

华北落叶松优树半同胞家系的子代测定

邢学丁^{1,2},王 莉³,徐 冰⁴,袁德水⁵,王成贺¹,刘振林¹,杨俊明¹,张国君^{1,2*}

(1. 河北科技师范学院 园艺科技学院,河北 昌黎 066600;2. 林木遗传育种国家重点实验室(东北林业大学),黑龙江 哈尔滨 150040;
3. 北京市延庆区第一职业学校,北京 延庆 102100;4. 河北省塞罕坝机械林场,河北 围场 068450;
5. 河北省木兰围场国有林场管理局,河北 围场 068450)

摘 要:选育华北落叶松 2 代优树,为建立高世代种子园提供材料,测定了河北省围场县的 138 个华北落叶松半同胞家系的 34 年生子代林的树高和胸径,并用平均试验形数法计算其立木材积。结果表明,华北落叶松半同胞家系之间存在显著差异,具有较高的选育潜力。半同胞家系的树高、胸径和材积遗传力分别为 0.368、0.447 和 0.429,30% 入选率下以材积为指标选择出了子代生长表现优良的 41 个家系,遗传增益树高、胸径和材积分别为 2.79%、6.99% 和 15.00%。

关键词:华北落叶松;半同胞家系;子代测定;遗传力;遗传增益

中图分类号:S791.22 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2019)02-0129-05

Half-sib Progeny Test of *Larix principis-rupprechtii* Plus tree

XING Xue-ding^{1,2}, WANG Li³, XU Bing⁴, YUAN De-shui⁵, WANG Cheng-he¹, LIU Zhen-lin¹,
YANG Jun-ming¹, ZHANG Guo-jun^{1,2*}

(1. College of Horticulture Science and Technology, Hebei Normal University of Science & Technology, Changli 066600, Hebei, China;
2. State Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding (Northeast Forestry University), Harbin 150040, Heilongjiang, China;
3. Beijing Yanqing No.1 Vocational High School, Yanqing 102100, Beijing, China; 4. Hebei Saihanba Forest Machinery Farm, Weichang 068450, Hebei, China; 5. Mulanweichang National Forestry Administration of Hebei Province, Weichang 068450, Hebei, China)

Abstract: Height and diameter at breast height and volume (with average experimental form-factor method) of 138 trees of half-sib progeny of north China larch (*Larix principis-rupprechtii*) occurring in Weichang County, Hebei Province were measured and calculated to select superior families and trees for advanced generation seed orchard. The results showed that there were significant differences among the half siblings of the larch, which indicated that the variation among the families was rich and had high potential in selective breeding. The heritability of tree height, diameter at breast height and volume were 0.368, 0.447, and 0.429, respectively. Under the selection rate of 30%, 41 superior families by volume were selected. Genetic gain of the superior families were 2.79% for height, 6.99% for diameter at breast height, 15.00% for volume.

Key words: *Larix principis-rupprechtii*; half-sib family; progeny test; heritability; genetic gain

华北落叶松 (*Larix principis-rupprechtii*) 是松科落叶松属高大落叶针叶乔木, 高可达 30 m, 胸径可达 1 m, 适生于高寒气候, 年降雨量 600~900 mm 的山地, 是我国华北山地的主要乡土树种, 分布

在 32°—46°N, 85°—127°E 的广泛区域内^[1]。它生长迅速, 涵养水源、防风固沙效果显著, 因而生态价值较高^[2]; 树干通直、材质坚实良好、耐腐、耐湿、抗弯抗压力强, 也可以作为造纸原材料^[3]。由于其树

收稿日期: 2018-05-19 修回日期: 2018-07-18

基金项目: 林木遗传育种国家重点实验室(东北林业大学)开发基金(K2015202); 河北省高等学校科学技术研究项目(ZD2017034); 河北省自然科学基金(C2018407014); 国家自然科学基金(31400566)。

作者简介: 邢学丁, 男, 在读硕士, 研究方向: 园林植物良种选育与繁育。E-mail: 1286289217@qq.com

* 通信作者: 张国君, 男, 博士, 教授, 硕士生导师, 研究方向: 林木遗传育种。E-mail: zhangguojun-8@163.com

冠呈圆锥形,整齐而俏丽优美,季相多变,春夏青葱,秋季霜后树叶变为金黄,可在较高海拔和较高纬度地区形成美丽的风景林^[4]。

20 世纪 70 年代以来,我国开展了华北落叶松大规模的种源试验^[5]、优树选择^[6]、引种试验^[7],其优良种质资源的遗传增益已得到确认^[8]。子代测定是筛选优良家系或无性系以及为下一代种子园提供优良繁殖材料的重要依据。杨秀艳^[9]等和张正刚^[10]等对日本落叶松自由授粉家系进行了遗传测定和二代优树选择,为湖北等北亚热带山区和甘肃小陇山林区建立第 2 代种子园提供了种质资源;商永亮^[11]等对兴安落叶松种子园 25 年生的 37 个半同胞家系子代测定林进行了调查分析及优良家系选择;李艳霞^[12]等对 19 年生的长白落叶松初级种子园的 37 个家系的树高、胸径和材积进行了调查分析,选出了 10 个优良家系;李帮同和文彦忠^[13]对山西静乐县国家华北落叶松良种基地 20 年生的华北落叶松种子园 70 个半同胞家系子代林进行了调查分析,筛选出了优良家系 25 个,为种子园的升级换代提供了支持。赵士杰^[16]等对围场地区华北落叶松 138 个优树的半同胞家系 7 年生子代林进行了测定,根据株高、胸径和主梢长度初步筛选出来了 32 个优良家系;11 年生时以材积为指标筛选出来了 40 个优良家系^[16]。虽然 11 年生时的 40 个家系包含 7 年生时的 21 个家系,早期选择有一定的可行性,但是树龄越大材积越稳定,为了最终筛选木兰林管局龙头山国家落叶松良种基地的华北落叶松优良家系,并为高世代种子园提供优质的基础材料,本试验对围场地区华北落叶松 138 个优树的半同胞家系 34 年生子代林进行了测定。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在木兰围场林管局龙头山国家落叶松良种基地(42°27'N,117°41'E;1 320 m a. s. l.)。该基地位于河北省围场县道坝子乡查上村,属内蒙古高原与冀北山地的过渡地带,是华北落叶松自然分布区和主要适生区,年平均气温 4.7℃,年日照时数 2 351 h,年降水量 466 mm,无霜生长期为 110 d,土壤为山地棕壤土和黑土,土质肥沃。

1.2 试验材料

试验材料为围场地区华北落叶松 138 份优树自由授粉种子建成的 34 年生半同胞家系子代林,试验地为半阴坡杨桦疏林迹地,试验设计为随机完全区组设计,初植株行距 1 m×2 m,5 株小区,经疏伐后保留 3 株小区,3 次重复,共计 1 242 株。

1.3 试验方法

树高通过测高杆和卷尺测量,胸径使用胸径尺测量离地面 1.3 m 高处树干直径,立木材积采用平均实验形数法通过树高和胸径计算出来,其计算公式如下:

$$V=(H+3)\times G_{1.3}\times f \tag{1}$$

式中, V 为立木材积(m^3); H 为树高(m); $G_{1.3}$ 为胸径处横截面积(cm^2); f 是落叶松平均试验形数其数值为 0.41^[14]。

采用 SPSS20.0 对小区平均值试验数据进行统计,并利用线性模型进行方差分析。

$$Y_{ijk}=\mu+B_i+F_j+\epsilon_{ijk} \tag{2}$$

式中, Y_{ijk} 为第 i 个区组第 j 个家系的第 k 个观测值, μ 是总体平均值, B_i 是区组效应, F_j 是家系效应, ϵ_{ijk} 为误差。

根据方差分析结果计算家系遗传力、遗传增益及家系育种值^[10],其公式如下:

$$h^2=\frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2+\frac{\sigma_{e1}^2}{B}+\frac{\sigma_{e2}^2}{NB}}=\frac{V_1-V_2}{V_1}=1-\frac{1}{F} \tag{3}$$

$$G(\%)=i\times h^2\times\sigma_x\times(\frac{100}{x}) \tag{4}$$

$$Z=Y+C(y-Y) \tag{5}$$

式中, h^2 为家系遗传力, σ_g^2 为家系均方, σ_{e1}^2 为家系×重复均方, σ_{e2}^2 为环境均方, V_1 为家系总方差, V_2 为环境方差; B 为重复数、 N 为小区内株数, $G(\%)$ 为遗传增益, i 为选择强度(根据选择率查正态分布表得), σ_x 为总体标准差, \bar{x} 为群体平均值(树高 m,胸径 cm,材积 m^3); Z 为家系育种值, Y 为家系总体观察均值, y 为单个家系的观察均值, C 为校正值(当 $F>1$,家系数 >4 , $C=1-1/F$, F 为方差的 F 值)。

2 结果与分析

2.1 子代生长差异

138 个半同胞家系子代生长的统计参数表明单株间差异明显(表 1),树高平均值 17.96 m,最大值 20.90 m,最小值 11.55 m;胸径平均值 19.8 cm,最大值 28.9 cm,最小值 12.2 cm;材积平均值 0.270 m^3 ,最大值高达 0.615 m^3 ,最小值 0.059 m^3 。树高、胸径和材积的方差分析也表明,家系间差异显著(表 2)。

2.2 家系遗传力及遗传增益估算

计算得出华北落叶松半同胞家系的树高、胸径和材积遗传力分别为 0.368、0.447 和 0.429(表 3)。以材积为指标,在 30% 入选率下(选择强度 1.16),入选群体的树高、胸径和材积的平均值分别为

18.33 m、21.4 cm 和 0.317 m³(表 4),树高、胸径和材积的遗传增益分别为 2.79%、6.99%和 15.00%(表 3)。在 10%入选率下(选择强度 1.75),入选群体树高、胸径和材积的平均值分别为 18.68 m、22.1 cm 和 0.344 m³,树高、胸径和材积的遗传增益分别为 4.20%、10.54%和 22.63%(表 3)。

表 1 华北落叶松 138 个半同胞家系的树高、胸径和材积参数

Table 1 Parameters of height,DBH and volume of 138 <i>Larix principis-rupprechtii</i> half-sib families			
参数	树高/m	胸径/cm	材积/m ³
平均值	17.96	19.8	0.270
标准误差	0.03	0.1	0.002
标准差	1.17	2.7	0.082
极差	9.35	16.7	0.556
最小值	11.55	12.2	0.059
最大值	20.90	28.9	0.615

2.3 优良家系选择

根据半同胞家系的材积育种值(表 4),在 30%

表 3 华北落叶松家系遗传力及遗传增益

Table 3 Heritability and genetic gain estimate of <i>L. principis-rupprechtii</i> families							
性状	遗传力	群体均值	标准差	30%入选率 选择强度	30%入选率 遗传增益/%	10%入选率 选择强度	10%入选率 遗传增益/%
树高/m	0.368	17.962	1.173	1.16	2.79	1.75	4.20
胸径/cm	0.447	19.825	2.670	1.16	6.99	1.75	10.54
材积/m ³	0.429	0.270	0.082	1.16	15.00	1.75	22.63

3 结论与讨论

华北落叶松 138 个半同胞家系子代在树高、胸径、材积方面均呈现显著差异,这说明半同胞子代的生长性状具有非常大的选择潜力,这与国内外对落叶松半同胞家系子代生长相关研究的结果类似^[8]。34 年生半同胞家系的树高、胸径和材积遗传力估算值分别为 0.368、0.447 和 0.429,树高属于中等强度遗传,胸径和材积属于强度遗传。在 30%入选率下(选择强度 1.16),以材积为指标选出表现优良的华北落叶松半同胞家系 41 个,树高、胸径和材积的遗传增益分别为 2.79%、6.99%和 15.00%;在 10%入选率下(选择强度 1.75),可选出半同胞家系 14 个,树高、胸径和材积的遗传增益分别为 4.20%、10.54%和 22.63%。

长期以来,各种落叶松优树资源均进行了半同胞子代林的多年生测定^[9-13],这不仅指导初级无性系种子园的留优去劣进行疏伐,还可以选择优良无性系建立 1.5 代种子园,或在子代林内选择优良家系内优良单株营建第 2 代种子园。林木育种界认

入选率下,可选出优良的华北落叶松半同胞家系 41 个;在 10%入选率下,可选出优良的半同胞家系 14 个。41 个家系的材积育种值均高于总体家系平均育种值 0.269,其中,前 11 个家系超出总体家系平均育种值的 10%,家系 82 和家系 111 的材积育种值超出平均值 15.61%。

表 2 华北落叶松半同胞家系树高、胸径和材积方差分析

Table 2 Analysis of variance of height,DBH and volume of <i>L. principis-rupprechtii</i> half-sib families						
变异来源	性状	平方和	自由度	均方	F 值	显著性
家系	树高	354.915	137	2.591	1.582	0.001
	胸径	2 121.193	137	15.483	1.809	0.000
	材积	1.960	137	0.014	1.750	0.000
重复	树高	6.516	2	3.258	1.989	0.129
	胸径	88.276	2	44.138	5.156	0.006
	材积	0.090	2	0.045	5.625	0.003
误差	树高	448.772	274	1.638		
	胸径	2 345.664	274	8.561		
	材积	2.157	274	0.008		

为,林龄越大,选择结果越可靠,但鉴于子代测定所需周期长^[15],赵士杰^[16-17]等对落叶松生长性状进行了早晚期相关研究,认为早期选择可行,然后再进行二次选择和终选。本试验中围场地区 7 年生 32 个优良家系和 11 年生 40 个优良家系分别包含 34 年生 41 个优良家系的 12 个和 18 个,也再次证明了终选的必要性和重要性。

落叶松子代测定和优良家系选择时还应该考虑结实性状和子代生长的联合选择^[18-19],注意入选群体遗传多样性^[20]等。另外,在充分利用现有优良资源进行选优的基础上,积极进行落叶松全同胞杂交种子园的营建,创新种质资源^[21-23];在常规育种方法的基础上,结合分子辅助育种,尤其是应用转录组和基因组等方面的遗传信息^[24-25],提高林木育种效率。

参考文献:

[1] 王战.中国落叶松林[M].北京:中国林业出版社,1992.
[2] KOSINSKI G. Empty seed production in European larch (*Larix decidua*) [J]. Forest Ecology and Management, 1987, 19 (1):241-246.

表 4 华北落叶松入选半同胞家系的树高、胸径和材积
Table 4 Height,DBH and volume of selected *L. principis-rupprechtii* half-sib families

序号	家系	树高/m	胸径/cm	材积/m ³	材积育种值
1	82	19.08±0.30	22.6±0.7	0.366±0.021	0.311
2	111	18.39±0.36	23.0±0.8	0.366±0.025	0.311
3	94	18.75±0.41	22.5±0.9	0.357±0.028	0.308
4	60	19.36±0.35	22.1±0.8	0.357±0.024	0.307
5	121	19.15±0.41	22.2±0.9	0.355±0.028	0.307
6	83	18.69±0.55	22.2±1.2	0.348±0.037	0.304
7	75	19.36±0.36	21.7±0.8	0.341±0.025	0.301
8	88	17.34±0.41	22.9±0.9	0.341±0.028	0.301
9	97	18.39±0.35	22.1±0.8	0.340±0.024	0.300
10	106	18.87±0.33	21.9±0.7	0.339±0.023	0.300
11	100	18.29±0.33	21.9±0.7	0.330±0.023	0.296
12	46	18.56±0.30	21.7±0.7	0.329±0.021	0.295
13	54	19.00±0.36	21.0±0.8	0.323±0.025	0.293
14	102	18.24±0.39	21.6±0.9	0.322±0.026	0.292
15	137	18.36±0.36	21.5±0.8	0.320±0.025	0.292
16	103	17.61±0.49	21.8±1.1	0.320±0.033	0.292
17	73	18.42±0.35	21.1±0.8	0.316±0.024	0.290
18	101	18.18±0.35	21.4±0.8	0.314±0.024	0.289
19	91	18.28±0.33	21.3±0.7	0.314±0.023	0.289
20	96	17.56±0.35	21.5±0.8	0.313±0.024	0.288
21	59	18.72±0.36	20.9±0.8	0.311±0.025	0.288
22	119	18.26±0.36	21.2±0.8	0.310±0.025	0.287
23	33	19.15±0.36	20.5±0.8	0.309±0.025	0.287
24	135	18.04±0.33	21.3±0.7	0.308±0.023	0.286
25	66	18.90±0.35	20.8±0.8	0.308±0.024	0.286
26	93	17.97±0.35	21.2±0.8	0.306±0.024	0.286
27	105	17.37±0.45	21.4±1.0	0.303±0.031	0.284
28	122	18.22±0.33	20.8±0.7	0.302±0.023	0.284
29	110	17.94±0.45	20.8±1.0	0.300±0.031	0.283
30	112	18.04±0.41	20.8±0.9	0.300±0.028	0.283
31	114	18.33±0.39	20.8±0.9	0.299±0.026	0.283
32	95	17.65±0.35	21.1±0.8	0.298±0.024	0.282
33	126	18.28±0.32	20.8±0.7	0.298±0.022	0.282
34	74	18.22±0.35	20.8±0.8	0.296±0.024	0.281
35	99	17.81±0.63	20.6±1.4	0.296±0.043	0.281
36	43	17.47±0.49	21.1±1.1	0.295±0.033	0.281
37	98	18.05±0.39	20.8±0.9	0.295±0.026	0.281
38	42	18.67±0.29	20.5±0.7	0.294±0.020	0.280
39	85	18.40±0.36	20.5±0.8	0.293±0.025	0.280
40	65	18.06±0.36	20.7±0.8	0.293±0.025	0.280
41	47	18.26±0.33	20.5±0.7	0.293±0.023	0.280
前 14 个家系平均值		18.68	22.1	0.344	0.302
41 个家系平均值		18.33	21.4	0.317	0.291

[3] 王军辉,马常耕,张守攻,等.华北落叶松生物制浆造纸性能的初步研究[J].河北农业大学学报,2008,31(5):15-18,23.
WANG J H,MA C G,ZHANG S G,*et al.* Study on the biopulping properties of *Prince rupprecht*'s larch[J]. Journal of Agricultural University of Hebei,2008,31(5):15-18,23. (in Chinese)

[4] 孔海燕,温跃戈.优美的园林观赏树木——华北落叶松[J].中国花卉盆景,2002(2):10-11.

[5] 李文荣,齐力旺,郭晋平,等.山西华北落叶松地理种源苗期生长与性状变异的分析[J].山西农业大学学报,1994,14(4):339-345.

LI W R,QI L W,GUO J P,*et al.* Analysis on the seedling growth and character variations in provenances of *Larix principis-rupprechtii* Mayr. in Shanxi Province[J]. Journal of Shanxi Agricultural University,1994,14(4):339-345. (in Chinese)

[6] ZHANG X B,FENG J H,REN J R. Morphological variance and natural types' division of plus trees of *Larix principis-rupprechtii* Mayr.[J]. Journal of Forestry Research,2001,12(2):123-127.

[7] 毛玉琪,张景林,王福森,等.落叶松引种研究[J].林业科学,1998,34(4):48-58.

MAO Y Q,ZHANG J L,WANG F S,*et al.* A study on introduction of larch[J]. *Scientia Silvae Sinicae*,1998,34(4):48-58. (in Chinese)

[8] 马常耕,孙晓梅.我国落叶松遗传改良现状及发展方向[J].世界林业研究,2008,21(3):58-63.

MA C G,SUN X M. Larch genetic improvement and its future development in China[J]. *World Forestry Research*,2008,21(3):58-63. (in Chinese)

[9] 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 second generation elite trees in Northern sub-tropical alpine area [J]. *Scientia Silvae Sinicae*,2010,46(8):45-50. (in Chinese)

[10] 张正刚,马建伟,靳新春,等.日本落叶松自由授粉家系子代测定林分析与选择研究[J].西北林学院学报,2013,28(4):74-79.

ZHANG Z G,MA J W,JIN X C,*et al.* Analysis and selection of progeny test forest of the open pollinated family of Japanese larch [J]. *Journal of Northwest Forestry University*,2013,28(4):74-79. (in Chinese)

[11] 商永亮,张淑华,陈志成,等.兴安落叶松优良家系选择及遗传增益[J].东北林业大学学报,2010,38(7):122-125.

SHANG Y L,ZHANG S H,CHEN Z C,*et al.* Fine family selection and genetic gain of *Larix gmelinii* [J]. *Journal of Northeast Forestry University*,2010,38(7):122-125. (in Chinese)

[12] 李艳霞,周显昌,康迎昆,等.长白落叶松初级种子园优树子代测定及优良家系的选择[J].林业科技,2010,35(4):7-10.

LI Y X,ZHOU X C,KANG Y K,*et al.* The half-sib progeny test on superior plants of *Larix olgensis* primary seed orchard and the selection for superior families [J]. *Forestry Science & Technology*,2010,35(4):7-10. (in Chinese)

[13] 李帮同,文彦忠.华北落叶松单亲本子代测定林遗传变异和选择研究[J].山西林业科技,2015,44(4):16-18,22.

LI B T,WEN Y Z. Study on genetic variation and selection of *Larix principis-rupprechtii* single parent progeny test [J]. *Shanxi Forestry Science and Technology*,2015,44(4):16-18,22. (in Chinese)

[14] 张含国.落叶松 F2 代杂种优势的稳定性研究[J].林业科学,2006,42(1):49-54.

ZHANG H G. Study on heterosis stability of F2 generation of hybrid larch [J]. *Scientia Silvae Sinicae*,2006,42(1):49-54. (in Chinese)

[15] 段丰沛,李春兰,王鹏,等.小陇山林区日本落叶松人工林采伐年龄的确定[J].西北林学院学报,2017,32(6):60-66.

DUAN F P,LI C L,WANG P,*et al.* Establishment of the optimal harvest time of *Larix kaempferi* plantation in Xiaolongshan forest area [J]. *Journal of Northwest Forestry University*,2017,32(6):60-66. (in Chinese)

[16] 程旭,刘英华.华北落叶松种子园子代测定与遗传改良推广研究[J].河北林果研究,2013,28(1):73-77.

CHENG X,LIU Y H. Progeny test and genetic improvement of *Larix principis-rupprechtii* seed orchard [J]. *Hebei Journal of Forestry and Orchard Research*,2013,28(1):73-77. (in Chinese)

[17] 赵士杰,杨俊明,李文治.华北落叶松优树子代测定初报[J].河北林业科技,1988(3):1-5.

[18] LI G L,LIU Y,ZHU Y,*et al.* Influence of initial age and size on the field performance of *Larix olgensis* seedlings [J]. *New Forests*,2011,42(2):215-226.

[19] 王有才,董晓光,王笑山,等.日本落叶松种子园种子产量及结实规律研究[J].林业科学,2000,36(2):53-59.

WANG Y C,DONG X G,WANG X S,*et al.* Study on seed production and fruiting law of seed orchard in *Larix kaempferi* (Lamb.) Carr. [J]. *Scientia Silvae Sinicae*,2000,36(2):53-59. (in Chinese)

[20] 杨俊明,李盼威.华北落叶松无性系结实能力变异与无性系再选择[J].河北科技师范学院学报,2004,18(2):32-35.

YANG J M,LI P W. Genetic variation in seed production and re-selection of clones in seed orchard of *Larix principis-rupprechtii* Mayr. [J]. *Journal of Hebei Normal University of Science & Technology*,2004,18(2):32-35. (in Chinese)

[21] LI H,LINDGREN D. Comparison of phenotype and combined index selection at optimal breeding population size considering gain and gene diversity [J]. *Silvae Genetica*,2006,55(1):13-19.

[22] 方海峰,丁振芳,丁琳琳,等.日本落叶松全同胞子代生长性状的分析[J].辽宁林业科技,2010(3):17-20.

FANG H F,DING Z F,DING L L,*et al.* Analysis of growth characters of full-sib progeny of *Larix kaempferi* [J]. *Journal of Liaoning Forestry Science & Technology*,2010(3):17-20. (in Chinese)

[23] 兰士波.落叶松杂交代子代生长表现及遗传增益研究[J].林业科技开发,2007,21(1):22-25.

LAN S B. Analysis on growth and genetic gain of progenies from larch hybrids [J]. *China Forestry Science and Technology*,2007,21(1):22-25. (in Chinese)

[24] 邓继峰,张含国,张磊,等.17年生杂种落叶松遗传变异及优良家系选择[J].东北林业大学学报,2010,38(1):8-11.

DENG J F,ZHANG H G,ZHANG L,*et al.* Genetic variation of 17-year-old hybrid larch and its superior family selection [J]. *Journal of Northeast Forestry University*,2010,38(1):8-11. (in Chinese)

[25] 赵佳丽,张磊,张素芳,等.基于转录组学测序的长白落叶松材性表达基因[J].东北林业大学学报,2016,44(4):8-12.

ZHAO J L,ZHANG L,ZHANG S F,*et al.* Gene expression of wood properties based on transcriptome of *Larix olgensis* [J]. *Journal of Northeast Forestry University*,2016,44(4):8-12. (in Chinese)

[26] ZHANG Y,ZHANG SG,HAN SY,*et al.* Transcriptome profiling and in silico analysis of somatic embryos in Japanese larch[J]. *Plant Cell Rep.*,2012,31(9):1637-1657.