

落叶松种间及其杂种生长与形质性状评价研究

陈东升, 孙晓梅*, 张守攻

(中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091)

摘要: [目的]通过对落叶松种间及其杂种生长与形质性状评价来定向选育优良落叶松建筑材。[方法]以辽宁省大孤家林场 32 年生的落叶松试验林为实验材料,对落叶松属日本、兴安、长白及华北 4 个落叶松种,及以日本落叶松为母本的本日本×兴安、日本×华北、日本×长白、日本×日本杂种的生长和形质性状进行变异规律分析,并采用模糊数学隶属函数对其差异显著指标进行综合评价。[结果]表明:落叶松种和杂种间生长差异显著($p < 0.01$),杂种胸径、树高和材积总生长量与母本差异不显著,却显著高于相应父本;杂种之间的生长差异体现在林分的前 10 年,随着林龄的增大优势逐渐减退;树冠特征因子中的枝下高、冠长、枝条直径、长度、角度和干形特征因子中的高径比、树干圆满度、节子直径、长度、角度在落叶松种和杂种间差异显著。基于上述指标进行了生长和形质性状综合评价,排名前三位的分别为日本×兴安、日本×长白和日本落叶松。32 年生时日本×兴安的胸径、树高和材积分别为 18.69 cm、21.62 m 和 0.339 2 m³;日本×长白的为 18.44 cm、23.85 m 和 0.339 6 m³;日本落叶松的为 19.36 cm、21.31 m 和 0.335 7 m³;而且它们在适应性上也具有明显优势。[结论]日本×兴安、日本×长白和日本落叶松适合作为定向培育建筑材的优良品种在东北地区重点推广。

关键词: 落叶松; 种和杂种; 生长性状; 形质性状; 综合评价

中图分类号: S791.22

文献标识码: A

Evaluation on Growth and Stem Form Characteristics of Species and Hybrids of *Larix* spp.

CHEN Dong-sheng, SUN Xiao-mei, ZHANG Shou-gong

(Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: The aim of this study is to breed excellent larch timber as building material by evaluating the growth and stem form characteristics of larch species and their hybrids. This study was carried out in a 32-year-old larch experimental forest in Qingyuan County, Liaoning Province. The growth and stem form characteristics of 4 larch species (*Larix kaempferi* Carr, *L. gmelinii* Kuzen, *L. olgensis* Henry and *L. principis-rupprechtii* Mayr) and 4 hybrids (*L. kaempferi* Carr × *L. gmelinii* Kuzen, *L. kaempferi* Carr × *L. principis-rupprechtii* Mayr, *L. kaempferi* Carr × *L. olgensis* Henry, and *L. kaempferi* Carr × *L. kaempferi* Carr), were analyzed and the differences was evaluated comprehensively using the membership function based on Fuzzy mathematics. The results showed that the growth properties of larch species and hybrids had significantly differences ($p < 0.01$), there were no significant differences between the larch hybrids and their female parent in the increments of diameter of breast height (DBH), tree height, and volume, but between the hybrids and their male parent. The difference in the growth of larch hybrids embodied in the initial 10 years after planting, and the advantage gradually decreased with the stand age increasing.

收稿日期: 2015-01-13

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划课题“北方针叶树种高世代育种技术研究示范(2012BAD01B01)”, 国家自然科学基金青年项目(31300536)共同资助。

作者简介: 陈东升,男,1982 年 8 月生,中国林业科学研究院林业研究所,助理研究员,主要从事人工林培育与经营

* 通讯作者: 中国林业科学研究院林业研究所, 研究员

The height under branch, crown length, branch diameter, length, angle in crown characteristic factor and ratio of height to diameter, stem fullness, knot diameter, length, angle in stem characteristic factor had significantly differences among larch species and hybrids. The comprehensive evaluation based on the growth and stem form properties indicated that *L. kaempferi* × *L. gmelinii*, *L. kaempferi* × *L. olgensis*, and *L. kaempferi* were respectively ranked the first three. They had the obvious advantage in growth and stem form characteristics, were suitable to be promoted as good varieties in the northeast area of China.

Key words: *Larix* spp.; species and hybrids; growth characteristics; stem form characteristics; comprehensive evaluation

落叶松(*Larix* spp.)由于其具有生长快、价值高和抗逆强等优良特性,得到了广泛的推广和应用,已成为我国主要的速生用材造林树种之一,目前人工林面积已达到314万公顷,因此如何提高落叶松人工林的林木品质已成为一个重要课题。良种选育是提升林木品质的源头,由于林木生长周期长,种间在生长、形态和材性等方面存在着极大的自然变异,因此良种选育的前提就是要掌握林木在生长周期中存在的性状变异。只有通过长期对种内和杂种表型性状的变异研究,才能掌握其遗传变异规律,提升遗传改良的潜力^[1]。通过对树木表型性状变异规律来计算遗传参数,开展优良家系和无性系的选育工作已被国内外学者广泛应用,Doede和Adams^[2]研究了11年生的冷杉家系林树木材积、干形和枝条特征遗传变异规律,Hai等^[3]分析了4年生130个金合欢无性系生长、干形和枝条特征的遗传变异规律,Codesido和Fernández-López^[4]对3年生辐射松生长活力、干形和枝条特征的遗传参数进行了估计。上述研究都表明不同种、家系和无性系生长过程中在干形、材性和枝条特征方面有明显的性状变异。落叶松种和杂种间也存在着明显的性状变异,主要体现在物候、生长、干形、材性等方面^[5-11]。然而以往对生长和形质性状的研究主要集中在幼、中龄林阶段,并不能表明一个生长周期中种与杂种间生长与形质特征的变异规律,而成熟林分生长、形质性状的遗传变异规律的研究对于开展建筑材、大径材良种选育具有更重要的指导意义。因此本文以此为切入点,以辽宁省清源县大孤家林场32年生的落叶松种及杂种对比试验林为研究对象,对落叶松种和杂种间的生长特征(胸径、树高和材积)、树冠特征(冠幅、冠长和枝条因子)、干形特征(高径比、树干圆满度、节子)等性状进行变异规律分析,同时应用隶属函数法对落叶松种和杂种间的生长和形质性状进行综合评价,以期为落叶松生长、形质性状改良及良种

选育提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验林营造于1977年,面积0.63 hm²,各处理采用平行对比设计,株行距2 m × 2 m。造林地为果园皆伐迹地。试验林共包括日本落叶松(*Larix kaempferi* Carr)、长白落叶松(*Larix olgensis* Henry)、兴安落叶松(*Larix gmelinii* Kuzen)、华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii* Mayr)4个种,以及日本落叶松 × 日本落叶松(*Larix kaempferi* Carr × *Larix kaempferi* Carr)、日本落叶松 × 长白落叶松(*Larix kaempferi* Carr × *Larix olgensis* Henry)、日本落叶松 × 兴安落叶松(*Larix kaempferi* Carr × *Larix gmelinii* Kuzen)、日本落叶松 × 华北落叶松(*Larix kaempferi* Carr × *Larix principis-rupprechtii* Mayr)4个杂种家系。于2007年春季对试验林进行全面测定(包括胸径、树高、冠幅、枝下高等因子),并根据测定结果在每个种和杂交组合中选取3~4解析木,伐倒进行树干解析(截取圆盘测定生长量),枝条特征主要测定的因子为枝方位角、枝条角度、枝条直径、枝条长度、枝条着生位置等;干形特征主要考虑高径比、树干圆满度、节子角度、节子直径、节子长度等指标,其中节子为枝条死亡后保留在树干的一部分,其对木材质量影响较大,各特征指标测定比较困难,主要应用手工油锯剖析节子的分析技术^[12]。各落叶松种和杂种解析木因子统计见表1。

1.2 分析方法

1.2.1 描述树木形质特征指标的计算方法

(1) 树干圆满度

采用1/2树高处的材积($V_{1/2}$)与相同高度的以胸径为直径的标准圆柱体的体积($V_{1.3}$)之比来反映1/2高度以下的圆满度(Rd)^[7,13],用公式表示为:

$$Rd = \frac{2(G_{1/2} + G_{1.3})}{\pi D_{1.3}^2}$$

表1 落叶松种和杂种解析木基本因子统计表

| 落叶松种和杂种 | 胸径/cm | 树高/m | 冠幅/m | 枝下高/m |
|-------------|------------|------------|-----------|------------|
| 日本落叶松×华北落叶松 | 20.13±1.59 | 22.45±0.57 | 4.01±0.58 | 11.75±3.86 |
| 日本落叶松×兴安落叶松 | 20.13±1.18 | 22.70±1.28 | 3.88±1.50 | 14.75±0.50 |
| 日本落叶松×日本落叶松 | 19.73±0.26 | 22.65±1.37 | 3.33±0.43 | 15.75±0.50 |
| 日本落叶松×长白落叶松 | 20.30±0.16 | 24.44±0.63 | 3.65±0.52 | 14.40±1.52 |
| 华北落叶松 | 15.90±0.53 | 15.48±3.04 | 3.55±0.48 | 6.67±3.51 |
| 日本落叶松 | 21.63±0.53 | 21.98±1.15 | 3.78±0.51 | 14.50±1.73 |
| 长白落叶松 | 14.60±0.73 | 11.22±0.48 | 3.85±0.45 | 4.7±1.11 |
| 兴安落叶松 | 14.80±1.03 | 14.80±0.62 | 4.55±0.55 | 3.5±0.93 |

式中: $G_{1/2}$ 和 $G_{1.3}$ 分别表示1/2树高处和胸高处的断面积, $D_{1.3}$ 表示胸径。

(2) 树冠圆满度

树冠圆满度是树木冠幅与其树冠长度之比^[14],公式可表示为:

$$CD = \frac{cw}{cl}$$

式中: CD 表示树冠圆满度, cw 表示冠幅, cl 表示冠长。

1.2.2 隶属函数综合评定方法 依模糊数学中隶属函数法^[15],对各指标求隶属值,并累加取平均,综合比较各落叶松种和杂种生长和形质性状的优劣。各指标隶属值计算公式:

$$\text{隶属值} = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \times 100\%$$

式中, X 为某种某指标的测定值, X_{\max} 为所有种该指标测定值的最大值, X_{\min} 为该指标中的最小值。若某指标与性状呈反向关系,可通过反隶属函数计算其隶属函数值:

$$\text{隶属值} = [1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})] \times 100\%$$

1.2.3 数据统计分析方法 数据计算与分析应用Excel和SAS 9.12软件包中PROC GLM程序模块进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 生长特征分析

生长是表现树木潜力最重要的因子,对落叶松4个种(长白、兴安、华北和日本)和4个杂种(日本×长白、日本×兴安、日本×华北和日本×日本)的整个生长过程(32年)进行分析发现:在落叶松种和杂种间胸径、树高和材积生长存在着明显的变异规律,32年生时落叶松种和杂种间胸径、树高和材积的变化幅度分别为12.51~19.36 cm、10.85~23.85 m和0.072 7~0.339 6 m³(表2和图1A、B、C)。经方差分析得出落叶松种间胸径、树高和材积

总生长量差异极显著($p < 0.01$)(表1),日本落叶松32年生时胸径、树高和材积总生长量分别为19.36 cm、21.31 m和0.335 7 m³,显著大于其他3个种,比长白高出6.35 cm、10.46 m、0.263 m³;比兴安高出6.85 cm、7.44 m、0.249 m³;比华北高出5.72 cm、6.12 m、0.224 m³。杂种日本×长白、日本×兴安、日本×华北之间胸径、树高和材积总生长量与母本差异不显著,却显著高于相应父本(表2),日本×长白比父本长白高5.43 cm、13.0 m、0.267 m³,日本×兴安比父本兴安高6.18 cm、7.75 m、0.25 m³,日本×华北比父本华北高3.76 cm、6.16 m、0.16 m³。表明日本落叶松及以其为母本的本日本×长白、日本×兴安、日本×华北杂种表现出明显的生长优势。

为了进一步掌握落叶松种和杂种从早期到晚期生长规律的变异情况,我们按5年的年龄段将胸径、树高和材积生长过程分解,结果发现:落叶松杂种之间的胸径、树高和材积在生长前期(10年前)有差异性表现,10年后杂种间生长表现没有明显差异,但杂种日本×长白、日本×兴安、日本×华北和母本日本落叶松从生长早期开始就明显好于父本兴安、长白和华北,其生长优势一直持续到32年(图1、表2)。以上研究表明杂交对生长性状具有较强的遗传改良潜力,显著提高树木生产力,但杂种之间的生长优势只体现在生长前期,随着年龄的增长,生长优势逐渐减退。从胸径、树高和材积三因子的生长表现来看,日本×兴安、日本×长白和日本落叶松是三个落叶松生长优良品种。

2.2 树冠特征分析

经方差分析得出,枝下高、冠长和枝条直径、长度和角度在种和杂种之间差异显著;而冠幅、树冠圆满度在落叶松种和杂种间差异不显著(表3)。通过计算也得出枝下高、冠长、枝直径、枝长度和枝角度单株遗传力分别为0.41、0.32、0.52、0.58、0.62,家系遗传力分别为0.37、0.29、0.41、0.46、0.53,表明

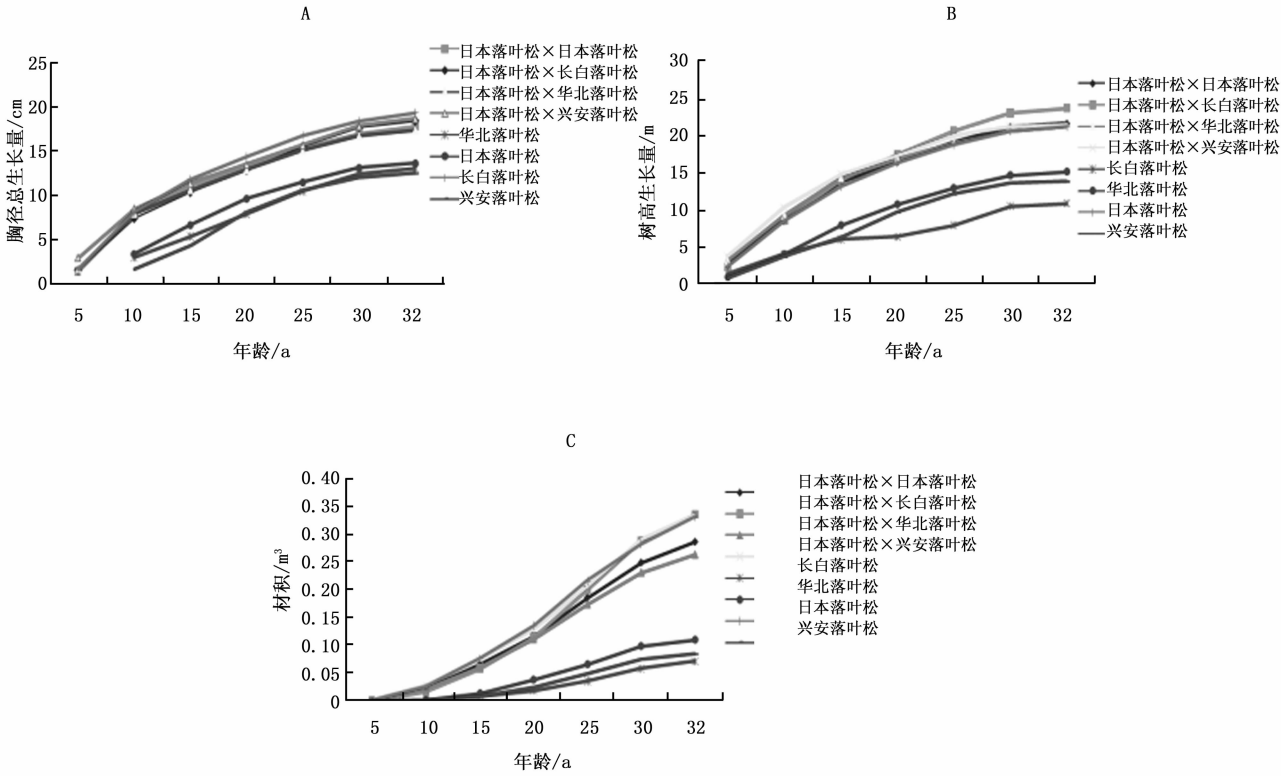


图1 落叶松种和杂种胸径、树高和材积变化规律(图A、B、C)

表2 落叶松种和杂种胸径、树高和材积生长分析

| 胸径/cm | 树高/m | 材积/m ³ | 年龄/a | 日本 × 日本 | 日本 × 长白 | 日本 × 华北 | 日本 × 兴安 | 长白 | 华北 | 日本 | 兴安 | 均方 | 误差 | F 值 |
|-------|------|-------------------|------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------|-----------|----------|
| 5 | 5 | 5 | 5 | 1.29 | 1.43 | 1.55 | 2.85 | NS | NS | 1.56 | NS | 1.477 8 | 0.734 6 | 2.01 |
| 10 | 10 | 10 | 10 | 7.86 ^A | 7.38 ^A | 7.89 ^A | 8.45 ^A | 2.91 ^{BC} | 3.34 ^B | 8.10 ^A | 1.60 ^C | 15.120 8 | 0.659 8 | 22.92 ** |
| 15 | 15 | 15 | 15 | 11.05 ^A | 10.33 ^A | 10.58 ^A | 11.36 ^A | 5.31 ^{BC} | 6.62 ^B | 11.85 ^A | 4.26 ^C | 16.636 2 | 0.657 1 | 25.32 ** |
| 20 | 20 | 20 | 20 | 13.16 ^A | 12.87 ^A | 12.92 ^A | 13.49 ^A | 7.84 ^C | 9.62 ^B | 14.37 ^A | 8.03 ^{BC} | 12.508 0 | 0.638 2 | 19.6 ** |
| 25 | 25 | 25 | 25 | 15.33 ^B | 15.51 ^B | 15.10 ^B | 15.71 ^{AB} | 10.42 ^C | 11.47 ^C | 16.82 ^A | 10.56 ^C | 13.353 8 | 0.353 9 | 37.73 ** |
| 30 | 30 | 30 | 30 | 17.00 ^B | 17.68 ^{AB} | 16.72 ^B | 17.82 ^{AB} | 12.35 ^C | 13.18 ^C | 18.46 ^A | 11.99 ^C | 14.226 5 | 0.405 9 | 35.04 ** |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 17.81 ^B | 18.44 ^{AB} | 17.40 ^B | 18.69 ^{AB} | 13.01 ^C | 13.64 ^C | 19.36 ^A | 12.51 ^C | 16.072 1 | 0.515 0 | 31.2 ** |
| 5 | 5 | 5 | 5 | 2.57 ^{AB} | 2.21 ^{ABC} | 3.00 ^A | 3.57 ^A | 1.25 ^{BCD} | 0.90 ^{CD} | 2.32 ^{ABC} | 0.65 ^D | 2.612 3 | 0.453 4 | 5.76 ** |
| 10 | 10 | 10 | 10 | 8.48 ^B | 8.46 ^B | 9.22 ^{AB} | 10.24 ^A | 3.97 ^C | 3.94 ^C | 8.44 ^B | 3.56 ^C | 16.255 0 | 0.442 5 | 36.73 ** |
| 15 | 15 | 15 | 15 | 13.81 ^A | 14.04 ^A | 14.33 ^A | 14.78 ^A | 6.24 ^B | 7.90 ^B | 13.15 ^A | 6.00 ^C | 28.115 4 | 0.760 4 | 36.97 ** |
| 20 | 20 | 20 | 20 | 16.55 ^A | 17.54 ^A | 16.91 ^A | 17.36 ^A | 6.33 ^C | 10.77 ^B | 16.42 ^A | 9.65 ^B | 33.084 4 | 1.132 2 | 29.22 ** |
| 25 | 25 | 25 | 25 | 19.17 ^A | 20.73 ^A | 19.11 ^A | 20.07 ^A | 7.92 ^C | 13.02 ^B | 18.82 ^A | 12.13 ^B | 38.656 8 | 1.985 7 | 19.47 ** |
| 30 | 30 | 30 | 30 | 21.33 ^A | 23.18 ^A | 20.77 ^A | 21.33 ^A | 10.47 ^C | 14.75 ^B | 20.68 ^A | 13.59 ^B | 39.007 9 | 2.136 5 | 18.26 ** |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 21.83 ^A | 23.85 ^A | 21.35 ^A | 21.62 ^A | 10.85 ^C | 15.19 ^B | 21.31 ^A | 13.87 ^B | 40.536 0 | 2.245 7 | 18.05 ** |
| 5 | 5 | 5 | 5 | 0.001 5 | 0.000 8 | 0.000 9 | 0.002 1 | NS | NS | 0.001 3 | NS | 1.05E -06 | 4.71E -07 | 2.23 |
| 10 | 10 | 10 | 10 | 0.021 5 ^{AB} | 0.017 8 ^B | 0.021 7 ^{AB} | 0.027 7 ^A | 0.002 4 ^C | 0.002 5 ^C | 0.025 5 ^{AB} | 0.001 9 ^C | 0.000 3 | 0.000 01 | 21.07 ** |
| 15 | 15 | 15 | 15 | 0.067 3 ^{AB} | 0.059 27 ^B | 0.067 3 ^{AB} | 0.076 7 ^A | 0.008 7 ^C | 0.014 4 ^C | 0.077 5 ^A | 0.007 9 ^C | 0.001 9 | 0.000 05 | 36.71 ** |
| 20 | 20 | 20 | 20 | 0.117 8 ^{AB} | 0.117 3 ^{AB} | 0.113 1 ^B | 0.131 0 ^{AB} | 0.019 5 ^C | 0.038 6 ^C | 0.137 7 ^A | 0.024 9 ^C | 0.005 1 | 0.000 1 | 44.25 ** |
| 25 | 25 | 25 | 25 | 0.188 4 ^{AB} | 0.202 5 ^{AB} | 0.176 6 ^B | 0.209 3 ^{AB} | 0.036 6 ^C | 0.066 6 ^C | 0.219 ^A | 0.050 4 ^C | 0.012 2 | 0.000 3 | 34.19 ** |
| 30 | 30 | 30 | 30 | 0.252 0 ^A | 0.291 5 ^A | 0.234 8 ^A | 0.294 8 ^A | 0.059 6 ^B | 0.100 1 ^B | 0.286 7 ^A | 0.076 5 ^B | 0.021 3 | 0.001 1 | 18.03 ** |
| 32 | 32 | 32 | 32 | 0.289 9 ^A | 0.339 6 ^A | 0.267 5 ^A | 0.339 2 ^A | 0.072 7 ^B | 0.111 3 ^B | 0.335 7 ^A | 0.086 1 ^B | 0.029 3 | 0.001 8 | 15.83 ** |

注: ** 表示极显著差异, * 表示显著差异, 大写字母不同表示差异极显著, NS 表示无数据, 下同。

这些因子都受到一定的遗传控制。枝下高在不同种和杂种间差异显著,杂种日本×日本、日本×长白、日本×兴安、日本×华北与母本日本落叶松显著好于华北、兴安和长白三个纯种,表明它们有较强的自然整枝能力;冠长可以表明树木生长的活力,杂种日本×日本、日本×长白、日本×兴安、日本×华北与母本日本落叶松差异不显著,但是日本×长白、日本×兴安、日本×华北三个杂种与父本差异显著;枝条角度在落叶松种和杂种间差异显著,遗传力最高,表

明枝条角度受到遗传控制的影响最大,尤其树冠上部枝条受到的影响最大。枝条角度在一定程度上反映冠幅的大小和树冠的覆盖面积,杂种的枝条角度明显小于纯种,表明其在不占用较大空间的基础上还能迅速生长。总体上来看,从树冠特征的差异性分析,日本×长白、日本×兴安、日本×华北三个杂种以及日本落叶松比纯种长白、兴安和华北表现出明显的优势,具有好的冠型特征,致使林木活力更旺盛,也进一步验证了杂种在生长上的优势。

表3 落叶松种和杂种树冠特征因子分析

| 树冠特征 | 日本× 日本 | 日本× 长白 | 日本× 华北 | 日本× 兴安 | 长白 落叶松 | 华北 落叶松 | 日本 落叶松 | 兴安 落叶松 | 均值 | F 值 |
|---------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|-------|---------------------|
| 冠幅/m | 3.32 | 3.65 | 4.00 | 3.88 | 3.85 | 3.55 | 3.77 | 4.55 | 3.74 | 0.45 |
| 树冠圆满度 | 0.50 | 0.38 | 0.40 | 0.52 | 0.57 | 0.42 | 0.53 | 0.39 | 0.50 | 1.24 |
| 活枝下高/m | 15.98 ^A | 14.82 ^A | 12.20 ^A | 15.05 ^A | 4.65 ^B | 7.05 ^B | 14.80 ^A | 3.28 ^B | 12.90 | 11.14 ^{**} |
| 冠长/m | 6.67 ^C | 9.62 ^{ABC} | 10.24 ^{AB} | 7.65 ^{BC} | 6.75 ^C | 8.42 ^{ABC} | 7.17 ^{BC} | 11.52 ^A | 8.41 | 3.27 [*] |
| 枝条直径/cm | 1.60 ^{B^C} | 1.43 ^{CD} | 1.56 ^{BC} | 1.99 ^A | 1.68 ^B | 1.66 ^{BC} | 1.55 ^{BC} | 1.26 ^D | 1.59 | 9.87 ^{**} |
| 枝条角度 | 29.93 ^F | 38.72 ^C | 37.91 ^{CD} | 33.31 ^E | 44.30 ^B | 38.83 ^C | 35.20 ^{DE} | 54 ^A | 36.98 | 39.52 ^{**} |
| 枝条长度/m | 1.53 ^B | 1.43 ^{B^C} | 1.50 ^B | 1.86 ^A | 1.57 ^B | 1.34 ^{BC} | 1.41 ^{BC} | 1.22 ^C | 1.50 | 7.35 ^{**} |

2.3 干形特征分析

通过对落叶松种和杂种间干形特征因子(高径比、树干圆满度、节子直径、节子长度和节子角度)的方差分析结果得出:高径比、树干圆满度和节子角度之间差异极显著($p < 0.01$),节子直径、节子长度差异显著($p < 0.05$)(表4)。高径比和树干圆满度反映了树干的尖削程度,将直接影响树木的出材率和利用率,从方差分析结果来看,落叶松杂种日×长、日×兴、日×华在树干的尖削程度上要好于纯种长

白、华北和兴安。节子的数量、大小对木材质量有重要影响,节子是重要的木材缺陷。由于长白与兴安株数较少,因此缺少其节子测量数据。从总体上来看落叶松杂种日本×长白、日本×兴安、日本×华北与纯种之间节子直径都大于1 cm,节子长度也较长,表明对木材质量的影响都较大,降低了木材质量等级。但通过差异分析可以看出节子大小受到一定的遗传控制,开展合理的遗传改良措施可以降低节子大小。

表4 落叶松种和杂种干形和节子特征分析

| 干形 | 日本× 日本 | 日本× 长白 | 日本× 华北 | 日本× 兴安 | 长白 落叶松 | 华北 落叶松 | 日本 落叶松 | 兴安 落叶松 | 均值 | F 值 |
|---------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|--------------------|-------|---------------------|
| 高径比 | 1.147 ^{AB} | 1.203 ^{9A} | 1.119 ^{6ABC} | 1.129 ^{8ABC} | 0.780 ^{8D} | 0.970 ^{4C} | 1.016 ^{7BC} | 1.00 ^{BC} | 1.03 | 5.79 ^{**} |
| 树干圆满度 | 0.774 ^{8AB} | 0.755 ^{5AB} | 0.748 ^{5AB} | 0.787 ^{5A} | 0.681 ^{6D} | 0.732 ^{3BC} | 0.767 ^{1AB} | 0.69 ^{CD} | 0.74 | 4.5 ^{**} |
| 节子直径/cm | 1.28 ^{AB} | 1.23 ^{AB} | 1.37 ^A | 1.06 ^B | NS | 1.14 ^{AB} | 1.18 ^{AB} | NS | 1.21 | 1.92 [*] |
| 节子长度/cm | 11.54 ^A | 6.91 ^B | 6.99 ^B | 6.48 ^B | NS | 5.30 ^B | 6.96 ^B | NS | 7.27 | 2.85 [*] |
| 节子角度 | 74 ^A | 71.42 ^{AB} | 59.23 ^C | 70.29 ^{AB} | NS | 74 ^A | 69.33 ^B | NS | 69.76 | 14.78 ^{**} |

2.4 适应性分析

造林后连续2年(1977和1978年)的调查结果示(表5),由于日本落叶松封顶晚、生长期长、越冬性差,致使造林当年的干梢率达90%以上,造林次年的干梢率降至50%以下。而以日本落叶松为母本的3个种间杂种(日本×兴安、日本×长白和日本×华北)造林后两年的干梢率均在10%以下,说明杂种的抗寒

性明显优于母本日本落叶松。兴安、长白和华北落叶松虽然在造林后两年的干梢率均低于10%,且成活率和保存率也较高,但根据克拉夫特分级法^[16]对林木健康状况调查发现,其树木长势较差,Ⅲ级木和Ⅳ级木占比较大。而日本落叶松、日本×日本、日本×兴安、日本×长白和日本×华北以Ⅰ级木和Ⅱ级木为主,生长状况较好。因此,日本×兴安、日本×长白和日本×华

表5 落叶松种及其杂交组合的适应性

| 种/杂种 | 干梢率/% | | 成活率/% | | 保存率/% | | 树木分级/% | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|--------|----|--|--|
| | 1977年 | 1978年 | 1977年 | 1979年 | I | II | III | IV | | |
| 兴安落叶松 | 0 | 0 | 100 | 83 | | | 8 | 92 | | |
| 长白落叶松 | 0 | 10 | 97 | 97 | | 14 | 38 | 48 | | |
| 华北落叶松 | 0 | 3 | 100 | 83 | | 28 | 36 | 36 | | |
| 日本落叶松 | 97 | 33 | 97 | 93 | 50 | 50 | | | | |
| 日本×日本 | 60 | 23 | 97 | 93 | 52 | 21 | 27 | | | |
| 日本×兴安 | 0 | 3 | 100 | 90 | | 56 | 44 | | | |
| 日本×华北 | 10 | 3 | 100 | 93 | | 75 | 25 | | | |
| 日本×长白 | 7 | 0 | 100 | 100 | | 87 | 13 | | | |

北三个杂种不仅有较高的抗寒性、而且生长优良,表明其在当地的适应性更好。

2.5 落叶松种和杂种生长、形质性状的综合评价

利用模糊数学隶属函数法对落叶松种和杂种差异显著的生长及形质性状指标进行隶属值计算^[15],由于长白和兴安无节子数据,因此未对其进行隶属值排名计算。在已计算的结果中日×兴、日×长和日本落叶松的隶属值均值分别位居1、2、3位,表明其生长与形质性状较优;华北的隶属函数均值最小(表6),表明其生长和形质方面表现最差。

表6 种及种间杂种非结构材性状隶属值

| 种/杂种 | 树高 | 胸径 | 材积 | 枝下高 | 冠长 | 枝条直径 | 枝条角度 | 枝条长度 | 高径比 | 树干圆满度 | 节子直径 | 节子长度 | 节子角度 | 均值 | 排名 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| 华北 | 0.446 | 0.4 | 0.384 | 0.523 | 0.582 | 0.313 | 0.412 | 0.318 | 0.419 | 0.469 | 0.446 | 0.47 | 0.415 | 0.431 | 6 |
| 日本 | 0.467 | 0.386 | 0.552 | 0.507 | 0.573 | 0.326 | 0.311 | 0.299 | 0.597 | 0.542 | 0.456 | 0.449 | 0.597 | 0.466 | 3 |
| 日×长 | 0.525 | 0.5 | 0.593 | 0.506 | 0.397 | 0.369 | 0.414 | 0.323 | 0.493 | 0.556 | 0.467 | 0.48 | 0.6 | 0.478 | 2 |
| 日×兴 | 0.6 | 0.509 | 0.585 | 0.573 | 0.609 | 0.426 | 0.333 | 0.388 | 0.513 | 0.522 | 0.552 | 0.576 | 0.521 | 0.516 | 1 |
| 日×华 | 0.508 | 0.3 | 0.351 | 0.732 | 0.268 | 0.362 | 0.297 | 0.404 | 0.66 | 0.495 | 0.506 | 0.43 | 0.388 | 0.438 | 5 |
| 日×日 | 0.574 | 0.375 | 0.481 | 0.658 | 0.482 | 0.432 | 0.299 | 0.45 | 0.445 | 0.45 | 0.385 | 0.448 | 0.483 | 0.459 | 4 |

3 讨论与结论

落叶松的生长和形质性状与其木材产品的质量、产量和经济价值密切相关,找到生长和形质性状的变异规律,对于选育速生、优质的建筑材和大径材新品种有重要的意义。本文通过对32年生落叶松种间与杂种的生长性状的进行研究,结果表明:落叶松种间和杂种间生长量差异极显著,在辽宁东部山区日本落叶松、杂种日本×长白、日本×兴安、日本×华北较兴安、华北和长白落叶松生长优势明显;通过对落叶松种和杂种生长过程的详细分解得出杂种之间的生长优势只体现在生长前期(前10年),随着年龄的增长,杂种之间的生长优势逐渐减退。但是杂种和父本(长白、兴安和华北)相比杂种优势一直伴随到成熟龄,杂种在生长性状上多表现出偏母本的遗传特性,而在抗寒性和抗旱性等方面明显优于母本,在生长性状表现出明显的超亲杂种优势^[9-10]。因此杂交成为了改良目标性状的主要常规育种手段。

树冠特征是树木生物量生产的重要决定因素^[17],也影响着树木的材积^[18]。研究表明树冠的一些特征因子如冠幅、枝粗、枝长和枝角等会受到遗传控制^[1,7]。本研究对32年生落叶松种和杂种的树冠特征分析中得出枝条角度、长度和直径都呈现显

著差异,与前人的研究结果一致^[1,7,17]。但冠幅和树冠圆满度在落叶松种和杂种之间差异不显著,这与孙晓梅^[7]对12年生落叶松家系间冠幅的研究结果不同,这可能是由于随着林分年龄的增大,受到环境因素的影响作用增强,造成了一定的差异。这也间接的说明在完整生长周期上落叶松形态指标的遗传差异略有变化,但总体变异程度不大,枝条长度、角度、直径等因子的遗传变异效应一直持续到成熟年龄。

以往在干形上的研究主要应用定性的方法将树干按通直度分为不同等级^[13,19],来分析干形的遗传变异规律,这种方法一般会出现人为性误差。本研究采用树干解析这种定量的方法获取干形数据,来分析落叶松种和杂种间干形差异性,并且首次分析了种和杂种之间节子直径、长度和角度之间的差异。研究结果得出树干高径比、圆满度、节子直径、长度和角度在落叶松种和杂种间差异显著,表明这些干形因子受到一定的遗传控制,因此在落叶松良种选育过程中干形质量也是必须要考虑的重要指标^[7,19]。节子是木材生产上的重要缺陷,控制节子的大小和数量对提高木材等级有重要的意义^[12],节子特征在落叶松种和杂种间差异显著,这就要求我们在良种选育过程中要考虑节子的特征因子,通过综合选育来提高木材的质量等级。

通过对落叶松种和杂种间生长、树冠特征、干形特征之间差异性研究,应用隶属函数法综合得出排名前三位的为日本×兴安、日本×长白和日本落叶松。孙晓梅^[10]应用隶属函数综合评价得出日本×兴安杂种在生长和材性上也表现最佳。因此,上述和本文的研究都证实以日本落叶松为母本的种间杂种,尤其是日本×兴安杂种兼备父本的抗寒性和母本的速生性,无论从生长、材性、形质和抗性特征上都具有明显的杂种优势,是适合东北地区重点推广的良种。落叶松杂种生长、形质及材质性状均存在超亲优势,但优势大小不仅因亲本组合及个体基因型而异,还可能因栽种地区不同而异^[20-21]。本研究只限于一片实验林,交配的组合也较少,因此今后有必要开展精心的交配设计和多点试验测定^[22],对落叶松杂种优势利用的结论普遍性进行验证。

综上所述,本研究对4个落叶松种(日本、兴安、长白及华北)以及4个落叶松杂种(日本×兴安、日本×华北、日本×长白、日本×日本)的生长、形质性状和适应性进行综合分析,发现落叶松种和杂种间生长差异显著,杂种胸径、树高和材积总生长量与母本差异不显著,却显著高于相应的父本,而且杂种间的生长优势主要体现在林分生长的前10年,随着林龄的增大优势逐渐减退;枝下高、冠长、枝条直径、枝条长度、枝条角度、高径比、树干圆满度、节子直径、节子长度、节子角度在落叶松种和杂种间差异显著,表明其都受到一定的遗传控制。通过模糊数学隶属函数法对差异显著的生长和形质性状进行综合评价,日本×兴安、日本×长白和日本落叶松在综合性状上排名前三位,而且在适应性上也具有明显的优势,因此,适合作为定向培育建筑材的优良品种在东北地区重点推广。

参考文献:

- [1] 周志春,金国庆,周世水. 马尾松自由授粉家系生长和材质的遗传分析及联合选择[J]. 林业科学研究, 1994, 7(3): 263-268.
- [2] D. L. DOEDE, W. T. ADAMS. The genetics of stem volume, stem form, and branch characteristics in sapling Noble Fir[J]. *Silvae Genetica*, 1998, 47(4): 177-183.
- [3] P. H. Hai, G. Janssona, C. Harwoodd, *et al.* Genetic variation in growth, stem straightness and branch thickness in clonal trials of *Acacia auriculiformis* at three contrasting sites in Vietnam[J]. *Forest Ecology and Management*, 2008, 1(255): 156-167.
- [4] V. Codesido, J. Fernández-López. Juvenile genetic parameter estimates for vigour, stem form, branching habit and survival in three radiata pine (*Pinus radiata* D. Don) progeny tests in Galicia, NW Spain[J]. *European Journal of Forest Research*, 2008, 4(127): 315-325.
- [5] 孙晓梅,张守攻,齐力旺,等. 日本落叶松自由授粉家系纸浆材材性遗传变异的研究[J]. 林业科学研究, 2003, 16(5): 515-522.
- [6] 孙晓梅,张守攻,侯义梅,等. 短轮伐期日本落叶松家系生长性状遗传参数的变化[J]. 林业科学, 2004a, 40(6): 68-74.
- [7] 孙晓梅,张守攻,王卫东,等. 日本落叶松自由授粉家系形质性状遗传变异的研究[J]. 北京林业大学学报, 2004b, 26(3): 41-45.
- [8] 孙晓梅,张守攻,周德义,等. 落叶松种间及种内和种间杂种家系间的物候变异与早期选择[J]. 林业科学, 2008, 44(1): 77-84.
- [9] 马顺兴,王军辉,张守攻,等. 日本落叶松无性系木材性质的遗传变异[J]. 林业科学研究, 2008, 21(1): 69-73.
- [10] 孙晓梅,楚秀丽,张守攻,等. 落叶松种间及其杂种管胞特征及微纤丝角的变异[J]. 林业科学研究, 2011, 24(4): 415-422.
- [11] 孙晓梅,楚秀丽,张守攻,等. 落叶松种间及其杂种木材物理力学性质评价[J]. 林业科学, 2012, 48(12): 152-159.
- [12] 陈东升,李凤日,孙晓梅,等. 基于线性混合模型的落叶松人工林节子大小预测模型[J]. 林业科学, 2011, 47(11): 121-128.
- [13] 潘惠新,黄敏仁,李火根,等. 美洲黑杨新无性系干形性状遗传变异初步研究[J]. 南京林业大学学报, 1999, 23(5): 1-6.
- [14] 徐成立,张景兰,陈东来. 树冠圆满度对树木生长的影响及作用研究[J]. 河北农业大学学报, 2005, 28(3): 45-48.
- [15] 乔志霞,沈火林,安岩. 番茄耐高温胁迫能力鉴定方法的研究[J]. 西北农业学报, 2006, 15(6): 114-120.
- [16] 沈国舫,翟明普. 森林培育学[M]. 北京:中国林业出版社, 2011, 271-272.
- [17] L. S. Broeckx, M. S. Verlinden, J. Vangronsveld, *et al.* Importance of crown architecture for leaf area index of different *Populus* genotypes in a high-density plantation[J]. *Tree Physiology Online* at <http://www.treephys.oxfordjournals.org>, 2012, 28: 1-13.
- [18] T. D. Fahey, J. M. Cahill, T. A. Sennlgrove, *et al.* Lumber and veneer recovery from intensively managed young growth Douglas-fir[J]. *Forest Service*. 1991, Paper PNW-RP-437. 25p.
- [19] 刘青华,金国庆,张蕊,等. 24年生马尾松生长、形质和木材基本密度的种源变异与种源区划[J]. 林业科学, 2009, 45(10): 55-62.
- [20] 栾启福. 几种松树杂交选育及其遗传分析[D]. 中国林业科学研究院, 2010, 博士学位论文.
- [21] 栾启福,李彦杰,姜景民. 国外松种间杂交后代生长和形态性状变异及相关性分析[J]. 植物研究, 2014, 34(1): 95-102.
- [22] 张含国,袁桂华,李希才,等. 落叶松生长和材性杂种优势研究[J]. 东北林业大学学报, 1998, 26(3): 25-28.

(责任编辑:张研)