

陈星宇,王 冰,董宛麟,等. 1994—2015 年福山区苹果花期物候变化及其气候影响因子分析[J]. 江苏农业科学,2020,48(24):135–139.  
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2020.24.026

# 1994—2015 年福山区苹果花期物候变化 及其气候影响因子分析

陈星宇<sup>1,2</sup>, 王 冰<sup>1,2</sup>, 董宛麟<sup>3</sup>, 王晓晨<sup>4</sup>

(1. 山东省烟台市气象局, 山东烟台 264003; 2. 烟台果业气象服务中心, 山东烟台 264006;  
3. 中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081; 4. 中国农业大学资源与环境学院农业气象系, 北京 100193)

**摘要:**研究植物花期物候变化对园林管理、农业措施管理、花期预报具有重要意义。基于 1994—2015 年山东省烟台市福山区苹果物候期观测数据,定量分析苹果花期物候(始花期、末花期、花期长度)年际变化特征,并基于年尺度、月尺度和候尺度花前气候要素对苹果花期物候的影响。结果表明,苹果始花期、末花期没有显著的年际变化。苹果始花期有 50% 概率集中在 4 月 16—20 日。花期长度平均为  $(9 \pm 2.6)$  d,年际间呈显著的延长趋势( $P < 0.05$ )。苹果始花期与花前总降水量、总气温日较差呈显著正相关、与负积温呈显著负相关。苹果始花期与 1、2、3、1—3 月的平均温度、平均最低温度、平均最高温度呈显著负相关性。苹果始花期与距花前 4 候逐候的总气温日较差呈显著相关性,与距花前 1—4 候总降水量呈显著正相关。花期长度与花期总气温日较差和降水量呈显著正相关。

**关键词:**物候期;花期长度;降水量;总气温日较差;气候影响因子;苹果

**中图分类号:** S162.5<sup>+</sup>5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2020)24–0135–05

植被物候是气候与自然环境变化综合指示器,国际上许多环境影响评价项目广泛采用物候期指标,

同时在很大程度上受局部气候因素的制约。植物的始花期、盛花期、末花期和花期长度的年际变化及其气候因素的影响是花期物候研究的主要内容<sup>[1]</sup>。

气候变化背景下植物物候的研究越来越受到重视,以变暖为主要特征的气候变化对植被生长发育产生了重大影响<sup>[2–3]</sup>。华北地区是我国气温上升较为明显的地区<sup>[4]</sup>,对植被物候产生了重要影响<sup>[5–6]</sup>。华北地区的物候春季有明显提早来临的趋势,主要是由于近 40 年来冬春季气温的明显上升<sup>[7]</sup>。由于温度的升高,在过去 40 年中有 385 种植

收稿日期:2020–02–28

基金项目:国家重点研发计划(编号:2018YFA0606102);山东省现代农业气象服务保障工程(编号:sdqxm2015015);山东省气象局气象科学技术面上研究项目(编号:2018sdqxm15)。

作者简介:陈星宇(1981—),男,内蒙古赤峰人,硕士,高级工程师,主要从事农业气象与气象防灾减灾研究。E-mail:18753562667@163.com。

通信作者:董宛麟,博士,高级工程师,主要从事气候与农业技术服务。E-mail:dongwanlin2007@163.com。

长的初步变化[J]. 草业科学,2018,35(11):2694–2703.

[6] 龚自明,李传忠,向常均,等. 间作和施肥对新定植茶苗生长的影响[J]. 茶业通报,2002,24(1):19–20.

[7] 吕小营,欧阳石光,张丽霞. 山东新建茶园间作花生与春玉米的效应比较[J]. 山东农业科学,2011(8):29–32.

[8] 经苏龙. 仪征市工程地质区划[J]. 水文地质工程地质,1995(4):14–15.

[9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.

[10] 张 洪,张孟婷,王福楷,等. 4 种间作作物对夏秋季茶园主要叶部病害发生的影响[J]. 茶叶科学,2019,39(3):318–324.

[11] 黎健龙,涂攀峰,陈 娜,等. 茶树与大豆间作效应分析[J]. 中国农业科学,2008,41(7):2040–2047.

[12] Jensen E S. Grain yield, symbiotic N<sub>2</sub> fixation and interspecific

competition for inorganic N in pea–barley intercrops[J]. Plant and Soil,1996,182(1):25–38.

[13] 夏海勇,李 隆,张 正. 间套作体系土壤磷素吸收优势和机理研究进展[J]. 中国土壤与肥料,2015(1):1–6.

[14] 周 领. 秸秆类型和土壤性质对 CO<sub>2</sub>–C 释放速率和土壤 pH 影响的研究[D]. 杭州:浙江大学,2010.

[15] 丛艳静,韩 萍. 连续 3 年玉米秸秆还田对土壤理化性状及作物产量的影响[J]. 中国农学通报,2018,34(17):95–98.

[16] 刘荣乐,金继运,吴荣贵,等. 我国北方土壤—作物系统内钾素循环特征及秸秆还田与施钾肥的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2000,6(2):123–132.

[17] 吕 彪,秦嘉海,赵芸晨. 麦秸覆盖对盐渍土肥力及作物产量的影响[J]. 土壤,2005,37(1):52–55.

物始花期提前了 4.5 d<sup>[8]</sup>。在加拿大,19 种植物中有 18 种植物的始花期在 2001—2012 年提前了<sup>[9]</sup>。在美国东北部地区的 72 个站点中,有 89% 的站点丁香始花期在 1965—2001 年呈提前趋势<sup>[10]</sup>。虽然大量研究揭示了全球各地植物始花期的变化趋势与气候因子之间的关系,但基于月和候尺度气候要素对植物开花期变化的影响研究较少。

花期长度变化影响植物的繁殖和进化,进而影响植物生物量或产量。陶泽兴等研究指出,在中国华北、西南和华南地区,大多数物种的花期长度呈延长趋势<sup>[11]</sup>。Črepinšek 等发现,在斯洛文尼亚东北部地区,1994—2007 年期间大多数品种的榛树花期长度比气候相对较冷的 1969—1979 年期间更短<sup>[12]</sup>。当前虽然关于植物花期长度变化趋势的研究有一定积累,但关于影响植物花期长度的气候因素变化的研究较少。

苹果是我国传统的优势经济作物,山东是我国苹果的主产区之一。在全球气候变暖和生产技术发生变化的情况下,研究分析气候变化对苹果花期物候的影响,有助于寻找应对气候变化提高苹果产量的办法。因此,基于 1994—2015 年山东省烟台市福山区苹果物候期观测数据,定量分析苹果花期物候的年际变化特征,并基于年尺度、月尺度和候尺度气候要素变化对苹果花期物候(始花期、末花期、花期长度)的影响,探讨影响其变化的主要气象因子。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

山东省烟台市福山区(121.25°E、37.50°N)属于暖温带大陆性季风气候,四季变化和季风进退都较明显,与同纬度内陆地区相比,雨量适宜,年温适中,光照充足。全区年平均气温 12.7℃,年平均降水量为 605 mm,年平均日照时数 2 610 h,年平均相对湿度 64%,年平均风速 3~4 m/s,全区平均无霜期 222 d。

苹果开花期物候数据来自山东省烟台市福山区农业气象观测站 1994—2015 年苹果物候期观测数据,苹果品种为红富士,为烟台市当前主要苹果品种之一。福山区 1994—2015 年逐日气象观测数据来自山东省烟台市福山区气象局。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 花期物候观测

根据《农业气象观测规范》

规定,开花期物候观测分为始花期、盛花期、末花期。

1.2.2 物候资料处理 采用儒略日(julian days)换算方法将物候观测记录中物候期出现的日期转化为距当年 1 月 1 日的时间,以天数计,建立其物候期的时间序列。

1.2.3 气候资料处理 负积温指日平均气温 <0℃ 的日平均气温总和。正积温指日平均气温 ≥0℃ 的日平均气温总和。花前气候因子值指从当年 1 月 1 日开始到苹果始花期这段时间的相应数值。

1.2.4 变异系数 指标准差与均值的比值,用来比较不同观测序列离差程度,变异系数越大,说明要素变化越大、越不稳定。计算公式如下:

$$s_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2; \quad (1)$$

$$CV = \frac{s_n}{\bar{x}} \times 100\%。 \quad (2)$$

式中: $s_n$  为均方差; $x_i$  为第  $i$  年要素值; $\bar{x}$  为平均值。

### 1.3 数据分析方法

采用 Excel 2010 进行数据整理计算,并对试验数据进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 苹果开花期年际变化

由图 1-A 可知,苹果始花期平均日序为 (112 ± 1.5) d(4 月 22 日),年际间没有显著的变化趋势。最早始花期日序是 93 d(2002 年 4 月 3 日),最晚始花期日序是 125 d(2010 年 5 月 5 日)。由图 1-B 可知,苹果末花期平均日序为 (121 ± 1.5) d(5 月 1 日),年际间没有显著性变化趋势。最早末花期日序为 101 d(2002 年 4 月 11 日),最晚末花期日序为 132 d(2010 年 5 月 12 日)。

### 2.2 基于候尺度苹果始花期出现概率变化

由图 2 可知,从候尺度角度,苹果始花期有 50% 的概率集中在第 22 候即 4 月 16—20 日,有 23% 的概率集中在第 24 候(4 月 26—30 日),有 18% 的概率集中在第 23 候(4 月 21—25 日),有 5% 的概率集中在第 19 候(4 月 1—5 日)、25 候(5 月 1—5 日)。

### 2.3 气候要素对苹果开花期的影响

2.3.1 苹果始花期与花前气候要素的关系 苹果花前总降水量为 (58.70 ± 32.4) mm(表 1),降水量与苹果始花期呈显著正相关( $P < 0.05$ )。花前总气温日较差为 1 007℃·d,与苹果始花期呈极显著正相

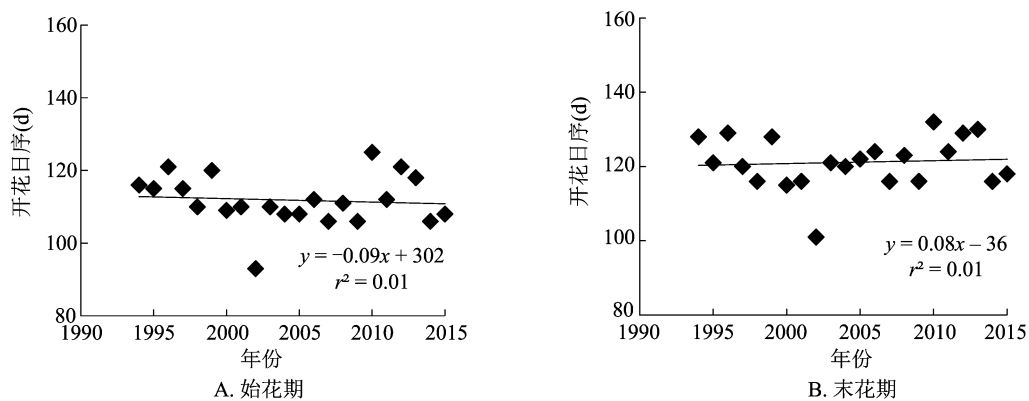


图1 不同年份苹果始花期和末花期变化

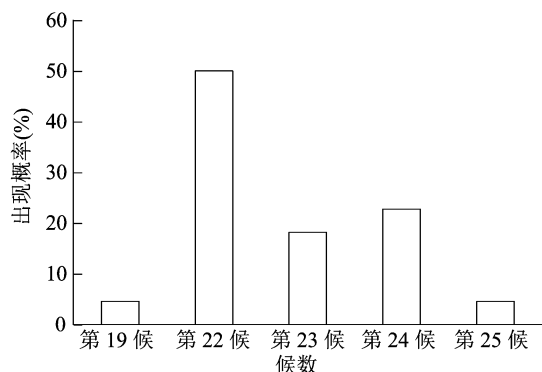


图2 苹果始花期出现候概率分布

关( $P < 0.01$ )。花前负积温为  $-104\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ ，与苹果始

花期呈显著负相关( $P < 0.05$ )。花前平均温度、平均最低温度、平均最高温度对苹果始花期影响不大。  
2.3.2 月尺度上苹果始花期与气候要素的关系  
从月尺度分析(表1)可知,除去1月平均最高温度外,苹果始花期与1、2、3、1—3月的平均温度、平均最低温度、平均最高温度呈显著负相关( $P < 0.05$ )。温度越高,有利于促进苹果开花。苹果始花期与2、1—3月负积温呈显著负相关( $P < 0.05$ ),与2、3、1—3月的正积温呈显著正相关( $P < 0.05$ )。苹果始花期与1—3月逐月的降水量、总气温日较差没有显著的相关性。

表1 月尺度上苹果始花期与气候要素的关系

始花期 月尺度	指标	$T_{\text{ave}}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{\text{min-ave}}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{\text{max-ave}}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$P$ (mm)	$T_{\text{dr}}$ ( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ )	$\Sigma T_{\text{neg}}$ ( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ )	$\Sigma T_{\text{pos}}$ ( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ )
开花前	要素值	3.50	-0.40	8.70	58.70	1 007	-104	497
	$r^2$	-0.10	-0.07	-0.11	0.20 *	0.32 **	-0.25 *	0.13
1月	要素值	-1.70	-4.90	2.50	10.50	231	-67	18
	$r^2$	-0.21 *	-0.21 *	-0.16	0.00	-0.00	-0.16	0.16
2月	要素值	0.20	-3.30	5.10	11.10	238	-33	46
	$r^2$	-0.23 *	-0.25 *	-0.19 *	0.01	-0.01	-0.21 *	-0.22 *
3月	要素值	4.90	0.80	10.50	16.80	306	-3	177
	$r^2$	-0.47 **	-0.39 **	-0.39 **	0.00	-0.16	-0.05	-0.62 **
1—3月	要素值	1.20	-2.50	6.00	38.50	775	-104	241
	$r^2$	-0.45 **	-0.40 **	-0.41 **	0.01	-0.08	-0.25 *	-0.55 **

注: $T_{\text{ave}}$ 表示月平均气温; $T_{\text{min-ave}}$ 表示月平均最低气温; $T_{\text{max-ave}}$ 表示月平均最高气温; $P$ 表示月降水量; $T_{\text{dr}}$ 表示月总日较差; $\Sigma T_{\text{neg}}$ 表示负积温; $\Sigma T_{\text{pos}}$ 表示正积温。\*\*、\*表示差异极显著( $P < 0.01$ )、显著( $P < 0.05$ ); $r^2$ 行中正值表示日期推迟,负值表示日期提前。表2同。

2.3.3 候尺度上苹果始花期与气候要素的关系  
从候尺度上分析(表2)可知,对苹果始花期与前4候温度和降水量相关性进行分析。苹果始花期与花前各候的总气温日较差呈显著相关性,与距花前第4、第3、第1候的总气温日较差呈显著相关性。苹果始花期与距花前4候总降水量呈显著正相关

( $P < 0.05$ ),与其他气象要素没有显著相关性。  
2.4 苹果花期长度与气候要素的关系  
苹果花期长度平均为( $9 \pm 0.6$ ) d,且年际间呈显著的延长趋势( $P < 0.05$ )。最短花期长度为5 d,最长花期长度为14 d。从2003年开始苹果花期长度开始增加,1994—2002年苹果花期平均为( $7 \pm$

表 2 候尺度上苹果始花期与气候要素的关系

距花前候数	指标	$T_{ave}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{\min-ave}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_{\max-ave}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$P$ (mm)	$T_{dr}$ ( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ )	$\Sigma T_{pos}$ ( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ )
第 4 候	要素值	9.10	4.60	14.80	3.70	56	50
	$r^2$	-0.03	-0.01	-0.07	-0.02	-0.23 *	-0.09
第 3 候	要素值	10.50	5.90	16.30	3.70	52	52
	$r^2$	0.04	0.00	0.09	-0.02	0.17 *	0.04
第 2 候	要素值	11.80	7.10	17.70	3.50	53	59
	$r^2$	0.02	0.05	0.00	0.10	-0.02	0.02
第 1 候	要素值	12.90	8.00	19.20	8.40	56	65
	$r^2$	0.03	0.03	0.00	0.09	-0.21 *	0.00
4 候	要素值	11.10	6.40	17.00	27.70	270	289
	$r^2$	0.02	0.02	0.00	0.23 *	-0.13	-0.00

0.7) d 左右, 2003—2015 年苹果花期为 (11 ± 0.5) d 左右。

苹果花期长度与花期这段时间的总降水量、总日较差呈显著正相关(图 3 - B、图 3 - C)。花期总降水量平均为 12 mm, 总日较差平均为 112  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 。

3 讨论与结论

苹果始花期和末花期均没有显著的年际变化趋势, 但花期长度呈现显著的延长趋势, 这与陶泽兴等的研究结果<sup>[11]</sup>一致。研究表明, 在 1963—2012 年中国 42 个站点 259 条木本植物花期长度序列中, 有 61.39% 的花期长度序列呈延长趋势。Ziello 等的研究表明, 在欧洲地区 1971—2000 年有 29 种植物的花期长度总体上呈现延长的趋势<sup>[13]</sup>。但也有研究结果与之相反, Bock 等的研究表明, 英吉利海峡根西岛的 232 种花期长度显著缩短, 平均每 10 年缩短 10 d<sup>[14]</sup>。Nagahama 等基于多年生植物拟南芥主要开花时间基因的表达动态分析, 模拟预测气候变暖条件下将缩短其花期时间<sup>[15]</sup>。花期长度变化的差异一方面是由于植物所处的环境不同导致的, 另一方面与植物自身的遗传特性有关。不同植物对气候类型的响应不同, 导致花期长度变化趋势不同。在海洋性气候或地中海气候条件下, 植物可能会因气候变暖加快花器官发育的进程, 从而使花期缩短<sup>[16]</sup>。而在其他气候类型下, 植物可能随气候变暖延长其花期, 通过不断地适应提高其生殖的成功率<sup>[17]</sup>。植物花期长度受环境因素和遗传因素的共同作用, 植物通过自身的不断调整来适应不同的环境条件变化达到自身不断繁殖。

气候要素变化影响花期物候特征, 尤其是在全

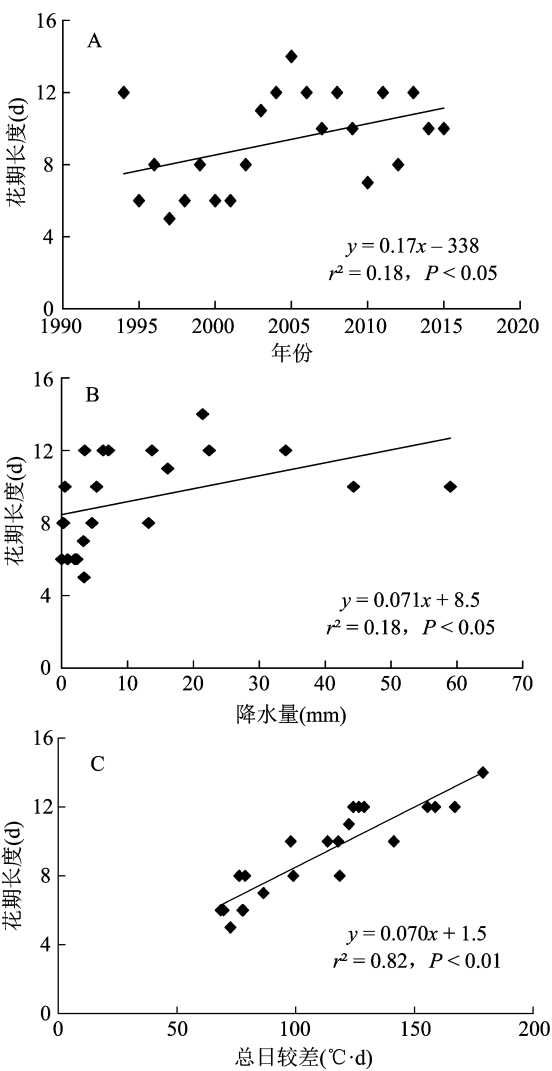


图 3 苹果开花期长度变化与年份、总降水量、总日较差的关系

球气候暖干化背景下。本研究 1—3 月逐月温度变化影响苹果花期进程。苹果始花期随 1—3 月温度的增加, 促进其开花。在分析众多气候要素对苹果

开花期的影响中发现,气温日较差的变化显著影响苹果开花期物候,尤其是花前总气温日较差和基于候尺度的气温日较差的变化。总体上看,苹果始花期与距花前 1—4 候的逐候总气温日较差呈显著负相关性,但花前总气温日较差呈显著负相关。郑奕等对塔里木盆地主要林果物候期研究表明,林果春季物候期大部分与前 1 个月的月均日较差呈极显著负相关( $P < 0.01$ )<sup>[18]</sup>。苹果花期长度随花期总气温日较差增大而显著延长。白天温度高影响植物的光合作用和蒸腾作用,夜间温度低影响作物的呼吸作用和干物质积累。一般情况下,气温日较差大有利于提高作物品质,但相关生理生化过程还须进一步研究。此外,苹果花期物候受降水影响较显著,降水增加有利于促进苹果开花,尤其是距开花前 4 候的总降水增加,显著促进苹果始花期的出现。

苹果始花期平均日期为 4 月 22 日,末花期平均日期为 5 月 1 日,年际间均没有显著的变化趋势。苹果始花期有 50% 概率集中在 4 月 16—20 日(第 22 候),分别有 18%、23% 的概率集中 4 月 21—25 日(第 23 候)、4 月 26—30 日(第 24 候)。从年尺度分析,苹果始花期与花前总降水量、总气温日较差呈显著正相关、与负积温呈显著负相关。从月尺度分析,苹果始花期与 1、2、3、1—3 月的平均温度、平均最低温度、平均最高温度呈显著负相关性。与 1—3 月负积温呈显著负相关、与正积温呈显著正相关。逐月的降水量、总气温日较差对苹果始花期影响较小。从候尺度上分析可知,苹果始花期与距花前第 4 候、第 3 候、第 1 候的总日较差呈显著相关性,与距花前 4 候总降水量呈显著正相关。苹果花期长度平均为( $9 \pm 2.6$ ) d,年际间呈显著的延长趋势( $P < 0.05$ )。苹果花期长度与花期总降水量、总气温日较差呈显著正相关。

#### 参考文献:

- [1] 张增信,黄钰瀚,王言鑫,等. 南京市园林植物的花期物候调查及应用[J]. 贵州农业科学,2014,42(12):195-198,203.
- [2] Parry M L, Rosenzweig C, Iglesias A, et al. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios[J]. Global Environmental Change, 2004, 14(1):53-67.
- [3] Piao S, Ciais P, Huang Y, et al. The impacts of climate change on

- water resources and agriculture in China[J]. Nature, 2010, 467(7311):43-51.
- [4] Huang J P, Yu H P, Guan X, et al. Accelerated dryland expansion under climate change[J]. Nature Climate Change, 2016, 6(2):166-171.
- [5] Xie J F, Zhang T, Zhang M Y, et al. Change and reason analysis of ground solar radiation in Northeast China over recent 50 years[J]. ACTA Energae Solaris Sinica, 2012, 33(12):2127-2134.
- [6] Gordo O, Sanz J J. Phenology and climate change: a long-term study in a Mediterranean locality[J]. Oecologia, 2005, 146(3):484-495.
- [7] 韩超, 郑景云, 葛全胜. 中国华北地区近 40 年物候春季变化[J]. 中国农业气象, 2007, 28(2):113-117.
- [8] Fitter A H, Fitter R S. Rapid changes in flowering time in British plants[J]. Science, 2002, 296(5573):1689-1691.
- [9] Gonsamo A, Chen J-M, Wu C. Citizen science: linking the recent rapid advances of plant flowering in Canada with climate variability[J]. Scientific Reports, 2013, 3:2239.
- [10] Wolfe D W, Schwartz M D, Lakso A N, et al. Climate change and shifts in spring phenology of three horticultural woody perennials in northeastern USA[J]. International Journal of Biometeorology, 2005, 49(5):303-309.
- [11] 陶泽兴, 仲舒颖, 葛全胜, 等. 1963—2012 年中国主要木本植物花期长度时空变化[J]. 地理学报, 2017, 72(1):53-63.
- [12] Črepinšek Z, Stampar F, Kajfež-Bogataj L, et al. The response of *Corylus avellana* L. phenology to rising temperature in north-eastern Slovenia[J]. International Journal of Biometeorology, 2012, 56(4):681-694.
- [13] Ziello C, Böck A, Estrella N, et al. First flowering of wind-pollinated species with the greatest phenological advances in Europe[J]. Ecography, 2012, 35(11):1017-1023.
- [14] Bock A, Sparks T H, Estrella N, et al. Changes in first flowering dates and flowering duration of 232 plant species on the island of Guernsey[J]. Global Change Biology, 2014, 20(11):3508-3519.
- [15] Nagahama A, Kubota Y, Satake A. Climate warming shortens flowering duration: a comprehensive assessment of plant phenological responses based on gene expression analyses and mathematical modeling[J]. Ecological Research, 2018, 33(5):1059-1068.
- [16] Arroyo M K, Armesto J J, Villagran C. Plant phenological patterns in the high andean cordillera of central Chile[J]. The Journal of Ecology, 1981, 69(1):205-223.
- [17] Yesenia V, Isabel M. Both biotic and abiotic factors influence floral longevity in three species of *Epidendrum* (Orchidaceae)[J]. Plant Species Biology, 2015, 30(3):184-192.
- [18] 郑奕, 刘艳, 吉春容. 环塔里木盆地非对称性增温变化及其对特色林果物候期的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(31):92-97.