差异;千粒重、发芽率和发芽势的一般配合力、特殊配合力、反交效应差异也达到了极显著水平,苗高的一般配合力差异显著,而地径的一般配合力差异不显著,苗高和地径的特殊配合力及反交效应差异极显著;根据杂交子代一般配合力效应值和特殊配合力效应值,从25个杂交组合中初选M⁴×M¹、BH³×BH²、M⁴×BH³、BH²×BH¹、BH²×M¹组合为优良组合,M⁴和BH³为优良亲本.

关键词:白桦,完全双列杂交,一般配合力,特殊配合力

中图分类号:S722.3⁺4 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-1522(2006)04-0082-06

LI Kai-long; JIANG Jing; JIANG Ying; XIA De-an; YANG Chuan-ping; LIU Gui-feng. **Analysis of the genetic effects of seed and seedling traits of *Betula platyphylla* in a 5×5 complete diallel cross design.**

Journal of Beijing Forestry University (2006) **28**(4) 82-87 [Ch, 20 ref.] Key Laboratory for Genetic and Breeding in Forest Trees, Heilongjiang Province, Northeast Forestry University, Harbin, 150040, P. R. China.

Betula platyphylla is an important industrial wood species with fast growth, strong adaptability and good timber. The genetic parameters of its parents were estimated by analyzing F¹ descendant for seed and seedling traits in order to select optimum parents for the second generation seed orchards of birch. Five parents of birch from Xiaobeihu (BH) of Ning'an County as well as Maoershan of Shangzhi County of Heilongjiang Province were crossed by a 5 by 5 diallel cross design in 2003 and their hybrid seeds and seedlings were tested on thousand-grain weight, germination percentage, germination viability, seedling height, and ground diameter. The results indicated that there were significant differences at the probability of 0.01 level in the characteristics of seed and growth traits among crossing combinations, and also in the general combining ability (GCA), specific combining ability (SCA) and reciprocal effects (REC) of thousand-grain weight, germination percentage and germination viability of seed, SCA and REC of seedling height and ground diameter. Only at the 0.05 level of probability are there statistically significant differences in the GCA of seedling height, and the differences in GCA of the ground diameter of seedlings were not significant. M⁴×M¹, BH³×BH², M⁴×BH³, BH²×BH¹ and BH²×M¹ are superior cross combinations given the effects of GCA and SCA. Also M⁴ and BH³ are superior parents.

Key words *Betula platyphylla*, complete diallel cross, general combining ability (GCA), specific combining ability (SCA)

白桦(*Betula platyphylla* Suk.)生长速度快,适应性强,材质优良,是重要的工业用材树种之一,也是

伐区、火烧迹地天然更新的先锋树种^[1].但天然白桦林多为采伐后形成的次生林,未经过选育,单位面积

收稿日期:2005-05-30

http://journal.bjfu.edu.cn

基金项目:国家科技攻关项目(2004BA515B0501)、教育部科技基础条件平台项目(505002).

第一作者:李开隆,教授.主要研究方向:林木遗传育种.电话:0451-82190607 Email: likailong@126.com 地址:150040 哈尔滨市东北林业大学林木遗传育种黑龙江省重点实验室.

上的蓄积量较低,难以满足白桦用材需要,提高白桦林分生产力成为亟待解决的问题之一.因此,“八五”期间,白桦被列为国家科技攻关研究树种,开展了以胶合板和纸浆材为育种目标的白桦种源试验^[2]、优树选择、扦插^[3]、白桦的强化育种技术研究^[4]等方面的研究工作,为白桦杂交育种奠定了良好的基础.

本研究采用的双列杂交法最初是由 Schmidt (1919)提出的,并为 Griffing (1956)所完善^[5],目前该方法在各国仍然得到广泛的应用^[6-14].有关白桦杂交育种的研究在国内少见报道,本实验室曾对白桦 3 母本×5 父本杂交所得种子的翅宽、千粒重、发芽率、果穗质量等性状的配合力及遗传力进行了计算和分析^[15].在此基础上,通过对白桦 5×5 完全双列杂交子代的种苗性状的分析,估算白桦亲本的遗传参数,为白桦第二代强化种子园的亲本选配提供理论依据.

1 材料与方 法

1.1 供试材料

2003 年 5 月在东北林业大学白桦强化种子园中选择来自小北湖(BH)3 个优树、帽儿山(M)2 个优树作为杂交亲本,按完全双列交配设计(表 1)进行控制杂交,每个杂交组合套 2 个袋,每个袋中 7~15 个雌花序,采用喷粉器每天上午授粉 1 次,连续重复 6 d;7 月上旬果穗成熟,25 个杂交组合共收获 305 个果穗.

表 1 白桦 5×5 完全双列杂交设计及各杂交组合获得的平均每个果穗鲜重

TABLE 1 Design of 5×5 complete diallel cross in *B. platyphylla* and its ear fresh weight

♀	♂				
	BH1	BH2	BH3	M1	M4
BH1	0.732 53	0.663 21	0.982 43	0.852 94	0.748 82
BH2	0.983 19	1.021 68	0.825 25	0.880 89	0.982 38
BH3	1.105 54	1.002 34	1.212 44	0.982 5	1.035 46
M1	0.831 1	0.972 74	0.723 53	0.712 9	0.796 8
M4	1.281 69	1.119 01	1.082 83	1.348 58	1.016 32

1.2 种子性状的测定

每个杂交组合随机抽取 600 粒种子,分为 3 等份,分别测定种子千粒重、发芽率和发芽势^[15].

1.3 苗木生长调查

2003 年 8 月,在东北林业大学塑料大棚内进行营养杯播种育苗,试验采用完全随机区组设计,25 个杂交组合,每个小区 200 杯,重复 3 次;定期浇灌营养液.白桦杂交子代苗在塑料棚内正常休眠越冬,第二年春移至棚外露天培养.

2004 年秋,当苗木停止生长后调查白桦杂交子

代的苗高和地径.

1.4 统计分析方法

种子性状和苗木生长性状采用 DPS 统计软件进行方差分析(发芽率和发芽势等百分数的数据需经反正弦转换后再进行方差分析)和对完全双列交配设计进行方差分析,对效应值、一般配合力、特殊配合力及遗传力进行估算^[16-17].

2 结果与分析

2.1 杂交组合间种苗性状的差异显著性

白桦种内双列杂交子代种苗性状测定的平均值为:千粒重、发芽率、发芽势、苗高、地径.对它们进行方差分析(表 2)看出,白桦种内杂交子代的千粒重、发芽率、发芽势、苗高、地径在不同杂交组合间的差异均达到 0.01 的极显著水平,重复区组间差异不显著.因此,各组合存在着显著的遗传差异,进行亲本间的选择是有效的.

表 2 白桦种苗各性状方差分析

TABLE 2 Variance analysis of the traits of seeds and seedlings of *B. platyphylla*

性状	自由度 <i>df</i>	F 值	P
苗高	24	4.451**	0.000 1
地径	24	3.988**	0.000 1
千粒重	24	38.219**	0.000 1
发芽率	24	49.765**	0.000 1
发芽势	24	44.532**	0.000 1

注:**在 0.01 水平上差异极显著,下同.

分别对白桦杂交子代的不同性状各组合进行多重比较,结果表明,在发芽率、发芽势性状上表现最优的组合是 M4×BH3,发芽率、发芽势的平均值分别为 88.78%和 85.44%(表 3),分别高于最差组合的 42.08 倍和 40.49 倍,5 个自交组合的发芽率和发芽势都最低,平均值仅为 7.62%和 7.55%.

千粒重表现最优的组合为 M4×M1 和 M4×BH3,它们的千粒重分别为 533.33 和 500.00 mg(表 4),分别高于最差组合的 4.00 倍和 3.75 倍.在该性状上自交组合也是最差,5 个组合平均千粒重仅为 217.776 mg.

由上看出,白桦自交不仅种子千粒重明显小于其他杂交组合,而且种子活力(发芽率、发芽势)也明显低于其他杂交组合.据此认为,雌雄同株异花序的白桦自交可使种子育性降低.

在苗高、地径的生长性状上,25 个杂交组合间差异显著.苗高生长方面最优的组合是 M4×M1,平均高度为 80.32 cm,高于其他组合平均值的 36.29%;地径最优的组合是 BH3×BH2,平均值为 0.717 cm,高于其他组合平均值的 36.25%(表 4).5 个自交组合子代在苗高、地径性状上不是最差,在苗

高生长上 M4 的自交子代列第二,但其与很多杂交组合子代高生长差异不显著;在地径生长上自交子代处于中下水平;鉴于自交组合的种子产量低、活力

差等特点,白桦自交子代不能够大量应用于生产,仅能用于遗传育种研究.

表 3 白桦各组合发芽率和发芽势差异显著性比较

TABLE 3 Comparing the differences of germinating rates and germinating viability among 25 cross combinations of *B. platyphylla*

组合	发芽率均值/%	0.05 水平			组合	发芽势均值/%	0.05 水平		
M4×BH3	88.78	a			M4×BH3	85.44	a		
BH1×BH3	87.33	a			BH1×BH3	81.89	a b		
BH2×BH3	83.56	a b			BH2×BH3	81.11	a b		
BH2×M4	79.44	a b c			BH2×M4	78.33	a b		
M1×BH1	77.22	a b c d			M1×BH1	75.22	a b c		
BH1×M4	74.22	a b c d e			BH1×M4	69.78	a b c d		
BH1×M1	70.67	a b c d e			BH3×BH2	68.67	a b c d e		
BH1×BH2	70.33	a b c d e			BH2×BH1	67.89	a b c d e		
BH3×BH2	69.78	a b c d e			BH1×BH2	65.78	a b c d e		
BH2×BH1	69.00	a b c d e			BH1×M1	65.11	a b c d e		
BH3×M4	63.33	b c d e			BH3×M4	62.67	b c d e		
M4×M1	62.67	c d e			M4×M1	61.00	b c d e		
M1×M4	58.89	c d e			M1×M4	56.67	c d e		
BH2×M1	57.33	d e f			BH2×M1	54.56	c d e f		
M1×BH3	55.56	e f g			M4×BH1	52.67	d e f		
BH3×BH1	54.67	e f g			BH3×M1	50.22	d e f		
M4×BH1	54.22	e f g			M1×BH3	50.00	d e f		
BH3×M1	53.56	e f g			BH3×BH1	48.67	e f		
M1×BH2	38.11	f g h			M1×BH2	33.89	f g		
M4×BH2	35.67	g h			M4×BH2	23.89	f g		
BH2×BH2	19.33	h i			BH2×BH2	19.22	g h		
BH1×BH1	9.89	i			BH1×BH1	9.89	h		
M4×M4	3.67	i			M4×M4	3.44	h		
M1×M1	3.11	i			M1×M1	3.11	h		
BH3×BH3	2.11	i			BH3×BH3	2.11	h		

注:有相同字母的组合差异不显著,无相同字母的组合差异显著(表 4、6 同).

表 4 白桦各组合千粒重、苗高和地径的差异显著性比较

TABLE 4 Comparing the differences in thousand grain weight, seedling height and seedling diameter at ground among the combinations of *B. platyphylla*

组合	千粒重/mg	0.05 水平			组合	苗高/cm	0.05 水平			组合	地径/cm	0.05 水平		
M4×M1	533.33	a			M4×M1	80.3	a			BH3×BH2	0.72	a		
M4×BH3	500.00	a b			M4×M4	79.4	a b			M4×M1	0.68	a b		
BH2×BH1	422.22	b c			BH3×M1	67.8	a b c			M4×BH2	0.62	a b c		
BH2×M4	422.22	b c			BH2×BH1	66.9	a b c			M1×BH2	0.60	a b c		
BH1×BH3	411.11	c d			M4×BH1	66.8	a b c			M1×BH1	0.60	a b c		
BH2×BH3	400.00	c d e			BH1×BH1	65.9	a b c			BH3×BH1	0.59	a b c		
BH3×BH2	377.78	c d e			BH2×M4	65.5	a b c			M1×BH3	0.58	a b c		
M4×BH1	377.78	c d e			M4×BH3	63.6	a b c			BH1×BH1	0.57	a b c		
BH3×M4	366.67	c d e			M4×BH2	63.4	a b c			BH2×M1	0.56	a b c		
BH3×M1	366.67	c d e			M1×BH1	62.8	a b c			BH1×M4	0.56	a b c		
BH2×M1	366.67	c d e			M1×BH3	61.8	a b c d			M4×BH1	0.56	a b c		
BH3×BH1	355.56	c d e			BH2×M1	61.4	a b c d			M4×M4	0.55	a b c		
BH1×M1	344.44	c d e f			BH2×BH3	61.2	a b c d			BH2×M4	0.54	a b c d		
M4×BH2	344.44	c d e f			BH3×BH1	60.4	a b c d			M1×M4	0.54	a b c d		
BH1×M4	333.33	d e f g			BH1×BH3	59.5	a b c d			BH2×BH1	0.54	a b c d		
BH1×BH2	322.22	e f g h			BH2×BH2	58.0	a b c d			M4×BH3	0.54	a b c d		
M1×BH1	266.67	f g h i			BH1×M1	56.1	a b c d			BH1×BH3	0.50	a b c d		
M1×M4	266.67	f g h i			BH3×BH3	54.7	b c d			BH3×BH3	0.48	b c d		
BH2×BH2	255.56	g h i			M1×BH2	54.3	b c d			M1×M1	0.47	b c d		
BH3×BH3	244.44	h i			BH3×BH2	53.9	c d			BH3×M4	0.46	c d		
M1×BH3	233.33	i			M1×M4	52.8	c d			BH1×M1	0.45	c d		
M4×M4	233.33	i			M1×M1	51.0	c d			BH2×BH3	0.45	c d		
BH1×BH1	222.22	i			BH3×M4	46.6	c d			BH2×BH2	0.44	c d		
M1×BH2	211.11	i j			BH1×M4	44.1	c d			BH3×M1	0.44	c d		
M1×M1	133.33	j			BH1×BH2	36.8	d			BH1×BH2	0.33	d		

2.2 一般配合力、特殊配合力、反交效应分析

在千粒重、发芽率、发芽势、苗高和地径各性状差异显著的基础上,根据固定模型对各性状进行配合力方差分析(表 5)。结果表明,千粒重、发芽率和发芽势的一般配合力、特殊配合力和反交效应差异均达到了极显著水平;苗高的一般配合力差异显著,而地径的一般配合力差异不显著;苗高和地径的特殊配合力及反交效应差异极显著。

表 5 白桦 5×5 双列杂交配合力及反交效应值的方差分析(F 值)

TABLE 5 Variance analysis of genetic effects of combining ability and specific reciprocal cross in 5×5 complete diallel cross (F) of *B. platyphylla*

变异来源	千粒重	发芽势	发芽率	苗高	地径
一般配合力	36.49**	8.42**	9.53**	3.10*	1.35
特殊配合力	42.89**	88.57**	99.80**	3.17**	3.31**
反交效应	34.24**	14.94**	15.83**	6.27**	5.72**

注: * 在 0.05 水平上差异显著,下同。

一般配合力效应值的大小表明亲本的影响程度,这是亲本选择的依据之一。在白桦 5×5 完全双列杂交中,对差异显著的苗高、千粒重、发芽率、发芽势进行各亲本一般配合力效应多重比较(表 6)。结果表明,不同性状,各亲本一般配合力表现不同。苗高的一般配合力效应, M4 和 M1 为正值,它们的子代表现优于群体平均值, M4 与其他 4 个亲本差异显著;千粒重, M4、BH3、BH2 效应值为正,其中 M4 和 BH3 与其他 3 个亲本差异达到显著水平;亲本 BH1、BH3、BH2 的发芽率、发芽势效应值为正,其中 BH1、BH3 与其他 3 个亲本差异达到显著水平。综合分析以上结果,亲本 M4 对种子质量和苗木生长影响较大,子代苗高一般配合力效应值为 4.388 33,是其他一般配合力正效应值亲本的 34.6 倍, M4 的千粒重一般配合力效应值为 0.008 6,是其他一般配合力正效应值亲本的 1.6~5.4 倍,但在发芽率和发芽势上为负值;BH1 与 M4 正好相反,苗高和千粒重为负值,发芽率和发芽势为正值;亲本 BH3、BH2 在千粒重、发芽率和发芽势方面其一般配合力效应均为正值,但 BH2 苗高的一般配合力最低;M1 仅在苗高上一一般配合力为正值,其他 3 个指标为负值。因此, M4 和 BH3 为优良亲本。

特殊配合力是某特定组合的表现与双亲平均表现的离差,特殊配合力效应值为正,表明该组合的表现优于双亲的平均表现,反之则劣于双亲的平均表现。由表 7 可见,从种子千粒重、发芽率、发芽势等种子品质性状的特殊配合力效应值大小分析,优良杂交组合为 BH1×M1(M1×BH1)、M4×BH3(BH3×M4)、BH2×BH3(BH3×BH2)、M4×M1(M1×M4)、BH2×BH1(BH1×BH2);从苗高性状的特殊配合力

效应值分析,优良杂交组合为 BH3×M1(M1×BH3)、BH3×BH1(BH1×BH3)、M4×M1(M1×M4)和 M4×BH2(BH2×M4)。

表 6 白桦亲本的一般配合力差异显著性比较

TABLE 6 Comparison of the differences in general combining ability of parents of *B. platyphylla*

性状	亲本	一般配合力效应值	0.05 显著水平		
苗高	M4	4.388 33	a		
	M1	0.126 67		b	
	BH1	-1.301 67		b	
	BH3	-1.368 33		b	
	BH2	-1.845 00		b	
	千粒重	M4	0.008 6	a	
		BH3	0.005 3	a	b
		BH2	0.001 6		b c
BH1		-0.001 4		c	
	M1	-0.014 1		d	
	发芽率	BH1	4.046 67	a	
		BH3	2.380 00	a	b
		BH2	0.491 11		b c
M4		-1.242 22		c	
	M1	-5.675 56		d	
	发芽势	BH1	3.362 22	a	
		BH3	1.973 33	a	b
		BH2	1.106 67	a	b
M4		-0.582 22		b	
	M1	-5.860 00		c	

反交效应是选择优良组合的正交组合还是反交组合的重要参考依据,反交效应既有正向效应,又有负向效应。具有正向效应的杂交组合,在正交的情况下,其亲本的一般配合力提高了后代在相应性状上的表现,要选择正交组合;具有负向效应的杂交组合,其亲本在正交情况下会降低后代的相应性状的表现,要选择反交组合。在种子品质性状上,根据选出的 5 组杂交组合的反交效应值的正向及负向效应,确认优良杂交组合为 M1×BH1、M4×BH3、BH2×BH3、M4×M1、BH1×BH2;从苗高性状上,根据选出的 3 组杂交组合的反交效应值的正向及负向效应,确认优良杂交组合为 BH3×M1、BH3×BH1、M4×M1 和 BH2×M4。

综合分析 25 个组合在苗高、千粒重、发芽率和发芽势性状上的特殊配合力,组合 BH3×M1 除在苗高性状上特殊配合力为正,表现较优,其他性状均为负,表现不良而被淘汰。组合 M1×BH1 也与其相同,虽然发芽率、发芽势表现较优,但是苗高、千粒重表现不良而被淘汰。所以,确定最佳杂交组合为 M4×M1、BH3×BH2、M4×BH3、BH2×BH1、BH2×M1。另外在表 7 中,白桦的自交组合的 SCA 效应值都是负值,其表现均劣于双亲的平均表现,也证明了白桦自交呈衰退现象。

表7 白桦各组合的特殊配合力及反交效应值
TABLE 7 Values of SCA and REC for different combinations of *B. platyphylla*

组合	千粒重		发芽率		发芽势		苗高	
	SCA	REC	SCA	REC	SCA	REC	SCA	REC
1 M4×BH1	-0.000 3	0.006 7	7.720 0	-10.000 0	7.126 7	-8.555 6	-7.465 0	11.358 3
2 BH1×M4								
3 M4×BH2	0.005 1	-0.011 7	4.608 9	-21.888 9	4.271 1	-22.222 2	2.128 3	-1.025 0
4 BH2×M4								
5 BH1×BH2	0.011 7	-0.015 0	11.431 1	0.666 7	11.048 9	-1.055 6	-4.790 0	-15.033 3
6 BH2×BH1								
7 M4×M1	0.025 7	0.040 0	13.997 8	1.888 9	13.960 0	2.166 7	2.231 7	13.783 3
8 M1×M4								
9 BH1×M1	0.007 4	0.011 7	21.875 6	-3.277 8	21.348 9	-5.055 6	0.821 7	-3.350 0
10 M1×BH1								
11 BH2×M1	-0.000 6	0.023 3	-0.791 1	9.611 1	-1.506 7	9.500 0	-0.201 7	3.550 0
12 M1×BH2								
13 M4×BH3	0.016 4	0.020 0	21.220 0	12.722 2	21.348 9	11.388 9	-7.681 7	8.508 3
14 BH3×M4								
15 BH1×BH3	0.011 4	0.008 3	10.875 6	16.333 3	8.626 7	16.611 1	2.800 0	-0.433 3
16 BH3×BH1								
17 BH2×BH3	0.010 1	0.003 3	20.097 8	6.888 9	20.493 3	6.222 2	0.976 7	-3.633 3
18 BH3×BH2								
19 M1×BH3	-0.000 9	-0.020 0	4.153 3	1.000 0	2.682 2	-0.111 1	6.221 7	-3.016 7
20 BH3×M1								
21 M1×M1	-9.073 3		-0.075 7		-0.105 3		-39.235 6	
22 M4×M4	-1.866 8		-0.035 3		-0.156 4		-47.546 7	
23 BH1×BH1	-8.033 4		-0.048 4		-0.100 9		-51.902 2	
24 BH2×BH2	-1.886 7		-0.074 3		-0.087 6		-35.346 7	
25 BH3×BH3	-2.317 7		-0.034 7		-0.133 1		-56.346 8	

注:在1~20组合中,奇数组组合为正交组合,偶数组组合为反交组合。

3 讨 论

一般配合力主要是由基因的加性效应所致,而特殊配合力是基于杂交组合的显性、超显性和上位偏差所致^[5]。因此,利用一般配合力高的亲本杂交可望获得好的杂交效果,而特殊配合力高则是选取优良杂交组合的依据之一。根据白桦5×5完全双列杂交的生长性状、种子性状的配合力分析结果,M4亲本的苗高和千粒重的一般配合力高,BH3的千粒重、发芽率和发芽势的一般配合力高,M4和BH3为优良亲本。根据特殊配合力确定苗高最优组合为M4×M1;发芽率、发芽势最优的组合为M4×BH3。性状不同,白桦亲本的一般配合力表现有较大差异,这与杉木(*Cunninghamia lanceolata*)^[7]、桉树(*Eucalyptus globulus*)^[8]、油松(*Pinus tabulaeformis*)^[18]等树种配合力的表现相一致。

在白桦25个杂交组合中,自交的种子不仅千粒重明显小于其他杂交组合,而且种子活力(发芽率、发芽势)也明显低于其他杂交组合,特殊配合力均为负值。据此认为,雌雄同株异花序的白桦自交可使种子育性降低。大多数木本植物都有此现象,例如贾桂

霞等^[19]在落叶松(*Larix*)交配研究中发现,自交是产生空粒种子的主要原因;杏树(*Prunus armeniaca*)也表现出明显的自交不亲和性^[20]。

参 考 文 献

- [1] 关文彬. 中国东北地区白桦林植被生态学的研究——桦属植物与中国白桦林的地理分布[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(4): 104-109.
GUAN W B. Vegetation ecology on communities dominated by *Betula platyphylla* in northeast of China—distribution of communities dominated by *Betula platyphylla* [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 1998, 20(4): 104-109.
- [2] 朱翔, 刘桂丰, 杨传平, 等. 白桦种源区划及优良种源的初步选择[J]. 东北林业大学学报, 2001, 29(1): 11-14.
ZHU X, LIU G F, YANG C P, et al. Provenance division and optimal provenance selection of *Betula platyphylla* [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2001, 29(1): 11-14.
- [3] 詹亚光, 李景云, 刘吉春, 等. 白桦嫩枝扦插繁殖技术的研究[J]. 东北林业大学学报, 1994, 22(2): 6-10.
ZHAN Y G, LI J Y, LIU J C, et al. Study on green wood cutting propagation techniques of *Betula platyphylla* [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 1994, 22(2): 6-10.
- [4] 杨传平, 刘桂丰, 魏志刚, 等. 白桦强化促进提早开花结实技术的研究[J]. 林业科学, 2004, 40(6): 75-78.

- YANG C P, LIU G F, WEI Z G, *et al.* Study on intensive breeding technique of accelerating *Betula platyphylla* flowering and seeding early [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2004, 40(6): 75-78.
- [5] 盛志廉, 陈瑶生. 数量遗传学 [M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- SHENG Z L, CHEN Y S. *Quantitative genetics* [M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [6] TOPAL A, AYDIN C, AKFÜN N, *et al.* Diallel cross analysis in durum wheat (*Triticum durum* Desf.); Identification of best parents for some kernel physical features [J]. *Field Crops Research*, 2004, 87: 1-12.
- [7] 李力, 施季森, 陈孝丑, 等. 杉木两水平双列杂交亲本配合力分析 [J]. 南京林业大学学报, 2000, 24(5): 8-13.
- LI L, SHI J S, CHEN X C, *et al.* Combining ability analyses of parents in two-level diallel cross experiment of Chinese fir [J]. *Journal of Nanjing Forestry University*, 2000, 24(5): 8-13.
- [8] 李淡清, 刘永平, 曾德闲, 等. 蓝桉 6×6 全双列交配生长性状的遗传效应分析 [J]. 遗传学报, 2002, 29(9): 835-840.
- LI D Q, LIU Y P, ZENG D X, *et al.* Analysis of genetic effects for growth traits of *Eucalyptus globulus* Labill. in a 6×6 diallel design [J]. *Acta Genetica Sinica*, 2002, 29(9): 835-840.
- [9] HOHLS T, SHANAHAN P E, CLARKE G P, *et al.* Genotype × environment interactions in a 10×10 diallel cross of quality protein maize [J]. *Formerly Kluwer Academic*, 1995, 84(3): 209-218.
- [10] HILL J, WAGOIRE W W, ORTIZ R, *et al.* Analysis of a combined F1/F2 diallel cross in wheat [J]. *Pringer-Verlag GmbH*, 2001, 102(6-7): 1 076-1 081.
- [11] NDOUMBE M, BIEYSSE D, CILAS C. Multi-trait selection in a diallel crossing scheme of cocoa [J]. *Plant Breeding*, 2001, 120: 365-367.
- [12] PACE S, PISCIONERI I, SETTANNI I. Heterosis and combining ability in a half diallel cross of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) in south Italy [J]. *Industrial Crops and Products*, 1998, 7: 317-327.
- [13] VERMA O P, SRIVASTAVA H K. Genetic component and combining ability analyses in relation to heterosis for yield and associated traits using three diverse rice-growing ecosystems [J]. *Field Crops Research*, 2004, 88: 91-102.
- [14] ALIKA J E, OJOMO J O. Combining ability and reciprocal effects for physico-chemical grain quality characteristics in maize [J]. *Food Chemistry*, 1996, 57(3): 371-375.
- [15] 王超, 夏德安, 杨传平, 等. 白桦杂交种子与杂交亲本的关系 [J]. 东北林业大学学报, 2004, 32(2): 1-4.
- WANG C, XIA D A, YANG C P, *et al.* The relation between hybrid and parents of *Betula platyphylla* [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2004, 32(2): 1-4.
- [16] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统 [M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- TANG Q Y, FENG M G. *DPS data processing system for practical statistics* [M]. Beijing: Science Press, 2002.
- [17] GHOSH H, DAS A. Optimal diallel cross designs for estimation of heritability [J]. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 2003, 116: 185-196.
- [18] 郭俊荣, 杨培华, 谢斌. 油松双列杂交实验配合力分析 [J]. 西北林学院学报, 1997, 12(4): 13-18.
- GUO J R, YANG P H, XIE B, *et al.* Combining ability analysis on the main characters of *Pinus tabulaeformis* [J]. *Journal of Northwest Forestry College*, 1997, 12(4): 13-18.
- [19] 贾桂霞, 杨俊明, 沈熙环. 落叶松种间交配结实力变异和自交衰退的研究 [J]. 林业科学, 2003, 39(1): 62-68.
- JIA G X, YANG J M, SHEN X H. Variation in fruiting ability of interspecific crossing and mechanism of self-depression in *Larix* [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2003, 39(1): 62-68.
- [20] 齐洁, 顾曼如, 束怀瑞. 杏自交不亲和相关 S-RNase 基因的克隆及表达 [J]. 农业生物技术学报, 2003, 11(1): 148-153.
- QI J, GU M R, SHU H R. Cloning and expression of self-incompatibility related S-RNase gene in apricot [J]. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 2003, 11(1): 148-153.

(责任编辑 董晓燕)