

# 日本落叶松自由授粉家系子代测定林分析与选择研究

张正刚, 马建伟, 靳新春, 王海仓, 丁鹏举, 胡勐鸿, 潘春林, 雷曙光

(甘肃省小陇山林业实验局 林业科学研究所, 甘肃 天水 741022)

**摘要:**对日本落叶松自由授粉家系子代测定林生长性状分析和遗传评估,旨在开展二代优树选择,为在甘肃省小陇山建立高世代种子园提供建国材料。研究表明:子代测定林生长性状在家系间及区组间胸径、树高、材积差异极显著。树高、胸径、材积、冠幅之间存在极显著相关。材积、胸径、树高单株遗传力分别为 0.673 5、0.697 2、0.538 2,家系遗传力分别为 0.533 0、0.536 6、0.539 2。材积、胸径单株遗传力大于家系遗传力。以子代测定林材积为基础,兼顾其他性状,采取优良家系和家系内优良单株结合的综合选择方式得到二代优树群体,作为日本落叶松高世代种子园的建国材料。最终选出优良家系 8 个,优良单株 30 株。选出的二代优树材积平均遗传增益为 159.7%。

**关键词:**日本落叶松;自由授粉家系;遗传变异;选择;二代优树;高世代种子园

**中图分类号:**S791.223

**文献标志码:**A

**文章编号:**1001-7461(2013)04-0074-06

## Analysis and Selection of Progeny Test Forest of the Open Pollinated Family of Japanese Larch

ZHANG Zheng-gang, MA Jian-wei, JIN Xin-chun, WANG Hai-cang, DING Peng-ju,  
HU Meng-hong, PAN Chun-lin, LEI Shu-guang

(Research Institute of Forest Science and Technology of Xiaolong Mountain, Tianshui, Gansu 741022, China)

**Abstract:** In order to select plus trees and provide materials for the establishment of advanced generation seed orchard in Xiaolongshan, growth characteristic analysis and genetic evaluation were conducted on the progeny test forest of the open pollinated family of Japanese larch. Most significant differences were observed in the diameter at breast height (DBH), tree height (H), and timber volume (V) among different families and groups. Most significant correlations existed among H, DBH, V, and crown size. The values of individual heritability of V, DBH, and H were 0.673 5, 0.697 2, and 0.538 2, respectively, and the values of relative family heritability were 0.533 0, 0.536 6, and 0.539 2, respectively. Values of individual heritability of V and DBH were higher than those of family heritability. Based on the timber volumes, as well as other traits, secondary generations of plus tree groups were obtained by combined selections of superior family and individual plus trees, which would be used as materials to establish the seed orchard, including 8 families and 30 individual plus trees. The average genetic gains of timber volumes of secondary generation plus tree selected were 159.7%.

**Key words:** Japanese larch; free pollinated family; hereditary variation; selection; secondary generation plus tree; advanced generation seed orchard

日本落叶松(*Larix kaempferi*)在我国引种近 100 a 历史,东北、华北、西北、西南等地均有引种栽培,其干形通直,早期速生,材质优良,树形高大,现已成为我国重要的建筑和纸浆材种<sup>[1-2]</sup>。甘肃小陇

山林业实验局 20 世纪 80 年代引种栽培试验成功,现已发展日本落叶松 14 700 hm<sup>2</sup>。日本落叶松已作为周边地区的主要造林树种进行推广。从 20 世纪 90 年代开始开展日本落叶松第 2 代种子园营建研

究,2004 年从湖北长岭岗的落叶松种子园采集优树种子,2005 年 4 月育苗,1 年生苗换床移栽,培养 1 a 后,2007 年 3 月上山造林,建立子代测定林,为种子园提供了遗传基因资源。同时,以部分子代林为材料开展了日本落叶松自由授粉家系子代生长性状与遗传变异及在家系选择的基础上结合优良单株的方式进行的联合选择,多性状联合选择的研究,为日本落叶松改良与栽培利用提供理论指导<sup>[9-10]</sup>。随着林木遗传改良研究的深入,建立高世代种子园已成为科技发展的必然趋<sup>[12]</sup>。通过对日本落叶松自由授粉家系子代测定林,进行家系的生长性状的遗传变异比较评价,选择出适合当地栽培的优良家系及二代优树,为初级种子园的去劣疏伐、高世代改良提供高质量的育种材料和后续选育提供依据,提升当地日本落叶松造林的良种化水平及良种使用率。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料为日本落叶松无性系自由授粉的种子,种子来源湖北长岭岗种子园优良单株,参试家系 36 个,其中 1 个辽宁岫岩商品种子作为对照,按家系播种育苗,育苗方式和苗期管理同当地商品苗相同。2005 年 4 月育苗,1 年生苗换床移栽,培养 1 a 后,2007 年 3 月上山造林,建立子代测定林。

1.2 试验地概况

试验设在小陇山沙坝林木良种基地小阳沟,海拔 1 560 m,年均气温 7.2℃,极端最高温 32℃,极端最低温-27℃;年均降水量 760 mm;≥10℃有效积温 2 480℃;初霜期 10 月中旬,终霜期 5 月中旬,无霜期 154 d。试验地土壤为石灰岩发育而成棕壤,土壤厚达 1 m 以上,表土疏松,气候特点为夏无酷暑,冬无严寒,适宜温热带许多树种的繁育生长,特别适宜日本落叶生长。

1.3 方法

1.3.1 栽植方式 造林密度 1.5 m×1.5 m,栽植穴 50 cm×50 cm×30 cm。

1.3.2 试验设计 参试家系 36 个,其中 1 个辽宁岫岩商品苗作为对照,2005 年 4 月育苗,2006 年移栽定植培养 1 a,2007 年 3 月上山造林营建,16 个小区,5 次重复,采用随机化完全区组设计。2011 年 11 月进行调查,树龄 7 a。按照实际成活且没有意外损伤的苗木进行检尺,测定树高、胸径新梢生长量、冠幅、适应性等调查。

1.3.3 调查数据分析 以调查获得的家系生长数据,采用 DPS7.05 进行处理,进行家系间、家系内的方差分析、LSD 检验<sup>[11]</sup>。

计算遗传变异(C):

C = \frac{S}{\bar{X}} \times 100\% (1)

式中:S 为标准差, \bar{X} 为平均数。

各性状家系遗传力(h\_f)、单株遗传力(h\_i)<sup>[2]</sup>

h\_f^2 = \frac{\sigma\_f^2}{\sigma\_f^2 + \sigma\_b^2 + \frac{\sigma\_{fb}^2}{b} + \frac{\sigma\_e^2}{nb}} (2)

h\_i^2 = \frac{4\sigma\_f^2}{\sigma\_f^2 + \frac{\sigma\_{fb}^2}{b} + \sigma\_e^2} (3)

式中:\sigma\_f^2、\sigma\_e^2、\sigma\_{fb}^2 分别表示家系、环境和区组的方差分量。

遗传增益(\Delta G)<sup>[21]</sup>:

\Delta G = \frac{R}{\bar{X}} \times 100\% (4)

式中:R = h^2 S。

家系育种值(Z)<sup>[16]</sup>:

Z = Y + C(y - Y) (5)

式中:Z 为家系育种值、Y 为家系总体观察值、y 为家系观察值、C 为校正值。

遗传相关系数(r\_g)<sup>[9]</sup>:

r\_g^2 = \frac{cov(g\_1, g\_2)}{\sqrt{\sigma\_{g\_1}^2 \sigma\_{g\_2}^2}} (6)

式中:\sigma\_{g\_1}^2、\sigma\_{g\_2}^2 为性状 1 与性状 2 的基因型方差, cov(g\_1, g\_2) 为 2 性状的协方差。

单株材积<sup>[22]</sup>:

V = 7.003 \times 10^{-5} D^{1.842\ 792\ 69} H^{0.855\ 872\ 943} (7)

2 结果与分析

2.1 家系生长的遗传变异

2.1.1 不同家系生长性状的差异 家系平均树高、胸径、材积分别为 3.50 m、3.05 cm、0.001 67 m<sup>3</sup>(表 1)。各家系树高变异幅度 3.02~3.85 m,表型变异幅度为 0.83 m,表现最好的是表现差的 1.27 倍以上。胸径变异幅度为 2.38~3.66 cm,表现最好的家系的胸径是表现差的家系的 1.54 倍以上。材积变幅为 0.000 927~0.002 496 m<sup>3</sup>,表现好的家系材积是表现差的家系的 2.69 倍。对照的胸径、树高、材积、冠幅比家系群体表现都差。通过表型选出的优树后代差异大,通过子代测定可选出遗传上真正优良的优树<sup>[23-24]</sup>。

2.1.2 子代林家系生长的变异分析 2011 年 12 月调查了子代林单株数据,进行了方差分析,并估算了相关遗传参数(表 2)。从表 2 可以看出,子代测定林生长性状在家系间及区组间胸径、树高、材积、冠幅等差异极显著或显著。

各性状在家系水平上受到中等强度的遗传控制。冠幅的遗传力较低,说明在家系水平上受到遗传控制较弱。材积、胸径、树高单株遗传力分别为 0.673 5、0.697 2、0.538 2,家系遗传力分别为 0.533 0、0.536 6、0.539 2。材积、胸径单株遗传力大于家系遗传力,树高的单株遗传力小于家系遗传力。材积的变异系数大,说明遗传潜力大。因此,子代林优树选择应考虑在家系选择的基础上结合优良

表 2 家系生长性状变异分析及遗传参数估计

Table 2 Variation analysis of the growth traits and estimation of genetic parameters							
性状	方差组成			变异系数/%	家系遗传力	单株遗传力	遗传分量/%
	区组	家系	机误				
树高	2.190 0**	0.248 0**	0.114 3	6.3	0.539 2	0.538 2	13.5
胸径	0.870 5**	0.404 6**	0.187 1	9.3	0.536 6	0.697 2	17.4
材积	1.66×10 <sup>-6</sup> **	6.42×10 <sup>-7</sup> **	3.0×10 <sup>-7</sup>	23.5	0.533 0	0.673 5	16.9
冠幅	0.293 1*	0.091 9	0.061 6	7.3	0.328 9	0.327 2	8.2

注:\*\*表示在 0.01 水平极显著,\*表示在 0.05 水平显著。表 3 同。

2.2 家系子代性状间相关分析

遗传相关系数是研究数量性状相关变异的一个重要参数,在间接选择和指数选择等方面广泛应用<sup>[22]</sup>。从日本落叶松家系子代生长性状遗传相关结果(表 3)表明:树高、胸径、材积、冠幅之间存在极显著相关。胸径、树高与材积的相关系数较大,而胸

表 3 落叶松家系子代生长性状相关性

Table 3 Correlation among different growth traits					
性状	胸径	树高	材积	冠幅	当年高生长
胸径	1	0.956 1**	0.991 1**	0.778 0**	0.698 3**
树高	0.956 1**	1	0.964 6**	0.769 9**	0.787 9**
材积	0.991 1**	0.964 6**	1	0.777 1**	0.700 0**
冠幅	0.778 0**	0.769 9**	0.777 1**	1	0.559 1*
当年高生长	0.698 3**	0.787 9**	0.700 0**	0.559 1**	1

2.3 聚类分析

试验观察的性状为树高、胸径和冠幅,材积是通过树高和胸径计算出来的。通过指标间主成分分析,筛选出典型指标替代原来所有性状进行聚类分析<sup>[6]</sup>。由表 4 可看出,测算的材积指标作为主成分进行后继聚类可以接受,累计百分率达到 84.5%,可以达到预期的分析效果<sup>[15]</sup>。

表 4 主成分总方差分解

Table 4 Partitioning of total variance of principal analysis			
性状	协方差矩阵特征值		
	特征值	百分率%	累计百分率%
材积	3.378 8	84.469 7	84.469 7
胸径	0.400 0	9.998 8	94.468 5
树高	0.212 3	5.306 8	99.775 3
冠幅	0.009 0	0.224 7	100

2.4 优良家系的选择

优良家系以生长性状为指标进行选择。优良家系生长性状指标以材积作为主要指标,同时兼顾胸

单株的方式进行综合选择<sup>[21]</sup>。

表 1 家系的平均生长表现

Table 1 Growth traits				
类目	H/m	DBH/cm	V/m <sup>3</sup>	冠幅
平均	3.50	3.06	0.001 670	1.83
最大	3.85	3.66	0.002 496	2.21
最小	3.02	2.38	0.000 927	1.57
ck	3.49	2.86	0.001 420	1.77

径与材积相关系数最大为 0.991 1,树高与材积相关次之为 0.964 6,通过树高、胸径间接选择,为提高木材的遗传增益提供较强的可靠性。从环境相关系数可以看出,各性状的相关系数较大,说明性状对环境变化敏感,立地条件好则生长量大,反之则小。

径、树高对参试家系进行初选。将材积、胸径、树高 3 个性状与对照平均值分别加 1.5 倍标准差,大于总体平均值的家系入选(表 5)。

人选的前 7 个家系基本一致,从另一个角度说明了材积、胸径、树高相关程度非常大。以材积作为主要指标,同时兼顾胸径、树高筛选出优良家系有:14、294、301、89、358、母、78、253。

2.5 子代林优良家系相对育种值、遗传增益估算优良单株选择

在遗传变异分析的基础上,考虑材积,同时兼顾胸径、树高等指标,由方差统计和各家系相应遗传力等指标计算出家系遗传增益和育种值,以此选出优良家系 8 个,优良单株 30 株。各优良家系及性状表现见表 6,各优良单株性状表现见表 7。

从选出的各优良家系具有明显的生长优势,其中家系 14 材积遗传增益最大为 43.5%。各优良家系树高、胸径、材积平均遗传增益为 7.5%、10.3%、

表 5 入选家系

Table 5 Selected families

性状		入选家系											
材积	14	294	301	89	358	母	78	253					
胸径	14	294	301	母	89	78	358	253	173	182	185	130	298
树高	14	294	358	78	89	301	母						

表 6 优良家系育种值和遗传增益

Table 6 Breeding values and genetic gains of superior families selectedy

家系	家系相对 育种值	H		DBH		V	
		值/m	增益/%	值/m	增益/%	值/m³	增益/%
14	0.263 4	3.85	8.6	3.66	15.1	0.002 50	43.50
294	0.159 5	3.83	8.3	3.45	11.0	0.002 17	30.90
301	0.153 8	3.79	7.6	3.43	10.7	0.002 15	30.20
89	0.148 2	3.79	7.7	3.40	10.0	0.002 14	29.50
358	0.146 5	3.80	7.8	3.31	8.5	0.002 13	29.30
母	0.144 3	3.76	7.1	3.40	10.1	0.002 12	29.00
78	0.116 7	3.80	7.7	3.35	9.1	0.002 04	25.70
253	0.085 8	3.65	5.3	3.27	7.8	0.001 94	21.90
平均			7.5		10.3		30.00

表 7 优良单株性状表现遗传增益

Table 7 Genetic gains of the growth traits of individual plus tree

序号	编号	V		DBH		H	
		值/m³	增益/%	值/cm	增益/%	值/m	增益/%
1	253-Ⅱ-9	0.007 14	202.5	5.94	64.308 99	4.8	22.3
2	母-Ⅲ-14	0.007 53	200.4	5.94	62.069 96	5.1	26.3
3	253-Ⅱ-4	0.006 91	194.4	5.59	57.025 50	5.3	29.0
4	301-Ⅱ-9	0.007 30	191.2	6.07	64.096 41	4.7	20.5
5	58-Ⅳ-6	0.006 41	181.6	5.49	56.918 17	5.0	25.5
6	294-Ⅰ-13	0.007 00	180.7	5.63	55.064 68	5.3	28.2
7	14-Ⅱ-4	0.007 39	175.5	5.99	59.233 09	4.9	23.3
8	母-Ⅱ-3	0.006 73	175.2	5.64	55.992 42	5.0	24.8
9	183-Ⅱ-1	0.006 58	173.8	5.79	62.906 56	4.6	17.7
10	母-Ⅱ-1	0.006 63	172.0	5.65	56.115 20	4.9	23.4
11	89-Ⅰ-13	0.006 55	168.9	5.61	56.094 31	4.9	23.4
12	78-Ⅰ-16	0.006 27	165.8	5.33	50.292 17	5.2	27.6
13	301-Ⅱ-7	0.006 42	163.8	5.45	51.591 99	5.1	26.2
14	358-Ⅱ-15	0.006 37	163.5	5.28	49.822 01	5.4	30.5
15	78-Ⅰ-15	0.006 11	160.4	5.30	49.710 57	5.1	26.2
16	78-Ⅱ-16	0.006 07	159.2	5.33	50.354 48	5.0	24.8
17	301-Ⅲ-9	0.006 26	158.7	5.48	52.118 92	4.9	23.4
18	14-Ⅰ-13	0.006 42	149.3	5.55	50.845 20	4.9	23.3
19	358-Ⅲ-15	0.005 92	149.2	5.47	53.724 42	4.6	19.1
20	301-Ⅳ-15	0.005 83	145.1	5.22	46.869 91	5.0	24.8
21	358-Ⅱ-1	0.005 79	145.1	5.46	53.514 61	4.5	17.7
22	母-Ⅳ-9	0.005 77	144.8	5.14	45.781 32	5.1	26.3
23	14-V-11	0.006 14	141.8	5.37	47.391 36	5.0	24.7
24	89-Ⅲ-4	0.005 64	140.1	5.22	47.448 03	4.8	22.0
25	89-Ⅲ-14	0.005 54	137.0	5.08	44.437 45	5.0	24.8
26	294-Ⅱ-11	0.005 59	136.9	5.01	42.437 45	5.2	27.5
27	14-V-7	0.005 78	132.0	5.14	43.178 43	5.1	26.1
28	294-Ⅰ-4	0.005 30	128.0	5.05	43.324 99	4.8	21.9
29	14-Ⅰ-11	0.005 60	127.3	5.51	50.048 16	4.3	14.2
30	253-Ⅰ-14	0.004 93	125.9	4.77	39.464 43	5.0	25.3
合计		0.006 26	159.7	5.45	52.072 71	4.9	24.0

30.0%。从表 7 可以看出,选择的优良单株生长表现优异,材积超过 0.004 93 m³、胸径超过 4.77 cm、

树高超过 4.3 m。表现最好的优良单株 253-Ⅱ-9,材积、胸径、树高分别达 0.007 14 m³、5.94 cm、4.8

m,遗传增益分别为 202.5%、64.3%、22.3%。选择出的优良单株材积、胸径、树高平均值为 0.006 26 m<sup>3</sup>、5.45 cm、4.9 m。家系入选率为22.2%，单株入选率为 3.5%。

3 结论与讨论

通过对建立在甘肃小陇山林业实验局沙坝林木良种基地子代林调查分析表明,不同家系在生长性状上树高、胸径、材积间差异极显著。这些差异主要由家系的遗传特性所决定。子代林生长较好,7 年生时平均树高、胸径和材积分别为 3.5 m、3.1 cm 和 0.001 67 m<sup>3</sup>。

通过主成分分析与相关分析,确定材积作为主要性状指标,同时兼顾胸径、树高等指标,采取优良家系和家系内优良单株综合选择相结合的方式进行二代种子园选优<sup>[12,20]</sup>。选出 14、294、301、89、358、母、78、253 等 8 个优良家系。7 年生时平均树高、胸径、材积分别超过 3.8 m、3.4 cm 和0.002 15 m<sup>3</sup>,树高、胸径、材积的平均增益分别超过7.5%、10.3%和 30.0%;选出 253-Ⅱ-9、母-Ⅲ-14、301-Ⅱ-9、294-Ⅰ-13 等 30 个优良单株,7 年生时平均树高、胸径、材积分别超过 4.9 m、5.5 cm 和0.006 26 m<sup>3</sup>,平均遗传增益分别超过 24.0%、52.1%和 159.7%。

初步选出的优良家系、优良单株,表现出明显的生长优势,是优良的种质资源基因,选出的优良单株作为高世代育种和二代园建园材料。据此评选的结果,可作为初级种子园去劣疏伐提供依据。此外,还应对材质、材性、开花结实等特性研究及分子标记辅助育种手段,进一步筛选出花期一致,结实量大,遗传基础广的优树群体,通过大砧或高枝嫁接方式营建产量和遗传品质优良的高世代种子园,创新早结实,丰产和稳产的优良品系。

参考文献:

[1] 中国树木志编委会. 中国树木志[M]. 北京:中国林业出版社, 1983.

[2] 沈熙环. 林木遗传育种学[M]. 北京:中国林业出版社,2001.

[3] 王明麻. 林木育种学概论[M]. 北京:中国林业出版社,1989.

[4] 郑仁华. 杉木种子园自由授粉子代遗传变异及优良遗传型选择[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2006,30(1):8-12.

ZHENG R H. Genetic variations of seed orchard open-pollinated progenies and selection of superior genotypes of Chinese fir [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition,2006,30(1):8-12. (In Chinese)

[5] 罗建勋,吴春艳,王国良,等. 杉木优树自由授粉子代测定及优良家系选择[J]. 西南林学院学报,2009,29(4):1-4.

LUO J X,WU C Y,WANG G L,et al. Half-sib progeny test of plus tree and superior family selection of *Cunninghamia lan-*

*ceolata*[J]. Journal of Southwest Forestry University,2009,29 (4):1-4. (in Chinese)

[6] 郑仁华,邱进清,沈荣贞,等. 杉木优良家系主要生长遗传距离聚类分析[J]. 福建林业科技,1998,25(3):61-64.

ZHENG R H,QIU J Q,SHEN R Z,et al. The cluster analysis of the genetic distance of main growth characters of *Cunninghamia lanceolata* fine families[J]. Journal of Fujian Forestry Science And Technology,1998,25(3):61-64. (in Chinese)

[7] 陈建中,李悦,李国锋,等. 油松优树半同胞家系子代遗传变异与选择[J]. 河南农业大学学报,2006,40(2):146-150.

CHEN J Z,LI R,LI G F,et al. Study on the genetic variations of Half-Sib progeny testing and advanced selections of *Pinus tabulaeformis* [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2006,40(2):146-150. (in Chinese)

[8] 刘永红,杨培华,樊军锋,等. 油松优良家系多性状选择方法研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2006,34(12): 115-120.

LIU Y H,YANG P H,FAN J F,et al. Multi-characteristic selection methods of superior families of *Pinus tabulaeformis* Carr[J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: Natural Science Edition,2006,34(12):115-120. (in Chinese)

[9] 刘永红,杨培华,韩创举,等. 油松优良家系的遗传变异及其综合选择[J]. 中南林业科技大学学报,2007,27(6):21-25.

LIU Y H,YANG P H,HAN C J,et al. Genetic variation and comprehensive selection of superior families of *Pinus tabulaeformis* Carr[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2006,34(12):115-120. (in Chinese)

[10] 周长富,陈宏伟,李桐森,等. 思茅松优树半同胞子代测定林优良家系选择[J]. 福建林业科技,2008,35(3):60-66.

ZHOU C F,CHEN H W,LI T S,et al. Fine families selecting in half-sib progeny of plus-tree of *Pinus kesiya* var. *langbianensis*[J]. Journal of Fujian Forestry Science and Technology,2008,35(3):60-66. (in Chinese)

[11] 张正刚,张宗智,马建伟,等. 36 个落叶松家系苗生长变异规律研究. [J]. 陕西林业科技,2007(3):46-49.

[12] 翁玉榛. 杉木第二代种子园自由授粉子代遗传变异及优良家系选择[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2008,32(1):15-18 .

WONG Y Z. Genetic variations of open-pollinated progenies from the second seed orchard and selection of superior families of Chinese fir[J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition,2008,32(1):15-18 . (in Chinese)

[13] 李光友,徐建民,陆钊华,等. 尾叶桉二代种子园家系选择及遗传评估[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2005,29(6):40-443.

LI G Y,XU J M,LU Z H,et al. Selections and genetic analysis of families in second generation orchard of *Eucalyptus urophylla* [J]. Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition,2005,29(6):40-443. (in Chinese)

[14] 杨秀艳,张守功,孙晓梅,等. 北亚热带高山区日本落叶松自由授粉家系遗传测定与二代优树选择[J]. 林业科学,2010,46 (8):45-50.

YANG X Y,ZHANG S G,SUN X M,et al. Genetic test of open-pollinated *Larix kaempferi* families and selection for

the second generation elite trees in Northern Sub-Tropical Alpine Area[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(8): 45-50. (in Chinese)

[15] 黄开勇,陈代喜,廖忠雄,等. 外源杉木二代种子园子代引种试验研究初报[J]. 广西林业科学, 2003, 32(4): 175-180.

[16] 徐梁. 杉木遗传变异及综合选择研究—第二代种子园半同胞家系 20 年生子代测定结果[D]. 南京: 南京林业大学, 2009.

[17] 侯义梅,李时元,杨年有. 日本落叶松自由授粉家系子代测定林研究[J]. 湖北林业科技, 2006(1): 4-7.

HOU Y M, LI S Y, YANG N Y. Research on provenance test of open-pollinated *Larix kaempferi* family[J]. Hubei Forestry Science and Technology, 2006(1): 4-7. (in Chinese)

[18] 张源润,周全良,梅署光,等. 华北落叶松无性系种子园子代测定研究[J]. 宁夏农学院学报, 2004, 25(4): 8-11.

ZHANG Y R, ZHOU Q L, MEI S G, *et al.* Study on progeny test of clones of seed orchards on *Larix prinnipis-rupprechtii* [J]. Journal of Ningxia Agricultural College, 2004, 25(4): 8-11.

[19] 方海锋,张学天,丁振芳,等. 日本落叶松种子园同胞家系 15 a 生时的观察分析[J]. 吉林林业科技, 2006, 35(2): 12-14.

FANG H F, ZHANG X T, DING Z F, *et al.* Study on half-sib family of seed orchard of *Larix kaempferi* at 15-yr-old[J]. Jilin Forestry Science and Technology, 2006, 35(2): 12-14. (in Chinese)

[20] 孙晓梅,张守功,方奇旺,等. 落叶松自由授粉家系纸浆材材性遗传变异研究[J]. 林业科学研究, 2003, 16(5): 515-522.

SUN X M, ZHANG S G, FANG Q W, *et al.* Genetic variations in pulpwood qualities of open-pollinated Japanese *Larch* families[J]. Forest Research, 2003, 16(5): 515-522. (in Chinese)

[21] 中南林学院. 经济林育种学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2001.

[22] 小陇山林业实验局. 材积计算[M]. 兰州: 甘肃人民出版社, 1997.

[23] 韩家永,张含国,贾庆彬,等. 小兴安岭南杂种落叶松生长变异与家系选择[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(6): 78-82.

HAN J Y, ZHANG H G, JIA Q B, *et al.* Genetic variations in growth traits of juvenile stage hybrid larch in southern Xiaoxing'an Mountains and preliminary selection of superior families[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(6): 78-82. (in Chinese)

[24] 翟文继,麻文俊,王秋霞,等. 楸树苗期优良家系及单株的配合选择[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(3): 68-71.

ZHAI W J, MA W J, WANG Q X, *et al.* Combined selection of excellent families and plus trees of *Catalpa bungei* at nursery stage[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(3): 68-71. (in Chinese)

(上接第 10 页)

[12] 刘闯,胡庭兴,刘文婷,等. 巨桉林草间作模式中牧草的耐阴生理适应性[J]. 应用生态学报, 2008, 19(9): 1911-1916.

LIU C, HU T X, LIU W T, *et al.* Physiological bases of herbages shade-tolerance in *Eucalyptus grandis* and herbage intercultivated system[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(9): 1911-1916. (in Chinese)

[13] 曹军胜,刘广全. 刺槐光合特性的研究[J]. 西北农业学报, 2005, 14(3): 118-122, 136.

CAO J S, LIU G Q. Photosynthetic characteristics of *Robinia pseudoscacia*[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2005, 14(3): 118-122, 136. (in Chinese)

[14] 林树燕,张庆峰,陈其旭,等. 10 种园林植物的耐阴性[J]. 东北林业大学学报, 2007, 35(7): 32-34.

LIN S Y, ZHANG Q F, CHEN Q X, *et al.* Shade-tolerance of ten species of garden plants [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2007, 35(7): 32-34. (in Chinese)

[15] BOARDMAN N K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants[J]. Amn. Rew. Plant Physiol., 1977, 28: 355-377.

[16] 刘玉华,贾志宽,史纪安,等. 旱作条件下不同苜蓿品种光合作用的日变化[J]. 生态学报, 2006, 26(5): 1468-1477.

LIU Y H, JIA Z K, SHI J A, *et al.* Daily dynamics of photosynthesis in alfalfa varieties under dry farming conditions[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(5): 1468-1477. (in Chinese)

[17] FARQUHAR, SHARKEY. Stomatal conductance and photosynthesis[J]. Annu. Rev. Plant Physiol., 1982, 33: 317-345.

[18] 杜占池,杨宗贵. 羊草和大针茅光合作用午间降低与生态因子关系的研究[J]. 自然资源学报, 1990(2): 177-188.

DU Z C, YANG Z G. A study on the relation between the decline in photosynthesis at midday and ecological factors for *Anemolepidum chinese* and *Stipa grandis*[J]. Journal of Natural Resources, 1990(2): 177-188. (in Chinese)

[19] 宋建民,田纪春,赵世杰,等. 中午强光胁迫下高蛋白小麦旗叶的光合特性[J]. 植物生理学报, 1999, 25(3): 209.

SONG J M, TIAN J C, ZHAO S J, *et al.* Photosynthetic characteristics in flag leaves of high protein wheat cultivars under strong irradiance stress around noon[J]. Acta Phytophysiological Sinica, 1999, 25(3): 209. (in Chinese)

[20] SALVUCCI M E, PORTIS A R, OGREN W L. Light and CO<sub>2</sub> response of ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase activation in *Arabidopsis* leaves[J]. Plant Physiol., 1986, 80: 655-659.

[21] 张景光,周海燕,王新平,等. 沙坡头地区一年生植物的生理生态特性研究[J]. 中国沙漠, 2002, 22(4): 350-353.

ZHANG J G, ZHOU H Y, WANG X P, *et al.* Physio-ecological characteristics of annual plants in Shapotou Region [J]. Journal of Desert Research, 2002, 22(4): 350-353. (in Chinese)

[22] 秦舒浩,王娜,张文莉,等. 高温强光胁迫对西葫芦幼苗光合生理特性及荧光参数的影响[J]. 扬州大学学报: 农业与生命科学版, 2011, 32(1): 26-29.

QIN S H, WANG N, ZHANG W L, *et al.* Effects of high temperature and strong light stress on photosynthetic, physiological characteristics and fluorescence parameters of squash seedlings[J]. Journal of Yangzhou University: Agricultural and Life Science Edition, 2011, 32(1): 26-29. (in Chinese)