

中国中东部植被景观观赏季划分的物候学基础

陶泽兴^{1,2}, 葛全胜¹, 王焕炯^{1,2}, 戴君虎¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 中国科学院陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 利用中国物候观测网12个站点多种木本植物的展叶始期、开花盛期和叶全变色期观测数据, 通过统计物候期的频率分布划分了上述3种物候期的观赏季节, 分析了过去50年最佳观赏日的变化趋势, 为旅游管理部门及游客的游憩活动安排提供理论依据。研究得出以下主要结论: ① 最佳观赏日在不同站点间存在较大差异。展叶最佳观赏日范围为3月16日(桂林)到5月5日(哈尔滨); 开花最佳观赏日从4月3日(昆明)到5月24日(牡丹江); 叶变色最佳观赏日从10月1日(牡丹江)到11月30日(上海)。展叶、开花最佳观赏日和纬度显著正相关, 叶变色最佳观赏日和纬度显著负相关; ② 部分站点过去50年最佳观赏日发生了明显变化。尤其是北京和西安, 展叶和开花最佳观赏日都以超过1.6天/10年的趋势显著提前, 而叶变色最佳观赏日显著推迟(北京: 1.6天/10年; 西安: 2.1天/10年)。③ 观赏季起止时间和最佳日期受站点气温控制。展叶、开花最佳观赏日与站点春季(3-5月)气温显著负相关。站点春季气温每升高1℃, 展叶和开花最佳观赏日分别提前4.02和4.04天。叶变色最佳观赏日与站点秋季(9-11月)气温显著正相关, 在空间上对气温响应的敏感性为2.98天/℃。

关键词: 物候; 植被景观; 观赏季; 气温变化

DOI: 10.11821/dlxb201501007

1 引言

展叶、开花、叶变色等物候期代表着植物生长发育的不同阶段。植物花、叶等器官在生长发育过程中, 形态和生理上表现出显著的特征^[1], 在各个季节形成了多种自然景观, 具有很高的观赏价值。因此, 植物物候与植被景观及季相之间联系紧密。近几十年来, 以植物观赏为主题的旅游活动在世界各地大量开展。例如, 日本东京、京都等地的樱花节(主要以矮樱(*Prunus jamasakura*)和东京樱花(*Cerasus yedoensis*)等为观赏对象), 中国以红叶、桃花等为对象和主题的游憩活动吸引了各地的大量游客^[2-3]。这类资源对旅游市场有较大刺激, 因此利用物候学原理指导观赏类旅游活动的开展具有重要意义。

物候学研究表明, 在北半球温带湿润半湿润地区, 植物物候期的年际波动受气温变化所控制^[4-5]。过去几十年的全球气候变暖, 使植物物候期发生时间和不同物候期间的间

收稿日期: 2014-08-20; 修订日期: 2014-10-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(41030101, 41171043); 国家重点基础研究发展计划项目(2012CB955304); 中国科学院战略性先导科技专项(XDA05090301) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41030101; No.41171043; National Basic Research Program of China, No. 2012CB955304, Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No.XDA05090301]

作者简介: 陶泽兴, 硕士研究生, 主要从事环境变化和物候学研究。E-mail: colwhoo@163.com

通讯作者: 戴君虎, 博士, 研究员, 主要从事植被生态和物候学研究, 中国地理学会会员(S110001648M)。

E-mail: daijh@igsnrr.ac.cn

隔都产生了明显变化^[6-7]。物候现象的时效性使植物展叶、开花、叶变色的自然景观也具有相应的时效性^[8]。植物物候期变化可引起以植物观赏为主题的旅游活动起止时间发生改变。例如, Ge等^[9]研究了1963-2010年气温变化对北京和西安色木槭 (*Acer mono*) 秋季叶变色期的影响, 发现近年来秋季植物观赏季具有显著的推迟趋势, 影响到观赏季的游客动态。马丽等^[3]分析了1989-2005年气候变暖对北京春季物候的影响, 结果表明气候变化不仅使桃花节开始时间明显提前, 而且持续日数也得以延长。因此, 植物物候不仅反映植被景观的季相变化, 也为评估气候变化对旅游活动影响提供了理论基础^[9-10]。

对于植物观赏类旅游而言, 植物的展叶、开花、叶变色等物候期的景观季相及其变化是旅游产生的驱动因素, 即旅游吸引力 (Tourist Attractiveness)。这是预测自然景观观赏类旅游者行为规律及区域旅游需求的基础^[11]。因此, 物候对于旅游活动、特别是对观赏类旅游活动具有很好的指导意义。目前国内外已有一些研究利用物候模型预报花期, 例如日本电视台在樱花开花前每天对樱花开花时间进行预报。张爱英等^[12]比较了多种物候模型在北京观赏植物开花期预测中的适用性。但整体而言, 国内将物候学与旅游科学相结合的研究仍较少, 现有的旅游地理研究在旅游景观布置及线路设计等方面缺乏植物物候方面的资料支持。通过物候学的规律来解释旅游活动行为、指导相应旅游活动开展将成为未来地理学研究的重要领域。

有鉴于此, 本文利用中国物候观测网12个站点的长期观测数据, 首先划分了三种植物物候期 (展叶、开花和叶变色) 观赏季的开始、最佳和结束日期, 分析了过去50年最佳观赏日的变化趋势。同时研究了最佳观赏日的空间差异及其与站点平均气温的关系。本文试图采用物候学原理揭示植被景观季相的时空变化及其对旅游活动时间的影响, 研究结果可为旅游部门合理安排以植物观赏为主题的旅游活动时间、旅游路线, 制定旅游活动对气候变化的应对策略提供参考。

2 数据与方法

2.1 物候与气温数据来源

本文所用物候数据 (1963-2009年) 来源于“中国物候观测网”。为了对比观赏季的区域差异, 选取了中东部地区北京、西安、上海等12个观测年份较长, 物种数量较多、且具有植被区域代表性的站点 (表1)。按照中国植被区划^[13]划分的8个植被区域, 北京、西安、洛阳属于暖温带落叶阔叶林区域, 哈尔滨属于温带草原区域, 牡丹江属于温带针叶、落叶阔叶混交林区域, 重庆、武汉、杭州、昆明、贵阳、桂林、上海属于亚热带常绿阔叶林区域 (图1)。

表1 本研究所选用物候资料分布站点、观测年数和物种数量

Tab. 1 Observation sites, duration and number of species for phenological data in this study

站点	位置	开始 观测年份	结束 观测年份	观测年数	物种数量
哈尔滨	45.75°N, 126.63°E	1963	2009	25	241
牡丹江	43.50°N, 129.80°E	1965	1996	22	125
北京	40.02°N, 116.33°E	1963	2009	40	84
洛阳	34.53°N, 112.30°E	1964	1997	30	96
西安	34.22°N, 108.97°E	1963	2009	35	240
上海	31.20°N, 121.00°E	1963	2009	25	108
武汉	30.52°N, 114.31°E	1963	2009	21	59
杭州	30.27°N, 120.16°E	1963	1984	14	229
重庆	29.82°N, 106.33°E	1963	2009	29	83
贵阳	26.42°N, 106.67°E	1963	2009	31	139
桂林	25.18°N, 110.20°E	1964	2009	33	136
昆明	25.04°N, 102.73°E	1963	2009	17	128

由于游客在春季主要观赏展叶和花盛开景观，在秋季主要观赏叶变色景观，本文主要分析展叶始期、开花盛期和叶全变色期三个物候期的观赏季。在观赏植物选择上，选取了在各站点广泛分布，具有明显展叶、开花和叶变色过程的物种。在亚热带常绿阔叶区域，虽然常绿植物属于优势种，但这类物种无明显的秋季叶变色过程，因此在物种选择上以落叶树种为主，明显属常绿阔叶的树种不包括在本文研究中。

气象数据下载于中国气象科学数据共享服务网 (<http://cdc.cma.gov.cn>)^[14]，包括上述各站点1963-2009年逐月平均气温。

2.2 研究方法

2.2.1 不同物候期的观赏季划定 观赏季指游客可观赏到大多数植物展叶、开花和叶变色景观的时段。换言之，观赏季是各物候期发生频率最高的时段。因此可采用频率分布统计的方法划定观赏季。首先统计12个站点所有观测植物1963-2009年展叶始期、开花盛期和叶全变色期的平均日期。再以10天为基本时段统计各站点3个物候期的频率分布^[15]。之后，以正态分布概率密度函数模拟频率分布，其公式为：

$$y = y_0 + Ae^{-\frac{(x-x_c)^2}{2w^2}} \quad (1)$$

式中： y 是物候期的概率密度； x 是物候期发生时间，以序日（距离1月1日的天数，如1月3日的序日为3）表示； x_c 是正态分布的期望； w 是正态分布的标准差； y_0 和 A 是正态分布的参数。

根据正态分布概率密度函数的性质，物候期发生在 $x_c \pm w$ 区间内的概率为68.27%，即大多数植物物候期发生在 $x_c \pm w$ 时段内。因此，将这一时段定义为物候期的观赏季，其中 x_c 定义为最佳观赏日， $x_c - w$ 和 $x_c + w$ 是观赏季开始和结束日。

为分析最佳观赏日随时间的变化，本文先用同样的方法计算了各站点3个物候期逐年的最佳观赏日。再通过最佳观赏日与年份的线性回归分析，得到3种物候期最佳观赏日随时间的变化趋势。

最后，将各站点展叶和开花的最佳观赏日与3-5月平均气温，叶变色最佳观赏日与9-11月平均气温进行了线性回归分析，以分析最佳观赏季在空间上对气温的响应规律。

3 研究结果

3.1 三种植物物候期年内频率分布特征

大多数站点植物物候期的年内分布具有中间高，向两端逐渐降低的特点（图2），符



图1 12个站点的植被区域划分

Fig. 1 Vegetation regions of the 12 sites in the study

合正态分布的特征。模拟结果表明,大多数物候期(28个,占77.8%)的正态分布函数模拟的调整 R^2 达到了0.8以上($P < 0.05$,表2),模拟效果较好。但上海开花盛期和重庆展叶始期的频率分布呈现双波峰形态,而重庆、桂林和贵阳开花盛期的年内分布较为分散,因此这几个特定物候期模拟的效果较差,在下一步的分析中未予考虑。

3.2 观赏季划分

根据正态分布拟合出的参数,划分了各站点/物候期的观赏季。从划分结果来看(表3),展叶的最佳观赏日平均在4月4日,最早的出现在桂林(3月16日),最晚的出现在哈尔滨(5月5日),展叶观赏季平均长度为20天;开花最佳观赏日平均为4月23日,最早的为4月3日(昆明),最晚的在牡丹江(5月24日),开花观赏季平均长度为29天;叶变色最佳观赏日平均为11月2日,最早和最晚分别为

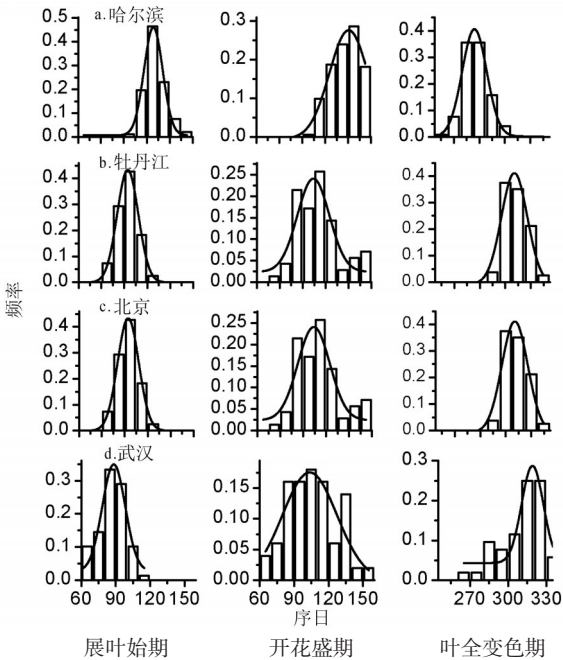


图2 各植被区域内代表站点植物物候期频率分布直方图及正态分布曲线

Fig. 2 The frequency distribution histograms and normal distribution curves for plant phenophases at representative sites in different vegetation regions

表2 12个站点3种物候期频率分布的正态分布模拟参数
Tab. 2 The normal distribution parameters for simulating the frequency distribution of 3 phenophases at each site

站点	物候期	X_c	w	调整 R^2	站点	物候期	X_c	w	调整 R^2
哈尔滨	展叶始期	126	8	0.98**	牡丹江	展叶始期	125	7	0.99*
	开花盛期	141	17	0.98**		开花盛期	145	5	0.97**
	叶全变色期	276	10	0.98**		叶全变色期	275	4	0.99**
北京	展叶始期	103	9	0.99**	洛阳	展叶始期	95	6	0.99*
	开花盛期	109	14	0.70**		开花盛期	118	6	0.99**
	叶全变色期	307	10	0.92**		叶全变色期	311	4	0.99**
西安	展叶始期	92	12	0.99**	上海	展叶始期	90	17	0.81**
	开花盛期	103	23	0.84**		开花盛期	-	-	-
	叶全变色期	309	15	0.99**		叶全变色期	335	9	0.95**
武汉	展叶始期	88	10	0.92**	杭州	展叶始期	99	10	0.96**
	开花盛期	104	24	0.62**		开花盛期	105	5	0.75**
	叶全变色期	319	9	0.84**		叶全变色期	307	11	0.96**
重庆	展叶始期	-	-	-	贵阳	展叶始期	77	11	0.91**
	开花盛期	-	-	-		开花盛期	-	-	-
	叶全变色期	325	8	0.87**		叶全变色期	319	15	0.91**
桂林	展叶始期	76	10	0.89**	昆明	展叶始期	76	7	0.67**
	开花盛期	-	-	-		开花盛期	94	24	0.73**
	叶全变色期	306	15	0.4		叶全变色期	300	23	0.84**

注: ** $P < 0.01$ * $P < 0.05$; 调整 R^2 表示正态分布拟合优度; -表示无法拟合或拟合效果差; 表中整数表示序日。

表3 12个站点3个物候期的观赏季划分
Tab. 3 Ornamental tourism seasons of 3 phenophases at each site

站点	物候期	最佳观赏日	起始	结束	站点	物候期	最佳观赏日	起始	结束
哈尔滨	展叶始期	5-5	4-27	5-13	牡丹江	展叶始期	5-4	4-27	5-11
	开花盛期	5-20	5-3	6-6		开花盛期	5-24	5-19	5-29
	叶全变色期	10-2	9-22	10-12		叶全变色期	10-1	9-27	10-5
北京	展叶始期	4-12	4-3	4-21	洛阳	展叶始期	4-4	3-29	4-10
	开花盛期	4-18	4-4	5-2		开花盛期	4-27	4-21	5-3
	叶全变色期	11-2	10-23	11-12		叶全变色期	11-6	11-2	11-10
西安	展叶始期	4-1	3-20	4-13	上海	展叶始期	3-30	3-13	4-16
	开花盛期	4-12	3-20	5-5		开花盛期	-	-	-
	叶全变色期	11-4	10-20	11-19		叶全变色期	11-30	11-21	12-9
武汉	展叶始期	3-28	3-18	4-7	杭州	展叶始期	4-8	3-29	4-18
	开花盛期	4-13	3-20	5-7		开花盛期	4-14	4-9	4-19
	叶全变色期	11-14	11-5	11-23		叶全变色期	11-2	10-22	11-13
重庆	展叶始期	-	-	-	贵阳	展叶始期	3-17	3-6	3-28
	开花盛期	-	-	-		开花盛期	-	-	-
	叶全变色期	11-20	11-12	11-28		叶全变色期	11-14	10-30	11-29
桂林	展叶始期	3-16	3-6	3-26	昆明	展叶始期	3-16	3-9	3-23
	开花盛期	-	-	-		开花盛期	4-3	3-10	4-27
	叶全变色期	11-1	10-17	11-16		叶全变色期	10-26	10-3	11-18

注：- 表示无法拟合或拟合效果差；表中数字表示日期。

10月1日（牡丹江）和11月30日（上海），叶变色观赏季平均长度为22天。另外，展叶和开花的观赏季在大部分站点都出现了重叠。

不同植被区域展叶、开花、叶变色的最佳观赏日存在明显差异（图3）。亚热带常绿阔叶林区域具有最早的展叶和开花最佳观赏日和最晚的叶变色最佳观赏日。以哈尔滨为代表的温带草原区域和以牡丹江为代表的温带针叶、落叶阔叶混交林区域展叶和开花最佳观赏日相对偏晚，叶变色最佳观赏季相对偏早。

3.3 过去50年最佳观赏日变化

过去50年展叶始期最佳观赏日在北京、西安、上海、哈尔滨、重庆、贵阳、牡丹江7个站点表现出提前趋势，其中在北京、西安、哈尔滨的趋势达到了 $P < 0.05$ 显著性水平。其它5个站点展叶始期最佳观赏日表现出推迟趋势，只有洛阳的推迟趋势达到了 $P < 0.05$ 显著性水平（图4，表4）。

北京、西安、上海、哈尔滨、昆明、重庆、杭州、桂林8个站点的开花盛期最佳观赏日表现出提前趋势。其中，北京、西安和桂林3个站点开花盛期提前趋势显著（ $P < 0.05$ ）。而其余4个站点开花盛期最佳观赏日

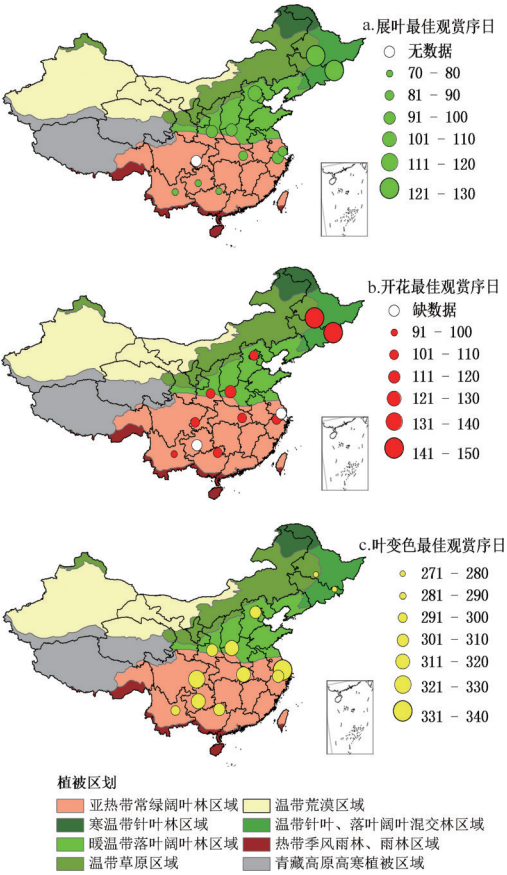


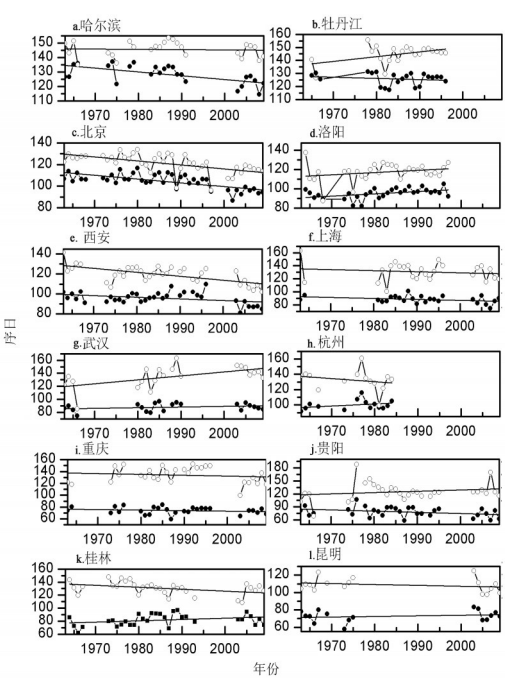
图3 三种物候期最佳观赏日的区域差异
Fig. 3 Optimal viewing and admiring dates of 3 phenophases at different vegetation regions

呈现推迟的趋势。其中，武汉的推迟趋势最显著，达0.61天/年 ($P < 0.01$)。牡丹江的推迟趋势也达到了 $P < 0.05$ 显著性水平 (表4)。

叶全变色期最佳观赏日在杭州、桂林2个站点提前。而在其它10个站点，叶全变色期都表现出推迟趋势。其中北京、西安、上海、哈尔滨、重庆5个站点的推迟趋势达到了 $P < 0.05$ 的显著性水平 (图5，表4)。

3.4 不同站点最佳观赏日与气温的关系

展叶、开花、叶变色最佳观赏日与站点气温呈线性相关关系 (图6)。其中，展叶最佳观赏日与站点春季气温显著负相关 ($R = -0.93$, $P < 0.01$)，表明平均气温高的地区展叶最佳观赏日更早。展叶最佳观赏日对气温的敏感度为 -4.02 天/ $^{\circ}\text{C}$ ，即气温每升高 1°C ，展叶最佳观赏日提前4.02天。开花最佳观赏日与春季气温显著负相关 ($R = -0.94$, $P < 0.01$)。开花最佳观赏日对气温的敏感度为 -4.04 天/ $^{\circ}\text{C}$ ，即气温每升高 1°C ，开花最佳观赏日提前4.04



图例：• 展叶始期 ° 开花盛期 — 线性趋势

图4 各站点植物春季展叶、开花最佳观赏日的年际变化

Fig. 4 Optimal viewing and admiring dates of first leaf and full flowering from 1963 to 2009 at each site

表4 各站点植物展叶始期、开花盛期、叶全变色期最佳观赏日变化趋势

Tab. 4 Linear trend of optimal viewing and admiring date of the 3 phenophases at each site

站点	物候期	<i>R</i>	变化趋势 (天/年)	站点	物候期	<i>R</i>	变化趋势 (天/年)
哈尔滨	展叶始期	-0.63**	-0.26	牡丹江	展叶始期	-0.18	-0.09
	开花盛期	-0.06	-0.02		开花盛期	0.45	0.37
	叶全变色期	0.57**	0.17		叶全变色期	0.29	0.16
北京	展叶始期	-0.69**	-0.35	洛阳	展叶始期	0.17	0.24
	开花盛期	-0.58**	-0.37		开花盛期	0.32	0.19
	叶全变色期	0.36*	0.16		叶全变色期	-0.67	-0.28
西安	展叶始期	-0.37*	-0.16	上海	展叶始期	-0.33	-0.15
	开花盛期	-0.63**	-0.4		开花盛期	-0.15	-0.17
	叶全变色期	0.51**	0.21		叶全变色期	0.66**	0.55
武汉	展叶始期	0.26	0.1	杭州	展叶始期	0.32	0.27
	开花盛期	0.55**	0.61		开花盛期	-0.22	-0.41
	叶全变色期	0.26	0.18		叶全变色期	-0.72*	-0.71
重庆	展叶始期	-0.2	-0.09	贵阳	展叶始期	-0.34	-0.28
	开花盛期	-0.14	-0.14		开花盛期	0.19	0.3
	叶全变色期	0.61**	0.91		叶全变色期	0.27	0.15
桂林	展叶始期	0.32	0.2	昆明	展叶始期	0.2	0.07
	开花盛期	-0.41*	-0.3		开花盛期	-0.25	-0.1
	叶全变色期	-0.03	-0.03		叶全变色期	0.32	0.21

注：** $P < 0.01$ * $P < 0.05$ ；*R*表示线性拟合优度。

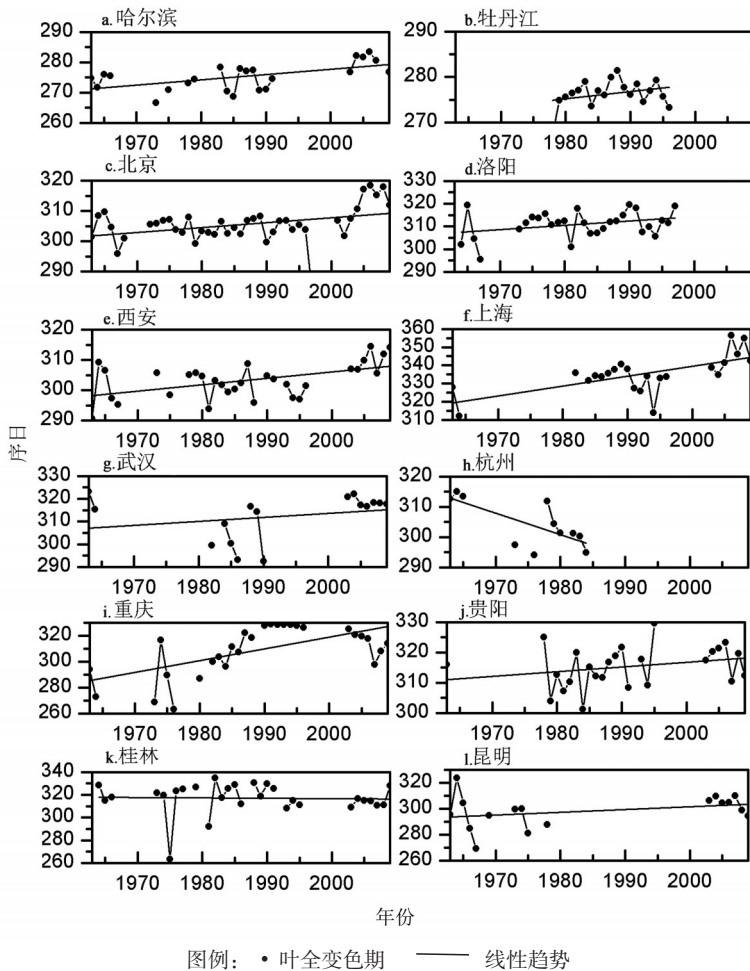


图5 各站点植物叶全变色期最佳观赏日年际变化

Fig. 5 Optimal viewing and admiring dates of end of coloring from 1963 to 2009 at each site

天。叶变色最佳观赏日与秋季气温显著正相关 ($R = 0.85$, $P < 0.01$), 表明气温高的地区叶变色最佳观赏日更晚。平均气温每升高 1°C , 叶变色最佳观赏日推迟 2.98 天。

4 讨论

4.1 物候与旅游活动的联系

近年来,在国家旅游局等部门的引导下,以赏花、赏叶为主题的旅游活动逐渐成为人们休闲放松的主要方式之一。伴随着“桃花节”、“樱花节”、“乡村旅游”等活动而产生的“春花经济”也成为旅游经济新的增长点。本文准确划分了各站点植物物候观赏季,可为经营管理者举办观赏节日的时间提供依据。从本研究观赏季划分结果来看,春季展叶和开花观赏季集中在三月下旬至四月上中旬,秋季的叶变色观赏季集中在十月下旬至十一月。这与国家法定五一国际劳动节和十月一日国庆节的长假安排相接近又有一定偏离。若能据此制定灵活、合理的休假安排,有助于增加目的地旅游收入。

除划分观赏季外,国内外部分学者尝试利用物候模型对观赏植物物候期进行预报。

例如,日本学者通过测量花芽的重量并建立指数模型来预报樱花花期^[16]。张明庆等^[17]利用物候模型对2002年的北京玉渊潭公园的大山樱 (*Prunus sargentii*) 始花期进行预报检验。张爱英等^[12]利用3种物候模型预测了北京地区3种特色观赏植物(杭州早樱、白玉兰、山桃)的始花期和盛花期。针对观赏对象,未来仍需建立可适用于多种植物的通用物候模型,以便更准确的预测物候期,帮助游客合理安排旅游观赏的日程,节省旅游的时间成本,提高满意度,增加旅游部门收入。

4.2 各站点过去50年最佳观赏日变化趋势差异的原因

在北半球温带湿润半湿润地区,气温是植物物候期波动的主要影响因素^[18]。各站点过去50年最佳观赏日的变化主要受气温变化的影响。20世纪下半叶,中国气候变暖主要以北方为主,尤其是在秦岭、淮河一线以北地区和青藏高原部分地区升温明显。而南方地区,包括四川盆地、云贵高原年均温升高不明显,甚至有下降趋势^[19]。这种气温变化的差异直接导致了各站点最佳观赏日提前或推迟的幅度不同。除此之外,已有研究表明,不同植物对气温变化响应的敏感性差别很大^[20-21]。由于各站点选取的物种类型不同,即使在相同的气温变化条件下,不同种类植物最佳观赏日的变化趋势也会存在一定的差异。因此,本研究中12个站点过去50年最佳观赏日的变化趋势存在明显的不同。

4.3 最佳观赏日的空间分布特征

展叶、开花、叶变色的最佳观赏日站点间差异较大。已有研究表明,纬度对物候期的影响较为明显^[22]。通过分析不同站点最佳观赏日随纬度的变化可看出(图7),各站点最佳观赏日和站

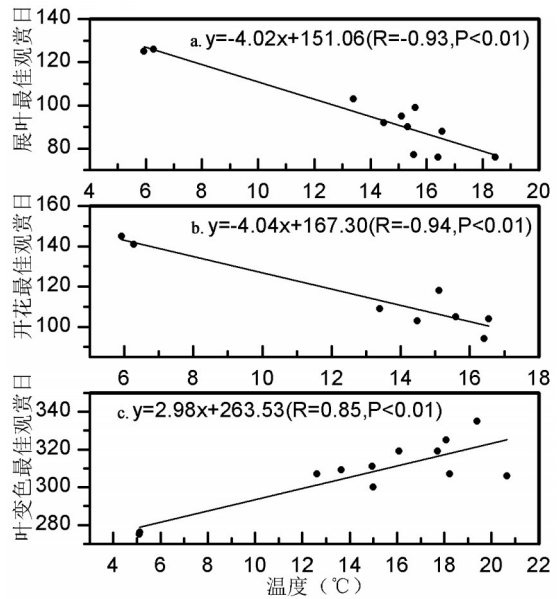


图6 12个站点3种物候期的最佳观赏日对气温的敏感性

Fig. 6 Temperature sensitivity of the optimal viewing and admiring date of 3 phenophases at each site

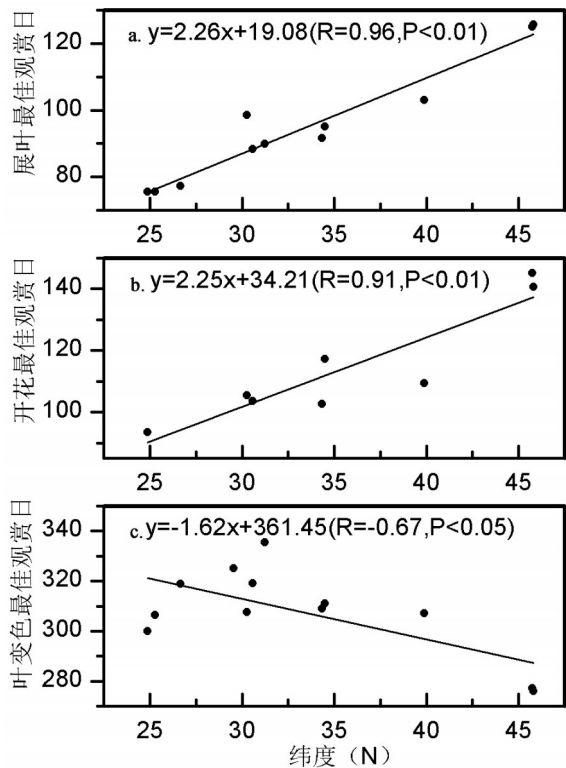


图7 3种物候现象的最佳观赏日随纬度的变化

Fig. 7 Optimal viewing and admiring dates of 3 phenophases at different latitudes

点的纬度具有显著的线性相关关系。其中,展叶最佳观赏日和纬度显著正相关 ($R = 0.96$, $P < 0.01$), 纬度每升高 1° , 展叶最佳观赏日推迟 2.26 天。开花最佳观赏日和纬度呈正相关关系 ($R = 0.91$, $P < 0.01$), 变化幅度为 2.25 天/ $^\circ$ 。叶变色最佳观赏日和纬度负相关 ($R = -0.67$, $P < 0.05$), 纬度每升高 1° , 叶变色最佳观赏日提前 1.46 天。这种纬度格局为游客按照时间先后安排跨纬度的游览路线提供了可能。例如, 春季南方展叶和开花的时间早, 游客可以设计由南向北的旅游路线, 沿途参与多个地区的赏叶和赏花活动。而秋季正好相反, 可由北向南观赏叶变色。

由于各地所选物种类型和数量不同, 可能会对观赏季划分造成一定误差。为验证研究结果的准确性, 本文又分析了山桃 (*Amygdalus davidiana*)、日本早樱 (*Cerasus yedoensis*) 2 种典型观赏植物开花盛期的空间分布 (图 8)。结果表明, 山桃、日本早樱开花盛期与纬度显著正相关, 随纬度升高的变化速率分别为 $1.96 \text{ 天}/^\circ$ 、 $2.0 \text{ 天}/^\circ$ 。这表明, 正态分布模拟所得最佳观赏日与单一物种随纬度的变化规律相一致, 变化速率也很接近。因此用频率分布法划分生长季是可行的。

4.4 未来气候情景下最佳观赏日的变化趋势

根据 IPCC 第四、五次评估报告^[23-24]对未来气候变化的预测, 21 世纪全球仍将持续升温, 增幅可能超过 1.5°C 至 2°C , 升温的持续过程不会在 2100 年终止。在这种气候增暖的情景下, 植物物候期也将发生明显的变化。Ge 等^[25]利用 CCSM 3 模型模拟未来气候变化, 预测了中国 21 世纪 20 种植物的展叶期变化趋势。结果表明总体上植物展叶期仍将提前。这意味着中国各站点最佳展叶观赏日总体上也会呈现提前的趋势。除此之外, 研究还表明从种间尺度上来看, 展叶早的植物展叶始期的提前趋势更加明显, 这一结果也得到了其他研究的证明^[26-27], 因此展叶观赏季的持续时间也应变长。与其它研究的结果类似, 本文大多数站点开花盛期和展叶始期的年际变化具有一定的同步性^[28]。因此, 在未来的气候变暖情景下, 这些站点的开花最佳观赏日可能也会出现提前趋势。同时, 比较过去 50 年各站点植物展叶始期与叶全变色期的变化趋势可以看出, 在大部分站点两种物候期的变化趋势相反, 说明叶全变色期和展叶始期对气候变化的响应相反。因此, 叶变色的最佳观赏季会推迟。

4.5 不确定性分析

由于各站点所观测的物种数量不同, 这可能会影响到整个物候期的频率分布, 导致最佳观赏日, 观赏季开始期、结束期的划分存在一定的不确定性; 其次, 用正态分布概率密度函数模拟物候期频率分布存在一定的模型误差, 范围约为 1~5 天。此外, 在哈尔滨、昆明、桂林、武汉等站点近 20 年的物候观测数据因缺失年份较多, 一定程度上影响了植物物候变化趋势的估计。

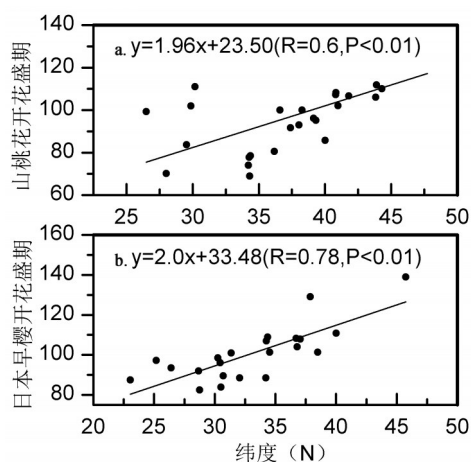


图 8 山桃、日本早樱开花盛期随纬度的变化

Fig. 8 Full flowering dates of *Amygdalus davidiana* and *Cerasus yedoensis* at different latitudes

5 结论

本文利用物候期频率分布划分了我国大陆东部地区春季展叶、开花和秋季叶变色三种物候期的起止日期和最佳观赏日。研究结果充分显示物候学可以作为植被景观观赏季节划分的理论基础。据此,分析了过去50年最佳观赏日的变化趋势、空间差异及与站点平均气温的关系。主要结论有:

(1) 不同植被区域植被物候的观赏季有较大差别。例如,亚热带常绿阔叶林区域春季展叶和开花的观赏季较早,秋季的叶变色观赏季较晚,而温带针叶、落叶阔叶混交林区域的观赏季相对较早。旅游管理者或游客可选择合适的时间段组织或观赏各具特色的植被景观。

(2) 过去50年各站点最佳观赏日的变化趋势存在较大的站点差异。北京、西安和哈尔滨3个站点展叶和开花的最佳观赏日都显著提前,而叶变色的最佳观赏日显著推迟。但其它站点的变化趋势并不显著。观赏季的年际波动和趋势性变化指示了气候变化对旅游活动的影响。

(3) 观赏季起止点和最佳日期受站点气温影响显著。展叶、开花最佳观赏日与站点春季气温显著负相关。站点春季气温每升高 1°C ,展叶和开花最佳观赏日分别提前4.02和4.04天。叶变色最佳观赏日与站点秋季气温显著正相关,其空间上对气温响应的敏感性为 $2.98\text{天}/^{\circ}\text{C}$ 。这表明,气温是春秋季节植被景观出现时间的决定性因素。气温随纬度的变化导致3种植物景观的观赏季也具有一定的纬向规律性。展叶、开花的最佳观赏日和纬度正相关,叶变色的最佳观赏日和纬度负相关。这种纬度格局为游客从南向北或从北向南组织旅游路线提供了可能。

参考文献(References)

- [1] Yang Yunfei, Zhu Tingcheng. Plant Ecology. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2011: 267-269. [杨允菲, 祝廷成. 植物生态学. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2011: 267-269].
- [2] Chen Lingling. Study on the exploitation of the Cheery tourism in Japan//International Workshop on Chinese Flower Culture [D]. Nanjing: Southeast University, 2007. [陈玲玲. 日本樱花旅游开发研究//中国花文化国际学术研讨会 [D]. 南京: 东南大学, 2007.].
- [3] Ma li, Fang Xiuqi. Effects of global warming on seasonal tourism for the last 20 years in Beijing: A case study on the Peach Flower Stanza of Beijing Botanical Garden. Advances in Earth Science, 2006, 21(3): 313-319. [马丽, 方修琦. 近20年气候变暖对北京时令旅游的影响: 以北京市植物园桃花节为例. 地球科学进展, 2006, 21(3): 313-319.]
- [4] Menzel A, Sparks T H, Estrella N et al. European phenological response to climate change matches the warming pattern. Global Change Biology, 2006, 12(10): 1969-1976.
- [5] Cleland E E, Chuine I, Menzel A et al. Shifting plant phenology in response to global change. Trends in Ecology and Evolution, 2007, 22(7): 357-365.
- [6] Ge Quansheng, Wang Huanjiong, Zheng Jingyun et al. A 170 year spring phenology index of plants in eastern China. Journal of Geophysical Research, 2014, 119(3): 301-311.
- [7] Dai Junhu, Wang Huanjiong, Ge Quansheng. Multiple phenological responses to climate change among 42 plant species in Xi'an, China. International Journal of Biometeorology, 2013, 57(5): 749-758.
- [8] Zhang Mingqing, Yang Guodong. Curriculum design of tourism phenology. Journal of Capital Normal University, 2006, 27(1): 73-74, 58. [张明庆, 杨国栋. 旅游物候课程设计. 首都师范大学学报. 2006, 27(1): 73-74, 58.]
- [9] Ge Quansheng, Dai Junhu, Liu Jun et al. The effect of climate change on the fall foliage vacation in China. Tourism Management, 2013, 38: 80-84.
- [10] Bell S, Tyrväinen L, Sievänen T et al. Outdoor recreation and nature tourism: A European perspective. Living

- Reviews in Landscape Research, 2007, 1(2): 1-46
- [11] Bao Jigang, Chu Yifang. Tourism Geography. Beijing, Higher Education Press, 2012. [保继刚, 楚义芳. 旅游地理学. 北京: 高等教育出版社, 2012.]
- [12] Zhang Aiyang, Wang Huanjiong, Dai Junhu et al. Applicability analysis of phenological models in the flowering time prediction of ornamental plants in Beijing area. Journal of Applied Meteorological Science, 2014, 25(4): 483-492. [张爱英, 王焕炯, 戴君虎 等. 物候模型在北京观赏植物开花期预测中的适用性. 应用气象学报, 2014, 25(4): 483-492.]
- [13] Hou Xueyu. 1:1000000 Vegetation Atlas of China. Beijing: Science Press, 2001. 241-243 [侯学煜. 1:1000000 中国植被图集. 北京: 科学出版社, 2001: 241-243.]
- [14] Bai Jie, Ge Quansheng, Dai Junhu et al. Relationship between woody plants phenology and climate factors in Xi'an, China. Chinese journal of Plant Ecology, 2010, 34(11): 1274-1282. [白洁, 葛全胜, 戴君虎 等. 西安木本植物物候与气候要素的关系. 植物生态学报, 2010, 34(11): 1274-1282.]
- [15] Chen Xiaoqiu, Cao Zhiping. Frequency distribution patterns of plant phenophases and its application to season determination. Scientia Geographica Sinica, 1999, 19(1): 21-27. [陈效速, 曹志萍. 植物物候期的频率分布型及其在季节划分中的应用. 地理科学, 1999, 19(1): 21-27.]
- [16] Yashiaki Mihara. Practical Agricultural Meteorology. Nanning. Guangxi People's Publishing House, 1984: 1-165. [Yashiaki Mihara. 实用农业气象学. 南宁: 广西人民出版社, 1984: 1-165.]
- [17] Zhang Mingqing, Yang Guodong, Xu Xiaobo. The use of flower bud measurements for forecasting florescence in *Prunus Sargentii*. Acta Phytocologica Sinica, 2005, 29(4): 610-614. [张明庆, 杨国栋, 许晓波. 树木花期预报的花芽形态测量法研究: 以大山樱花期预报为例. 植物生态学报, 2005, 29(4): 610-614.]
- [18] David A. Springate, Paula X. Kover, Plant responses to elevated temperatures: a field study on phenological sensitivity and fitness responses to simulated climate warming. Global Change Biology, 2014, 20(2): 456-465
- [19] Editorial Committee of China's National Assessment Report on Climate Change. China's National Assessment Report on Climate Change. Beijing: Science Press, 2007: 1-422. [气候变化国家评估报告编写委员会. 气候变化国家评估报告. 北京: 科学出版社, 2007: 1-422.]
- [20] Dai Junhu, Wang Huanjiong, Ge Quansheng. The spatial pattern of leaf phenology and its response to climate change in China. International Journal of Biometeorology, 2014, 58(232): 521-528
- [21] Richard B Primack, Inés Ibáñez, Hiroyoshi Higuchi et al. Spatial and interspecific variability in phenological responses to warming temperatures. Biological Conservation, 2009, 142(11): 2569-2577
- [22] Han Chao, Ding Deping, Li Xun. Study on the spatial and temporal distribution of phenological seasons in China// Annual Conference of Chinese Meteorology Society on Climate Resource Application in 2008. Beijing. Chinese Meteorological Society, 2008. [韩超, 丁德平, 李迅. 中国物候季节时空分布规律研究//中国气象学会2008年年会气候资源应用研究分会场. 北京: 中国气象学会, 2008.]
- [23] IPCC. Summary for Policymakers. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change//Stocker T F, Qin D, Plattner G K et al. Cambridge: Cambridge University Press, 2013: 3-29.
- [24] IPCC. Summary for Policymakers. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change//Solomon S, Qin D, Manning M et al. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007: 7-22.
- [25] Ge Quansheng, Wang Huanjiong, Dai Junhu. Simulating changes in the leaf unfolding time of 20 plant species in China over the twenty-first century. International Journal of Biometeorology, 2013, 58(4): 473-484.
- [26] Bai Jie, Ge Quansheng, Dai Junhu. The response of first flowering dates to abrupt climate change in Beijing. Advances in Atmospheric Sciences, 2011, 28(3): 564-572.
- [27] Miller-Rushing A J, Inouye D W, Primack R B. How well do first flowering dates measure plant responses to climate change? The effects of population size and sampling frequency. Journal of Ecology, 2008, 96(6): 1289-1296.
- [28] Fitter A H, Fitter R S R. Rapid changes in flowering time in British plants. Science, 2002, 296(5573): 1689-1691.
- [29] Li Shizhong, Li Jiangnan. Analysis of phenological response to climate change in Guangxi Province//The 28th Annual Conference of the Meteorological Society of China. Beijing. China Meteorological Society, 2011. [李世忠, 李江南. 气候变暖背景下广西物候变化特征分析: 第28届中国气象学会年会. 北京: 中国气象学会, 2011.]

Phenological basis for determination of ornamental tourism season in China

TAO Zexing^{1,2}, GE Quansheng¹, WANG Huanjiong^{1,2}, DAI Junhu¹

(1. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Many plants have high ornamental value during specific phenophases, such as first leaf, flowering and leaf coloring. Thus, plant phenology correlates highly with seasonal aspects of landscape. Studying the determination of ornamental tourism season and its temporal and spatial patterns could provide tourism management departments and tourists with theoretical basis on tourism arrangement. Based on phenological data of 3 phenophases (first leaf date, full flower date, end of coloring date) and corresponding meteorological data at 12 sites in China, we divided the ornamental tourism season (including starting date, optimal tourism date and end date) by applying phenological frequency distribution method. The trend of optimal tourism date over the past 50 years was also analyzed. The results showed that: (1) The optimal tourism date, ranged from March 16 (Guilin) to May 5 (Harbin) for first leaf, April 3 (Kunming) to May 24 (Mudanjiang) for full flowering, October 1 (Mudanjiang) to November 30 (Shanghai) for leaf coloring. The optimal tourism date of first leaf and full flower was positively associated with latitude, while that of leaf coloring was negatively correlated with latitude. (2) The optimal tourism date of first leaf and full flower exhibited significant advancing trend of 1.6 days/decade over the past 50 years in Beijing and Xi'an, while that of leaf coloring showed significant delaying trend (Beijing, 1.6 days/decade; Xi'an, 2.1 days/decade). (3) The ornamental tourism season was significantly associated with temperature of each site. Optimal tourism date of first leaf and full flowering advanced by 4.02 days and 4.04 days per 1°C increase in spring (March-May) temperature, respectively. Optimal tourism date of leaf coloring showed significant positive correlation with September-November temperature and the spatial sensitivity was 2.98 days/°C.

Keywords: phenology; vegetation landscape; ornamental tourism season; temperature change