

文章编号: 1008-2786-(2006)6-647-07

云南石林景区主要乡土植物物候特征的初步研究

吴毅^{1,2}, 刘文耀^{*1,3}, 沈有信¹, 李玉辉⁴, 刘伦辉¹

(1. 中国科学院西双版纳热带植物园昆明分部, 云南 昆明 650223; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;
3. 澳大利亚 Curtin理工大学环境生物学院, 珀斯 6845; 4. 云南师范大学, 云南 昆明 650092)

摘 要: 为掌握石林景区主要乡土植物物候节律, 选择 25科 35种乡土植物, 对其物候特征与同期主要气象因子进行了 2 a平行观测。结果表明, 在 2月气温达到 10℃, 有 46%的植物开始萌动; 3月气温持续增高并超过 15℃, 展叶的植物最多, 占 57.1%; 开花期集中在 3~6月, 尤其在 5月温度超过 20℃, 有 82.9%的树种开花; 果实成熟期则分散在 4~12月。各个物候期的平均温度和 $\geq 5^\circ\text{C}$ 积温与植物物候表现较为密切, 光照和温度对植物开花和结实期影响较大。根据乡土植物物候特征, 结合喀斯特山地自然景观特点和景区适配植物群落建设, 提出“石中有树, 树中有石”的配置原则, 筛选在时空格局上适应喀斯特山地环境的观赏植物, 构建出与石林喀斯特景观相协调的植被景观, 增加景区景观和生态价值, 提升景区的内涵。

关键词: 物候; 乡土植物; 植被景观; 喀斯特; 石林; 世界地质公园

中图分类号: Q948.112.4

文献标识码: A

植物物候是自然界生物与非生物受外界环境因素综合影响而表现出来的季节性现象^[1-4], 而植物物候变化与植被景观的形成密切相关^[5-7]。近年来, 在公园、景区植被景观建设方面, 一些学者已开始涉及植物物候与植被景观生态恢复关系的研究, 例如, 结合当地植物物候变化规律, 研究植物物候变化对植被景观的影响^[7]; 在景区植被恢复过程中, 选择当地不同生活型的观赏树种, 利用花色、叶色的季节变化营造多变的四季景象, 达到不同季节植物景观最佳配置, 以实现景观的时空之美^[5,8]。因此, 研究当地不同生活型植物物候及其与植被景观建设间的关系, 提升景区内涵和品质, 为创造出不同季节植物景观的最佳配置, 提高植物群落景观价值, 在景区景观建设和植被恢复中具有重要的理论和实践意义^[5,6]。

石林景区以其演化历史久远、类型丰富和观赏

性强的喀斯特地质地貌被誉为世界奇观^[9], 不仅是珠江水系源头地, 首批国家 AAAA级重点风景名胜区、首批国家地质公园, 还是联合国教科文组织 2004年新批的中国八个世界地质公园中唯一以喀斯特地质地貌景观为特征的地质公园。按照《世界遗产公约》操作行动指南中“特殊性、完整性、自然性、依赖性和多样性”的要求^[10], 选择乡土植物构建与世界一流喀斯特匹配的地带性植物群落、增加生物多样性, 是石林喀斯特退化山地生态恢复和申请世界自然遗产工作中的重要内容之一。但由于缺乏乡土植物物候特征资料, 而不能科学地选择适宜的乡土物种构建适配植物群落。本文以喀斯特山地植被恢复为背景, 通过对该地区主要乡土植物物候节律观测和分析, 结合石林景区独特的喀斯特地貌特征, 探讨乡土植物物候与景区适配群落景观配置的关系, 以期对景区地带性植物群落的配置和植被景

收稿日期 (Received date): 2006-02-15; 改回日期 (Accepted): 2006-06-25。

基金项目 (Foundation item): 云南省自然科学基金重点项目 (编号: 2002C004Z)、中国科学院“百人计划”项目 (BRJH2002098)。[The project was supported by the Natural Science Foundation of Yunnan Province (2002C004Z) and the Top One Hundred Young Scientists, CAS (BRJH2002098).]

作者简介 (Biography): 吴毅 (1981-), 男, 四川简阳人, 在读硕士, 研究方向为恢复生态学。Tel: 0871-5179921; E-mail: wuyi@xtbg.ac.cn
[Wu Yi (1981-), male, the native place is Jianyang city of Sichuan Province, Graduate student, major in restoration ecology.]

*通讯作者: Author for correspondence E-mail: liuwy@xtbg.ac.cn

观建设等提供科学依据。

1 研究区概况

地处云南东部喀斯特高原的石林景区距昆明市 78 km,距石林县城鹿阜镇 10 km^[11]。该区域位于 103°15'~103°29'E, 24°40'~24°56'N,海拔范围 1 700~1 950 m 间,面积 350 km²。

本区域属亚热带高原干湿季风气候,全年分为干、湿两季,5~10月为雨季,11月至次年4月为干季。根据石林县气象站资料(图1),年均温为 16.2℃,最热月是7月,平均气温 20.8℃,最冷月是1月,平均气温 8.2℃,年均降雨量 947.9 mm,雨季降雨量占全年降雨量的 80%~88%,旱季降雨量仅占 12%~20%,年平均相对湿度 75%,年蒸发量 2 086 mm,全年日照时数 2 318 h,年辐射总量为 5 644 MJ/m²,≥5℃积温为 6 153.7℃,年均风速为 3.13 m/s,年平均无霜期 252 d。本区域土壤以红壤为主,在一些地段还有紫色土、水稻土分布^[11,12]。

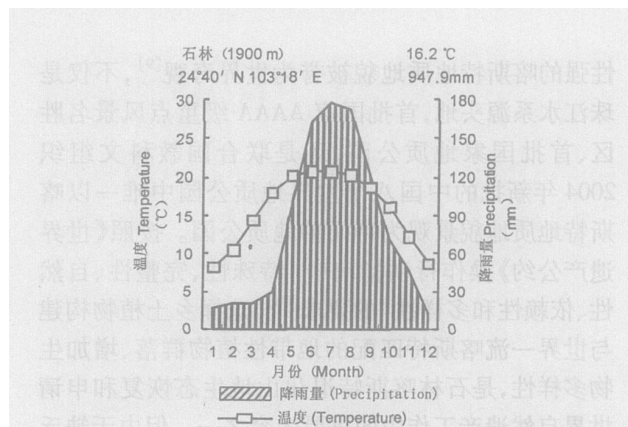


图1 石林景区气候图

Fig 1 Climate diagram of the Stone Forest Scenic Spot

2 研究方法

2.1 物候观测样木的选定

根据植被调查结果及该区域植物区系研究报道^[11],并结合石林景区园林绿化及造景规划,从景区现有乡土植物中,选择了包括乔木、灌木在内共计 35 种作为物候观测对象,有关这些物种基本特征列于表 1。所选植株均为自然状态下生长发育正常、无病虫害且开花结实 3 a 以上的中龄树,每种定株观测 5~8 株。对所选择的每种植物,记录其周围生

境条件如群落类型、土壤、海拔、坡向、坡度等。

2.2 观测方法与记录

根据物候观测方法和有关研究报道^[13-18],对上述选定 35 种乡土植物的萌动期、展叶期、开花期、叶变色期、落叶期等主要物候期进行为期 2 a (2003-02~2005-03) 的定期、定株观察。为避免系统误差,固定观测人员,以目测为主,结合放大镜、望远镜等进行观测。结合本区域植物生长特点,本项物候观测时间间隔为 10 d,即每逢 11、21、31 或 1 进行记录,观测物候现象的时间在下午。对物候变化较快的季节,如萌动期、展叶期和开花期,酌情增加观察次数。为便于比较,一律在观测样木南面进行观测。

2.3 地面气象观测

将气象和物候联合进行观测是国内外开展物候观测与分析中认可的方法,也就是通常所说的“平行观测法”^[19,20]。为了解石林地区植物物候与主要气象因子关系,按照常规气象观测标准,在景区建立了地面气象观测场,并进行日常观测,时间为 1 a。

3 结果与分析

野外观测结果表明,所选择的 35 种植物在不同时期物候特征有所差异。现以 2 a 的观测资料为基础,采用物候图谱描绘出各个观测物种在 1 a 中生长发育过程^[21](图 2)。

3.1 萌动期

在所选择的 35 种乡土植物中,77 % 的物种萌动期集中在 2 月中旬至 3 月末,此时期气温 > 10℃,降雨量缓慢增加(见图 1)。而 46 % 的物种在 2 月中旬以前已开始萌动。萌动较早(1 月初)的物种如毛枝绣线菊、火把果、云南木樨榄、长柱十大功劳等,其次是刺叶石楠、沙针、芒种花在 1 月下旬,而萌动期最迟的是常春藤,于 3 月下旬幼芽开始膨大,而萌动期持续到 4 月上旬;萌动期持续最长的是粗糠柴,叶萌动期从 2 月下旬一直持续到 6 月上旬。此外,有部分树种如刺叶石楠、火把果、沙针、多花杭子梢、扶芳藤、滇青冈等具有二次发芽现象,由此说明植物生长自发节律现象^[22]。

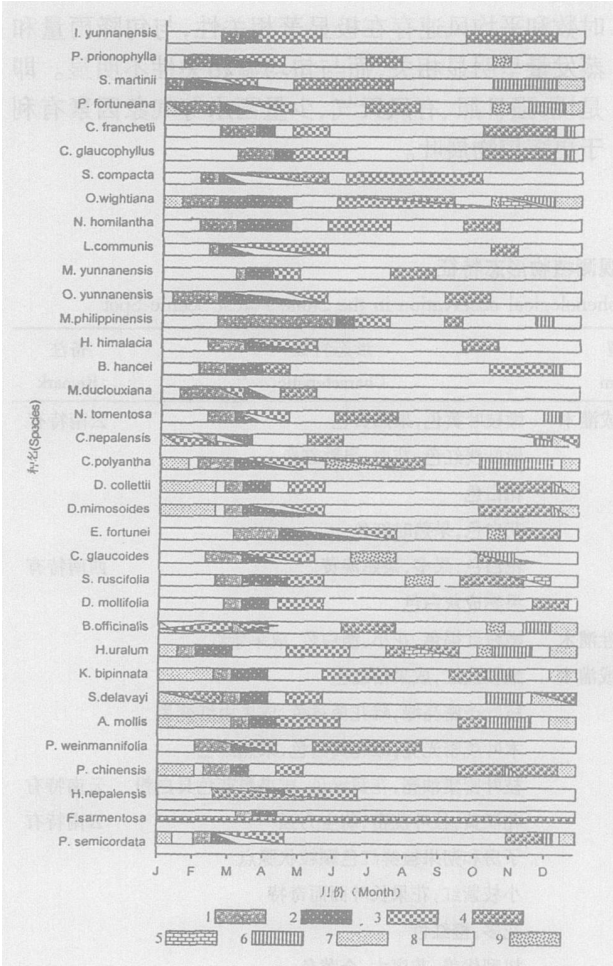
3.2 展叶期

各树种展叶起始和结束日期差异比较明显,但多数种类展叶期集中在 3 月中旬至 4 月下旬。3 月气温增高并超过 15℃,展叶的树种最多,占 57.1%。展叶较早的是毛枝绣线菊和芒种花等,约在 1 月 11

~30日;较迟的是扶芳藤和粗糠柴,约在 4月中旬和 6月初。展叶时间持续最长的是毛枝绣线菊、云南木樨榄和扶芳藤。总的来讲,展叶期持续时间较短,70%的植物集中在 1个月内展叶(图 3a),相关分析结果表明(表 2),展叶期物种数与旬累积日照时数和平均风速存在极显著相关性,与旬降雨量和蒸发量呈明显相关,而与旬均温相关性不明显。即是说,强日照、有风天气、少量雨水等气象因素有利于更多植物展叶。

表 1 石林景区物候观测植物形态特征
Table 1 Characteristics of sampled indigenous plants for phenological observation in the Stone Forest Scenic Spot

科名 Family	种名 Species	生活型 Life form	形态特征 Characteristic	备注 Remark
鼠刺科	滇鼠刺 (<i>Itea yunnanensis</i>)	常绿小乔木或灌木	嫩枝叶黄色,果熟黄色	云南特有
	刺叶石楠 (<i>Photinia prionophylla</i>)	常绿小乔木	嫩叶浅红色,花白,果熟红色	
	毛枝绣线菊 (<i>Spiraea martinii</i>)	落叶小灌木	花白色	
蔷薇科	火把果 (<i>Pyracantha fortuneana</i>)	落叶小灌木	花白色,果熟时红色	西南特有
	西南栒子 (<i>Cotoneaster franchetii</i>)	常绿小灌木	花白色,果多,果熟淡黄	
	粉叶栒子 (<i>Cotoneaster glaucophyllus</i>)	常绿小灌木	果熟成灰白色	
鼠李科	滇雀梅藤 (<i>Sageretia compacta</i>)	常绿小型蔓性灌木	嫩枝红褐色,花小,淡白色,成果紫红	
檀香科	沙针 (<i>Osyris wightiana</i>)	落叶小乔木或灌木	嫩枝浅红,成果桔红色	
	团花新木姜子 (<i>Neolitsea ham ilantha</i>)	常绿大乔木	枝叶茂密亮绿,雌花淡黄色,成果由红变黑	
樟科	香叶树 (<i>Lindera communis</i>)	常绿小乔	木叶茂密光亮,雌花黄白色,果熟红色	
	滇润楠 (<i>Machilus yunnanensis</i>)	常绿中乔木	枝叶密集油亮,花黄绿色,成果黑蓝色具白粉	云南特有
木犀科	云南木樨榄 (<i>Olea yunnanensis</i>)	常绿小乔木	花淡黄,枝叶茂密,萌生力强	云南特有
大戟科	粗糠柴 (<i>Mallotus philippinensis</i>)	常绿小乔木	子房和朔果被鲜红色颗粒状腺点	
山茱萸科	叶上花 (<i>Hew ingia him alacia</i>)	常绿小灌木	小枝紫红,花果长叶面而奇特	
玄参科	来江藤 (<i>Brandisia hancei</i>)	常绿小灌木	花多,橙红色	
小檗科	长柱十大功劳 (<i>Mahonia duclouxiana</i>)	常绿小灌木	树型优美,花序大,金黄色	
茶茱萸科	毛假柴龙树 (<i>Nothopodytes tan entosa</i>)	常绿小乔木或灌木	叶深绿,花白色,果熟时由红变黑	云南特有
马桑科	马桑 (<i>Coriaria nepalensis</i>)	落叶小乔木或灌木	穗状花序黄红色,果熟时由红色变成紫黑色	
	多花杭子梢 (<i>Cam pylotropsis polyantha</i>)	落叶小灌木	花粉红,花期长	
	蝶形花科	高原黄檀 (<i>Dalbergia collettii</i>)	落叶小型蔓性灌木	花冠淡紫色或白色,果期长
	象鼻藤 (<i>Dalbergia m in osoides</i>)	落叶小型蔓性灌木	花白色,荚果椭圆形	
卫矛科	扶芳藤 (<i>Euonymus fortunei</i>)	常绿攀援藤木	花白绿色,果黄红色,橙红色假种皮	
壳斗科	滇青冈 (<i>Cyclobalanopsis glaucoides</i>)	常绿大乔木	萌生力极强	西南特有
黄杨科	清香桂 (<i>Sarcococca nuscifolia</i>)	常绿小灌木	枝叶绿色,花小,白色,芳香,果暗红色	
柿树科	毛叶柿 (<i>Diospyrus mollifolia</i>)	常绿小乔木或灌木	果多而长时间存在	
马钱科	密蒙花 (<i>Buddleia officinalis</i>)	落叶小乔木或灌木	花白色或淡紫色,芳香	
金丝桃科	芒种花 (<i>Hypericum uralum</i>)	落叶小灌木	花瓣金黄色,有时有红晕	
无患子科	复羽叶栎树 (<i>Koelreutetia bipinnata</i>)	落叶中乔木	花黄色,幼果红色,残果到 2月	
	皮哨子 (<i>Sapindus delavayi</i>)	落叶中乔木	花小,白色,残果保存到 2 a	云南特有
	苏木科	大毛毛花 (<i>Albizia mollis</i>)	落叶中乔木	花淡红色,成果紫红色
漆树科	清香木 (<i>Pistacia weim annifolia</i>)	常绿小乔木	枝叶繁茂,花序红色,果红变黑	云南特有
	黄连木 (<i>Pistacia chinensis</i>)	落叶中乔木	果熟紫红色,后变为紫蓝色	云保 级
五加科	常春藤 (<i>Hedera nepalensis</i>)	攀援常绿藤本	花白绿色,芳香,果多成团,熟时橙红色	
桑科	昆明珍珠莲 (<i>Ficus sam entosa</i>)	攀援常绿藤本	果存时间长	
葡萄科	三叶爬山虎 (<i>Parthenocissussan icordata</i>)	攀援落叶藤本	果紫黑色	
合计		25科 35种,其中常绿树种 21种,落叶树种 14种		



1. 萌动期 Bud breaking 2. 展叶期 Leaf unfolding
3. 开花期 Inflorescence 4. 果熟期 Fruit ripening
5. 二次开花 Second inflorescence
6. 叶变色期 Leaf colour changing
7. 落叶期 Leaf shedding 8. 营养期 Nutrition period
9. 二次发叶 Secord leaf unfolding

图 2 主要乡土植物物候谱

Fig 2 The phenological spectrum of main indigenous plant species

3.3 开花期

多数植物开花期集中在 3~6 月,尤其是 5 月有大量植物开花,占总数的 82.9%。由于 7 月高温、多雨,部分植物营养生长旺盛,储备了较多养分,在 7 月至 11 月出现二次发芽并开花现象。在所选择 35 种乡土植物中,花期起始时间有明显的差异,开花最早的是密蒙花,在 1 月初;最迟的则是粗糠柴,在 6 月中旬;滇雀梅藤、沙针和扶芳藤开花也较迟,在 6 月初;而来江藤和马桑始花时间是秋季,分别在 10 月中旬和 11 月中旬;沙针、清香桂和芒种花则每年有两次开花期。观测表明 (图 3a),马桑、沙针和

滇雀梅藤开花期持续时间在 120 d 以上,是花期最长的种类。但由于其花朵小、色彩不鲜明,可观赏性并不突出。大多数观花植物花期维持在 30~60 d,占全部种类的 73%。图 3b 显示全年均有乡土植物开花,平均每月有 9 种。开花期对于环境因子要求在树种间差异甚大,但较强日照和蒸发及有风天气都促使植物在这段时间开花 (表 2)。

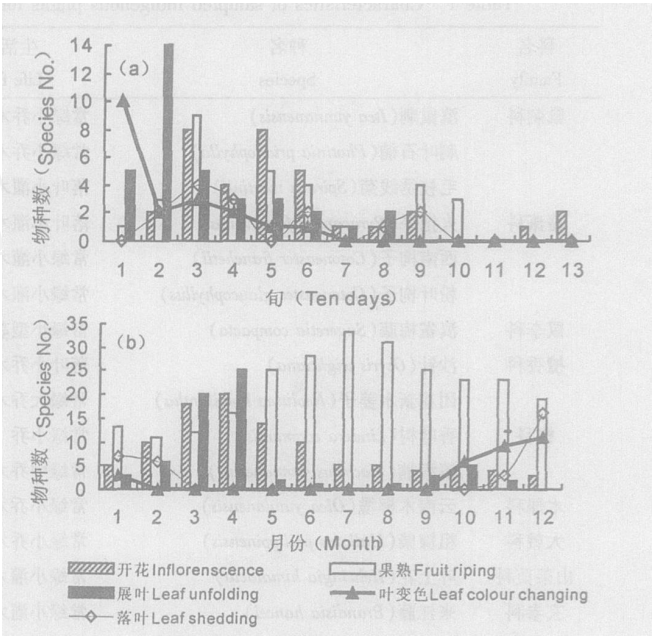


图 3 乡土植物主要物候期持续时间 (a) 与季节格局 (b)

Fig 3 The span of the main phenophases (a) and the phenological seasonal pattern (b) of the indigenous plants in the Stone Forest Scenic Spot

3.4 果熟期

植物果熟期与开花期既有联系又有区别,即开花早,开始结果也早,如长柱十大功劳果熟期在 4 月中旬,毛枝绣线菊在 4 月下旬;开花迟,开始结果也迟,如粗糠柴果熟期在 9 月中旬,扶芳藤在 11 月初,毛叶柿在 11 月中下旬。火把果、毛枝绣线菊和刺叶石楠果熟期最长,可达 100 d,其他持续时间短的物种如粗糠柴、香叶树、大毛毛花等则在 20 d 内发育成熟。大部分果熟期也是持续 30~60 d。果熟期在季节格局上与开花期类似,但高峰期向后推迟了 3 个月 (图 3b)。果熟期的光、水、温因子对树种影响很大。低光照、高温、湿润多雨都促使植物果实成熟 (表 2)。

3.5 叶变色期

叶变色期是树木一个重要的物候期,因为它标

志着树木特别是落叶树种生长的结束,开始进入休眠。这一阶段气温逐渐降低到 15 左右,降雨量明显减少,大部分树种进入变色、落叶或换叶期。多花杭子梢和滇青冈最早(10月初)出现叶变色,而西南栒子和粉叶栒子叶片在 12月中旬才变色,其他树种叶变色一般在 11月中旬左右。对于常绿乔木树种而言,叶变色期物候变化不是很明显,但随着冬季到来,叶子或多或少会有变色。相关分析显示,影响这一阶段物候的主要气象因子是低温。

3.6 落叶期

常绿树种落叶习惯上称为换叶,老叶和新叶同存于树上,老叶脱落一年四季都在进行。落叶树一般在 12月上旬开始脱落,1月中下旬至 2月全部落完,度过短暂休眠后,又开始了下一年的萌动。叶变色和落叶期持续时间很短,一般在月内甚至旬内即可完成。表 2 的统计分析结果表明,落叶阶段低温和干旱使大量植物落叶。

4 讨论与建议

4.1 植物物候与景区植被景观配置的关系

构建合理的植被景观是公园、景区景观建设中的重要内容之一,而植被景观形成与物候变化紧密相关^[7]。植物物候变化能显示自然景观及其色彩的

季节变化,反映各植物群落不同时期的景观特征。选择具有不同物候特征的乡土物种,构建随石山地貌、石峰形状和季节变化的植被景观,在景观上产生连续变化效果。同时,乡土植物作为主要景观观赏植物既可以丰富并改善石林景区景观,反映地方特色,又有利于生态系统稳定和协调。因此,石林景区适配群落构建和景区地带性植被景观生态恢复,应在充分了解主要乡土植物的物候特征、生物生态学特性和喀斯特自然景观特点的基础上,科学地筛选适宜的物种,并加以培育、繁殖,建设与喀斯特景观相协调的植物群落。

按照观叶、观花、观果等不同目的,筛选合适的乡土植物,构建石灰山地区适配的植物群落。在石林景区,常绿树种(如刺叶石楠、团花新木姜子、香叶树、滇润楠、云南木樨榄、叶上花、滇青冈、清香木等)和落叶树种(如火把果、马桑、高原黄檀、象鼻藤、复羽叶栎树、皮哨子、黄连木等)是构成景区植被景观的主要植物种类,具有明显季节变化。因此,要注意常绿植物与落叶树的合理搭配与组合,在整体上保持景区植物绿色常在,使之与喀斯特地质景观相协调。其次,根据物候观测结果表明,石林景区多数乡土植物开花期集中在 3~8月(图 3b),其中长柱十大功劳、多花杭子梢、芒种花、复羽叶栎树、大毛毛花等物种具有较为艳丽的花色,在开花期形成

表 2 石林景区 35 种乡土植物主要物候期与气象因子的相关关系

Y:展叶、开花、果熟、叶变色和落叶等主要物候期的乡土植物种数 Number of indigenous species in several phenophase					
X:气象因子 Weather factors	展叶期物种数 Species Na of leaf unfolding	开花期物种数 Species Na of inflorescence	果熟期物种数 Species Na of fruit riping	叶变色期物种数 Species Na of leaf color changing	落叶期物种数 Species Na of leaf shedding
旬累积日照时数(h) Sunshine accumulation in ten days	0.718**	0.829**	-0.737**	-0.246	0.118
旬平均气温() Mean temperature in ten days	-0.076	0.107	0.725**	-0.288	-0.688**
旬 ≥5 积温() ≥5 temperature accumulation in ten days	-0.081	0.070	0.744**	-0.262	-0.665**
旬最高温度() The highest temperature in ten days	0.040	0.266	0.596**	-0.348*	-0.807**
旬最低温度() The lowest temperature in ten days	-0.239	-0.045	0.827**	-0.324	-0.641**
旬均降雨量(mm) Mean precipitation in ten days	-0.345*	-0.197	0.545**	-0.184	-0.126
旬均蒸发量(mm) Mean evaporation in ten days	0.409*	0.704**	-0.057	-0.372*	-0.405*
旬均风速(m/s) Mean speed of wind in ten days	0.656**	0.798**	-0.744**	-0.287	0.092

注: ** P < 0.01, * P < 0.05,正值表示正相关,负值表示负相关。

大片金黄色、粉红等景观,具有丰富景区色彩的季节性变化。此外,从植物的果熟期来看,虽然每个季节都有一些植物的果实成熟,但多数乡土植物例如常春藤、清香木、马桑、火把果、皮哨子、团花新木姜子等在夏、秋时节果实成熟(图3),不少乡土植物在果熟期往往能够形成植株果实累累、连片植物结果的景象。因此,建议依据不同植物展叶、开花、结实的物候特征,结合景区石山、石峰、石涧等不同形状的石山特征和有关园林植物配置的原则,筛选出一批在时空格局上与石林景区相协调的有观赏价值乡土植物,构建具有喀斯特山地特有的植被景观,增加景区景观和生态价值,提升景区内涵。

4.2 石林景区适配群落景观配置的建议

形态各异的石峰、石柱及其组合形态是石林世界地质公园的观赏主题。有关资料显示^[11],石林形态特征主要有岩石表面形态、单个石柱形态、石柱集合形态及其地貌组合。不同石林形态适配群落配置,应有不同方式。岩石表面形态包括各种裸露岩面、覆盖岩面及构造控制溶痕,对于此类形态,植物群落搭配应以植株低矮,生长缓慢,叶小,花或果实繁茂且色彩绚烂如多花杭子梢、芒种花、西南栒子、清香木、沙针等植物为主;石柱单体和集合形态(如柱状、蘑菇状、塔状、剑状等石柱),则主要考虑开花期或果熟期等持续时间较短的小型攀援性藤本植物,如三叶爬山虎、常春藤、扶方藤和象鼻藤等,丰富石柱及其集合形态的观赏性。对于面积不同的石间空地(如狭窄的石缝、石槽、石沟、石涧等)则应选择季相变化特征显著,且叶、花、果的色彩、形态比较突出的植物种类,如滇鼠刺、长柱十大功劳、毛枝绣线菊、清香桂、毛叶柿等开花、果熟盛期持续时间约30~60 d的中小灌木或攀援性藤本植物,并以成片成块密植栽种技术造景;对于面积较大的各种石林洼地、谷地、盆地等开阔平坦且土壤相对深厚的石间空地,则可以考虑用开花、果熟、展叶盛期持续时间较长(一般>60 d)、且常绿植物与落叶树搭配的大中型乔木如团花新木姜子、滇润楠、黄连木、复羽叶栎树、皮哨子、大毛毛花、滇青冈等,并以散生配置为主,同时在树周围配置开花、果熟期显著的其他小型灌木如火把果、多花杭子梢、西南栒子、沙针、芒种花等。这样构成空地上大型乔木散生,地表灌木覆盖,岩石上有植物点缀的不同季节呈现出不同季相景观。

综上所述,在石林景区生态恢复和适配群落构

建中,应充分了解主要乡土植物的物候特征和生物生态学特性,并结合景区石山、石峰、石涧等不同形状的石山特征和有关园林植物配置的原则,筛选出一批在时空格局上与石林景区相协调的有观赏价值乡土植物,并加以培育、繁殖,应恰当地运用植物物候变化并结合喀斯特地质特征进行适配群落合理配置,构建“石中有树,树中有石”景观,从而提升景区景观时空之美^[6],增加景区景观内涵和生态价值。

参考文献 (References)

- [1] Lieth H. Phenology and seasonality modeling [M]. Beijing: Science Press, 1984. 1~254 [利思. (颜邦侗, 陈鼎常, 倪权等译). 物候学与季节性模式的建立 [M]. 北京: 科学出版社, 1984. 1~254]
- [2] Zhu Kezhen, Wan Minwei. Phenology [M]. Changsha: Education Press of Hunan Province, 1999. 1~174 [竺可桢, 宛敏渭. 物候学 [M]. 长沙: 湖南教育出版社, 1999. 1~174]
- [3] Li Ba. Ecology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000. 1~416 [李博. 生态学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000. 1~416]
- [4] Xu Huacheng. Landscape Ecology [M]. Beijing: China Forestry publishing House, 1995. 1~182 [徐化成. 景观生态学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1995. 1~182]
- [5] Yang Guodong, Chen Xiaoqiu. On the seasonal rhythm of natural landscape [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18 (3): 233~240 [杨国栋, 陈效速. 论自然景观的季节节奏 [J]. 生态学报, 1998, 18 (3): 233~240]
- [6] Yang Guodong, Chen Xiaoqiu. Classification of phenophase combination of woody plants: A case study of cultivated plants in Beijing botanical garden [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2000, 36 (2): 39~46 [杨国栋, 陈效速. 木本植物物候相组合分类研究——以北京市植物园栽培树种为例 [J]. 林业科学, 2000, 36 (2): 39~46]
- [7] Xu Han, Wang Xiaoming, Cui Dafang. Phenological characteristics of the main trees and their effects on the landscape features in Lianhuashan Park, Shenzhen [J]. *Journal of South China Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2004, 25 (2): 80~84 [许涵, 王晓明, 崔大方. 深圳莲花山公园景观植物物候特点及对公园景观的影响 [J]. 华南农业大学学报 (自然科学版), 2004, 25 (2): 80~84]
- [8] Peng Shaolin, Lu Hongfang, Liang Guanfeng. Vegetation restoration in the two sub-islands of Macao and its benefits [J]. *Ecology and Environment*, 2004, 13 (3): 301~305 [彭少麟, 陆宏芳, 梁冠峰. 澳门离岛植被生态恢复与重建及其效益 [J]. 生态环境, 2004, 13 (3): 301~305]
- [9] Li Yuhui. Morphological types and their features of Shilin karst in Yunnan, China [J]. *Carsologica Sinica*, 2002, 21 (3): 165~172 [李玉辉. 中国云南石林岩溶形态类型与特征 [J]. 中国岩溶, 2002, 21 (3): 165~172]
- [10] UNESCO World Heritage Centre. Operational guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention [Z]. Paris: WHC/REVISED. 2005. 1~161
- [11] Li Lianju. A comprehensive report of declaring the Geopark: The Geopark of Stone forest, Kunming, Yunnan, Chian [R]. The minis-

- try of land and resources, P. R. Chian 2003. 1~164 [李连举. 世界地质公园申报综合报告——中国云南省昆明市石林世界地质公园 [R]. 中华人民共和国国土资源部, 2003. 1~164]
- [12] Liang Fuyuan, Song Linhua, Tang Tao, *et al*. Microbial production of CO₂ in red soil in Stone Forest national park [J]. *Carsologica Sinica*, 2003, 22 (1): 6~11 [梁福源, 宋林华, 唐涛, 等. 路南石林土壤微生物含量及其对土壤 CO₂ 浓度的影响 [J]. 中国岩溶, 2003, 22 (1): 6~11]
- [13] Schnelle F. Plant Phenology [M]. Beijing: Science Press, 1965. 1~275 [施耐勒. (杨郁华译). 植物物候学 [M]. 北京: 科学出版社, 1965. 1~275]
- [14] Wan Minwei, Liu Xiuzhen. The method of observation phenology in China [M]. Beijing: Science Press, 1979. 1~136 [宛敏渭, 刘秀珍. 中国物候观测方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1979. 1~136]
- [15] Xie Shouchang, Sheng Caiyu, Li Shouchang. A phenological study on main tree species of montane humid evergreen broad-leaved forest in Ailao mountains [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17 (1): 51~60 [谢寿昌, 盛才余, 李寿昌. 哀牢山中山湿性常绿阔叶林主要树种的物候研究 [J]. 生态学报, 1997, 17 (1): 51~60]
- [16] Rhett D, Harrison N Y, Tamiji I. Phenology of a common roadside fig in Sarawak [J]. *Ecological Research*, 2000, 15: 47~61
- [17] Broadhead J S, Ong C K, Black C R. Tree phenology and water availability in semi-arid agroforestry systems [J]. *Forestry Ecology and Management*, 2003, 180 (1): 61~73
- [18] Reik O, Katrin B G. Phenological adaptation of ant-dispersed plants to seasonal variation in ant activity [J]. *Ecology*, 2002. 83 (5): 1412~1420
- [19] Zhang Fuchun. Phenology [M]. Beijing: Science Press, 1985. 1~130 [张福春. 物候 [M]. 北京: 科学出版社, 1985. 1~130]
- [20] Fang Xiuqi, Yu Weihong. Progress in the studies on the phenological responding to global warming [J]. *Advance in Earth Sciences*, 2002, 17 (5): 714~719 [方修琦, 余卫红. 物候对全球变暖响应的研究综述 [J]. 地球科学进展, 2002, 17 (5): 714~719]
- [21] Jiang Hanqiao, Duan Changqun, Yang Shuhua, *et al*. Plant Phenology [M]. Beijing: Higher Education Press, 2004. 1~307 [姜汉桥, 段昌群, 杨树华, 等. 植物生态学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004. 1~307]
- [22] Zou Xiaomeng. Agricultural Phenology [M]. Beijing: Agricultural Press, 1983. 1~106 [邹效孟. 农业物候学 [M]. 北京: 农业出版社, 1983. 1~106]

A Preliminary Study on Phenology of Indigenous Plants in Karst Mountainous Region at the Stone Forest Scenic Spot in Yunnan

WU Yi^{1,2}, LU Wenyao^{1,3}, SHEN Youxin¹, LI Yuhu⁴, LU Lunhui¹

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

2. The Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049, China;

3. School of Environmental Biology, Curtin University of Technology, GPO Box U1987 Perth, WA 6845, Australia;

4. Yunnan Normal University, Kunming, 650092, China)

Abstract: The phenology of 35 indigenous plants of 25 families and the relationship between the phenological rhythms of the plants and climatic factors in the corresponding period were studied for two years (2003~2004) at the Stone Forest Scenic Spot in Yunnan. The results showed that the leaf flushing occurred in February for 46% of the total plants observed when the air temperature was 10~15℃. 57% species of them start to unfold leaf when the air temperature was rising and exceed exceeded 15℃ in March. The flowering occurred from March to June in the area, with major (82.9% of the total plant species) tend to flower when air temperature was above 20℃ in May. Plants bore fruits period between April~December. The average temperature and ≥5℃ accumulated temperature of different phenological periods obviously influenced the phenological performance of the native plants. There were close relationship between the flowering and fruiting of plants and light and temperature in the area. Based on the phenological characteristics of the native plants, the natural landscape and vegetation construction of the karst area, the principle of "the harmony collocation between the stone and the woody plants" was proposed. It was also suggested that some ornamental plants with adapting to the karst environment at temporal and spatial patterns should be selected to make suitable vegetation landscape, in order to increase landscape and ecological values, as well as the meaning of the Stone Forest Scenic Spot.

Key words: phenology; indigenous plant; vegetation landscape; karst; stone forest; world geopark