

樱花花期变化特征及其与冬季气温变化的关系

陈正洪^{1,2}, 肖 玫³, 陈 璇²

(1. 中国气象局武汉暴雨研究所, 武汉 430074; 2. 武汉区域气候中心, 武汉 430074;
3. 武汉大学资源与环境学院, 武汉 430072)

摘要:根据对武汉大学樱园日本樱花花期连续 62a(1947~2008 年)的记录资料和同期气象资料,通过前 54a(1947~2000 年)花期变化趋势及与气候因子相关性的分析,寻找关键因子和关键期,建立了花期-气候因子的线性和非线性关系模式,为气候变化提供有力证据,并对后 8a(2001~2008 年)花期进行了预报检验。结果表明:(1)54a 来,日本樱花始花日期显著提前,每 10a 提前 2.17d,共提前 11.72d;落花期略有推迟,每 10a 推迟 0.34d,共推迟 1.83d;开花期间持续天数显著增加,每 10a 增加 2.50d,共增加 13.55d,这些指标的年际变幅后期明显增大;(2)上年 12 月到当年 3 月各月平均气温与始花期均呈负相关,其中 2 月份、冬季平均气温达极显著,是始花期显著提前的主要原因,2 月份、冬季平均气温每升高 1℃,始花期分别提前 1.66d 和 2.86d;(3)利用 2 月份、冬季平均气温建立了始花期的(非)线性关系模式,对后 8a 的始花期进行了预报试验和检验,平均误差 3d 左右,尤其是对 2004、2007 年的异常早花情况,非线性模式有较好模拟效果。

关键词:日本樱花;始花期;落花期;持续天数;气候变化;花期预报

文章编号:1000-0933(2008)11-5209-09 中图分类号:Q948 文献标识码:A

Change in flowering dates of japanese cherry blossoms (*P. yedoensis* Mats.) in Wuhan University campus and its relationship with variability of winter temperature

CHEN Zheng-Hong^{1,2}, XIAO Mei³, CHEN Xuan²

1 Wuhan Heavy Rain Institute, CMA, Wuhan 430074, China

2 Wuhan Climate Center, Wuhan 430074, China

3 College of Resource and Environmental Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(11): 5209 ~ 5217.

Abstract: Based on a dataset of flowering dates of Japanese Cherry Blossoms (*P. yedoensis* Mats.) recorded continuously in the last 62 years in Wuhan University Campus and climatic data in the same period, the authors analyze the change in first-flowering and flower fading dates and its correlation with the climatic factors, and establish the statistical models of first-flowering dates with the wintertime temperature. The analysis could not only provide a further evidence for the local climate change, but also formulate a tool for predicting the flowering dates. The results show that: (1) In the time period 1947—2000, the first-flowering dates of Japan Cherry Blossoms advance significantly at a rate of 2.17d per decade, with

基金项目:武汉区域气象中心科技发展基金重点资助项目(QY-Z-200701; QY-Z-200807)

收稿日期:2008-04-09; **修订日期:**2008-07-21

作者简介:陈正洪(1964~),男,湖北大冶人,研究员,主要从事应用气象、气候变化研究。E-mail:hbhjxq@vip.sina.com, chenzh64@126.com

致谢:武汉大学肖翊华教授及其家人提供樱花花期观测资料(1947~2008 年),特写此文以示敬意。

Foundation item: The project was financially supported by the key sci. and Tech. Fund of Wuhan Regional Meteorological center (No. QY-Z-200701; QY-Z-200807)

Received date: 2008-04-09; **Accepted date:** 2008-07-21

Biography: CHEN Zheng-Hong, Professor, mainly engaged in applied meteorology and climate change. E-mail: hbhjxq@vip.sina.com, chenzh64@126.com

an overall trend of 11.7d in the 54 years, and the fading dates postpone a little with a linear trend of about 1.83d for the same period. This makes the duration of florescence increases by 13.55d. However, the annual variability of these indices increases obviously at later stage of the period. (2) First-flowering dates have a negative correlation with average temperature of months from December to March, and the negative correlations with average temperature of February and wintertime (December to February) are statistically significant. The wintertime temperature is increasing significantly in recent years, and this is the main reason for the obvious advancement of the first-flowering dates of Japanese Cherry Blossoms. A 1°C increase in average temperature of February and wintertime will make the first-flowering dates advance by 1.66d and 2.86d respectively. (3) A linear and nonlinear statistical model of the first-flowering dates are built up with the average temperature of February and wintertime, and it has been tested against the 2001–2008 observations, with the mean error being about three days. The nonlinear model has a good performance especially for the years of 2004 and 2007 when the abnormally earlier first-flowering phenomenon occurs.

Key Words: Japan cherry blossoms (*P. yedoensis* Mats.); first-flowering dates; fading date; duration of florescence; climate change; flowering dates prediction

过去近 100a 尤其是近 20 多年来,全球平均气温显著上升,所有观测证据表明气候变暖已经对许多自然系统产生了影响^[1,2],我国也表现出类似的变化趋势和影响^[3,4]。根据物候学理论,前期气候条件如光、温、水等对植物物候早晚有重要影响^[5],其中气温是影响中国木本植物物候的主要因子^[6,7],经度、纬度、海拔高度^[8]以及局地地形地貌^[9]因可影响温度高低有时也被作为影响因子。作为自然生态系统重要组成部分的地表植物必将受到气候变暖的影响,其中最易于观测到的影响是物候期的变化^[10]。

国内外大量观测研究表明,最近几十年尤其是近 20 多年,几乎所有林木及农作物的春季物候期(如现蕾、开花、抽稍、萌芽、展叶等)均明显提前,秋季物候期则有所推迟,全年生长季延长。无论在欧洲各地^[11~17],在美国和加拿大^[18~20],在中国^[4,6,7,21~23],春季物候期提前 3~28d 不等,在日本,观测到城市热岛效应造成樱花开花期提前^[24]。

樱花是春季不可缺少的观赏性树种,武汉大学生物学院肖翊华教授自 1947 年起进行了连续 62a 樱花花期的观测,从未中断,是一份难得的长序列物候气候变化材料。根据截止 1997 年连续 51a 的日本樱花开花期资料,他发现进入 20 世纪 80 年代始花期有提前的倾向,并根据十分有限的气象资料和信息,推测此与全球气候变暖尤其是持续暖冬有关^①。这与陕西杨凌最近 10a 日本樱花花期比 20 世纪 80 年代提早 10d^[23]以及日本樱花开花期提前^[24]的结论一致。本研究将进行武汉大学樱花开花期的气候变化效应分析,从而为当地及全球气候变化提供重要证据。武汉市近年气候变暖加剧^[25],城市热岛效应更是十分显著^[26],近年则有加强加快趋势^[27],除了全球气候变化,加强的城市热岛效应必将使武汉大学的樱花开花期显著提前。

此外,树木花期预报在林果、养蜂、园林、旅游业等方面有很大的实用价值。根据花期与气候(主要是前期气温)的关系,就可开展花期预报,目前我国对牡丹^[28]、桂花^[29]、梨花^②、桃花^[30,31]、迎春花^[32]等物种的开花期进行了预报。武汉大学樱花闻名中外,每到樱花盛开时节,武汉大学的樱花大道花雨纷飞,游人如织。本研究还将分析樱花花期变化特征,找出影响花期迟早的关键气候因子和关键期,建立花期-气候关系式,开展花期预报,以指导人们合理安排时间观赏樱花以及校方的樱花旅游管理工作。

1 资料与方法

1.1 资料

观测样本和时间:该校的樱花以日本樱花为主,有早樱花、垂枝樱花、晚樱花等 6 种,观测固定于日本樱花

① 肖翊华,刘文芳,肖玫. 珞珈山日本樱花五十年的开花期与气温变化的关系. 湖北省植物生理学会第十一次学术讨论会,1997 年 12 月

② 吴秀芝,李瑞林. 砀山县梨花盛开气象条件及其服务. 安徽气象,1998,(2):46~47

(*P. yedoensis* Mats.)。从武汉大学老斋舍(现樱园)1939年栽植的28棵日本樱花树开始,1957、1985年曾补栽一部分,20世纪90年代后不断进行过补充、更新。

观测时间:1947~2008年持续62a。每年3~4月份间进行观测。

观测项目:始花期、落花期。始花期标准为每株树有3~5朵花开放,落花期标准为每株树花落70%~80%。

观测人员:肖翊华,刘文芳、肖玫,陈权龙参加了部分时间的记录。

气象资料为武汉市气象站同期逐月平均气温。

1.2 方法

将始花期、落花期转换为日序数(从每年1月1日记为1,1月2日记为2,⋯,余类推),并计算始花至落花期的持续天数(花期天数)。从而得到始花期、落花期、花期天数等3个物候期的62a完整序列。

其中1947~2000年共54a资料用于花期及其变化特征分析和建立花期-气温拟合模式,2001~2008年共8a资料用于模式预测效果的独立样本检验。

求取每个物候期(日序数)的多年或每10a间的平均值、最早和最晚日期或最长和最短天数,均方差,变化趋势,及与上年4月~当年3月逐月平均气温、冬季(上年12月~2月份)平均气温的相关系数,寻找花期对温度高低的敏感期,建立物候期(日序数)与关键期平均气温的线性和非线性回归方程。

根据后8a关键期的实际气温代入方程,便可得到逐年的预测物候期(日序数),与实际情况相比较,可以检验方程拟合效果。

2 结果分析

2.1 始花期基本特征与变化趋势分析

54a平均结果表明,武汉地区日本樱花平均始花期的日序数是78.5,对应日期平年是3月19~20日,闰年为3月18~19日。

最早是3月6日(1987、1997年),此外3月10日前出现的还有4a,分别是3月9日(1977、1995年)、3月10日(1992、1993年),6a中有5a是连续暖冬开始年1986年之后。

最晚为4月4日(1969年),其次是3月31日(1980年),3月28日(1985年),3月25日有两年(1949、1984年),这5a均出现在连续暖冬开始年1986年之前。

图1为1947~2000年期间始花期日序数逐年变化与线性拟合结果。54a间,始花期日序数有两个明显的变化特点:一是显著减少趋势,速率为每10a减少2.17d,总共减少11.72d,也就是花期提前约12d;二是从20世纪60年代中后期开始变率明显加大,最早、最晚都出现在此后。

始花期每10a基本特征见表1,可见最早始花期逐步提前,后4a与第1个10a比,已提前15d;最晚始花期前20a较稳定,中间20a最迟,此后(从20世纪80年代中期起)逐步提前,后4a与之相比,已提前14d。而每10a平均数据表明,日序数在前30a稳定在80~82之间,即平均始花期为3月20~22日,日序数从20世纪70年代中期开始就明显减小,后4a与之相比,已经减小10左右,即平均始花期为3月12日左右,提前了8~10d。

均方差大小则可以表示始花期的稳定性程度,前20a始花期很稳定,多数年与平均日期一般相差不过1

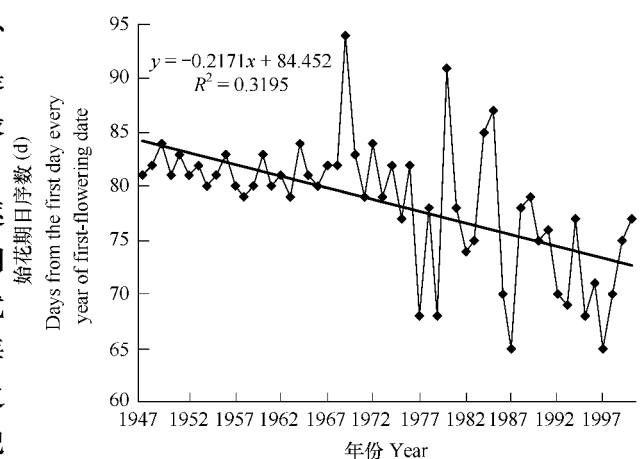


图1 武汉大学日本樱花始花期日序数逐年变化与线性拟合图(1947~2000)

Fig. 1 The yearly change of days from the first day every year of first-flowering date for Japanese Cherry Blossoms (*P. yedoensis*) in Wuhan University and its linear fitting(1947~2000)

~2d(最早与最晚只差4d),而从20世纪60年代中期开始,均方差显著增大,多数年与平均日期可相差5~8d(最早与最晚可差10~16d)。

表1 武汉大学日本樱花始花期基本特征的逐年代差异与变化(1947~2000年)

Table 1 The yearly difference and change of basic properties of first-flowering dates for Japanese Cherry Blossoms (*P. yedoensis* Mats.) in Wuhan University (1947–2000)

年间	最早的始花期 (月-日)	最晚的始花期 (月-日)	平均始花期 日序数(d)	平均始花期 (月-日)	始花期日序数 均方差(d)
1947~1956	03-21	03-25	81.8	03-21 ± 1	1.3
1957~1966	03-20	03-24	80.7	03-20 ± 1	1.6
1967~1976	03-18	04-04	82.4	03-22 ± 1	4.6
1977~1986	03-09	03-31	77.4	03-18 ± 1	8.1
1987~1996	03-06	03-20	72.8	03-13 ± 1	4.8
1997~2000	03-06	03-17	71.8	03-12 ± 1	5.4

年间 Period; 最早的始花期 The earliest first-flowering date(m/d); 最晚的始花期 The latest first-flowering date(m-d); 平均始花期日序数 The average days from the first day every year of first-flowering date; 平均始花期 The average first-flowering date(m-d); 始花期日序数均方差 Deviation of days from the first day every year of first-flowering date

2.2 落花期基本特征与变化趋势分析

54a 平均结果表明,武汉大学日本樱花平均落花期的日序数是 92.5,对应日期平年是 4 月 2~3 日,闰年为 4 月 1~2 日。

最早是 3 月 20 日(1977 年),此外 3 月 29 日前出现的还有 5a,分别是 3 月 25 日(1993 年)、3 月 26 日(1996 年)、3 月 27 日(1979、1986 年)、3 月 29 日(1978 年),6a 中有 4a 是连续暖冬开始年 1986 年之前。

最晚为 4 月 16 日(1969 年),其次是 4 月 15 日(1980、1996 年),4 月 10 日(1998、1999)、4 月 9 日(1985 年)、4 月 7 日(1976、2000 年),这 8a 中连续暖冬开始年 1986 年前后各 4a。

图 2 为 1947~2000 年期间落花期日序数逐年变化与线性拟合结果。54a 间,落花期日序数主要表现为从 20 世纪 60 年代中后期开始变率明显加大,最早、最晚都出现在此后,这一点与始花期是一致的。但不同的是虽有线性增加趋势,但不明显,速率为每 10a 增加 0.338d,总共增加 1.83d,也就是花期延迟约 2d。

落花期每 10a 基本特征如见表 2,可见最早落花期提前,后 3 个时段与前 3 个时段相比,提前 3~12d;最晚落花期前 20a 较稳定,均为 4 月 4 日,后 4 个时段则明显推迟,推迟 6~12d。而每 10a 平均落花期变化很小,相差不过 1~5d。

落花期日序数均方差则呈逐步增大趋势,前 20a 变化不大,多数年与平均日期一般相差不过 1~2d(最早与最晚只差 4d),而从 20 世纪 60 年代中期开始尤其是 20 世纪 80 年代中期,均方差显著增大,多数年与平均日期可相差 3~7d(最早与最晚可差 6~14d)。

2.3 花期天数基本特征和变化趋势

54a 平均结果表明,武汉大学日本樱花平均花期天数为 15.0d。

最短是 9d(1965、1984 年),此外 10d 的还有 7a,分别是 1947、1949、1951、1953、1960、1962、1967 年,均为连续暖冬开始年 1986 年之前。

最长为 36d(1996 年),此外大于 20d 的还有 9a,分别是(1983、1987、1991、1992、1995、1997、1998、1999、

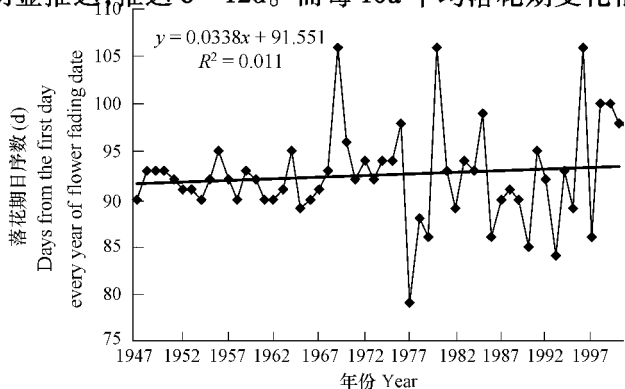


图2 武汉大学日本樱花落花期日序数逐年变化与线性拟合图(1947~2000年)

Fig. 2 The yearly change of days from the first day every year of flower fading dates for Japanese Cherry Blossoms (*P. yedoensis* Mats.) in Wuhan University and its linear fitting(1947–2000)

2000 年),除 1983 年外,均出现在连续暖冬开始年 1986 年之后。

表 2 武汉大学日本樱花落花期基本特征的逐年代差异与变化(1947~2000)

Table 2 The yearly difference and change of basic properties of flower fading dates for Japanese Cherry Blossoms (*P. yedoensis* Mats.) in Wuhan University (1947–2000)

年间	最早的落花期 (月-日)	最晚的落花期 (月-日)	平均落花期 日序数	平均落花期 (月-日)	落花期日序数 均方差(d)
1947~1956	03-31	04-04	92	04-02±1	1.3
1957~1966	03-30	04-04	91.2	04-01±1	1.6
1967~1976	04-01	04-16	95	04-05±1	2.3
1977~1986	03-20	04-15	91.3	04-01±1	3.5
1987~1996	03-25	04-15	91.5	04-01±1	7.3
1997~2000	03-27	04-10	96	04-06±1	4.8

年间 Period; 最早的落花期 The earliest flower fading date(m-d); 最晚的落花期 The latest flower fading date(m-d); 平均落花期日序数 The average days from the first day every year of flower fading date; 平均落花期 The average flower fading date(m-d); 落花期日序数均方差 Deviation of days from the first day every year of flower fading date

图 3 为 1947~2000 年花期天数逐年变化与线性拟合结果。54a 间,花期天数也有两个明显的变化:一是显著增多趋势,速率为每 10a 增加 2.5d,总共增加 13.5d,也就是赏花期延长约 13.5d;二是从 20 世纪 80 年代开始变率明显加大,最长花期出现在此后。加上校园内樱花品种越来越多,开花习性(早晚)不同,因此人们可以有更长的观赏期。

花期天数每 10a 基本特征如见表 3,可见最短花期变化较小、一直到 20 世纪 90 年代后期突然增多;最长花期从 20 世纪 60 年代就开始增多,在 1980 中后期则显著增多,最长为 36d,与第 1 个 10a 比,已增多 1.4~1.7 倍。花期天数在 1986 年前有缓慢增加,每年代增加 1d 左右;此后急剧增加,每年代增加 5d 左右。最后和最早一个时段比,平均花期增加了 13.7d。由于落花期只略有延迟,花期延长主要由始花期提前所致。

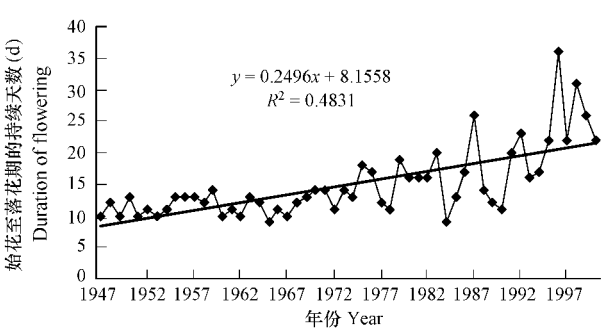


图 3 武汉大学日本樱花花期天数逐年变化与线性拟合图(1947~2000 年)

Fig. 3 The yearly change of duration of flowering for Japanese Cherry Blossoms (*P. yedoensis* Mats.) in Wuhan University and its linear fitting(1947–2000)

表 3 武汉大学日本樱花花期天数基本特征的逐年代差异与变化(1947~2000 年)

Table 3 The yearly difference and change of basic properties of duration of flowering for Japanese Cherry Blossoms (*P. yedoensis* Mats.) in Wuhan University (1947–2000)

年间 Period	最短花期 the shortest duration of flowering(d)	最长花期 the longest duration of flowering(d)	平均花期天数 the average duration of flowering(d)	花期天数均方差 deviation of duration of flowering(d)
1947~1956	10	13	11.3±1	1.3
1957~1966	9	14	11.5±1	1.6
1967~1976	10	17	13.6±1	2.5
1977~1986	9	20	14.9±1	3.5
1987~1996	11	36	19.7±1	7.5
1997~2000	20	31	25.3±1	4.3

均方差大小则可以表示花期的稳定性程度,与平均花期天数一样,花期天数也经历了缓升—急升的变化,转折点在 20 世纪 80 年代中后期。前 30a 里,多数年花期与平均花期一般相差不过 1~2d(最早与最晚只差 3

~4d), 而从 20 世纪 70 年代中后期开始, 均方差显著增大, 多数年与平均日期可相差 4~7d (最早与最晚可差 8~15d)。

由于始花期、花期天数的变幅急剧增大, 为了指导人们合理安排时间观赏樱花以及校方的樱花旅游管理工作, 开展始花期和花期长度预报就显得更加必要。

2.4 始花期与前期气温变化的关系

相关分析表明(表 4), 始花期日序数与上年 12 月~当年 3 月份等 4 个月平均气温为负相关, 与上年 11 月份以前的气温不相关。其中与上年 12 月份平均气温为弱的负相关, 从 1 月份开始, 始花期日序数与气温的相关性显著增加, 其中与 2 月相关性极显著。从而与冬季平均气温也是极显著。

表 4 武汉大学日本樱花始花期与前期气温的相关系数(1947~2000 年)

Table 4 The correlation coefficient between first-flowering dates for Japanese Cherry Blossoms (*P. yedoensis* Mats.) in Wuhan University and the temperature in the previous period (1947~2000)

时间 Period	上年 Last year						当年 This year			冬季 Winter
	7 月 July	8 月 Aug.	9 月 Sept.	10 月 Oct.	11 月 Nov.	12 月 Dec.	1 月 Jan.	2 月 Feb.	3 月 May	
相关系数 correlation coefficient	-0.02	-0.02	0.00	-0.11	0.05	-0.17	-0.27 *	-0.52 ***	-0.27 *	-0.50 ***

冬季为上年 12 月~当年 2 月份平均 Average from Dec. to Feb.; *, **, *** 表示分别通过 0.05、0.001 的信度检验 Means reliability of 95%, 99.9%

1947~2000 年间, 冬季、2 月平均气温呈现明显增加趋势, 尤其是 2 月平均气温进入 20 世纪 90 年代以后明显加速, 冬季每 10a 升高 0.27℃, 2 月每 10a 升高 0.33℃, 不过从 54a 来看冬季平均气温升温更显著(图 4)。

1947~2000 年间的始花期日序数与冬季、2 月平均气温相关、曲线拟合情况见图 5 和图 6。显然这两个时段气温高则日序数小, 开花早, 气温低则日序数大, 开花晚。线性拟合结果表明, 冬季平均气温每升高 1℃, 日序数将减少 2.86, 开花提前 2.86d。2 月份则是平均气温每升高 1℃, 日序数将减少 1.66, 开花提前 1.66d, 当平均气温超过 7.2℃, 开花期将加快提前; 当平均气温低于 2℃, 开花期将大大延迟。所以对 2 月用 3 次方程拟合取得比线性更好的效果:

具体方程如下:

始花期日序数(y)与冬季平均气温(x_1)的回归方程

$$Y = -0.286x_1 + 92.346 \quad (r=0.50, a=0.001) \quad (1)$$

始花期日序数(y)与 2 月平均气温(x_2)的回归方程

$$Y = -0.166x_2 + 87.595 \quad (r=0.52, a=0.001) \quad (2)$$

$$Y = -0.00005x_2^3 + 0.0067x_2^2 - 0.388x_2 + 88.466 \quad (r=0.53, a=0.001) \quad (3)$$

2.5 利用前期气温对始花期预报检验

利用以上拟合方程, 和每年 2 月或冬季平均气温, 就可以推算出 2001~2008 年每年的始花期、花期天数, 并与实际观测结果对比, 平均误差为 3d 左右。尤其是对 2004、2007 年的异常早花情况, 非线性模式有较好效果(表 5)。

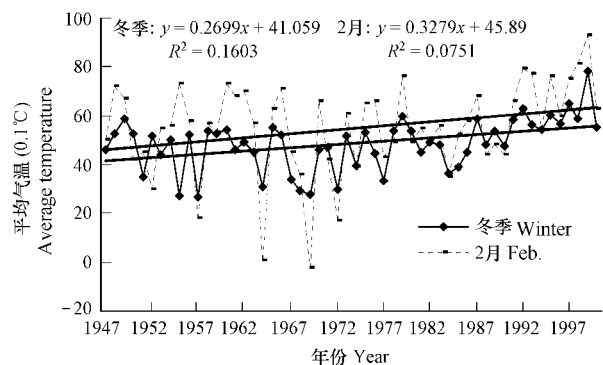


图 4 武汉市冬季、2 月平均气温逐年变化图(1947~2000)

Fig. 4 The yearly change of average temperature for winter and Feb. in Wuhan and its linear fitting (1947–2000)

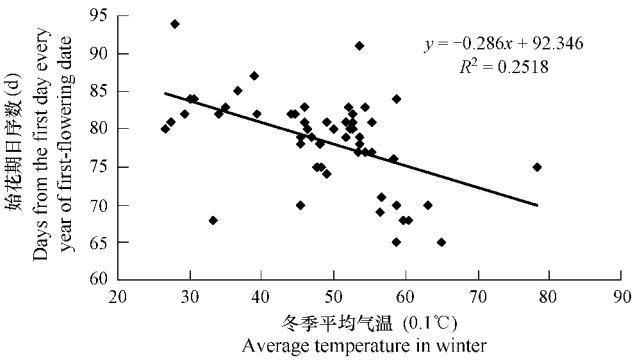


图5 武汉大学日本樱花始花期日序数与冬季平均气温相关、线性拟合图(1947~2000年)

Fig. 5 The yearly change of days from the first day every year of first-flowering dates for Japanese Cherry Blossoms (*P. yedoensis* Mats.) in Wuhan University and its correlation and linear fitting with average temperature in winter(1947—2000)

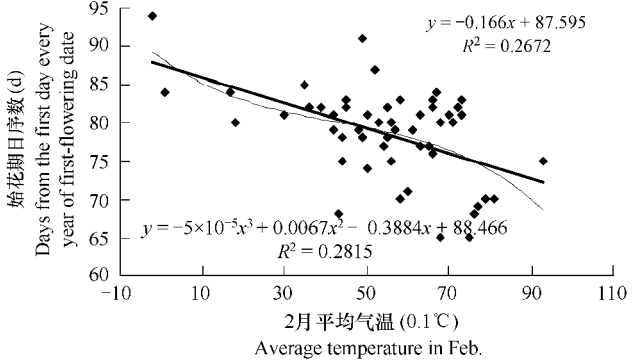


图6 武汉大学日本樱花始花期日序数与2月平均气温相关、曲线拟合图(1947~2000年)

Fig. 6 The yearly change of days from the first day every year of first-flowering date for Japanese Cherry Blossoms (*P. yedoensis*) in Wuhan University and its correlation and linear fitting with average temperature in Feb. (1947—2000)

表5 武汉大学日本樱花始花期、花期天数推算与检验(2001~2008年)

Table 5 Calculating and testing for first-flowering dates and duration of flowering for Japanese Cherry Blossoms (*P. yedoensis* Mats.) in Wuhan University(1947—2000)

年份 Year	冬季平均气温 x_1 和距平 ¹⁾ (℃)	2月平均气温 和距平 x_2 ²⁾ (℃)	式(1)推算的 始花期日序数 和日期(月-日) ³⁾	式(2)推算的 始花期日序数 和日期(月-日)	式(3)推算的 始花期日序数 或日期(月-日)	实测始花期 日序数、日期 (月-日) ⁴⁾	式(3)推算结 果与实测结 果之差(d) ⁵⁾
2001	6.4(1.2)	6.9(1.8)	74.0(03-14~15)	76.1(03-16~17)	77.1(03-17~18)	70(03-11)	6
2002	7.2(2.0)	10.0(4.2)	71.8(03-12~13)	71.0(03-11~12)	66.6(03-07~8)	69(03-10)	-2
2003	5.9(0.7)	7.1(1.3)	75.5(03-15~16)	75.8(03-15~16)	76.8(03-17~18)	79(03-20)	-2
2004	7.2(2.0)	11.2(5.4)	71.8(03-11~12)	69.0(03-09~10)	58.8(02-27~28)	57(02-26)	1
2005	4.9(-0.3)	3.6(-2.2)	78.3(03-19~20)	81.6(03-22~23)	80.8(03-21~22)	86(03-27)	-5
2006	5.3(0.1)	5.8(0)	77.2(03-18~19)	78.0(03-18~19)	78.7(03-19~20)	77(03-18)	1
2007	7.3(2.1)	10.7(4.9)	71.5(03-12~13)	69.8(03-10~11)	62.4(03-3~4)	61(03-02)	1
2008	4.7(-0.5)	5.0(-0.8)	78.9(03-18~19)	79.5(03-19~20)	79.6(03-19~20)	71(03-12)	7

气温距平是相对于1971~2000年30a平均值 Temperature difference is real value minus average value from 1971~2000(30a); 1) Average temperature x_1 in winter and its difference(℃); 2) Average temperature x_2 in Feb. and its difference(℃); 3) Days from the first day of the year and date of first-flowering date(m-d) calculated from formula (1); 4) Days from the first day of the year and date of first-flowering date(m-d) recorded; 5) Difference between the calculated by formula (3) and the recorded

3 小结与讨论

根据1947~2000年间连续54a对武汉大学樱园日本樱花花期的记录资料及同期气象资料的研究分析表明:

- (1)日本樱花平均始花期为3月18~20日,平均落花期为4月1~3日,持续天数平均为15d。最早始花期、最长持续天数都出现在1987年以后,而最晚始花期、最短持续天数都出现在1984年以前。
- (2)平均始花期显著提前约12d;落花期延后约2d,因此始花至落花期的持续天数显著增加达2周左右。前20或30a,始花期、落花期以及持续天数都比较稳定,后期变幅明显加大。
- (3)始花期与上年12月~当年3月份各月平均气温为负相关,与上年11月份以前各月平均气温不相关。离始花期越近,相关越显著,其中与2月份、冬季平均气温相关系数最大;2月份、冬季平均气温每升高1℃,始花期分别提前1.66d和2.86d;前54a,武汉市2月份、冬季平均气温则已显著升高,每10a升幅分别为0.43℃、0.31℃,它们是樱花始花期显著提前的主要原因,从而证明樱花花期可较明确的反映武汉市冬季、早

春季气温升高的事实。

(4) 利用 2 月份、冬季平均气温建立了始花期的(非)线性拟合方程,对 2001~2008 年的始花期进行了预报试验和检验,平均误差在 3d 左右。尤其是对 2004、2007 年的异常早花情况,非线性模式有较好效果。如果能考虑 3 月 1 日至开花前的气温异常情况,误差会进一步缩小。

进入 21 世纪,由于冬季气温出现大幅波动,2001~2008 年始花期也出现大幅波动,最早竟然出现在冬季,即 2004 年 2 月 26 日。按线性趋势计算,加上最近 8a,1947~2008 年 62a 来,武汉大学日本樱花始花期每 10a 提前 2.22d,共提前 13.79d(两周),比 2000 年前又提前了 2d。以上结果充分证明,受全球气候变化以及城市热岛效应的共同影响,武汉大学日本樱花的物候季节已出现大幅提前,如果未来气温继续升高,在武汉春天开花的日本樱花将频繁地在冬天开放。

References:

- [1] IPCC. Summary for Policymakers of Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [2] IPCC. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 2007.
- [3] Ding Y H, Ren G Y, Shi G Y, *et al.* National assessment report of climate change(I): climate change in China and its future trend. *Advances in Climate Change Research*, 2006, 2(1): 3—8.
- [4] Lin E D, Xu Y L, Jiang J H, *et al.* National assessment report of climate change(II): Climate change impacts and adaptation. *Advances in Climate Change Research*, 2006, 2(2): 51—56
- [5] Zhu K Z, Wan H M. Phenology. Beijing: Scientific Press, 1984.
- [6] Zhang F C. Effects of global warming on plant phenological events in China. *Acta Geographica Sinica*, 1995, 50(5): 402—410.
- [7] Xu Y Q, Lu P L, Yu Q. Impacts of climate change on first-flowering dates of *Robinia pseudoacacia* L. and *Syringa amurensis* Rupr. in China. *Journal of Beijing Forestry University*, 2004, 26(6): 94—97.
- [8] Chen Z H. Phenological characteristics of tong oil trees in the eastern subtropical hills and mountains of China. *Scientia Geographica Sinica*, 1991, 11(3): 287—294.
- [9] Chen Z H, Yang h Q, Ni G Y. The cold and hot damage to the citrus in the Three Gorges area of the Changjiang River. *Chinese Geogrp hic Science*, 1994, 4(1): 66—78.
- [10] Lu P L, Yu Q, He Q. Responses of plant phenology to climatic change. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(3): 923—929.
- [11] Menzel A, Fabian P. Growing season extended in Europe. *Nature*, 1999, 397: 659.
- [12] Menzel A, Estrella N, Fabian P. Spatial and temporal variability of the phenological seasons in Germany from 1951—1996. *Globe Change Biology*, 2001, 7: 657—666.
- [13] Ahas R, Aasa A, Menzel A, *et al.* Changes in european spring phenology. *International Journal of Climatology*, 2002, 22: 1727—1738.
- [14] Frank M, Chmielewski, Antje M, *et al.* Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961—2000. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2004, 121(1): 69—78.
- [15] Ahas R, Jaagus J, Aasa A. The phenological calendar of Estonia and its correlation with mean air temperature. *International Journal of Biometeorology*, 2000, 4(4): 159—161.
- [16] Pefiuelas J, Filella I. Phenology: responses to a warming world. *Science*, 2001, 294: 793—795.
- [17] Walkowszky A. Changes in phenology of the locust tree(*Robinia pseudoacacia*) in Hungary. *International Journal of Biometeorology*, 1998, 41: 155—160.
- [18] Bradley N L, Leopold A C, Ross J, *et al.* Phenological changes reflect climate change in Wisconsin. *Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*, 1999, 96: 9701—9704.
- [19] Shetler S, Abu-Asab M, Petemon P, *et al.* Earlier plant flowering in spring as a response to global warming in the Washington DC area. *Biodiversity and Conservation*, 2001, 10: 597—12.
- [20] Beaubien E G, Freeland H J. Spring phenology trends in Alberta, Canada: links to ocean temperature. *International Journal of Biometeorology*, 2000, 44: 53—59.
- [21] Liu J, Zheng Y F, Zhao G Q. Responses of phenology to climate change in Zhengzhou area. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(4): 1471—1479.
- [22] Chen X Q, Zhang F C. Spring phonological change in Beijing in the last 50 years and its response to the climatic changes. *Chinese Journal of*

Agrometeorology, 2001, 22(1): 1—5.

- [23] Luo J. Evolution of the florescence of Japanese flowering cherry and its indication meanings in the last 30 years in Yangling Shaanxi. Journal of Northwest A & F University(Nat. Sci. Ed.), 2007, 35(11): 165—170.
- [24] Cmoto Y, Aono Y. Estimation of change in blooming dates of flower by urban warming. Journal of Agricultural Meteorology, 1990, 46(3): 123—129.
- [25] Chen Z H. The diagnosis and analysis of abrupt changes in mean the temperature during 20th century in Wuhan and Yichang. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2000, 9(1): 56—62.
- [26] Ren G Y, Chu Z Y, Chen Z H, *et al.* Implications of temporal change in urban heat island intensity observed at Beijing and Wuhan stations. Geographic Research Letters, VOL. 34, 105711, doi:10.1029/2006GL027927, 2007
- [27] Chen Z H, Wang H J, Ren G Y. Asymmetrical change of urban heat island intensity in Wuhan, China. Advances in Climate Change Research, 2007, 3(5): 282—286.
- [28] Wei X L, Kong F Z, Zhang Z H. The long term prediction of the flowering date of the peonies in Hezhe, Shangdong. Meteorological Monthly, 2001, 27(6): 55—57.
- [29] Jiang J M, Zhu M, Lou M Y. The relationship between the flowering date of May Flower (*Osmanthus fragrans*) and the previous meteorological condition. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2002, (5): 225—227.
- [30] Zhang X Y, Hu D Y. Prediction of Peach-Blossom flowering phase. Journal of Beijing Forestry University, 1995, 17(4): 88—93.
- [31] Li J. Long-term forecasting model of the beginning date of Peach Flowering. Acta Botanic Boreali-occidentia Sinica, 2005, 25(9): 1876—1878.
- [32] Che S J, Zhao S L, Zhi L H. Forecast of beginning of flowering period of Winter Jasmine (*Jasminum nudiflorum* L.). Chinese Journal of Agrometeorology, 2004, 25(3): 70—73.

参考文献:

- [3] 丁一汇, 任国玉, 石广玉, 等. 气候变化国家评估报告(I): 中国气候变化的历史和未来趋势. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 3~8.
- [4] 林而达, 许吟隆, 蒋金荷, 等. 气候变化国家评估报告(II): 气候变化的影响与适应. 气候变化研究进展, 2006, 2(2): 51~56.
- [5] 竺可桢, 宛敏渭. 物候学, 北京: 科学出版社, 1984.
- [6] 张福春. 气候变化对中国木本植物物候的可能影响. 地理学报, 1995, 50(5): 402~410
- [7] 徐雨晴, 陆佩玲, 于强. 气候变化对我国刺槐、紫丁香始花期的影响. 北京林业大学学报, 2004, 26(6): 94~97.
- [8] 陈正洪. 中国亚热带东部丘陵山区油桐物候特征分析. 地理科学, 1991, 11(3): 287~294.
- [10] 陆佩玲, 于强, 贺庆棠. 植物物候对气候变化的响应. 生态学报, 2006, 26(3): 923~929.
- [21] 柳晶, 郑有飞, 赵国强. 郑州植物物候对气候变化的响应. 生态学报, 2007, 27(4): 1471~1479.
- [22] 陈述述, 张福春. 近 50 年北京春季物候的变化及其对气候变化的响应. 中国农业气象, 2001, 22(1): 1~5.
- [23] 罗佳. 陕西杨凌近 30 年来日本樱花花期. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2007, 35(11): 165~170.
- [25] 陈正洪. 武汉、宜昌 20 世纪平均气温突变的诊断分析. 长江流域资源与环境(学报), 2000, 9(1): 56~62.
- [27] 陈正洪, 王海军, 任国玉. 武汉市热岛强度非对称变化趋势研究. 气候变化研究进展, 2007, 3(5): 282~286.
- [28] 魏秀兰, 孔凡中, 张宗灏. 菏泽牡丹开花期的长期预报. 气象, 2001, 27(6): 55~57.
- [29] 姜纪红, 朱明, 楼茂园, 等. 桂花开花与花期气象条件的关系. 浙江农业科学, 2002, (5): 225~227.
- [30] 张秀英, 胡东燕. 桃花花期预报的探讨. 北京林业大学学报, 1995, 17(4): 88~93.
- [31] 李军. 桃始花期的长期预报模型. 西北植物学报, 2005, 25(9): 1876~1878.
- [32] 车少静, 赵士林, 智利辉. 迎春始花期预报方法的研究. 中国农业气象, 2004, 25(3): 70~73.