

文章编号: 1001-1498(2013)02-0257-06

广西凭祥西南桦中幼林林木生长过程与 造林密度的关系

王春胜¹, 赵志刚¹, 曾 冀², 郭俊杰¹, 沙 二¹, 郭文福², 曾 杰^{1*}, 郑海水¹

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510520; 2. 中国林业科学研究院热带林业实验中心, 广西 凭祥 532600)

关键词: 西南桦; 造林密度; 树干解析; 林木生长过程

中图分类号: S753 文献标识码: A

Relationship between Planting Density and Tree Growth Process of *Betula alnoides* Mid-young Plantations in Pingxiang, Guangxi

WANG Chun-sheng¹, ZHAO Zhi-gang¹, ZENG Ji², GUO Jun-jie¹, SHA Er¹,
GUO Wen-fu², ZENG Jie¹, ZHENG Hai-shui¹

(1. Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, Guangdong, China;

2. Experimental Center of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Pingxiang 532600, Guangxi, China)

Abstract: 11-year-old *Betula alnoides* plantations for density trial with five planting spacing treatments were investigated through stem analysis at Pingxiang City, Guangxi, to assess the effects of initial density on tree growth process. The results showed that the initial density had no remarkable effects on tree height growth and stem shape index, while there were significant differences in diameter at breast height (DBH), individual tree volume and stand volume among treatments of initial density, and the stand volume of treatment of 2 m × 3 m was significantly higher than that of other treatments. The fast growing period of DBH trended to increase with the decrease of initial density, the DBH growth commenced to decrease since the sixth year after planted under the 1.5 m × 2 m treatment, while it decreased mostly since the eighth year under other treatments, indicating that thinning should be conducted at the sixth year for 1.5 m × 2 m treatment, and at the eighth year for 2 m × 3 m and 3 m × 3 m treatments, while for other treatments, it was delayed with the decrease of density. All the current and mean annual increment curves of tree height crossed when 5–6 years old, and did not reach quantity mature until 11 years old for all density treatments, while remarkable differences of the current annual increment of individual tree volume were seen among treatments. Taking factors such as growth performance, stand volume, and use efficiency of forest land, etc. into consideration, 2 m × 3 m was determined as the most optimum planting density in the present study.

Key words: *Betula alnoides*; growth process; planting density; stem analysis

造林密度决定着林分后期密度大小,是影响人工林生长的重要因素之一,与林木生长过程密切相关,决定着林分的健康状况及生产力,是林分合理结

构的数量基础^[1]。造林密度过高将过早加剧林分内部竞争,增加林木死亡率,减少生长量^[2-5],因此,确定合理的造林密度是人工林营造的关键技术环

收稿日期: 2012-05-14

基金项目: 国家“十二五”科技支撑课题(编号: 2012BAD21B01)

作者简介: 王春胜(1987—), 山东临沂人, 硕士研究生, 主要从事森林培育与经营研究。

* 通讯作者, E-mail: zengj69@ritf.ac.cn.

节,揭示造林密度与林木生长过程的关系,将有助于制定合理的人工林经营制度。当前,国内人工林发展迅猛,对人工林密度效应方面的研究亦较多,主要集中在杉木(*Cunninghamialanceolata*(Lamb.) Hook.)^[6-7]、马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)^[8-9]、侧柏(*Platycladus orientalis*(Linn.) Franco)^[10]、华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii* Mayr)^[11]、107杨(*Populus × euramericana* cv. '74/76')^[12]等树种的林分密度与林木生长、首次间伐年龄的相关性及密度调控对林分发育及林下植被多样性的影响等,发现林分的胸径、单株材积、冠幅、冠高比均随密度增大而减小,而有关密度对树高的影响,不同的研究得出的结论并不完全一致。发达国家除了开展这些研究之外,也对不同密度下的林分动态^[5]以及木材密度和质量^[3,13]等进行了深入的探讨,但国内外对于不同造林密度下林木的具体生长过程研究较少。通常对林木生长过程的研究采用2种方法:一是通过对固定样地定期连续测量获得林木生长数据;二是通过树干解析获得林木每年的生长数据。树干解析对于建立没能连续观测林分的生长的数据库至关重要。通过树干解析得到生长圆盘,测量林木每年生长量,建立树高、胸径和材积生长模型,可重建林木的生长过程^[14-15]。

西南桦(*Betula alnoides* Buch.-Ham. ex D. Don)是我国热带、南亚热带地区的一个优良用材树种和生态公益林树种,其生长迅速,树干通直圆满,适合培育大径材^[16]。近十余年来,我国西南桦种植业发展迅速,其人工林面积已超过13.3万hm²。然而,在西南桦人工林发展过程中,许多地方出现了造林密度过大而导致林木生长不良的现象。尽管郑海水等^[1]基于连续6年的林分生长观测,探讨了若干造林密度下西南桦幼林的生长状况,为生产实践中确定合适的西南桦造林密度提供了指导,却尚未见有关西南桦造林密度与林木生长过程间关系的研究报道。因此,本研究以位于广西凭祥的一片11年生西南桦密度试验林为研究对象,通过树干解析揭示不同密度下西南桦中幼林生长过程,分析林木生长过程随密度的变化规律,为确定最佳种植密度以及合理制定诸如间伐等经营制度提供参考。

1 试验地概况

西南桦密度试验林位于广西凭祥市中国林科院热带林业试验中心伏波试验场(22°02'N, 106°52'

E),属北热带季风气候区,年均气温约22℃;年均降水量约1550mm,年蒸发量约1400mm;干、湿季明显,5—9月为雨季,降水量占全年的3/4。试验林的海拔约420m,南坡。土壤为硅质岩发育的黄红壤,土壤有机质含量22.43g·kg⁻¹,全N0.94g·kg⁻¹,全P0.47g·kg⁻¹,全K4.6g·kg⁻¹,有效N117.0mg·kg⁻¹,有效P1.1mg·kg⁻¹,有效K85.1mg·kg⁻¹,pH值4.5。试验林建于1999年3月,设置1.5m×2m、2m×3m、3m×3m、3m×4m和4m×5m5个密度处理,每个处理3次重复,每个小区面积约1200m²,试验林未施基肥和追肥。

2 研究方法

2009年6月于每个试验小区的中心位置设置一个20m×30m样地,统计保留株数,测量每株西南桦的树高、胸径和冠幅,计算每个小区各项指标的平均值,然后根据胸径和树高均值从每个小区中选出1株平均木作为标准木,伐倒后测量胸径、1/2树高处的直径,然后进行树干解析,圆盘厚度约5cm,首先分别于根茎处以上0.3、1.0、1.3、2.0m高度截取圆盘,此后按1m区分段截取圆盘,15株平均木共获得214个圆盘。对每个圆盘进行年轮的手工判读,用电子游标卡尺(精度为0.1mm)测量每个年轮自东、西、南、北4个方向至髓心的距离(半径),计算每个圆盘各年轮的宽度以及每年的去皮直径。应用林业分析软件ForStat2.0(统计之林)计算各年龄西南桦胸径、树高和材积的连年、平均及总生长量指标。根据下列公式计算胸高形数、形率、单株材积以及林分蓄积。

$$(1) \text{胸高形数计算公式: } f_{1.3} = \frac{V}{\frac{\pi}{4}d_{1.3}^2h}$$

式中: $f_{1.3}$ 为胸高形数, V 为标准木单株材积, $d_{1.3}$ 为胸高直径, h 为标准木树高。

$$(2) \text{胸高形率计算公式: } q_2 = \frac{d_{\frac{1}{2}}}{d_{1.3}}$$

式中: q_2 为胸高形率, $d_{\frac{1}{2}}$ 为树干中央直径, $d_{1.3}$ 为胸径。

(3)标准木单株材积应用平均断面区分求积法求得,材积计算公式为:

$$V = l \left(\frac{1}{2}(g_0 + g_n) + \sum_{i=1}^{n-1} g_i \right) + \frac{1}{3}g_n l'$$

式中: V 为标准木单株材积(m³), g_0 为树干底断面面积(m²), g_n 为梢头底端断面面积(m²), g_i 为各区

分段之间的断面积 l 为区分段长度 (m), l' 为梢头木长度 (m)。

$$(4) \text{ 林分蓄积 } (V_s): V_s = nV$$

式中: n 为各密度林分现有保存株数, V 为标准木单株材积 (m^3)。

运用 SPSS 13.0 软件对不同密度处理下 11 年生时西南桦的胸径、树高、胸高形率、胸高形数、单株材积以及林分蓄积进行方差分析和多重比较。

3 结果与分析

3.1 造林密度对 11 年生西南桦生长表现的影响

方差分析结果表明: 5 种造林密度处理间 11 年生西南桦的树高差异不显著 ($P > 0.05$), 而其胸径、

单株材积和林分蓄积量差异显著 ($P < 0.05$)。由表 1 可以看出: 随着造林密度的降低, 胸径和单株材积大致呈递增趋势, $1.5 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 处理的胸径和单株材积显著低于其它 4 个处理, 而这 4 个处理间胸径和单株材积差异均不显著, $4 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 处理的单株材积约为 $1.5 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 处理的 2.1 倍。林分蓄积则是 $2 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 处理的最高, 显著高于 $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 、 $3 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ 和 $4 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 处理, 而与 $1.5 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 处理差异不显著。在形质指标方面, 5 个处理间胸高形数和胸高形率均差异不显著, 说明造林密度对西南桦的干形影响不大, 各处理的西南桦胸高形数和形率均值分别为 0.45 和 0.71。

表 1 5 种造林密度下 11 年生西南桦林木生长状况

造林密度/ (m × m)	初植密度/ (株 · hm ⁻²)	保留密度/ (株 · hm ⁻²)	树高 /m	胸径 /cm	胸高形数	胸高形率	单株材积 /m ³	林分蓄积/ (m ³ · hm ⁻²)
1.5 × 2	3 333	1 889 (62)	12.4 (0.725)	11.5 (0.153) b	0.445 (0.033)	0.623 (0.074)	0.060 (0.004) b	114.33 (10.833) ab
2 × 3	1 667	1 167 (50)	14.0 (0.609)	13.6 (0.835) a	0.454 (0.025)	0.731 (0.036)	0.110 (0.016) a	128.50 (19.233) a
3 × 3	1 111	744 (64)	14.6 (1.537)	14.1 (0.837) a	0.446 (0.010)	0.731 (0.037)	0.102 (0.012) a	77.50 (15.983) bc
3 × 4	833	603 (33)	13.2 (1.029)	13.8 (0.669) a	0.468 (0.012)	0.752 (0.030)	0.115 (0.012) a	68.67 (3.850) bc
4 × 5	500	382 (18)	13.8 (1.060)	15.2 (0.570) a	0.433 (0.007)	0.694 (0.027)	0.125 (0.025) a	62.50 (15.617) c

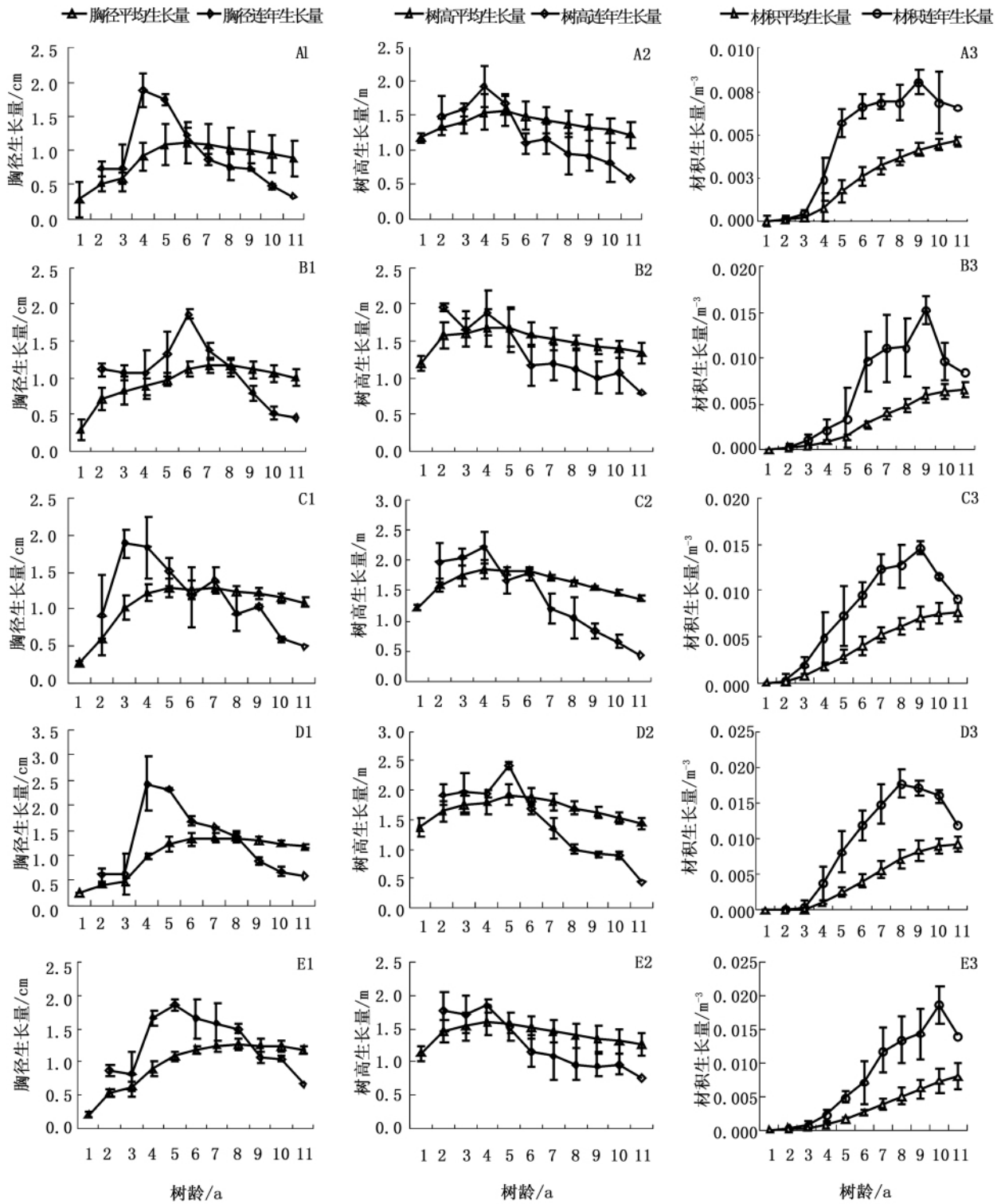
注: 括号内数值为标准误; 表中字母为多重比较结果, 未标注字母或处理间具相同字母的表示差异不显著 ($P > 0.05$), 字母不同的表示差异显著 ($P < 0.05$)。

3.2 造林密度对西南桦林胸径生长过程的影响

由图 1 - A1、B1、C1、D1、E1 5 种造林密度的西南桦单株胸径连年生长量变化可知: 不同密度的西南桦幼林胸径生长量在造林后第 2 ~ 3 年时生长开始迅速增加, 经过短暂的快速生长, 在第 3 ~ 6 年达到生长高峰, 其连年生长量一般在 2 cm 左右, 最高可达 2.43 cm, 此后连年生长量均开始逐年下降, 造林密度越大则胸径连年生长量下降速度越快。

从总体变化趋势上看, 各处理的胸径生长过程基本相似, 仅胸径生长旺盛期 (胸径连年生长量大于 1.5 cm) 的持续时间不同, 即造林密度较大的林分, 其生长旺盛期比较小密度林分的短, 如造林密度为 $3 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ 、 $4 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 林分的生长旺盛期分别为 4 年和 5 年, 而 $1.5 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 生长旺盛期仅持续 2 年。 $1.5 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 处理在造林后第 6 年胸径连年生长量与平均生长量曲线出现交叉, 而其他处理大多在第 8 或第 9 年时才出现交叉。由此可见, 造林密度越

大, 其林木生长旺盛期持续时间越短。从表 2 可以看出: 在所有处理的林木胸径平均生长量达最大值之后, 初植密度较小林分的胸径总生长量明显比较大初植密度林分的高, 且随着造林密度的增加, 胸径连年生长量逐渐降低; 从第 10 年开始, $4 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 密度处理的胸径连年生长量显著高于其他 4 个处理 ($P < 0.05$), 而这 4 个处理间连年生长量差异不显著; 第 11 年仅造林密度为 $1.5 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ 的胸径连年生长量显著低于 $3 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ 和 $4 \text{ m} \times 5 \text{ m}$, 其余各处理间差异不显著。从不同密度间西南桦胸径连年生长量的变异系数随年龄的变化 (图 2) 以及胸径平均生长量达到最大后不同处理间胸径连年生长量的差异 (表 2) 可以看出: 胸径连年生长量的变异系数在第 6 年开始增大, 第 10 年达差异显著, 即密度较大林分从第 6 年开始, 林木胸径生长开始受到抑制, 且随着年龄的增加抑制作用越明显, 各处理间的胸径连年生长量差异也逐渐增大。



A 造林密度为 1.5 m×2 m; B 造林密度为 2 m×3 m; C 造林密度为 3 m×3 m; D 造林密度为 3 m×4 m; E 造林密度为 4 m×5 m

图1 5种造林密度条件下西南桦胸径、树高和材积的连年生长量和平均生长量(图中误差线根据标准误绘制)

表2 造林8年后不同造林密度处理间胸径
连年生长量差异状况

造林密度/ (m × m)	胸径连年生长量/cm		
	第9年	第10年	第11年
1.5 × 2	0.75 (0.203)	0.48 (0.053) b	0.33 (0.038) b
2 × 3	0.79 (0.130)	0.51 (0.092) b	0.45 (0.090) ab
3 × 3	1.03 (0.253)	0.59 (0.028) b	0.48 (0.038) ab
3 × 4	0.89 (0.107)	0.67 (0.080) b	0.58 (0.090) a
4 × 5	1.08 (0.072)	1.06 (0.080) a	0.67 (0.048) a

注: 括号内数值为标准误; 表中字母为多重比较结果, 未标注字母或具相同字母表示差异不显著 ($P > 0.05$), 字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。

3.3 造林密度对西南桦树高生长过程的影响

不同造林密度下西南桦中幼林单株高生长变化趋势与胸径相似 (图1 - A2、B2、C2、D2、E2) 除密度为 $3\text{ m} \times 4\text{ m}$ 处理的树高连年生长量在第5年达到峰值, 其余处理均在第4年达到峰值, 此后树高连年生长量逐渐下降, 但是与胸径生长过程不同的是, 树高生长与造林密度间没有显著的相关性, 不同造林密度处理的树高生长过程基本一致, 均在第5年树高连年与平均生长量曲线交叉, 不同造林密度间树高旺盛生长持续时间亦无明显差异。这与前述的各处理间11年生时西南桦树高总生长量差异不显著的结果一致。通过对不同造林密度下西南桦树高连年生长量的变异系数随年龄变化趋势的分析亦知 (图2): 各处理在不同年龄时的连年生长量变异系数一直维持在一个相对稳定的状态 (0.1左右), 并未因内部竞争增强造成处理间树高连年生长量的显著差异, 此亦证实了西南桦高生长受造林密度的影响较小。从连年生长量变化趋势可以看出: 定植后的5年内是西南桦高生长最迅速的时期, 其连年生长量最高可达 2.37 m , 此后几年西南桦的生长仍较迅速, 除 $1.5\text{ m} \times 2\text{ m}$ 处理外, 其它处理的连年生长量均在 1 m 以上, 但9年生之后, 西南桦高生长便趋缓慢, 年生长量甚至不足 0.5 m 。

3.4 造林密度对西南桦材积生长过程的影响

由于单株立木材积取决于胸径、树高和干形, 所以胸径、树高和干形受密度的影响最终在单株立木材积上反映出来^[17]。从材积连年生长量与平均生长量随年龄变化趋势 (图1 - A3、B3、C3、D3、E3) 可知: 不同造林密度下, 单株材积连年生长量随年龄的增加而逐渐上升, 在8~10年生时达最大值, 其后材积连年生长量逐年下降; 然而不同处理间单株材积连年生长量的差异从8年生时开始逐渐增大 (图2) 9年生时 $1.5\text{ m} \times 2\text{ m}$ 处理的单株材积连年生长

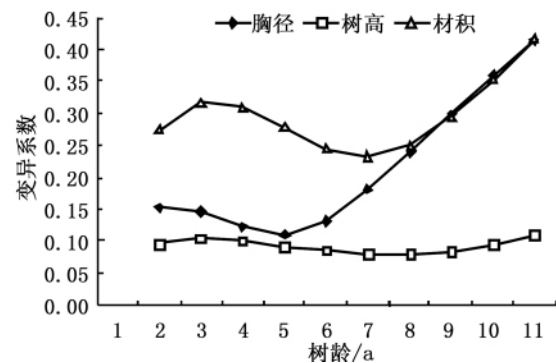


图2 5种造林密度处理间西南桦各年龄的连年生长量的变异系数

量仅为 0.008 m^3 , 而其余处理的材积连年生长量均在 0.015 m^3 以上。11年生时材积连年生长量与平均生长量曲线尚未交叉, 说明11年生时西南桦林木生长未达到数量成熟。各密度处理西南桦单株材积连年生长量大部分约在9年生时达最大, 但造林密度较小的2个处理, 其连年生长量大于 0.015 m^3 所持续时间较其它处理长3~4年, 可见, 材积连年生长量受造林密度的影响较大。

4 结论与讨论

在本研究中, 不同造林密度下11年生西南桦林木树高、胸高形数、胸高形率生长并无明显差异, 造林密度对树高生长量和生长过程均无显著影响, 这与郑海水等^[1]对西南桦、谌红辉等^[8]对马尾松以及Hein等^[18]对欧洲白蜡 (*Fraxinus excelsior* Linn.) 和欧亚槭 (*Acer pseudoplatanus* Linn.) 的研究结果一致, 而董书振等^[7]对杉木林分密度效应的研究发现, 林分优势高、平均树高均随密度的增加而递减。5个处理西南桦的平均胸高形数为0.45, 与广西栎类 (*Quercus* spp.)、山杨 (*Populus davidiana* Linn.)、白桦 (*Betula platyphylla* Suk.) 幼林的胸高形数相近^[19], 说明西南桦与这些阔叶树种一样, 其尖削度较小, 具有良好的干形特征。造林密度对林木胸径和单株材积生长影响显著, 胸径与单株材积总生长量随着造林密度的增大而逐渐降低, 这与国内郑海水等^[1]对一片6年生西南桦密度试验林、董书振等^[7]对杉木、谌红辉等^[8]对马尾松密度试验林连续生长观测结果一致; 国外对蒜味破布木 (*Cordia dichotoma* Forster f.)^[20]、欧洲赤松 (*Pinus sylvestris* Linn. Sp.)^[3]有关胸径与密度的研究, 亦均得出胸径生长量随造林密度增大而降低。

通过树干解析分析西南桦林木生长过程还得出

其胸径生长旺盛期所持续时间随造林密度的增大而减小,对于所有处理而言,第3、4、5年均是各处理胸径生长的旺盛期,此时林分内密度效应还未显现,林分内部竞争弱,因此各处理间胸径生长差异较小。5种处理间因密度效应而造成的生长差异在第6年开始出现,1.5 m × 2 m 处理的胸径生长因林分密度大、生长空间小、林分内部竞争激烈而开始受到抑制;而其它处理则推迟至8年生以后。此亦说明1.5 m × 2 m 处理在造林后第6年需要进行适度间伐,释放空间促进保留木的生长。其他处理的间伐时间依次推后,如造林密度2 m × 3 m 与3 m × 3 m 的林分宜在造林8年后进行间伐。本试验中,虽然西南桦单株材积生长过程受造林密度影响较小,但其连年生长量差异较大且总生长量差异显著($P < 0.05$),且11年生时不同造林密度的林分蓄积差异显著,2 m × 3 m 处理的林分蓄积最大。

综上所述,本研究通过树干解析所得数据计算出不同密度的连年与平均生长量,进而分析不同密度下西南桦中幼林林木生长过程,揭示其受造林密度的影响,为确定合理的造林密度以及最佳初始间伐时间提供参考。从调查分析结果可知,本密度试验林的生长表现一般,西南桦人工林前10年胸径年生长量往往可达1.5 ~ 2.5 cm,天然林亦在1.0 ~ 1.5 cm^[16],而本试验中胸径年生长量刚好超过1.0 cm,其原因可能与试验林的立地条件有关,其土壤为硅质岩发育的黄红壤,较为贫瘠,而且经营措施粗放。根据本研究的结果,综合考虑西南桦的生长表现、生长过程、林分蓄积以及林地利用率等因素,建议凭祥乃至桂西南地区粗放经营条件下西南桦合理种植密度宜采用2 m × 3 m,采用此造林密度,其林木生长较快、林分蓄积量大且能充分利用林地。当然,各地营造西南桦人工林,造林密度的确定还需结合当地立地条件和经营水平等因素进行综合考虑。

参考文献:

- [1] 郑海水,黎明,汪炳根,等. 西南桦造林密度与林木生长的关系[J]. 林业科学研究,2003,16(1): 81-86
- [2] Stoneman G L, Crombie D S, Whitford K, et al. Growth and water relations of *Eucalyptus marginata* (jarrah) stands in response to thinning and fertilization[J]. Tree Physiology, 1996, 16: 267-274
- [3] Peltola H, Gort J, Pulkkinen P, et al. Differences in growth and wood density traits in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) genetic entries grown at different spacing and sites[J]. Silva Fennica, 2009, 43(3): 339-354
- [4] Ray D, Yanai R D, Nyland R D, et al. Growth-space relationships in young even-aged northern hardwood stands based on individual-tree and plot-level measurements[J]. Northern Journal of Applied Forestry, 2011, 28(1): 27-35
- [5] Zhang J, Oliver W W, Ritchie M W. Effect of stand densities on stand dynamics in white fir (*Abies concolor*) forests in northeast California, USA[J]. Forest Ecology and Management, 2007, 244: 50-59
- [6] 段爱国,张建国,童书振,等. 杉木人工林林分直径结构动态变化及其密度效应的研究[J]. 林业科学研究,2004,17(2): 178-184
- [7] 童书振,盛炜彤,张建国. 杉木林分密度效应研究[J]. 林业科学研究,2002,15(1): 66-75
- [8] 谌红辉,丁贵杰. 马尾松造林密度效应研究[J]. 林业科学,2004,40(1): 92-98
- [9] 张连金,惠刚盈,孙长忠. 马尾松人工林首次间伐年龄的研究[J]. 中南林业科技大学学报: 自然科学版,2011,31(6): 22-27
- [10] 段 劼,马履一,贾黎明,等. 北京地区侧柏人工林密度效应[J]. 生态学报,2010,30(12): 3206-3214
- [11] 李国雷,刘 勇,吕瑞恒,等. 华北落叶松人工林密度调控对林下植被发育的作用过程[J]. 北京林业大学学报,2009,31(1): 19-31
- [12] 田新辉,孙荣喜,李 军,等. 107 杨人工林密度对林木生长的影响[J]. 林业科学,2011,47(3): 184-188
- [13] Hein S, Weiskittel A R, Kohnle U. Effect of wide spacing on tree growth, branch and sap wood properties of young Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*(Mirb.) Franco) in south western Germany[J]. European journal of forest research, 2008, 127: 481-493
- [14] Machado S D A, Silva L C R d, Figura M A, et al. Comparison of methods for estimating heights from complete stem analysis data for *Pinus taeda*[J]. Ciência Florestal, 2010, 20(1): 45-55
- [15] Perez D. Growth and volume equations developed from stem analysis for *Tectona grandis* in Costa Rica[J]. Journal of Tropical Forest Science, 2008, 20(1): 66-75
- [16] 曾 杰,郭文福,赵志刚,等. 我国西南桦研究的回顾与展望[J]. 林业科学研究,2006,19(3): 379-384
- [17] 潘存娥,田丽萍,张天义,等. 准噶尔盆地箭杆杨生长规律的研究[J]. 新疆农业科学,2010,47(11): 2195-2199
- [18] Hein S, Spiecker H. Crown and tree allometry of open-grown ash (*Fraxinus excelsior* L.) and sycamore (*Acer pseudoplatanus* L.)[J]. Agroforest System, 2008, 73: 205-218
- [19] 孟宪宇. 测树学[M]. 北京: 中国林业出版社,2006
- [20] Hummel S. Height, diameter and crown dimensions of *Cordia alliodora* associated with tree density[J]. Forest Ecology and Management, 2000, 127: 31-40