

# 云南松苗木高径生长与温度周期性变化的关系<sup>\* 1</sup>

魏巍<sup>1</sup>, 李根前<sup>1</sup>, 许玉兰<sup>1,2</sup>, 陈诗<sup>1</sup>, 吕学辉<sup>1</sup>, 蔡年辉<sup>1</sup>

(1. 西南林业大学 西南山地森林保育与利用省部级共建教育部重点实验室, 云南 昆明 650224;  
2. 北京林业大学 生物科学技术学院, 北京 100083)

**摘要:** 为了解云南松苗木的高、径生长与周期性温度变化的关系, 对一年生云南松苗高、地径动态生长量和相应生长期的温度指标进行调查, 通过回归关系求解和分段分析的方法, 总结其生长与时间异质下温度条件的重要关系. 结果表明: ① 苗高、地径净生长量都与各温度指标呈现类似二次曲线的关系, 适宜的温度条件促进高、径生长, 偏离最适温度条件会一定程度抑制生长; ② 苗高生长最快时的平均气温、 $\geq 10$  °C 的积温、最低气温、最高气温最适值依次为 23.05, 237.94, 18.35, 26.07 °C; 地径最适值依次为 16.59, 641.24, 10.42, 21.92 °C; ③ 不同时间的温度条件影响苗木生长的方式不同. 9 月底以前对苗高的影响主要是极端高温的抑制作用, 此后的抑制则由极端低温引起; 11 月中下旬之前对地径的抑制因子主要是极端高温, 此后是极端低温; ④ 客观存在的温度条件时间异质性导致促进苗高生长的温度比促进地径生长的温度提前 1~2 个月出现, 因此苗木表现出苗高生长高峰在前、地径生长高峰在后的异速生长现象.

**关键词:** 云南松; 异速生长现象; 温度条件; 时间异质性; 平均气温

**中图分类号:** S 723.1    **文献标识码:** A    **文章编号:** 0258-7971(2012)03-0356-06

云南松 (*Pinus yunnanensis* Franch.) 具有适应性强、耐干旱瘠薄等优良特性, 是云南省的重要用材和绿化造林树种之一, 在林业经济建设中起着举足轻重的作用. 云南省现有云南松林面积约 480 万  $\text{hm}^2$ , 林地蓄积量 28 676.5 万  $\text{m}^3$ <sup>[1]</sup>. 同时, 在四川、贵州、西藏、广西等地也分布有一定规模的云南松, 其分布范围为  $96^\circ \sim 108^\circ \text{E}$ ,  $23^\circ \sim 30^\circ \text{N}$ , 包括了北亚热带、中亚热带、南亚热带、南温带、中温带、北温带、北热带等复杂多样的气候带, 最大的垂直分布范围在海拔 250~3 500 m 之间<sup>[2]</sup>. 但是, 在云南松分布较为集中的南温带、北亚热带、中亚热带 3 个地区, 年积温仅在 3 200~6 000 °C. 年积温小于 1 600 °C 的北温带和年积温为 1 600~3 200 °C 的中温带, 由于热量太低而不分布云南松或生长极差<sup>[3]</sup>. 在年积温为 6 000~7 500 °C 的南亚热带和年积温大于 7 500 °C 的北热带, 由于很多地区的热量

过高已经不适于云南松生长, 只有在海拔较高、温度较低的山区有云南松分布<sup>[4-5]</sup>. 由此可见, 在环境条件的空间差异中, 温度条件的差异始终是影响云南松分布与生长状况的主要因素.

同时, 一年中温度的周期性变化也给植物生长发育带来了深刻的影响. 植物长期生长在温度周期性变化的环境中, 形成了与之相适应的发育节律, 体现出一系列有序的物候现象<sup>[6]</sup>, 也称为异速生长现象, 关于云南松的异速生长现象在江洪等人的研究有所阐述<sup>[7]</sup>. 然而, 异速生长以复杂的生理机制为基础, 温度周期性变化可能是调控植物生理活动的外来信号. 植物体内与生长发育相关的各种酶系统都有着不同的温度特性, 植物通过酶活性对不同时期外界温度信号的响应来调控生长节律<sup>[8-10]</sup>, 从而形成一定的生态适应机制. 因此, 掌握云南松苗期生长状况与温度变化的关系, 可为云

\* 收稿日期: 2011-11-15

基金项目: 云南省教育厅重大专项项目资助(ZD2009003B); 云南省教育厅基金项目资助(2010Z042); 云南省自然科学基金项目资助(2010CD065)

作者简介: 魏巍(1986-), 男, 云南人, 硕士生, 主要从事森林培育方面的研究.

通讯作者: 李根前(1960-), 男, 陕西人, 教授, 博士生导师, 主要从事森林培育学与森林生态学方面的研究. E-mail: ligenqian@yahuoo.cn.

南松苗木促成培育过程中的温度调控提供依据,同时丰富云南松生态学研究的内容。

## 1 研究区概况

试验地设置在西南林业大学资源学院格林温室,位于 $102^{\circ}45'41''$  E、 $25^{\circ}04'00''$  N,海拔1 945 m,属北亚热带半湿润高原季风气候,年平均气温 $14.7^{\circ}\text{C}$ 、绝对最低温 $-9^{\circ}\text{C}$ 、绝对最高温 $32.5^{\circ}\text{C}$ 。年降水量 $700\sim 1\,100\text{ mm}$ ,年平均相对湿度 $68.2\%$ 。

## 2 材料与方法

**2.1 试验材料** 试验用云南松种子均来自同一种源地的同一林分,即云南省楚雄州白马河林场云南松母树林。在母树林中选取树高和胸径基本一致的20个健康单株采集种子。实验室测定千粒重 $15.03\text{ g}$ ,场圃发芽势 $47.34\%$ 、发芽率 $89.81\%$ 。

**2.2 田间试验** 试验用苗木于2010年5月9日播种,设置3次重复,每个重复包括20个家系;每个家系播种14行、每行16株,株行距皆为 $5\text{ cm}$ ;每重复为4 480株,3个重复共计13 440株。其中,种子催芽、营养土配置、消毒和苗期管理等均按照常规方法进行。为尽量保证试验地水分条件长期一致,从开始测量生长量之日(2010年5月23日)起,遵循少量多次的原则,通过温室喷雾式给水设施进行半月1次的供水,每次供水时间 $20\text{ min}$ 。

### 2.3 数据调查与处理

**2.3.1 生长量数据调查** 生长量采用定株、定期调查法,目标植株随机抽取并标记。苗高测量每重复抽取440株苗木,共计1 320株;地径测量每重复抽取200株苗木,共计600株。苗高测量从2010年6月15日开始至2010年12月12日结束,每次调查间隔期为 $10\text{ d}$ ,为期 $180\text{ d}$ 。地径测量从2010年5月23日开始至2011年1月28日结束,在调查期内的前 $100\text{ d}$ ,每隔 $50\text{ d}$ 测定1次样株地径,之后每隔 $30\text{ d}$ 测定1次,为期 $250\text{ d}$ 。

**2.3.2 温度条件数据调查与处理** 云南松苗木生长期每日温度条件数据通过西南林业大学格林温室气象监控记录系统收集,按照苗高和地径调查的时间间隔,分别计算出各生长间隔期内的各项基本温度指标,如:日平均气温、最低气温、最高气温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温等。

## 3 结果与分析

### 3.1 苗高生长与温度条件的关系

**3.1.1 苗高生长与基本温度指标的关系** 由图1可见:苗高净生长量与各基本温度指标之间都呈现出类似二次曲线的关系,即苗高净生长量随温度条件的增加,表现出先升后降的趋势。由此表明:云南松苗期适宜的温度条件促进了苗高生长,但并非温度越高生长量越大。以平均气温为例,当平均气温处于某一个值以下时,是苗高净生长量的促进因子,即苗高净生长量随平均气温增高而增加;平均气温高于这个值以后则成为苗高生长的限制因子,苗高净生长量随平均气温继续增大而减小,而这个值就是苗高生长的最适平均气温。

对图1中各项基本温度指标与苗高生长量的二次函数 $f(x) = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2$ 进行一阶求导,令导数 $y' = 0$ 便可推得计算各项基本温度指标最适值的公式: $x = -\beta_1/2\beta_2$ 。因此,得出平均气温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温、最低气温、最高气温针对苗高的具体最适值依次为: $23.05, 237.94, 18.35, 26.07^{\circ}\text{C}$ 。据此可知,苗高在 $23.05^{\circ}\text{C}$ 的日平均气温,且每日最低和最高气温范围为 $18.35\sim 26.07^{\circ}\text{C}$ 的变温条件下生长,其净生长量达到最大。

**3.1.2 苗高生长与温度变化关系的分段分析** 以上分析所用的温度条件包含平均气温、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温、最低气温和最高气温,而平均气温可以较综合地体现其他3个温度指标的情况。因此,单独把平均气温和同期的苗高净生长量在时间序列上同步作图,可进一步直观地分析温度条件时间变化对苗高生长的影响。由图2可见:苗高净生长量随时间变化呈现为上下波动的折线,且可以从中找到6个明显的拐点A、B、C、D、E、F,这些拐点把苗高净生长量变化过程分割为5个间隔时间不等且向上或向下波动的区间。接下来用不同区间的苗高净生长变化与相应区间的温度变化相结合,以分析不同区间温度变化趋势对净生长量的影响。对抑制(促进)生长的方式进行分类,可以把同类且相连的区间定为同一阶段,确定此阶段内温度影响生长的主要特点。

根据上述分析方法可知:BC和DE 2个区间的苗高生长为上升趋势,而同期的平均气温刚好从较高点回落到适中水平,说明在此区间适中水平的温度条件促进了苗高生长。在AB、CD和EF 3个区间,苗高生长都有不同程度的下降,但引起其生长减速的温度变化趋势却有所不同,AB和CD区间是由于温度升高导致了生长减速,而EF区间的生长减速则是由于温度的持续回落引起。依照抑制

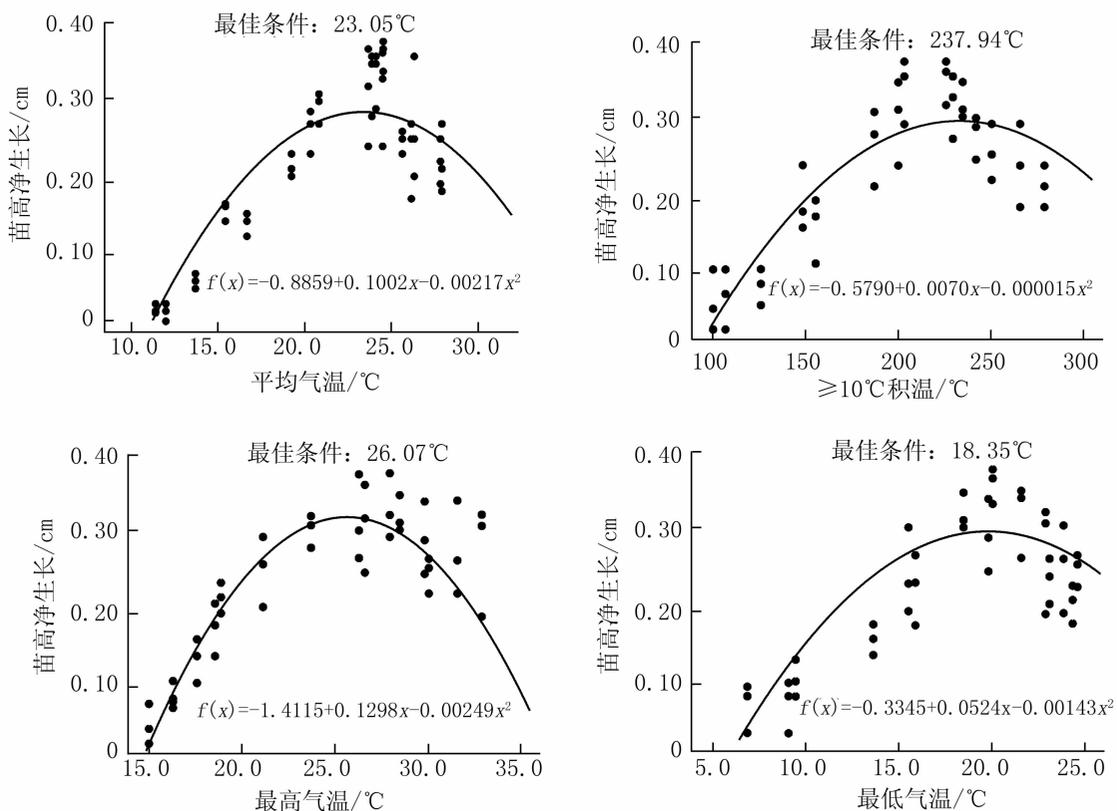


图1 苗高生长与基本温度指标的关系

Fig. 1 The relation of seedling height and basic index of temperature

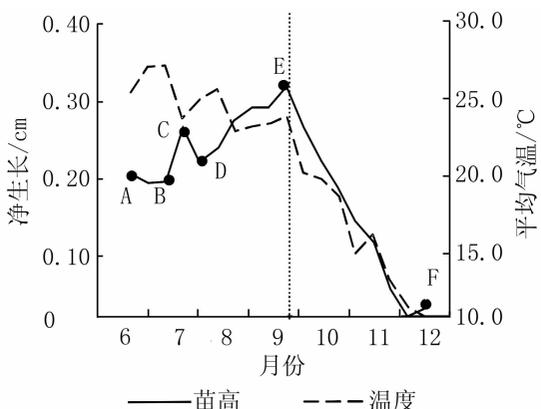


图2 苗高生长与平均气温的时间变化

Fig. 2 The variation of seedling height and average temperature over time

或促进生长的温度特点,可将特点相同且相连的AB、BC、CD和DE 4个区间定为AE阶段,EF为另一个阶段.在AE阶段温度过高是抑制苗高生长的重要因素,但EF阶段抑制苗高生长的重要因素已转变为温度过低.

从相应的时间可以发现:其时间分界线大约在9月底,6—8月份(AE阶段)为温度条件较高的夏

季,分界线之后(EF阶段)逐渐进入温度条件较低的秋冬季节.

### 3.2 地径生长与温度条件关系分析

3.2.1 地径生长与基本温度指标的关系 由图3可见,与苗高一样,地径净生长量与各基本温度指标的关系也为二次抛物线,即先升后降的关系.适宜的温度条件下地径生长迅速,但当温度条件偏离最适值,不管是过高还是过低都会一定程度抑制地径生长.

根据二次函数的一阶推导计算各温度条件的最适值,针对地径的平均气温、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温、最低气温、最高气温具体最适值依次为:16.59,641.24,10.42,21.92 $^\circ\text{C}$ .因此可知:地径在日平均气温为16.59 $^\circ\text{C}$ ,且每日最低和最高气温范围为10.42~21.92 $^\circ\text{C}$ 的变温条件下生长,其净生长量达到最大.

3.2.2 地径生长与温度变化关系的分段分析 由图4可见:与苗高类似,地径净生长量随时间的变化也呈上下波动的折线,且可以从中找到4个明显的拐点A、B、C、D.温度最高的AB区间,地径的净

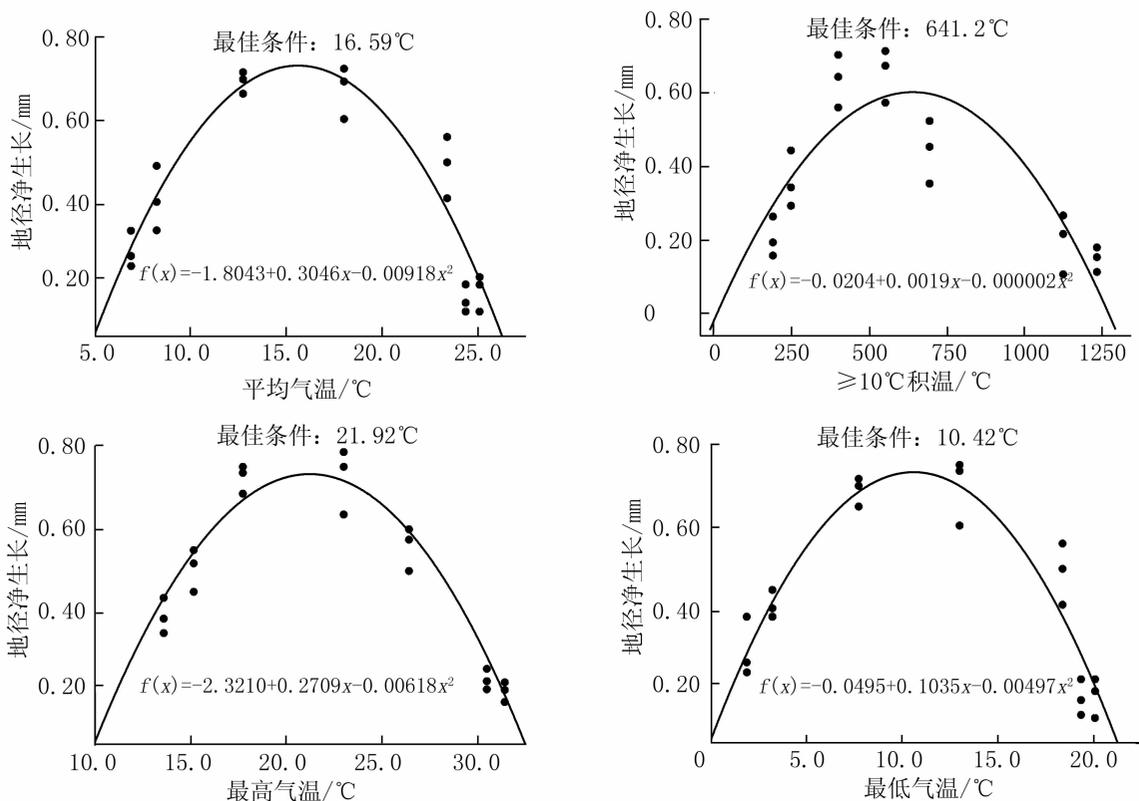


图3 地径生长与基本温度指标的关系

Fig.3 The relation of basal diameters and basic index of temperature

生长量很小;在平均气温从较高水平逐渐下降的BC区间,其地径生长却在不断加速,C点时达到最大;随着CD区间的平均气温继续下降,地径净生长量不再增加,反而变为减小趋势.因此,相连的AB和BC2个区间由于主要表现高温抑制作用,而可定为AC阶段;CD区间单独为一个阶段,在此,温度对地径生长的抑制是由温度过低引起.

**3.3 温度条件的时间异质性与苗高、地径生长异速现象** 自然界中客观存在着温度周期性变化,无论是季节变化还是昼夜变化,都在时间尺度上导致了温度条件的差异,即温度条件的时间异质性<sup>[11]</sup>.

如图5所示,云南松苗期平均气温随季节变化呈S型走势,夏季6、7月份最高达25℃以上,冬季12、1月份低于10℃.然而,适合云南松苗高和地径生长的平均气温分别为23.05℃和16.59℃,两者相差6.46℃.在时间异质的温度条件中,苗高生长的最适平均气温出现在8月末至9月初,地径生长的最适平均气温则出现在10月份.适合两构件(器官)的温度条件在时间上有着1~2个月的差距,因此,云南松苗高生长的高峰比地径更早出现,当地径生

长最快时苗高的生长已经减缓甚至停止.综上所述,温度条件的时间异质性导致了苗高、地径生长异速现象.

## 4 讨论

植物的生长发育不仅受遗传因素控制,同时又受环境条件的制约.因此,调控环境条件对植物生长极为重要<sup>[12]</sup>.如改善热量条件<sup>[13-15]</sup>,合理施水施肥<sup>[16-20]</sup>,控制种群密度<sup>[21]</sup>等,都能促进植物生长.本文以平均气温、最低气温、最高气温、≥10℃积温几个指标作为可能影响云南松苗木生长的主要温度指标,发现了一些温度变化与云南松苗木高径生长的联系.

苗高、地径净生长量都与各温度指标呈现类似二次曲线的关系,从二次曲线的特性可知:适宜的温度条件下高、径生长迅速,但当温度条件偏离了最适值,不管是过高还是过低都会一定程度抑制其生长,此结论符合生态学的Shelford耐性定律<sup>[22]</sup>.苗高生长最快时的平均气温、≥10℃的积温、最低气温、最高气温最适值依次为23.05,237.94,

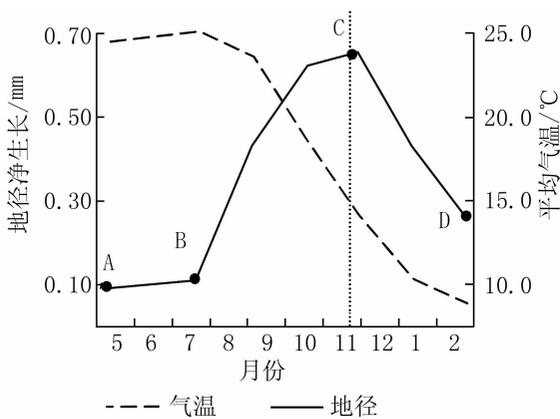


图4 地径生长与平均气温的时间变化

Fig. 4 The variation of basal diameters and average temperature over time

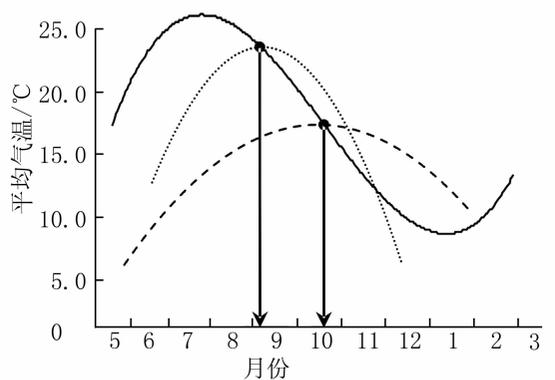


图5 温度条件时间异质性与不同器官的异速生长

Fig. 5 The temporal heterogeneity of temperature quantity and the allometry phenomenon of different organs

18.35, 26.07 °C; 而地径生长最快时的温度指标依次为 16.59, 641.24, 10.42, 21.92 °C.

自然界中客观存在着温度的周期性变化, 云南松苗期平均温度随季节变化呈 S 型走势, 夏季 6、7 月份最高达 25 °C 以上, 冬季 12、1 月份低于 10 °C. 有序出现的不同温度条件对云南松苗木生长的影响方式也会不同. 苗高生长期以 9 月末为分界线, 在此之前苗高净生长量的下降主要由温度过高引起, 此后则由温度过低导致生长减速. 地径生长过程中, 划分温度条件不同影响方式的分界线在 11 月中下旬, 分界线之前地径在较高的温度条件下生长缓慢, 此后逐渐降低的温度条件使其生长受限.

同时, 温度周期性变化使温度条件具有时间异质性, 生物长期适应温度的时间异质规律而形成的特定发育节律称为物候<sup>[6]</sup>, 也就是各器官的异速生长现象<sup>[7]</sup>. 云南松苗高生长最快的时期出现在 8 月末至 9 月初, 而之后的 10 月份地径生长最快, 与此同时苗高生长减缓甚至停止. 这种先进行高生长再进行地径生长的物候规律, 其意义在于, 在时间较早且温度水平较高的 8、9 月份, 能量优先投资于苗木高生长保证了针叶数量, 且利于抢占光能利用空间, 为光合同化活动提供有利的自身和环境条件<sup>[23]</sup>. 在温度水平较低的 10 月份能量主要用于地径生长, 增加茎干粗度和木质化程度, 从而在进入冬季前就使苗木具备能在恶劣环境下抵抗病虫害和极端温度的能力<sup>[24]</sup>. 也正是这种具备生态适应性的生长对策, 才能在时间异质的温度环境中得以繁衍、保留.

掌握了云南松苗木高径异速生长的规律和生态意义, 以及不同时间段内影响苗木生长的温度条件特点, 在今后的苗木生产过程中就可在不同时期对其温度环境进行有效调控, 以达到培育壮苗的目的.

最后值得注意的是, 温度对生物的作用范围可划分为 5 个区域, 即致死低温区、亚致死低温区、适宜温区、亚致死高温区、致死高温区<sup>[25]</sup>. 由于本文试验地位于云南松自然分布范围内, 自然状况下一般不会出现致死或亚致死的极端温度, 若要进一步掌握造成云南松苗木致死或者亚致死状态的温度条件, 今后的研究中应该人工设置温度范围更宽的试验环境.

## 参考文献:

- [1] 云南林产业主要树种培育技术丛书编辑委员会. 云南林产业主要树种培育技术丛书: 云南松[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2010.
- [2] 中国森林编辑委员会. 中国森林(2卷): 针叶林[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.
- [3] 云南森林编写委员会. 云南森林[M]. 昆明: 云南科技出版社, 1986.
- [4] 金振洲, 彭鉴. 云南松[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2004.
- [5] 舒筱武, 辛燕林, 赵惠祥, 等. 云南松地理种源选择和种源区划的研究[J]. 西部林业科学, 1992(1): 1-15.
- [6] 金明仕. 森林生态学[M]. 曹福亮, 译. 北京: 中国林业出版社, 2005.
- [7] 江洪, 林鸿荣. 云南松异速生长现象的初步研究[J]. 林业科学, 1984, 20(1): 80-83.
- [8] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 6版. 北京: 高等教育出版社, 2008.

- [9] SALVUCCI M E, SPORIT A R, OGREN W L. Light and CO<sub>2</sub> response of ribulose - 1, 5 - biphosphate carboxylase / oxygenase activation in arbidopsis leaves [J]. *Plant Physiol*, 1986, 80: 655-659.
- [10] 贺学礼. 植物学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [11] 李俊清. 森林生态学[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [12] 张跃敏, 李根前, 李莲芳, 等. 云南松生长特性及其促成培育[J]. *陕西林业科技*, 2008(3): 4-7.
- [13] 丑敏霞, 朱利泉, 张玉进, 等. 不同光照强度和温度对金钗石斛生长的影响[J]. *植物生态学报*, 2001, 25(3): 325-330.
- [14] 白坤栋, 蒋得斌, 曹坤芳, 等. 哀牢山和猫儿山中山常绿和落叶阔叶树光合特性对季节温度变化的响应[J]. *生态学报*, 2010, 30(4): 905-913.
- [15] 庞卓, 余新晓, 朱建刚. 树干自然温度梯度变化对热扩散法测算树干液流速率的影响[J]. *生态学报*, 2010, 29(3): 81-90.
- [16] 李天星, 陈善娜, 叶辉. 不同水分状况下云南松抗病性的研究(Ⅱ)[J]. *云南大学学报: 自然科学版*, 1999, 21(5): 422-425.
- [17] 贺斌, 李根前, 高海银, 等. 不同土壤水分条件下中国沙棘克隆生长的对比研究[J]. *云南大学学报: 自然科学版*, 2007, 29(1): 101-107.
- [18] 张跃敏, 李根前, 李连芳, 等. 云南松实生苗生长对N、P配施的响应[J]. *东北林业大学学报*, 2009, 37(8): 5-8.
- [19] 邓云, 官会林, 戴开结, 等. 不同供磷水平对云南松幼苗形态建成及根际有机酸分泌的影响[J]. *云南大学学报: 自然科学版*, 2006, 28(4): 358-363.
- [20] 李允菲, 张跃敏, 刘代亿, 等. 云南松苗期生长对激素浸种的响应[J]. *云南大学学报: 自然科学版*, 2011, 33(3): 350-359.
- [21] 蔡年辉, 李根前, 束传林, 等. 云南松天然林区植物群落结构的动态研究[J]. *西北植物学报*, 2006, 26(10): 2119-2124.
- [22] 李博. 生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [23] 沈国舫. 森林培育学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2002.
- [24] 戴继先. 樟子松苗木木质化因素数量化分析[J]. *东北林业大学学报*, 1998, 26(5): 22-26.
- [25] 贺庆堂. 森林环境学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.

## Correlation between the temperature variation and the growth in height and basal diameter of seedling *Pinus Yunnanensis*

WEI Wei<sup>1</sup>, LI Gen-qian<sup>1</sup>, XU Yu-lan<sup>1,2</sup>, CHEN Shi<sup>1</sup>, LV Xue-hui<sup>1</sup>, CAI Nian-hui<sup>1</sup>

( 1. Key Laboratory for Forest Resources Conservation and Use in the Southwest Mountains of China, Ministry of Education, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China;

2. College of Biological Sciences and Biotechnology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** In order to find out if the height/basal diameters dynamic growth of seedling *Pinus Yunnanensis* changes with the temperature in a certain period, a study was carried out in one - year old *P. yunnanensis* and the data was collected and analyzed. The relation was summarized by regression analysis and segmentation method. The results showed that: ① The relationship between net growth and the indices of temperature accords with quadratic curves, temperature within a certain range facilitates the growth of height and diameter, while deviation from the optimum temperature inhibits the growth to some extent; ② The optimum temperature,  $\geq 10$  °C accumulated temperature, minimum temperature, maximum temperature for height growth are 23.05, 237.94, 18.35, 26.07 °C respectively, and for diameter growth they are 16.59, 641.24, 10.42, 21.92 °C; ③ Different temperature affects the seedling growth in different ways. The height growth is inhibited by the extreme heat before the end of September and the extreme low temperature after that. The basal diameter growth is inhibited by the extreme heat before mid - late November and the extreme low temperature after that; ④ The optimum temperature for the height growth appears 1—2 months earlier than that of the diameter growth. Therefore, allometry is shown during the growth of the seedlings, as the peak for the diameter growth occurs after the peak for the height growth.

**Key words:** *Pinus yunnanensis*; allometry; temperature variation; temporal heterogeneity; average temperature