

植物生长抽梢期和气候因子对株高生长影响

宋富强^{1,2,3}, 张一平¹, 胡建湘¹, 许再富¹, 肖来云¹

(1 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 昆明 650223; 2 云南省环境科学研究院, 云南 昆明 650034;
3 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 利用西双版纳热带植物园的热带植物物候观测资料和气候资料, 通过对热带植物株高生长偏差、生长抽梢期和气候因子的分析, 探讨了三者的关系。结果表明, 热带植物生长抽梢期变长不一定影响株高生长, 而且与株高生长偏差的关系也小于气候因子与株高生长偏差的关系。同时, 热带植物生长抽梢期对气候因子和株高生长偏差之间关系的贡献很小。因此, 可以认为热带植物的生长期对植被生产力的促进作用较弱。

关键词: 株高偏差; 生长抽梢期; 气候因子

中图分类号: Q 948

文献标识码: A

文章编号: 0253-2700 (2009) 02-178-05

The Influences of Shooting Duration and Climatic Factors on Plant Height Growth

SONG Fu-Qiang^{1,2,3}, ZHANG Yi-Ping^{1**}, HU Jian-Xiang¹, XU Zai-Fu¹, XIAO Lai-Yun¹

(1 *Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China;*

2 *Yunnan Institute of Environmental Science, Kunming 650034 China;*

3 *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)*

Abstract: The increased plant productivity during the past decades is hypothesized that warmer temperature promoted plant growth through extending the length of growing season. However, there are no experimental results supporting it. In the present study we examined the relationship among plant height growth, shooting duration and climatic variables for 11 tropical tree species. Our data showed that the longer shooting duration of tropical plants did not always promote plant height growth, and the climatic variables had stronger correlation with plant height growth than with shooting duration. In addition, the pathway analysis has been used to examine the contribution of shooting duration to the effect of climatic factors on plant height growth. The percentage of contribution of shooting duration was always less than 30%. We concluded that the increased growth period has limited influence on plant productivity for tropical trees.

Key words: Deviation from plant height; Shooting duration; Climatic factor

上个世纪以来, 全球变化成为人们关注的焦点, 全球变暖, 大气 CO₂ 浓度升高已导致植被生产力增加。90 年代夏威夷和加利福尼亚大气 CO₂ 浓度的年波动幅度分别比 60 年代增加了

20% 和 40%, 这反映出植被对 CO₂ 固定能力大大增加 (Keeling 等, 1996)。同时, 卫星资料也表明北半球高纬度地区植物生长活动从 1981 到 1991 年在逐渐增强 (Myneni 等, 1997; Zhou 等,

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30670395)、中国科学院植物园与生物分类研究项目 (KSCX2-YW-Z-004)、云南省自然科学基金项目 (2004C0053M)

通讯作者: Author for correspondence; E-mail: yipingzh@xtbg.ac.cn; Tel: 0871-5160904

收稿日期: 2009-01-02, 2009-02-19 接受发表

作者简介: 宋富强 (1978-) 男, 博士, 研究方向: 生态气候, 发表文章两篇。E-mail: sfq@xtbg.ac.cn; Tel: 0871-5160904

2001)。1982 到 1999 年期间，中国植被的生长活动也更加活跃（方精云等，2003；朴世龙和方精云，2003；Fang 等，2003；Xiao and Moody, 2004）。虽然对于植被生产力增加的解释有多种，如温度提高与大气 CO₂ 浓度和 N 沉降增加促进了光合作用（杨金艳等，2003；李德军等，2004；Olszyk 等，1998；M kip 等，1999；Norby 等，2005），但 Keeling 等（1996）的研究认为这些作用都比较小，而生长期提前和延后则可能是一个主要原因（Myneni 等，1997；Fang 等，2003）。前人研究结果表明，不论从物候指标、气候指标，还是遥感资料来看，不少地方植物生长期正在提前和变长，幅度为 10 天左右（郑景云等，2003；Myneni 等，1997；Menzel and Fabian, 1999；Root 等，2003；Linderholm, 2006）。美国北方 11 个树种株高一年的生长期为 115 ~ 210 天（Kramer, 1943），生长期延长 10 天，不到年生长期期的 10%，因此延长期能否完全解释植被生产力幅度增加 20% ~ 40% 是一个疑问。Keeling 等（1996）的研究也仅给出了生产力指标与温度之间关系统计分析结果，而没有生产力指标与生长期之间的关系分析结果（Zhou 等，2001）。齐晔（1999）和 Keeling 等（1996）还认为温度升高很大程度上是通过生长期延长而影响植物生长活动。值得指出的是，Keeling 等（1996）对生长期延长促进植被生产力的结论仅由间接数据获得，还没有获得任何实验数据支持。

西双版纳热带植物园引种植物达万种，并同时引种的热带植物进行了长期的物候观测和生长量监测，这为本研究提供了良好条件。本研究将通过热带植物物候和生长量同期观测数据探讨萌芽期对其株高生长的影响，回答两个问题：1) 萌芽期是否影响热带植物株高生长？2) 萌芽期是否影响气候因子与株高的关系？

1 材料和方法

研究地位于西双版纳热带植物园 (21°41' N, 101°25' E)，受来自印度洋西南季风影响，属热带季风气候，年均温 21.5℃，年降雨约 1500 mm，其中 83% 集中在雨季 (5 ~ 10 月)。版纳植物园引种和保存了国内外热带植物达万种。本研究选取园内 11 种引种植物进行研究 (表 1)，对它们的生长抽梢期和株高进行了同期观测 (5 ~ 7

年次)。

1.1 观测方法

生长抽梢期指植物枝条生长的时期，株高是地面到植物顶端的活枝；生长抽梢期的观测是目测，而株高的观测借助筒制竹竿标尺和测树仪 (DQL-9, 哈尔滨)；生长抽梢每周观测一次，株高在年底进行测量。测量期间，11 种植物的株高生长尚未停止。

1.2 数据处理方法

利用 SigmaPlot 软件的 Logistic 方程 ((1) 或 (2)) 拟合的方法消除植物自身生长趋势，获得株高生长偏差 (方程 3)；而后分别进行株高与生长抽梢期和气候因子的相关分析；从气候因子中挑出影响最大的三个，对其和生长抽梢期进行统计分析，分析生长抽梢期对每个因子和株高生长相关关系的贡献。

$$y = \frac{a}{1 + \left(\frac{x}{c}\right)^b} \quad (1)$$

$$y = d + \frac{a}{1 + \left(\frac{x}{c}\right)^b} \quad (2)$$

$$D = y_{observed} - y_{predicted} \quad (3)$$

(式中， x —定植年数； y —株高； a ， b ， c 和 d 为常量； D 为株高生长偏差， $y_{observed}$ 为观测株高； $y_{predicted}$ 为拟合株高)

2 结果

表 1 显示，株高生长偏差与生长抽梢期的关系可以分为两类，即正相关和负相关，范围在 -0.896 ~ 0.822，只有两种植物的相关关系达到了显著水平 ($P < 0.05$)。其中，7 种植物的生长抽梢期与株高关系呈现负相关，而只有 4 种植物的生长抽梢期与株高关系呈正相关。与气候因子和株高生长偏差的关系相比，7 种植物生长抽梢期与株高偏差的关系小于 3 个气候因子与株高偏差的关系，3 种植物生长抽梢期与株高关系大与 3 个气候因子与株高偏差的关系，1 种植物生长抽梢期和株高关系与气候因子和株高偏差关系相当。

统计分析结果表明，对于气候因子而言，它们可以部分通过生长抽梢期这个途径对植物株高生长产生影响作用。但是这个途径贡献百分率多数只有 0.1% ~ 28.1% (图 1)，气候因子对株高生长的大部分的影响则是通过自身和其它气候因子的途径实现的。只有夏西木和树蓼例外，生长抽梢期对于气候因子和株高关系的贡献分别达到 60.2% 和 80.6% (图 2, 3)。

表 1 不同因子和株高生长偏差关系比较 (粗体表示相关系数达到显著水平 ($P < 0.05$))

Table 1 The correlation coefficients between factors and plant height deviation . r represents Pearson s correlation .

The bold numbers indicate significance $P < 0.05$

种名 Species	同期观测次数 Number of observations	生长抽梢期 Shooting duration	气候变量一 Climatic factor I	气候变量二 Climatic factor II	气候变量三 Climatic factor III
夏西木 <i>Garcia nutans</i>	7	0.545	0.693	0.343	0.218
常绿刺桐 <i>Erythrina indica</i>	7	- 0.057	0.820	0.510	0.293
墨西哥丁香 <i>Gliricidia sepium</i>	5	- 0.384	- 0.894	- 0.794	- 0.500
美洲苦木 <i>Trichilia americana</i>	7	- 0.264	- 0.782	0.579	0.511
树蓼 <i>Triplaris americana</i>	5	- 0.324	- 0.826	- 0.728	0.554
海南坡垒 <i>Hopea hainanensis</i>	6	- 0.896	0.472	0.210	0.148
羯菠萝香 <i>Dipterocarpus tuberculatus</i>	5	0.590	0.390	0.251	0.193
异果盾柱木 <i>Peltophorum pterocarpum</i>	6	- 0.337	- 0.964	- 0.883	- 0.741
两广梭罗树 <i>Reevesia longipetiolata</i>	5	- 0.002	- 0.673	- 0.233	0.090
全叶榆 <i>Holoptelea integrifolia</i>	5	0.329	- 0.902	- 0.861	0.642
火焰树 <i>Spathodea nilotica</i>	7	0.822	- 0.672	- 0.425	- 0.273

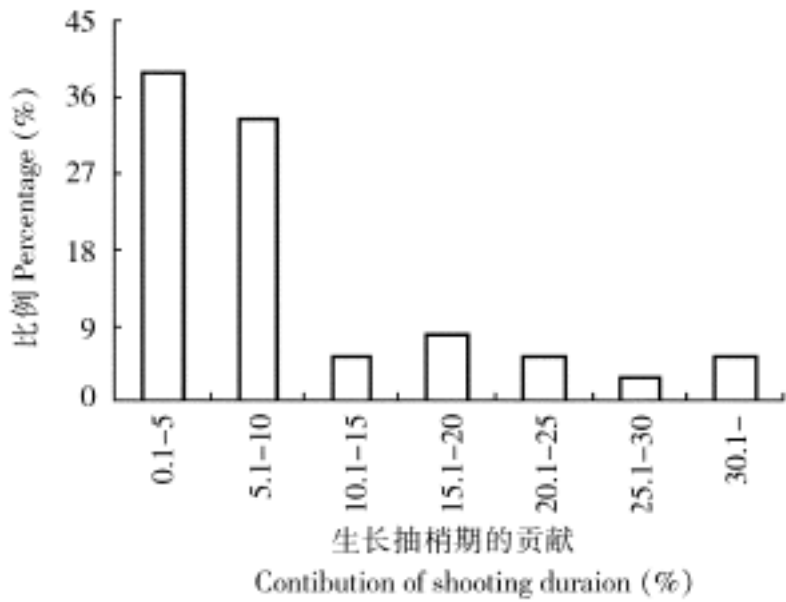


图 1 生长抽梢期对气候与株高生长偏差关系贡献的分布图

Fig . 1 The distribution of contribution of shooting duration to relation between climatic factors and deviation of plant height

3 讨论

Keeling 等 (1996) 由大气 CO₂ 浓度年变化幅度和变化相对时间的提前认为, 由于生长期的增加而影响植物的生长活动可能是北方植被生产力提高的主要原因。一些卫星观测资料研究也支持上述观点 (Myneni 等, 1997; 齐晔, 1999)。然而本研究中热带植物的生长抽梢期长度却与植物个体株高生长偏差多数呈负相关关系 (表 1), 这说明对于热带植物, 长的生长抽梢不一定促进株高生长, 这与前人的研究不一致。Kramer (1943) 对几种植物株高和株高生长期的试验表明, 株高和株高生长期之间没有一定关系, 这说明植物生长在很大程度上还和植物生长期内的生长速率有

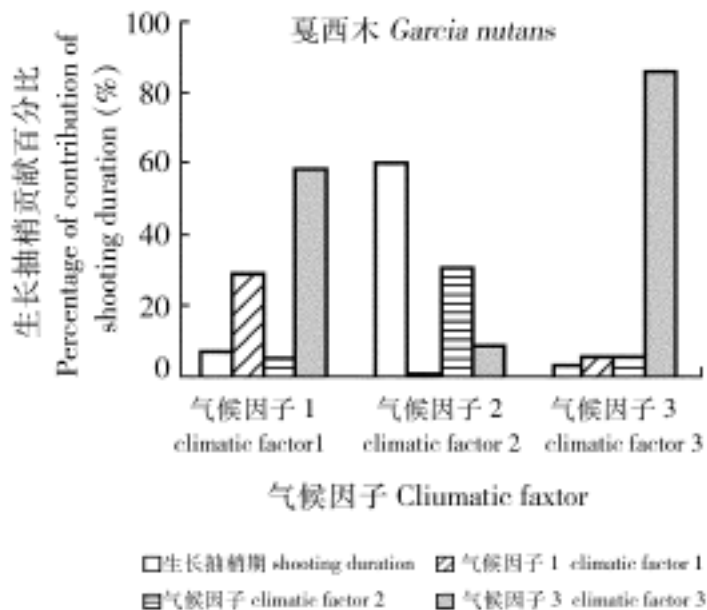


图 2 气候因子与植物株高生长偏差关系的通径分析

Fig . 2 Pathway analysis about the relation ship bwteen climatic factor and deviation of plant

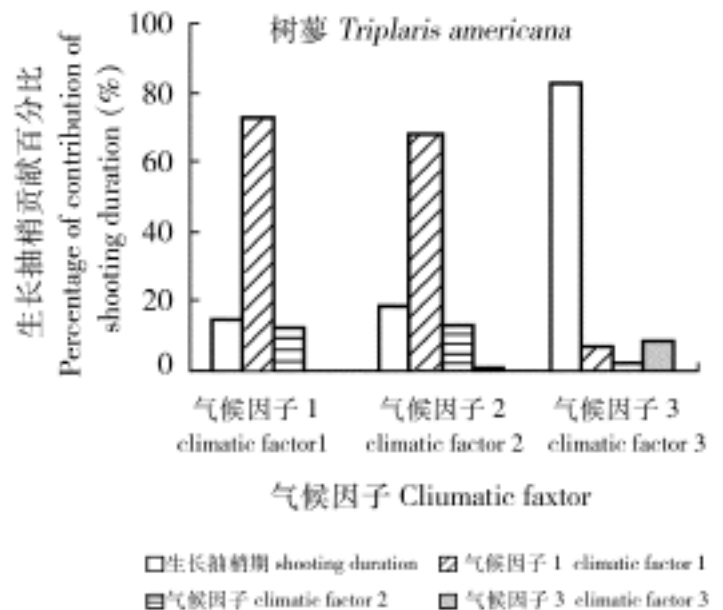


图 3 气候因子与植物株高生长偏差关系的通径分析

Fig . 3 Pathway analysis about the relation ship bwteen climatic factor and deviation of plant

很大关系。那么，北半球植被活动活跃又是什么引起的呢？Keeling 等（1996）对温度和大气 CO₂ 浓度升高对植被生长生产力的促进作用做了全面的阐述，认为这两个因子都不能完全解释植被生产力的增加速度。N 沉降也可能是促进植物生长的一个重要因子（李德军等，2004）。另外，植被的变化也可能是植被生产力不断提高的一个重要原因。中国在 80 年代前对森林资源进行大量开发，导致 1949 ~ 1980 年间以每年 0.022 Pg 的速度释放碳，而 70 年代后期开始的植树造林运动和植被恢复行动使得 1980 ~ 1998 年间植被固定碳的能力以 0.021 Pg 的速度增加（Fang 等，2001）。美国植被 1945 年后碳固定能力增加和森林植被的保护也有很大关系（Houghton 等，1999）。另外，人工生态系统中高产品种和化肥的使用也增加了人工生态系统的叶面积指数（Xiao and Moody, 2004）。然而 Keeling 等（1996）的研究中恰恰没有考虑这些因素的作用，这也可能是对生长期延长作用过高估计的一个重要因素。

本研究结果显示，热带植物生长期对气候因子和株高生长关系的贡献往往不到 30%（图 1），这和 Keeling 等（1996）认为增温主要通过影响生长期而影响植物生长的假设也不符。不少研究也指出植被对温度气候的响应往往滞后 1 ~ 3 年（Keeling 等，1996；Piao 等，2003）。这暗示出植被生产力对增温的显著响应除了直接通过生理过程调节实现外，还可能受控于其它周期较长的生态过程，如地下生态系统反馈途径，群落构成等（Braswell 等，1997；Barford 等，2001）。Jonse 等（1998）探讨了植物根际微环境对 CO₂ 浓度升高的反馈过程，温度也可能以类似的方式作用于地下生态过程，然后再促进地上植被生长，这样就会产生一定的时间滞后效应。由于没有确切的数据支持，这方面还需要进一步深入研究。

综上所述，物候期延长或提前对热带植物的植物生产力增加的贡献是有限的。

致谢 本研究的物候和生长量数据由西双版纳热带植物园档案室提供，气候资料由西双版纳热带植物园生态站提供。

〔参 考 文 献〕

- Barford CC, Wofsy SC, Goulden ML *et al.*, 2001 . Factors controlling long- and short-term sequestration of atmospheric CO₂ in a mid-latitude forest [J] . *Science*, 294: 1688—1691
- Braswell BH, Schimel DS, Linder E *et al.*, 1997 . The response of global terrestrial ecosystems to interannual temperature variability [J] . *Science*, 278: 870—872
- Fang J, Chen A, Peng C *et al.*, 2001 . Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998 [J] . *Science*, 292: 2320—2223
- Fang J, Piao S, Field CB *et al.*, 2003 . Increasing net primary production in China from 1982 to 1999 [J] . *Frontiers in Ecology and the Environment*, 1 (16): 293—297
- Fang J (方精云), Piao S (朴世龙), He J (贺金生) *et al.*, 2003 . Increasing vegetation activity in China in the last two decades [J] . *Science in China (中国科学)*, 33 (6): 554—567
- Houghton RA, Hackler JL, Lawrence KT, 1999 . The U . S . carbon budget: contributions from land-use change [J] . *Science*, 285: 574—578
- Jones TH, Thompson LJ, Lawton JH *et al.*, 1998 . Impacts of rising atmospheric carbon dioxide on model terrestrial ecosystems [J] . *Science*, 280: 441—444
- Keeling CD, Chin JFS, Whorf TP, 1996 . Increased activity of northern vegetation inferred from atmospheric CO₂ measurements [J] . *Nature*, 382: 146—149
- Kramer PJ, 1943 . Amount of duration of growth of various species of tree seedlings [J] . *Plant Physiology*, 18 (2): 239—251
- Li D (李德军), Mo J (莫江明), Fang Y (方运霞) *et al.*, 2004 . Effects of simulated nitrogen deposition on growth and photosynthesis of *Schima superba*, *Castanopsis chinensis* and *Cryptocarya concinna* seedlings [J] . *Acta Ecologica Sinica (生态学报)*, 24 (5): 876—882
- Linderholm HW, 2006 . Growing season changes in the last century [J] . *Agricultural and Forest Meteorology*, 137: 1—14
- M kip R, Karjalainen T, Pussinen A *et al.*, 1999 . Effects of climate change and nitrogen deposition on the carbon sequestration of a forest ecosystem in the boreal zone [J] . *Canadian Journal of Forest Research*, 29: 1490—1501
- Menzel A, Fabian P, 1999 . Growing season extended in Europe [J] . *Nature*, 397: 659
- Myneni RB, Keeling CD, Tucker CJ *et al.*, 1997 . Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991 [J] . *Nature*, 386: 698—702
- Norby RJ, Delucia EH, Gielen B *et al.*, 2005 . Forest response to elevated CO₂ is conserved across a broad range of productivity [J] . *Proceeding of the National Academy of the United States of America*, 102 (50): 18052—18056
- Olszyk D, Wise C, Van Ess E *et al.*, 1998 . Phenology and growth of shoots, needles, and buds of Douglas-fir seedlings with elevated CO₂

- and (or) temperature [J]. *Canadian Journal of Botany*, 76: 1991—2001
- Piao S (朴世龙), Fang J (方精云), 2003. Seasonal changes in vegetation activity in response to climate changes in China between 1982 and 1999 [J]. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), 58 (1): 119—125
- Piao SL, Fang JY, Zhou LM *et al.*, 2003. Interannual variations of monthly and seasonal normalized difference vegetation index (NDVI) in China from 1982 to 1999 [J]. *Journal of Geophysical Research*, 108 (D14): 4401—4413
- Qi Y (齐晔), 1999. The effect of climate change on vegetation at high latitude of the northern hemisphere: a functional analysis [J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 19 (4): 474—478
- Root TL, Price JT, Hall KR *et al.*, 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants [J]. *Nature*, 421: 57—60
- Xiao J, Moody A, 2004. Trends in vegetation activity and their climatic correlates: China 1982 to 1998 [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 25 (24): 5669—5689
- Yang J (杨金艳), Yang W (杨万勤), Wang K (王开运) *et al.*, 2003. Woody plants respond to interactions between elevated CO₂ and increased temperature [J]. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 27 (3): 304—310
- Zheng J (郑景云), Ge Q (葛全胜), Hao Z (郝志新), 2003. The influences of increased temperature on phenology changes in China [J]. *Chinese Science Bulletin* (科学通报), 47 (20): 1582—1588
- Zhou L, Tucker CJ, Kaufmann RK *et al.*, 2001. Variations in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999 [J]. *Journal of Geophysical Research*, 106 (D17): 20069—20083

* * * * *

(上接第 145 页)

Type: China, Sichuan, Hei Shui County (黑水县), Wa Bu (瓦布), G. L. He (何光力) 3777 (holotype, SM). — *Fritillaria wabuensis* S. Y. Tang *et al.* in *Acta Academiae Medicinae Sichuan* XIV, 4: 331, 1983.

A type plantis altioribus, nectario foveolato 5 - 8 mm longo bene differt.

本变种与原变种 (*Fritillaria unibracteata* var. *unibracteata*) 的区别在于植株较高, 蜜腺窝长 5 ~ 8 mm。

茎高 50 ~ 80 (- 115) cm, 粗可达 1.3 cm。叶最下面常 2 枚对生, 上面的轮生兼互生, 略似镰形或狭披针形, 长 7 ~ 13 cm, 宽 9 ~ 20 mm。花 1 ~ 2 (- 3) 朵, 初开时黄色或绿黄色, 内面常具紫色斑点, 偶见紫色或橙色晕; 苞片叶状, 1 ~ 4 枚; 花被片倒卵形至矩圆状倒卵形, 长 3.5 ~ 5.5 cm; 蜜腺长 5 ~ 8 mm; 雄蕊花丝长于花药; 花柱裂片长约 3 mm。蒴果长 3 ~ 5 cm, 棱上翅宽约 2 mm。

分布: 四川西北部 (北川、黑水、茂县、松潘); 海拔 2 500 ~ 3 600 m, 生于灌木林和草丛中。

2009 年 3 月在成都召开的“中国药典 2010 版川贝母新增来源暨瓦布贝母研究专题论证会”上, 专家们建议对瓦布贝母的分类学等级作进一步研究与确定, 然后收入药典, 故本文对瓦布贝母的等级给予变动。

【参 考 文 献】

- 唐心曜, 岳松健, 1983. 贝母属植物三新种 [J]. *四川医学院学报*, 14 (4): 327—334
- 唐心曜, 岳松健, 1992. 贝母属 [A]. 见: 许介眉编, *四川植物志* [M]. 成都: 四川民族出版社, 7: 55—82
- Luo YB (罗毅波), Chen XQ (陈心启), 1996. A revision of *Fritillaria* L. (Liliaceae) in the Hengduan Mountains and adjacent regions, China () [J]. *Acta Phytotaxonomica Sinica* (植物分类学报), 34 (5): 547—553
- Chen SC, Mordak HV, 2000. *Fritillaria* [A]. In: Wu CY, Raven P ed, *Flora of China* [M]. Beijing: Science Press, St. Louis: Miss. Bot. Gard. Press, 24: 127—133