

· 研究报告 ·

## 引种保护植物对西双版纳极端冷年的春季物候响应

赵俊斌<sup>1,2,3</sup>, 张一平<sup>1,2\*</sup>, 宋富强<sup>4</sup>, 许再富<sup>2</sup>, 肖来云<sup>2</sup>

<sup>1</sup>中国科学院热带森林生态学重点实验室(西双版纳热带植物园), 云南勐腊 666303; <sup>2</sup>中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223; <sup>3</sup>中国科学院研究生院, 北京 100049; <sup>4</sup>云南省环境科学研究所, 昆明 650034

**摘要** 气温被普遍认为是春季物候期最主要的控制因子之一, 然而低温对植物物候的影响效应一直都存在不同的观点。西双版纳由于地处热带地区的北缘, 其气温相对于赤道附近的热带地区较低。自1959年以来, 西双版纳热带植物园引入了来自世界各个热带地区的4万余种植物进行保护, 之前的研究证明西双版纳的低温对这些引种植物的生长有很大影响。因此, 1974年西双版纳出现的极端低温势必对引种植物造成极大威胁, 同时也是对这些植物低温适应能力的一个考验。通过对比43种引种植物物候期(生长抽梢期与开花期)在1974年与常年的差异情况, 分析不同来源(热带亚洲、热带美洲与热带非洲)引种植物对西双版纳低温的适应性。结果表明, 经历西双版纳1974年初的极端低温之后, 使81%的引种植物生长抽梢期提前, 同时也造成35%的引种植物在该年没有开花; 而植物生长抽梢提前的主要原因则是极端低温以及低温过后气温迅速回升。引种植物均能顺利度过1974年的最冷时期, 并出现生长抽梢物候, 这意味着引种植物在经历极端低温之后都能够进行正常的生长活动, 但极端低温对引种植物繁殖活动的不利影响大于其对生长活动的影响; 引种植物对西双版纳极端低温的适应能力由大到小顺序依次为: 亚洲来源植物>美洲来源植物>非洲来源植物。因此在迁地保护植物的选择过程中, 应多选择亚洲热带植物, 其次为美洲热带植物, 而对非洲热带植物的引入则需谨慎考察。

**关键词** 极端冷年, 开花期, 引种植物, 生长抽梢期, 西双版纳热带植物园

赵俊斌, 张一平, 宋富强, 许再富, 肖来云 (2010). 引种保护植物对西双版纳极端冷年的春季物候响应. 植物学报 45, 435–443.

植物萌芽、展叶和枝条生长等营养生长物候是决定植物生长状况的关键因素, 连同生殖物候(如开花和座果), 共同反映出植物对环境的适应状况。春季物候是植物在年周期内春季气温回升时植物出现的物候现象, 主要包括萌芽、展叶和开花等。一直以来, 人们普遍认为春季物候主要受气候因子的控制 (Rivera et al., 2002; Borchert et al., 2004; Anderson et al., 2005; Bollen and Donati, 2005), 其中, 气温通常被认为是最主要的气候控制因子之一 (Menzel and Fabian, 1999; Chmielewski and Rotzer, 2001; Menzel, 2003; Menzel et al., 2006)。然而在低温对植物物候的影响效应方面存在着一些不同的观点。Clark等(2003)研究表明低温会对植物生长起抑制作用。此外许多研究表明, 全球变暖导致春季物候(如生长抽梢、开花)提前(Matsumoto et al., 2003; Gordo

and Sanz, 2005; Menzel et al., 2006; Doi and Katano, 2008), 这也意味着低温可能会推迟植物春季物候期。同时, 对许多温带地区植物的物候研究证明, 生长物候期前的一段时间低温能缩短该生长物候期发生前的温度积累时间, 使生长物候提前(Nelson and Lavender, 1979; Cannell and Smith, 1983; Murray et al., 1989; Haenninen et al., 1993)。然而, 极端低温很可能造成植物冷害甚至冻害, 从而直接影响其物候, 但目前关于植物物候对极端低温响应的研究还很少。

西双版纳热带植物园位于印度马来热带雨林地区的北缘(21°41'N, 101°25'E), 自1959年建立以来, 植物园引入了来自世界各个热带地区超过4万种的热带植物进行保护。由于特殊的地理位置, 西双版纳比典型热带地区的气温低, 因此, 对于植物园中生长的

收稿日期: 2010-01-29; 接受日期: 2010-05-04

基金项目: 国家自然科学基金(No.30670395)、中国科学院植物园与生物分类研究项目(No.KSCX2-YW-Z-004)和云南省自然科学基金(No.2004C0053M)

\* 通讯作者。E-mail: yipingzh@xtbg.ac.cn

引种植物来说,低温就成了对其物候产生影响的主要因子之一(赵俊斌等, 2009)。1973年12月22日到1974年1月7日,在西双版纳出现了半个世纪以来最冷的极端天气(谭应中和高锡帅, 2002)。这次极端低温对植物园里的热带引种植物的低温适应性是一次严峻的考验。本研究将43种引种植物在极端低温年(1974年)的营养生长和开花期物候资料与常年物候的差异进行比较,分析了热带物种对西双版纳低温的适应性,为植物园的热带植物迁地保护提供指导与参考。

## 1 研究方法

### 1.1 数据资料

本文采用的数据来自1963–1998年西双版纳热带植物园引种的20科43种次热带植物的物候观测记录。43种植物定植时间为1959–1965年之间,观测均选

取生长良好的植株进行,在其出现开花后第2年开始观测(即说明植物已发育成熟),多数植物观测持续20年以上,部分物种观测不到10年(表1)。根据来源地,我们把这些植物分为热带亚洲植物(来源于中国16种、越南1种、缅甸1种),热带非洲植物(来源于加纳5种、乌干达1种、马里2种)和热带美洲植物(来源于古巴17种)。表1中, *Bauhinia tomentosa* 与 *Cassia fistula* 都存在2个相同植物种,但由于属于不同批次定植,所以重复列出作为不同种次。本研究主要针对植物的生长抽梢期与开花期2个春季物候进行分析,生长抽梢期是包括植物的芽膨大期、芽开放期、展叶及新梢生长期在内的整个生长季节;开花期包括花蕾(或花序)出现期、开花始期、开花盛期及开花末期。同时,植物园中设有标准气象观测场,仪器按照中国气象局规范设置。本研究使用该气象观测场的同期气温数据来分析其对植物物候的影响。

表1 西双版纳热带植物园引种植物名录(20科43种)

Table 1 Information of the introduced species in Xishuangbanna Tropical Botanical Garden (43 species from 20 families)

Family	Species	Origins	Family	Species	Origins
Anacardiaceae	<i>Dracontomelon duperreanum</i>	Asia	Lythraceae	<i>Lagestroemia indica</i>	Asia
Annonaceae	<i>Cananga odorata</i>	Asia	Meliaceae	<i>Trichilia americana</i>	America
Bignoniaceae	<i>Kigelia pinnata</i>	America	Mimosaceae	<i>Pithecellobium dulce</i>	America
Bignoniaceae	<i>Kigelia africana</i>	Africa	Mimosaceae	<i>Albizia chevalieri</i>	Africa
Bignoniaceae	<i>Spathodea nilotica</i>	America	Mimosaceae	<i>Eberhardtia cyclocarpum</i>	America
Bignoniaceae	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	Asia	Myrtaceae	<i>Melaleuca leucadendron</i>	Asia
Caesalpiniaceae	<i>Bauhinia monandra</i>	Africa	Myrtaceae	<i>Eugenia uniflora</i>	Asia
Caesalpiniaceae	<i>Bauhinia variegata</i>	Asia	Papilionaceae	<i>Dalbergia hainanensis</i>	Asia
Caesalpiniaceae	<i>Bauhinia tomentosa</i>	Africa	Papilionaceae	<i>Erythrina indica</i>	America
Caesalpiniaceae	<i>Bauhinia tomentosa</i>	Africa	Papilionaceae	<i>Erythrina senegalensis</i>	Africa
Caesalpiniaceae	<i>Cassia fistula</i>	Asia	Papilionaceae	<i>Gliricidia sepium</i>	Africa
Caesalpiniaceae	<i>Cassia fistula</i>	Asia	Papilionaceae	<i>Pterocarpus indica</i>	Asia
Caesalpiniaceae	<i>Peltophorum pterocarpum</i>	America	Papilionaceae	<i>Phyllocarpus septentrionalis</i>	America
Combretaceae	<i>Terminalia chebula</i>	Asia	Papilionaceae	<i>Centrolobium ochroxylum</i>	America
Combretaceae	<i>Terminalia muelleri</i>	America	Proteaceae	<i>Macadamia ternifolia</i>	Asia
Combretaceae	<i>Terminalia arjuna</i>	America	Samydaceae	<i>Homalium hainanensis</i>	Asia
Combretaceae	<i>Terminalia tomentosa</i>	America	Sapindaceae	<i>Sapindus trifoliatus</i>	America
Combretaceae	<i>Terminalia myriocarpa</i>	Asia	Sterculiaceae	<i>Sterculia foetida</i>	America
Dipterocarpaceae	<i>Dipterocarpus retusus</i>	Asia	Sterculiaceae	<i>Guazuma tomentosa</i>	America
Euphorbiaceae	<i>Garcia nutans</i>	America	Ulmaceae	<i>Holoptelea integrifolia</i>	America
Flacourtiaceae	<i>Oncoba spinosa</i>	Africa	Verbenaceae	<i>Clerodendrum japonicum</i>	Asia
Lythraceae	<i>Lagestroemia tomentosa</i>	Asia			

## 1.2 数据统计

根据气象记载(谭应中和高锡帅, 2002), 确定1959—2009年间西双版纳极端低温出现的年份(简称极端冷年)。极端冷年及其上一年月均最低温与常年月平均的差值(极端冷年每个月份月均最低气温减去多年平均的相应月份月均最低气温)及其月变化幅度差值(极端冷年每个月份月均最低气温减去其上一个月的月均最低气温, 得到极端冷年月均最低气温变化幅度值, 再减去常年平均相应月份的该幅度值)也用来说明极端冷年气候的特殊性。依据物候记载, 计算每一种植物多年(不含极端冷年)平均的物候参数(包括生长抽梢与开花起始日期、结束日期), 作为植物的常年物候参数, 用每种植物在极端冷年的物候参数减去相应的常年平均参数作为生长和开花物候时间在极端冷年的变化量, 并通过 $t$ 检验对其变化量的显著性进行检验(用SPSS13.0软件中的One-Sample T Test检验功能检验极端冷年的物候参数与常年是否有区别, 显著性检验 $P<0.05$ ), 统计2个物候期该变化量的总体分布格局, 以反映植物物候对极端低温的总体响应特征。根据种源差异, 分别对引种植物的生长抽梢与开花持续期在极端冷年的不同程度响应进行分析, 并据此进行适应性评价。采用总体季节物候比例格局与月均最低温度间的回归分析, 揭示植物生长抽梢期在极端冷年出现的特殊物候现象所产生的原因。

## 2 结果与讨论

### 2.1 极端冷年的气温变化格局

西双版纳在过去50年里, 极端最低温出现在1973年12月22日至1974年1月7日之间(谭应中和高锡帅, 2002)。长期的气候数据也显示1974年出现了最低气温(图1)。该年极端低温比常年的平均值低 $2.4^{\circ}\text{C}$ 。图2显示1973—1974年与常年相比月均最低气温的特殊情况, 其中在1973年12月至1974年1月出现极端低温, 随后在2月与3月则出现了大幅的气温回升, 3月的月均最低气温达到 $15.3^{\circ}\text{C}$ , 高于常年平均值 $1.2^{\circ}\text{C}$ (图2A)。图2B表明1974年1—2月份气温回升的幅度比常年快近 $3^{\circ}\text{C}$ 。

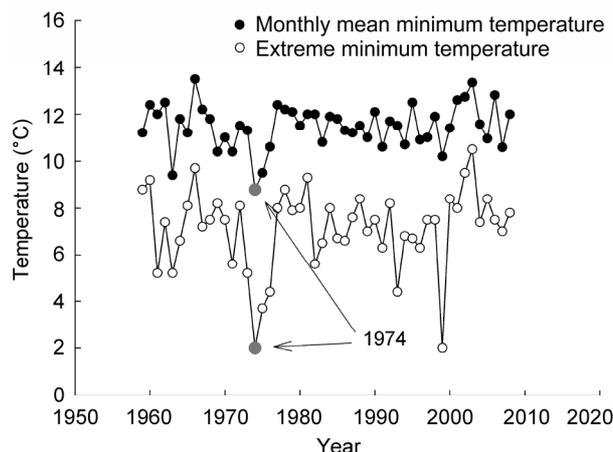


图1 1959—2009年月均最低温和年极端低温的动态变化  
箭头所指的2个点为气温最低点, 均出现在1974年。

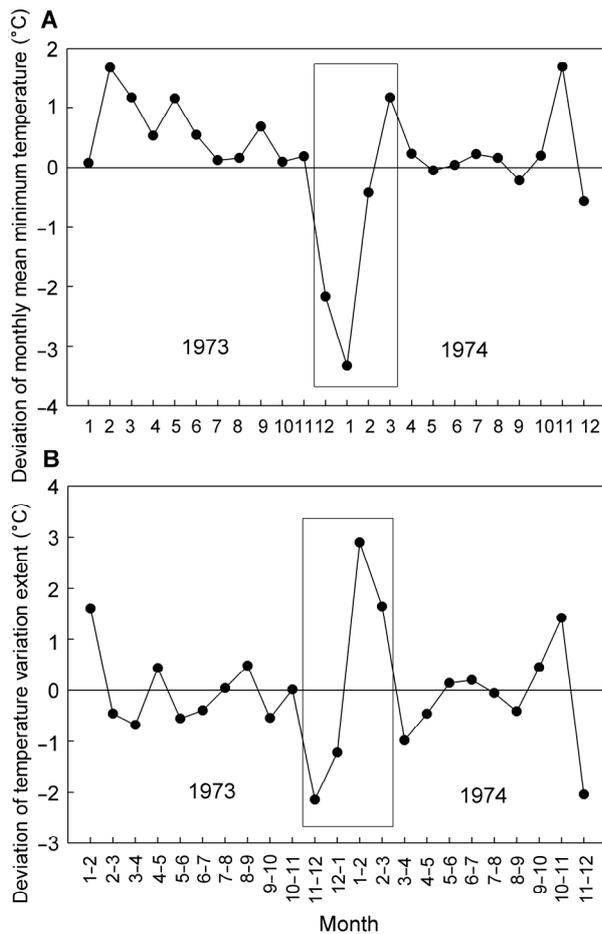
Figure 1 Dynamics of monthly mean minimum temperature and extreme minimum temperature in year 1959–2009  
The arrowheads point to the lowest spots both in 1974.

### 2.2 物候对极端低温的响应

1973年12月至1974年1月西双版纳的低温使81%的引种植物生长抽梢期提前(图3A), 其中提前25—50天(1—2月)的植物最多, 达37%; 而有14%的植物生长抽梢起始时间没有发生显著变化; 只有5%的植物生长抽梢起始时间推迟。从生长抽梢结束时间来看(图3B), 28%的植物在1974年没有发生显著变化, 44%推迟, 28%提前。由于多数植物起始时间提前, 导致1974年70%的植物生长抽梢持续期延长(图3C)。从开花期来看(图3D—F), 1974年未开花的植物比例达到35%, 另外有25%的植物花期未发生显著变化, 其余40%的物种的花期则或推迟或提前, 总体表现规律性不强。可见, 极端低温对很大部分引种驯化物种的花期产生了一定的影响, 但有65%的植物在1974年出现了开花, 甚至25%的植物花期时间与常年相比没有发生显著偏移, 可见1974年极端低温并没有对引种植物造成致命的影响。

### 2.3 不同来源物种的低温响应差异

引种植物物候期对低温响应差异在种源地水平上表现也较明显(图4)。70%以上美洲与亚洲来源的植物种在1974年极端低温以后, 其生长抽梢持续期延长(图



**图2** 1973/1974年与常年月均最低气温差值(A)及其月变化幅度差值(B)

方框中为研究主要关注区间,即1973年末至1974年初;月份坐标中前半段1-12月为1973年,后半段为1974年。

**Figure 2** Deviations of monthly mean minimum temperature between 1973/1974 and the regular years (A), and its monthly variation extent (B)

Box indicated the period mainly concerned, which is in the end of 1973 and the onset of 1974; The former 1-12 in the Month-axis are in 1973 and the latter ones are in 1974.

4A), 同时还有15%左右的物种生长抽梢持续期没有发生显著变化。而非洲来源的植物中,生长抽梢持续期均发生了不同程度的显著变化,其中,生长抽梢持续期延长与缩短的比例各占一半。从开花情况看(图4B),1974年末开花的物种比例以非洲种源最高(50%),美洲种源稍低(47%),亚洲种源最低(17%);而在开花的物种中,开花持续期无显著变化的以非洲

种源最少,美洲来源植物其次,亚洲来源植物最多。40%左右的非洲来源植物延长了开花持续期,但没有出现持续期缩短的植物种;亚洲种源的植物开花持续期延长者较缩短者多,而美洲来源的植物开花期缩短与延长的物种数量相当。

## 2.4 生长抽梢期与月均最低气温关系

1974年来自热带的植物在西双版纳极端低温的影响下出现了生长抽梢期提前的特殊物候现象。为了揭示该现象产生的原因,我们对1974年的生长抽梢期与月均最低气温的关系作了研究。

图5显示,1974年的总体生长抽梢物候格局与常年相比存在明显的差别。主要体现在1974年1-3月份的生长抽梢物种比例均比常年高50%以上,这也正是1974年植物生长抽梢期提前的一个必然结果。

1974年的生长抽梢物候格局中,各月植物种比例与月平均最低气温呈显著正相关线性关系(图6A),常年平均的生长抽梢季节格局比例与月平均最低气温也存在相似的线性关系(图6B)。2个回归方程显示,1974年生长抽梢开始的最低气温为6.88°C,而常年则相对较高,为10.46°C,但根据1974年数据所得的方程的斜率更大。

1974年植物生长抽梢格局比例中(图5),引种植物在3月即进入生长抽梢的旺盛期,其生长抽梢比例显著高于常年平均值,达80%。图6中良好的线性关系方程说明在1974年极端低温出现以后,气温的异常快速回升(图2)是使得多数引种植物生长抽梢期出现提前的重要原因。

## 2.5 讨论

### 2.5.1 植物生长抽梢对极端低温的响应

研究结果显示,1974年引种植物生长抽梢季节格局与月均最低气温直线回归关系呈显著相关(图6A),说明该年极端低温后气温的快速回升(图2)是使得多数引种植物生长抽梢出现提前的重要原因。图6A显示二者相关关系 $R^2=0.771$ ,即月均最低气温能解释77.1%的每个月出现的生长抽梢物种比例,但该值比常年情况下( $R^2=0.919$ )低(图6B),反映出1974年的气温回升仅是植物生长抽梢期提前的原因之一,而前期的极端低温同样也是重要的原因。因此,我们认为80%的引种植物在1974年出现生长抽梢期显著提前是由年

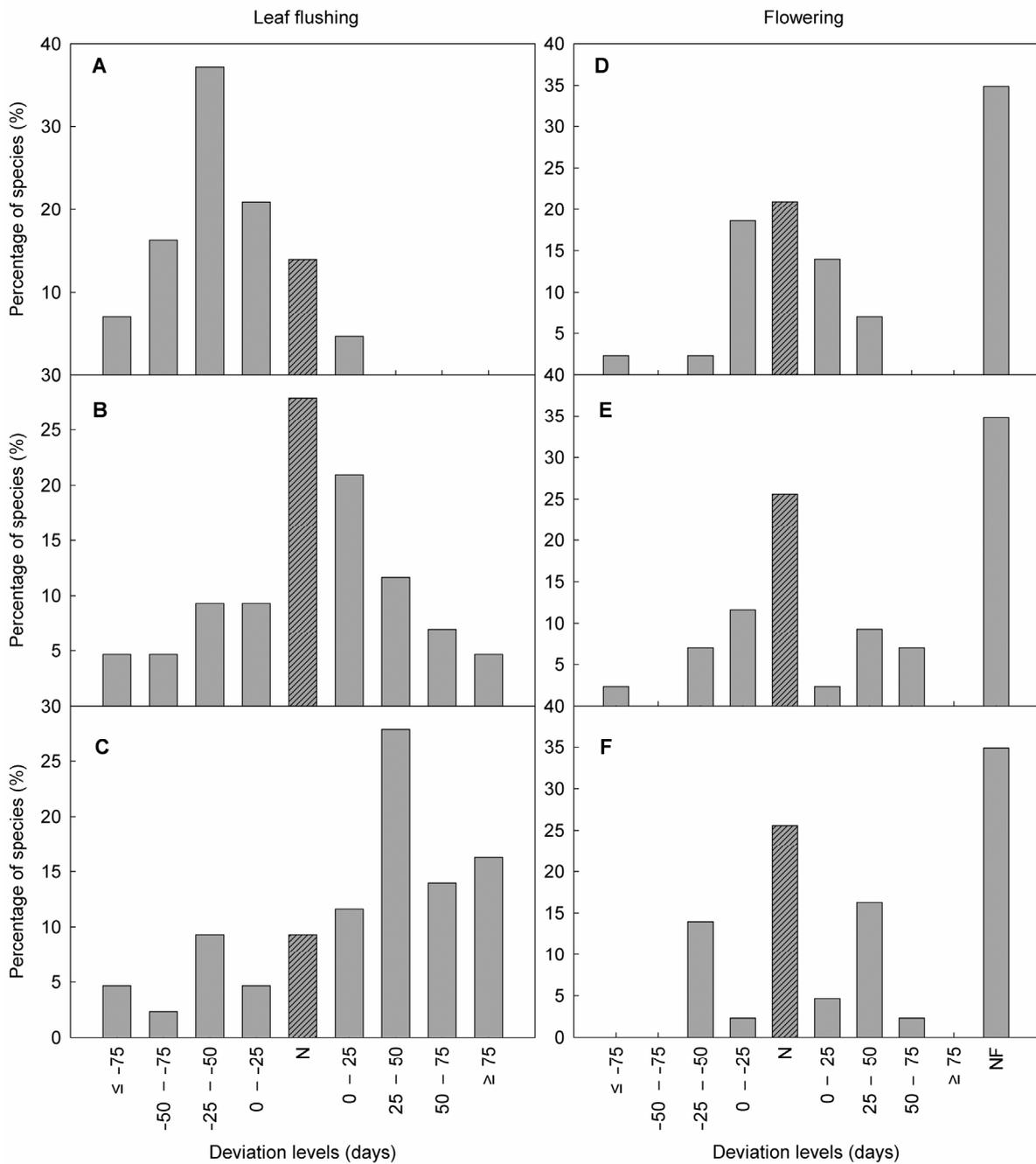
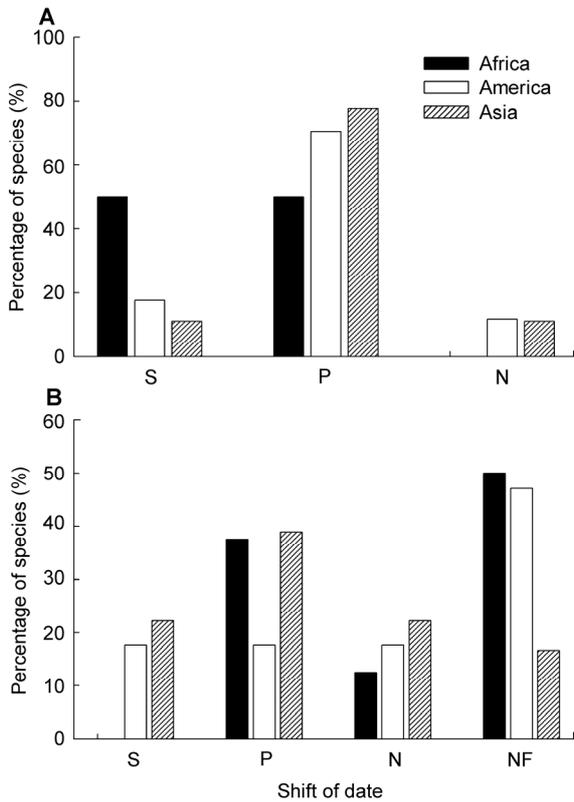


图3 1974年与常年物候期的差异

(A)–(C) 生长抽梢期; (D)–(F) 开花期。其中(A)和(D)为起始时间; (B)和(E)为结束时间, (C)和(F)为持续时间; 负数表示提前, 正数表示推迟。N: 物候期在1974年未发生显著变化的物种比例(用斜线标注, 在 $P < 0.05$ 程度上差异不显著); NF: 1974年未出现开花的物种比例。

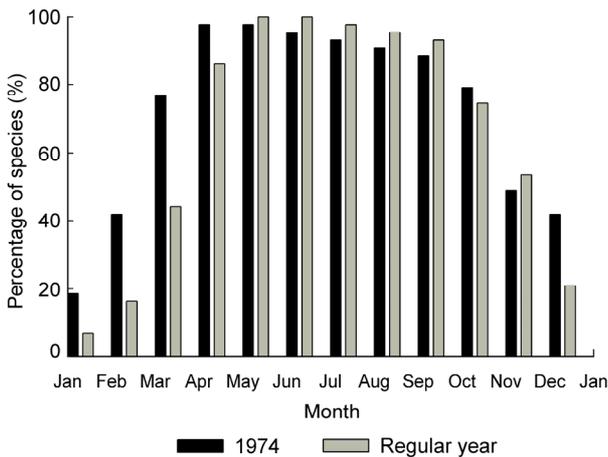
Figure 3 Deviation levels for the phenophases in 1974 compared with the regular years

(A)–(C) Leaf flushing; (D)–(F) Flowering. Figures (A) and (D) for the beginning dates; Figures (B) and (E) for the ending dates; Figures (C) and (F) for the sustaining days. The negative indicates the advanced days, and the positive indicates the delayed ones. N: Percentage of the species with no significant shift in the dates of phenology in 1974 (represented with diagonal bars, insignificant at the level of  $P < 0.05$ ); NF: Percentage of the species with no flowers in 1974.



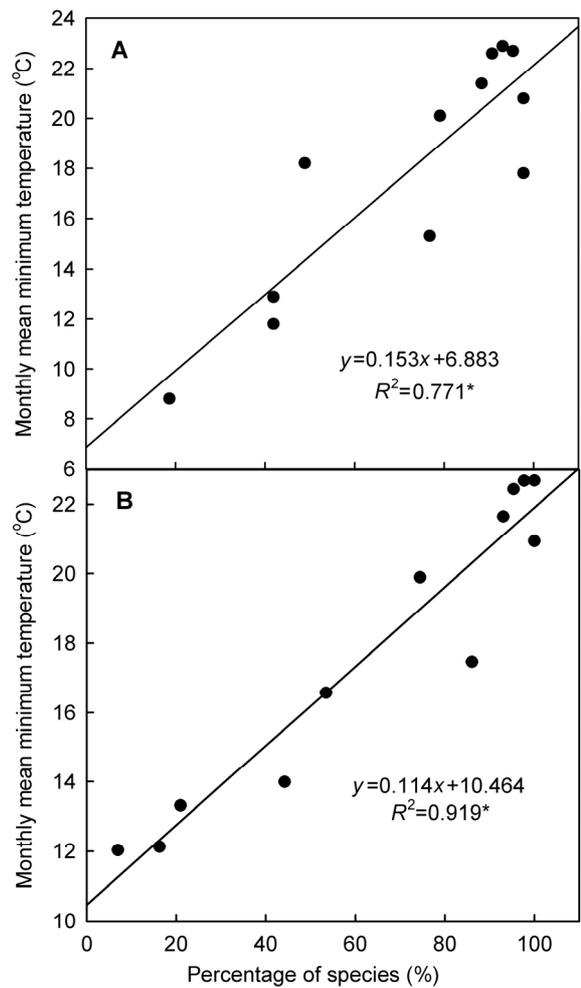
**图4** 1974年不同种源植物的生长抽梢(A)与开花(B)持续期相对常年的特征格局  
S: 缩短; P: 延长; N: 变化不显著; NF: 未开花

**Figure 4** Shift of leaf flushing (A) and flowering (B) sustaining period in 1974 for the species with different origins  
S: Shortened; P: Prolonged; N: No significant shift; NF: No flowers



**图5** 1974年与常年植物生长抽梢物候格局

**Figure 5** Seasonal variation patterns of leaf flushing in 1974 and the regular year



**图6** 生长抽梢比例季节格局与月均最低气温的直线回归关系 (A) 1974年; (B) 常年平均。\*  $R^2$ 在 $P < 0.01$ 水平差异显著。

**Figure 6** Linear regressions between seasonal variation pattern of leaf flushing and monthly mean minimum temperature (A) In year 1974; (B) The regular year. \*  $R^2$  is significantly different at  $P < 0.01$ .

头的极端低温与其后的气温快速回升共同作用的结果。

本研究中, 极端低温使得西双版纳多数引种植物的生长抽梢起始时间提前, 相应的生长抽梢持续时间(生长季节)也在极端低温之后出现了延长, 这与一些支持低温会推迟植物春季物候期或对其造成不利影响的研究结果相悖(Clark et al., 2003; Matsumoto et al., 2003; Gordo and Sanz, 2005; Menzel et al., 2006; Doi and Katano, 2008)。而在Murray等(1989)

表2 主要引种植物来源地年平均气温

Table 2 Annual mean temperature of the origins of the main introduced species

	Asia		Africa		America
	Xishuangbanna	China (Hainan)	Ghana (Tamale)	Mali (Bamako)	Cuba (La Habana)
Temperature (°C)	21.8	24.1	28.0	27.8	25.2

气温数据来源于中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn/index.jsp>)

Temperature data are from the China Meteorological Data Sharing Service System (<http://cdc.cma.gov.cn/index.jsp>)

的研究中, 温带地区植物发芽之前的低温时间越长, 其发芽之前所需的时间就越短, 即发芽时间提前, 而在其它温带地区也不乏相似的研究结果 (Nelson and Lavender, 1979; Cannell and Smith, 1983; Haenninen et al., 1993)。这与本研究中1974年西双版纳的极端低温出现后热带引种植物生长抽梢发生提前极为相似。可见, 春季物候期发生前的低温需求不仅存在于温带地区生长的植物, 在西双版纳生长的热带引种植物也存在此现象, 同时还可能存在于其它热带地区植物中, 只不过低温在热带地区不常出现从而使得该现象在热带表现不明显而已。然而, 这个观点还需要进一步的研究来验证。

植物经过低温后, 在环境条件适当的情况下提前进入生长季节, 使生长季得到延长, 这种行为有利于植物物质与能量的积蓄, 为当年的繁殖活动提供最大的支持, 同时也为后续可能再次出现的低温做好准备, 是植物对低温的一种适应对策。但前提条件是低温程度必须在植物可承受范围以内, 如发生冷害甚至冻害时植物很可能出现相反的物候现象, 即推迟生长抽梢, 甚至死亡。

### 2.5.2 引种植物对低温的适应性及对迁地保护的启示

由于西双版纳地处热带北缘, 引种的热带植物生长主要受相对较低的气温影响, 这一推论已被证实(赵俊斌等, 2009)。因此, 1974年出现在西双版纳的极端低温对热带植物适应性是一次严峻的考验。结果表明, 43种引种植物均顺利度过了50年来的最冷时期, 并紧接着出现了生长抽梢, 说明引种植物在经历极端低温之后都能够进行正常的生长活动。开花期是植物生殖的重要时期, 决定了植物的繁殖能否实现。在经过西双版纳1974年初的极端低温之后, 35%的引种植物没有出现开花, 可见极端低温对引种植物繁殖活动的

不利影响大于其对生长活动的影响。

从引种植物的来源看, 热带非洲来源植物的生长抽梢持续期在极端低温以后缩短的比例占其总数的50%, 并且没有出现生长抽梢持续期变化不显著的植物种, 相比热带美洲与热带亚洲来源的热带植物, 其生长抽梢期受低温的影响最大。从开花期来看, 在1974年未开花的物种比例仍然以热带非洲来源植物最高, 为50%, 热带美洲来源植物稍低, 达47%, 热带亚洲来源植物最低, 仅为17%; 同时, 开花持续期无显著变化的植物种数以热带亚洲来源植物最多, 其次为热带美洲来源植物, 热带非洲来源植物最少。由此可判断西双版纳低温对热带非洲来源植物的开花期产生不利影响最大, 其次为热带美洲来源植物, 而热带亚洲来源植物受到影响相对较小。

综上所述, 低温对植物生殖物候期的不利影响大于营养生长物候期; 来源不同的引种植物对西双版纳极端低温的适应能力差异较明显, 其适应能力从大到小排序为: 亚洲来源植物>美洲来源植物>非洲来源植物。表2显示了主要引种植物来源地年平均气温, 而西双版纳的年平均气温(21.8°C)明显低于其它来源地, 中国的海南与其比较接近(24.1°C), 而非洲的2个主要来源地加纳与马里气温最高, 达到28°C左右, 其次是美洲的古巴(25.2°C)。可见, 年均温较低的地区来源的引种植物的低温适应性较好(热带亚洲), 而年均温较高地区来源的植物其低温适应性则较差(热带非洲), 说明植物对低温的适应性具有较为保守的特点, 即主要受其原产地气候特征决定。

由于来源不同的引种植物对西双版纳环境的适应能力不同, 所以在西双版纳热带植物园中进行植物迁地保护时, 应多选择一些气温与西双版纳相似的热带亚洲与美洲地区的植物, 而对气温较高的热带非洲地区来源的植物引入则需谨慎考察。另外, 鉴于西双

版纳旱季的低温对植物繁殖有不利影响,在迁地保护工作中,旱季对热带植物采取一定的防寒措施是十分必要的。

**致谢** 中国科学院西双版纳热带雨林生态系统研究站提供了气象站的相关气候资料;中国科学院西双版纳热带植物园园林部及档案室提供了引种植物的物候观测数据,在此表示感谢。

## 参考文献

谭应中,高锡帅 (2002). 西双版纳州低温寒害基本特征及减灾对策. *中国农业气象* **23**, 44–48.

赵俊斌,张一平,宋富强,许再富,肖来云 (2009). 西双版纳热带植物园引种植物物候特征比较. *植物学报* **44**, 464–472.

Anderson DP, Nordheim EV, Moermond TC, Bi ZBG, Boesch C (2005). Factors influencing tree phenology in Tai National Park, Cote d'Ivoire. *Biotropica* **37**, 631–640.

Bollen A, Donati G (2005). Phenology of the littoral forest of Sainte Luce, Southeastern Madagascar. *Biotropica* **37**, 32–43.

Borchert R, Meyer SA, Felger RS, Porter-Bolland L (2004). Environmental control of flowering periodicity in Costa Rican and Mexican tropical dry forests. *Glob Ecol Biogeogr* **13**, 409–425.

Cannell M, Smith R (1983). Thermal time, chill days and prediction of budburst in *Picea sitchensis*. *J Appl Ecol* **20**, 951–963.

Chmielewski FM, Rotzer T (2001). Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agric Fort Meteorol* **108**, 101–112.

Clark DA, Piper SC, Keeling CD, Clark DB (2003). Tropical

rain forest tree growth and atmospheric carbon dynamics linked to interannual temperature variation during 1984–2000. *Proc Natl Acad Sci USA* **100**, 5852–5857.

Doi H, Katano I (2008). Phenological timings of leaf budburst with climate change in Japan. *Agric Fort Meteorol* **148**, 512–516.

Gordo O, Sanz JJ (2005). Phenology and climate change: a long-term study in a Mediterranean locality. *Oecologia* **146**, 484–495.

Haenninen H, Kellomaeki S, Laitinen K, Pajari B, Repo T (1993). Effect of increased winter temperature on the onset of height growth of Scots pine: a field test of a phenological model. *Silva Fennica* **27**, 251–257.

Matsumoto K, Ohta T, Irasawa M, Nakamura T (2003). Climate change and extension of the *Ginkgo biloba* L. growing season in Japan. *Glob Chang Biol* **9**, 1634–1642.

Menzel A, Fabian P (1999). Growing season extended in Europe. *Nature* **397**, 659–659.

Menzel A (2003). Plant phenological anomalies in Germany and their relation to air temperature and NAO. *Clim Change* **57**, 243–263.

Menzel A, Sparks TH, Estrella N, Roy DB (2006). Altered geographic and temporal variability in phenology in response to climate change. *Glob Ecol Biogeogr* **15**, 498–504.

Murray M, Cannell M, Smith R (1989). Date of budburst of fifteen tree species in Britain following climatic warming. *J Appl Ecol* **26**, 693–700.

Nelson E, Lavender D (1979). The chilling requirement of western hemlock seedlings. *For Sci* **25**, 485–490.

Rivera G, Elliott S, Caldas LS, Nicolossi G, Coradin VTR, Borchert R (2002). Increasing day-length induces spring flushing of tropical dry forest trees in the absence of rain. *Trees-Struct Funct* **16**, 445–456.

## Spring Phenology of Introduced Species in Response to Extreme Chilliness in Xishuangbanna Tropical Botanical Garden

Junbin Zhao<sup>1, 2, 3</sup>, Yiping Zhang<sup>1, 2\*</sup>, Fuqiang Song<sup>4</sup>, Zaifu Xu<sup>2</sup>, Laiyun Xiao<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Key Laboratory of Tropical Forest Ecology, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla, Yunnan 666303, China; <sup>2</sup> Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650223, China; <sup>3</sup> Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; <sup>4</sup> Yunnan Institute of Environmental Science, Kunming 650034, China

**Abstract** Temperature is widely considered to be one of the most important factors affecting the spring phenophases, such as leaf flushing and flowering. However, different viewpoints still exist as to the effect of the low temperature. Xishuangbanna (in China), which is located in the northern part of the tropics, has a lower temperature than the equatorial tropical regions. Since 1959, the Xishuangbanna Tropical Botanical Garden (XTBG) has introduced more than 40 000 tropical plant species for conservation from all over the world. The low temperature of the garden is a key factor significantly affecting the growth of these plants. The extreme chilliness that occurred in 1974 was a threat to the plants and also a test of their cold resistance. In this study, we compared the spring phenology (leaf flushing and flowering) of 43 introduced plants in 1974 with that of plants in other years and evaluated their cold resistance by different origins (Asian tropics, American tropics and African tropics). In total, 81% of the plants showed advanced leaf flushing because of both the extreme chilliness and the rapid temperature rebound afterwards. The chilliness also caused non-flowering in 35% of the plants. Successful flushing after chilliness represents a good vegetative cold resistance for all the species; however, the progenerative phenophase was more adversely affected by the chilliness. According to the performance of their spring phenology, species from Asian tropics showed the best cold resistance with the highest species percentage of flowering (83%) and the fewest shifts in phenotypic durations after the chilliness. Species from the American tropics were next highest in flowering and phenotypic durations, then African species. Hence, species from the Asian tropics should be considered first for *ex situ* conservation in Xishuangbanna, and African species must be carefully introduced.

**Key words** extreme chilliness, flowering, introduced species, leaf flushing, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden

**Zhao JB, Zhang YP, Song FQ, Xu ZF, Xiao LY** (2010). Spring phenology of introduced species in response to extreme chilliness in Xishuangbanna Tropical Botanical Garden. *Chin Bull Bot* **45**, 435–443.

---

\* Author for correspondence. E-mail: yipingzh@xtbg.ac.cn