

文章编号:1001-7380(2017)02-0006-05

福建柏优树子代苗木期性状遗传变异研究

万 娟¹, 陈剑成¹, 陈元品², 李渊顺², 何天友³, 荣俊冬¹, 郑郁善^{1,3*}

(1. 福建农林大学林学院, 福建 福州 350002; 2. 福建省安溪白濂国有林场, 福建 安溪 362411;
3. 福建农林大学园林学院, 福建 福州 350002)

摘要:以24个福建柏优树子代苗木为研究对象,对其生长量、生物量和根系等8个性状指标进行了方差分析、相关性分析和主成分分析。结果表明,1年生福建柏苗木各性状之间存在丰富的遗传变异,具有改良的潜力;各性状普遍受到了中等以上的遗传控制,其中总根体积的遗传力最高,达到了0.96;苗高仅与地径、地上鲜质量、总根长、总根体积存在显著或极显著相关,地径、地上干鲜质量、地下干鲜质量、总根长与总根体积相互之间存在极显著的相关;纬度是影响生物量性状的主要地理因子。对8个性状进行主成分分析后,得到能概括所测8个性状78.23%信息的3个主成分,计算出各家系的综合得分。

关键词:福建柏;苗木;生长量;生物量;根系;遗传变异

中图分类号:S722.3⁺3 **文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2017.02.002

Studies on the genetic variations of traits among *Fokienia hodginsii* plus-tree progeny at seedling stage

WAN Juan¹, CHEN Jian-cheng¹, CHEN Yuan-pin², LI Yuan-shun²,
HE Tian-you³, RONG Jun-dong¹, ZHENG Yu-shan^{1,3*}

(1. Forestry College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;
2. Bailai National Forest Farm of Anxi, Anxi 362411, China;

3. College of Landscape Architecture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: The traits of growth, biomass and root system of the seedlings of 24 *Fokienia hodginsii* plus tree progeny were studied with the methods of ANOVA, correlation analysis and principal component analysis. The results showed that there was abundant genetic variation among the traits of the annual seedlings which had the potentiality for improvement. And significant differences ($P < 0.05$) occurred among all traits, which were under genetic control at the medium above, ranged from 0.37 to 0.96, with the heritability of total root volume higher than others (reaching 0.96). There was a marked positive correlation between these traits. Among the geographical factors, the latitude was the main affecting factor on biomass, 3 principal components contributed to 78.23% of 8 traits were obtained, and the comprehensive score of each family was calculated.

Key words: *Fokienia hodginsii*; Seedling; Growth; Biomass; Root system; Genetic variation

福建柏 [*Fokienia hodginsii* (Dunn) Henry et Thomas] 又名建柏、滇柏等,属柏科福建柏属,是中国特有的单属种植物,作为珍稀乡土树种,已被列为国家二级保护植物^[1-3]。福建柏不仅具有良好的生态效应和观赏价值,更因其具有良好的木材物理力学性质,在木材加工中得到广泛应用,深受用材

商的欢迎,成为继杉木、马尾松之后值得推广的用材树种,是我国珍贵的用材树种^[4-8]。

福建柏多分布于我国长江以南地区及越南北部地区,具有较为丰富的遗传变异^[6]。目前,福建柏天然林大部分已灭绝殆尽,对其进行遗传改良有利于优良遗传材料的推广^[9]。本文对福建等4省

收稿日期:2016-10-13;修回日期:2016-12-29

基金项目:福建省科学技术厅项目“福建柏良种繁育研究”(闽林科[2013]1号)

作者简介:万 娟(1992-),女,江西南昌人,硕士研究生。从事自然地理方面的研究。E-mail:745065754@qq.com。

* 通信作者:郑郁善(1960-),男,福建南平人,博士生导师。从事园林植物应用、园林规划设计及森林培育学方面的研究。E-mail: zys1960@163.com。

24 个福建柏优树的子代进行研究,初步选出性状优良的福建柏家系,旨在为福建柏的遗传改良和优良种苗的推广种植提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料来源

2013 年 10—11 月在福建等 4 省各地林场采用优势木对比法预选优树。在各地林场以候选树为中心,在立地条件相对一致的 10—20 m 半径范围内,其中至少应包括 30 株以上的树木,依据树干性质、树冠性质、生长势、树皮性质、健康状况等指标选取 5 株福建柏优势木,测量其树高、胸径、冠幅、枝

下高和分枝情况并计算平均值。候选树的各项指标得分均高于优势木平均值则入选为优树。2014 年 10 月末到 11 月初,从福建闽侯等地区采集优树种子(见表 1)。

1.2 试验地概况

试验地设在福建安溪县西北部的白濑国有林场,北纬 25°18',东经 118°00',属亚热带季风气候区。年均气温为 19.5 ℃,最低(1 月)0 ℃,最高(7 月)37 ℃;年平均降水量达 1 800 mm,无霜期长,有 330 d。土壤类型以红壤为主,专业苗圃地土层较厚,土壤理化性能良好。于 2015 年 2 月育苗。

表 1 各优树产地的地理气象因子

采样地	家系	纬度/°N	经度/°E	海拔/m	年均温/℃	年无霜期/d	年日照时数/h	年降水量/mm
广西 大明山	GDY6	23.40	108.52	1350	16.05	302	1 480	2 630
	GDY7							
	GDY8							
	GDY9							
	GDY10							
	GDY11							
	GDY12							
	GDY13							
	GDY14							
广西金秀	GJY1	24.12	110.18	800	17.00	283	1 269	1 648
广西柳州	GLY1	24.45	109.37	100	18.75	320	1 410	1 643
	GLY3							
福建闽侯	MHY1	26.17	119.08	205	17.15	250	1 959	1 674
	MHY2							
福建罗源	LYY1	26.48	119.55	360	19.50	280	1 558	1 652
福建永泰	YTY2	25.30	116.30	780	17.35	300	1 755	1 700
	YTY3							
福建闽清	MMY2	26.18	118.80	600	19.70	269	1 644	1 650
湖南遂宁	HSY2	26.58	110.00	600	16.70	308	1 375	1 337
	HSY3							
广东南岭	GN Y1	24.67	112.75	550	17.70	267	1 500	1 705
福建三明莘口	SX	26.40	117.47	210	18.20	270	1 800	1 700
福建三明尤溪	SY	26.18	118.27	121	18.90	312	1 762	1 700
福建上杭	SH	26.63	118.00	680	20.10	277	1 801	1 646

1.3 试验与分析方法

2015 年 2 月,在安溪白濑国有林场采用条播育种的方式播种,播种条间距 10 cm,条幅宽 2 cm。在田间采取随机区组设计,3 次重复。分家系播种,每个家系在每个重复中播种 3 行,剩余种子分家系集中撒播;2015 年 12 月下旬,选取各家系每个重复中间 1 行 10 株,观测其苗高和地径。苗高使用钢卷尺测量,精确到 0.1 cm;地径使用数显游标卡尺测量,精确到 0.01 mm。每个家系选出 5 株苗高、地径均达到平均

值的健康完整苗木用作生物量的测定,测定的生物量包括福建柏苗木的地上部鲜质量、地下部鲜质量、地上部干质量、地下部干质量、总根长和总根体积等 6 个性状,使用万分之一的电子天平称量干鲜质量,精确到 0.01 g。采用 EPSON V700 根系扫描仪得到根系形态,并通过根系分析软件 LA2400 WinRHIZO Pro 得到总根长与总根体积的根系指标。

采用数理统计软件 SPSS 18.0,对上述 8 个性状进行方差分析与相关性分析,同时对各性状与地理

因子之间的相关性进行分析,最后通过对 8 个性状的主成分分析,计算各家系的综合得分,初步筛选出福建柏的优良家系^[10]。广义遗传力 $H^2 = 1 - 1/F$ (F 为方差分析结果中的 F 值),采用 EXCEL 进行计算。

2 结果与分析

2.1 苗期性状的比较分析

24 个福建柏优树子代的苗高、地径、地上鲜质量、地上干质量、地下鲜质量、地下干质量、总根长以及总根体积 8 个性状进行方差分析(见表 2)与遗传参数的估计(见表 3)。各性状的变异系数为苗高 18.18%、地径 18.18%、地上鲜质量 46.44%、地上干质量 57.30%、地下鲜质量 47.37%、地下干质量 46.15%、总根长 31.69%、总根体积 65.90%,结果表明,8 个性状在家系间均存在极显著差异,说明被测福建柏各家系间存在较为丰富的变异。由表 2,3 可知,24 个家系的苗高均值为 15.02 cm,变化范围为

13.08—18.26 cm,表现最好的家系为 SH,其均值高于其他家系,达到 18.26 cm,表现最差的为家系 MHY1,苗高均值仅为 13.08 cm,极差达到 5.18。除苗高外,家系 SH 在地径、地上干质量、地下鲜质量、地下干质量、总根长和总根体积方面也表现最佳,其各项均值都明显高于其他家系,分别为 2.83 cm, 1.01, 1.16, 0.21 g, 222.77 cm 和 1.14 cm³;地径的变化范围为 1.70—2.83 mm,表现最差的为 MHY1,极差为 1.13;地上干质量的变化范围为 0.34—1.16 g,表现最差的为 HSY3,极差达到 0.82,地下鲜质量的变化范围为 0.26—1.01 g,表现最差的为 HSY3,极差为 0.75;地下干质量的变化范围为 0.05—0.21 g,表现最差的是 HSY3,极差为 0.16;总根长的变化范围为 98.59—222.77 cm,表现最差的是 MHY3,极差达 124.18;总根体积的变化范围为 0.17—1.14 cm³,表现最差的为 HSY3,极差为 0.97;地上鲜质量的变化范围为 1.24—3.90 g,家系 GDY8 表现最好,家系 HSY3 表现最差,极差为 2.66。

表 2 各家系性状的表现及方差分析

家系	苗高/cm	地径/mm	地上鲜质量/g	地上干质量/g	地下鲜质量/g	地下干质量/g	总根长/cm	根体积/cm ³
GDY6	15.15 ± 2.44	2.3 ± 0.42	3.11 ± 0.66	0.54 ± 0.05	0.76 ± 0.09	0.17 ± 0.09	124.35 ± 24.28	0.33 ± 0.11
GDY7	15.2 ± 1.51	2.31 ± 0.25	2.94 ± 0.89	0.5 ± 0.17	0.6 ± 0.2	0.18 ± 0.03	129.1 ± 24.36	0.28 ± 0.12
GDY8	15.94 ± 2.27	2.25 ± 0.55	3.9 ± 1.95	0.67 ± 0.34	1.08 ± 0.53	0.15 ± 0.07	151.33 ± 34.94	0.41 ± 0.21
GDY9	14.19 ± 1.85	1.99 ± 0.22	3.68 ± 1.9	0.82 ± 0.16	1.02 ± 0.53	0.16 ± 0.04	173.48 ± 29.01	0.55 ± 0.1
GDY10	13.38 ± 3.49	1.95 ± 0.12	3.74 ± 2.12	0.67 ± 0.25	1.11 ± 0.61	0.13 ± 0.05	153.24 ± 40.82	0.41 ± 0.14
GDY11	13.58 ± 2.33	2.1 ± 0.49	2.99 ± 0.99	0.64 ± 0.15	0.77 ± 0.21	0.15 ± 0.03	139.42 ± 42.15	0.35 ± 0.07
GDY12	14.06 ± 2.72	1.92 ± 0.48	2.78 ± 0.61	0.59 ± 0.2	0.72 ± 0.15	0.18 ± 0.02	112.08 ± 32.37	0.31 ± 0.18
GDY13	14.14 ± 1.7	2.07 ± 0.2	2.13 ± 1.33	0.43 ± 0.19	0.53 ± 0.25	0.11 ± 0.04	123.83 ± 31.66	0.26 ± 0.15
GDY14	16.08 ± 4.01	2.4 ± 0.59	2.35 ± 0.99	0.47 ± 0.17	0.62 ± 0.18	0.11 ± 0.04	153.81 ± 67.74	0.23 ± 0.07
GJY1	13.32 ± 1.92	1.87 ± 0.18	2.75 ± 0.79	0.72 ± 0.15	0.79 ± 0.22	0.14 ± 0.02	125.48 ± 31.9	0.46 ± 0.08
GLY1	18.22 ± 4.94	2.38 ± 0.26	3.67 ± 1.95	0.79 ± 0.31	0.96 ± 0.54	0.16 ± 0.06	132.56 ± 20.42	0.49 ± 0.12
MHY1	13.08 ± 1.75	1.7 ± 0.2	2.49 ± 0.77	0.64 ± 0.33	0.79 ± 0.38	0.13 ± 0.07	125.82 ± 54.51	0.3 ± 0.15
MHY2	13.58 ± 0.9	1.95 ± 0.23	2.46 ± 0.62	0.74 ± 0.4	0.71 ± 0.23	0.13 ± 0.08	99.21 ± 16.8	0.37 ± 0.1
LYY1	14.96 ± 2.79	2.02 ± 0.22	2.18 ± 1	0.37 ± 0.17	0.59 ± 0.28	0.08 ± 0.04	106.73 ± 30.79	0.21 ± 0.07
YTY2	13.84 ± 2.54	1.76 ± 0.23	1.73 ± 0.93	0.38 ± 0.27	0.49 ± 0.26	0.08 ± 0.05	108.22 ± 29.61	0.21 ± 0.11
YTY3	16.88 ± 0.69	2.02 ± 0.16	2.08 ± 0.34	0.42 ± 0.11	0.51 ± 0.14	0.13 ± 0.04	136.75 ± 21.06	0.21 ± 0.08
MMY2	15.14 ± 3.1	1.89 ± 0.3	2.05 ± 0.64	0.43 ± 0.07	0.4 ± 0.17	0.1 ± 0.02	103.31 ± 17.37	0.2 ± 0.07
HSY2	15.9 ± 3.09	1.96 ± 0.18	2.05 ± 0.77	0.42 ± 0.11	0.57 ± 0.2	0.1 ± 0.03	113.61 ± 37.33	0.26 ± 0.06
HSY3	14.64 ± 2.34	2.03 ± 0.27	1.24 ± 0.44	0.26 ± 0.1	0.34 ± 0.11	0.05 ± 0.02	98.59 ± 13.01	0.17 ± 0.06
GNY1	13.96 ± 2.67	1.79 ± 0.4	1.76 ± 0.71	0.32 ± 0.11	1.11 ± 1.24	0.08 ± 0.03	126.92 ± 33.93	0.77 ± 0.05
SX	15.94 ± 1.67	2.37 ± 0.21	2.86 ± 1.01	0.51 ± 0.18	0.86 ± 0.33	0.1 ± 0.04	158.43 ± 36.51	0.9 ± 0.09
SY	16.44 ± 2.67	2.04 ± 0.25	2.99 ± 0.83	0.71 ± 0.33	0.66 ± 0.08	0.11 ± 0.02	178.68 ± 29.31	0.86 ± 0.21
SH	18.26 ± 1.67	2.83 ± 0.3	3.61 ± 0.69	1.01 ± 0.26	1.16 ± 0.48	0.21 ± 0.07	222.77 ± 31.27	1.14 ± 0.26
GLY3	14.66 ± 1.28	2.34 ± 0.29	2.66 ± 1.69	0.56 ± 0.23	0.77 ± 0.51	0.12 ± 0.06	187.57 ± 45.99	0.9 ± 0.15
总平均	15.02 ± 2.68	2.09 ± 0.38	2.67 ± 1.24	0.57 ± 0.27	0.75 ± 0.43	0.13 ± 0.06	136.89 ± 43.38	0.44 ± 0.29
均方	10.551 *	0.333 * *	2.537 *	0.27	0.161 * *	0.007 * *	4 765.81 * *	0.369 * *
F 值	1.649	3.302	1.941	1.592	3.295	3.011	4.001	22.232

表中数据为平均值±标准差; * 代表结果在 5% 的水平上达到显著水平, * * 代表结果在 1% 的水平上达到极显著水平

对树种的遗传参数进行估算有利于在对其遗传改良的过程中制订相应的策略^[11-14]。由表 3 可知,广义遗传力均在 0.37 以上,最小的为地下干质量,最高的为总根体积(达到了 0.96),这说明福建柏各家系苗期生长状况普遍受到了较强的遗传控制,这为福建柏的遗传改良提供了可靠的保证。

表 3 各性状遗传参数估计

性状	变幅	变异系数/%	H ²
苗高/cm	13.08—18.26	17.84	0.39
地径/mm	1.70—2.83	18.18	0.7
地上鲜质量/g	1.24—3.90	46.44	0.48
地上干质量/g	0.34—1.16	57.30	0.37
地下鲜质量/g	0.26—1.01	47.37	0.7
地下干质量/g	0.05—0.21	46.20	0.67
总根长/cm	98.59—222.77	31.69	0.75
总根体积/cm ³	0.17—1.14	65.90	0.96

2.2 苗期性状的相关性分析

对苗高、地径等 8 个性状的相关性分析见表 4。苗高与地径、总根长存在极显著的相关,与地上鲜质量、总根体积存在显著的相关;地径,地上干、鲜质量,地下干、鲜质量,总根长与总根体积之间均存在极显著的相关,其中,地径除与苗高的相关性较强外,与其余各性状间的相关性均一般,总根体积与地下干质量的相关性一般。

表 4 各性状间的相关系数

性状	苗高	地径	地上鲜质量	地上干质量	地下鲜质量	地下干质量	总根长
地径	0.579 **						
地上鲜质量	0.207 *	0.300 **					
地上干质量	0.153	0.264 **	0.846 **				
地下鲜质量	0.100	0.246 **	0.776 **	0.757 **			
地下干质量	0.129	0.267 **	0.715 **	0.655 **	0.760 **		
总根长	0.321 **	0.379 **	0.496 **	0.492 **	0.605 **	0.514 **	
总根体积	0.199 *	0.302 **	0.462 **	0.572 **	0.569 **	0.367 **	0.644 **

* 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关; ** 表示在 0.01 水平(双侧)上极显著相关

2.3 苗期性状综合评价

对 24 个福建柏优树子代的 8 个生长量进行主成分分析,通过计算各优树子代的综合得分进行苗期优良家系的初选,以 25% 的入选率选出 6 个生长状况良好的家系。从表 6 可以看出,第 1,2,3 主成分

方差累计贡献率达到了 78.23%,即第 1,2,3 主成分包含了各家系 8 个生物量指标 78.23% 的信息,因此可用第 1,2,3 主成分对福建柏优树子代进行综合评价。第 1,2,3 主成分的表达式分别为

$$Y_1 = 0.439X_1 + 0.578X_2 + 0.815X_3 + 0.699X_4 + 0.848X_5 + 0.762X_6 + 0.782X_7 + 0.691X_8$$

$$Y_2 = 0.766X_1 + 0.661X_2 - 0.300X_3 - 0.353X_4 - 0.243X_5 - 0.238X_6 + 0.135X_7 + 0.080X_8$$

$$Y_3 = 0.234X_1 + 0.165X_2 + 0.273X_3 + 0.043X_4 + 0.068X_5 + 0.305X_6 - 0.383X_7 - 0.688X_8$$

其中, X₁ 为苗高, X₂ 为地径, X₃ 为地上鲜质量, X₄ 为地上干质量, X₅ 为地下鲜质量, X₆ 为地下干重, X₇ 为总根长, X₈ 为总根体积。

选取各主成分的贡献率作为计算综合得分的权重,分别为 50.86%, 17.23%, 10.13%。综合评分的计算公式为

$$W = 50.86\% \times Y_1 + 17.23\% \times Y_2 + 10.13\% \times Y_3$$

表 6 生物量指标的特征根与特征向量

	主成分 1	主成分 2	主成分 3
苗高	0.439	0.766	0.234
地径	0.578	0.661	0.165
地上鲜质量	0.815	-0.300	0.273
地上干质量	0.699	-0.353	0.043
地下鲜质量	0.848	-0.243	0.068
地下干质量	0.762	-0.238	0.305
总根长	0.782	0.135	-0.383
总根体积	0.691	0.080	-0.638
特征根	4.069	1.379	0.811
贡献率/%	50.859	17.234	10.133
累计贡献率/%	50.859	68.093	78.226

经计算后各福建柏优树子代的综合得分排名见表 7。

表 7 各家系综合得分与排名

家系	综合得分	排名	家系	综合得分	排名
GDY6	0.215	7	MHY2	-0.506	21
GDY7	0.293	6	LYY1	0.094	13
GDY8	0.167	11	YTY2	-0.346	17
GDY9	-0.485	20	YTY3	0.42	5
GDY10	-0.601	22	MMY2	-0.017	14
GDY11	-0.306	16	HSY2	0.173	10
GDY12	-0.396	18	HSY3	0.209	8
GDY13	-0.019	15	GNY1	-0.421	19
GDY14	0.655	2	SX	0.436	4
GJY1	-0.644	23	SY	0.109	12
GLY1	0.621	3	SH	0.939	1
MHY1	-0.786	24	GLY3	0.197	9

按照 20% 的入选率,综合得分排名前 5 的家系依次为 SH, GDY14, GLY1, SX 和 YTY3。

3 小结

对福建等 4 省 24 个福建柏优树子代进行苗期性状的测定,结果表明:

(1) 福建柏不同优树子代的 1 年生苗木的苗高、地上鲜质量达到显著差异 ($P < 0.05$), 地径、地下干、鲜质量, 总根长和总根体积达到极显著差异 ($P < 0.001$)。地上鲜质量方面表现最优的家系为 GDY8, 表现最差的家系为 HSY3, 其余的 7 个性状方面表现最优的均为家系 SH, MHY1 在苗高和地径方面表现最差, HSY3 在地上干、鲜质量, 地下干、鲜质量, 总根长和总根体积方面均表现最差; 家系 SH 地上鲜质量为 3.61 g, 虽然在所有家系中排名第 5, 但其生物量的积累最大。

(2) 各性状的广义遗传力变化范围为 0.37—0.96, 除苗高与地上干质量外, 广义遗传力分别为 0.37 和 0.39, 其余性状的遗传变异在家系的水平上均受到中等以上遗传力控制, 受环境因素的影响较小; 遗传力最高的性状为总根体积, 变异丰富, 存在改良的潜力。

(3) 福建柏苗高与地径、总根长之间存在极显著的相关, 与地上鲜质量、总根体积间存在显著的相关, 与其余性状相关并不显著; 地径、地上干、鲜质量, 地下干、鲜质量, 总根长与总根体积相互之间存在极显著的相关, 其中, 地径除与苗高的相关性较强外, 相关系数大于 0.5, 与其余各性状间的相关性均一般, 相关系数小于 0.379; 总根体积与地下干质量的相关性一般, 相关系数为 0.367。

(4) 通过对苗高、地径等性状进行主成分分析, 得到能概括所测 8 个性状 78.226% 信息的 3 个主成分, 利用与 3 个主成分相对应的贡献率对各主成分的值进行加权计算, 最后对 24 个家系的综合得分进行排名, 综合得分排名前 5 的家系分别为 SH, GDY14, GLY1, SX 和 YTY3。

良好的表型是优良遗传型的反应, 然而, 苗期表现并不能代表整个树体的生长过程, 只能为福建柏优良家系选育提供早期参考^[15]。本研究所得数据也只是来自对苗期福建柏的观测与测量, 其结论还有待于今后的进一步验证。

参考文献:

- [1] 国家农业部林业局. 国家重点保护野生植物名录 (第一批) [EB/OL]. (1999-08-04). <http://www.forestry.gov.cn/portal/main/s/3094/minglu1.htm>.
- [2] 傅立国. 中国植物红皮书——稀有和濒危植物 (第 1 卷) [M]. 北京: 科学出版社, 1991: 125-126.
- [3] 高兆蔚. 珍贵用材树种——福建柏 [J]. 福建林业科技, 1994, 21(2): 62-66.
- [4] 陈祖松. 福建柏人工林木木材物理力学性质的试验研究 [J]. 福建林学院学报, 1999, 19(3): 223-226.
- [5] 陈存及, 陈伙法. 阔叶树栽培 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2000: 416-419.
- [6] 侯伯鑫, 林峰, 余格非, 等. 福建柏地理种源试验幼林期综合评价 [J]. 南京林业大学学报 (自然科学版), 2006, 30(3): 41-46.
- [7] 郑仁华, 苏顺德, 赵青毅, 等. 福建柏种源生长性状遗传变异及种源选择 [J]. 森林与环境学报, 2014, 34(3): 249-254.
- [8] 李兆丰, 周东雄, 安平. 福建柏变异类型的核型研究 [J]. 林业科学, 1995, 31(3): 215-219, 290.
- [9] 郑仁华, 杨宗武, 施季森, 等. 福建柏优树子代苗期性状遗传变异和生长节律研究 [J]. 林业科学, 2003(S1): 179-183.
- [10] 王润辉, 张伟红, 郑会全, 等. 乐昌含笑多点种源试验与优良种源选择 [J]. 中南林业科技大学学报, 2015(5): 16-21, 34.
- [11] 李帅锋, 苏建荣, 刘万德, 等. 思茅松天然群体种实表型变异 [J]. 植物生态学报, 2013, 37(11): 998-1009.
- [12] 侯伯鑫, 林峰, 程政红, 等. 福建柏地理种源遗传变异及早期选择研究 [J]. 植物遗传资源学报, 2004, 5(2): 179-184.
- [13] 杨宗武, 郑仁华, 侯伯鑫, 等. 福建柏苗期生物量种源间遗传变异及其综合评价的研究 [J]. 林业科学研究, 2003, 16(1): 39-44.
- [14] 王明麻. 林木遗传育种学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2001: 130-134.
- [15] 文卫华, 吴际友, 陈明皋, 等. 红椿优树子代苗期生长表现 [J]. 中国农学通报, 2012, 28(34): 36-39.