

谭静,陈正洪,陈英英,等.武汉樱花花期对城市热岛效应的响应[J].华中农业大学学报,2023,42(4):107-115.  
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2023.04.012

## 武汉樱花花期对城市热岛效应的响应

谭静<sup>1</sup>,陈正洪<sup>1</sup>,陈英英<sup>1</sup>,肖玫<sup>2</sup>,贾文茜<sup>1</sup>

1.湖北省气象服务中心,武汉430205;2.武汉大学资源与环境学院,武汉430072

**摘要** 为提升武汉樱花花期预报模型的准确度,更好地做好樱花花期预报工作,利用武汉大学樱园日本樱花始花期观测资料及同期气象资料,分析武汉大学樱花花期对武汉城市热岛效应的时空响应特征。结果显示,武汉市城市热岛效应从20世纪80年代末开始明显增强,冬季城市热岛增温率和增温贡献率自1988年后显著增加;城市热岛效应在武汉中心城区最高,由城市核心区向近郊区蔓延辐射,北部的黄陂、新洲等地几乎不受热岛效应的影响;武汉樱花花期对冬季城市热岛效应在时间和空间上都有明显响应,冬季平均气温5年滑动平均UHI每升高1℃,樱花始花期提前约2.8d;位于市中心的汉口江滩、晴川假日酒店等赏花点为樱花最早开放的地区,较武汉大学花期提前1~2d,东湖樱园、堤角公园等地则比武汉大学花期晚1~2d。结果表明,城市热岛效应引起的温度升高提早了武汉樱花花期,强热岛效应区域的花期要早于弱热岛效应区域。

**关键词** 城市热岛;樱花;植物物候;气候变化

**中图分类号** P463.3 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2023)04-0107-09

植物物候是气候和环境变化的重要指示器。城市热岛是伴随城市化过程产生的局地小气候的改变,城市热岛效应通过温度的变化直接影响植物物候,是城市中植物物候变化最主要的影响因子,温度通过影响植物细胞内酶的活性进而影响植物生长过程,导致植物物候发生改变<sup>[1-3]</sup>。

关于植物物候对城市化过程的响应,国内外许多学者开展过相关研究,如利用长期地表植被观测资料及时间序列遥感影像定量分析不同城市化强度下植物物候的差异<sup>[4-6]</sup>,发现城市化进程在逐渐成熟过程中,对植被生长有一定的促进作用,生长状况和固碳能力均好于期望值。针对植物物候和城市热岛效应的初步研究表明,距离城市中心越近、热岛强度越大,植物物候变化越明显<sup>[7-8]</sup>。郑景云等<sup>[9]</sup>发现20世纪80年代以来,中国东北、华北及长江中下游地区随春季温度上升,木本植物物候期显著提前。日本学者的相关研究也表明,自20世纪80年代以来,大型城市中心早春热岛效应明显改变了樱花的花期,东京城内的樱花比周边乡村平均提前了8d,而京都和大阪则比周边乡村提前了4~5d<sup>[10]</sup>。

武汉属于亚热带季风气候,地貌类型多样,江河

纵横、湖港交织、被称为“百湖之市”,局地小气候特征明显。研究发现,从20世纪80年代末开始,武汉气温呈现出显著增加的趋势,并且随着人口扩张和城市建筑面积的增加,武汉的城市热岛效应也在不断增强<sup>[11-12]</sup>。武汉城市热岛效应的加剧通过温度变化将直接影响到樱花花期。湖北省气象部门自2001年起开始开展武汉大学樱花花期预报工作,现阶段主要集中于始花期和落花期的预测模型的建立,研究发现武汉大学樱花花期与冬季、2月平均气温及活动积温等密切相关<sup>[13-17]</sup>。关于气候变化背景下樱花花期的变化情况,2008年陈正洪等<sup>[13]</sup>发现武汉大学樱花花期经历了缓升-急升的变化,转折点发生在20世纪80年代中后期;2021年对樱花花期长度的研究中发现,武汉大学樱花始花期和落花期的停滞期与全球气候变暖的停滞期高度吻合,说明全球气候变暖对樱花花期有较明显的影响<sup>[15]</sup>。目前,针对武汉城市热岛效应及气候变化背景下樱花花期的变化趋势已开展相关研究,但将二者相结合,以城市热岛效应作为主要影响因子,研究其对武汉樱花花期的影响等相关工作尚未深入开展。

基于此,本研究通过分析武汉大学樱花花期对

收稿日期:2022-10-09

基金项目:湖北省气象局科技项目(2023Y10);湖北省气象服务中心项目(2023M01)

谭静, E-mail: jmjywb@163.com

通信作者:陈正洪, E-mail: chenzh64@126.com

武汉城市热岛效应的时间响应特征,来测度樱花花期在空间上的分布规律,进一步提升樱花花期预报模型的准确度,以期精准地预报樱花花期提供依据。

## 1 数据与方法

### 1.1 气象资料

气象数据来源于气象大数据云平台(天擎),采用了武汉、新洲、黄陂、江夏和汉川5个国家气象站1961—2021年的气象观测数据(主要包括各站的日平均气温、最高和最低气温等),以及武汉市区域气象站建站至今的气温资料。武汉气象站点分布情况见图1。

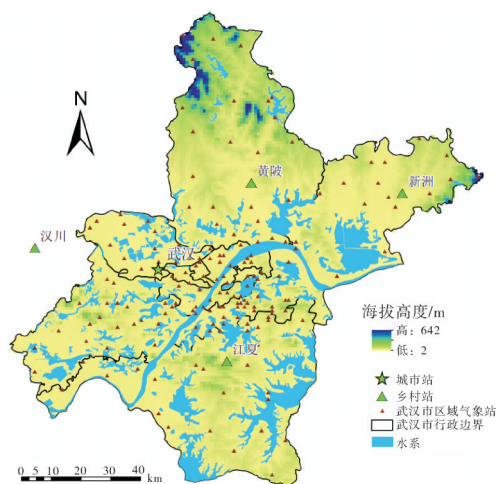


图1 武汉市气象站点分布

Fig.1 Distribution of meteorological stations in Wuhan

### 1.2 基础地理信息数据

DEM数据来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/search>)。空间分辨率90 m。行政边界、水体数据来源于全国地理信息资源目录服务系统(<http://www.webmap.cn/main.do?method=index>)。利用Arcgis对所下载的高程、行政边界和水体等数据按照区域进行拼接、裁剪、提取等处理。

### 1.3 物候观测资料

物候观测资料为1988—2022年武汉大学老斋舍(樱园)日本樱花(*Cerasus yedoensis*)始花期观测资料,始花期观测标准为每株树有3~5朵花开放。将始花期转换为日序数(day of the year, DOY),用于研究始花期对城市热岛效应的响应。

### 1.4 气温资料的均一化检验和订正

选取武汉站为城市站,黄陂、新洲、江夏和武汉周边的汉川4个气象站为乡村代表站。武汉站1951

年建站以来经历了多次迁站,为了保证原始温度序列的质量,对各站点资料进行了订正,所有国家站资料统计开始年为1961年。

对气温资料序列中的非自然变点进行订正,订正方法如下:首先采用滑动 $t$ 检验方法检验所有气温序列中的不连续点,通过历史沿革资料验证检测出来的不连续点附近是否受到迁站因素的影响。订正采用不连续点前后5 a平均值的差值作为补偿值。如果不连续点前后资料不足5 a,则取最长年份计算前后差值。最后将年补偿值线性插值到每个月<sup>[18]</sup>。订正前后温度序列对比见图2。

作为城市代表站的武汉站,1961年以后迁站2次,其中2010年水平迁站8 km,迁站前后观测环境变化明显,对平均气温、平均最高和平均最低气温均有明显影响。利用滑动 $t$ 检验检测出气温在2010年出现了突变,因此对其进行了非均一性订正。在订正过程中,为了更好地反映城市热岛效应,以2010年迁站前的观测资料为基准,将迁站后气温进行了订正。

4个乡村站中,汉川站和黄陂站自1961年以来从未迁过站,是2个非常有代表性的乡村站。新洲和江夏站虽然在1961年以后均有过迁站,但利用滑动 $t$ 检验检测气温均未出现突变,因此4个乡村站气温资料均未订正。

### 1.5 城市热岛强度和热岛增温贡献率的定义

1)城市热岛强度定义。城市热岛强度(urban heat island intensity, UHII)的计算方法采用城市站和乡村站气温的差值来表示,即:

$$I_{LUI} = T_i - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n T_j \quad (1)$$

其中, $T_i$ 为城市站的站点气温, $T_j$ 为乡村站的站点气温。城市站的UHII即为城市站气温与所有乡村站平均气温的差值。

四季划分采用气候学的方法,春季为3~5月,夏季为6~8月,秋季为9~11月,冬季为12月至次年2月。在分析UHII强度趋势时,采用线性趋势拟合方法,利用最小二乘法计算一元一次方程回归系数,回归系数的大小可定量反映平均气温或UHII强度随时间的线性变换趋势。

2)城市热岛增温贡献率的定义。城市热岛增温速率定义为城市站和郊区站气温倾向率之差,单位是 $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,该值 $<0$ 时为凉岛效应。定义城市热岛增温贡献率=城市热岛增温速率/城市站气温倾向率,

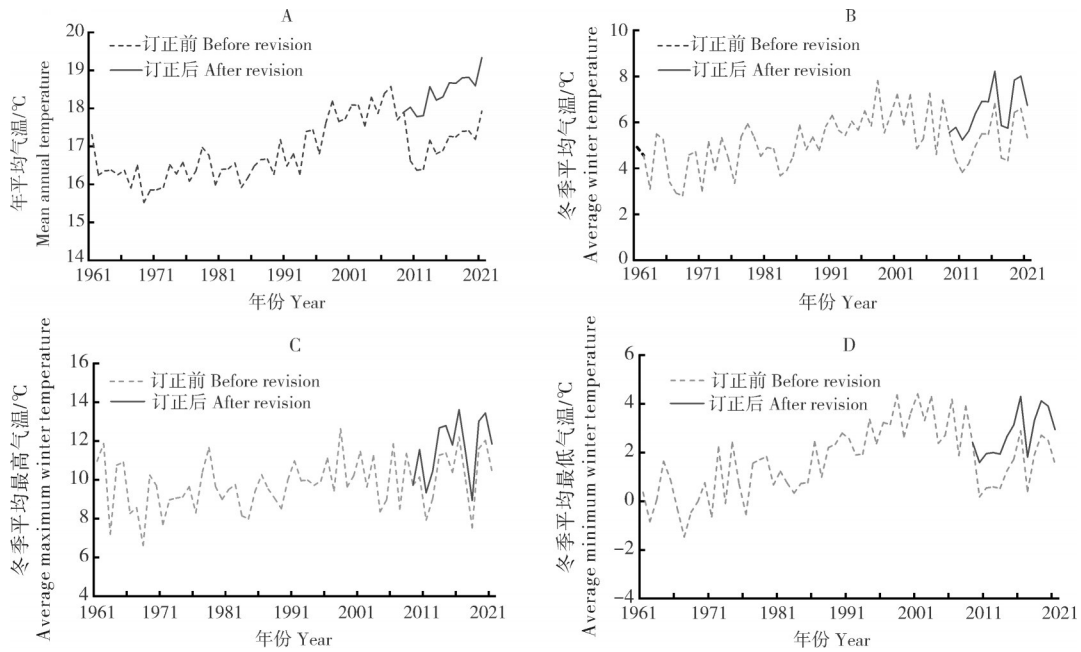


图2 武汉站年平均气温(A)、冬季平均气温(B)、冬季平均最高(C)和最低(D)气温温度序列订正

Fig.2 Correction of annual average temperature (A), winter average temperature (B), winter average maximum (C) and minimum temperature (D) sequences in Wuhan station

当对比站气温倾向率为负且热岛增温速率 $>0$ 时,直接记为100%<sup>[16,19]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 武汉市城市热岛效应气候特征

武汉站1961—2021年平均气温、平均最高和平均最低气温的城市热岛强度年变化结果显示(图3),3种气温的UHII变化在20世纪60年代至80年代末均比较弱,从90年代初期开始出现明显增强,至2004年前后达到了峰值,随后的6 a(2004—2009年)UHII略微下降,随后又呈现波动上升的趋势。总体上看,过去61年间,3种气温的UHII均呈现上升趋势,其中平均最低气温的增幅最大,平均最高气温的增幅最

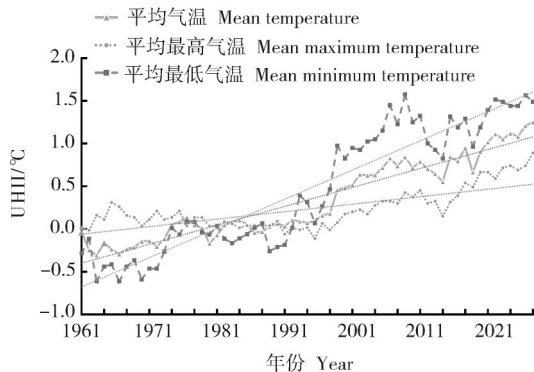


图3 武汉站平均、平均最高和平均最低气温UHII年变化

Fig.3 Annual UHII variation of mean, mean maximum and mean minimum temperature in Wuhan station

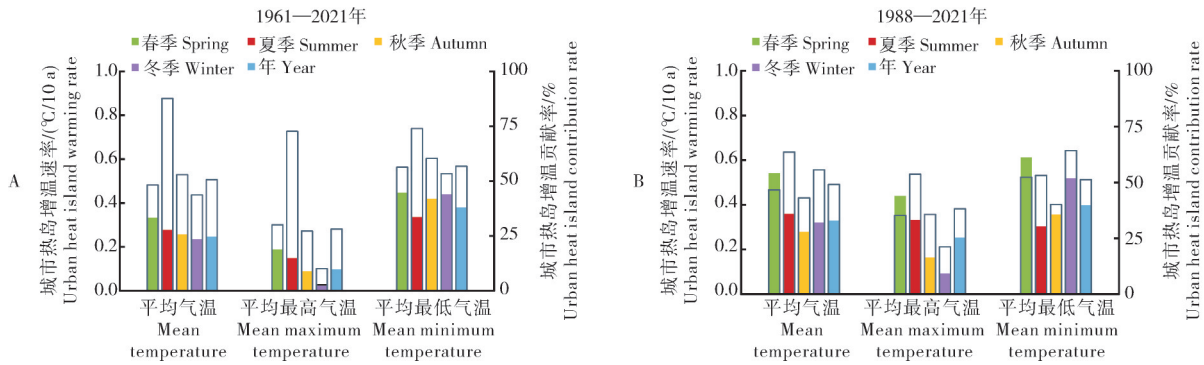
小,而平均气温的增幅则介于两者之间。

为明确20世纪90年代以来武汉城市热岛强度的变化情况,分1961—2021年和1988—2021年2个时段分析武汉UHII的增温率和增温贡献率,结果显示(图4),在1961—2021年61年间,平均气温、平均最高和最低气温的UHII增温率在年平均和各季节上均为正值,说明61年间3种气温的UHII均呈现出增强的趋势。年平均气温UHII的增温率为 $0.25\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ,增温贡献率为50.6%;年平均最低气温的UHII增温率和增温贡献率分别为 $0.38\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和56.8%,而年平均最高气温的增温趋势相对较低,增温贡献率除夏季外也都较低。

从季节上看,1961—2021年间3种气温UHII的增温率均呈现春季增温最快、最显著;夏季增温贡献率最大,均超过了70%,秋季和春季其次,冬季最小。1988—2021年间冬季的增温率和增温贡献率都较前30 a显著增加,增温贡献率也为4个季节中最高,平均气温的UHII冬季增温贡献率达到55.7%,平均最低气温和平均最高气温的冬季增温贡献率分别为64.3%和21.1%,表明1988年以来冬季温度增加的原因很大程度上是由城市热岛效应的增强而引起的。

武汉冬季平均、冬季平均最高和冬季平均最低气温UHII年变化结果显示(图5),冬季平均气温UHII的波动趋势与年均温UHII趋势较为一致,均呈





A: 1961—2021年 From 1961 to 2021; B: 1988—2021年 From 1988 to 2021.

图4 武汉平均气温、平均最高和最低气温城市热岛增温率(实心)和城市热岛贡献率(空心)

Fig.4 Urban heat island warming rate (solid) and urban heat island contribution rate (hollow) of mean temperature, mean maximum and minimum temperature in Wuhan

现出持续上升趋势,20世纪80年代末开始,增速明显加大;冬季平均最高气温UHII在20世纪80年代前呈现出缓慢降低的趋势,80年代至今一直较为平稳,21世纪以来虽然波动增加,但增幅较为缓慢;冬季平均最低气温的UHII从20世纪60年代以来持续呈现显著增加的趋势,其增温速率明显大于均温和最高气温的增温速率,2003年达到峰值,2003—2013年11年间波动下降,从2013年开始又呈现波动增温的趋势。

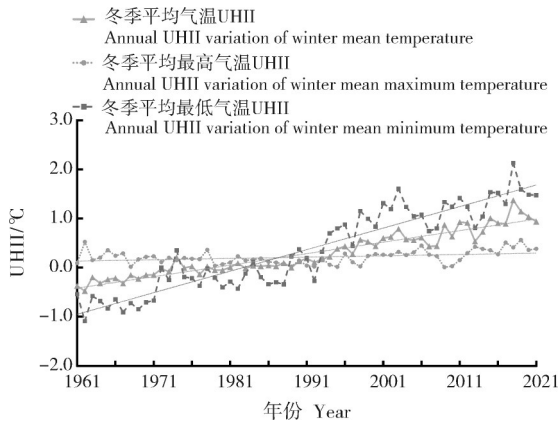


图5 武汉站冬季平均、冬季平均最高和平均最低气温UHII年变化

Fig.5 Annual UHII variation of winter average temperature, winter average maximum and minimum temperature in Wuhan station

2.2 武汉樱花花期对城市热岛效应的时间响应

武汉大学樱花花期主要受到冬季气温和2月气温的影响<sup>[11-12]</sup>,因此本研究分析了樱花始花期与冬季UHII的关系。由于樱花花期受到多种因素的影响,除了大尺度的气候变化,小尺度的城市热岛效应影响外,还受到每年开花前后天气状况的影响,为消

除天气状况对樱花花期的影响,对二者5年滑动平均值的相关性进行了分析。根据上文分析结果,武汉市从1988年开始城市热岛效应显著增加,因此本节主要对1988—2021年武汉大学樱花始花期日序数和冬季UHII的相关性进行分析,来研究樱花花期对城市热岛效应的时间响应。

由表1可见,樱花花期与城市热岛指数间呈负相关,即城市热岛效应对武汉大学樱花花期有明显的提前效应。各项因子中,与始花期日序数5年滑动平均UHII相关性最好的是冬季平均最高气温的5年滑动平均UHII值,两者呈极显著负相关,相关系数达-0.489;其次为冬季平均最低气温的5年滑动平均UHII,相关系数为-0.39;再次为冬季平均气温的5年滑动平均UHII,相关系数为-0.38。

分别以冬季UHII的五年滑动平均值( $X_1$ )、冬季平均最高气温UHII的5年滑动平均值( $X_2$ )和冬季平均最低气温UHII的5年滑动平均值( $X_3$ )为因变量,建立了3个樱花始花期5年滑动平均值的单因子拟合方程,结果如下:

$$Y = -2.8327X_1 + 73.472 \quad (R^2 = 0.1447, \alpha < 0.005) \quad (2)$$

$$Y = -9.1037X_2 + 73.927 \quad (R^2 = 0.2387, \alpha < 0.001) \quad (3)$$

$$Y = -1.8054X_3 + 73.588 \quad (R^2 = 0.1521, \alpha < 0.005) \quad (4)$$

从上述拟合方程可知,热岛强度越强的地方,开花时间越早。冬季平均气温的5年滑动UHII每升高1℃,樱花始花期提前约2.8d;冬季平均最高气温的5年滑动UHII每升高1℃,樱花始花期提前约9d;冬季平均最低气温的5年滑动UHII每升高1℃,樱花始花期提前约1.8d。

表1 武汉冬季UHII值与武汉大学樱花始花期日序数相关性分析  
Table 1 Correlation analysis between winter UHII value in Wuhan and ordinal number of initial flowering of cherry blossoms in Wuhan University

项目 Items	要素 Elements	相关系数 Correlation coefficient
樱花始花期日序数 The DOY of first-flowering date	冬季平均气温UHII UHII of average winter temperature	-0.211
	冬季平均最高气温UHII UHII of average maximum winter temperature	-0.248
	冬季平均最低气温UHII UHII of average minimum winter temperature	-0.193
樱花始花期日序数5年滑动平均值 Five-year sliding average of the DOY of first-flowering date	冬季平均气温UHII 5年滑动平均 Five-year sliding average UHII of average winter temperature	-0.380*
	冬季平均最高气温UHII 5年滑动平均 Five-year sliding average UHII of average maximum winter temperature	-0.489**
	冬季平均最低气温UHII 5年滑动平均 Five-year sliding average UHII of average minimum winter temperature	-0.390*

注：\*和\*\*分别表示在0.05和0.01水平上差异显著。Note: \* and\*\* indicates a significant difference at 0.05 and 0.01 levels respectively.

2.3 武汉樱花花期对城市热岛效应的空间响应

武汉市气象站点布设十分密集,通过各区域气象站的气温观测资料,可以计算出各站点气温的UHII值,从而对武汉城市热岛的空间分布进行分析。根据区域气象站2017—2021年冬季平均气温UHII的平均值,绘制武汉城市热岛强度空间分布图。

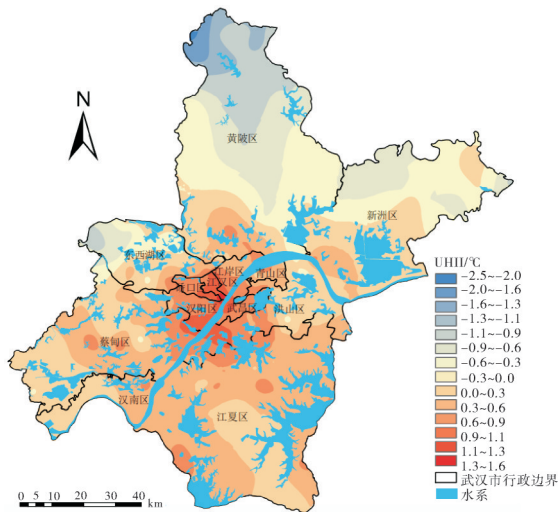


图6 武汉市2017—2021年冬季热岛强度空间分布  
Fig.6 Spatial distribution of heat island intensity in winter of Wuhan from 2017 to 2021

由图6可知,城市热岛效应在武汉中心城区最高,呈现由城市核心区向近郊区蔓延辐射趋势,市中心的武昌、汉口、汉阳人口与建筑物密集的核心区,是热岛效应最强的区域,增温趋势最为明显;而在中心城区中,东湖磨山及南湖、汤逊湖等湖泊附近,呈现城市凉岛效应;北部的黄陂、新洲等地几乎不受热岛效应影响。

樱花作为武汉市的一张城市名片,颇负盛名,目

前武汉全市种植的樱花树已超过50万株,赏樱点众多。根据武汉市文化和旅游局联合长江日报的推荐结果,选择了具有代表性且热度较高的14个观赏点,结合绘制的武汉市主要赏樱点热岛强度分布(图7),计算出各主要赏樱点与武汉大学UHII的差值,对14个主要赏樱点的始花期时间进行预测(表2)。

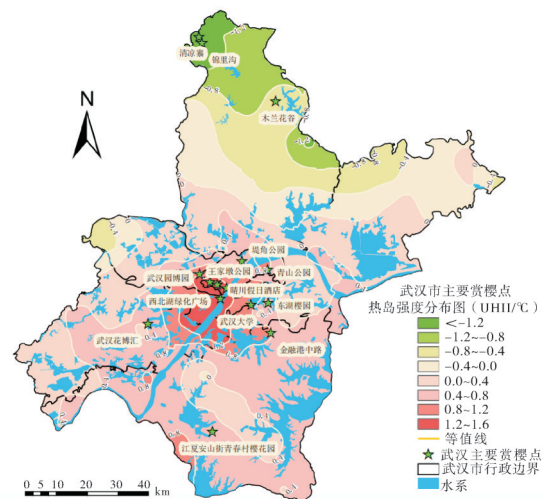


图7 武汉市主要赏樱点热岛强度分布  
Fig.7 Distribution of heat island intensity of the main cherry blossoms places in Wuhan

以武汉大学樱花始花期作为参照,对武汉市14个主要赏樱点的始花期情况进行了预测。由表2可知,武汉樱花花期对城市热岛效应的空间响应呈现从核心区向近郊区推迟的趋势。14个赏樱点中,位于中心城区的晴川假日酒店、汉口江滩樱花园、西北湖绿化广场和王家墩公园城市热岛效应明显高于武汉大学,因此花期约早1~2 d;而武汉园博园、青山公园花

期与武汉大学基本一致;东湖樱园、堤角公园、武汉花博汇、江夏樱花园和金融港中路的花期则比武汉大学晚1~2 d。位于武汉远郊黄陂的木兰花谷,属于

凉岛区,花期较武汉大学晚4~5 d;而黄陂最北边的清凉寨和锦里沟,是武汉市最晚的2个赏樱点,花期较武汉大学要晚8~9 d。

表2 武汉市主要赏樱点始花期时间预测(与武汉大学相比)

Table 2 Prediction of the first-flowering dates of major cherry blossoms places in Wuhan (compared with Wuhan University)

武汉市主要赏樱点 The major cherry blossoms places in Wuhan	花期(与武汉大学相比) Flowering duration (Compared with Wuhan University)
晴川假日酒店 Holiday Inn Riverside	
汉口江滩樱花园 Cherry blossom garden in Hankou River Beach	花期约提前1~2 d The flowering duration is about 1-2 d earlier than the flowering period of Wuhan University
西北湖绿化广场 Northwest Lake Green Square	
王家墩公园 Wangjiadun Park	
武汉园博园 Wuhan Garden Expo	花期基本一致 The flowering duration is basically consistent with the flowering period of Wuhan University
青山公园 Qingshan Park	
东湖樱园 Cherry blossom garden in East Lake	
堤角公园 Dijiao Park	花期约晚1~2 d The flowering duration is about 1-2 d later than the flowering period of Wuhan University
武汉花博汇 Wuhan Flower Expo	
江夏青春村樱花园 Cherry blossom garden in Jiangxia Qingchun Village	
金融港中路 Financial Port Middle Road	
木兰花谷 Flower Valley in Mulan	花期约晚4~5 d The flowering duration is about 4-5 d later than the flowering period of Wuhan University
清凉寨 Qingliang Village	花期约晚8~9 d The flowering duration is about 8-9 d later than Wuhan University
锦里沟 Jinli Valley	

由于大部分赏樱点并未开展过定时定点的人工观测,缺少物候观测资料,为了检验上述结论是否正确,根据实地调研结果结合新闻报道和社交媒体搜索结果,确定了武汉部分代表性赏樱点2022年的始花期时间,并与武汉大学2022年始花期进行对比(表3)。结果显示,2022年武汉大学樱花开放时间为3月11日,与近30 a平均开放时间基本一致,属正常开放年份。2022年汉口江滩樱花园的始花期较武汉大学花期提前1 d,武汉园博园樱花始花期与武汉大学花期基本一致,江夏樱花园花期较武汉大学花期晚2 d,木兰花谷和锦里沟的樱花始花期则分别较武汉大学花期推迟6 d和8 d,东湖樱园樱花始花期与武汉大学一致,但是根据前几年的物候观测结果来看,东湖樱园的始花期要晚于武汉大学花期,可能是受到局地小气候影响,花期有所波动。总体来说,2022年各代表性赏樱点实际始花期和武汉大学樱花始花期的差别与表2的研究结果基本一致,说明根据UHII的差值来推测花期的方法可行。

### 3 讨论

本研究利用1961—2021年武汉及周边5个国家气象站点的气象资料,分析了武汉市61年间城市热岛强度的变化趋势,并根据1988—2021年武汉大学樱花始花期的物候观测资料及同期气象资料,研究了樱花花期对冬季城市热岛效应的时空响应,发现武汉城市热岛效应从20世纪80年代末期开始明显增强,至2004年前后达到峰值,随后的6 a(2004—2009年)呈略微下降后波动上升的趋势,这一结论与多位学者对武汉城市热岛效应的研究成果一致<sup>[11-12,20]</sup>,出现这一现象的原因可能与武汉城市化进程密切相关。城市热岛效应在武汉中心城区最高,呈现由城市核心区向周围近郊区蔓延辐射,位于市中心的武昌、汉口、汉阳人口与建筑物密集的核心区,是热岛效应最强的区域,增温趋势最为明显,北部的黄陂、新洲等地几乎不受热岛效应影响。

1988年武汉城市热岛效应明显增强以来,樱花花期与冬季城市热岛指数间呈明显负相关,即城市热岛效应对武汉大学樱花花期有明显的提前效应。



表3 武汉市代表性赏樱点2022年始花期与武汉大学樱花始花期对比  
Table 3 Comparison of the first-flowering dates between major cherry blossoms places in Wuhan City and Wuhan University in 2022

武汉市主要赏樱点 The major cherry blossoms places in Wuhan	2022年樱花始花期 Flowering duration in 2022	与武汉大学花期相比 Compare with Wuhan University
武汉大学 Wuhan University	03-11	
汉口江滩樱花园 Cherry blossom garden in Hankou River Beach	03-10	早1d 1d earlier
武汉园博园 Wuhan Garden Expo	03-11	基本一致 Basically consistent
东湖樱园 Cherry blossom garden in East Lake	03-11	基本一致 Basically consistent
江夏青春村樱花园 Cherry blossom garden in Jiangxia Qingchun Village	03-13	晚2d 2d later
木兰花谷 Flower Valley in Mulan	03-17	晚6d 6d later
锦里沟 Jinli Valley	03-19	晚8d 8d later

这一结论与相关研究中关于城市热岛对植物花期影响的研究结果一致<sup>[21-23]</sup>。与大部分植物一样,城市热岛效应主要是通过温度变化影响酶的活性从而影响樱花花期<sup>[23]</sup>,樱花开花主要涉及到2个依赖于温度的过程,分别是休眠需要的累计低温和萌芽所需的累计热温,由于热岛效应造成的温度升高将导致植物生长发育速度加快,从而使物候期提前<sup>[14-15]</sup>。冬季城市热岛效应的加剧促进樱花花期的提前,在时间和空间上都有明显反应。在时间响应上,冬季平均气温5年滑动平均UHII每升高1℃,樱花始花期提前约2.8d。在空间响应上,呈现从核心区向近郊区推迟的趋势。位于市中心的汉口江滩、晴川假日酒店等赏花点为樱花最早开放的地区,较武汉大学花期提前1~2d;东湖樱园、堤角公园等地则比武汉大学花期晚1~2d。

虽然高程、降水、日照等影响因子对植物物候的影响作用也是不可忽略的,但热岛效应对温度的影响要明显强于高程变化对温度的影响。前期的研究表明,武汉大学樱花花期对温度的敏感程度要明显高于其他气象要素<sup>[15]</sup>。本研究选取的14个赏樱点中,除了远郊黄陂的几个赏樱点海拔较高外,其余位于主城区和近郊的大部分赏樱点海拔差别不大,因此本研究未考虑海拔高度对花期的影响。

尽管本研究在一定程度上揭示了武汉樱花对城市内部热岛效应的响应特征,在一定程度上填补了樱花预报研究在空间分布上的空缺,但热岛效应不仅仅体现在温度的差异,还包括湿度、下垫面性质、城市地表径流等方面的变化,物候的影响因素也不仅限于温度,降水、湿度、辐射及极端天气过程等也会对其造成一定的影响。除温度以外,其他城市小气候的变化对植物物候的影响、除樱花外其他植物

物候对城市热岛的响应情况及未来物候变化是否会随着热岛强度的增加而持续变化,是否存在变化的阈值,这些问题都值得未来进一步探讨。

#### 参考文献 References

- [1] MIMET A, PELLISSIER V, QUÉNOL H, et al. Urbanisation induces early flowering: evidence from *Platanus acerifolia* and *Prunus cerasus* [J]. International journal of biometeorology, 2009, 53(3): 287-298.
- [2] DHAMI I, ARANO K G, WARNER T A, et al. Phenology of trees and urbanization: a comparative study between New York City and Ithaca, New York [J]. Geocarto international, 2011, 26(7): 507-526.
- [3] 张学霞, 葛全胜, 郑景云, 等. 近150年北京春季物候对气候变化的响应 [J]. 中国农业气象, 2005, 26(4): 263-267. ZHANG X X, GE Q S, ZHENG J Y, et al. Responses of spring phenology to climate changes in Beijing in last 150 years [J]. Agricultural meteorology, 2005, 26(4): 263-267 (in Chinese with English abstract).
- [4] XU H, YANG X, HUANG Q X, et al. Study of impact of urbanization on phenology using multisource satellite data [C]// IGARSS 2008: 2008 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. July 7-11, 2008, Boston, MA, USA. Boston: IEEE, 2009: 804-807.
- [5] 李惠梅, 张安录. 三江源草地气候生产力对气候变化的响应 [J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2014(1): 124-130. LI H M, ZHANG A L. Response of grassland climate productivity to climate change in Sanjiangyuan Regions [J]. Journal of Huazhong Agricultural University (social sciences edition), 2014(1): 124-130 (in Chinese with English abstract).
- [6] JOCHNER S, HECKMANN T, BECHT M, et al. The integration of plant phenology and land use data to create a GIS-assisted bioclimatic characterisation of Bavaria, Germany [J]. Plant ecology & diversity, 2011, 4(1): 91-101.

- [7] 韩贵锋,徐建华,袁兴中.城市化对长三角地区主要城市植被物候的影响[J].应用生态学报,2008,19(8):1803-1809. HAN G F, XU J H, YUAN X Z. Impact of urbanization on vegetation phenology in major cities in Yangtze River Delta Region[J]. Chinese journal of applied ecology, 2008, 19(8): 1803-1809 (in Chinese with English abstract).
- [8] LAKATOS L, GULYÁS Á. Connection between phenological phases and urban heat island in Debrecen and Szeged, Hungary[J]. Acta climatologica et chorologica universitatis szege-diensis, 2003, 36 /37: 79-83.
- [9] 郑景云,葛全胜,郝志新.气候变暖对我国近40年植物物候变化的影响[J].科学通报,2002,47(20):1582-1587. ZHENG J Y, GE Q S, HAO Z X. Effects of climate warming on plant phenological changes in China in recent 40 years[J]. Chinese science bulletin, 2002, 47(20): 1582-1587 (in Chinese with English abstract).
- [10] PRIMACK R B, HIGUCHI H, MILLER-RUSHING A J. The impact of climate change on cherry trees and other species in Japan[J]. Biological conservation, 2009, 142(9): 1943-1949.
- [11] 陈正洪,王海军,任国玉.武汉市城市热岛强度非对称性变化[J].气候变化研究进展,2007,3(5):282-286. CHEN Z H, WANG H J, REN G Y. Asymmetrical change of urban heat island intensity in Wuhan, China[J]. Advances in climate change research, 2007, 3(5): 282-286 (in Chinese with English abstract).
- [12] JIA W Q, REN G Y, SUONAN K Z, et al. Urban heat island effect and its contribution to observed temperature increase at Wuhan Station, central China[J]. Journal of tropical meteorology, 2019, 25(1): 102-113.
- [13] 陈正洪,肖玫,陈璇.樱花花期变化特征及其与冬季气温变化的关系[J].生态学报,2008,28(11):5209-5217. CHEN Z H, XIAO M, CHEN X. Change in flowering dates of Japanese cherry blossoms (*P. yedoensis* Mats.) in Wuhan University campus and its relationship with variability of winter temperature[J]. Acta ecologica sinica, 2008, 28(11): 5209-5217 (in Chinese with English abstract).
- [14] 舒斯,肖玫,陈正洪.樱花始花期预报方法[J].生态学报,2018,38(2):405-411. SHU S, XIAO M, CHEN Z H. A method for forecasting first-flowering dates of cherry blossoms[J]. Acta ecologica sinica, 2018, 38(2): 405-411 (in Chinese with English abstract).
- [15] 谭静,陈正洪,肖玫.武汉大学樱花花期长度特征及预报方法[J].生态学报,2021,41(1):38-47. TAN J, CHEN Z H, XIAO M. Characteristics and forecast of flowering duration of cherry blossoms in Wuhan University[J]. Acta ecologica sinica, 2021, 41(1): 38-47 (in Chinese with English abstract).
- [16] SHI P J, CHEN Z H, REDDY G V P, et al. Timing of cherry tree blooming: contrasting effects of rising winter low temperatures and early spring temperatures[J]. Agricultural and forest meteorology, 2017, 240/241: 78-89.
- [17] SHI P J, CHEN Z H, YANG Q P, et al. Influence of air temperature on the first flowering date of *Prunus yedoensis* Matsum[J]. Ecology and evolution, 2014, 4(3): 292-299.
- [18] 张雷.东亚地区城市化对极端气温变化的影响[D].南京:南京信息工程大学,2014. ZHANG L. Influence of urbanization in East Asia on extreme temperature change[D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology, 2014 (in Chinese with English abstract).
- [19] 初子莹,任国玉.北京地区城市热岛强度变化对区域温度序列的影响[J].气象学报,2005,63(4):534-540. CHU Z Y, REN G Y. Change in urban heat island magnitude and its effect on mean air temperature record in Beijing region[J]. Acta meteorologica sinica, 2005, 63(4): 534-540 (in Chinese with English abstract).
- [20] 邵鸣,任永建,方思达.武汉城市热岛效应及其影响要素分析[J].气象与减灾研究,2017,40(1):43-50. WU Y, REN Y J, FANG S D. Analysis of the urban heat island effect in Wuhan and its influence elements[J]. Meteorology and disaster reduction research, 2017, 40(1): 43-50 (in Chinese with English abstract).
- [21] HE X Y, XU S, XU W D, et al. Effects of climate warming on phenological characteristics of urban forest in Shenyang City, China[J]. Chinese geographical science, 2016, 26(1): 1-9.
- [22] 赖小红,李名扬,刘聪,等.植物物候对重庆主城区热岛效应的响应[J].生态学报,2019,39(19):7025-7034. LAI X H, LI M Y, LIU C, et al. The phenological responses of plants to the heat island effect in the main urban area of Chongqing[J]. Acta ecologica sinica, 2019, 39(19): 7025-7034 (in Chinese with English abstract).
- [23] 蔡红艳,杨小唤,张树文.植物物候对城市热岛响应的研究进展[J].生态学杂志,2014,33(1):221-228. CAI H Y, YANG X H, ZHANG S W. Research advances in plant phenological responses to urban heat island[J]. Chinese journal of ecology, 2014, 33(1): 221-228 (in Chinese with English abstract).



## Response of flowering period of cherry blossom in Wuhan to urban heat island effect

TAN Jing<sup>1</sup>, CHEN Zhenghong<sup>1</sup>, CHEN Yingying<sup>1</sup>, XIAO Mei<sup>2</sup>, JIA Wenqian<sup>1</sup>

1. *Hubei Provincial Meteorological Service Center, Wuhan 430205, China;*

2. *College of Resource and Environmental Sciences, Wuhan University, Wuhan 430072, China*

**Abstract** The observation data of the initial flowering period of Japanese cherry trees in the cherry blossom garden at Wuhan University and the meteorological data of the same period were used to analyze the temporal and spatial response characteristics of the flowering period of cherry blossoms to the urban heat island effect in Wuhan to improve the accuracy of the model for predicting the flowering period of cherry blossom in Wuhan and to better predict the flowering period of cherry blossom. The results showed that the urban heat island effect in Wuhan has been significantly enhanced since the late 1980s. The warming rate and contribution rate of urban heat island in winter have increased significantly since 1988. The urban heat island effect was the highest in the central urban areas of Wuhan, spreading and radiating from the urban core areas to the suburban areas. Huangpi and Xinzhou in the northern areas of Wuhan City were almost unaffected by the heat island effect. The flowering period of cherry blossom in Wuhan had obvious temporal and spatial response to the urban heat island effect in winter. The 5-year sliding average UHII of average winter temperature increased by 1 °C, leading to an early flowering period of cherry blossoms by about 2.8 days. The Hankou River Beach, Holiday Inn Riverside and other places in the central urban areas of Wuhan were the first places where cherry blossoms bloomed, 1–2 days earlier than the flowering period of Wuhan University. The flowering period of cherry blossom garden in East Lake and Dijiao Park was 1–2 days later than that of Wuhan University. It is indicated that the urban heat island effect significantly advances the flowering period of cherry blossoms in Wuhan, and the flowering period of in the areas with strong urban heat island effect was earlier than that in the areas with weak urban heat island effect.

**Keywords** urban heat island; cherry blossom; plant phenology; climate change

(责任编辑:葛晓霞)