

不同立地杉木家系幼林生长差异

何贵平¹, 徐金良², 徐永勤³, 陈永辉², 沈凤强³, 徐卢雨³

(1. 中国林业科学研究院 亚热带林业研究所 浙江省林木育种技术研究重点实验室, 浙江 杭州 311400;

2. 浙江省开化县林场, 浙江 开化 324300; 3. 浙江省杭州市余杭区长乐林场, 浙江 杭州 311123)

摘要: 通过对不同立地杉木 *Cunninghamia lanceolata* 家系的生长差异研究, 了解杉木家系生长性状与立地的互作效应, 选出生长快、稳定性好和适应性强的杉木家系进行推广。用营造在浙江余杭长乐林场和开化县林场的 3 年生杉木家系(21 个家系, 1 个对照)区试验林, 开展了不同立地杉木家系生长性状的差异、互作效应和适应性研究。结果表明: 杉木家系树高和胸径 2 个生长性状在不同立地以及同一立地不同区组间表现出极显著性差异; 余杭点(马尾松 *Pinus massoniana* 林采伐迹地)3 年生杉木家系的平均树高和平均胸径(树高为 3.21 m, 胸径为 4.31 cm)比开化点(杉木林采伐迹地, 树高为 2.33 m, 胸径为 2.31 cm)分别高出 37.77%和 86.58%。树高性状在家系间差异极显著($P<0.01$), 胸径性状在家系与地点间存在极显著的交互效应($P<0.01$)。通过树高和胸径 2 个生长性状的速生性、稳定性和适应性分析评价, 选出在两地幼林期表现良好的杉木家系 7 个, 它们可在两地及相似地区推广应用。表 5 参 15

关键词: 森林培育学; 杉木; 家系; 立地; 生长差异; 选择

中图分类号: S724

文献标志码: A

文章编号: 2095-0756(2018)03-0453-06

Growth differences and selection of Chinese fir families in young plantations with different site conditions

HE Guiping¹, XU Jinliang², XU Yongqin³, CHEN Yonghui², SHEN Fengqiang³, XU Luyu³

(1. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Tree Breeding, Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, Zhejiang, China; 2. Forest Farm of Kaihua County of Zhejiang Province, Kaihua 324300, Zhejiang, China; 3. Changle Forest Farm of Yuhang District of Hangzhou City, Hangzhou 311123, Zhejiang, China)

Abstracts: To screen the fast-growing Chinese fir family for steady traits and strong adaptability for extension, growth differences of 21 Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) families were compared for different site conditions and the interactions between growth traits and sites were discussed. Two sites treatments in Changle Forest Farm and Kaihua Forest Farm, and a control in the second generation seed orchard, with randomized block design and eight replications, were set in Zhejiang Province. Tree height and diameter at breast height (DBH) of 3-year-old Chinese fir families were investigated for each tree. A one-way analysis of variance followed by Duncan's multiple comparison test was used to determine statistical significance of growth traits across two sites. Results showed significant differences ($P<0.01$) on tree height and DBH with Chinese fir in the same family for different sites and for different blocks of the same site. Chinese fir planted in cutover land of *Pinus massoniana* at Changle Farm had higher tree height (37.77%) and greater DBH (86.58%) than that on cutover land of Chinese fir at Kaihua Farm. Tree height also showed significant differences($P<0.01$) among families. According to the analysis on growth rate, stability, and adaptability of tree height and DBH, seven

收稿日期: 2017-05-18; 修回日期: 2017-07-24

基金项目: “十二五”国家科技支撑项目(2015BAD09B0101); “十三五”浙江省林木育种专项(2016C02056-5); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(CAFYBB2017ZA001-1)

作者简介: 何贵平, 研究员, 从事林木遗传育种研究。E-mail: guipinghe@126.com

families of Chinese fir grown at two sites which showed favorable traits at the young plantation stage were selected. These seven families could be widely planted in these two sites as well as in other sites having similar conditions. [Ch, 5 tab. 15 ref.]

Key words: silviculture; *Cunninghamia lanceolata*; family; site; growth difference; selection

杉木 *Cunninghamia lanceolata* 为中国南方林区重要的速生用材树种, 因生长快、产量高、材质优、适应性较强、经济效益好而成为山区的主要造林树种。目前, 中国南方各省区杉木人工林基地面积已达 800 万 hm^2 , 20 世纪 80 年代和 90 年代中期以前营造的杉木人工林大部分已到采伐林龄, 现在造林的立地多为杉木或马尾松 *Pinus massoniana* 林采伐迹地, 特别是在杉木采伐迹地上再营造杉木纯林时, 由于林地土壤肥力下降, 对杉木林的生长有一定影响^[1-6]。杉木遗传改良已进行了几十年, 从 1 代良种到现在的 3 代良种, 林木生长量已得到显著提高^[7-9]。目前造林地普遍为二茬杉木林地, 这给杉木的遗传改良及新品种选育提出了较高的要求, 要求选择出生长快、材质优, 且对立地适应性强的品种。本研究以杉木 2 代种子园中选出的部分优良家系为材料^[8], 在杉木林和马尾松林采伐迹地上进行杉木家系造林试验, 研究杉木家系在不同立地上幼林的生长适应性, 旨在研究杉木家系与立地的互作效应, 同时选出适应性较强的杉木品系, 为生产和育种提供优良材料。

1 试验点概况

试验点 1 为浙江省杭州市余杭区长乐林场西山林区(余杭点, E1), $30^{\circ}15'N$, $119^{\circ}58'E$, 海拔为 100 m, 年平均气温为 15.8°C , 年均降水量为 1 478.0 mm, 年均日照时数为 1 782.9 h, 无霜期为 221 d, 四季分明, 属北亚热带季风气候。林地为马尾松纯林采伐迹地, 土壤为红壤, 土层厚度 80 cm 以上, 坡向西南, 坡度 15° 左右, 0~30 cm 土层土壤理化性质为 pH 4.73, 有机质 $25.26\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 全氮 $1.26\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 全磷 $0.34\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 碱解氮 $86.25\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 速效磷 $1.22\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 速效钾 $72.23\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 肥力中等。试验点 2 为浙江省衢州市开化县林场城关分场香滩(开化点, E2), $29^{\circ}25'N$, $118^{\circ}25'E$, 海拔为 230 m, 年平均气温为 16.4°C , 年均降水量为 1 814.0 mm, 日照时数为 1 712.5 h, 无霜期为 252 d, 属北亚热带湿润季风气候, 四季分明。林地为杉木纯林采伐迹地, 土壤为红黄壤, 土层厚 80 cm 以上, 坡向东南, 坡度约 25° , 对 0~30 cm 土层进行了土壤取样(分下坡、中坡、上坡混合而成)分析, 土壤理化性质为 pH 4.83, 有机质 $22.07\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 全氮 $1.12\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 全磷 $0.29\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 碱解氮 $76.45\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 速效磷 $1.12\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 速效钾 $65.42\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 肥力中等偏下。

2 材料与方方法

2.1 试验材料和试验设计

试验材料来自浙江省龙泉市林科院杉木 2 代种子园中自由授粉家系, 2011 年秋采种, 2012 年春在开化县进行大田育苗, 2013 年 3 月在开化和余杭两地进行试验林营造。试验材料为杉木 2 代种子园中选出的 21 个较优良家系, 对照(ck)为浙江杉木 2 代种子园混种。试验采用随机区组设计, 余杭点为 4 株单行小区, 8 次重复, 林地为马尾松林采伐迹地。整地方式为挖机全垦后(深 30 cm 以上, 并挖出伐兜)直接定点造林, 造林密度为 $2\text{ m}\times 2\text{ m}$ 。开化点为 6 株单行小区, 8 次重复, 林地为杉木林采伐迹地, 经炼山后挖大穴($40\text{ cm}\times 40\text{ cm}\times 40\text{ cm}$), 造林密度为 $2\text{ m}\times 2\text{ m}$ 。

2.2 研究方法

2015 年 12 月对两地试验林进行每木调查, 调查因子为树高、胸径。采用小区平均值进行性状方差分析, 方差分析模型为 $Y_{ijkl} = u + L_i + B(L)_{j(i)} + P_k + LP_{ik} + B(L)P_{j(i)k} + e_{ijkl}$ 。其中: Y_{ijkl} 为多点试验第 i 地点内第 j 区组第 k 家系第 l 小区平均值; u 为群体平均效应; L_i 为第 i 地点效应; $B(L)_{j(i)}$ 为第 i 地点内第 j 区组效应; P_k 为第 k 家系效应; LP_{ik} 为第 k 家系和第 i 地点互作效应; $B(L)P_{j(i)k}$ 为第 i 地点内第 j 区组和第 k 家系的互作效应; e_{ijkl} 为机误。

树高和胸径 2 个生长性状在两地的速生性、稳定性及适应性分析的计算方法如下: ①速生性参数的计算方法为: 各家系的树高(或胸径)值为各家系树高(或胸径)两地的平均值, 各家系的树高(或胸径)效

应值为各家系的树高(或胸径)两地平均值减去两地家系树高(或胸径)的总平均值。②稳定性参数的计算方法为：各家系的树高(或胸径)方差为各家系树高(或胸径)两地重复间的方差，各家系的树高(或胸径)变异度为各家系的树高(或胸径)的方差开平方除以各家系的树高(或胸径)平均值。③适应性参数的计算方法为：各家系的树高(或胸径)的回归系数为各家系树高(或胸径)平均值与环境指数(各地点的树高或胸径总平均值)进行回归分析计算的 b 值。各家系树高和胸径 2 个生长性状在两地的速生性、稳定性及适应性综合分析及评价是以各家系树高(或胸径)在两地的平均值的高低(或效应值的大小)为基础，结合其稳定性中的变异度和适应性中的回归系数(b 值)进行综合分析。

采用 DPS 软件^[10]对性状进行方差分析和家系的稳定性分析。

3 结果与分析

3.1 不同立地杉木家系 3 年生时树高、胸径差异及联合方差分析

两地杉木家系 3 年生时树高、胸径经同质检验后，试验点误差均方均不显著，可进行两地联合方差分析。从表 1 和表 2 可以看出：试验地点间和试验地点内区组间在树高和胸径上均表现出极显著差异，而在家系间只有树高表现出极显著差异水平，胸径则未达显著差异；在家系×试验点互动间，胸径达到差异显著水平，树高则未达差异显著水平。表明不同立地条件(或坡位)对杉木家系的生长影响明显，树高在家系间表现出显著差异，但树高在家系与地点间没有显著的交互效应，而胸径的交互效应显著，即不同家系的胸径生长在不同环境条件下的表现存在显著差异，而树高生长则不显著。

3.2 不同立地对 3 年生杉木家系树高、胸径生长的影响

从表 3 中可知：两地间树高和胸径的试验总平均值差异较大，余杭点(树高为 3.21 m，胸径为 4.31 cm)明显大于开化点(树高为 2.33 m，胸径为 2.31 cm)，余杭点平均树高和平均胸径分别比开化点高出

表 1 两地 3 年生杉木家系树高、胸径联合方差分析结果

Table 1 Combined ANOVA results of tree height, diameter at breast height (DBH) of 3-year-old Chinese fir families in 2 sites					
变异来源	自由度	树高		胸径	
		均方	F	均方	F
地点	1	68.279 2	549.98**	351.920 0	596.15**
地点内区组	14	0.670 7	5.40**	3.132 0	5.30**
家系	21	0.285 3	2.30**	0.831 8	1.41
家系×地点	21	0.183 3	1.48	1.057 6	1.97*
机误	294	0.124 1		0.590 3	

说明：按完全随机区组模型设计分析。**表示差异极显著，*表示差异显著

表 2 两地 3 年生杉木家系树高、胸径平均值

Table 2 Average values of tree height, diameter at breast height(DBH) of 3-year-old Chinese fir families in 2 sites									
家系号	余杭		开化		家系号	余杭		开化	
	树高/m	胸径/cm	树高/m	胸径/cm		树高/m	胸径/cm	树高/m	胸径/cm
A76	3.24	4.51	2.34	2.45	B56	3.10	3.81	2.25	2.33
B49	3.09	4.11	2.26	2.30	C28	3.24	4.46	2.08	1.91
B10	3.39	4.48	2.68	2.65	B105	3.33	4.51	2.45	2.41
C25	3.29	4.71	2.11	2.00	B111	3.41	4.50	2.16	1.98
A20	3.26	4.74	2.15	1.88	B164	3.07	4.03	2.23	2.08
A09	3.21	4.28	2.57	2.51	B163	2.88	3.61	2.33	2.36
B148	3.29	4.35	2.52	2.70	B11	3.15	3.95	2.20	2.25
B121	3.26	4.24	2.52	2.74	L15	3.61	5.09	2.37	2.30
B13	3.30	4.75	2.48	2.34	对照(ck)	3.24	4.36	2.47	2.70
B01	3.08	4.19	2.38	2.43	平均值	3.21	4.31	2.33	2.31
C44	3.38	4.78	2.22	2.08	变幅	2.78~3.61	3.30~5.09	2.11~2.68	1.88~2.74
B42	3.10	4.15	2.31	2.33	变异系数/%	5.59	9.60	6.93	11.03
A77	2.78	3.30	2.22	2.20					

37.77%和 86.58%。表明虽然参试家系相同,但在不同地点树高和胸径生长量表现出明显的差异,这可能与两地利地条件的不同有较大关系(两地气候条件近似),余杭点造林前茬为马尾松林,且坡度较小,立地条件为中等,而开化点造林前茬为杉木纯林,对林地肥力消耗较大,使土壤肥力明显下降,立地条件则为中等偏下。同一地点内不同区组也因处于不同坡位,使树高和胸径生长量差异明显,一般山坡下部土层较厚,水肥条件相对较好,因此杉木生长快,而在同一山坡中上部,则因土层相对较薄,水肥条件相对较差,因此杉木生长慢。余杭点以第 7 区、第 1 区组生长相对较好,开化点则是第 1 区,第 3 区和第 5 区组生长相对较好。表明立地条件对杉木的生长有明显影响,特别是在杉木采伐迹地上再营造杉木林时,林分生长量有明显下降。

3.3 不同立地杉木家系 3 年生时树高、胸径生长性状速生性、稳定性及适应性分析

由于杉木家系树高性状在两地点间差异明显,以及胸径在家系与试验点间有明显的交互效应,有必要对各家系两生长性状进行稳定性分析。从两地 3 年生杉木家系树高、胸径的速生性、稳定性及适应性综合分析(表 4 和表 5)可以看出,在两地树高生长性状表现很好和好的家系有 8 个,它们是 B10, L15, B148, B121, A09, B13, B105 和 ck,在两地胸径生长性状表现很好和好的家系有 9 个,它们是 L15, B10, B13, ck, B148, B121, A76, B105 和 A09,综合树高和胸径 2 个生长性状,在两地均表现好的

表 3 两地不同区组间 3 年生杉木树高、胸径平均值

Table 3 Average values of tree height, diameter at breast height (DBH) of 3-year-old Chinese fir families among different blocks in 2 sites

区组	余杭点		区组	开化点	
	树高/m	胸径/cm		树高/m	胸径/cm
7	3.47 A	4.90 A	1	2.56 A	2.80 A
1	3.40 A	4.88 A	3	2.49 A	2.59 AB
8	3.30 AB	4.42 AB	5	2.46 AB	2.60 AB
2	3.22 AB	4.19 AB	4	2.42 AB	2.53 AB
3	3.15 AB	3.87 B	6	2.28 AB	2.18 AB
4	3.10 AB	3.97 B	7	2.22 AB	2.09 AB
5	3.03 B	4.13 AB	2	2.17 B	1.94 B
6	3.01 B	4.15 AB	8	2.04 B	1.79 B
平均值	3.21	4.31	平均值	2.33	2.31

表 4 3 年生杉木家系树高速生性、稳定性及适应性分析

Table 4 Fast growth, stability and adaptability analysis of tree height of 3-year-old Chinese fir families

家系号	速生性参数		稳定性参数		适应地区及评价		
	树高/m	效应	方差	变异度	回归系数	地点	评价
B10	3.03	0.262	0.015	4.040	0.803 2	E1, E2	很好
L15	2.99	0.220	0.065	8.549	1.410 6	E1, E2	很好
B148	2.90	0.132	0.006	2.760	0.871 3	E1, E2	好
B121	2.89	0.121	0.010	3.443	0.840 1	E1, E2	好
A09	2.89	0.118	0.028	5.741	0.733 7	E1, E2	好
B13	2.89	0.116	0.002	1.368	0.936 6	E1, E2	好
B105	2.89	0.114	0	0.052	0.997 6	E1, E2	好
ck	2.85	0.080	0.006	2.718	0.875 6	E1, E2	好
C44	2.80	0.023	0.039	7.062	1.316 9	E1, E2	较好
A76	2.79	0.018	0	0.359	1.016 1	E1, E2	较好
B111	2.79	0.016	0.068	9.364	1.419 1	E1, E2	较好
B01	2.73	-0.045	0.017	4.787	0.790 4	E1, E2	较好
A20	2.71	-0.066	0.027	6.121	1.265 8	E1, E2	一般
B42	2.71	-0.066	0.004	2.375	0.896 9	E1, E2	一般
C25	2.70	-0.071	0.043	7.669	1.332 5	E1, E2	一般
B49	2.68	-0.096	0.002	1.509	0.935 2	E1, E2	一般
B11	2.675	-0.097	0.002	1.828	1.078 5	E1, E2	一般
B56	2.67	-0.097	0	0.783	0.966 4	E1, E2	一般
C28	2.66	-0.112	0.038	7.323	1.312 6	E1, E2	一般
B164	2.65	-0.125	0.001	1.325	0.943 7	E1, E2	一般
B163	2.60	-0.171	0.055	9.030	0.623 0	E1, E2	一般
A77	2.50	-0.276	0.052	9.126	0.634 3	E1, E2	较差

说明: E1 为余杭点, E2 为开化点

表 5 3 年生杉木家系胸径速生性、稳定性及适应性分析

Table 5 The fast growth, stability and adaptability analysis of diameter at breast height(DBH) of 3-year-old Chinese fir families

家系	速生性参数		稳定性参数		适应地区综合评价		
	胸径/cm	效应	方差	变异度	回归系数	地点	评价
L15	3.69	0.380	0.310	15.080	1.393 9	E1	好
B10	3.56	0.249	0.015	3.469	0.912 6	E1, E2	很好
B13	3.54	0.230	0.085	8.235	1.206 4	E1, E2	好
ck	3.53	0.218	0.057	6.754	0.831 3	E1, E2	好
B148	3.53	0.211	0.061	7.016	0.825 1	E1, E2	好
B121	3.49	0.176	0.127	10.227	0.747 6	E1, E2	好
A76	3.48	0.168	0.002	1.274	1.031 4	E1, E2	好
B105	3.46	0.149	0.005	2.047	1.050 1	E1, E2	好
C44	3.43	0.111	0.245	14.457	1.350 2	E1	较好
A09	3.39	0.080	0.028	4.944	0.881 4	E1, E2	好
C25	3.36	0.043	0.254	15.016	1.356 4	E1	一般
A20	3.31	-0.008	0.372	18.451	1.431 4	E1	一般
B01	3.31	-0.008	0.028	5.074	0.881 4	E1, E2	较好
B42	3.24	-0.076	0.015	3.817	0.912 6	E1, E2	较好
B111	3.24	-0.076	0.138	11.472	1.262 6	E1, E2	较好
B49	3.21	-0.108	0.018	4.130	0.906 4	E1, E2	较好
C28	3.19	-0.126	0.151	12.206	1.275 1	E1, E2	较好
B11	3.10	-0.214	0.045	6.838	0.850 1	E1, E2	一般
B56	3.07	-0.245	0.131	11.804	0.743 8	E1, E2	一般
B164	3.05	-0.264	0.001	1.154	0.975 1	E1, E2	一般
B163	2.99	-0.326	0.281	17.746	0.625 1	E2	较差
A77	2.75	-0.564	0.405	23.136	0.550 1	E2	不好

说明：E1 为余杭点，E2 为开化点

家系为 7 个(除浙江杉木 2 代种子园混种 ck 外)，它们是 B10，L15，B148，B121，A09，B13 和 B105，可在这两地及相似地区推广应用。

4 结论与讨论

影响林木生长的因素除不同气候条件外还有立地条件。杉木作为中国南方林区主要用材树种，对立地条件有一定的要求，一般要求选择中等以上立地造林(Ⅰ和Ⅱ类地，立地指数要求在 14 以上)，才能获得较好的丰产效果。现在大多数林区营造杉木林多为杉木二茬林，林地土壤肥力有所下降，在这样的背景下进行杉木新品种选育，除要研究杉木生长和材质性状外，杉木品种的适应性研究也较为重要。

从本试验结果看，不同立地条件下杉木家系幼林生长差异较大，特别是在杉木林采伐迹地上再营造杉木林时，与马尾松林采伐迹地相比，树高和胸径生长量下降明显，3 年生时平均树高和平均胸径余杭点比开化点分别高出 37.77%和 86.58%；同一地点不同坡位上，杉木家系的生长差异也很明显，表明杉木对立地的反应较为敏感。杉木连栽会使后林地土壤肥力下降明显^[1-6]，但同时也有研究证明，在杉木采伐迹地上营造杉阔混交林能提高林地土壤肥力，促进杉木的生长^[11-13]。

林木品系(基因型)与环境存在明显互作效应^[14-15]。本研究中胸径与地点间也存在显著的互作效应，说明环境显著影响着杉木胸径生长性状的表现。同时树高生长性状在家系间有显著差异，综合两地杉木家系树高和胸径速生性、稳定性和适应性分析评价，选择出 7 个在幼林期生长表现较好的杉木家系，可在两地及相似地区进行推广造林。

5 参考文献

[1] 盛炜彤. 我国人工林地力衰退及防治对策[G]// 盛炜彤. 人工林地力衰退研究. 北京：中国科学技术出版社，1992：15 - 19.

- [2] 杨玉盛, 何宗明, 陈光水, 等. 杉木多代连栽后土壤肥力变化[J]. 土壤与环境, 2001, **10**(1): 33 – 38.
YANG Yusheng, HE Zongming, CHEN Guangshui, *et al.* PCA of soil fertility under different gaps of continuously planting Chinese fir [J]. *Soil Environ Sci*, 2001, **10**(1): 33 – 38.
- [3] 俞新妥, 张其水. 杉木连栽林地土壤生化特性及土壤肥力的研究[J]. 福建林学院学报, 1989, **9**(3): 63 – 71.
YU Xintuo, ZHANG Qishui. Studies on the enzyme activities and fertilities of soils in Chinese-fir repeated plantation woodland [J]. *J Fujian Coll For*, 1989, **9**(3): 63 – 71.
- [4] 周学金, 罗汝英, 叶镜中. 杉木连栽对土壤养分的影响及其反馈[J]. 南京林业大学学报, 1991, **15**(3): 44 – 49.
ZHOU Xuejin, LUO Ruying, YE Jingzhong. Effect of continuous cropping with Chinese fir upon soil nutrients and its feedback [J]. *J Nanjing For Univ*, 1991, **15**(3): 44 – 49.
- [5] 方奇. 杉木连栽对土壤肥力及其林木生长的影响[J]. 林业科学, 1987, **23**(4): 389 – 397.
FANG Qi. Effects of continued planting of Chinese fir on the fertility of soil and the growth of stands [J]. *Sci Silv Sin*, 1987, **23**(4): 389 – 397.
- [6] 马祥庆, 范少辉, 刘爱琴, 等. 不同栽植代数杉木人工林土壤肥力的比较研究[J]. 林业科学研究, 2000, **13**(6): 577 – 582.
MA Xiangqing, FAN Shaohui, LIU Aiqin, *et al.* A comparison on soil fertilities of Chinese fir plantations of different generations [J]. *For Res*, 2000, **13**(6): 577 – 582.
- [7] 何贵平, 陈益泰, 张国武. 杉木主要生长、材质性状遗传分析及家系选择[J]. 林业科学研究, 2002, **15**(5): 559 – 563.
HE Guiping, CHEN Yitai, ZHANG Guowu. Genetic analysis and family selection for main traits of growth and wood quality of Chinese fir [J]. *For Res*, 2002, **15**(5): 559 – 563.
- [8] 何贵平, 徐永勤, 齐明, 等. 杉木2代种子园子代主要经济性状遗传变异及单株选择[J]. 林业科学研究, 2011, **24**(1): 123 – 126.
HE Guiping, XU Yongqin, QI Ming, *et al.* Genetic variation and individual plant selection of main economic traits of progenies from the second-generation seed orchards of Chinese fir [J]. *For Res*, 2011, **24**(1): 123 – 126.
- [9] 何贵平, 徐肇友, 王帮顺, 等. 杉木杂交试验苗期主要性状遗传分析[J]. 江西农业大学学报, 2015, **37**(5): 863 – 842.
HE Guiping, XU Zhaoyou, WANG Bangshun, *et al.* Genetic analysis of main traits of Chinese fir at the seedling stage in crossing test (NC II) [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2015, **37**(5): 863 – 842.
- [10] 唐启义, 冯明光. DPS 数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [11] 何贵平, 陈益泰, 胡炳堂, 等. 杉木与马褂木、樟树混交林及其纯林生物量和土壤肥力研究[J]. 林业科学研究, 2001, **14**(5): 540 – 547.
HE Guiping, CHEN Yitai, HU Bingtang, *et al.* Study on the biomass and soil fertility of pure and mixed stands of *Cunninghamia lanceolata*, *Liriodendron chinense* and *Sassafras tsumu* [J]. *For Res*, 2001, **14**(5): 540 – 547.
- [12] 范广阔, 邹双全, 林开敏, 等. 不同更新方式对杉木林土壤肥力的影响[J]. 福建林学院学报, 2009, **29**(3): 210 – 214.
FAN Guangkuo, ZOU Shuangquan, LIN Kaimin, *et al.* Effects of different regeneration patterns on the second-generation Chinese fir plantation soil fertility [J]. *J Fujian Coll For*, 2009, **29**(3): 210 – 214.
- [13] 陈绍栓. 杉木细柄阿丁枫混交林涵养水源功能和土壤肥力的研究[J]. 生态学报, 2002, **22**(6): 957 – 961.
CHEN Shaoshuan. The water holding capacity and soil fertility in the mixed forest of *Cunninghamia lanceolata* and *Altingia gracilides* [J]. *Acta Ecol Sin*, 2002, **22**(6): 957 – 961.
- [14] 董虹好, 刘青华, 金国庆, 等. 马尾松3代种质幼林生长性状遗传效应及其与环境互作[J]. 林业科学研究, 2015, **28**(6): 775 – 780.
DONG Hongyu, LIU Qinghua, JIN Guoqing, *et al.* Genetic effects of growth traits for the third generation *Pinus massoniana* germplasm and the interaction with environment [J]. *For Res*, 2015, **28**(6): 775 – 780.
- [15] 李建民. 马尾松自由授粉家系与环境互作的分析[J]. 南京林业大学学报, 1992, **16**(2): 63 – 70.
LI Jianmin. Analysis of masson pine open pollination families × environment interaction [J]. *J Nanjing For Univ*, 1992, **16**(2): 63 – 70.