

# 我国植物物候变化及对气候变化的响应综述

丁抗抗<sup>1</sup> 高庆先<sup>2\*</sup> 李辑<sup>3</sup>

(1. 辽宁大学环境学院, 辽宁沈阳 110036; 2. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 3. 辽宁省气象局气候中心, 辽宁沈阳 110016)

**摘要** 物候是指示气候变化的主要指标之一, 开展物候对全球变化的响应研究是现代物候学研究的一个热点领域。综合论述了现有国内外已有的文献, 阐述了研究物候的意义, 对比我国北方地区与南方地区的物候变化及其对气候变化的响应, 揭示各个区域物候变化趋势及各自特征。

**关键词** 植物物候; 气候变化; 气温

**中图分类号** S162 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2010)14-07414-04

## Review on the Plant Phenology Changes in China and the Responses to the Climate Changes

DING Kang-kang et al (Institute of Environment, Liaoning University, Shenyang, Liaoning 110036)

**Abstract** Phenology is one of the major indicators of climate changes. The research on phenological response to climate change is a hot issue of modern phenology. The existing relevant references were reviewed and analyzed, and the significance of phenological study and its regional response to climate change in China were released. The trends and characteristics of botanic phenology of northern and southern region of China were compared.

**Key words** Plant phenology; Climate change; Temperature

从古气候的角度来看, 气候在不断变化中, 但这种变化的速度相对比较缓慢, 自然界有充分的时间去适应这种变化。然而, 工业革命以来由于人为活动的加剧向大气中排放了大量的温室气体, 从而导致了地球温室效应的增强, 并引起全球气候出现以温度升高为主要特征的变化。在《气候变化框架公约》中气候变化定义为由于直接或间接的人类活动, 改变了全球大气组成所造成的气候的变化, 即在可比的时间段内观测到的自然气候变率之外的气候变化。IPCC 第 4 次评估报告指出, 最近 100 年(1906~2005 年)地球表面平均温度上升了 0.74(0.56~0.92)℃, 自 1850 年以来最暖的 12 个年份中有 11 个出现在 1995~2006 年(除 1996 年), 过去 50 年升温率几乎是过去 100 年的 2 倍<sup>[1]</sup>。

全球气候变化是当今社会所面临的重大环境问题之一, 已经成为各个国家政府、科学研究人员及公众关注的焦点。自然物候是一种重要的、可靠的指示气候变化的因子, 也是农林牧业安排生产的指示物之一。越来越多的科学研究表明, 气候变化对物候现象的影响非常显著<sup>[2]</sup>。物候对全球变暖的响应研究正在成为当前国际上气候变化研究的热点。我国大部分地区受东亚季风的影响, 是气候变化敏感和生态环境脆弱区, 全球气候变化对我国环境的影响非常显著, 由于植物物候的变化对气候变化的响应明显, 因此开展植物物候对气候变化响应研究具有重要的科学意义。

### 1 物候及物候现象

所谓物候, 是指生长在自然界中的生物受气候影响而出现的现象。如植物的发芽、开花、结果、落叶, 候鸟的迁徙, 昆虫的始见、始鸣、休眠等。在科学技术发达的今天, 物候对农业生产仍有很大的作用, 自然物候观测的依据是比仪器复杂得多的生物体, 是任何仪器和计算机都无法代替的。每个自然物候现象的出现, 都是一定的温度、光照、水分等气象因子

综合作用的结果<sup>[3]</sup>。

在自然环境(气候、水文、土壤)影响下出现的以年为周期的自然现象叫做物候现象<sup>[4]</sup>。此外, 不同的研究者根据各自所关心的问题, 提出了一些其他的定义。比如张福春的定义: 物候是自然环境变化的指标<sup>[5]</sup>, 记录一年中的杨柳绿、桃花开、燕始来、蝉始鸣, 这些指标既反映了当时的天气, 也反映了过去一个时期内天气积累状况, 在对全球气候变化、认识自然季节现象变化的规律、农业生产、生态学研究、地球观测系统、人类健康等领域扮演着很重要的角色。

物候学是研究自然界植物和动物的季节性现象同环境的周期性变化之间的相互关系的科学<sup>[6-6]</sup>, 它主要通过观测和记录一年中植物的生长荣枯过程, 动物的迁徙繁殖和环境的改变等, 比较其时空分布的差异, 探索动植物发育和活动过程的周期性规律及其对周围生态环境条件的依赖关系, 进而了解气候变化规律及其对动植物的影响。它是生物学、环境科学和气象学之间的交叉学科。

物候分为植物物候、动物物候等。植物物候是指受生物因子和非生物因子(气候、水文、土壤等)影响而出现的以年为周期的自然现象, 它包括各种植物的发芽、展叶、开花、叶变色和落叶等现象<sup>[7]</sup>。

**1.1 研究物候的目的和意义** 从历史的角度来看, 物候学是一门古老的自然学科, 今天人们之所以又重新重视物候学, 主要是因为物候变化对温度变化具有较明显的响应关系, 但目前全球经历着以增温为特征的变化。物候期变化可以作为一个较好的气候变化代用指标, 它能直接反应生态系统对气候变化的响应, 使人们更直观地感受到气候变化对人类活动的影响。因此, 物候研究与全球气候变化研究关系密切。

掌握物候变化规律在预报农时、指示病虫害、监测、保护生态环境、预测鉴定气候变化趋势等方面具有重要的理论价值和现实意义。原始农业参照自然物候变化确定农时, 春季物候不仅对春季季节早晚有指示作用, 而且对生长季的热量状况也有预报作用。很多地方的农民历来是以物候来定季

作者简介 丁抗抗(1981-), 女, 辽宁葫芦岛人, 硕士研究生, 研究方向: 气候变化与大气环境。\* 通讯作者, 博士, 研究员。

收稿日期 2010-01-18

节和农时的。现代物候研究的主要目的是认识自然季节现象的变化规律 服务于农业生产和科学研究<sup>[6]</sup>。物候在环境监测中的作用越来越重要 其监测结果也可以为生态研究提供基础数据 同时也可作为植物生长和发育模型的设计和试验提供基础<sup>[8]</sup>。物候在气候变化的研究中作用显著 尤其是对全球气候变化影响评估、气候模型的建立和验证、生态环境的遥感等方面。综上所述 开展物候及其对气候变化的响应研究不但在理论上具有重要的意义 而且在生产实践上具有很大的应用潜力和推广价值。

**1.2 物候的观测历史及研究现状** 我国最早的物候记载见于公元前 1 000 以前的《诗经·幽风·七月》,其后的《夏小正》、《吕氏春秋·十二纪》、《淮南子·时则训》和《礼记·月令》等,当时已经按月记载全年的物候历了。《逸周书·时训解》把全年分为 72 候,记有每候 5 d 的物候,成为我国物候研究历史上最为完善的物候记录。在西汉时期 我国著名的农学著作《汜胜之书》有以物候为指标来确定耕种时期的记载,如“杏始华荣 耨耕轻土弱土;望杏花落 复耕”。浙江金华人吕祖谦记载了南宋淳熙七年和八年(1180、1181)金华的物候,记录有 24 种植物开花结果的日期,春莺初到和秋虫初鸣的时间 这是世界上最早实际观测的物候记录。明代 李时珍的《本草纲目》所载的近 2 000 种药物中,也有着极为丰富的植物物候资料 此书还记述了候鸟(布谷鸟和杜鹃)的地域分布、鸣声、音节和出现时间等,是鸟类物候的最早和最翔实记载。19 世纪中叶 太平天国颁发的《天历》中《萌芽月令》是以物候为指导农时的月历之一<sup>[9]</sup>。

我国最早的系统植物物候观测工作是在竺可桢先生指导和推动下开展的,1934 年所组织建立的物候观测网是中国现代物候观测的开端。从 1934 年起,前中央研究院气象研究所选定了 21 种植物和差不多全部农作物,委托各地的农事实验场进行观测 积累了大量有价值的资料,为开展物候研究和气候变化研究提供了丰富的基础数据。解放后 物候学受到了地理和气象部门的高度重视,从 1952 年起开始了比较正规和连续的农作物观测,1957 年农作物的观测工作推向全国范围。1961 年在竺可桢的指导下,中国科学院地理所建立了全国物候观测网,制定了动、植物物候观测方法和规范,其中选取木本植物 33 种,草本植物 2 种作为全国共同的植物物候观测种类。在 1966~1971 年间由于历史原因大多数单位中断了物候的观测,直至 1972 年才得以恢复,随后,中国气象局所属的农业气象观测站开始了系统的作物物候和自然物候的观测工作<sup>[7]</sup>。同时其他相关高校、科研院所也开展了物候的系统观测和研究。

东北地区在伪满时期曾经开展了大量的物候观测研究,记录有自然气候观测资料,这些资料相对比较完整和正规,对自然植物、动物、气象水文气候都进行逐日、逐月的观测和记载。《满洲气象月报》、《满洲气象年报》等记录的有 40 个站点(辽宁省 5 站、吉林省 8 站、黑龙江省 16 站、内蒙 11 个)的自然物候和气候观测资料。观测项目包括自然植物气候(木本植物、草本植物)、动物气候、气象水文气候三大类。这些资料为在我国东北地区开展物候研究及其对气候变化的响应研究提供了基础数据。

## 2 植物物候的变化规律

植物物候期的提前与推迟对气候变化(温度的上升与下降)的响应是非线性的,主要表现为在同等升、降温幅度情况下,因降温而导致的物候期推迟幅度较因升温而导致物候期提前幅度大,因升温导致物候期提前天数的变化率随着升温幅度的增大而减小,因降温导致物候期推迟天数的变化率随着降温幅度的增大而加大<sup>[10]</sup>。1951~2004 年,在全国范围内,除四川盆地和云贵高原北部有较小的下降趋势外,其他地区年平均地面气温一般呈上升趋势<sup>[11]</sup>。

我国北方绝大部分地区的气候变化主要特征是春夏季明显提前,秋冬季明显推迟,夏季明显延长,冬季明显变短<sup>[12]</sup>。郑景云等根据中国科学院物候观测网络 26 个观测点的物候资料,分析了近 40 年我国木本植物物候变化及其对气候变化的响应,结果指出由于 20 世纪 80 年代以后我国大部分地区春季增温及秦岭以南地区降温,东北、华北及长江下游等地区植物物候期提前,西南东部、长江中游等地区物候期推迟<sup>[13]</sup>。与 20 世纪 80 年代前相比,20 世纪 80 年代以后我国春季平均温度上升 0.5 °C,春季物候期平均提前 2 d;春季平均温度上升 1 °C,春季物候期平均提前 3.5 d。反之,春季平均温度下降 0.5 °C,春季物候期平均推迟 4 d;春季平均温度下降 1.0 °C,春季物候期则推迟 8.8 d。随着 20 世纪 80 年代以后我国大部分地区的春季增温及秦岭以南广大地区的降温,东北、华北及长江下游等地区的物候期提前,西南东部、长江中游等地区的物候期推迟同时物候期随纬度变化的幅度减小<sup>[12]</sup>。

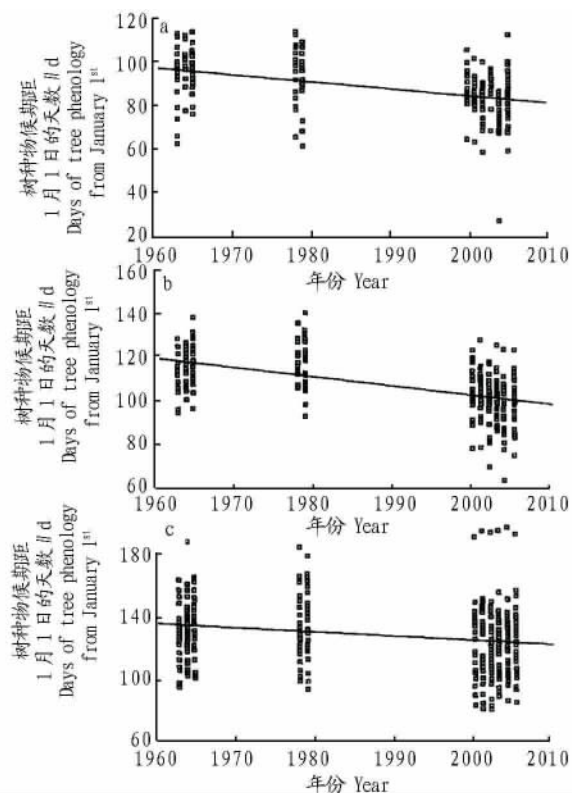


图 1 城市森林树种萌动期(a)、展叶期(b)和开花始期(c)<sup>[15]</sup>

Fig. 1 The budding stage (a) leaf-expansion stage (b) and early flowering stage (c) of urban forest trees

### 2.1 我国北方地区植物物候的变化规律

#### 2.1.1 东北地区。研究表明 我国东北地区,年平均温度上

升1℃,东北地区大部分植物开花期提前3~6d<sup>[4]</sup>。以沈阳城市森林树木对气候变化响应为例,从1947~2000年,由于受到全球气候变化的影响,沈阳地区平均温度变化成升高的趋势,冬季气温升高幅度为夏秋季的14.8~3.6倍,因此,沈阳城市森林主要树种芽萌动期明显提前(图1a);春季气温明显升高,沈阳城市森林主要树种的展叶期呈现出提前趋势(图1b);沈阳城市森林树种开花期随全球气候变化呈提前趋势(图1c)<sup>[5]</sup>。徐文铎等还预测了沈阳城市森林树木物候期,结果显示若未来气温升高1℃,芽萌动期将提前9d、展叶提前10d<sup>[6]</sup>。沈阳城市树木开花始期可提前5d<sup>[6]</sup>。这一结论说明植物的不同物候指标对温度变化的响应程度和敏感程度是不同的,某些树木的展叶期对积温的敏感程度要比开花期的大。

2.1.2 华北地区。我国华北地区受气候变化影响同样非常明显,也是温度升高较明显的地区之一,北京1963~2003年1~3月及4月的平均气温分别上升了3.5与2.6℃<sup>[7]</sup>。温度的升高导致华北地区植物物候有提早的趋势,以北京地区为例,北京地区是我国开展物候观测时间最早,累积资料最为丰富的地区之一,北京树木春季开花物候与春季气温之间有极显著相关关系,各树木开花期随着春季气温的升高而提前,1950~2000年春季气温每升高1℃,山桃始花期提前4.4d、杏始花期提前3.1d,北京春季树木开花期平均提前3.6d(图2)。春季物候迟早与春季温度变化呈负相关关系,温度降低物候期推迟,温度升高物候期提前,物候期的推迟与提前对温度变化的响应是非线性的<sup>[8]</sup>。

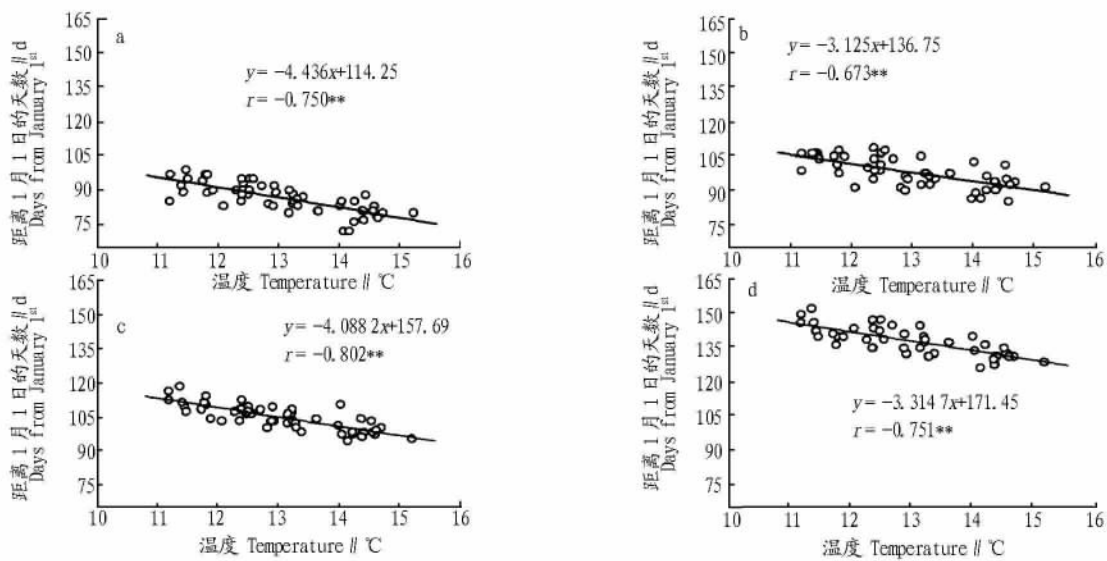


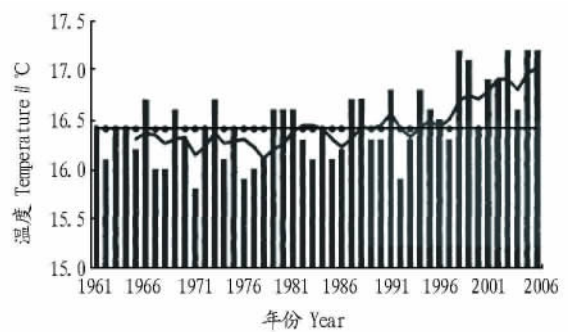
图2 北京地区山桃(a)、杏树(b)、紫丁香(c)、刺槐(d)开花期与春季气温之间的关系<sup>[8]</sup>

Fig. 2 The relationship between flowering stage of *Prunus davidiana* (a) *Prunus armeniaca* L. (b) *Syringa oblata* (c) and *Robinia pseudoacacia* L.(d) and air temperature in spring in Beijing

2.2 我国南方地区植物物候的变化规律

2.2.1 东南地区。气候变化的大背景下,我国南方地区的物候变化有其自身的特点。以广东地区为例,近20年(1983~2004年)1~3月气温的年纪波动与物候期的波动有明显的相关性,1~3月平均温度上升1℃的地区,春季物候期平均提前5.2d。反之,在1~3月平均温度下降1℃的地区,春季物候期平均推迟6.7d。说明物候期的提前与推迟对温度的上升与下降的响应是非线性的,而且,在同等升降温幅度情况下,因降温而导致的物候期推迟幅度较因升温而导致物候期提前幅度大<sup>[9]</sup>。

2.2.2 西南地区。云南处于我国西南地区,其处于低纬高原,受青藏高原及东亚、南亚两支季风影响显著,该区域受全球气候变化影响非常显著。西南地区气温变化趋势与全球、北半球、中国变化趋势基本一致,云南近50年(1961~2006年)气温变化与全球、北半球、中国变化趋势基本一致,气温变化幅度略大于全球,弱于北半球和我国变化趋势一致。20世纪60年代略偏暖,70年代转为偏冷,自80年代后中期开始出现增暖现象,其中90年代及21世纪初增温最为显著,与全球及北半球变化强度相当(图3)。



注:曲线为5年滑动平均。

Note: The curve is 5-year moving average.

图3 1961~2006年云南年平均气温变化<sup>[10]</sup>

Fig. 3 The annual average temperature changes in Yunnan Province during 1961-2006

由表1可知,该人工林云豆杉2007~2008年的顶芽展梢期比1991~1992年平均提早27d,现蕾期平均提早了19d,初花期平均提早了22.5d;种子初熟期提前25.5d。芽形成期2007~2008年比1991~1992年平均推迟20.5d。

表 1 昆明树木园云南红杉人工林不同年份的物候期比较<sup>[1]</sup>Table 1 Comparison of phenological period of *Taxus walliehiana* plantation in Kunming arboretum in different years

年度 Year	顶芽展梢期 Expansion stage of terminal bud	现蕾期 Budding stage	初花期 Early flowering stage	种子初熟期 Initial mature stage of seeds	顶芽形成期 Formation stage of terminal bud
1991	4.18 ~ 4.29	06-06 ~ 09.10	10.20 ~ 12.20	10-15	11-02 ~ 11-17
1992	4.16 ~ 4.30	06.20 ~ 09.28	10-25 ~ 11-02	10-28	11-05 ~ 11-14
2007	3.14 ~ 3.22	05.28 ~ 08.27	10-12 ~ 11-08	09-27	11-25 ~ 12-02
2008	3.10 ~ 3.28	05.23 ~ 08.24	10-16 ~ 11-05	09-25	11-23 ~ 12-04

### 3 植物物候对气候变化的响应

影响物候变化的因子很多,温度、光照、水分等气象要素的综合作用是产生自然物候现象主要驱动力。温度是植物物候对气候变化响应的最主要和常用的因子,植物物候对气温的反应可归纳为三个阶段<sup>[20]</sup>: 早期:春季植物物候现象,如芽膨大期、芽开放、展叶、开花等,它们的提前或推迟的波动主要受春季气温的影响;中期:树木的果实(或种子)成熟主要依赖于早期的温度条件,它们的开花早迟和果实(种子)生长期的积温多少是重要的影响因子;晚期:秋季的植物开花(如野菊、桂花的开花)以及黄叶、落叶等物候现象的出现主要决定于一定界限温度(阈值温度)的短期作用,往往是因气温降到一定指标而引起的,前期的积温对此并无多大意义。如桂花、野菊在最低气温降到 17℃ 以下才能开放。

植物物候对气候变化的响应依不同地区、不同物种和不同季节而异,综合分析可以归纳为以下几个主要表现方面:

①植物绿叶期对气候变化的响应。在我国,如果年平均温度上升 1℃,各种木本植物物候期春季一般提前 3~4 d,秋季一般推迟 3~4 d,绿叶期延长 6~8 d<sup>[22]</sup>。20 世纪 80 年代以后,我国春季平均温度上升 0.5℃,春季物候期平均提前 2 d;平均温度上升 1℃,春季物候期平均提前 3.5 d<sup>[23]</sup>。②植物花期对气候变化的响应。植物花期对气候变化的响应显示出与植物绿叶期相同的趋势。研究显示,在我国年平均温度上升 1℃,大部分植物始花期提前 3~6 d<sup>[22]</sup>。一般而言,全球温度每升高 3.5℃,春季花期将提前 2 周<sup>[23]</sup>。③植物生长季对气候变化的响应。欧洲地区早春气温每升高 1℃,植物生长季提早约 7 d,年均温升高 1℃,生长季长度延长 5 d<sup>[24-25]</sup>,这一结论与在美国的站所测结果相一致。

### 4 结论

(1)一般而言,在我国年平均温度上升 1℃,大部分植物始花期提前 3~6 d。总体上说,我国北方地区物候变化较南方地区明显,北方升温较南方升温幅度大、变化速度快。

(2)我国南北方物候的变化对气候变化响应的共性有:

①1~3 月平均温度上升,物候期提前;平均温度下降,物候期推迟;②物候期的提前与推迟对温度的上升与下降的响应是非线性的;③在同等升降温幅度情况下,因降温而导致的物候期推迟幅度较因升温而导致物候期提前幅度大。

(3)物候对气候变化的响应在不同地区的差异有:①由于植物物候变化受温度及降水等条件影响,我国北方升温较南方升温幅度大,物候日期的变化更加明显。②我国北方的东北地区开花期提前天数要多于华北地区。东北地区物

候受气候变化影响较华北地区显著。主要原因是由于纬度较高,东北地区温度升高幅度较大。③我国南方地区中四川盆地和川、滇交界地区有较小的气温下降趋势。

### 参考文献

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2007 The Scientific Basis. Third Assessment Report of Working Group I [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [2] 徐雨晴, 陆佩玲, 于强. 近 50 年北京树木物候对气候变化的响应 [J]. 地理研究, 2005, 24(3): 412-420.
- [3] 方修琦, 余卫红. 物候对全球变暖响应的研究综述 [J]. 地理科学进展, 2002, 17(5): 714-719.
- [4] 陈西套, 王兵. 漫谈自然物候观测 [J]. 河南气象, 2002(3): 40.
- [5] 张福春. 物候 [M]. 北京: 气象出版社, 1985.
- [6] 竺可桢, 宛敏渭. 物候学 [M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [7] 陆佩玲. 植物物候对气候变化的响应 [J]. 生态学报, 2006, 26(3): 923-929.
- [8] SPANO D, CESARACCIO C, DUCE P et al. Phenological stages of natural species and their use as climate indicators [J]. International Journal of Biometeorology, 1999, 42: 124-133.
- [9] 王植, 刘世荣. 全球环境变化对植物物候的影响 [J]. 沈阳农业大学学报: 社会科学版, 2007, 9(3): 350-353.
- [10] 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): 1584-1587.
- [11] 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 近 50 年来中国地面气候变化基本特征 [J]. 气象学报, 2005, 63(6): 942-956.
- [12] 夏传栋, 周立宏. 沈阳近 50 年气温变化分析 [J]. 辽宁气象, 2002(3): 15-16.
- [13] 郑景云, 葛全胜, 赵会霞. 近 40 年中国植物物候对气候变化的响应的研究 [J]. 中国农业气象, 2003, 24(1): 28-32.
- [14] 韩亚东, 于长文, 李军林. 沈阳 6 种树木春季物候期与温度之间的关系 [J]. 沈阳师范大学学报: 自然科学版, 2006, 24(1): 96-99.
- [15] 徐文铎, 何兴元, 陈玮. 沈阳城市森林主要树种物候对气候变暖的响应 [J]. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1777-1781.
- [16] 徐文铎, 何兴元, 陈玮. 近 40 年沈阳城市森林春季物候与全球气候变暖的关系 [J]. 生态学杂志, 2008, 27(9): 1461-1468.
- [17] 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.
- [18] 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(3): 263-267.
- [19] 黄珍珠, 李春梅. 气候变暖对广东省植物物候变化的影响 [J]. 气象科技, 2007, 35(3): 400-403.
- [20] 程建刚, 解明恩. 近 50 年云南区域气候变化特征分析 [J]. 地理科学进展, 2008, 27(5): 19-26.
- [21] 李勇斌, 王卫斌. 昆明树木园云南红豆杉人工林的物候观测研究 [J]. 西部林业科学, 2009, 38(1): 116-119.
- [22] 张福春. 气候变化对中国木本植物物候的可能影响 [J]. 地理学报, 1995, 50(5): 403-408.
- [23] SPARKS T H, CAREY P K, COMBES J. First leafing dates of trees in Surrey between 1947 and 1996 [J]. Lond Nat, 1997, 76: 15-20.
- [24] FRANK M, CHMIELEWSKI J, THOMAS R. Response of tree phenology to climate change across Europe [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2001, 108(2): 101-112.
- [25] WHITE M Z, RUNNING S W, THORNTON P E. The impact of growing-season length variability on carbon assimilation and evapotranspiration over 88 years in the eastern US deciduous forest [J]. Int J Biometeorol, 1999, 42(3): 139-145.