林业科学研究 2003, 16(5): 515~522
Forest Research

文章编号: 1001-1498(2003)05-0515-08

日本落叶松自由授粉家系纸浆材材性遗传变异的研究*

孙晓梅[1], 张守攻[1], 齐力旺[1], 王军辉[1], 吕守芳[1], 姜英淑[2]
(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091; 2. 北京市林业局种苗站, 北京 100029)

摘要: 对12年生日本落叶松自由授粉子代测定林纸浆材材质性状进行了遗传变异分析、遗传参数估计、相关分析及综合评价和选择。结果表明: 家系间综纤维素含量、基本密度、早材和晚材纤维长度、早材和晚材壁腔比差异极显著或显著, 10 g·L^{-1}NaOH抽出物差异也达10%水平显著。各性状受强度或中等强度的遗传控制, 对日本落叶松进行家系水平的材性改良具有很大的潜力。木材密度与早、晚材壁腔比、10 g·L^{-1}NaOH抽出物呈显著正相关, 与综纤维素含量呈显著负相关, 与早、晚材纤维长度相互独立; 晚材纤维长度与早材纤维长度存在紧密正相关, 纤维长度与早材壁腔比存在显著负相关关系, 与晚材壁腔比、综纤维素含量和10 g·L^{-1}NaOH抽出物相互独立; 综纤维素含量与早材壁腔比呈显著负相关, 与晚材壁腔比相关不显著; 10 g·L^{-1}NaOH抽出物与综纤维素含量、早、晚材壁腔比均相互独立。根据对日本落叶松材质性状的综合评价结果, 选出最适合作纸浆林培育的249、340、346、217和364号家系。

关键词: 日本落叶松; 家系; 材质性状; 遗传变异; 指数评价
中图分类号: S791.233 文献标识码: A

国内外大量研究表明, 不同树种的木材材质性状有着广泛的遗传变异[1~5]。发现并充分利用材质性状的有益变异是林木良种选育的基本任务。与传统的以提高生长速度、改良干形或抗性的育种相比, 纸浆材良种选育除注重速生性状外, 还要着重研究木材基本特性与木材制浆、造纸适应性的关系以便选育出能生产符合各种纸张必备特性的遗传改良材料。

以往对落叶松(*Larix* spp.)自由授粉家系遗传变异的研究, 主要集中在生长性状上, 而对材质性状, 尤其是纸浆材材性研究得较少[6~8]。木材基本密度与纸浆的产量和质量密切相关, 纤维壁腔比和纤维长度是评定木材纤维形态和纸张质量的重要指标, 综纤维素含量和10 g·L^{-1}NaOH抽出物决定纸浆得率、制浆和纸张性能。本文以这5个材性指标为代表, 以12年生日本落叶松(*Larix kaempferi* (Lamb.) Carr.)自由授粉家系子代测定林为对象, 研究日本落叶松自由授粉家系纸浆材材性的变异规律, 通过因子间相关分析及材质性状的综合评价, 为亚热带高山区选出材性优良的家系, 完善落叶松纸浆材制浆造纸适应性评估体系。

收稿日期: 2002-12-25
基金项目: 国家"十五"攻关子专题"落叶松优良品种选育及培育技术"(2002BA515B0401)及科技部863项目"白桦、落叶松优质纸浆专用材新品种培育技术"(2002AA241081)的部分内容
作者简介: 孙晓梅(1968—), 女, 山东胶州人, 助理研究员, 博士.
* 本文经中国林业科学研究院林业研究所王笑山研究员审阅, 特此致谢.

1 材料和方法

1.1 试验林概况

试验林设在湖北省建始县长岭岗林场海拔 1 500 m 以上华山松造林失败的迹地上。该区位于 109°32′ E, 30°06′ N, 地形为高山丘陵, 土壤为石灰岩发育而成的山地棕壤, 年均气温 9 ℃, 年大于 10 ℃积温为 2 200~ 2 300 ℃, 无霜期为 160 d, 降水量 1 500~ 1 800 mm。试验林建于 1988 年, 包括 47 个家系, 自由授粉家系种子来源于内蒙赤峰市旺甸林场种子园, 该种子园母株来自辽宁省所选优树。造林按完全随机区组设计, 4 次重复, 6 株双列小区, 株行距 2 m × 2 m。

1.2 材性取样及测定方法

1998 年春对子代测定林进行材性取样。随机从 47 个家系中选出 15 个家系, 每个家系从 2 ~ 4 重复中选择 3 个单株作为材性测定的样木, 共 135 株。样木进行生长调查后, 在胸高处锯取 10 cm 厚圆盘, 作为材性测定材料。

基本密度采用排水法测定[10]。纤维长度用生物显微镜投影方法分别早、晚材测量, 每试样测定 50 根纤维取平均; 壁腔比采用 Q570 图像分析仪在切片上分别早、晚材测定。10 g•L^{-1} NaOH 抽出物和综纤维素含量分别按照 GB2677.5-81 造纸原料 10 g•L^{-1}NaOH 和 GB2677.10-81 造纸原料综纤维素测定方法进行测定[11]。

1.3 统计分析方法

各材质性状家系方差分析采用线性固定模型(1) 式计算[12~14]:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + F_j + BF_{ij} + e_{ijk} \tag{1}$$

式中, Y_{ijk}为第 i 个区组第 j 个家系的第 k 个观测值; μ 为总体平均值; B_i 表示区组; F_j 表示家系; BF_{ij} 为家系与区组间的交互作用; e_{ijk}表示误差。

各材性因子的单株和家系遗传力采用如下公式计算[13,14]:

$$h_i^2 = 4\sigma_f^2/(\sigma_e^2 + \sigma_{fb}^2 + \sigma_f^2);\ h_f^2 = \sigma_f^2/(\sigma_e^2/nb + \sigma_{fb}^2/b + \sigma_f^2) \tag{2}$$

式中, h_i^2 表示单株遗传力; h_f^2 表示家系遗传力; σ_f^2、σ_e^2、σ_{fb}^2 分别表示家系、环境和区组× 家系的方差分量; n 和 b 分别表示小区株数和区组数。

材质性状间的遗传相关和表型相关系数采用下列公式计算[15]:

$$r_g = COV_{g(x,y)}/\sqrt{\sigma_g x^2 \sigma_g y^2};\ r_p = COV_{p(x,y)}/\sqrt{\sigma_p x^2 \sigma_p y^2} \tag{3}$$

式中, r_g、r_p 分别表示遗传相关系数和表型相关系数; $\sigma_g x$、$\sigma_g y$ 分别表示性状 x 和 y 的遗传标准差; $\sigma_p x$、$\sigma_p y$ 分别表示性状 x 和 y 的表型标准差; $COV_{g(x,y)}$、$COV_{p(x,y)}$ 分别表示材质性状 x 和 y 的遗传协方差和表型协方差。

性状的遗传增益(ΔG) 的估算公式如下[16]:

$$\Delta G = (h_i \sigma_A / \bar{X}) \times 100\% \tag{4}$$

式中, i 表示选择强度, h 表示性状遗传力的平方根。

统计分析时, 综纤维素含量和 10 g•L^{-1}NaOH 抽出物经反正弦变换。方差分析采用 SAS/STAT 6.12 软件包中 PROC ANOVA 过程计算, 各方差分量用 PROC VARCOMP 过程中 TYPE1 方法计算[17]。

2　结果与分析

2.1　家系间和家系内材质性状的变异

由各家系材性指标测定结果的平均值、变幅、变异系数(表 1), 各材质性状在家系水平的分化非常明显。家系间木材基本密度的变异系数为 8.38%, 变幅为 0.34~ 0.39 g•cm^{-3}; 早、晚材纤维长度的变异系数分别为 7.35% 和 6.03%, 变动幅度分别为 3.23~ 3.51 mm 和 3.56~ 3.99 mm; 早、晚材壁腔比的变异系数分别为 9.41% 和 17.39%, 早材壁腔比的变动幅度很小, 但晚材的变幅(0.86~ 1.12) 比较大, 因此日本落叶松壁腔比的选择主要针对晚材; 综纤维素

表 1　12 年生日本落叶松家系材质性状的均值、变幅及变异系数

家系	基本密度			10 g•L^{-1}NaOH 抽出物			晚材纤维长度		
	平均值/(g•cm^{-3})	变幅/(g•cm^{-3})	CV/%	平均值/%	变幅/%	CV/%	平均值/mm	变幅/mm	CV/%
63	0.36	0.40~ 0.31	6.85	13.53	12.28~ 15.39	8.30	3.99	4.27~ 3.76	4.40
131	0.39	0.48~ 0.34	11.31	14.86	13.06~ 16.68	6.97	3.69	3.98~ 3.47	3.90
146	0.39	0.46~ 0.35	9.80	14.01	13.28~ 15.59	5.07	3.86	4.26~ 3.62	5.03
217	0.35	0.44~ 0.31	11.51	13.87	12.83~ 14.98	4.71	3.79	4.21~ 3.40	7.30
224	0.38	0.44~ 0.35	7.61	14.8	12.47~ 16.67	10.17	3.77	4.14~ 3.56	5.47
249	0.35	0.39~ 0.32	5.92	14.34	12.95~ 15.47	6.07	3.79	4.07~ 3.50	4.73
326	0.37	0.39~ 0.33	6.55	14.3	12.84~ 15.82	5.47	3.81	4.26~ 3.58	5.71
331	0.38	0.43~ 0.33	7.92	14.34	12.79~ 16.64	8.15	3.56	3.99~ 2.96	8.00
335	0.36	0.39~ 0.35	4.06	14.31	12.68~ 15.49	5.88	3.69	4.04~ 3.35	5.95
338	0.39	0.43~ 0.34	7.97	13.4	12.09~ 15.69	8.34	3.78	4.06~ 3.46	4.48
340	0.35	0.37~ 0.33	3.99	14.1	12.75~ 15.79	7.96	3.92	4.25~ 3.65	5.10
341	0.35	0.38~ 0.34	4.06	13.7	12.77~ 15.55	6.46	3.66	4.05~ 2.99	8.98
346	0.34	0.37~ 0.31	6.28	12.85	11.30~ 14.44	9.41	3.88	4.19~ 3.71	3.52
349	0.36	0.39~ 0.32	6.11	13.32	11.93~ 14.21	5.63	3.84	4.27~ 3.58	5.44
364	0.38	0.42~ 0.36	5.51	14.96	13.79~ 16.24	6.44	3.73	3.95~ 3.54	4.66
(总体)	0.37	0.48~ 0.31	8.38	14.05	11.30~ 16.68	7.98	3.78	4.27~ 2.96	6.03

家系	综纤维素含量			晚材壁腔比			早材纤维长度		
	平均值/%	变幅/%	CV/%	平均值	变幅	CV/%	平均值/mm	变幅/mm	CV/%
63	68.61	66.59~ 70.59	1.69	1.00	1.16~ 0.84	10.59	3.51	3.89~ 3.21	6.34
131	70.19	68.98~ 72.19	1.55	1.01	1.22~ 0.87	12.71	3.23	3.47~ 2.84	6.65
146	67.65	66.04~ 69.74	1.96	1.08	1.35~ 0.88	15.29	3.43	3.78~ 3.21	5.72
217	71.23	68.83~ 72.46	1.48	0.94	1.08~ 0.79	8.10	3.30	3.73~ 3.06	6.6
224	68.62	66.03~ 71.30	2.65	0.99	1.24~ 0.53	23.1	3.44	3.92~ 3.02	8.56
249	72.49	69.95~ 74.64	2.00	0.86	1.06~ 0.62	15.88	3.45	3.72~ 3.13	4.95
326	70.03	67.65~ 72.23	2.15	1.12	1.38~ 0.85	16.06	3.41	3.64~ 3.24	4.31
331	67.58	64.27~ 70.36	2.90	0.85	1.14~ 0.60	19.12	3.15	3.56~ 2.66	9.95
335	69.66	67.87~ 71.70	1.80	0.98	1.31~ 0.69	21.69	3.23	3.48~ 2.91	6.16
338	70.57	68.53~ 72.03	1.45	0.98	1.10~ 0.90	7.01	3.32	3.54~ 2.70	7.80
340	71.32	69.75~ 73.59	1.65	0.89	1.05~ 0.61	13.84	3.43	3.61~ 3.22	4.04
341	70.15	68.16~ 72.57	1.91	0.95	1.19~ 0.67	18.55	3.08	3.57~ 2.41	11.62
346	71.01	69.72~ 71.93	1.07	0.93	1.08~ 0.69	14.89	3.41	3.71~ 3.31	3.69
349	69.28	67.21~ 71.24	1.63	0.86	1.11~ 0.46	22.96	3.37	3.64~ 2.92	6.65
364	71.54	67.70~ 73.51	2.60	0.91	1.20~ 0.73	15.13	3.39	3.75~ 3.12	5.73
(总体)	69.99	64.27~ 74.64	2.72	0.96	1.38~ 0.46	17.39	3.34	3.92~ 2.41	7.35

注: *CV* 表示变异系数

含量的变异系数较小, 只有 2.72%, 变动范围为 67.65% ~ 72.49%; 10 g• L^{-1}NaOH 抽出物的变异系数为 7.98%, 变动范围为 12.85% ~ 14.96%。与家系间的差异相比, 各性状个体间的差异更大, 如 217 号家系内基本密度的变异幅度为 0.31~ 0.44 g• cm^{-3}, 且各性状在 135 个个体水平上分布范围较广, 基本上呈正态分布(图 1), 说明开展家系内个体选择的潜力更大, 因此, 可以通过无性扩繁的方式对选择的木材综合性状优良的单株加以利用, 以提高遗传改良效果、缩短育种周期。

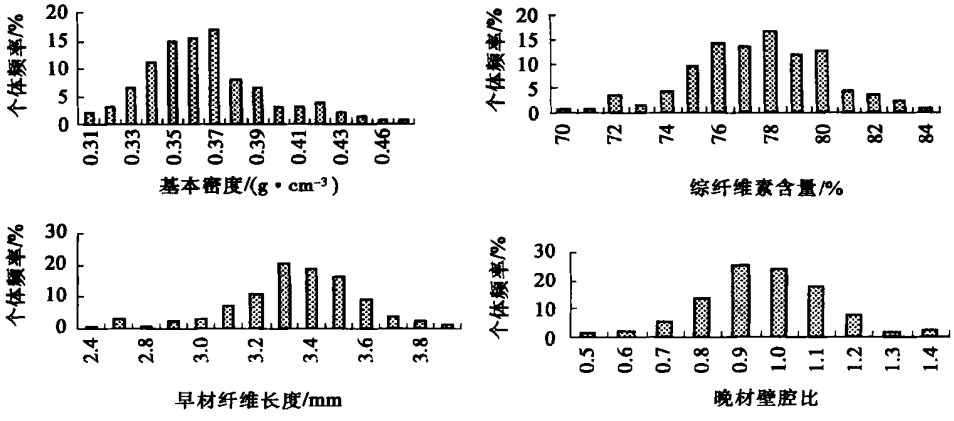

图 1 日本落叶松材质性状的个体频率分布

方差分析结果进一步表明(表 2), 家系间不同材质性状间存在显著差异, 为家系水平上的遗传改良提供了充分的空间。家系间综纤维素含量差异极显著, 基本密度、早材和晚材纤维长度、早材和晚材壁腔比差异显著。由于树木尚处于中幼龄阶段, 各家系 10 g• L^{-1}NaOH 抽出物含量一般较少(只有 14% 左右), 但差异亦达 10% 显著水平。

表 2 日本落叶松自由授粉家系材质性状方差分析结果

性状	区组 f = 2	区组× 家系 f = 28	家系 f = 14	机误 f = 90	家系 F 值	概率 P 值
基本密度	2.99E- 03	9.47E- 04	2.55E- 03	6.45E- 04	2.70	0.012 3
晚材纤维长度	7.44E- 02	4.75E- 02	1.06E- 01	4.46E- 02	2.24	0.034 0
早材纤维长度	1.40E- 01	5.29E- 02	1.35E- 01	4.94E- 02	2.56	0.016 6
综纤维素含量	1.65E- 03	3.31E- 04	3.65E- 03	3.46E- 04	11.03	0.000 1
晚材壁腔比	5.23E- 02	2.48E- 02	5.67E- 02	2.35E- 02	2.29	0.030 2
早材壁腔比	3.05E- 04	1.11E- 04	2.51E- 04	1.36E- 04	2.26	0.032 0
10 g• L^{-1}NaOH 抽出物	2.70E- 05	1.89E- 04	3.39E- 04	7.86E- 05	1.79	0.092 5

2.2 材质性状的遗传参数估计

通过估计性状的遗传参数发现, 各材质性状的家系遗传力为 0.44~ 0.91(表 3), 说明日本落叶松材质性状受中等和中等以上强度的遗传控制, 开展材质性状的家系选择能够取得良好的效果。从方差分量来看, 除了综纤维素含量外其余性状的家系方差远远低于家系内个体间的方差分量, 因此有必要开展优良家系选择基础上的个体选择。这些结论与周志春[6]、郑仁华

和施季森等对马尾松等针叶树研究的结论一致[18~20]。从表型和遗传变异系数来看, 晚材壁腔比的变异系数最大, 达 17.33%, 综纤维素含量的变异系数最小, 只有 3.45%。在入选率为 10% (i= 1.755) 时, 各性状家系遗传增益依次为晚材壁腔比、基本密度、早材壁腔比、早材纤维长度、10 g•L^{-1}NaOH 抽出物、晚材纤维长度和综纤维素含量。

表 **3**　日本落叶松自由授粉家系材质性状的遗传参数估计值

性状	σ_f^2	σ_{fb}^2	σ_e^2	σ_p^2	h_i^2	h_f^2	*CVP*/%	*CVG*/%	ΔG_f	ΔG_i
基本密度	1.79E-04	1.00E-04	6.45E-04	9.24E-04	0.77	0.63	8.30	3.65	9.177	11.217
晚材纤维长度	6.52E-03	9.68E-04	4.46E-02	5.21E-02	0.50	0.55	6.03	2.13	5.822	5.293
早材纤维长度	9.18E-03	1.17E-03	4.94E-02	5.97E-02	0.61	0.61	7.31	2.86	7.821	7.821
综纤维素含量	3.69E-04	0.00E+00	3.46E-04	7.15E-04	1.07	0.91	3.45	2.48	5.506	12.524
晚材壁腔比	3.55E-03	4.26E-04	2.35E-02	2.74E-02	0.52	0.56	17.33	6.23	17.016	15.800
早材壁腔比	1.55E-05	0.00E+00	1.36E-04	1.51E-04	0.41	0.51	9.61	3.08	8.598	6.912
10 g•L^{-1}NaOH 抽出物	1.66E-05	3.69E-05	7.86E-05	1.32E-04	0.50	0.44	8.15	2.89	6.295	7.154

注: ΔG_f、ΔG_i 表示入选率为 10% 时的家系和单株遗传增益; *CVP* 和 *CVG* 表示表型变异系数、遗传变异系数。

2.3　材质性状间的相关分析

各性状的表型相关和遗传相关分析结果(表 4) 表明, 木材密度与早、晚材壁腔比、10 g•L^{-1}NaOH 抽出物均呈显著正相关, 与综纤维素含量之间呈显著负相关, 说明木材密度越大, 早、晚材壁腔比和 10 g•L^{-1}NaOH 抽出物越高, 综纤维素含量反而降低, 因此, 对木材基本密度进行改良虽然可以多获得一定量的干物质, 但也可能降低纸浆材质量或增加制浆难度。木材基本密度与早材、晚材纤维长度之间相互独立。

晚材纤维长度与早材纤维长度呈紧密正相关, 可以根据早材的纤维长度推测晚材纤维长度。早、晚材纤维长度与早材壁腔比之间存在着显著负相关, 说明晚材纤维长度越长早材壁腔比越小。晚材纤维长度与晚材壁腔比、综纤维素含量、10 g•L^{-1}NaOH 抽出物间相关不显著。

综纤维素含量与早材壁腔比之间存在显著负相关, 且这种相关关系主要受遗传因素控制, 与晚材壁腔比呈弱度负向相关, 但不显著。说明选择壁腔比(尤其是早材壁腔比) 小的家系或单株, 有利于提高综纤维素含量。10 g•L^{-1}NaOH 抽出物与综纤维素含量、与早、晚材壁腔比之间均相互独立。

表 **4**　日本落叶松自由授粉家系材质性状间的相关关系

性状	*BD*	FL_1	FL_2	*HC*	W/L_1	W/L_2	*E*
基本密度(*BD*)		-0.861	-0.387	-0.605	0.597	0.606	0.683
晚材纤维长度(FL_1)	-0.163		0.875	0.152	0.133	-0.736	-1.105
早材纤维长度(FL_2)	-0.061	0.823**		0.206	0.018	-0.530	-0.405
综纤维素含量(*HC*)	-0.312*	0.133	0.103		-0.467	-0.964	0.141
晚材壁腔比(W/L_1)	0.326*	0.153	0.186	-0.241		0.578	0.308
早材壁腔比(W/L_2)	0.429**	-0.502**	-0.507**	-0.330*	0.120		0.534
10 g•L^{-1}NaOH 抽出物(*E*)	0.391*	-0.133	0.110	-0.087	0.017	0.018	

注: 对角线以上为遗传相关系数, 以下为表型相关系数。* 表示 5% 水平显著, ** 表示 1% 水平显著。

2.4 日本落叶松材质性状的综合评价

纸浆材性状改良的目标是提高木材基本密度(X_1)、早、晚材纤维长度(X_3、X_2)和综纤维含量(X_4),降低早、晚材壁腔比(X_6、X_5)和 10 g•L^{-1}NaOH 抽出物(X_7)。由于材质性状间的关系十分复杂,为了客观地评价材质的好坏,本文采用 Smitlr-Hazel 综合选择指数[21]来权衡性状间的相互影响,该指数充分考虑了各性状的遗传力、性状间表型相关和遗传相关系数,从而增加了选择的准确性。在构建选择指数时,采用等权法[22]估算各性状的权重,假设各性状表型标准差的单位变化具有相同的重要性,则 7 个性状的权重向量 $W' = (1.0000, 0.1332, 0.1244, 1.1368, -0.1836, -2.4737, -2.6458)$。为了消减指数方程中 X_5、X_6 和 X_7 性状的负面影响,文中还采用 Kempthorne 约束指数法,把某些性状的遗传进展约束为零,以使其它性状获得最大增益。

表 5 日本落叶松不同材质性状配合的约束和无约束选择指数

编号	性状配合及选择指数方程	ΔI
1	$I = -0.2507X_1 + 0.0213X_2 + 0.0360X_3 + 0.6817X_4 - 0.0334X_5 - 0.7439X_6 - 0.4656X_7$	5.27E-02
2	$I = -0.1938X_1 + 0.0060X_2 + 0.0328X_3 + 0.7640X_4 - 0.0243X_5 - 0.6669X_6$	4.87E-02
3	$I = -0.1944X_1 + 0.0023X_2 + 0.0318X_3 + 0.5603X_4 - 0.0162X_5$	3.40E-02
4	$I = -0.1276X_1 + 0.0052X_2 + 0.0302X_3 + 0.4461X_4$	2.73E-02

根据不同性状配合的指数方程 1~4(表 5)计算的各家系指数值进行排序(表 6),认为不同性状配合的指数方程的排序基本一致。综合排名前 5 位的为 249、340、346、217 和 364 号家系。

表 6 日本落叶松自由授粉家系材质性状的综合评价

家系号	性状均值							选择指数			
	基本密度	纤维长/mm		综纤维	壁腔比		10 g•L^{-1}NaOH				
	/(g•cm^3)	晚材	早材	素含量①	晚材	早材	抽出物①	1	2	3	4
249	0.348$^{(12)}$	3.793$^{(7)}$	3.452$^{(2)}$	0.811$^{(1)}$	0.856$^{(2)}$	0.122$^{(2)}$	0.144$^{(9)}$	0.484$^{(1)}$	0.571$^{(1)}$	0.491$^{(1)}$	0.441$^{(1)}$
340	0.347$^{(13)}$	3.917$^{(2)}$	3.433$^{(5)}$	0.794$^{(3)}$	0.886$^{(4)}$	0.119$^{(1)}$	0.141$^{(7)}$	0.478$^{(2)}$	0.56$^{(3)}$	0.481$^{(2)}$	0.434$^{(2)}$
346	0.344$^{(14)}$	3.878$^{(3)}$	3.411$^{(7)}$	0.79$^{(5)}$	0.927$^{(6)}$	0.123$^{(3)}$	0.129$^{(1)}$	0.475$^{(3)}$	0.563$^{(2)}$	0.478$^{(3)}$	0.432$^{(3)}$
217	0.351$^{(11)}$	3.788$^{(8)}$	3.298$^{(11)}$	0.793$^{(4)}$	0.941$^{(7)}$	0.119$^{(1)}$	0.139$^{(6)}$	0.467$^{(4)}$	0.553$^{(4)}$	0.474$^{(4)}$	0.428$^{(5)}$
364	0.384$^{(3)}$	3.733$^{(10)}$	3.391$^{(8)}$	0.798$^{(2)}$	0.911$^{(5)}$	0.127$^{(5)}$	0.15$^{(12)}$	0.454$^{(5)}$	0.546$^{(5)}$	0.474$^{(5)}$	0.429$^{(4)}$
63	0.356$^{(9)}$	3.990$^{(1)}$	3.507$^{(1)}$	0.756$^{(12)}$	0.998$^{(12)}$	0.124$^{(4)}$	0.136$^{(4)}$	0.448$^{(6)}$	0.533$^{(10)}$	0.459$^{(8)}$	0.419$^{(8)}$
338	0.385$^{(2)}$	3.783$^{(8)}$	3.317$^{(10)}$	0.784$^{(6)}$	0.976$^{(9)}$	0.128$^{(6)}$	0.134$^{(2)}$	0.447$^{(7)}$	0.542$^{(6)}$	0.462$^{(7)}$	0.42$^{(7)}$
349	0.357$^{(8)}$	3.841$^{(5)}$	3.372$^{(9)}$	0.765$^{(10)}$	0.864$^{(3)}$	0.133$^{(11)}$	0.134$^{(3)}$	0.445$^{(8)}$	0.539$^{(7)}$	0.462$^{(7)}$	0.418$^{(9)}$
326	0.367$^{(6)}$	3.808$^{(6)}$	3.413$^{(6)}$	0.776$^{(8)}$	1.122$^{(15)}$	0.132$^{(10)}$	0.143$^{(8)}$	0.438$^{(9)}$	0.534$^{(9)}$	0.463$^{(6)}$	0.422$^{(6)}$
341	0.354$^{(10)}$	3.657$^{(13)}$	3.081$^{(15)}$	0.778$^{(7)}$	0.950$^{(8)}$	0.134$^{(12)}$	0.137$^{(5)}$	0.435$^{(10)}$	0.534$^{(8)}$	0.458$^{(9)}$	0.414$^{(10)}$
335	0.364$^{(7)}$	3.691$^{(11)}$	3.228$^{(13)}$	0.771$^{(9)}$	0.978$^{(10)}$	0.131$^{(8)}$	0.144$^{(10)}$	0.432$^{(11)}$	0.527$^{(11)}$	0.456$^{(10)}$	0.414$^{(10)}$
131	0.391$^{(1)}$	3.688$^{(12)}$	3.233$^{(12)}$	0.778$^{(7)}$	1.014$^{(13)}$	0.131$^{(9)}$	0.149$^{(11)}$	0.427$^{(12)}$	0.523$^{(12)}$	0.455$^{(11)}$	0.414$^{(10)}$
224	0.375$^{(5)}$	3.773$^{(9)}$	3.444$^{(3)}$	0.757$^{(11)}$	0.993$^{(11)}$	0.132$^{(10)}$	0.149$^{(11)}$	0.425$^{(13)}$	0.518$^{(13)}$	0.453$^{(12)}$	0.413$^{(11)}$
146	0.391$^{(1)}$	3.861$^{(4)}$	3.434$^{(4)}$	0.743$^{(13)}$	1.078$^{(14)}$	0.129$^{(7)}$	0.141$^{(7)}$	0.417$^{(14)}$	0.508$^{(14)}$	0.441$^{(13)}$	0.405$^{(12)}$
331	0.380$^{(4)}$	3.562$^{(14)}$	3.153$^{(14)}$	0.742$^{(14)}$	0.848$^{(1)}$	0.133$^{(11)}$	0.144$^{(10)}$	0.406$^{(15)}$	0.502$^{(15)}$	0.437$^{(14)}$	0.396$^{(13)}$

注:①表示经数据变换后的均值;各数值的上标序号表示单性状均值排序或指数方程综合排序的序号。

3　结论

日本落叶松自由授粉家系间和家系内个体间的材质性状均具有较大的变异性, 为落叶松材质性状的改良提供了可能。不同家系间的材质性状分化非常明显, 家系间材质性状变异系数的大小依次为晚材壁腔比> 早材壁腔比> 基本密度> 10 g•L^{-1}NaOH 抽出物> 早材纤维长度> 晚材纤维长度> 综纤维素含量; 各性状在个体水平上分布范围较广, 呈正态分布, 而且家系内个体间的变异比家系间的变异还大, 开展优良家系内的优良单株选择的潜力更大, 效果更佳。

家系间综纤维素含量、基本密度、早材和晚材纤维长度、早材和晚材壁腔比差异显著或极显著, 10 g•L^{-1}NaOH 抽出物差异也达 10% 水平显著; 各性状受中等和中等以上强度的遗传控制。在入选率为 10% 时各性状进行选择的遗传增益依次为晚材壁腔比、基本密度、早材壁腔比、早材纤维长度、10 g•L^{-1}NaOH 抽出物、晚材纤维长度和综纤维素含量。

12 年生木材密度与早、晚材壁腔比、10 g•L^{-1}NaOH 抽出物呈显著正相关, 与综纤维素含量呈显著负相关, 与早、晚材纤维长度相互独立, 因此对木材基本密度进行改良虽然可以多获得一定量的干物质, 但也可能降低纸浆材质量或增加制浆难度。早、晚材纤维长度之间存在紧密的正相关, 纤维长度与早材壁腔比存在显著负相关, 与晚材壁腔比、综纤维素含量和 10 g•L^{-1}NaOH 抽出物之间相互独立。早材纤维长度与其它材质性状间的关系基本上和晚材纤维长度与其它性状的关系一致。综纤维素含量与早材壁腔比存在显著负相关, 并受遗传控制, 与晚材壁腔比相关不显著, 因此选择早材壁腔比小的家系或单株, 有利于提高综纤维素含量。10 g•L^{-1}NaOH 抽出物与综纤维素含量、与早、晚材壁腔比均相互独立, 因此可以独立选择综纤维素含量高而早、晚材壁腔比、10 g•L^{-1}NaOH 抽出物含量低的家系以提高纸浆的产量及质量。

根据配合的约束和无约束选择指数方程计算的家系指数值排序, 材质性状综合评价排名前 5 位的为 249、340、346、217 和 364 号家系。

参考文献:

[1] Zebol B J, Talbert B. Applied forest tree improvement[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1984. 376~ 407

[2] Zebol B J, Jett J B. Genetics of wood production[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 337

[3] 姜笑梅 张绮纹. 36 个美洲黑杨无性系基本材性遗传变异的研究[J]. 林业科学研究, 1994, 7(3): 253~ 257

[4] Yanchuk A D, Kiss G K. Genetic variation of growth and wood specific gravity and its utility in the improvement of interior spruce in British Columbia[J]. Silvea Genetica, 1992, 42: 141~ 148

[5] 马常耕. 国外制浆材性状的测定技术[J]. 世界林业研究, 1998, 11(5): 38~ 43

[6] 王义录, 曹福庆. 日本落叶松优良家系选择的研究[J]. 河南林业科技, 1997, 17(1): 9~ 12

[7] 丁振芳. 日本落叶松优良家系选择的研究[A], 见: 张颂云. 主要针叶树种应用遗传改良论文集[C]. 北京: 中国林业出版社, 1990

[8] 王翠华. 落叶松引种栽培试验及各家系间选择的初步研究[J]. 辽宁林业科技, 1991(1): 3~ 8

[9] 周志春, 金国庆. 马尾松自由授粉家系生长和材性的遗传分析及联合选择[J]. 林业科学研究, 1994, 7(3): 263~ 268

[10] 成俊卿. 木材学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995

[11] GB2677. 5-81, 造纸工业产品试验方法[S].

[12] Svensson J C, Mckeand S E, Allen H L, et al. Genetic variation in height and volume of Loblolly Pine open-pollinated families during canopy closure [J]. Silvae Genetica, 1999, 48(3~ 4): 204~ 208

[13] Falconer D S. Introduction to quantitative genetics [M]. New York: Longman Scientific & Technical, 1989. 438
[14] Falconer D S. 数量遗传学导论[M]. 储明星译. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
[15] 高之仁. 数量遗传学[M]. 成都: 四川大学出版社, 1986
[16] 沈熙环. 林木育种学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1990
[17] 高惠璇. SAS 系统 SAS/STAT 软件使用手册[M]. 北京: 中国统计出版社, 1997
[18] 郑仁华, 陈国金. 马尾松家系木材基本密度遗传变异的研究[J]. 西北林学院学报, 2001, 16(4): 6~9
[19] 施季森, 叶志宏. 杉木生长与材性联合遗传改良研究[A]. 见: 沈熙环. 种子园技术[C]. 北京: 北京科学技术出版社, 1987
[20] 张含国, 张殿福. 长白落叶松自由授粉家系生长和材性遗传变异性状相关的研究[J]. 林业科技, 1995, 20(6): 1~5
[21] Cotterill P P, Dean C A. Successful tree breeding with index selection [M]. Melbourne: Print Advisory Service, 1990
[22] Cotterill P P, Fackson N. On index seletion, I: Methods of determining economic weight [J]. Silvae Genetica, 1985, 34(2~3): 56~63

Genetic Variations in Pulpwood Qualities of Open-pollinated Japanese Larch Families

SUN Xiao-mei[1], *ZHANG Shou-gong*[1], *QI Li-wang*[1], *WANG Jun-hui*[1], *LU Shou-fang*[1], *JIANG Ying-shu*[2]
(1. Research Institute of Forestry, CAF, Beijing 100091, China;
2. Seedling Station, Beijing Forestry Bureau, Beijing 100029, China)

Abstract: Genetic parameters and selection index for pulpwood qualities were estimated for 12-year-old open-pollinated families of *Larix kaempferi*. Families differed significantly in holo-celouse, basic density, fiber length of early and late wood, wall/lumen of early and late wood, and also differed in 10 g•L^{-1}NaOH extract on 10% level. Heritabilities showed that all these wood qualities were strongly or moderately controlled by gene, which suggested that there were great potential to conduct the families' selection of pulpwood qualities. Correlations between basic density and wall/lumen of early and late wood, and 10 g•L^{-1}NaOH extract were positively high, and holo-celouse was negatively high, and it was independent with fiber length of early and late wood. Fiber length of late wood was positively correlated with fiber length of early wood, while negatively correlated with wall/lumen of early wood, and was independent with wall/lumen of late wood, holo-celouse and 10 g•L^{-1}NaOH extract. Holo-celouse was negatively correlated with wall/lumen of early wood, and was independent with wall/lumen of late wood. 10 g•L^{-1}NaOH extract were independent with holo-celouse, wall/lumen of early and late wood. According to the value of selection index of 15 families, the best families for pulpwood purpose were 249, 340, 346, 217 and 364.

Key words: *Larix kaempferi*; open-pollinated families; wood qualities; genetic variations; index selection