

·研究报告·

西双版纳热带植物园引种植物物候特征比较

赵俊斌^{1, 3}, 张一平^{1*}, 宋富强², 许再富¹, 肖云来¹

¹中国科学院西双版纳热带植物园, 昆明 650223; ²云南省环境科学研究所, 昆明 650034

³中国科学院研究生院, 北京 100049

摘要 迁地保护是生物多样性保护的重要手段之一, 前期的植物引种研究可为迁地保护提供必要的理论支持。通过对西双版纳热带植物园内不同来源的引种植物和本地植物的4个物候期(萌叶期、落叶期、开花期和果熟期)分布格局及其气候影响因素进行对比, 阐明引种植物对环境的适应性和对策。结果表明, 引种植物比本地植物萌叶生长盛期更长, 但对低温和干旱更加敏感的引种植物, 在旱季其落叶比例明显高于本地植物, 而3、4月由于气温的回升, 使引种植物和本地植物在雨季之前就进入了萌叶盛期。而在繁殖物候方面, 由于受气候因子影响较小, 引种植物和本地植物的开花期和果熟期格局季节性表现都不明显, 且规律性不强。总体上, 各来源地的引种植物能根据环境的改变形成相应的生长与繁殖适应对策, 可较好地适应西双版纳的环境。

关键词 物候, 热带引种植物, 西双版纳热带植物园

赵俊斌, 张一平, 宋富强, 许再富, 肖云来 (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.

全球热带地区植物资源十分丰富。随着人类对资源需求的不断增加, 热带地区的森林植被也遭到不同程度的破坏, 其生物多样性受到空前的威胁。因此热带地区生物多样性的保护工作越来越受到重视 (Janzen, 2004; Brooks et al., 2006; O'Connor, 2008)。迁地保护是生物多样性保护的重要对策之一 (孙儒泳, 2002), 植物园在迁地保护中发挥着重要的作用 (蒋高明, 1997)。植物引种是进行迁地保护的必要前提, 而植物易地之后能否适应新环境以及生长状况如何? 这些都是引种和迁地保护时需关注的问题。物候是反映植物生长周期的重要特征 (竺可桢和宛敏渭, 1973), 通过物候观测, 可以了解引种植物是否能正常生长及繁衍后代, 完成从种子到种子的生长发育过程。目前, 已经有较多关于引种或迁地保护植物的研究 (叶功富等, 2004; Bossdorf et al., 2005; Schlaepfer et al., 2005; 陈泓和黄仕训, 2006), 其中不少都对植物的物候进行了描述和研究 (黄培忠, 1995; 朱积余

等, 1997; 黄仕训等, 2001)。

近 50 年来, 中国科学院西双版纳热带植物园陆续从世界各热带地区引种植物, 目前已达 1 万多种, 其中对 1 000 多种进行了物候观测。本文通过利用植物园长期物候观测资料, 比较热带亚洲、非洲、美洲来源植物和本土植物的物候期 (包括萌叶期、落叶期、开花期和果熟期), 研究不同种源地植物的物候特征, 并通过统计分析来揭示不同物候特征的气候影响因素, 为热带植物迁地保护提供科学依据。

1 研究地概况

中国科学院西双版纳热带植物园位于云南南部西双版纳州勐腊县勐仑镇, 地处印度马来热带雨林区 (简称远东热带雨林) 北缘 (20°4'N, 101°25'E), 终年受西南季风控制, 属热带季风气候。图 1 显示了该地区主要的气候特征。西双版纳热带植物园的年均气温 21.8°C, 最

收稿日期: 2008-10-24; 接受日期: 2009-03-20

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 (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

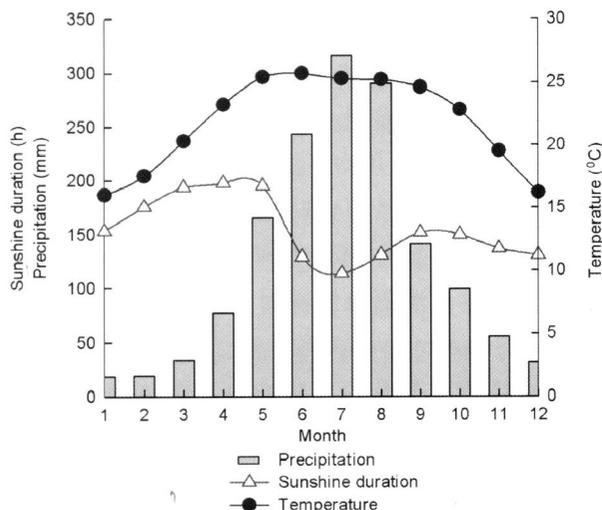


图1 西双版纳的气候特征

Figure 1 Climatic characteristics of Xishuangbanna

热月(6月)平均气温 25.7°C , 最冷月(1月)平均气温 16.0°C , 终年无霜(刘文杰和李红梅, 1997)。根据降雨量可分为旱季和雨季, 旱季又可分为雾凉季(11月-翌年2月)和干热季(3-4月)(张克映, 1966)。干热季气候干燥, 降水量少, 日温差较大; 雾凉季降水量虽少, 但从夜间到次日中午, 都会存在大量的浓雾, 对旱季植物的水分需求有一定补偿作用。雨季时, 气候湿热, 水分充足, 降雨量 $1\ 256\ \text{mm}$, 占全年的84%。年均相对湿度为85%, 全年日照数为1 859小时(西双版纳热带森林生态研究组, 2000)。土壤属于砖红壤。

2 材料与方法

2.1 植物材料

本研究使用的引种植物物候资料来源于中国科学院

西双版纳热带植物园园林部和档案室。本研究选择了具有较长物候观测资料的引种植物为研究对象, 所选植物的来源地见表1, 数据记录时间为1963-1999年。

2.2 观测指标的定义和观测方法

观测指标包括萌叶、落叶、开花和果熟4个物候期。萌叶期泛指植物展叶并且枝条生长的时期。落叶期指植物叶片大量自然脱落的时期, 包括落叶和换叶期。开花期指植物开花的时期。果熟期指植物果实成熟的时期, 高大树木以果实脱落为标志。观测时间是每周一早上, 每种植物定点观测5株(个别种少于5株), 至少1株处于上面物候期, 即认为该种植物处于该物候期, 结束期则以最后一株植物停止该物候期为准。

植物的物候格局是对所研究的植物样本中处于某物候期的种数或个体数所占总体比例的季节性变化的反映。热带植物物候期比较复杂(Sakai, 2001; Singh and Kushwaha, 2006), 物候的时间格局是总体把握其特征的一个有效而且简单的办法(Bollen and Donati, 2005; Singh and Kushwaha, 2006)。

2.3 统计分析

先将每一种植物的4个物候期数据(起始时间和结束时间)进行多年平均, 然后按植物的来源地分为亚洲来源植物、美洲来源植物、非洲来源植物和西双版纳本地植物, 分别统计不同来源植物一年中每个月处于某物候期的植物种数占该来源地植物总种数的比例, 得到不同来源植物的各个物候期总体格局, 据此作图比较不同来源植物物候特征的异同。

表1 植物的来源地

Table 1 Originated places of related plants

Continents	Countries or regions (number of species)	Total
Asia	Natives in Xishuangbanna (34)	34
	Thailand (29), Sri Lanka (10), Vietnam (7), Burma (6), Malaysia (4), Laos (4), Japan (2), Cambodia (2), Indonesia (1)	65
	America	45
Africa	Ghana (18), Zaire (11), Madagascar (6), Uganda (3), Mali (3), Guinea (2), Upper Volta (1)	44
Total	39 family, 188 species	

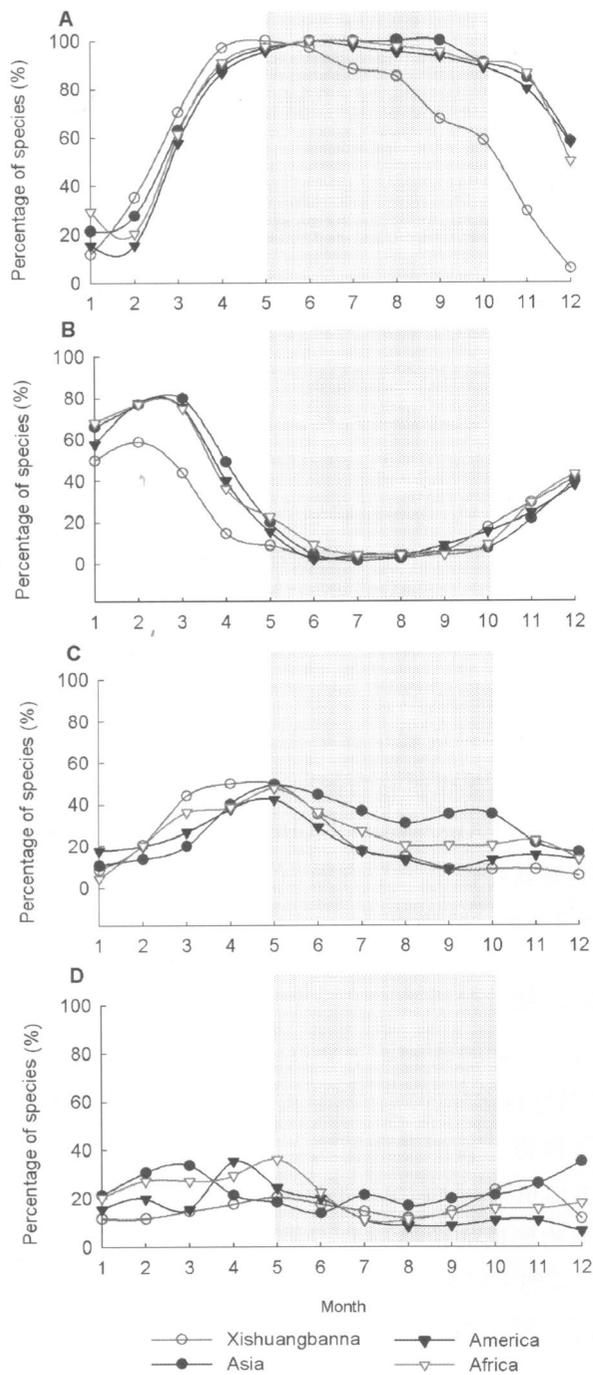


图2 不同来源植物的物候格局特征(阴影部分为雨季)
(A) 萌叶期; (B) 落叶期; (C) 开花期; (D) 果熟期

Figure 2 Phenological patterns of the plants from different regions (Shadow shows the rainy season)

(A) Leaf flushing; (B) Leaf shedding; (C) Flowering; (D) Fruit ripening

在各种环境因子中, 对植物物候影响最大的是气候因子(Schnelle, 1965)。本研究对不同来源植物的各个物候期格局和各月多年平均处理后的气候因子(包括月日照时间、月均气温、月均最高气温、月均最低气温和月降雨量等)作了相关性分析, 并选出对其影响最大的4个气候因子进行对比, 以揭示其影响因素的异同。由于部分气候因子变量呈非正态分布, 因此采用Spearman相关系数进行分析。所用气候资料均来自中国科学院西双版纳热带雨林生态系统研究站, 数据记录时间为1959-1998年。

3 结果与讨论

3.1 结果

3.1.1 不同来源植物物候特征

从图2A中可以看出, 来源于亚洲、非洲、美洲热带地区引种植物的萌叶盛期为4-11月, 贯穿整个雨季(5-10月), 在此期间各来源地的植物均有80%以上的种处于该物候期。而到旱季(11-次年4月)萌叶的个体数急剧减少, 尤其是1、2月, 萌叶的植物种数均不到30%。西双版纳本地植物萌叶盛期为4-8月, 到雨季末期(9-10月), 萌叶的植物种数逐渐减少到60%左右, 进入旱季之后萌叶的植物种数进一步减少到20%以下。

图2B显示, 本地植物和引种植物的落叶期都集中在旱季(11-次年4月), 其中1-3月为落叶的盛期, 在此期间引种植物有70%-80%的植物种落叶, 本地植物有50%的植物种落叶。可见, 引种植物和本地植物在旱季都呈现了集中换叶的物候特征, 这与许多热带植物群落落叶特征一致(Justiniano and Fredericksen, 2000; Marques et al., 2004), 但引种植物落叶的比例明显高于同期的本地植物。

综上所述, 引种植物和本地植物的萌叶期和落叶期都表现出相似的季节性, 但引种植物表现出比本地植物更强的生长力。在较为干旱的旱季来临时, 虽然引种植物萌叶个体数量急剧下降, 但仍维持一定数量(图2A), 而本地植物在旱季到来之前(7-8月)就开始

陆续退出萌叶期。旱季引种植物相对较高的落叶比例也反映出其对西双版纳环境条件变化的敏感程度高于本地植物。总体上看,本地植物的营养生长物候节律比引种植物稍有提前。

图 2C 显示,本地植物和各引种植物在旱季和雨季交替的时期均出现开花盛期,其开花的植物种数均达到 40%,但不同来源植物之间又略有不同。美洲和非洲来源的引种植物开花盛期在 4-5 月;亚洲来源的引种植物开花盛期为 4-7 月,而在雨季的其它月份(8-10 月)其开花的植物种数也保持在 35% 左右;西双版纳本地植物的开花盛期在 3-6 月。但就盛期的开花比例而言,开花期的季节性不如萌叶期和落叶期强。

果熟期的总体格局特征显示(图 2D),本地植物和引种植物均没有明显的果熟盛期,没有超过 40% 的植物种处于果熟期的月份,即全年分布比较平均,没有明显的规律。

总体上,本地植物和引种植物以及不同来源引种植物之间的繁殖物候期(开花期和果熟期)特征比较复杂,区别也较明显;但就其季节性而言,繁殖物候期较营养生长物候期(萌叶期和落叶期)弱。

3.1.2 影响不同来源植物物候格局的气候因子结果显示(表 2),与本地植物萌叶期相关性最强的是月均最高气温、月蒸发量、月均气温和月均地表温 4 个因子,且呈正相关;各来源地引种植物生长抽梢期则与月均最低气温、月降雨量、月降雨天数和月均水汽压 4 个因子的相关水平最高,且同样呈正相关。另外,其与月均气温、月积温等于 10°C、月均地表温 3 个因子显著相关,且相关系数均达到 0.9。可见,本地植物萌叶期主要受温度因子影响,而引种植物萌叶期受水分因子和温度因子的影响均较大。

与本地植物和各地来源的引种植物落叶期相关水平最高的 4 个气候因子相同,均为月均水汽压、月降雨天数、月均最低气温和月降雨量,且均呈负相关。以上结果表明不论是本地植物还是引种植物,其落叶期都主要受低温和水分不足的影响。

与本地植物开花显著相关的气候因子较少,仅有月相对湿度、月蒸发量和月均最高气温 3 个因子达到显著水平($P < 0.01$),显示了本地植物的开花期主要受水分和昼间气温的影响。与亚洲来源的植物开花期相关性最高的 4 个气候因子是月均气温、月均地表温、月积温大于等于 10°C 和月均最低气温,均为温度因素且均呈正相关,这反映了南方来源的植物引种到热带北缘的西双版纳,热量条件成为其开花的主要限制因子。而美洲来源植物的开花期则只与月均相对湿度 1 个因子的相关性达到显著水平,并呈负相关。非洲来源植物的开花期只与月均最高气温和月均蒸发量 2 个因子呈显著正相关。

根据表 2 可知,与各地来源植物的果熟期显著相关的气候因素较少,其中本地植物的果熟期与任何气候因子均没有显著的相关性,可见本地植物的果熟期受气候因子的影响很小。相对来说,与亚洲来源植物果熟期相关的气候因子较多,其中相关性最高的 4 个因子是月均地表温、月均气温、月降雨天数和月均最低气温,均呈负相关。与美洲来源植物果熟期显著相关的气候因子只有月均相对湿度,呈负相关,显示了来源于美洲的植物,其果熟期和开花期一样主要受湿度控制。而与非洲来源植物果熟期显著相关的气候因子有月日照时数和月均相对湿度。

由于开花期和果熟期是植物进行繁衍的主要物候期,大多数引种植物仍保持了自身的物候特性,因此导致开花期和果熟期受气候因子的影响小于营养生长物候期,且呈现出较为复杂的特征。

3.2 讨论

3.2.1 引种植物的适应性

从萌叶期来看,长期生长在西双版纳的本地植物从 7 月就开始陆续退出萌叶期以应对即将到来的旱季,经过从 11 月到次年 1 月为期 3 个月的萌叶低谷期之后,从 2 月起萌叶的植物种数量便开始有明显的增加(图 2A),表现出对环境变化很强的预见性和更加稳定的适应对策。相比之下,各地来源的引种植物虽然表现出比本地植物更强的生长力,但由于引种植物自身的

表 2 不同来源植物物候期与气候因子的相关性

Table 2 Correlation between weather factors and phenophases of the plants from different regions

Weather factors	Phenophases															
	Leaf flushing				Leaf shedding				Flowering				Fruit ripening			
	Native species	Asian species	African species	Native species	Asian species	African species	Native species	Asian species	African species	Native species	Asian species	African species	Native species	Asian species	African species	
Monthly sunshine duration	0.175	-0.413	-0.446	-0.408	0.472	0.685	0.660	0.529	0.517	-0.018	0.483	0.321	0.115	0.146	0.623	0.742* ²
Mean monthly temperature	0.893* ³	0.908*	0.953*	0.953*	-0.894*	-0.734*	-0.800*	-0.727*	0.530	0.904* ¹	0.293	0.667	0.388	-0.790* ²	0.212	-0.067
Mean monthly highest temperature	0.925* ¹	0.552	0.562	0.594	-0.521	-0.175	-0.284	-0.272	0.838* ²	0.788*	0.593	0.845* ¹	0.388	-0.552	0.581	0.422
Mean monthly lowest temperature	0.711*	0.984* ¹	0.982* ¹	0.979* ¹	-0.974* ³	-0.904* ³	-0.930* ¹	-0.896* ³	0.243	0.800* ⁴	-0.019	0.445	0.329	-0.747* ⁴	-0.094	-0.407
Mean monthly temperature	0.802*	0.897*	0.931*	0.946*	-0.894*	-0.790*	-0.814*	-0.811*	0.374	0.844* ³	0.131	0.549	0.356	-0.740*	0.018	-0.218
Mean monthly ground temperature	0.872* ⁴	0.886*	0.894*	0.896*	-0.841*	-0.670	-0.743*	-0.715*	0.513	0.896* ²	0.255	0.646	0.413	-0.818* ¹	0.220	-0.014
Monthly precipitation	0.729*	0.965* ⁴	0.970* ²	0.974* ³	-0.965* ⁴	-0.902* ⁴	-0.902* ⁴	-0.892* ⁴	0.271	0.788*	-0.004	0.456	0.305	-0.726*	-0.099	-0.411
Monthly precipitation days	0.695	0.968* ³	0.967* ³	0.977* ²	-0.977* ²	-0.918* ²	-0.923* ³	-0.922* ²	0.211	0.767*	-0.053	0.405	0.291	-0.749* ³	-0.144	-0.461
Mean monthly relative humidity	-0.386	0.308	0.238	0.213	-0.349	-0.620	-0.511	-0.555	-0.736* ³	-0.200	-0.786* ¹	-0.572	-0.264	-0.062	-0.876* ¹	-0.903* ¹
Mean monthly vapor pressure	0.673	0.975* ²	0.960* ⁴	0.970* ⁴	-0.979* ¹	-0.923* ¹	-0.926* ²	-0.935* ¹	0.182	0.750*	-0.092	0.378	0.277	-0.744*	-0.173	-0.492
Mean monthly evaporation	0.904* ²	0.456	0.475	0.517	-0.416	-0.077	-0.172	-0.166	0.884* ¹	0.708*	0.663	0.834* ²	0.277	-0.466	0.627	0.492

* 表示相关系数在 $P < 0.01$ 水平差异显著; 上标 1、2、3、4 表示各列相关系数的大小序列; 正数表示正相关, 负数表示负相关

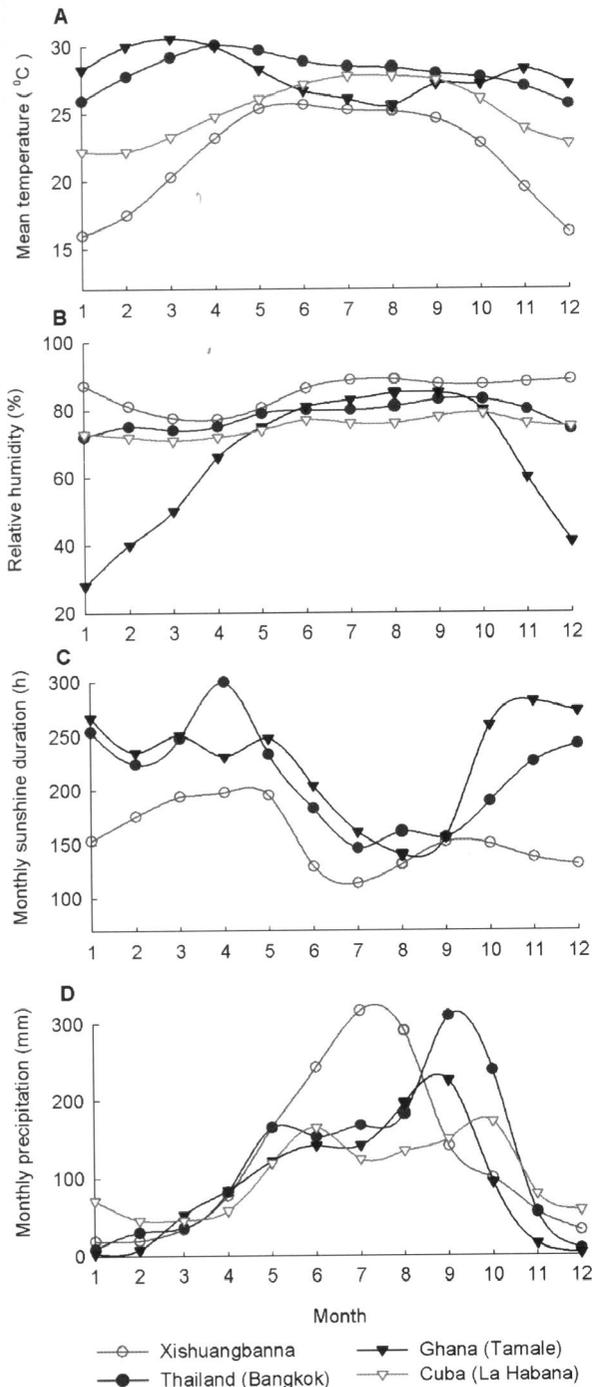
* represents that correlation coefficient is significant at $P < 0.01$; the superior number 1, 2, 3, 4 represent the four most significant correlation coefficients of each column in sequence; positive number means positive correlation, and negative number means negative correlation

生理节律并没有完全和新环境中各种因子的变化节律形成同步,所以在进入旱季(11月),当降雨量陡然减少至50 mm以下(图1)时,引种植物萌叶的个体数量才随之急剧下降(图2A),且在旱季其落叶比例也高于本地植物(图2B),直到3月降雨量有了明显的上升,各地引种植物萌叶的数量才开始增加(图2A),这

也正是引种植物在西双版纳旱季的低温干旱条件下的适应对策。

然而,引种植物和本地植物都在旱季末期(4月)进入了萌叶的盛期(图2A),这与诸多热带地区的植物相同(Anderson et al., 2005; Elliott et al., 2006)。Elliott等(2006)的研究表明,这个时期的植物萌叶主要由光照时间的延长所激发,植物所需水分主要来自土壤。而在本研究中,本地植物和引种植物在旱季末期进入萌叶盛期的主要原因则是3-4月气温的明显回升(图1),其中4月降雨量的明显增加也是各地来源的引种植物在该时期大量萌叶的原因之一(表2)。另外,西双版纳旱季的浓雾(刘文杰等, 2001)对植物的水分需求也有一定的补给作用。

从繁殖物候期来看,虽然本地植物和引种植物在旱雨季交替时期都有一个开花的小盛期(图2C),但总体上看,繁殖物候期(尤其是果熟期)的季节性明显比营养生长物候期弱(图2C, D),这主要是由于节律性较强的气候因子对开花和果熟的影响明显不如对营养生长物候期强(表2)。诸多研究表明,植物的繁殖物候期主要受到一些节律性不强的非气候因子的影响,如植物对传粉者的选择和竞争(Lieth, 1984; Lobo et al., 2003)、植物种子的传播方式(Hilty, 1980)等,从而导致植物繁殖物候期格局比较分散。本研究中季节性较差的繁殖物候期(尤其是果熟期)是否与此有关,有待进一步证实。



←

图3 西双版纳地区与引种植物来源代表地的气候因子对比 (资料来源: 中国气象科学数据共享服务网 <http://cdc.cma.gov.cn/index.jsp>, 缺古巴哈瓦那日照时数)

(A) 平均气温; (B) 相对湿度; (C) 月日照时数; (D) 月降雨量

Figure 3 The comparison of climatic factors between Xishuangbanna and the representative originated places of the introduced species (The data are from China Meteorological Data Sharing Service System <http://cdc.cma.gov.cn/index.jsp>, the data of sunshine duration in La Habana, Cuba are lacked) (A) Mean temperature; (B) Relative humidity; (C) Monthly sunshine duration; (D) Monthly precipitation

3.2.2 引种植物对气候因子的响应

从图 3A 中可看出, 由于西双版纳地处热带北缘这个特殊的地理位置, 其同期的气温明显低于各引种植物来源代表地(典型热带地区), 因此多数来源于典型热带地区的植物引种到西双版纳之后, 生长和繁殖必然会受到热量条件的影响。在本研究中, 各地引种植物的萌叶期、落叶期以及亚洲植物的开花期和果熟期均受到诸多温度因子的影响(表 2), 且其中都包括了月均最低气温, 而本地植物受月均最低气温的影响相对较小。这足以说明温度因子在西双版纳植物园引种工作中的重要性, 因此在下一步热带植物引种或迁地保护的过程中, 应更加重视对植物低温适应性的评估。

图 3B 显示, 西双版纳地区同期的月均相对湿度较高, 而研究表明引种植物的萌叶期和落叶期与该因子的相关性并不显著(表 2), 可见引种植物的生长过程并没有受到引种地较高的相对湿度限制; 但美洲引种植物开花期和果熟期以及非洲引种植物的果熟期与月均相对湿度均呈显著负相关(表 2)。研究结果也证明(图 2C, D), 美洲和非洲来源的引种植物繁殖过程更适于在西双版纳相对湿度较低的 3-5 月(图 3B)进行; 而其原生境相对湿度与西双版纳比较接近的亚洲来源植物(图 3B)的繁殖过程并没有受到相对湿度的太大影响(表 2)。

另外, 许多研究证明光周期对萌叶期和开花期有重要作用(Wright and van Schaik, 1994; Rivera, 2002; 吴毅等, 2006)。图 3C 显示, 西双版纳的同期日照时数明显较短, 然而在本研究结果中, 月日照时数对引种植物和本地植物物候期影响基本都不明显(表 2)。这主要是由于西双版纳森林植被密集, 林冠中太阳辐射的情况变化不定, 加之雾凉季(11 月 - 次年 2 月)有持续大雾天气, 雨季云雾变化无常(张一平等, 2005), 使得该地区尤其是植物群落林冠下日照规律复杂多变, 因此导致植物物候受较大尺度的日照时间的影响并不明显。

月降雨量对植物的物候影响主要表现在营养生长物候上(表 2)。各地引种植物的萌叶期受该因子的

影响较本地植物更大, 可见各地引种植物对环境水分中的依赖性更大。图 3D 显示, 西双版纳比其它种源代表地干湿季更加分明, 这样的环境使得引种植物对水分变化比本地植物更加敏感。

3.2.3 结语

迁地保护是挽救和保护珍稀濒危植物的重要手段之一。对于需要进行迁地保护的植物物种来说, 为了保证其能够长期生存, 完成生长发育过程, 达到保护的目, 前期的引种工作和相关研究至关重要。本文通过对引种植物适应性的研究, 为地处热带北缘的西双版纳热带植物园进行大量的热带植物迁地保护提供了理论支持。研究证明, 经过长距离大范围的迁移, 各地来源的引种植物表现出的物候节律特征和西双版纳本地植物都有一定的差别, 反映出引种植物对西双版纳热带北缘特殊环境适应对策的不同。但总体上看, 多数引种植物均能正常生长和繁殖, 对引种地的适应状况较好。但引种植物物候是否会逐渐趋同于本地植物? 是否有变异发生? 种子萌发情况如何? 引种植物的入侵性如何? 这些同样是进行植物迁地保护时需要考虑的重要问题, 也将是下一步研究的重点。

参考文献

- 陈泓, 黄仕训 (2006). 广西热带稀有濒危植物迁地保护地域探讨. 广西植物 26, 670-674.
- 黄培忠 (1995). 热带、南亚热带地区珍稀濒危树种引种保存研究. 林业科学研究 8, 193-198.
- 黄仕训, 李瑞棠, 骆文华, 周太久, 唐文秀, 王燕 (2001). 石山稀有濒危植物在迁地保护后的形状变异. 生物多样性 9, 359-365.
- 蒋高明 (1997). 植物生理生态学. 北京: 高等教育出版社.
- 刘文杰, 李红梅 (1997). 西双版纳旅游气候资源. 自然资源 2, 62-66.
- 孙儒泳 (2002). 基础生态学. 北京: 高等教育出版社.
- 吴毅, 刘文耀, 沈有信, 李玉辉, 刘伦辉 (2006). 云南石林景区主要乡土植物物候特征的初步研究. 山地学报 24, 647-

- 653.
- 西双版纳热带森林生态研究组 (2000). 西双版纳勐仑地区气候特征. *热带植物研究* 47, 62-65.
- 叶功富, 朱世威, 罗幼宁, 林捷, 沈德炎 (2004). 闽南丘陵山地引种栽培树木的物候期与抗寒力调查. *亚热带植物科学* 33, 31-36.
- 张克映 (1966). 滇南气候的特征及其形成因子的初步分析. *气象学报* 33, 210-230.
- 张一平, 龚军霞, 于贵瑞, 赵双菊, 宋清海, 孙晓敏 (2005). 西双版纳热带季节雨林太阳辐射特征研究. *北京林业大学学报* 27, 17-25.
- 朱积余, 林榕庚, 蒋焱 (1997). 南亚热带珍稀濒危树种引种迁地保存的初步研究. *中南林学院学报* 17, 59-66.
- 竺可桢, 宛敏渭 (1973). *物候学*. 北京: 科学出版社. pp. 1-12.
- Lieth H (颜邦侗等译) (1984). *物候学与季节性模式的建立*. 北京: 科学出版社. pp. 234-236.
- Schnelle F (杨郁华译) (1965). *植物物候学*. 北京: 科学出版社. pp. 286-292.
- Anderson DP, Nordheim EV, Moermond TC, Gone BZB, Boesch C (2005). Factors influencing tree phenology in Tai National Park, Côte 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.
- Bossdorf O, Auge H, Lafuma L, Rogers WE, Siemann E, Prati D (2005). Phenotypic and genetic differentiation between native and introduced plant populations. *Oecologia* 144, 1-11.
- Brooks TM, Mittermeier RA, da Fonseca GAB, Gerlach J, Hoffmann M, Lamoreux JF, Mittermeier CG, Pilgrim JD, Rodrigues ASL (2006). Global biodiversity conservation priorities. *Science* 313, 58-61.
- Elliott S, Baker PJ, Borchert R (2006). Leaf flushing during the dry season: the paradox of Asian monsoon forests. *Glob Ecol Biogeogr* 15, 248-257.
- Hilty SL (1980). Flowering and fruiting periodicity in a premontane rain forest in Pacific Columbia. *Biotropica* 12, 292-306.
- Janzen DH (2004). Setting up tropical biodiversity for conservation through non-damaging use: participation by parataxonomists. *J Appl Ecol* 41, 181-187.
- Justiniano MJ, Fredericksen TS (2000). Phenology of tree species in Bolivian dry forests. *Biotropica* 32, 276-281.
- Lobo JA, Quesada M, Stoner KE, Fuchs EJ, Herreras-Diego Y, Rojas J, Saborio G (2003). Factors affecting phenological patterns of bombacaceous trees in seasonal forests in Costa Rica and Mexico. *Am J Bot* 90, 1054-1063.
- Marques MC, Roper JJ, Salvalaggio APB (2004). Phenological patterns among plant life-forms in a subtropical forest in southern Brazil. *Plant Ecol* 173, 203-213.
- O'Connor D (2008). Governing the global commons: linking carbon sequestration and biodiversity conservation in tropical forests. *Glob Environ Change* 18, 368-374.
- Rivera G, Elloitt 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* 16, 445-456.
- Sakai S (2001). Phenological diversity in tropical forests. *Popul Ecol* 43, 77-86.
- Schlaepfer MA, Sherman PW, Blossey B, Runge MC (2005). Introduced species as evolutionary traps. *Ecol Lett* 8, 241-246.
- Singh KP, Kushwaha CP (2006). Diversity of flowering and fruiting phenology of trees in a tropical deciduous forest in India. *Ann Bot* 97, 265-276.
- Wright SJ, van Schaik CP (1994). Light and the phenology of tropical trees. *Am Nat* 143, 192-199.

A Comparison of the Phenological Characteristics of Introduced Plant Species in the Xishuangbanna Tropical Botanical Garden

Junbin Zhao^{1,3}, Yiping Zhang^{1*}, Fuqiang Song², Zaifu Xu¹, Yunlai Xiao¹

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

²Yunnan Institute of Environmental Science, Kunming 650034, China

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

Abstract *Ex situ* conservation is considered to be one of the most important ways for biodiversity conservation. Probe into introduced plant species that are to be conserved can provide some essential references for *ex situ* conservation. Here, we compared introduced and native plant species in Xishuangbanna Tropical Botanical Garden in terms of the patterns of 4 phenophases — leaf flushing, leaf shedding, flowering and fruit ripening. We also analyzed the influence of climatic factors to illustrate the adaptability of these plants. The introduced species had a longer flushing period than the native ones, but their percentage of leaf shedding in the dry season was higher because of their higher sensitivity to low temperature and drought. With the increase in temperature in March and April, all plant species enter a flushing period before the rainy season. Flowering and fruit ripening patterns of both the introduced and native species showed both a weak seasonality and regularity because of their low susceptibility to climatic factors. In general, the introduced species develop proper growth and reproductive strategies to adapt to the environment in Xishuangbanna.

Key words phenology, tropical introduced plant species, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden

Zhao JB, Zhang YP, Song FQ, Xu ZF, Xiao YL (2009). A comparison of the phenological characteristics of introduced plant species in the Xishuangbanna Tropical Botanical Garden. *Chin Bull Bot* 44, 464–472.

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

(责任编辑: 白羽红)