

## 滇西地区西南桦无性系早期测定与生长节律研究

黄佳聪<sup>1</sup>, 郭俊杰<sup>2\*</sup>, 曾杰<sup>2</sup>

(1. 保山市林业技术推广总站, 云南 保山 678000; 2. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510520)

**摘要:** [目的] 开展西南桦无性系早期生长变异及生长节律研究, 揭示其生长规律及适应性, 为西南桦无性系选育及速生丰产林营建提供参考。[方法] 以滇西地区 20 个无性系参试的 3 年生西南桦无性系测定林为研究对象, 每月定期测定其树高、胸径, 探讨各无性系的生长变异, 应用聚类分析划分生长类型, 运用有序聚类分析进一步揭示各类型无性系的生长节律特征, 通过相关性分析探明影响生长节律的主要气象因子。[结果] 20 个西南桦无性系间树高和胸径差异极显著 ( $P < 0.01$ ), 根据生长表现, 可将其划分为速生、中等和慢生 3 种类型, 其中, B3、A10、Q3、Q4、Q2 无性系属于速生型, 其树高、胸径年均生长量大多超过 2 m 和 2 cm; 与中等和慢生型无性系相比, 速生型无性系的生长优势并非完全表现在速生期, 其在缓生期和滞生期的生长优势更大; 各类型西南桦无性系的生长节律基本一致, 其树高生长高峰在 7—9 月, 低谷为 4 月和 12 月; 其胸径生长高峰为 5、10 月, 8 月和 12 月为低谷, 尤以 8 月生长最慢, 这与该月的日照时数低有关。[结论] 在滇西地区, B3、A10、Q3、Q4、Q2 等 5 个无性系生长最迅速, 颇具发展潜力。从经营措施看, 宜在树高、胸径生长高峰之前, 即 5 月和 9 月加强幼林抚育施肥, 促进林木生长。

**关键词:** 西南桦; 无性系测定; 生长动态; 幼林; 有序聚类分析

中图分类号: S722.3

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2017)03-0518-07

## Early Selection of *Betula alnoides* Clones and Their Growth Rhythm in Western Yunnan, China

HUANG Jia-cong<sup>1</sup>, GUO Jun-jie<sup>2</sup>, ZENG Jie<sup>2</sup>

(1. Baoshan Forest Extension Station, Baoshan 678000, Yunnan, China;

2. Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, Guangdong, China)

**Abstract:** [Objective] To Study the early growth variation and rhythm of *Betula alnoides* clones so as to further understand their growth properties and adaptability, and provide scientific evidences for clone selection and establishment of fast-growing and high-yielding *B. alnoides* plantations. [Method] The height and diameter at breast height (DBH) were investigated monthly in a three-year-old clone test plantation with 20 clones involved in western Yunnan, and the growth variance among clones was assessed. These clones were then divided into several types using clustering analysis, the growth rhythm was further demonstrated for each type of clones by sequence clustering analysis. The main meteorological factors influencing growth rhythm were discussed by correlation analysis. [Result] Significant differences were observed in height and DBH among the 20 clones ( $P < 0.01$ ), these clones could be divided into three types as fast-, moderate-and slow-growing clones. Clones B3, A10, Q3, Q4 and Q2 belong to the fast-growing type, with the height and DBH increment over 2 m and 2 cm per year, respectively. These 5 clones showed their growth advantages not only in fast growing stage, and but also better performed in slow-growing stages. They kept higher growth speed longer than the clones of moderate-and slow-growthing types. The growth rhythm was

收稿日期: 2016-10-17

基金项目: 国家“十二·五”科技支撑专题: 柚木黄檀西南桦新品种选育技术研究 (No. 2012BAD01B0504); 西南桦珍贵用材林定向培育技术研究 (No. 2012BAD21B0102)

作者简介: 黄佳聪 (1966—), 男, 云南腾冲人, 正高级工程师, 主要从事林业技术推广工作. E-mail: bs\_hjc@126.com

\* 通讯作者: 郭俊杰. E-mail: guojunjiech@126.com

almost the same for all the three types of clone. The peak of height growth occurred from July to September, and the nadirs occurred in April and December. For DBH growth, there were two peaks in May and October, and two nadirs in August and December, respectively, while the DBH grew the slowest in August due to the least sunshine hours in this month. [ **Conclusion** ] Clones B3, A10, Q3, Q4 and Q2 grow fast in western Yunnan, and are of high potential for plantation. It is also recommended that management measures such as tending and fertilization should be taken before the peak of height and DBH growth, for example, May and September, so as to facilitate the tree growth.

**Keywords:** *Betula alnoides*; clonal test; growth dynamics; young plantation; sequence clustering analysis

西南桦 (*Betula alnoides* Buch.-Ham. ex D. Don) 是我国热带、亚热带地区的一个珍贵乡土阔叶树种,其树干通直圆满,生长迅速,材质优良,经济价值高,亦是我国西南部云南、广西等省区水源涵养林的主要树种之一,具有重要的生态价值<sup>[1]</sup>。西南桦在云南、广西等省区广泛栽培,经过近 20 年的推广种植,其人工林面积已逾 15 万  $\text{hm}^2$ , 成为我国热带、亚热带地区的一个主要造林树种<sup>[2]</sup>。

随着无性系林业在我国的兴起,西南桦扦插<sup>[3]</sup>和组培<sup>[4-5]</sup>等无性繁殖技术的突破,使西南桦有性选育和无性利用成为可能。从前期营建的种源/家系试验林、优良种源地天然林或利用优良种源营建的人工林内选择优树,通过组培等将其无性系化,建立无性系测定林予以评价,进而示范推广,是当前推广应用西南桦良种的快速有效途径之一。近 5 年来,中国林业科学研究院热带林业研究所、热带林业实验中心与各地林业企事业单位合作营建了无性系测定林,并进行了早期评价<sup>[6-7]</sup>。生态适应性是选择育种过程中必选性状<sup>[8]</sup>,树木对不同环境的适应必然会引起其生长节律的变化<sup>[9]</sup>,对生长节律进行研究有助于揭示树种生态适应性<sup>[10-11]</sup>,而对种源、家系或无性系生长节律的研究,还有助于开展这些种质材料的早期评价<sup>[12-13]</sup>。利用生长节律与造林地气候因子变化相匹配的种质材料造林往往更有成效<sup>[14]</sup>。有关树木生长节律的研究多为苗期观测<sup>[12-13,15-17]</sup>,有关幼林生长节律研究的报道相对较少,如郭文福等<sup>[18]</sup>对米老排 (*Mytilaria laosensis* Lec.)、曹健康等<sup>[19]</sup>对光皮桦 (*Betula luminifera* H. Winkl.) 及 Lukkarinen 等<sup>[13]</sup>对西伯利亚落叶松 (*Larix sibirica* Ledeb.) 和兴安落叶松 (*L. gmelinii* (Rupr.) Kuzen.) 幼林生长节律进行了观测报道。关于西南桦生长节律方面的研究未见报道。

滇西地区是西南桦的首要产区,据初步统计,目

前其西南桦人工林面积占全国总面积的 70% 以上。西南桦在该地区木材生产与生态建设中发挥着重要作用。本研究以滇西地区西南桦无性系幼林为对象,比较不同无性系的生长表现,探讨不同无性系的高径生长节律及其与主要气象因子变化的相关性,增进对西南桦生长规律的认识,为滇西地区西南桦无性系选育、速生丰产林营建及经营奠定技术基础。

## 1 试验地概况

试验地位于云南省腾冲县荷花乡尖山村尖山国有林区 ( $98^{\circ}28'50''$  E,  $25^{\circ}03'28''$  N)。该地属中亚热带山地季风气候,年均气温  $14.6^{\circ}\text{C}$ ,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  年积温  $640^{\circ}\text{C}$ , 最热月平均气温  $19.5^{\circ}\text{C}$ , 最冷月平均气温  $7.5^{\circ}\text{C}$ , 极端最高气温  $30.2^{\circ}\text{C}$ , 极端最低气温  $-4.3^{\circ}\text{C}$ ; 年均降水量 1 500 mm, 干湿季分明, 6-9 月为雨季; 年日照时数 2 167 h, 霜期 110 ~ 145 d; 生长节律观测期内各月气象资料详见表 1。试验地海拔 1 680 ~ 1 750 m, 地处南坡中坡位, 坡度  $12^{\circ}$ 。土壤为砂质壤土, 土层厚度  $\geq 1$  m, 土壤肥力中等, 种植前为杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 采伐迹地。

## 2 材料及方法

### 2.1 试验材料

西南桦无性系测定林营建于 2011 年, 参试 20 个无性系均来自广西凭祥大青山种源的人工林优树<sup>[6]</sup>, 采用随机区组试验设计, 5 株小区, 5 次重复, 株行距  $2\text{ m} \times 4\text{ m}$ , 试验林面积约  $0.5\text{ hm}^2$ 。采用组培苗造林, 于 4 月上旬沿等高线带状整地、挖穴, 穴规格  $40\text{ cm} \times 40\text{ cm} \times 50\text{ cm}$ , 每穴施 1 kg 钙镁磷肥作为基肥, 7 月中旬种植。种植后第 2 年开始, 每年 6 月和 10 月进行常规抚育, 连续抚育 3 年。

表1 生长节律观测期内(2014—2015)主要气象因子数据

Table 1 Data of main meteorological factors during growth rhythm observation (2014—2015)

指标 Factors	观测时间(年-月) Observation time (Year-Month)											
	2014-06	2014-07	2014-08	2014-09	2014-10	2014-11	2014-12	2015-01	2015-02	2015-03	2015-04	2015-05
月均气温 Mean monthly air temperature/℃	20.2	20.3	19.8	19.5	16.2	12.2	9.3	8.9	9.8	14.2	15.3	18.8
月最高气温 Monthly highest air temperature/℃	29.0	28.9	29.3	28.4	26.2	23.6	19.3	20.8	21.9	25.9	26.5	28.4
月最低气温 Monthly lowest air temperature/℃	15.2	16.5	14.6	13.4	6.8	3.0	0.3	-0.2	0.7	3.9	8.3	10.1
月降水量 Monthly rainfall/mm	319.7	240.2	254.2	160.2	94.1	11.3	17.1	89.5	0.2	29.0	93.9	14.8
月日照时数 Monthly sunny hours /h	181.8	152.5	99.1	206.5	252.2	283.3	291.6	232.9	290.7	319.8	224.1	309.9

注:降水量和日照时数参照试验地附近腾冲市荷花乡气象观测站的观测数据;气温数据则根据观测站的数据进行推算,海拔每升高100 m,气温下降0.6℃。

Note: Data of monthly rainfall and sunny hours were obtained from the meteorological observation station near the experimental site in Hehua Town, Tengchong City; Data of air temperature were calculated with data from the meteorological station according to the formulae:  $T_2 = T_1 - (A_2 - A_1) \times 0.6 / 100$ , where  $T_1$  and  $T_2$  are air temperature (°C), and  $A_1$  and  $A_2$  are altitude (m) of the experimental site and meteorological station, respectively.

## 2.2 生长观测

2014年5月至2015年5月,每月15日采用围尺和塔尺测定每株幼树的胸径和树高。为保障测量的准确性,用红色油漆标记每株幼树的胸高位置(主干上距离地面1.3 m处),而且胸径、树高的测量分别由专人实施。

## 2.3 数据处理

采用最后1次观测数据,应用SPSS19.0软件,选用GLM模型,参照Wu等<sup>[20]</sup>的方法对20个西南桦无性系的胸径、树高生长数据进行方差分析和多重比较。依据20个西南桦无性系的生长表现,利用欧氏距离进行聚类,划分不同生长类型。应用软件ForStat 2.1进行有序样本聚类分析<sup>[21]</sup>,划分各类型西南桦无性系树高、胸径生长阶段,揭示其生长节律特征。由于生长观测开始于5月,结束于翌年5月,进行有序样本聚类分析时,考虑到数据分析上的方便,将月份数据进行了平移,从而满足数据按照1月至12月排序。西南桦无性系生长过程与主要气象因子相关性分析应用SPSS19.0完成,相关系数采用Pearson系数。

## 3 结果与分析

### 3.1 生长表现

方差分析结果表明:不同无性系间生长表现差异极显著( $P < 0.01$ )。近4年生时,20个无性系的平均树高为(7.03 ± 0.10) m,年均生长量为(1.84 ± 0.03) m;Q3无性系的树高生长表现最佳,比平均水平高17.35%;A12无性系表现最差,比平均水平低11.10%。20个无性系的平均胸径为(7.90 ± 0.11) cm,年均生长量为(2.06 ± 0.03) cm;A10无

性系的胸径生长最快,比平均胸径高20.63%;FB4<sup>+</sup>无性系的胸径生长最慢,比平均胸径低15.32%(表2)。

依据树高、胸径2个生长指标对20个无性系进行聚类分析,将其分为3类(表3)。第I类生长最快,包括B3、A10、Q3、Q4、Q2等5个无性系,结合表2可以看出,其树高和胸径年均生长量多在2 m和2 cm以上,仅B3号无性系树高年均生长量略低于2 m;第II类生长次之,包括B1、Q1、A7、A5、1-202、102、A9、B2、FB2等9个无性系,其胸径年均生长量多高于2 cm(A9略小于2 cm),而树高年均生长量未达到2 m;第III类生长最慢,包括FB4、A12、A6、A2、C5、FB4<sup>+</sup>等6个无性系,其年均树高和胸径生长量均在2 m和2 cm以下。

### 3.2 生长节律

3.2.1 树高生长节律 从图1可看出:3种类型西南桦无性系树高生长高峰出现在7—9月,尽管8月生长速度略微下降;而在4月和12月有2个生长低谷,且12月为一年中西南桦生长最慢的时期。

依照有序聚类分析法,将西南桦无性系的树高生长期分为3个阶段,即缓生期、速生期和滞生期(表4)。3种类型西南桦无性系在各阶段树高生长存在明显差异,如类型I在6月中旬进入速生期,于9月中旬结束;类型II亦于6月中旬进入速生期,而结束于9月中旬;类型III于5月中旬进入速生期,于10月中旬结束。类型I在速生期、缓生期内的生长速度与II和III均差别不大,在滞生期内比类型III生长快,但类型I的速生期比II长1个月,其滞生期比II和III短1个月。由此可见,树高年生长量最大的类型I西南桦无性系在速生期并不具生长优

势,其由缓生期转入速生期时增速较慢,而由速生期转入滞生期时,生长速度下降明显比类型 II 和 III 慢,保证了其在更长时间内保持树高生长的优势。

表 2 滇西地区 20 个西南桦无性系的生长表现 (近 4 年生)

Table 2 Growth performance of twenty *Betula alnoides* clones in western Yunnan (near four years old)

无性系 Clones	树高 Height /m	树高年均生长量 Annual height growth/(m · a <sup>-1</sup> )	胸径 DBH/cm	胸径年均生长量 Annual DBH growth/(cm · a <sup>-1</sup> )
B1	7.21 ± 0.29abcde	1.88 ± 0.07abcde	8.13 ± 0.39bcde	2.12 ± 0.10bcde
B3	7.19 ± 0.59abcde	1.88 ± 0.15abcde	9.07 ± 0.39ef	2.37 ± 0.10ef
A10	8.11 ± 0.22de	2.12 ± 0.05de	9.53 ± 0.22f	2.49 ± 0.06f
FB4	6.80 ± 0.32abc	1.78 ± 0.08abc	7.18 ± 0.33abc	1.88 ± 0.08abc
A12	6.25 ± 0.42a	1.63 ± 0.10a	6.93 ± 0.42ab	1.81 ± 0.11ab
A6	6.64 ± 0.34ab	1.73 ± 0.09ab	7.00 ± 0.71abc	1.83 ± 0.18abc
Q1	7.20 ± 0.27abcde	1.88 ± 0.07abcde	7.72 ± 0.18abcd	2.02 ± 0.05abcd
A7	6.77 ± 0.26abc	1.77 ± 0.06abc	8.03 ± 0.26bcde	2.10 ± 0.07bcde
A5	7.05 ± 0.42abcde	1.84 ± 0.11abcde	8.12 ± 0.40bcde	2.12 ± 0.10bcde
Q3	8.25 ± 0.38e	2.15 ± 0.10e	8.66 ± 0.04def	2.26 ± 0.01def
I-	7.22 ± 0.54abcde	1.88 ± 0.14abcde	7.74 ± 0.27abcd	2.02 ± 0.07abcd
202	6.52 ± 0.34ab	1.70 ± 0.09ab	8.17 ± 0.21bcde	2.13 ± 0.05bcde
102	7.66 ± 0.31bcde	2.00 ± 0.07bcde	8.30 ± 0.20cde	2.17 ± 0.05cde
Q4	6.99 ± 0.36abcd	1.82 ± 0.09abcd	7.49 ± 0.45abcd	1.96 ± 0.11abcd
A9	6.41 ± 0.32ab	1.67 ± 0.08ab	7.15 ± 0.23abc	1.87 ± 0.06abc
B2	6.57 ± 0.16ab	1.71 ± 0.04ab	7.84 ± 0.34abcde	2.05 ± 0.09abcde
Q2	7.93 ± 0.04cde	2.07 ± 0.01cde	8.07 ± 0.25bcde	2.11 ± 0.06bcde
C5	6.70 ± 0.50abc	1.75 ± 0.13abc	7.40 ± 0.16abcd	1.93 ± 0.04abcd
FB2	6.75 ± 0.35abc	1.76 ± 0.09abc	7.92 ± 0.34abcde	2.07 ± 0.09abcde
FB4 <sup>+</sup>	6.50 ± 0.27ab	1.70 ± 0.07ab	6.69 ± 0.48a	1.75 ± 0.12a

注:小写字母表示 Duncan 多重比较结果,无性系间具相同字母表示差异不显著 ( $P \geq 0.05$ ),字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Note: Lowercase letters refer to results of Duncan's multiple range tests; paired clones with the same letter are not significantly different ( $P \geq 0.05$ ), while those without the same letter are significantly different ( $P < 0.05$ ). DBH means diameter at breast height.

表 3 滇西地区西南桦无性系类型划分及各类型生长表现

Table 3 Classification of *Betula alnoides* clones and growth performance of each type in western Yunnan

类型 Types	无性系 Clones	树高 Height		胸径 DBH	
		平均值 Mean/m	年均生长量 Annual growth / (m · a <sup>-1</sup> )	平均值 Mean/cm	年均生长量 Annual growth/ (cm · a <sup>-1</sup> )
I	B3、A10、Q3、Q4、Q2	7.83 ± 0.19	2.04 ± 0.05	8.73 ± 0.26	2.28 ± 0.07
II	B1、Q1、A7、A5、I-202、102、A9、B2、FB2	6.92 ± 0.09	1.80 ± 0.02	7.91 ± 0.08	2.07 ± 0.02
III	FB4、A12、A6、A2、C5、FB4 <sup>+</sup>	6.55 ± 0.08	1.71 ± 0.02	7.06 ± 0.10	1.85 ± 0.03

表 4 滇西地区 3 种类型西南桦无性系树高生长期的划分

Table 4 Division of height growth stages for three types of *Betula alnoides* clones in western Yunnan

类型 Types	缓生期 Low-growing stage		速生期 Fast-growing stage		滞生期 Lag-growing stage	
	时间(月-日) Time (month-day)	月均增量 Mean monthly growth/m	时间(月-日) Time (month-day)	月均增量 Mean monthly growth/m	时间(月-日) Time (month-day)	月均增量 Mean monthly growth/m
I	01-16 ~ 06-15	0.18 ± 0.01	06-16 ~ 10-15	0.32 ± 0.02	10-16 ~ 01-15	0.17 ± 0.03
II	01-16 ~ 06-15	0.17 ± 0.01	06-16 ~ 09-15	0.32 ± 0.02	09-16 ~ 01-15	0.16 ± 0.03
III	01-16 ~ 05-15	0.17 ± 0.01	05-16 ~ 09-15	0.33 ± 0.02	09-16 ~ 01-15	0.13 ± 0.05

3.2.2 胸径生长节律 西南桦无性系胸径生长节律比树高的复杂,而且胸径与树高的月生长动态相关不显著 ( $R^2 = -0.006, P \geq 0.05$ )。由图 1 可知:

3 种类型西南桦无性系全年的胸径生长均表现出快、慢交替的规律,于 5 月和 10 月出现 2 个胸径生长高峰,8 月和 12 月出现 2 个生长低谷,且 8 月为全

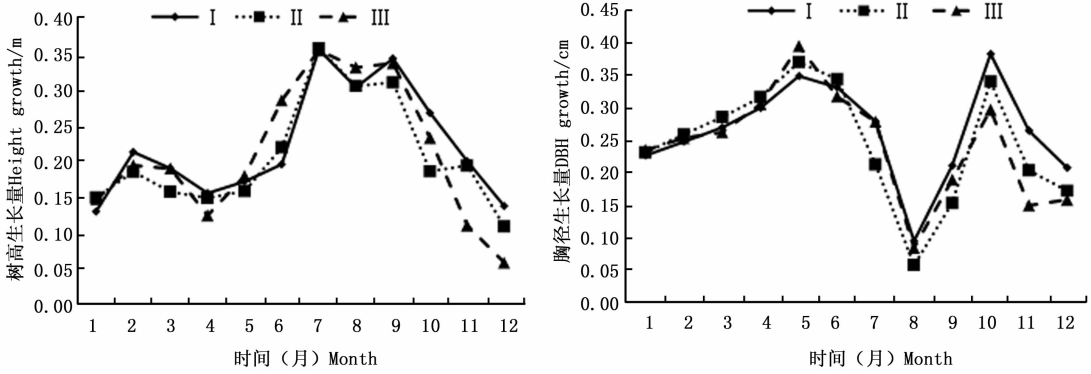


图1 滇西地区西南桦无性系树高、胸径月生长动态 (I、II 和 III 为无性系类型编号)

Fig.1 Monthly growth dynamics of height and diameter at breast height of *Betula alnoides* clones in western Yunnan (I, II and III stand for different clone types)

年胸径生长最慢的时期。

经有序聚类分析,将西南桦无性系的胸径生长期划分为5个阶段,即:缓生期、第1速生期、第1滞生期、第2速生期及第2滞生期(表5)。类型I和III于3月中旬进入第1速生期,7月中旬结束,比类型II长1个月;3种类型西南桦无性系的第1滞生期均于9月中旬结束,相应地,类型I和III的第1滞生期比类型II少1个月;3种类型的第2速生期、第2滞生期及缓生期均相同,分别为9月中旬至10月中旬、10月中旬至12月中旬、12月中旬至3月中旬。比较3种类型无性系在各阶段的月均生长量可知:在其缓生期、第1速生期和第1滞生期的胸径生长量差别不大,年生长量最大的类型I甚至略低于II和III,而在第2速生期和第2滞生期其生长差异增

大,类型I的胸径生长明显高于II和III。总之,生长最快的类型I属“慢热”型,第1速生期虽然生长速度比类型II和III的低,但其持续时间长,而第2速生期生长速度明显比类型II和III的快,第2滞生期生长速度下降最慢。

3.2.3 生长节律与气象因子的相关性 为探讨主要气象因子对西南桦无性系幼林生长节律的影响,分析其树高、胸径月生长量与月平均气温、月降水量、月极端高温、月极端低温及月日照时数等气象因子之间的相关性,结果(表6)表明:树高月生长量与月日照时数呈极显著负相关( $P < 0.01$ ),与月平均气温、月极端低温极显著正相关,与月降水量、月极端高温显著相关( $P < 0.05$ );5个气象因子中,胸径月生长量与日照时数相关性最强,但相关不显著( $P \geq 0.05$ )。

表5 滇西地区3种类型西南桦无性系胸径生长期划分

Table 5 Division of DBH growth stages for three types of *Betula alnoides* clones in western Yunnan

类型 Types	缓生期 Low-growing stage		第1速生期 First fast-growing stage		第1滞生期 First lag-growing stage		第2速生期 Second fast-growing stage		第2滞生期 Second lag-growing stage	
	时间(月-日) Time	月均增量 Mean monthly growth/cm	时间(月-日) Time	月均增量 Mean monthly growth/cm	时间(月-日) Time	月均增量 Mean monthly growth/cm	时间(月-日) Time	月均增量 Mean monthly growth/cm	时间(月-日) Time	月均增量 Mean monthly growth/cm
	(month-day)	growth/cm	(month-day)	growth/cm	(month-day)	growth/cm	(month-day)	growth/cm	(month-day)	growth/cm
I	12-16 ~ 03-15	0.23 ± 0.01	03-16 ~ 07-15	0.31 ± 0.02	07-16 ~ 09-15	0.15 ± 0.06	09-16 ~ 10-15	0.38 ± 0.06	10-16 ~ 12-15	0.24 ± 0.03
II	12-16 ~ 03-15	0.23 ± 0.02	03-16 ~ 06-15	0.34 ± 0.02	06-16 ~ 09-15	0.14 ± 0.05	09-16 ~ 10-15	0.34 ± 0.04	10-16 ~ 12-15	0.19 ± 0.02
III	12-16 ~ 03-15	0.23 ± 0.01	03-16 ~ 07-15	0.32 ± 0.03	07-16 ~ 09-15	0.14 ± 0.05	09-16 ~ 10-15	0.30 ± 0.06	10-16 ~ 12-15	0.15 ± 0.00

表6 西南桦无性系树高、胸径生长与气象因子间的相关性

Table 6 Relationship between height and DBH growth of *Betula alnoides* clones and meteorological factors

指标 Factors	月均气温 Mean monthly air temperature	月降水量 Monthly rainfall	月极端高温 Monthly highest air temperature	月极端低温 Monthly lowest air temperature	月日照时数 Monthly sunny hours
月树高生长量 Monthly height growth	0.732 **	0.701 *	0.688 *	0.785 **	-0.733 **
月胸径生长量 Monthly DBH growth	0.128	-0.152	0.175	0.013	0.434

注: \*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ . Note: \*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ .

为了更直观地揭示西南桦生长节律与气象因子月动态变化规律的关系,分别绘制树高、胸径净生长量与各气象因子的月变化折线图(图2)。由图2看出:树高月生长量与各气象因子的关系密切,与当月气温、降水量的整体变化相吻合,而与日照时数的变

化趋势大致相反。胸径月生长量变化很复杂,与气象因子趋势的变化不甚吻合,不过可以明显看出,从5月至10月,日照时数与胸径月生长的变化趋势一致,推断8月日照时数低是其胸径生长最慢的主要原因。

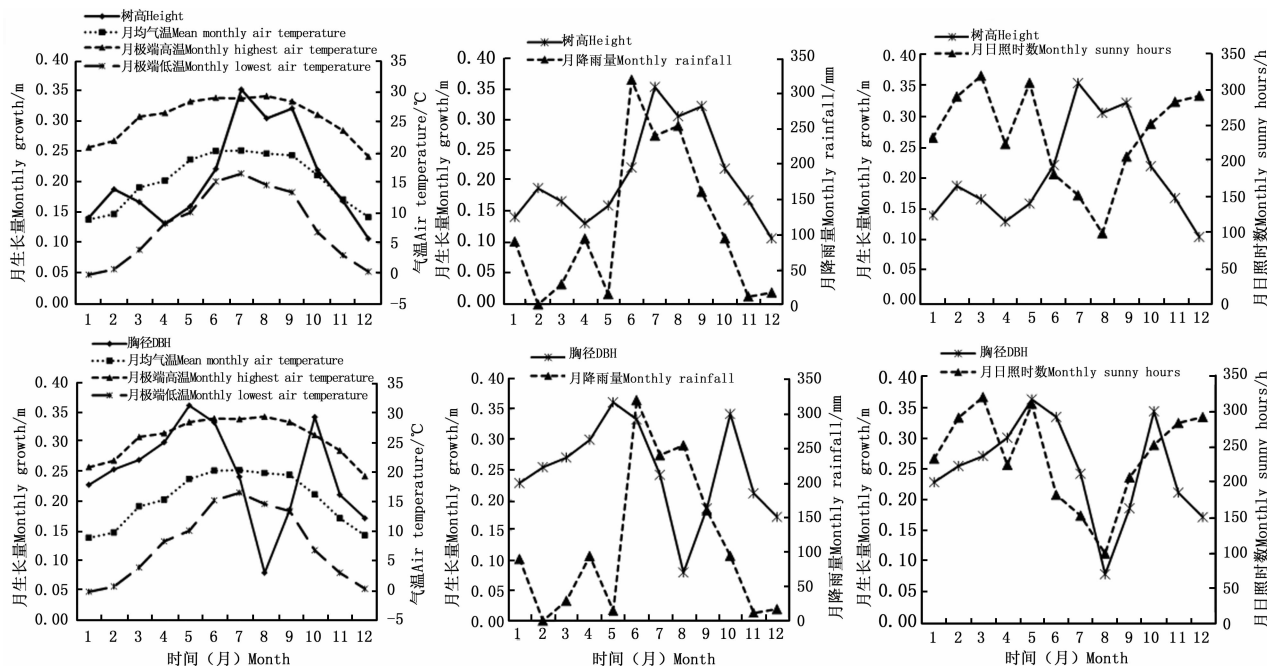


图2 西南桦生长节律与气象因子月变化

Fig. 2 Growth rhythm of *Betula alnoides* and monthly dynamics of main meteorological regimes

## 4 讨论

参试的20个西南桦无性系在云南省腾冲县的生长差异显著,树高和胸径生长分别以无性系Q3和A10表现最佳。通过聚类将20个无性系划分为3个类型,B3、A10、Q3、Q4、Q2等5个无性系属于速生类型,其树高、胸径年均生长量大多超过2 m和2 cm,在滇西地区具有较大的发展潜力。20个西南桦无性系中,仅Q2和Q4在粤西地区(广东省云浮市云安区)亦表现优良<sup>[7]</sup>,而在广东省云浮市云安区和桂西地区(凭祥、天峨、田林)生长表现优良的无性系FB4和FB4<sup>+</sup>在滇西地区则属于慢生型<sup>[6-7]</sup>。由此可见,优良无性系选择有其地域性,在进行无性系大面积推广之前,开展其区域性测试尤为重要。

3种类型西南桦无性系的生长节律基本一致,其幼林树高生长节律与大多数阔叶树种如米老排<sup>[14]</sup>等相似,呈现“慢-快-慢”的生长过程,其生长期可划分为缓生期、速生期和滞生期3个阶段;而其胸径生长遵循“慢-快-慢-快-慢”规律,生长

期划分为缓生期、第1速生期、第1滞生期、第2速生期和第2滞生期5个阶段。本研究中,速生型西南桦无性系的树高生长速度并非在其速生期而在缓生期和滞生期高于其他2个类型,胸径生长速度亦在第1速生期结束后才高于其他类型。由此可见,速生型无性系保持较高生长速度的时间较其他类型长,说明这些无性系的活力强,从而使其年生量明显高于其他类型无性系。

相关性分析结果显示,西南桦无性系的胸径和树高月生长量的相关不显著,说明二者的生长节律是相互独立的,与光皮桦<sup>[19]</sup>、印楝(*Azadirachta indica* A. Juss)<sup>[22]</sup>等树种类似。西南桦树高生长具1个生长高峰,且持续时间较长(7—9月),4月和12月为生长低谷;西南桦胸径生长有2个生长高峰,分别在5月和10月,有2个生长低谷,分别在8月和12月,8月的胸径生长量明显低于12月,与米老排<sup>[18]</sup>、光皮桦<sup>[19]</sup>、印楝<sup>[22]</sup>等树种明显不同,究其原因,与树种适应性、种植立地差异有关。一方面,西南桦喜温凉湿润气候,而且10—11月(属旱季)落

叶后约半个月即发新叶,虽然12月的月均气温降至10℃以下,但仍能保持生长;另一方面,西南桦喜光,在滇西地区8月份胸径生长量低,与该月日照时数最小有关,因为胸径生长量与日照时数的相关性最强。

## 5 结论

综上所述,参试的20个西南桦无性系在云南省腾冲县生长表现差异显著,其中,B3、A10、Q3、Q4、Q2等5个无性系生长良好,可在滇西地区推广。3种类型西南桦无性系的生长节律基本一致,均呈现“慢-快-慢”的生长过程,其中,速生型无性系生长较快是因为其比中等和慢生型在更长时间内保持较高的生长速度。西南桦无性系的胸径和树高的生长节律不同步,高生长与气象因子相关显著。因此,为了促进西南桦生长,建议在树高、胸径生长高峰来临之前,在5月初和9月加强抚育,并结合降雨天气进行施肥。

## 参考文献:

- [1] 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.
- [2] Wang C S, Hein S, Zhao Z G, et al. Branch occlusion and discoloration of *Betula alnoides* under natural and green pruning[J]. Forest Ecology and Management,2016,375:200-210.
- [3] 林开勤,赵志刚,郭俊杰,等.西南桦嫩枝扦插繁殖试验[J].种子,2010,29(9):70-72.
- [4] 刘英,曾炳山,裘珍飞,等.西南桦以芽繁芽组培快繁研究[J].林业科学研究,2003,16(6):715-719.
- [5] 陈伟,施季森,陈金慧,等.西南桦不同种源外植体组织培养技术[J].南京林业大学学报,2007,31(1):27-30.
- [6] 湛红辉,贾宏炎,郭文福,等.西南桦无性系测定与评价[J].林业实用技术,2013(6):9-11.
- [7] 黎颖锋,郭俊杰,张栋,等.粤西地区西南桦优良无性系早期

选择[J].林业与环境科学,2016,32(6):36-39.

- [8] Eriksson G. Evolutionary forces influencing variation among populations of *Pinus sylvestris*[J]. Silva Fennica,1998,32(2):173-184.
- [9] 陆佩玲,于强,贺庆棠.植物物候对气候变化的响应[J].生态学报,2006,26(3):923-929.
- [10] 陈章和,张德明,郭志华.南亚热带气候下三种树木径向生长季节节律研究[J].生态学报,1999,19(6):939-943.
- [11] Dansevicius D, Gabrilavicius R. Variation in Juvenile Growth Rhythm among *Picea abies* Provenances from the Baltic States and the Adjacent Regions[J]. Scandinavian Journal of Forest Research, 2001,16(4):305-317.
- [12] 邝雷,邓小梅,陈思,等.4个任豆种源苗期生长节律的研究[J].华南农业大学学报,2014,35(5):98-101,107
- [13] Lukkariinen A J, Ruotsalainen S, Peltola H, et al. Annual growth rhythm of *Larix sibirica* and *Larix gmelinii* provenances in a field trial in southern Finland[J]. Scandinavian Journal of Forest Research,2013,28(6):518-532.
- [14] 符建明,沈熙环.侧柏种源试验中苗高生长节律的研究[J].北京林业大学学报,1989,11(2):72-79.
- [15] 李秋荔,黄寿先,李志先,等.中国马褂木不同种源苗期生长规律研究[J].广西植物,2012,32(3):355-361.
- [16] 王旭军,张日清,许忠坤,等.不同种源红榉苗期生长节律的研究[J].中南林业科技大学学报,2013,33(7):31-34.
- [17] 陈丽君,刘明骞,廖柏勇,等.苦楝不同种源苗期生长性状和生长节律研究[J].西南林业大学学报,2014,34(4):1-7.
- [18] 郭文福,蔡道雄,贾宏炎,等.米老排人工林生长规律的研究[J].林业科学研究,2006,19(5):585-589.
- [19] 曹健康,方乐金.光皮桦幼林生长节律的观测研究[J].林业科学研究,2006,19(3):404-407.
- [20] Wu S J, Lu Z H, Xu J M, et al. Genetic variation in growth traits and stem-branch characteristics and their relationships to *Eucalyptus* clones[J]. Journal of Forestry Research,2015,26(4):957-962.
- [21] 曹帮华.有序聚类和数学模拟在刺槐苗年生长规律研究中的应用[J].山东农业大学学报,1998,29(4):487-494.
- [22] 彭兴民,赖永祺,张燕平,等.印楝人工幼林生长规律的研究[J].林业科学研究,2002,15(4):469-473.

(责任编辑:徐玉秀)