

## 气候变化对桂林植物物候的影响

廖雪萍<sup>1,3</sup>, 李耀先<sup>2</sup>, 黄梅丽<sup>1</sup>, 李永健<sup>3</sup>, 史彩霞<sup>4</sup>, 徐圣璇<sup>1</sup>

(1. 广西区气候中心, 南宁 530022; 2. 广西气象学会, 南宁 530022; 3. 广西大学, 南宁 530004; 4. 广西气象科技服务中心, 南宁 530022)

**摘要:** 利用线性倾向估计、Mann-Kendall 突变检测等方法, 对桂林气候(1951~2009年)和3种植物物候(1983~2009年)的趋势变化特征进行了分析, 并探讨了物候期与气温、日照、降水等气象因子的相关性及其对主要气候影响因子的响应情况。结果表明: 在当地气候变化背景下, 桂林市植物物候期发生了不同程度的变化, 春季物候期提前, 秋季物候期推迟, 绿叶期延长; 平均气温是影响植物物候期最为显著的气象因子, 气温每增高1℃, 春季物候平均提前5d左右, 秋季物候平均推迟8d左右, 绿叶期延长约27d; 春季物候和绿叶期的突变一般发生在气温突变之后, 但秋季物候期突变与其影响月份气温的突变并无关系。以上分析说明植物物候对气候变化响应比较敏感, 通过分析气候和植物物候变化的规律, 掌握气候对当地植物物候的可能影响, 可为农业生产、生态环境监测和评估等提供理论依据。

**关键词:** 气候变化; 植物物候; 线性倾向估计法; Mann-Kendall法; 桂林

**中图分类号:** Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2012)04-0487-07

## Influence of climate change on plant phenology in Guilin

LIAO Xue-Ping<sup>1,3</sup>, LI Yao-Xian<sup>2</sup>, HUANG Mei-Li<sup>1</sup>,  
LI Yong-Jian<sup>3</sup>, SHI Cai-Xia<sup>4</sup>, XU Sheng-Xuan<sup>1</sup>

(1. *Guangxi Climate Centre*, Nanning 530022, China; 2. *Guangxi Meteorological Institute*, Nanning 530022, China; 3. *Guangxi University*, Nanning 530004, China; 4. *Guangxi Service Center of Meteorological Science & Technology*, Nanning 530022, China)

**Abstract:** Mathematical statistics such as linear trend estimation, Mann-Kendall method etc. were applied to investigate tendencies of climate change during 1951-2009 and phenology of three kinds of plant in 1983-2009, as well as the correlations with temperature, sunshine duration and precipitation, and afterwards, were discussed the tendencies of the responses of phenological events to the main climatic factors influencing, together with their differences in abrupt change in tendencies and linkage. The results showed that the phenological events were changed in varying degrees along with local climate change, the plant phenology tended to have spring phenology advance and autumn phenology delay, but the leaf growing stage was prolonged. Average temperature was a climate factor greatly affecting the phenology, an increase of average temperature by 1℃ would advance spring phenology by 5 d, delay autumn phenology by 8 d, but prolonged the leaf growing stage by 27 d. Generally, the sudden change in spring phenology and the green-leaf growing stage appeared after that in temperature, and the curve after abrupt point showed temperature rise for spring phenological events happened in advance and longer green-leaf stage. But there was not relationship between Jump change of autumn phenology and abrupt point for air temperature.

\* 收稿日期: 2011-09-01 修回日期: 2012-02-29

基金项目: 广西自然科学基金重点项目(桂科自0991023Z)[Supported by Key Project of Natural Science Foundation of Guangxi(0991023Z)]

作者简介: 廖雪萍(1969-), 女, 广西北流人, 硕士, 高级工程师, 主要从事气候变化方面的研究, (E-mail)liaogxqhzx@126.com.

As a result, the phenological response to climate change was remarkable, and it would provide theoretical basis for agricultural production and environmental protection.

**Key words:** climate change; plant phenology; linear trend estimation method; Mann-Kendall method; Guilin

物候指生物受气候和水文、土壤等环境因子影响而出现的以年为周期的自然现象,植物物候包括发芽、展叶、开花、叶变色、落叶等,它是植物长期适应季节性变化的环境而形成的生长发育节律(张福春,1985)。由于全球气候变暖,许多地方的气温、降水和日照等气候要素发生了变化,植物物候也发生了相应的变化。目前气候变化对植物物候的影响研究主要集中于春、秋季物候和生长季对气候变化的响应方面,主要考虑的气候要素有气温、水分和日照等,其中以气温讨论居多(陈效速等,2001;马鹏里等,2007;黄珍珠等,2007;高祺等,2010)。张福春(1995)的研究认为,冬季平均气温偏高不利于打破冬季芽的休眠,反而会使得植物的开花期推迟;而 Sparks 等(1997)、徐雨晴(2005)、蒲金涌等(2008)研究认为,发芽、展叶、开花等春季物候期提前,落叶等秋季物候期推迟,生长季相对延长。但气象因子到底是怎样影响植物物候期的变化?这个问题在我国的研究不多,在广西地区的研究更少。

关于气候变化和物候变化,国内外的研究大多局限于气候因子“渐变”和物候“渐变”的研究,而忽略了事物变化的另一个重要的方面——“突变”的研究。事实上,渐变和突变组成事物变化的全过程(符淙斌等,1995)。事物的突变对人类文明和自然生态系统变化会产生重大的影响,有时甚至造成灾难性的后果(施少华,1993)。因此,借助于突变理论及其方法来研究气候突变与物候突变,可使得该类研究更趋完善。桂林市地处广西壮族自治区东北部,既是世界著名的风景游览城市和中国历史文化名城,又是广西重要的林木、水果生产基地,研究全球气候变暖背景下桂林物候的变化特征及其对气候变化的响应,对预报当地农时、指导农事活动、保护生态环境,以及促进当地经济社会可持续发展等,具有重要的理论和现实意义。

## 1 资料来源与研究方法

### 1.1 资料来源

桂林市气候资料(1951~2009年)和植物物候资料(1983~2009年)均来自广西区气象信息中心。

气候资料为桂林市地面气象观测站的平均气温、日照时数、降水量。春夏秋冬四季的划分按照3~5月、6~8月、9~11月和12月至次年2月。物候观测以桂林市雁山农业气象试验站内植物为观测对象,选取了当地具有代表性的楝树(*Melia azedarach*)、葡萄(*Vitis vinifera*)、枣树(*Zizyphus jujuba*)3种植物。选取的5个主要物候期为展叶始期、开花盛期、叶变色始期、落叶始期和绿叶期,各植物物候期的样本数均为27个。

### 1.2 研究方法

为便于计算和分析,植物物候期需转换为距离同年1月1日的天数(1月1日为1,以此类推);利用线性倾向估计法(魏凤英,2007)来分析气候因子和物候期的变化趋势特征;利用Mann-Kendall突变检测法(符淙斌等,1992)对物候期与气温的变化趋势做突变检验;用t检验法进行显著性检验;通过各个气候因子与物候期之间的相关性分析、气候因子突变与物候期突变之间区别与联系的分析,探讨气候变化对植物物候的影响。

## 2 结果与分析

### 2.1 气候与物候期的年、季变化趋势

近59年以来的气候变化趋势分析结果(表1)表明,桂林市年平均气温呈显著增高趋势;年降水量呈弱增多趋势(未通过信度检验);年日照时数呈显著减少趋势。四季平均气温均呈增高趋势,以冬季、春季最为显著。降水量在春季和秋季呈减少趋势,夏季和冬季呈增多趋势;日照时数四季均呈下降趋势。

伴随着当地气候变化,桂林市植物物候期发生了不同程度的变化;对3种植物展叶始期、开花盛期、叶变色始期、落叶始期、绿叶期进行的变化趋势倾向率分析结果见表2;为能更为直观地展现物候期的变化趋势,绘制了3种植物开花盛期、落叶始期和绿叶期随时间变化的趋势图(图1)。由表2和图1可见:展叶始期提前且趋势比较一致,线性倾向率为-3.236~4.524 d/10a;开花盛期明显提前,趋势倾向率的变化幅度比展叶始期要大一些,倾向率最大的为-6.105 d/10a(楝树);叶变色始期和落叶始期均一致推迟,葡萄

推迟趋势分别达到 32.783 d/10a 和 34.121 d/10a, 楝树分别为 5.165 d/10a 和 7.589 d/10a, 枣树倾向率相对小些且未通过信度检验; 绿叶期呈延长的趋势, 其中楝树和葡萄的绿叶期明显延长。

表 1 桂林市各气象要素的线性倾向率(1951~2009 年)  
Table 1 Linear tendency rate of meteorological factors during 1951—2009 in Guilin

项目 Item	气温 Temperature (°C/10a)	日照时数 Sunshine hours (h/10a)	降水量 Precipitation (mm/10a)
春季 Spring	0.167***	-4.241	-17.972
夏季 Summer	0.044	-21.753****	25.617
秋季 Autumn	0.126**	-14.240**	-11.235
冬季 Winter	0.173**	-12.126**	4.650
全年 Year	0.126****	-58.595****	1.061
1 月 Jan.		-5.56**	
1~2 月 Jan. to Feb.		-8.05**	
1~3 月 Jan. to Mar.	0.17*	-11.14**	
1~4 月 Jan. to Apr.	0.18**	-14.05**	
2~4 月 Feb. to Apr.	0.23****	-15.53	
3~4 月 Mar. to Apr.	0.18**		
3~5 月 Mar. to May		-4.24	
4 月 Apr.	0.23*		
9~10 月 Sept. to Oct.	0.10*		
10 月 Oct.	0.20**		

注: \*, \*\*, \*\*\*, \*\*\*\* 分别表示线性趋向率通过 0.1、0.05、0.01、0.001 信度检验。下同。

Note: \*, \*\*, \*\*\*, \*\*\*\* indicate that the linear trend tests are significant ( $P < 0.1, 0.05, 0.01, 0.001$ ) in order. The same below.

## 2.2 气候变化与植物物候期的相关分析

通过对 3 种植物物候期与上年 9 月至当年 11 月各种时段组合的气象因子的相关性分析(因绿叶期是展叶始期到落叶末期这一生长季的时间段, 时间跨度从春季一直到秋季, 所以仅分析了与当年气

象要素的相关), 可看出不同时段的气温、日照、降水对植物各个物候期的影响程度明显不同; 表 3 列出了各物候期相对应的主要影响时段的气象要素及其与物候期的相关系数(日照和降水, 仅列出通过 0.1 显著性水平检验的相关系数)。对 3 个气象因子的检验结果表明, 它们之间是相互独立的。

从表 3 看出: ①展叶始期、开花盛期与其发生时和发生前 1~3 个月的平均气温相关性非常显著, 且呈一致负相关, 反映了气温升高, 植物的春季物候期提前这一现象; 叶变色和落叶始期与其发生时和发生前 1 个月的平均气温呈一致正相关, 反映了气温升高, 植物的秋季物候期推迟, 但枣树的两个物候期均未通过显著性检验, 说明它对平均温度的反映并不敏感; 绿叶期与当年温度相关性呈一致正相关, 反映了气温升高, 可使植物生长季延长, 其中楝树和葡萄的相关性显著。②展叶始期、开花盛期与其发生时和发生前 1~3 个月的日照时数相关性显著, 且呈一致负相关, 说明了日照的减少(表 1)可使得植物的春季物候期推迟。而植物的春季物候期变化, 事实上是提前的, 这说明了日照的变化对春季植物物候变化的影响实际上并不明显, 主要的影响因子是气温的变化。无论哪个时段, 秋季物候期、绿叶期与日照都无明显相关。③仅枣树的展叶始期与降水呈显著的负相关关系。2~4 月降水量呈减少趋势(表 1), 故降水量的减少会使枣树的展叶始期推迟, 而事实上该物候期是提前的, 这说明了降水的变化对枣树展叶始期变化的影响实际上并不明显, 主要的影响因子还是气温的增高。④从前面表 1 的分析已知, 桂林市以冬季气温升幅最大, 春季次之。由表 3

表 2 3 种植物的物候期及其变化趋势(1983~2009 年)  
Table 2 Phenological events and their variation for 3 kinds of plants during 1983—2009

项目 Item	楝树 <i>Melia azedarach</i>			葡萄 <i>Vitis vinifera</i>			枣树 <i>Zizyphus jujuba</i>					
	倾向率 (d/10a)	平均物 候期 (月/日)	最早物 候期 (月/日)	最迟物 候期 (月/日)	倾向率 (d/10a)	平均物 候期 (月/日)	最早物 候期 (月/日)	最迟物 候期 (月/日)	倾向率 (d/10a)	平均物 候期 (月/日)	最早物 候期 (月/日)	最迟物 候期 (月/日)
展叶始期 Early leaf-extending period	-3.242	03/22	02/10	04/17	-4.524**	03/20	03/02	04/03	-3.236**	04/14	04/05	04/27
开花盛期 Flower flourishing	-6.105***	04/18	04/06	05/04	-3.626***	04/28	04/20	05/06	-2.698**	05/15	05/06	05/28
叶变色始期 Early leaf-coloring period	5.165*	09/25	08/23	10/26	32.783****	10/05	08/01	11/22	2.458	09/24	08/08	11/08
落叶始期 Early defoliation	7.589**	09/27	09/03	10/30	34.121****	10/09	07/15	11/28	3.983	10/01	08/10	11/12
绿叶期 Green-leaf growing stage	8.626*	266 d	227 d	302 d	28.858****	257 d	189 d	297 d	0.977	213 d	183 d	234 d

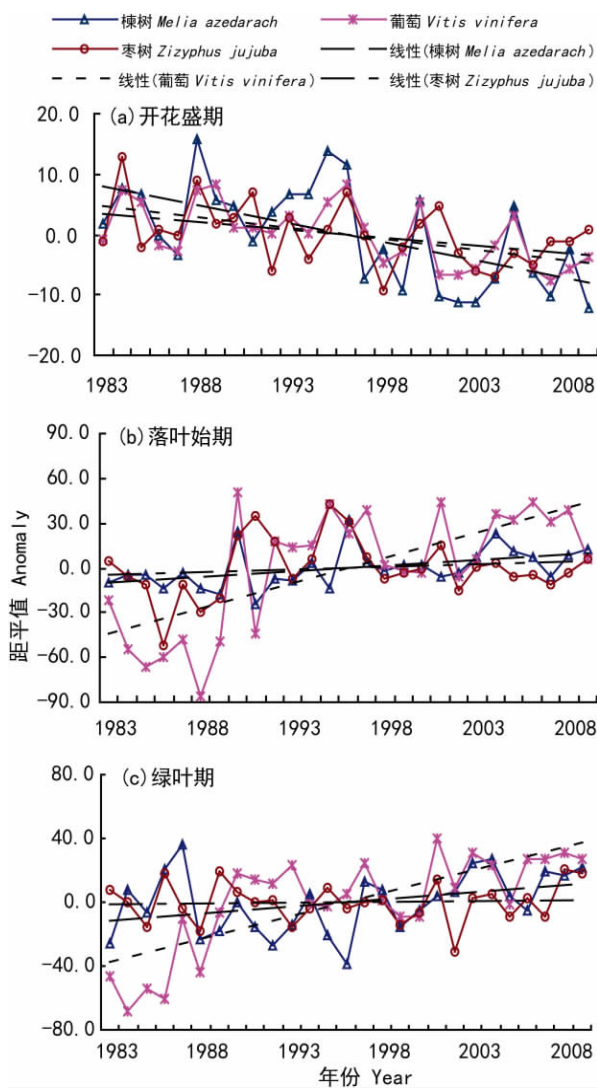


图 1 开花盛期(a)、落叶始期(b)和绿叶期(c)距平值随时间变化趋势图

Fig. 1 Trends of 3 kinds of plants during flower flourishing (a), early defoliation (b) and green-leaf growing stage (c) from 1983 to 2009

可见,楝树和葡萄春季物候的早晚与冬、春季气温的升高有显著负相关关系;枣树春季物候的早晚与春季气温的升高有显著负相关关系,而进一步的研究发现,其展叶始期与2~3月平均气温的相关系数达-0.535(通过0.01显著性检验),开花期1~4月和冬季12~1月的相关系数达-0.523和-0.522(均通过0.01显著性检验),故枣树春季物候的早晚与冬、春季气温的升高之关系也很大。⑤与春季物候变化情况相比,秋季物候期变化与气温的相关系数小许多,显著性检验结果也差一些,即相关程度要差一些,可能与其前期生长时段,即夏季气温增幅不明显有一定的关系。

以上分析表明,植物物候期变化与一定时段内气象要素密切相关,植物的物候期的早晚波动主要取决于气温的高低,日照时数其次,降水对其影响不明显。植物物候期的变化,主要是气温变化引起的。

### 2.3 气温变化对植物物候期影响

表1结果显示,除夏季外,气温在各季、年、月的增高均显著;从对各个植物物候期与各个气候要素的相关性分析结果可知,物候期对气温的响应最敏感,平均气温是影响植物物候期最为显著的气象因子;多数物候期的年际变化均通过信度为0.1的显著性检验。因此,可以利用其与对应影响时段气温两者的距平之比,计算出物候期对气温变化响应的幅度大小(表4)。从表4看出,当影响月(1~3月或3~4月)的平均气温升高1℃,展叶始期提前4.1~7.7 d,3种植物平均提前5.5 d;当影响月的平均温度升高1℃,开花盛期提前3.4~6.4 d,3种植物平均提前4.5 d;当10月或9~10月的平均气温升高1℃,楝树和葡萄的叶变色始期、落叶始期分别推迟3.8~10.5 d、4.5~11.8 d;若当年平均气温升高1

表 3 气象要素的主要影响时段及其与 3 种植物物候期的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between meteorological factors and phenological phases of 3 kinds of plants

项目 Item	楝树 <i>Melia azedarach</i>		葡萄 <i>Vitis vinifera</i>		枣树 <i>Zizyphus jujuba</i>		
	气温	日照	气温	日照	气温	日照	降水量
展叶始期 Early leaf-extending period	-0.779**** (1~3月)	-0.491** (1~2月)	-0.736**** (1~3月)	-0.597*** (1~3月)	-0.718**** (3~4月)	-0.369* (1月)	-0.538*** (2~4月)
开花盛期 Flower flourishing	-0.851**** (1~4月)	-0.482**** (1~3月)	-0.802**** (2~4月)	-0.407** (1~4月)	-0.844**** (4月)	-0.593**** (3~5月)	
叶变色始期 Early leaf-coloring period	0.388** (10月)		0.373* (10月)		0.195 (9月)		
落叶始期 Early defoliation	0.336* (9~10月)		0.380* (10月)		0.251 (9月)		
绿叶期 Green-leaf growing stage	0.430** (全年)		0.625**** (全年)		0.157 (全年)		

表 4 3 种植物物候期随气温 (主要影响时段的) 变化趋势 (单位: d/°C)  
Table 4 Change tendency of phenophases of 3 kinds of plants according to air temperature in mainly affecting time (d/°C)

项目 Item	楝树 <i>Melia azedarach</i>	葡萄 <i>Vitis vinifera</i>	枣树 <i>Zizyphus jujuba</i>
展叶始期 Early leaf-extending period	-7.7*** (1~3 月)	-4.7*** (1~3 月)	-4.1*** (3~4 月)
开花盛期 Flower flourishing	-6.4*** (1~4 月)	-3.4*** (2~4 月)	-3.7*** (4 月)
叶变色始期 Early leaf-coloring period	3.8** (10 月)	10.5* (10 月)	
落叶始期 Early defoliation	4.5* (9~10 月)	11.8* (10 月)	
绿叶期 Green-leaf growing stage	16.6** (全年)	38.1*** (全年)	

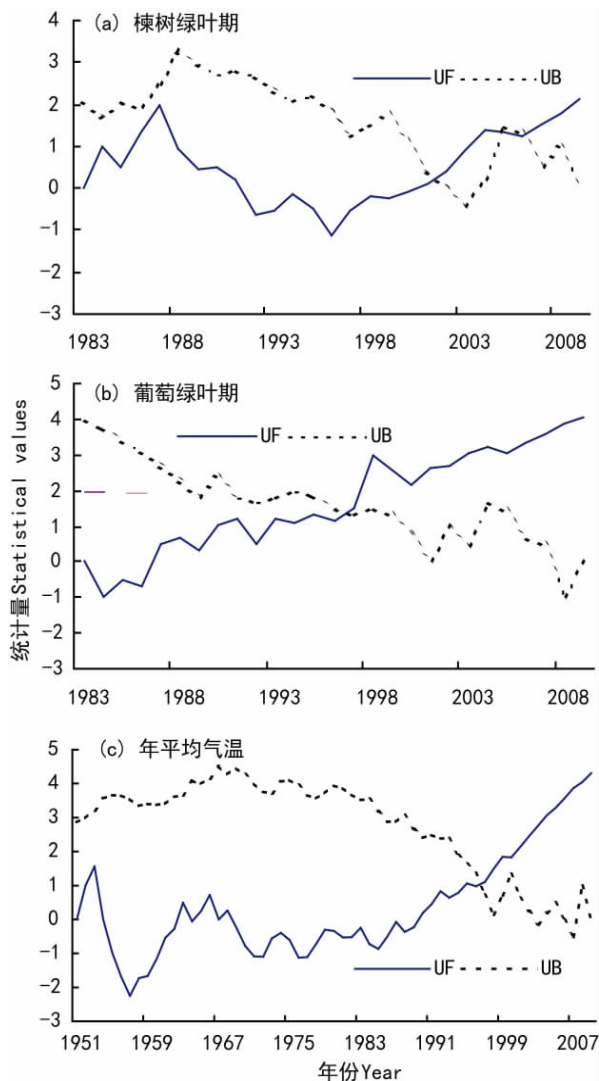


图 2 楝树绿叶期(a)、葡萄绿叶期(b)和年平均气温(c) Mann-Kendall 统计量曲线图

Fig. 2 Mann-Kendall statistic curves of *Melia azedarach* leaf green phase(a), *Vitis vinifera* leaf green phase(b) and annual average temperature(c)

°C, 楝树和葡萄的绿叶期分别延长 16.6 d 和 38.1 d。由于植物的物种不同, 各个物候期对气温变化的敏感性变化幅度也有所不同, 说明对区域气候的变

化, 植物适应程度不尽相同; 从植物生理角度来看, 如果有些植物不能及时适应当地气候的变化, 将会使植物群落的整体结构改变, 进而给周围生态环境带来较为严重的一系列连锁反应(郑景云等, 2002)。

#### 2.4 气温突变对物候期的影响

气候突变指从一种稳定态跳跃式地转变到另一种稳定态之现象, 表现为气候要素在时空上从一个统计特性到另一个统计特性的急剧变化(符淙斌等, 1992)。本研究中, 把气象上常用的 Mann-Kendall 突变方法引入物候学中, 并根据前面的结论, 对各物候期与其影响月气温、对绿叶期与年平均气温的变化趋势进行突变检验。

由于各个物候期不同, 相对应影响时段的气温所在的月份也不同, 因此只绘制绿叶期与年平均气温突变曲线(图 2), 其余的情况列于表 5 内。由图 2 和表 5 可知, 年平均气温在 1990 年以后开始逐步上升, 突变发生在 1996~1997 年之间; 在同期, 楝树和葡萄的绿叶期也发生了变化, 首先是在气温发生突变以后, 植物绿叶期都表现出了较为一致的延长趋势, 突变点均发生在气温突变以后, 楝树在 2001 年左右, 葡萄在 1997 年左右。春季物候期(展叶始期、开花盛期)的突变点一般都发生在其影响月份的气温突变之后, 基本上气温突变发生的一两年之内, 物候期就出现了突变点。但秋季物候期(叶变色始期、落叶始期)的突变点与其影响月份气温的突变并无联系, 这可能是秋季物候期的环境影响因素因其生育期时间较长而变得比较复杂, 不能只单纯考虑气温因素的影响。

### 3 结论与讨论

在桂林市气候变化的影响下, 1983~2009 年当地植物的各个物候期均发生了不同程度地变化, 表现为春季物候(展叶始期、开花盛期)提前, 秋季物候(叶

变色始期、落叶始期)推迟,绿叶期延长,这与 Sparks 等(1997)、徐雨晴等(2004;2005)、柳晶等(2007)对春秋季节物候及生长季的研究结论基本相一致。

植物物候期变化与一定时段内气象要素密切相关。本研究表明,植物物候期早晚波动主要取决于

气温高低、日照时数;其次,降水对其影响不明显。气温变化主要引起植物物候期的变化,这与 Neil 等(2006)、柳晶等(2007)的研究结果较为一致,他们认为植物的春季物候主要取决于气温的高低、日照时数;其次,降水对植物物候期的影响有滞后作用。

表 5 3 种植物物候期的突变点及主要影响月份气温的突变点  
Table 5 Jump points of phenological phases and temperature in relevant period

项目 Item	楝树 <i>Melia azedarach</i>		葡萄 <i>Vitis vinifera</i>		枣树 <i>Zizyphus jujuba</i>	
	影响月份气温	物候期	影响月份气温	物候期	影响月份气温	物候期
展叶始期 Early leaf-extending period	1996~1997; 1~3 月	1997	1996~1997; 1~3 月	1997	2000;3~4 月	2000~2001
开花盛期 Flower flourishing	1997;1~4 月	1999~2000	1997;2~4 月	2000~2001	1996~1997;4 月	1997
叶变色始期 Early leaf-coloring period	2005;10 月	1999~2000	2005;10 月	1989~1990	—	—
落叶始期 Early defoliation	2005;9~10 月	2000,2002	2005;10 月	1990		
绿叶期 Green-leaf growing stage	1996~1997	2001	1996~1997	1997		

对于春季物候期,本研究发现冬季平均气温升高,开花盛期提前,这与 Sparks 等(1997)、柳晶等(2007)研究发现,冬季平均气温升高,可加速花芽的发育,从而使得开花期提前的结论较一致,而张福春(1995)、陈效速等(2001)的研究认为冬季平均气温偏高不利于冬季芽的休眠,使开花期推迟。春季物候期与其发生时和发生前 1~3 个月的平均气温显著相关,亦进一步证明了 Ahas 等(2000)、徐雨晴等(2004)、柳晶等(2007)研究发现的春季物候开始时期与该物候前 1~3 个月之间的温度相关性很强之结论。当主要影响月份的平均气温每增高 1 °C,展叶、开花盛期分别提前 4.1~7.7 d、3.4~6.4 d,变化幅度比一些研究结果的要大一些,如 Frank 等(2004)发现 2~4 月的平均温度升高 1 °C,德国果树物候开花期提前 5 d 左右;张福春(1995)认为春季物候提前 1~3 d;而比柳晶等(2007)等认为当前 3 月平均气温升高 1 °C,展叶、开花盛期分别提前 3.6~7.9、3.9~9.0 d 的变化幅度要小一些。

与春季物候期变化情况相比,秋季物候期变化与气温的相关程度差一些,究其原因,可能是秋季物候在其前期生长时段的夏季和秋季气温变化幅度相对较小,特别是夏季气温增幅不明显所致;还可能是秋季物候期的环境影响因素因其生育期时间较长而变得比较复杂,不能只单纯考虑气温因素的影响。

对物候期和气温突变之间区别与联系的分析中发现,秋季物候期突变与其影响月份气温的突变并无关系;而春季物候期和绿叶期的突变与气温突变

有较好的对应关系,发生突变一般都出现在气温突变之后,而且都是紧随其后,换言之,当气温从一种稳定态跳跃式地转变到另一种稳定态时,物候期也发生了类似的现象,这表明了物候期与气候之间确实存在着某些联系,不同的物候期对气候变化可以做出不同的响应。

本研究结果显示,受气候变化影响,桂林市 3 种植物物候发生了较大程度的改变,该影响可能会导致严重的后果,我们对此应给予高度重视。其一,冬季和早春温度的显著升高使得春季提前到来,从而影响到植物的物候,使它们提前开花、展叶,这将对那些在早春完成其生活史的植物产生不利的影响,甚至有可能使其无法完成生命周期而导致灭亡。其二,化石记录显示一些物种能极快地适应过去的气候变化;但是一般情况下,许多植物物种适应速度将跟不上气候变化的速度(Mccarty, 2001);物种在目前分布范围内若不能忍受气候变化或不能跟随气候变化迁徙将面临灭绝。其三,由于不同植物物种对气候变化的反应不同,造成森林生态系统的结构和物种组成发生较大的变化,如导致植物多样性水平的下降、许多物种濒危或灭绝,这使得人类与生态环境系统之间业已建立起来的相互适应关系受到显著影响和扰动,进而对人类的生存环境和基本生存条件将可能构成严重的威胁。

除气候因素外,影响植物物候的因子还很多,比如土壤状况、局部地形等等,植物物候变化研究涉及的问题很复杂,本文仅讨论了气候因子的影响,至于,还有待于进一步更全面、更深层次地研究。

## 参考文献:

- 张福春. 1985. 物候[M]. 北京: 气象出版社
- 魏凤英. 2007. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社: 43—45
- Ahas R, Jaagas J, Aasa A1. 2000. The phenological calendar of Estonia and its correlation with mean air temperature[J]. *Intl J Biomet*, **4**(4): 159—161
- Chen XQ(陈效速), Zhang FC(张福春). 2001. Spring phenological change in Beijing in the last 50 years and its response to the climatic changes(近 50 年北京春季物候的变化及其对气候变化的响应)[J]. *Chin J Agromet* (中国农业气象), **22**(1): 1—5
- Frank M, Chmielewski, Antje M, et al. 2004. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961—2000[J]. *Agric Fore Meteorol*, **121**(1): 69—78
- Fu CB(符淙斌), Wang Q(王强). 1992. The definition and detection of the abrupt climatic change(气候突变的定义和检测方法)[J]. *Chin J Atmosph Sci* (大气科学), **16**(4): 482—493
- Fu CB(符淙斌), Ye DZ(叶笃正). 1995. Global change and the future trend of ecological environment in China(全球变化和我国未来的生存环境)[J]. *Chin J Atmosph Sci* (大气科学), **19**(1): 116—126
- Gao Q(高祺), Miao QL(缪启龙), Zhao SL(赵世林). 2010. Effects of climate warming on spring phenophase in Shijiazhuang, Hebei Province(气候变暖对石家庄春季物候的影响)[J]. *J Meteorol Environ* (气象与环境学报), **26**(1): 21—26
- Huang ZZ(黄珍珠), Li CM(李春梅). 2007. Effects of climate warming on plant phenological changes in Guangdong(气候变暖对广东省植物物候变化的影响)[J]. *Meteorol Sci Tech* (气象科技), **35**(3): 400—403
- Liu J(柳晶), Zheng YF(郑有飞), Zhao GQ(赵国强), et al. 2007. Responses of phenology to climate change in Zhengzhou area(郑州植物物候对气候变化的响应)[J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **27**(4): 1 471—1 479
- Neil K, Wu JG. 2006. Effects of urbanization on plant flowering phenology: A review[J]. *Urban Ecosyst*, **9**(3): 243—257
- Ma PL(马鹏里), Guo JY(郭江勇). 2007. Effect of climate warming on phenophase in Xifeng in the Loess Plateau(气候变暖对西峰黄土高原物候期的影响)[J]. *Arid Zone Res* (干旱区研究), **24**(5): 675—678
- Mccarty JP. 2001. Ecological consequences of recent climate change[J]. *Conserv Biol*, **15**: 320—331
- Pu JY(蒲金涌), Yao XY(姚小英), Yao XH(姚晓红), et al. 2008. Impacts of climate warming on phenological period and growth of Apple tree in Loess Plateau of Gansu Province(气候变暖对甘肃黄土高原苹果物候期及生长的影响)[J]. *Chin J Agromet* (中国农业气象), **29**(2): 181—183
- Shi SH(施少华). 1993. Climatic abrupt change events and their impact on human civilization during Holocene megathermal in China(中国全新世高温期中的气候突变事件及其对人类的影响)[J]. *Mar Geol & Quat Geol* (海洋地质与第四纪地质), **13**(4): 65—73
- Sparks TH, Carey PK, Combes J. 1997. First leafing dates of trees in Surrey between 1947 and 1996[J]. *London Nat*, **76**: 15—20
- Xu YQ(徐雨晴), Lu PL(陆佩玲), Yu Q(于强). 2005. Response of tree phenology to climate change for recent 50 years in Beijing(近 50 年北京树木物候对气候变化的响应)[J]. *Geogr Res* (地理研究), **24**(3): 412—420
- Xu YQ(徐雨晴), Lu PL(陆佩玲), Yu Q(于强). 2004. Impacts of climate change on the first-flowering dates of *Robinia pseud-acacia* and *Syringa amurensis* in China(气候变化对我国刺槐、紫丁香始花期的影响)[J]. *J Beijing Fore Univ* (北京林业大学学报), **26**(6): 94—97
- Zhang FC(张福春). 1995. Effects of global warming on plant phenological events in china(气候变化对中国木本植物物候的可能影响)[J]. *Acta Geogr Sin* (地理学报), **50**(5): 403—408
- Zheng JY(郑景云), Ge QS(葛全胜), Hao ZX(郝志新). 2002. Effects of global warming on plant phenology in last 40 years(气候变暖对我国近 40 年植物物候变化的影响)[J]. *Sci Rep* (科学通报), **47**(20): 1 582—1 587
- 性胃溃疡作用及其机制研究[J]. *Chin J Integr Trad West Med Dig* (中国中西医结合消化杂志), **19**(2): 71—74
- Wang HY(王海燕), Liu YM(刘亚明), Li HY(李海燕), et al. 2011. Effects of oils in *Alpinia officinarum* Hance on serum motilin, somatostatin, substance P, vasoactive intestinal peptide in gastrectomy mice model(高良姜油对胃溃疡小鼠模型血清胃动素、生长抑素、P 物质、血管活性肠肽的影响)[J]. *Chin J Exp Trad Med Form* (中国实验方剂学杂志), **17**(4): 105—107
- Wu Z(吴珍), Chen YS(陈永顺), Du SM(杜士明), et al. 2010. Effect of volatile oil of *Alpinia katsumadai*on gastric ulcer induced by acetic acid in rats(草豆蔻挥发油对大鼠醋酸性胃溃疡的影响)[J]. *Chin Hosp Pharm J* (中国医院药学杂志), **30**(7): 560—563
- Wu WZ(吴万征), Lin HZ(林焕泽), Wu XR(吴秀荣). 2005. GC-MS analysis of chemical constituents of volatile oil from *Alpinia zerumbet*(艳山姜挥发油成分的气相—质谱联用分析)[J]. *Chin Hosp Pharm J* (中国医院药学杂志), **25**(4): 332—333
- Yi MH(易美华), Xiao H(肖红), Liang ZY(梁振益). 2004. Comparative study on chemical constituents in volatile oil from fruit, leaf and stalk of *Alpinia oxyphylla* (益智仁、叶、茎挥发油化学成分的对比研究)[J]. *Chin Trop Med* (中国热带医学), **4**(3): 339—342
- Zhou X(周璇), Guo XL(郭晓玲), Feng YF(冯毅凡). 2006. Study of the chemical components of essential oils from *Alpinia officinarum* in different localities(不同产地高良姜挥发油化学成分的研究)[J]. *Chin Trad Herb Drug* (中草药), **37**(1): 33—34

( 上接第 566 页 Continue from page 566 )