

卡西亚松家系幼林的生长节律

杨雪艳¹, 徐建民^{1*}, 朱映安¹, 沈乐¹, 李光友¹, 吴世军¹, 罗亚春²,
刘继伟², 陈礼勇²

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所国家重点实验室, 广州 510520; 2. 普洱市卫国林业局, 云南 宁洱 665100)

摘要: 为了解卡西亚松(*Pinus kesiya*)生长与气象因子间的关系, 对 17 个卡西亚松家系幼林的周年生长性状进行研究。结果表明, 17 个卡西亚松家系的胸径、树高和抽梢次数存在显著差异($P < 0.05$), 可分为速生型(I)和慢生型(II), 其中 7、25、61、104、41 家系属于速生型, 其胸径和树高年均生长量分别为 2.03 cm 和 1.46 m。两类型家系的生长趋势一致, 胸径一年内出现 2 次生长高峰(2 和 8 月), 树高出现 3 次生长高峰(2-3、6 和 8-10 月)。有 3 次抽梢高峰, 分别在 5 月(春梢)、8-9 月(夏梢)和 11 月(秋梢), 一年抽 1~4 次新梢, 以抽 2 次新梢的植株最多(47%), 且在春(71.78%)夏(77.33%)两季抽梢的比例较高。月平均气温对卡西亚松树高的生长影响最大, 在 1 月出现短暂的生长停滞。因此, 卡西亚松幼林抚育管理宜在胸径和树高生长高峰之前进行, 即 5-6 和 12-翌年 1 月, 1 月进行幼林修枝抚育。

关键词: 卡西亚松; 半同胞家系; 抽梢; 生长节律; 滇南地区

doi: 10.11926/jtsb.3981

Growth Rhythm for Half-sib Families of Young *Pinus kesiya* Plantations in Southern Yunnan, China

YANG Xue-yan¹, XU Jian-min^{1*}, ZHU Ying-an¹, SHEN Le¹, LI Guang-you¹, WU Shi-Jun¹,
LUO Ya-chun², LIU Ji-wei², CHEN Li-yong²

(1. Key Laboratory of State Forestry Administration on Tropical Forestry Research, Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China; 2. Weiguo Forestry Bureau of Pu'er City, Ning'er 665100, Yunnan, China)

Abstract: In order to understand the relationship between monthly growth of *Pinus kesiya* and meteorological factors, the annual growth dynamic of 17 families were studied in southern Yunnan. The family plantation was established in June 2013, 17 half-sib families of *P. kesiya* introduced from Thailand and Vietnam were selected with *P. kesiya* var. *langbianensis* from local seed orchard as control, the diameter at breast height (DBH), height and timing of shooting were observed for a whole year since July 2015. Meanwhile, the effects of meteorological factors on growth rhythm and shooting law were also analyzed. The results showed that there were significant differences in DBH, height and shooting times among 17 families ($P < 0.05$). These families could be divided into two types, family No. 7, 25, 61, 104 and 41 were fast-growth type (I), with annual mean increment of DBH and height for 2.03 cm and 1.46 m, respectively, and the others was slow-growth type (II). The both types of *P. kesiya* families showed similar growth tendency, of the DBH growth had two peaks occurred in February and August, of and the height growth had three peaks in February to March, June, and August to October, and shooting had three peaks in May (spring shoot), August to September (summer shoot) and November (fall shoot), respectively. The

收稿日期: 2018-08-13 接受日期: 2018-12-31

基金项目: 948 国家项目引进国际先进林业科学技术(2012-4-45); 中国林业科学研究院基本科研业务费专项(CAFYBB2018SZ002)资助

This work was supported by the National 948 Program of Introduce International Advanced Forestry Science and Technology (Grant No. 2012-4-45), and the Special Project for Basic Scientific Research of Chinese Academy of Forestry (Grant No. CAFYBB2018SZ002).

作者简介: 杨雪艳, 硕士, 林木遗传育种专业。E-mail: yxueyan123@163.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: jianmxu@163.com

shooting times of *P. kesiya* were one to four in a whole year, of which the number of families with twice shooting was the largest, accounting for 47% of the total trees, mainly in spring (72.78%) and summer (77.33%). The growth of *P. kesiya* was influenced mainly by monthly average temperature, and growth stagnation was short in January. So, it was recommended that tending management of *P. kesiya* young plantation should be conducted before two peaks of DBH and height growth, i.e. May to June and December to January, and pruning in January.

Key words: *Pinus kesiya*; Half-sib family; Shooting; Growth rhythm; Southern Yunnan

生长节律包括生长起始和结束时间的早晚、生长期的长短以及生长速率的快慢,这与植株生长量的大小密切相关^[1]。研究树木生长节律,可揭示其生长特性,为其经营管理提供理论依据,亦有助于种质资源早期评价,从而加快优良种质的推广应用^[2]。我国关于林木生长节律已有大量报道,但大多是苗期^[3-6],国内有关幼林生长节律的报道相对较少,赖猛等^[7]对落叶松(*Larix spp.*)杂种、黄家聪等^[8]对西南桦(*Betula alnoides*)、郭文福^[9]对山白兰(*Paramichelia bailonii*)进行了研究。国内有关树木抽梢规律的研究鲜见报道,仅见印楝(*Azadirachta indica*)^[10],国外对抽梢的研究相对较多。抽梢时间、次数以及节间长度与林木的生长、良种的选择息息相关。Lukkarinen 等^[11-12]对 *Larix sibirica* 和 *L. gmelinii* 苗期及幼林的研究均表明,生长节律、抽梢起始时间和梢长因种源地理位置及气候而异,当南方种源向北方引种时,大多数植株抽梢时间会推迟。Danusevicius^[13]等对瑞典和拉脱维亚中部云杉(*Picea abies*)苗期生长节律进行研究,由于产地温度和纬度差异,往东北方向引种时,其植株会变矮小,抽梢时间变晚,以避免倒春寒的危害。由此可见,对引种种源进行生长节律的研究,是了解其生长特性和适应性的重要途径。

卡西亚松(*Pinus kesiya*)为松科(Pinaceae)松属植物,树高可达 45 m,胸径可达 1 m,树干直立;树皮厚,网状深裂,小枝被粉;叶 3 针一束,长 15~20 cm;花蜡质^[14-15]。卡西亚松天然分布于印度、缅甸、老挝、泰国、越南和菲律宾,生长于海拔 300~2 700 m,且在海拔 700~1 200 m 集中分布^[16]。卡西亚松生长迅速,扦插繁殖能力强,适生于各种土壤,对各种害虫和极端天气(风害、霜冻、干旱)具有很强的耐受性,是火灾后及土壤退化地区的先锋树种。卡西亚松是热带地区的重要用材树种^[17],其松脂和精油应用领域宽广^[15]。我国于 2013 年首次系统引进卡西亚松种质资源,前期开展了家系苗期生长表现研究^[18],并在云南省普洱市和临沧市,

以其地理变种思茅松(*P. kesiya* var. *langbianensis*)为对照,开展了家系试验研究。

本文以建于云南省普洱市宁洱县小黑江省级森林公园引种的卡西亚松家系试验林为研究对象,对 4 个产地 17 个半同胞家系进行 1 年的每月定期生长观测,揭示幼林生长节律,探讨月生长量和气象因子的相关性,为幼林抚育和经营管理提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

位于云南省宁洱县小黑江的普洱市卫国林业局三林场(23°21'02"N, 100°57'00"E),海拔 1 300 m,属南亚热带季风气候,平均气温为 18.6°C,最高气温 32.8°C,最低气温 1.1°C;年均降雨量 1 400 mm,日照时数 2 300 h。土壤为中生带侏罗纪和白垩纪的三迭纪砂岩发育而成的砖红壤,造林前土壤(0~60 cm)腐殖质含量 6.475 g kg⁻¹,有效 N、P 和 K 含量分别为 0.259、0.142 和 3.843 mg kg⁻¹,pH 值 4.8。

1.2 试验林营造

卡西亚松(*Pinus kesiya*)试验林来自 4 个产地 129 个家系,家系 7、8、24、25 和 27 来自泰国清迈 Hod 无性系种子园(T50240),位于 18°10' N, 98° 25' E,海拔 800 m;家系 41、61、71 和 81 来自越南 Lam Dong 的 Xuan Tho 无性系种子园(V999100),位于 11°56' N, 108°32' E,海拔 1 400 m;家系 104、114、117 和 118 来自越南 Lam Dong 天然林(V999100-1),位于 11°70' N, 108°30' E,海拔 1 385 m;家系 106、108、110 和 129 来自越南 Lam Dong 天然林(V999100-2),位于 12°20' N, 108°17' E,海拔 1 559 m;以景谷思茅松(*P. kesiya* var. *langbianensis*)无性系种子园混合家系为对照,位于 22°45' N, 100° 57' E,海拔 1 305 m。试验种子均采自优良母树。采用随机区组设计,8 次重复,5 株单列小区。试验地为思茅松采伐迹地,清

除采伐剩余物和杂灌后,沿等高线挖 50 cm×40 cm×30 cm 的种植穴,株行距为 2.5 m×3 m。每穴施过磷酸钙 0.25 kg 和 0.1 kg 复合肥(N:P:K=15:10:12)作为基肥。于 2013 年 1 月播种育苗,6 月造林。当年秋季带状抚育(砍杂除草)1 次,带宽 1 m,2014 年秋季全面抚育 1 次。

1.3 生长观测

2015 年 7 月试验林生长稳定后,保存率为 95.53%。每个产地种质随机选取 4~5 个家系共 17 个家系,每个家系选择 5 个试验重复小区共 25 株,开始为期 1 年的生长观测。观测株用彩带和标签标记,每月 25-30 日分别用胸径尺、塔尺测定幼树的胸径和树高,并记录抽梢新梢数(新梢抽出,轮枝数完全展开算作一新梢)。为了保证试验的准确性,每月调查集中在 1~2 d 内完成,并在树高 1.3 m 处喷漆标记,确保每次胸径测量高度的一致性。

同时,收集宁洱县气象站的月气象因子数据,所录各气象因子的数据属于正常年份,期间没有发生大的气象灾害(如干旱,大寒潮)或极端天气事件。

1.4 数据处理

运用 R 语言进行方差分析及多重比较。应用 SPSS 21.0 软件进行系统聚类分析,采用切比雪夫距离划分家系类群。分析生长节律与气象因子的相关性。采用 Excel 绘制胸径、树高生长及抽梢月动态图表,并划分生长阶段。为便于分析,将月生长量月份平移为 1-12 月。

2 结果和分析

2.1 生长特性

由表 1 可知,3 年生卡西亚松的树高和胸径在来源地间差异分别为极显著($P<0.01$)和显著($P<0.05$),抽梢次数在产地间差异不显著。3 年生卡西亚松树高和胸径在家系间差异均为极显著($P<0.01$),抽梢次数在家系间差异显著($P<0.05$)。

17 个家系的平均胸径 5.84 cm,年生长量为 1.84 cm;平均树高 4.35 m,年生长量 1.38 m,对照思茅松的平均胸径和树高分别为 5.04 cm 和 3.68 m,年生长量分别为 1.59 cm 和 1.16 m。其中 13 个家系生长优于对照思茅松,以 7 号家系表现最优,胸径

表 1 17 个卡西亚松家系生长特征在来源地和家系间的方差分析(F)

Table 1 Variation analysis (F) of growth characters of 17 *Pinus kesiya* families among origin and families

方差来源 Source of variation	自由度 Degree of freedom	树高 Height	胸径 DBH	抽梢次数 Shooting times
来源地 Origin	3	7.023**	3.207*	1.405
家系 Family	16	4.827**	3.226**	1.788*

*: $P<0.05$; **: $P<0.01$

比对照高 33.21%,树高比对照高 31.58%。根据胸径、树高对 17 个卡西亚松家系进行聚类分析,可分为 2 类。7、25、61、104 和 41 号家系归为 I 类,属速生型,平均胸径和树高分别为 6.41 cm 和 4.62 m,年均生长量分别为 2.03 cm 和 1.46 m;118、108、71、24、81、110、129、8、117、106、27 和 114 号家系归为 II 类,属慢生型,平均胸径和树高分别为 5.56 cm 和 4.23 m,年均生长量分别为 1.76 cm 和 1.34 m。可见,II 类家系的胸径和树高生长要明显低于 I 类。

2.2 生长节律

胸径生长节律 速生型和慢生型卡西亚松家系与思茅松的胸径、树高和抽梢生长趋势基本一致。胸径生长有两次明显高峰,分别在 2 和 8 月,3-6 和 9-12 月属于生长缓生期,1 月份是卡西亚松、思茅松胸径生长最慢的时期。根据图 1 可将胸径生长期划分为 5 个阶段:滞生期、第 1 速生期、第 1 缓生期、第 2 速生期、第 2 缓生期(表 2)。虽然在第 1 速生期、第 1 缓生期 I 类和 II 类卡西亚松家系并没有思茅松生长速度快,但在第 2 速生期 I 类卡西亚松家系生长速度明显要快于 II 类和思茅松,且在第 2 缓生期 I 类型卡西亚松家系比 II 类和思茅松生长速度快。可见,胸径年生长量最大的 I 类卡西亚松家系在前期并不具备明显生长优势,但当其进入第 2 速生期生长速度明显加快,由第 2 速生期转向第 2 缓生期时生长速度的下降幅度明显比 II 类卡西亚松家系和思茅松慢,表明 I 类卡西亚松家系能较长时间保持胸径生长优势。

树高生长节律 2 类卡西亚松家系和对照思茅松的树高生长节律与胸径明显不同。由图 1 可知,卡西亚松家系和思茅松全年均有 3 个树高生长高峰,卡西亚松的树高生长高峰在 2-3、6 和 8-10 月,思茅松生长高峰在 2-4、6 和 8-10 月。树高生长期可划分为 7 个阶段:滞生期、第 1 速生期、第 1

缓生期、第 2 速生期、第 2 缓生期、第 3 速生期和
第 3 缓生期(表 3)。2 类卡西亚松家系和思茅松同
时进入第 1 速生期,但思茅松高生长持续时间相对

较长、生长量大,卡西亚松在第 2 缓生期和第 3 速
生期与思茅松的生长速率差别亦不大,然而在第 1
缓生期及第 2 速生期卡西亚松生长速率要明显快于
思茅松,在第 3 缓生期 2 类卡西亚松家系的生长速
率也稍快于思茅松。I 类卡西亚松家系在第 1 速生
期、第 2 速生期和第 3 缓生期的生长均优于 II 类。

抽梢生长节律

卡西亚松不同家系的抽梢
次数差异显著($P < 0.05, F = 2.52$)。卡西亚松家系和
对照思茅松每年抽梢 1~4 次,卡西亚松抽梢 2 次居
多,占总数的 47%,1 次为 27%,3 次为 22%,4 次
只有 4%。抽梢 1 次的植株多发生在春季;抽梢 2
次的植株多数为春季和夏季各抽梢 1 次,未见只在
春季抽梢 2 次的情况;抽梢 3 次的植株大部分为春
季抽梢 1 次,夏季抽梢 2 次,未见春季和秋季一年
抽梢 3 次和夏季不抽梢的情况;抽梢 4 次的植株绝
大多数为春季抽梢 1 次,夏季抽梢 2 次,秋季抽梢
1 次,极少为春季抽梢 2 次,夏季抽梢 2 次,未见
春季和秋季抽梢 4 次,而夏季不抽梢的情况(表 4)。

由图 1 可知,卡西亚松家系的年抽梢高峰有 3
次,分别为 5 月的春梢,8-9 月的夏梢和 11 月的秋
梢,其余时间无抽梢现象。抽梢与树高生长趋势一
致,新梢抽出,树高同步生长,抽梢轮枝数展开算
作 1 次新梢,因此新梢轮枝展开时间稍滞后于树高
生长高峰期。

图 2 中卡西亚松家系是按生长速度由快到慢
进行排列的。可见,卡西亚松在春季(71.78%)和
夏季(77.33%)抽梢的植株较多,而在秋季(27.11%)
抽梢的植株较少,且 I 类家系抽梢多集中在春季
和夏季,II 类家系植株在春季的抽梢率少于 I 类,
但秋季抽梢率明显高于 I 类。春季抽梢的植株中
有 320 株抽梢 1 次,仅有 3 株抽梢 2 次,夏季抽
2 次新梢的现象较多(116 株),但少于抽 1 次新梢的植
株(232 株),秋季抽梢的植株只抽 1 次新梢(122 株)。
思茅松春季和夏季抽梢的植株少于多数卡西亚松家
系,但秋季抽梢植株多于多数卡西亚松家系。

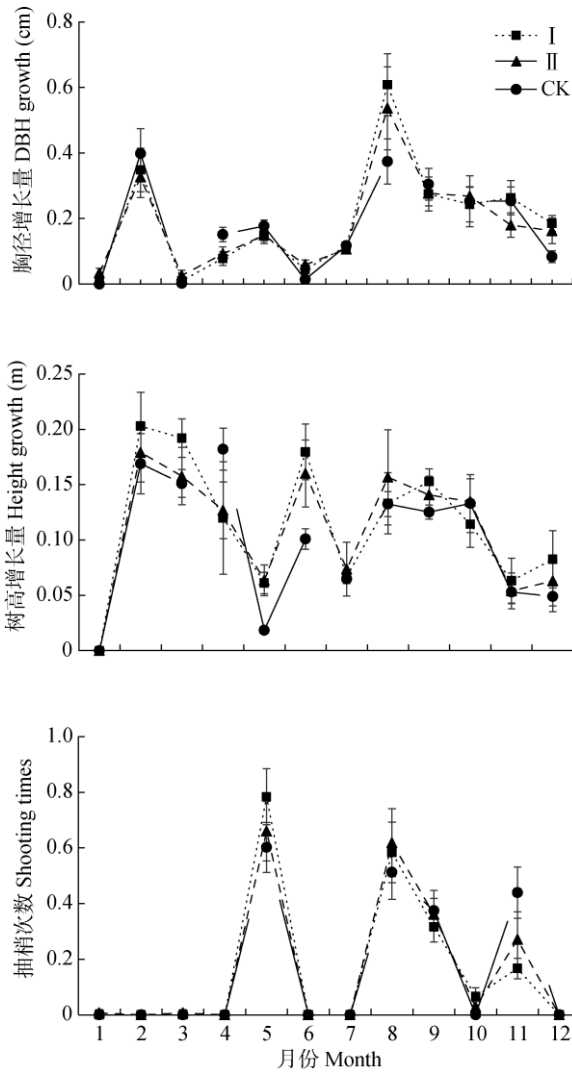


图 1 卡西亚松家系的胸径、树高和抽梢次数月生长量。I: 速生型; II: 慢生型; CK: 思茅松。以下图表同。

Fig. 1 Monthly increment in DBH, height and shooting times of *Pinus kesiya* families. I: Fast-growth type; II: Slow-growth type; CK: *P. kesiya* var. *lanbianensis*. The same is following Tables and Figures.

表 2 卡西亚松家系和思茅松在不同生长期的胸径生长量

Table 2 DBH increment (cm) of *Pinus kesiya* families and *P. kesiya* var. *lanbianensis* at different stage

生长期 Growth stage	月份 Month	I	II	CK
滞生期 Lag-growing	1	0.01 ± 0.02	0.03 ± 0.03	0.00 ± 0.00
第 1 速生期 1st fast-growing	2	0.35 ± 0.13	0.33 ± 0.12	0.40 ± 0.15
第 1 缓生期 1st slow-growing	3-7	0.40 ± 0.07	0.43 ± 0.09	0.46 ± 0.06
第 2 速生期 2nd fast-growing	8	0.61 ± 0.19	0.54 ± 0.25	0.37 ± 0.14
第 2 缓生期 2nd slow-growing	9-12	0.97 ± 0.20	0.89 ± 0.12	0.89 ± 0.15

表3 卡西亚松家系和思茅松在不同生长期的树高生长量

Table 3 Height increment (m) of *Pinus kesiya* families and *P. kesiya* var. *lanbianensis* at different stage

生长期 Growth stage	月份 Month	I	II	月份 Month	CK
滞生期 Lag-growing	1	0.00±0.00	0.00±0.00	1	0.00±0.00
第1速生期 1st fast-growing	2-3	0.40±0.09	0.34±0.08	2-4	0.50±0.11
第1缓生期 1st slow-growing	4-5	0.18±0.12	0.19±0.04	5	0.02±0.05
第2速生期 2nd fast-growing	6	0.18±0.05	0.16±0.06	6	0.10±0.02
第2缓生期 2nd slow-growing	7	0.07±0.01	0.07±0.05	7	0.06±0.02
第3速生期 3rd fast-growing	8-10	0.40±0.06	0.43±0.07	8-10	0.39±0.04
第3缓生期 3rd slow-growing	11-12	0.15±0.05	0.12±0.05	11-12	0.10±0.03

表4 卡西亚松家系的年抽梢次数和植株数量

Table 4 Shooting times and number of trees of *Pinus kesiya* families from 2015-07 to 2016-07

家系号 Family No.	1				2					3					4				
	春 SP	夏 SU	秋 AU	合计 Sum	春 SP	夏 SU	春+夏 SP+ SU	春+秋 SP+ AU	夏+秋 SU+ AU	合计 Sum	春+夏 SP+ SU	春+秋 SP+ AU	夏+秋 SU+ AU	春+夏+ 秋 SP+ SU+ AU	合计 Sum	春+夏 SP+SU	春+秋 SP+AU	春+夏+ 秋 SP+ SU+ AU	合计 Sum
7	4	0	2	6	0	0	11	0	0	11	6	0	0	2	8	0	0	0	0
25	8	0	2	10	0	0	5	0	2	7	6	0	0	2	8	0	0	0	0
104	4	0	0	4	0	0	9	3	1	13	4	0	0	0	4	3	0	1	4
41	4	6	4	14	0	2	5	0	0	7	2	0	0	2	4	0	0	0	0
61	4	0	0	4	0	2	13	0	2	17	2	0	0	0	2	2	0	0	2
27	2	0	1	3	0	0	7	4	2	13	8	0	0	0	8	0	0	1	1
114	4	9	2	15	0	4	4	0	2	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
81	4	0	0	4	0	0	9	0	0	9	6	0	0	4	10	2	0	0	2
117	4	0	0	4	0	0	9	0	2	11	8	0	0	2	10	0	0	0	0
110	0	0	2	2	0	0	17	0	4	21	2	0	0	0	2	0	0	0	0
106	2	7	4	13	0	0	6	0	6	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
129	4	4	4	12	0	0	7	0	2	9	4	0	0	0	4	0	0	0	0
8	8	0	0	8	0	0	11	0	0	11	4	0	0	2	6	0	0	0	0
24	2	0	0	2	0	4	8	0	2	14	4	0	2	2	8	1	0	0	1
108	2	2	2	6	0	0	0	0	6	6	8	0	0	2	10	3	0	0	3
118	2	0	2	4	0	2	4	0	4	10	2	0	4	1	7	4	0	0	4
71	4	0	0	4	0	4	11	0	2	17	2	0	2	0	4	0	0	0	0
CK	2	0	6	8	0	0	7	0	5	12	4	0	0	0	4	0	0	1	1
合计 Sum	64	28	31	123	0	18	143	7	42	210	72	0	8	19	99	3	0	15	18
%				27						47				22				4	4

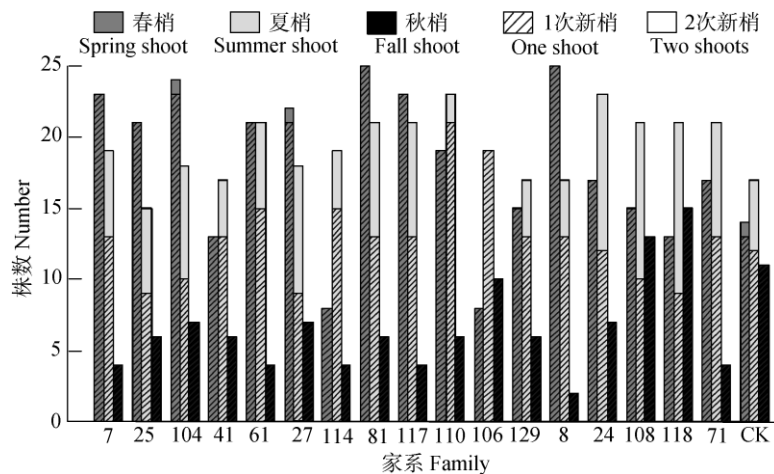


图2 卡西亚松家系春季(5月)、夏季(8-9月)和秋季(11月)的抽梢率

Fig. 2 Shooting rate of *Pinus kesiya* families in spring, summer and autumn

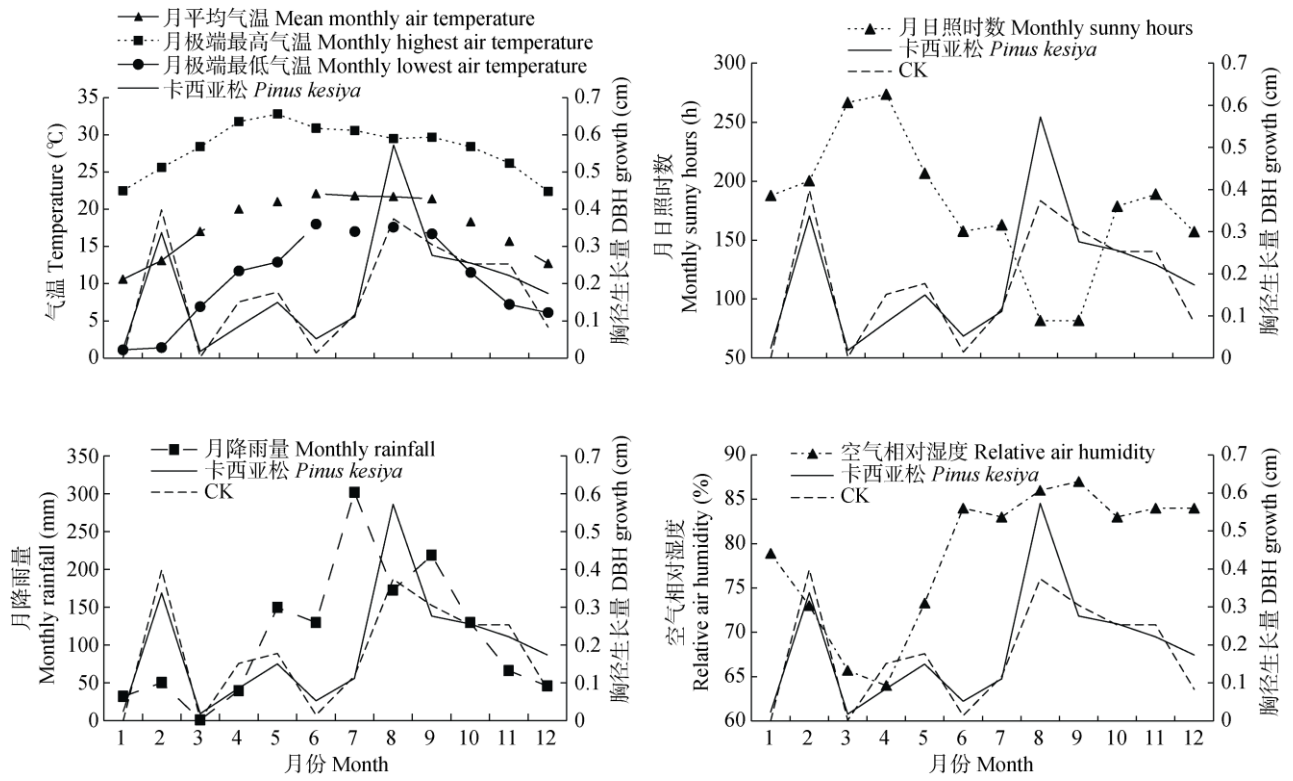


图 3 胸径生长量与气象因子的月变化

Fig. 3 Monthly dynamics in DBH increment and meteorological factors

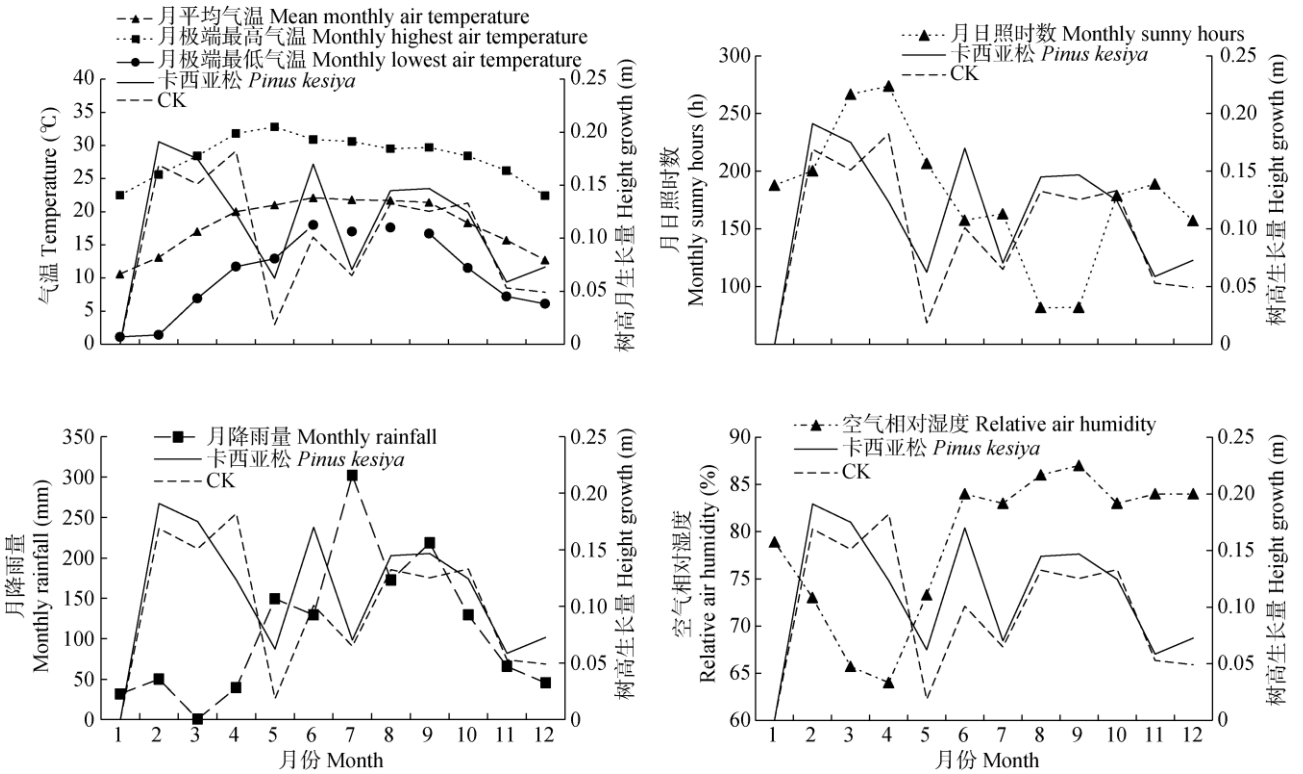


图 4 树高生长量与气象因子的月变化

Fig. 4 Monthly dynamics in height increment and meteorological factors

2.3 生长节律及抽梢规律与气象因子的变化

将月生长动态与月气象因子进行相关性分析, 仅胸径月生长量与日照时数呈现显著负相关 ($P < 0.05$), 为了直观地揭示卡西亚松生长节律与气象因子月动态变化规律的关系, 绘制出生长特征与气象因子的月变化折线图(图 3, 4)。可见, 胸径月生长量与气温和空气湿度的变化趋势不一致, 与日照时数呈相反的变化趋势; 胸径月生长量与降雨量的变化整体上吻合, 在 1-6 月时两者的趋势相一致, 在 7 月出现胸径生长较相对降雨量变化滞后的情况, 此后变化趋势相吻合。树高月生长量与气温、日照时数和空气湿度变化趋势不甚一致; 树高月生长量与 1-7 月的月降雨量呈现相反的变化趋势, 此后两者变化较为一致。抽梢生长与各气象因子变化不吻合, 故略去抽梢与气象因子变化图。

2.4 生长节律与气象因子的典型相关分析

为进一步探索气象因子对卡西亚松生长的影响, 将生长性状和气象因子作为两组变量, 进行典型相关分析(表 5)。卡西亚松家系第一典型变量的相关系数是 0.9988, 达显著水平, 第二典型变量未达显著水平。在第一典型变量中, 月均温的载荷最大, 为 0.429, 其次是月极端最高温, 载荷为-0.232 4, 空气相对湿度和平均大气压的载荷分别是 0.080 2 和 0.023 9。生长性状中, 载荷最大的是树高, 为 7.442, 其次是胸径, 载荷为-3.617。这表明卡西亚

松生长过程中, 月均温对卡西亚松树高的生长影响最大。

思茅松第一典型变量的相关系数 0.997 9, 达显著水平, 第二典型变量未达到显著水平。在第一典型变量中, 月极端最低温载荷最大, 为 0.374 7, 其次是月均温和月极端最高温, 分别是-0.219 7 和 -0.077 6。生长性状中, 载荷最大的是树高, 为 11.298 5, 其次是胸径, 载荷为-5.834 3。这表明思茅松生长过程中, 月极端最低温对树高的生长影响最大。

3 讨论和结论

参试的 17 个卡西亚松家系中, 3 年生树高和胸径生长均以 7 号家系生长表现最佳, 而苗期以 104 号家系生长表现最优, 7 号家系表现中等^[18]。

卡西亚松速生型家系与慢生型家系相比, 胸径的生长优势主要体现在第二速生期和第二缓生期, 与阔叶树种西南桦速生型无性系表现的生长慢热相似^[8], 胸径生长节律与同处亚热带地区的山白兰(*Paramichelia bailonii*)^[9]、印楝^[10]相似, 均具 2 个生长高峰。卡西亚松树高的年生长可划分为 7 个阶段, 具 3 个高峰期, 且 2-4 月和 8-10 月的生长高峰期持续时间长, 生长量大, 这与具 2 个生长高峰的热带速生阔叶树种米老排(*Mytilaria laosensis*)^[19]明显不同, 其树高生长规律与抽梢次数相关。卡西

表 5 性状与气象因子的典型相关分析

Table 5 Canonical correlation analysis between monthly growth and meteorological factors

		卡西亚松 <i>Pinus kesiya</i>		思茅松 <i>Pinus kesiya</i> var. <i>langbianensis</i>	
		第一典型变量 1st typical variable	第二典型变量 2nd typical variable	第一典型变量 1st typical variable	第二典型变量 2nd typical variable
		$r=0.998\ 8$ ($F=0.011\ 0^*$)	$r=0.906\ 560$ ($F=0.263\ 1$)	$r=0.997\ 9$ ($F=0.001\ 9^*$)	$r=0.889\ 6$ ($F=0.194\ 2$)
性状 Trait	胸径 DBH	-3.617 0	3.419 0	-5.834 3	2.119 1
	树高 Height	7.442 0	-3.715 2	11.298 5	-1.322 8
气象因子 Meteorological factors	月均温 Monthly temperature	0.429 6	0.660 8	-0.219 7	0.107 5
	月极端最高温 Exterme monthly high temperature	-0.232 4	-0.194 4	-0.077 6	-0.185 8
	月极端最低温 Exterme monthly low temperature	0.003 4	-0.207 9	0.374 7	0.238 1
	月降雨量 Monthly rainfall	0.001 4	-0.000 2	0.001 2	0.002 8
	月日照时数 Monthly sunshine hours	0.015 4	-0.003 5	0.011 0	0.003 2
	空气相对湿度 Relative air humidity	0.080 2	0.054 9	-0.019 5	0.005 5
	平均大气压 Average atmospheric pressure	0.023 9	0.455 6	0.009 3	0.552 9

亚松和思茅松一年中夏季抽梢 2 次的情况较多,而秋季气温和降雨量下降,导致秋季未出现 2 次抽梢的情况。且由于春、夏两季气候相对适宜,抽梢后节间持续生长时间较长,而秋季在抽梢后即进入相对低温少雨天气,不利于节间的伸长。因此,一年之中抽梢的季节和新梢数,以及抽梢后节间的伸长量应是决定速生型和慢生型的重要依据。

卡西亚松属热带松树,在其原产地全年生长,然而在滇南热区的普洱,其胸径和树高均在 1 月出现生长停滞的现象。这可能是由于引种地与原产地的经纬度、海拔和气象因子差异所致。原产地越南、泰国属热带季风气候,而小黑江属南亚热带季风气候,12 月气温低,降雨量少,日照时数多,幼林生长逐渐减慢,1 月出现全年最低气温(1.1℃),且月降雨量少,只有 31.8 mm,因此导致生长几乎停止。

综上所述,卡西亚松在试验点普洱表现出较好的早期适应性,具有极好的发展潜力。卡西亚松与思茅松的生长节律相似,从侧面验证了 2 物种亲缘关系较近。胸径和树高生长是相对独立的,树高生长与抽梢表现较为一致的趋势。卡西亚松和思茅松 1 年中抽梢次数因产地和家系的不同而异。卡西亚松生长受气温的影响较大,春、夏两季更适宜其生长。依据卡西亚松幼林的生长规律,建议最佳抚育时间应在胸径和树高的生长高峰期之前,即 5-6 月和 12-1 月,可考虑结合第一次抚育(5-6 月)进行施肥,以促进胸径和树高的快速生长。此外,1 月是胸径、树高生长的滞生期,可考虑此时进行幼林期的修枝抚育。

参考文献

- [1] WANG T L, TIGERSTEDT P M A. Variation of growth rhythm among families and correlation between growth rhythm and growth rate in *Betula pendula* Roth [J]. Scand J For Res, 1993, 8(1/2/3/4): 489-497. doi: 10.1080/02827589309382795.
- [2] CAO J K, FANG L J. Studies on observation of growth rhythm of young *Betula luminifera* [J]. For Res, 2006, 19(3): 404-407. doi: 10.3321/j.issn:1001-1498.2006.03.027.
曹健康, 方乐金. 光皮桦幼林生长节律的观察研究 [J]. 林业科学研究, 2006, 19(3): 404-407. doi: 10.3321/j.issn:1001-1498.2006.03.027.
- [3] LUO Y, SUN Q, CAI N H, et al. Growth rhythm analysis on annual planting seedlings of *Pinus yunnanensis* from different provenances [J]. J SW For Univ, 2016, 36(3): 23-29.
罗元, 孙琪, 蔡年辉, 等. 云南松不同种源 1 年生播种苗木生长节律分析 [J]. 西南林业大学学报, 2016, 36(3): 23-29.
- [4] CAI N H, XU Y L, BAI Q S, et al. Annual seedling growth dynamic rhythm and variation of one-year *Pinus densata* among populations [J]. J NE For Univ, 2013, 41(5): 11-15,74. doi: 10.3969/j.issn.1000-5382.2013.05.003.
蔡年辉, 许玉兰, 白青松, 等. 不同种群高山松 1 年生播种苗木生长节律及其变异 [J]. 东北林业大学学报, 2013, 41(5): 11-15,74. doi: 10.3969/j.issn.1000-5382.2013.05.003.
- [5] KUANG L, DENG X M, CHEN S, et al. Growth rhythm of *Zenia insignis* seedlings from four provenances [J]. J S China Agric Univ, 2014, 35(5): 98-101,107. doi: 10.7671/j.issn.1001-411X.2014.05.017.
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. doi: 10.7671/j.issn.1001-411X.2014.05.017.
- [6] WANG X J, ZHANG R Q, XU Z K, et al. Study on growth rhythm of different *Zelkova schneideriana* provenances at seedling stage [J]. J CS Univ For Technol, 2013, 33(7): 31-34. doi: 10.14067/j.cnki.1673-923X.2013.07.010.
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. doi: 10.14067/j.cnki.1673-923X.2013.07.010.
- [7] LAI M, SUN X M, ZHANG S G. Growth rhythm of young *Larix kaempferi* × *Larix olgensis* hybrid [J]. J NE For Univ, 2014, 42(4): 11-15,31. doi: 10.3969/j.issn.1000-5382.2014.04.003.
赖猛, 孙晓梅, 张守攻. 日本落叶松 × 长白落叶松杂种幼林生长节律 [J]. 东北林业大学学报, 2014, 42(4): 11-15,31. doi: 10.3969/j.issn.1000-5382.2014.04.003.
- [8] HUANG J C, GUO J J, ZENG J. Early selection of *Betula alnoides* clones and their growth rhythm in western Yunnan, China [J]. For Res, 2017, 30(3): 518-524. doi: 10.13275/j.cnki.lykxyj.2017.03.022.
黄家聪, 郭俊杰, 曾杰. 滇西地区西南桦无性系早期测定与生长节律研究 [J]. 林业科学研究, 2017, 30(3): 518-524. doi: 10.13275/j.cnki.lykxyj.2017.03.022.
- [9] GUO W F. The seasonal rhythm and growth of the young plantation of a tropical tree species, *Paramichelia baillonii* [J]. For Res, 1997, 10(1): 60-63. doi: 10.13275/j.cnki.lykxyj.1997.01.013.
郭文福. 热带树种山白兰人工幼林的生长规律 [J]. 林业科学研究, 1997, 10(1): 60-63. doi: 10.13275/j.cnki.lykxyj.1997.01.013.
- [10] PENG X Q, LAI Y Q, ZHANG Y P, et al. Study on the growth pattern of the *Azadirachta indica* young plantation [J]. For Res, 2002, 15(4): 469-473. doi: 10.3321/j.issn:1001-1498.2002.04.018.
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. doi: 10.3321/j.issn:1001-1498.

- 2002.04.018.
- [11] LUKKARINEN A J, RUOTSALAINEN S, NIKKANEN T, et al. The growth rhythm and height growth of seedlings of siberian (*Larix sibirica* Ledeb.) and dahurian (*Larix gmelinii* Rupr.) larch provenances in greenhouse conditions [J]. *Silva Fenn*, 2009, 43(1): 5–20.
- [12] LUKKARINEN 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]. *Scand J For Res*, 2013, 28(6): 518–532. doi: 10.1080/02827581.2013.786125.
- [13] DANUSEVICIUS D, GABRILAVICIUS R. Variation in juvenile growth rhythm among *Picea abies* provenances from the Baltic states and the adjacent regions [J]. *Scandinavian J For Res*, 2001, 16(4): 305–317.
- [14] MISSANJO E, MATSUMURA J. Wood density and mechanical properties of *Pinus kesiya* Royle ex Gordon in Malawi [J]. *Forests*, 2016, 7(7): 135. doi: 10.3390/f7070135.
- [15] NHI L Q, THACH L N. Study of khasi pine (*Pinus kesiya* Royle) twig oil in Vietnam [J]. *J Essent Oil Bear Plants*, 2014, 17(2): 212–218. doi: 10.1080/0972060X.2014.895159.
- [16] THAO D V, YAMASHITA M, WATANABE A, et al. Development of tetranucleotide microsatellite markers in *Pinus kesiya* Royle ex Gordon [J]. *Conserv Genet Resour*, 2013, 5(2): 405–407. doi: 10.1007/s12686-012-9814-3.
- [17] SINGH O, BORDOLOI S, MAHANTA N. Variability in cone, seed and seedling characteristics of *Pinus kesiya* Royle ex. Gordon [J]. *J For Res*, 2015, 26(2): 331–337. doi: 10.1007/s11676-015-0036-x.
- [18] XU J M, HAN C, TANG H Y, et al. Study on seedling selection of introduced *Pinus kesiya* provenances and families [J]. *J CS Univ For Technol*, 2014, 34(10): 14–18. doi: 10.3969/j.issn.1673-923X.2014.10.003. 徐建民, 韩超, 唐红燕, 等. 卡西亚松引种种源/家系苗期选择的研究 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2014, 34(10): 14–18. doi: 10.3969/j.issn.1673-923X.2014.10.003.
- [19] GUO W F, CAI D X, JIA H Y, et al. Growth Laws of *Mytilaria laosensis* plantation [J]. *For Res*, 2006, 19(5): 585–589. doi: 10.3321/j.issn:1001-1498.2006.05.008. 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. doi: 10.3321/j.issn:1001-1498.2006.05.008.