

文章编号: 1001-1498(2008)03-0314-06

国外松种间杂交育种及其 F₁ 代早期生长评价

栾启福¹, 姜景民^{1*}, 张建忠², 沈凤强², 刘昭息¹

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2 浙江省杭州市余杭区长乐林场, 浙江 杭州 311123)

摘要:采用人工控制授粉的方式,开展了湿地松 × 洪都拉斯加勒比松(湿加松)、火炬松 × 洪都拉斯加勒比松(火加松)的种间杂交育种工作。杂交种育苗和子代测定均采用随机区组设计,并追踪调查了苗高和定植后的树高。结果显示:苗期湿加松和火加松各个组合间的树高差异显著,而定植前 2 a 由于处于生长初期,部分生长较快的幼树遭受冻害,各组合间树高差异没有达到显著水平;定植第 3、4 年火加松各组合间高生长差异极显著,而湿加松各组合间的差异也相对加大,但是没有达到差异显著水平。这表明杂种子代生长评价测定至少应该在定植 4 ~ 5 a 之后,其中湿加松的子代测定评价时间应该比火加松的评价时间更晚。一大批表现较优的火加松组合 5 年生(包括 1 a 苗期)平均高度达 4.0 m 以上,该平均值超过国家速生丰产林林业部标准(H = 4.0 m),国外松杂交育种能够高效选择出优良的松树品种。

关键词:火炬松;湿地松;洪都拉斯加勒比松;杂交育种;F₁代

中图分类号: S722.3

文献标识码: A

Study on Hybridization among Exotic Pines and Their Early Growth Assessment of F₁ Generation

LUAN Qi-fu¹, JIANG Jing-min¹, ZHANG Jian-zhong², SHEN Feng-qiang², LIU Zhao-xi¹

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 311400, Zhejiang, China;

2. Changle Forestry Centre of Yuhang, Zhejiang Province, Hangzhou 311123, Zhejiang, China)

Abstract: The breeding and hybridization among exotic pines were studied in this paper. 8 F₁-hybrids of *Pinus elliottii* var. *elliottii* (PEE) × *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PCH) and 47 F₁-hybrids of *Pinus taeda* (PT) × *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (PCH), which were selected from 17 crosses of PEE × PCH and 75 crosses of PT × PCH according to the height order of seedling, were grown for filial generation test with a randomly block design. All trees in the test were measured for height at the age of 3 and 5. The results of variance analysis (ANOVA) revealed that no differences existed among the hybrids on the average height at the age of 3 because of the lower cold-endurance of some young trees, but significant differences appeared at the age of 5 among the crosses, especially the growth differences of PT × PCH crosses were extremely significant. Thus the assessment of F₁ hybrids would begin 4 years after planted in fields. The height of better F₁ families of PT × PCH were higher than 4.0 meters, which exceeds the national standard of good conifer trees. In conclusion, better pine varieties can be selected effectively through hybridization in exotic pines.

Key words: *Pinus taeda*; *Pinus elliottii* var. *elliottii*; *Pinus caribaea* var. *hondurensis*; hybridization; F₁ generation

收稿日期: 2006-04-25

基金项目: 国家林业局“948 引进项目(2004-4-16)”;国家“十一五”科技支撑项目(2006BAD01A1405);浙江省“松杉良种选育”项目(基础支撑项目)

作者简介: 栾启福(1976—),男,湖北襄樊人,在职博士生,助理研究员,主要从事林木种质资源收集及遗传育种工作。

*通讯作者: 姜景民(1963—),男,河南长葛人,博士,研究员,主要从事林木种质资源收集和应用方面的研究。E-mail: jnjiang6001@

126.com.

国外松 (Exotic pines)通常是指我国 20 世纪 30 年代开始从美国等地引进的湿地松 (*Pinus elliottii* Engelm.)、火炬松 (*Pinus taeda* L.) 等国外针叶树种。60 年代以后,我国南方地区又从古巴、巴哈马等地引进了一个热带针叶树种加勒比松 (*Pinus caribaea* Morelet)。这些引进的松树品种由于适应性以及材性等具有较大的优势^[1-4],很快在我国南方的热带和亚热带地区造林中占据了举足轻重的地位,其育种工作也随即展开,但是直到 20 世纪 90 年代我国林木育种工作者才认识到以加勒比松为主要亲本的杂种优势,尤其是湿地松和加勒比松的种间杂种 (湿加松)具有明显的杂种优势^[5-7],因此从澳大利亚引进了部分湿加松在广东和福建等亚热带地区进行了测定并开展了湿加松杂交育种工作,取得了较好的效果^[2-3]。然而,在浙江及其附近的中亚热带及其北部地区加勒比松和部分国外引种的湿加松杂种在该地区易遭受冻害,没有得到推广,目前只建立了遗传资源较丰富、遗传品质较高的湿地松和火炬松种子园,推广种植了改良的自由授粉子代家系,遗传增益明显。要进一步提高该地区国外松的育种水平,国外松育种工作必须以当地引种成功的国外松优良树种为基础,借鉴国外遗传改良经验,特别是杂交育种经验来进行。本项目组从 20 世纪 90

年代后期开始,在浙江省杭州市余杭区长乐林场等地开展了大量的以湿地松 (PEE)和火炬松 (PT)为母本,以加勒比松 (从广东收集的加勒比松花粉,主要是洪都拉斯加勒比松 (*Pinus caribaea* var *hondurensis*, PCH)为父本的国外松杂交试验,以期选育出在浙江及其周边亚热带地区生长良好、优势明显的国外松杂交组合,以满足种苗生产、造林绿化的需要。

1 材料与方法

1.1 材料来源

湿地松和火炬松母本均选自浙江省杭州市余杭区长乐林场国外松种子园中优良单株,其中湿地松为初级种子园植株;火炬松为 1.5 代种子园植株;加勒比松花粉采自广东湛江加勒比松种子园 (多为洪都拉斯加勒比松单株)。本试验杂交并育苗成功的湿地松和加勒比松种间杂交后代 (*P. elliottii* var *elliottii* (PEE) × *P. caribaea* var *hondurensis* (PCH), 简称湿加松)共有 17 个,编号为 EC1 ~ EC17;杂交并育苗成功火炬松和加勒比松种间杂交后代 (*P. taeda* (PT) × *P. caribaea* var *hondurensis* (PCH), 简称火加松)75 个,编号为 LC1 ~ LC75 (表 1)。

表 1 杂交组合及其亲本

编号	母本	父本	编号	母本	父本	编号	母本	父本	编号	母本	父本
EC1	0-21	2-e	LC6	12-051	2-b	LC30	31-171	3-a	LC54	32-041	3-b
EC2	0-374	2-c	LC7	12-062	2-c	LC31	31-172	3-b	LC55	32-092	2-f
EC3	0-459	2-c	LC8	12-071	2-a	LC32	31-172	2-b	LC56	32-092	3-a
EC4	10-1	2-f	LC9	13-101	3-c	LC33	31-172	3-a	LC57	32-152	2-b
EC5	2-1	2-f	LC10	31-031	2-a	LC34	31-172	2-a	LC58	32-161	3-c
EC6	2-18	3-a	LC11	31-041	2-b	LC35	31-181	3-b	LC59	32-161	2-c
EC7	2-25	3-b	LC12	31-041	2-f	LC36	31-191	3-a	LC60	32-161	2-f
EC8	2-50	2-b	LC13	31-041	2-a	LC37	31-191	2-c	LC61	32-181	2-b
EC9	2-77	2-b	LC14	31-041	3-b	LC38	31-121	3-b	LC62	32-192	3-a
EC10	2-9	3-c	LC15	31-041	2-c	LC39	31-221	3-c	LC63	32-212	2-c
EC11	2-33	2-f	LC16	31-041	2-e	LC40	31-253	3-a	LC64	32-212	3-b
EC12	4-24	2-b	LC17	31-041	2-d	LC41	31-253	2-a	LC65	42-161	2-b
EC13	6-8	2-e	LC18	31-041	3-a	LC42	31-281	2-c	LC66	86-47	3-a
EC14	8-16	2-a	LC19	31-041	3-c	LC43	31-283	3-b	LC67	86-50	2-a
EC15	8-2	3-c	LC20	31-062	2-a	LC44	31-311	2-c	LC68	86-66	2-c
EC16	8-6	3-a	LC21	31-062	3-b	LC45	31-311	2-b	LC69	86-66	2-b
EC17	8-9	3-b	LC22	31-062	2-b	LC46	31-311	3-b	LC70	86-66	3-a
CKE	湿地松种子园种子		LC23	31-062	2-c	LC47	31-311	2-e	LC71	87-3	2-b
			LC24	31-063	3-c	LC48	31-311	2-a	LC72	87-36	3-b
LC1	11-021	3-a	LC25	31-064	2-b	LC49	32-031	3-a	LC73	87-39	3-a
LC2	12-023	3-b	LC26	31-121	2-f	LC50	32-031	2-b	LC74	87-47	3-b
LC3	12-023	2-a	LC27	31-121	2-a	LC51	32-031	2-c	LC75	湘 2	2-b
LC4	12-023	2-b	LC28	31-121	3-a	LC52	32-031	2-e	CKL	火炬松种子园种子	
LC5	12-023	2-c	LC29	31-151	2-e	LC53	32-031	2-a			

注:母本和父本编号为种子园基本编号,代表该株母树在种子园中的相对位置。CKE,湿加松对照,为湿地松种子园自由授粉家系;CKL,火加松对照,为火炬松种子园自由授粉家系。

1.2 杂交方法

1999年 1 - 2月份分单株收集广东加勒比松成熟的花粉,晾干后置于干净的玻璃瓶中,在实验室 4 冷藏柜干燥保存。当本地湿地松和火炬松母树 5 - 6 月开始开花时(雄花尚未散粉)用医用喉头喷雾器将加勒比松花粉喷洒在母树的雌球花上,套上硫酸纸,用回形针扎紧,防止花粉污染。1~3 d后母树雌球花进一步绽开,解开硫酸纸再次授粉,一般重复进行 2~3 次,在授粉过程中母树授粉时雌球花将完全绽开,人工控制授粉工作结束。授粉过程中每株母树只授一个单株采集的加勒比松花粉,有多株母树无性系则授予不同的父本花粉(表 1)。每次授粉之间的间隔可根据雌球花的开花速度选取 1~3 d,待母树林中所有的雄花花粉散尽取下纸袋,促进杂交后的果实座果、成熟。2000年 10 - 11月成熟的球果分单株采集处理,每个单株的种子作为一个杂交组合。

1.3 育苗和田间试验设计

试验设在浙江省杭州市余杭区长乐林场黄湖林区,地理位置为 30°27' N, 119°48' E,平均海拔 18 m,年均气温 16.3℃,1月平均气温 0℃,7月平均气温 32℃,极端最低气温为 -10.8℃,年降水量 1313 mm。杂交种子统一于 2001年春季育苗,育苗地为普通生产性直播苗圃,采取 4 个重复的随机区组试验设计,年底通过苗期评比,选择表现较好的组合于 2002年春季分 3 组进行子代测定,3 个组之间根据地势随机排列,各组内部采取单行 6 株小区、6 个重复的随机区组设计,株行距为 2 m × 3 m。

1.4 试验统计方法

试验统计的数据来自 2001年 11月测量的苗高(每个组合每个重复随机选择 10 株测量),2003年 12月测量的树高以及 2005年 12月测量的树高(树高测量包括所有参加测试的成活单株),统计方法主要是单因素随机区组设计的方差分析及比较。

所有数据整理以后采用 DPS 数据处理系统^[8]进行计算和统计分析。

2 结果与分析

2.1 苗期调查和选择

湿加松、火加松苗高方差分析见表 2、3。由表中可以看出:不管是湿加松还是火加松,不同杂交组合间的差异都达到极显著水平,表明杂交育种是创造变异的一种可靠手段。从苗期来看,在人力物力有限的情况下,选择优良的杂交组合进行子代测定对于杂交亲本的选择和杂交优势的评估利用是非常必要的。

表 2 湿加松苗高方差分析

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值
区组间	88.95	3	29.65	1.71	0.18
组合间	1433.73	17	84.34	4.87	0.00
误差	882.97	51	17.31		
总变异	2405.65	71			

表 3 火加松苗高方差分析

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值
区组间	323.52	3	107.84	4.22	0.01
组合间	3302.54	74	44.63	1.75	0.00
误差	5677.22	222	25.57		
总变异	9303.28	299			

表 4 湿加松和火加松平均苗高以及参加子代测定的组合选择

湿加松	平均苗高/cm	火加松	平均苗高/cm	火加松	平均苗高/cm	火加松	平均苗高/cm
EC12	39.33	LC57	37.70	LC34	28.53	LC48	25.93
EC9	28.43	LC46	33.00	LC65	28.03	LC58	25.90
EC8	25.54	LC32	32.70	LC61	27.98	LC29	25.88
EC7	24.53	LC12	31.98	LC50	27.97	LC8	25.88
CKE	24.45	LC66	31.80	LC39	27.95	LC30	25.78
EC15	23.90	LC31	31.08	LC14	27.88	LC35	25.70
EC10	23.83	LC16	30.80	LC41	27.78	LC67	25.43
EC17	23.78	LC44	30.35	LC11	27.77	LC23	25.28
EC4	23.75	LC4	30.10	LC33	27.35	LC43	25.05
EC14	23.73	LC3	29.78	LC47	27.17	CKL	24.98
EC3	23.48	LC72	29.43	LC22	26.80	LC68	24.95
EC11	23.08	LC1	29.35	LC69	26.65	LC63	24.75
EC2	22.18	LC21	29.29	LC73	26.54	...	...
EC6	21.40	LC18	29.20	LC62	26.34	LC52	22.73
EC1	21.30	LC5	29.18	LC42	26.33	...	...
EC16	19.05	LC45	29.08	LC20	26.28	LC27	22.05
EC5	18.94	LC15	28.85	LC2	26.20	...	...
EC13	18.28	LC17	28.55	LC28	25.93	LC55	19.73

注:湿加松中带者为参加子代测定湿加松组;火加松中带者为参加子代测定的第 1 组,带者为参加子代测定的第 2 组,带者同时参加子代测定的第 1 组和第 2 组;其中 EC8、LC44、LC50 由于种苗总数太少而没有参加子代测定, ... 表示表现比较差而又没有参加子代测定的组合,为节省篇幅,不予列出。

进一步选择的结果从表 4 可以看出, 18 个湿加松幼苗生长差异非常大, 最高苗 EC12 高达 39.33 cm, 比最矮的 EC13 高出 21.05 cm (高出 115.15%), 比对照 CKE 高出 60.86%。然而湿加松 17 个组合中比对照高的只有 4 个, 为了进一步研究, 选择了表现较好的前 8 个组合进行子代测定, 选择强度约 50%。在 75 个火加松组合中, 有较多的组合高度超出对照 CKL, 所以主要选择超过对照的 54 个组合进行子代测定, 同时也选择了 2 个表现不如对照的 LC52 和 LC27 参与子代测定, 以研究其后来的生长潜力。总体来看, 湿加松幼苗中高生长有个别表现特别优秀, 如 EC12, 但是多数表现不如对照, 并且普遍偏低; 而火加松表现优异的组合个数相对较多, 绝对高度也普遍比湿加松高, 这可能和各杂交组合的母本及其组合对气候环境的适应有关。

2.2 子代 (F₁) 测定结果

2.2.1 湿加松子代测定结果

湿加松子代在 2003 年 12 月和 2005 年 12 月各进行了 1 次调查, 其高度方差分析结果见表 5、6, 表 7 为 2 年树高的平均值。

表 5 2003 年湿加松树高方差分析

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	显著水平
区组间	9 357.09	5	1 871.42	7.95	0.000 0
处理间	2 752.16	8	344.02	1.46	0.202 2
误差	9 419.40	40	235.49		
总变异	21 528.66	53			

表 6 2005 年湿加松树高方差分析

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	显著水平
区组间	23 983.27	5	4 796.65	6.068	0.000 3
处理间	12 917.67	8	1 614.71	2.043	0.065 6
误差	31 617.07	40	790.43		
总变异	68 518.02	53			

表 7 湿加松 2003、2005 年树高的平均值

杂交组合	2003 年树高 /cm	杂交组合	2005 年树高 /cm
EC12	165.00	EC12	336.94
EC15	153.48	EC15	327.22
CKE	153.47	EC10	317.83
EC9	150.86	CKE	314.25
EC10	146.22	EC7	304.11
EC17	144.20	EC9	297.70
EC14	143.31	EC17	297.47
EC4	142.70	EC4	295.05
EC7	141.50	EC14	287.64

由表 5 表明: 经过 2 a 的生长后, 湿加松各组合

间的差异变得不显著, 在 2005 年测量的时候差异又开始拉大, 高生长的差异显著水平为 0.065 6 (表 6)。因此湿加松各组合间的生长优劣还在继续变化, 此时进行杂交组合的选择还太早。由表 7 可以看出, 不同组合间的高生长绝对值在 2003 年差异不大, 最高均值和最矮均值之间差异只有 23.50 cm, 而在 2005 年该值增加到 49.30 cm, 生长最好的 2 个组合 EC12 和 EC15 在 2 a 中仍然是生长最好的, 只是后面的一些组合生长好坏排序发生了变化。和对照相比, 表现比对照好的组合并不多。

2.2.2 火加松子代测定结果

火加松子代树高测定方差分析和树高对比分别见表 8、9。由表 8 可以看出: 火加松子代各组合间在 2003 年测定时差异都不显著, 而在 2005 年测定时差异都达到极显著水平, 这和湿加松的生长情况是相似的。

表 9 是各组合间树高的平均值, 其中第 1 组 and 第 2 组在 2003 年测定时总平均高度极相似, 分别为 187.78、187.90 cm, 第 2 组甚至比第 1 组整体高度略高, 而苗期选择时第 1 组整体优于第 2 组。这可能是不同年份的环境效应的结果, 这从个别组合的生长表现也可以看出: 在苗期 LC57 是火加松中生长最好的一个, 而 2003 年测定时表现平平, 处于中等水平, 在 2005 年测定时就处于第 2 位的水平, 表现非常优秀。从 2005 年的生长情况来看, 第 1 组的高生长开始整体比第 2 组好。第 1 组总平均值为 404.64 cm, 第 2 组为 390.74 cm, 相差达 13.90 cm。

从第 2 组个别组合生长来看, 苗期选择具有较大的局限性。苗期选择的 LC27 和 LC52 是作为较差组合入选的, 在 2005 年的测定中 LC27 却成为一个较好的组合, 平均高度达 411.11 cm, 因此如果条件允许的情况下, 苗期应该尽量选择较多的组合进行子代测定, 由于受到各种因素的影响, 杂交松的生长潜力在苗期判断是不太准确的。

从子代测定的结果来看, 在 2003 年第 1 组只有 5 个火加松组合高生长比对照 CKL 好, 而 2005 年测定结果显示所有的杂交组合高生长都比对照 CKL 好。湿加松 2 a 的测定结果也有这个趋势, 即 2003 年以后有更多的杂交组合超过其对照。火加松第 2 组高生长在 2003 年后比对照好的组合反而略少了些, 这可能是因为第 2 组本身选择的组合就是较差的组合, 其生长优势不如其它组。另外第 2 组的对照生长也较好, 2005 年平均高也达到了 395.33 cm。

表 8 火加松子代 2 次测定树高方差分析

组别 (组合数)	2003 年区组间显著水平	2003 年组间显著水平	2005 年区组间显著水平	2005 年组间显著水平
第 1 组 (20 个)	0.000 0	0.660 0	0.000 0	0.001 0
第 2 组 (28 个)	0.000 3	0.510 0	0.000 0	0.000 2

表 9 火加松子代 2 次测定树高平均值比较

第 1 组 (20 个)	2003 年树高 /cm	第 1 组 (20 个)	2005 年树高 /cm	第 2 组 (28 个)	2003 年树高 /cm	第 2 组 (28 个)	2005 年树高 /cm
LC17	198.83	LC12	438.47	LC23	201.47	LC20	434.17
LC18	197.44	LC57	431.39	LC11	200.19	LC41	416.03
LC31	193.56	LC17	428.61	LC34	200.11	LC27	411.11
LC3	192.88	LC16	423.61	LC20	198.33	LC23	410.56
LC32	191.67	LC47	417.50	LC47	196.25	LC34	410.39
CKL	191.33	LC15	413.72	LC22	196.06	LC47	405.97
LC57	189.61	LC66	411.11	LC61	195.64	LC11	404.61
LC21	188.92	LC18	411.05	LC33	193.67	LC43	401.94
LC12	188.17	LC46	409.72	LC41	192.67	LC14	400.31
LC66	188.00	LC1	406.00	LC43	191.11	LC33	400.14
LC16	187.83	LC45	404.50	LC14	190.94	LC28	399.00
LC4	187.17	LC21	400.39	LC27	190.78	LC22	398.89
LC5	186.25	LC65	400.00	LC28	189.03	LC52	396.94
LC15	186.13	LC32	391.39	LC52	188.89	LC48	395.72
LC65	185.67	LC3	390.83	LC8	187.58	CKL	395.33
LC45	183.75	LC72	390.78	LC58	180.22	LC35	381.00
LC1	183.36	LC5	389.39	CKL	176.81	LC2	373.50
LC47	180.54	LC4	387.45	LC39	176.72	LC30	371.50
LC46	180.00	LC31	384.67	...	...	...	...
LC72	174.44	CKL	362.22	LC69	173.11	LC69	325.47
平均	187.78	平均	404.64	平均	187.90	平均	390.74

注: ... 表示省略表现一般的杂交组合, 各列杂交组合的排序是根据树高数据从高到低的顺序排列。

3 小结与讨论

林木育种周期长, 选择评价难度大, 国内外对火炬松等国外松树种的各类子代、家系和各种性状选择开展了许多研究工作^[9-12]。本项目组从 20 世纪 90 年代后期开始, 在大量的种间杂交和早期苗期选择的基础上, 2002 年选择了本研究中的 58 个组合定植, 并进行了跟踪调查研究, 通过对这些杂交组合高生长的早期综合评比分析, 获得以下一些初步结果:

(1) 湿加松、火加松的子代可以选择出优良的杂交后代, 火加松 5 年生 (包括 1 a 苗期) 子代中高度超过 4.0 m (国家速生丰产林 5 年生的林业部标准, $H=4.0$ m) 的组合占总测定子代组合的半数以上, 并且几乎所有的组合都比对照生长的好。湿加松由于杂交组合较少, 加上各组合中较优植株在定植初期冻害较严重, 只有少数组合生长比火加松好。

(2) 本研究中无论在苗期还是在子代测定期, 都有个别个体的生长表现远远超过家系平均数, 如火加松 2005 年调查显示有较多的个体树高达到 5 m 以上, 也不乏接近 6 m 的个体。从杂种的遗传基础考虑, F_1 代的全同胞家系内各个体之间的遗传基础

也有很大的不同, 因为其双亲基因组都是高度杂合的, 亲本产生的配子也必然不一样, 造成同一个家系的个体之间遗传差异也很大, 因此选择优良的单株进行杂交优势固定也是杂交选育的一个重要方面。

(3) 从杂交松早期生长规律来看, 苗期生长差异非常明显, 而定植后前 2 a 由于部分组合内 (特别是湿加松组合) 较优植株冻害严重, 以致各组合间高生长差异不太明显, 定植后第 3、4 年保存的植株不再受冻害, 各组合间的高生长差异变得显著, 特别是火加松各组合之间的差异达到极显著的水平。因此认为杂交松子代评价在苗期和定植 4 a 以后是比较有效的; 但是从个别子代生长情况来看, 苗期表现一般的组合在子代测定中可能会有很好的生长表现, 并且苗期表现较好的个体还可能遭受冻害, 因此为稳妥起见, 杂交松的优势组合评价应该在定植后第 4 年开始。

(4) 对于生长周期几十年的针叶树种来说, 4 ~ 5 a 的生长评比只能代表树木的早期 (幼年期) 评价, 全国国外松种源试验协作组^[13]研究过 4 年生火炬松树高和胸径与 5 ~ 8 年生的相关性, 认为其相关性是显著的, 但是对于杂交松的研究尚不明确, 本研究

发现杂交松的生长相关性在 4~5 a 内还不显著,除了个别组合外,其生长优劣排序在历次调查中都不太稳定,因此早期评价只能作为一个参考。

总之,国外松杂交育种是一种选育优良品种的有效方法,但是其具体的选择评价方法尚不成熟,特别是不同树种不同杂交组合之间在不同地点的生长评比以及评比时机的确定都需要进一步的研究实践,同时还要将杂交子代的评价试验地点进一步向四周(主要是南、北 2 个方向)扩散,研究不同杂交组合的最佳生长地区。

参考文献:

- [1] 潘志刚,游应天. 湿地松、火炬松、加勒比松引种栽培 [M]. 北京:北京科学技术出版社,1991:79-92
- [2] 赵奋成,李宪政,张应中,等. 湿地松与洪都拉斯加勒比松的杂交效果分析 [J]. 林业科学研究,2006,19(4):409-415
- [3] 潘志刚,管宁,韦善华,等. 我国南方杂交松生长和材性研究 [J]. 林业科学研究,1999,12(4):398-402
- [4] 马常耕. 国外针叶树种间杂交研究进展 [J]. 世界林业研究,1997,10(3):9-17
- [5] Nikles D G The first 50 years of the evolution of forest tree improvement in Queensland [C]. Dieters M J, Matheson A C, Nikles D G, et al Tree improvement for sustainable tropical forestry. Proceedings of the QFR I-UFRO conference, 27 October-1 November. Cairns, Queensland, Australia: Queensland Forestry Research Institute, 1996: 51-64
- [6] Nikles D G Experience with some *Pinus* hybrids in Queensland, Australia [C]. Dungey H S, Dieters M J, Nikles D G Hybrid breeding and genetics of forest trees. Proceedings of QFR I/CRC-SPF symposium, 9-14 April Noosa, Queensland, Australia, 2000: 27-43
- [7] 郑勇奇. 加勒比松杂交育种现状及发展对策的探讨 [J]. 林业科学研究,2003,16(1):110-116
- [8] 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
- [9] 黄少伟,钟伟华,黄凯,等. 火炬松自由授粉子代多地点试验 [J]. 林业科学研究,2001,14(5):509-514
- [10] 姜景民,孙海菁,刘昭息. 火炬松纸浆材优良家系多性状选择 [J]. 林业科学研究,1996,9(5):455-460
- [11] 钟伟华,何昭珩,周达,等. 火炬松自由授粉子代测定研究 [J]. 林业科学研究,1994,7(3):277-285
- [12] Atwood R A, White T L, Huber D A. Genetic parameters and gains for growth and wood properties in Florida source loblolly pine in the southeastern United States [J]. Can J For Res, 2002, 32(6):1025-1038
- [13] 全国国外松种源试验协作组. 火炬松八年种源试验研究 [J]. 林业科学研究,1989,2(6):540-545