

中国东部季风气候区木本植物展叶期对春季温度变化的敏感性*

谢莹莹¹, 陆佩玲¹, 于强^{2**}

(1. 北京林业大学林学院, 北京 100083; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 选取中国东部不同地区垂柳 (*Salix babylonica* L.)、木槿 (*Hibiscus syriacus* L.)、刺槐 (*Robinia pseudoacacia* L.)、梧桐 (*Fimiana platanyfolia* (Linn. f.) Marsili) 4种植物的展叶期物候观测资料 (1963–1988年), 采用线性回归方法, 分析4种植物对春季温度的敏感性和敏感时段。结果表明, 4种木本植物的展叶期自北向南逐渐提前, 年际波动逐渐增加; 展叶期对温度的显著敏感时段集中在2–4月, 南方地区的敏感时段 (40~60d) 长于北方 (10~40d); 展叶期与春季时段的温度呈显著负相关关系, 其敏感性为南方 (3.3~9.0d/°C) 大于北方 (1.6~5.6d/°C)。植物展叶期对气候变化的敏感性对不同植物、不同地区表现出一定的差异。

关键词: 木本植物; 展叶期; 气候变化; 敏感性; 春季温度

Sensitivity of Leaf Unfolding Date for Woody Plant to Temperature Variability in Spring in China's Eastern Monsoonal Region

XIE Ying-ying¹, LU Pei-ling¹, YU Qiang²

(1. College of Forest Beijing Forestry University Beijing 100083 China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences Beijing 100101)

Abstract The sensitivity and sensitive periods of leaf unfolding dates of woody plant to climate change in China's eastern monsoonal region were analyzed. Four tree species (*Salix babylonica* L., *Hibiscus syriacus* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Fimiana platanyfolia* (Linn. f.) Marsili) in China's different sites for variation of leaf unfolding dates in response to variability of temperature in spring were investigated. Phenological and meteorological data from 1963 to 1988 were examined using unitary correlation. The results showed that leaf unfolding dates became significantly earlier and the interannual variation increased with the latitude. The periods during February and April were the significant sensitive periods of leaf unfolding dates to temperature in spring which were shorter in the north area (10–40 days) and longer in the south area (40–60 days). The correlations between leaf unfolding dates and spring temperature were significantly negative. The sensitivities of leaf unfolding dates to temperature in the south area (3.3–9.0 days/°C) were higher than that in the north area (1.6–5.6 days/°C). The sensitivities of leaf unfolding dates to climate change were different for specific species and different regions.

Key words Woody plant; Leaf unfolding date; Climate change; Sensitivity; Spring Temperature

物候是动植物季节性活动的时间记录, 是用来跟踪物种的生态变化对气候变化响应的最简单的手段^[1]。近年来, 动植物物候在全球气候变化的影响下, 在逐渐发生着变化, 使其成为认识气候变化的一个指标。同时, 植物物候的变化对植物生产力、植物群落结构、全球碳循环也会产生一定的影响^[2]。国内外研究发现, 在多数地区, 温度是影响植物物候变化

的最主要气象因子, 其次是降水和光照^[3-6]。尤其是春季物候的提前与春季温度的升高有非常密切的关系^[1, 7-8]。近40a来, 中国各地物候期的年际波动与春季气温的年际波动具有明显相关性^[9]。

目前, 国内外的相关研究多数探讨的是月平均气温及年平均气温对物候期的影响。Chmielewski等对欧洲1969–1998年的4种植物展叶期进行了研究,

* 收稿日期: 2010-03-12 ** 通讯作者。E-mail: qiang_yu@uts.edu.au

基金项目: 城市气象科学基金 (UMRF200605)

作者简介: 谢莹莹 (1985–), 女, 浙江桐庐人, 硕士生, 研究方向为植物物候与气候变化。E-mail: xieyingying3@163.com

说明展叶期与 2-4 月平均温度呈显著相关, 温度升高, 展叶期提前^[10]。然而, 物候期对温度的敏感性差异的研究还很有限^[11], 需要进一步针对更多的物种及物候期, 探讨他们之间温度敏感性的差异^[12]。相关研究已经在海外逐渐开展。Menzel^[7]对德国 1951-2000 年间植物展叶期进行了研究, 其温度敏感性为 2.5~6.7d/°C。不同植物种类在不同地区对气候变化的响应可能是不同的^[13]。Morin 等^[14]对北美 22 种植物展叶期对温度的敏感性进行了研究, 结果表明他们之间有着较大的差异, 在未来的气候变化趋势下甚至会出现相反的反应趋势。

国内的研究大多局限于较小地区, 对温度敏感性的研究较少。为了深入探讨中国东部季风区植物物候的温度敏感性, 更加细致的确定影响物候期变化的主要时段, 提高人们对物候响应气候变化的认识, 本文拟基于中国物候观测网 1963-1988 年的观测资料, 讨论东部季风区植物展叶期与春季温度的关系, 分辨不同地区温度影响植物展叶的显著敏感时段, 并分析不同植物展叶期对不同地区温度的敏感性差异, 同时也为对植物物候如何响应气候变化、植物物候模型及未来物候预测提供科学依据。

1 资料和方法

1.1 物候资料

中国物候观测网始建于 20 世纪 60 年代, 全国约有 33 个观测站。中国东部季风区覆盖了物候观测网的大部分观测站。本研究利用中国科学院原地理研究所整编的《中国动植物物候观测年报》(1-11) 的物候资料^[15]。由于只有 1963-1988 年的物候观测资料公开出版, 1988 年以后的资料没有公开且无法得到, 因此所分析的观测年份为 1963-1988 年。

表 1 物候观测站点地理分布特征

站点	纬度 N	经度 E	海拔 (m)	年平均温度 (°C)	年降水量 (mm)
嫩江	49°15'	125°45'	282	0.4	580
沈阳	42°05'	123°0'	50	8.2	681
北京	40°01'	116°20'	55	11.7	578
泰安	36°10'	117°0'	136	12.7	683
西安	34°13'	109°58'	438	13.4	563
合肥	31°51'	117°17'	30	15.7	1000
杭州	30°20'	120°18'	20	16.2	1317
仁寿	30°0'	104°7'	500	17.7	1009
贵阳	26°25'	106°40'	1050	15.3	1120
桂林	25°11'	110°12'	190	18.9	1950

依据物候观测的年代长、资料连续性好、资料全面和完整的原则, 对 4 种植物共选取了 10 个站点的

观测资料进行分析。4 种植物分别是垂柳 (*Salix babylonica* L.)、木槿 (*Hibiscus syriacus* L.)、刺槐 (*Robinia pseudoacacia* L.)、梧桐 (*Fimiana platanoifolia* (Linn f) Marsili)。所研究的物候期为开始展叶期。10 个物候观测站点分别是嫩江、沈阳、北京、泰安、西安、合肥、杭州、仁寿、贵阳、桂林, 基本代表了中国东部季风区自南至北的广大地区。其中嫩江、沈阳、北京、泰安和西安主要代表北方地区, 合肥、杭州、仁寿、贵阳和桂林代表南方地区。各物候观测站点的地理分布特征如表 1 所示。由于部分站点没有全部 4 种植物的物候观测资料, 因此在分析中垂柳、木槿、刺槐和梧桐的站点数为 7 或 8 个。

1.2 气象资料

气象资料是由中国气象局提供的同期气象观测资料, 包括逐日平均气温等。气象站的位置有区域代表性, 一般位于物候观测点 5~10km 以内, 平原站点高差在 20m 以内, 高原站点高差在 70m 以内。由于没有仁寿站点的气象资料, 则采用附近站点资阳的资料替代, 因为临近站点气候特点差异较小, 因此不会产生较大误差而影响结果。

植物展叶期对冬末及春季温度的响应最敏感^[10], 为了确定不同地区树木展叶期对温度变化的敏感时段, 假设温度影响开始于日平均温度超过 0°C 的日期, 直到展叶为止, 将这段时期分成几个阶段来研究 (如 1Q 2Q 3Q 4Q 5Q 6Qd), 在每个分段内计算平均温度, 对于不同时段平均温度是个独立变量。若站点全年的日平均气温均高于 0°C, 则将 1 月 1 日作为研究时段的第一天。具体方法是按旬为单位划分时段, 但是由于 2 月只有 28 或 29d, 1 月和 3 月有 31d, 因此某些时段的长度比一般时段短或长 1~2d 但不影响资料的分析。

1.3 研究方法

采用线性回归分析方法分析中国季风区春季温度对不同植物展叶期的影响。运用一元回归方法, 对物候资料序列与不同时段平均温度进行相关分析, 计算相关系数 (r), 并进行检验。根据所得相关系数, 判断展叶期对温度的响应显著敏感时段。同时, 还可以得出各植物展叶期对春季温度变化的敏感性, 即当温度变化 1°C 时展叶期的变化天数, 进而分析不同植物在不同地区对春季温度变化的敏感性差异。

2 结果与分析

2.1 纬度对不同植物展叶期的影响

东部地区主要受季风影响, 南北方气候差异较大。东部平原地区由于受欧亚大陆北部冬季风的影

响, 冬季非常寒冷; 由于秦岭山区阻挡了冬季风的南下, 使其以南地区的冬季和早春温度并不很低。此外, 由于日照时数随纬度的增加而减少, 温度也随纬度的增加而降低。因此, 由于地理位置和海拔高度的差异, 各物候观测站点的温度差异很大。如图 1 所示, 南北的温度差异在 1 月最大, 从 1 月到 4 月, 差异逐渐减小。所以, 在春季, 北方地区温度上升速率大于南方, 但是到达 0°C 较南方晚, 植物生长季较短。如嫩江、沈阳直到 3 月中下旬温度才上升到 0°C 以上, 而合肥、杭州、仁寿、贵阳、桂林各旬平均温度一直保持在 0°C 以上。所以各站点的植物物候受到不同气候的影响, 体现了其中的差异。

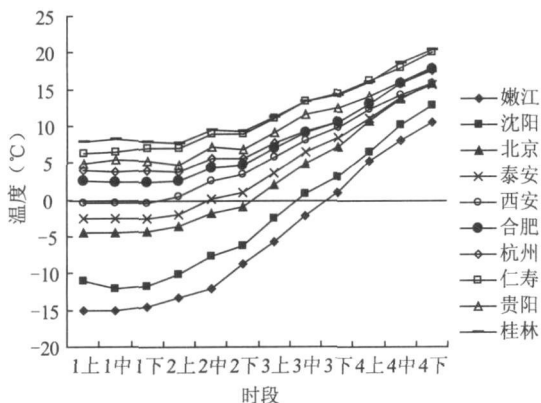


图 1 各站点 1963-1988 年 1-4 月各旬平均温度

利用垂柳、木槿、刺槐、梧桐 4 种植物在各个站点的平均展叶期, 分析了其随纬度的变化趋势, 如图 2。4 种植物都是在春季展叶, 平均展叶期分别是 3 月 10 日、4 月 4 日、4 月 8 日、4 月 15 日。从图 2 中可以看出, 线性回归分析均达极显著水平 ($p < 0.01$), 说明 4 种植物的平均展叶期均随纬度的增加而显著推迟。对同种植物来说, 在南方地区往往比在北方地区的展叶期提前

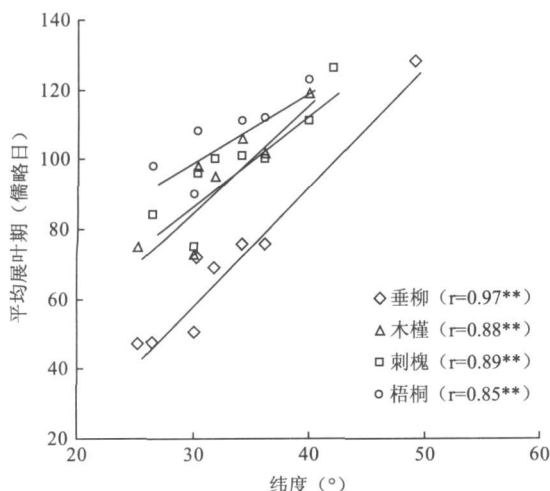


图 2 4 种植物平均展叶期与纬度的关系 (** $p < 0.01$)

到来。垂柳、木槿、刺槐、梧桐的展叶期每增加一个纬度分别推迟 3.4 3.0 2.6 2.0d。可以看出, 展叶较早的植物受纬度的影响更大, 可能是因为较早时段的平均温度南北差异较大, 所以展叶期的变化也比较大。

4 种植物平均展叶期标准差随纬度变化的趋势见图 3。从图中可以看出, 标准差随着纬度的增加而显著减小, 这表示南方植物展叶期的年际波动比北方的大。展叶期标准差的下降速率是 $3.2d/10^\circ$, 在北方展叶期波动大约为 4~8d 而在南方大约为 8~14d, 这与 Lu 等^[8]对中国植物开花期的研究结果一致, 但是展叶期的年际波动更大。这可能是由于展叶期比开花期到来的早, 且发生在气温波动较大的时段, 因此随温度的变化, 展叶期的波动也比较大。

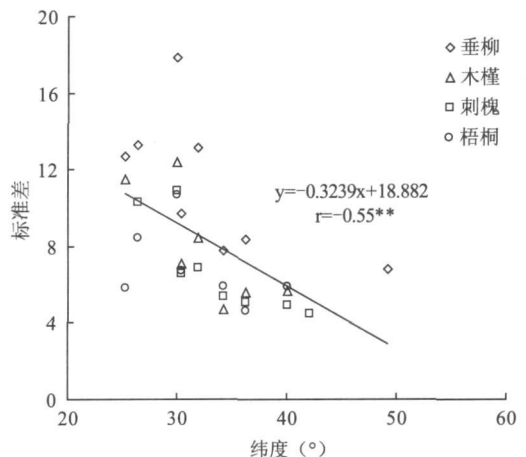


图 3 4 种植物平均展叶期标准差与纬度的关系 (** $p < 0.01$)

2.2 不同植物展叶期对不同地区春季温度响应的敏感时段

分析不同地区 4 种植物展叶期与春季不同时段平均温度的相关关系, 以通过 0.05 水平显著性检验为标准, 其中相关关系最显著的时段为展叶期的显著敏感时段, 即该种植物的展叶期对这一时段的平均温度最敏感, 展叶期的提前或推迟主要是对该时段的平均温度产生响应的结果。

图 4 显示了垂柳、木槿、刺槐、梧桐在不同地区对春季温度变化响应的显著敏感时段, 其中黑点表示平均展叶期。从中可以看出, 植物的展叶期对春季温度响应的敏感时段主要在平均展叶期前的几十天。也有部分敏感时段包括平均展叶期所在时段或之后的 10~20d 这是由于在某些站点较多年份的展叶期比平均展叶期晚, 其敏感时段也会相应延长至平均展叶期之后。在北方地区, 温度影响展叶期的时段长度以 10~40d 为主, 但是也存在少数例外, 如垂柳在泰安、

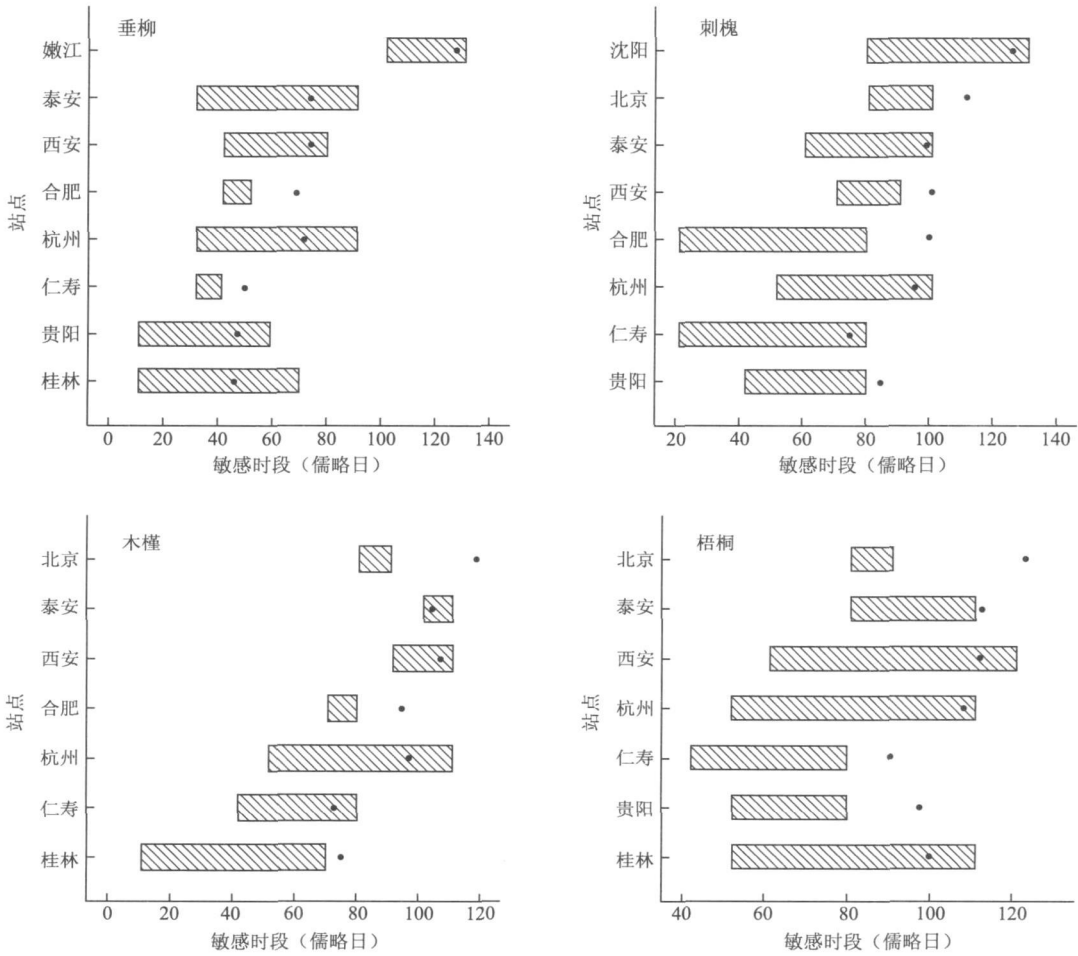


图 4 4种植物展叶期对不同地区春季温度响应的显著敏感时段

注: 黑点表示平均展叶期

刺槐在沈阳及梧桐在西安的敏感时段较长 (50 或 60d)。在南方地区, 温度影响展叶期的时段主要长 40~ 60d 但是垂柳在合肥和仁寿以及木槿在合肥的敏感时段仅为 10d, 可能是由于垂柳与木槿展叶期较早, 所在时段温度波动较大, 在部分南方地区仍对短时间的温度变化更加敏感。

在不同地区, 同种植物对春季温度变化的响应时段位置和长度不同, 北方地区的敏感时段较晚, 南方地区的敏感时段较早, 与展叶期出现的早晚一致。北方地区的敏感时段主要集中在 3- 4 月, 而南方的主要在 2- 3 月。这一结果与人们对各个地区植物物候的研究结果一致^[16,18]。在同一地区, 4种植物的展叶期的敏感时段不同, 且垂柳的敏感时段明显早于其他 3种植物, 梧桐的敏感时段相对较晚。说明植物展叶期对温度的敏感时段与展叶期的早晚有关。因为植物展叶期的早晚在一定程度上反映了植物对气象因子 (尤其是温度) 的敏感性。由于不同植物生长发育对温度的要求有所不同, 有些植物对较低的温度 (3~

5℃) 敏感, 而有些植物则对较高的温度 (7~ 10℃) 敏感, 由此导致了不同植物对温度的敏感时段的差异。在本研究中, 垂柳的展叶期在 4种植物中最早, 其叶芽开始对温度的变化产生敏感性的时刻最早, 因此其展叶期的敏感时段较早。

2.3 不同植物展叶期对不同地区春季温度变化的敏感性

进一步将展叶期与其显著敏感时段的平均温度进行线性回归, 得到展叶期对温度变化的敏感性, 即当温度变化 1℃时展叶期变化的天数。表 2 显示了 4种植物展叶期与敏感时段平均温度的关系。结果发现, 除了木槿展叶期在泰安地区的相关系数没达到显著水平, 这 4种植物的展叶期与敏感时段平均温度均呈显著 ($p < 0.05$) 的负相关关系。说明植物展叶期受展叶期前时段平均温度的影响, 当春季温度升高, 展叶期将提前, 而当温度下降, 展叶期则会推迟。这一结果与国内外学者的研究结果一致^[10,19,22]。

在北方地区, 垂柳、木槿、刺槐、梧桐展叶对温度

表 2 4种木本植物展叶期对不同地区春季温度的敏感性

树种	站点	样本数	敏感性 (d/°C)	r	p	树种	站点	样本数	敏感性 (d/°C)	r	p
垂柳	嫩江	11	-4.1	-0.86	0.001	刺槐	沈阳	16	-3.3	-0.88	< 0.001
	泰安	17	-5.6	-0.68	0.003		北京	23	-2.6	-0.77	< 0.001
	西安	20	-3.8	-0.66	0.002		泰安	19	-3.7	-0.72	< 0.001
	合肥	11	-5.7	-0.91	< 0.001		西安	20	-2.1	-0.60	0.005
	杭州	10	-8.0	-0.79	0.007		合肥	11	-3.8	-0.69	0.019
	仁寿	13	-7.5	-0.62	0.024		杭州	10	-7.6	-0.90	< 0.001
	贵阳	10	-5.3	-0.63	0.05		仁寿	14	-9.0	-0.90	< 0.001
	桂林	13	-4.8	-0.89	< 0.001		贵阳	16	-4.6	-0.91	< 0.001
	木槿	北京	23	-2.3	-0.65		0.001	梧桐	北京	23	-1.6
泰安		8	-2.4	-0.63	0.097	泰安	19		-3.1	-0.70	0.001
西安		20	-2.0	-0.56	0.011	西安	11		-5.6	-0.71	0.014
合肥		12	-3.3	-0.73	0.007	杭州	13		-5.7	-0.77	0.002
杭州		12	-6.1	-0.81	0.001	仁寿	13		-6.3	-0.87	< 0.001
仁寿		14	-7.2	-0.82	< 0.001	贵阳	15		-3.9	-0.89	< 0.001
桂林		19	-5.8	-0.77	< 0.001	桂林	20		-3.7	-0.80	< 0.001

变化的敏感性分别是 3.8~5.6d/°C、2.0~2.4d/°C、2.1~3.7d/°C、1.6~5.6d/°C。在南方地区,它们的敏感性分别是 4.8~8.0d/°C、3.3~7.2d/°C、3.8~9.0d/°C、3.7~6.3d/°C (表 2)。从表中可以看出,南方地区木本植物展叶期对春季温度变化的敏感性高于北方。另外,不同植物在同一地区对温度的敏感性也有所不同,但是这种差异相对较小。由此可以推断,当不同地区春季温度上升同样的温度时,北方地区植物展叶期提前幅度较小,南方地区展叶期提前幅度较大,南北方植物展叶期的差距会增大。但是,植物春季物候实际的变化程度存在地区差异^[20],这不仅与物候期的敏感性差异有关,还与不同地区温度变化程度的差异有关。相关研究指出北方地区春季增温幅度大于南方^[23],因此,未来南北方植物展叶期的差距会如何变化有待进一步研究。

3 结论与讨论

(1) 中国季风区植物展叶期自北向南日期逐渐提前,年际波动逐渐增加。与郑景云等^[24]对物候期地理分布规律的研究结果一致。本研究没有排除经度和海拔高度对展叶期的影响,但是纬度是影响物候期的主要因素之一^[9]。纬度、经度、海拔等地理因素会影响气温、降水以及日照时数等气象因子,从而影响植物物候期的变化,因此对多因子对物候期的综合影响还需要深入研究。

(2) 植物展叶期对温度的显著敏感时段在北方地区较短,集中在 3-4 月,在南方地区较长,集中在

2-3 月,均是温度上升较快的时段。不同植物在不同地区有不同的敏感时段,表现了对温度变化响应的多样性。因此,在物候模型的参数中,需要考虑植物种类以及所在地区气候的特点^[11]。

敏感时段的气候变化是影响植物物候期的主要原因,尤其是温度的影响更为重要。陈效速等^[25]通过积分回归发现对于春季物候,愈接近物候期的时段对物候的影响愈大,该时段就是影响物候的温度敏感期。敏感时段是气候变化影响该物候期变化的主要阶段,说明了气候因子变化与物候期变化的关系,并不表示其它非敏感时段的气候条件对物候期没有影响,而是对其变化没有显著影响。

(3) 中国季风区植物展叶期与春季时段的温度呈显著负相关关系,即当温度升高,展叶期提前,反之亦然。展叶期的敏感性南方 (3.3~9.0d/°C) 大于北方 (1.6~5.6d/°C)。但是与欧洲地区^[7]相比,中国的展叶期敏感性波动范围较大,可能是由于纬度范围较广、气候特点较复杂的原因。

植物展叶期标志着植物生长季的开始,也与春季的开始密切相关。对展叶期的气候敏感性的研究,可以帮助预测未来气候变化下植物生长季的变化与春季到来的早晚,从而对农林业的生产安排提供一定的依据。此外,不同植物对气候变化的敏感性之间的差异可能对植物种群以及生态系统造成一定的影响,如种群生物多样性^[26],还可能影响不同物种之间的相互关系^[27],改变他们的竞争能力,进而导致对种群结构、生态系统功能的不可预测的影响^[28]。因此,对物

候敏感性的进一步深入研究,还可以更好的了解和预测气候变化对生态系统的影响,为指导人们保护生态环境提供科学依据。

参考文献:

- [1] Walther GR, Post E, Convey P, et al. Ecological responses to recent climate change [J]. *Nature*, 2002, 146: 389-395.
- [2] 方精云. 全球生态学: 气候变化与生态响应 [M]. 北京: 高等教育出版社, 施普林格出版社, 2000: 8-15.
- [3] 张福春. 北京春季的树木物候与气象因子的统计分析 [J]. *地理研究*, 1983, 2(2): 55-64.
- [4] 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): 402-410.
- [5] 徐雨晴, 陆佩玲, 于强. 我国气候变化对刺槐、紫丁香始花期的影响 [J]. *北京林业大学学报*, 2004, 26(4): 100-104.
- [6] Doia H, Katano I. Phenological timings of leaf budburst with climate change in Japan [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2008, 148: 512-516.
- [7] Menzel A. Plant Phenological anomalies in Germany and their relation to air temperature and NAO [J]. *Climatic Change*, 2003, 57: 243-263.
- [8] Lu P L, Yu Q, Liu H D, et al. Effects of changes in spring temperature on flowering dates of woody plants across China [J]. *Botanical Studies*, 2006, 47(2): 153-161.
- [9] 郑景云, 葛全胜, 郝志新. 气候增暖对我国近 40 年植物物候变化的影响 [J]. *科学通报*, 2002, 47(20): 1582-1587.
- [10] Chmielewski FM, Rotzer T. Response of tree phenology to climate change across Europe [J]. *Agric. For Meteorol*, 2001, 108: 101-112.
- [11] Vitasse Y, Delzon S, Dufrêne E, et al. Leaf phenology sensitivity to temperature in European trees: Do within species populations exhibit similar responses? [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2002, 149: 735-744.
- [12] Schlep C, Rais A, Menzel A. Bayesian analysis of temperature sensitivity of plant phenology in Germany [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2009, 149: 1699-1708.
- [13] Walther G R. Plants in a warmer world [J]. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2003, 6(3): 169-185.
- [14] Morin X, Lechowicz M J, Augspurger C, et al. Leaf phenology in 22 North American tree species during the 21st century [J]. *Global Change Biology*, 2009, 15: 961-975.
- [15] 中国科学院地理研究所. 中国动植物观测年报 (1-11) [M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [16] 黄珍珠, 李春梅. 气候增暖对广东省植物物候变化的影响 [J]. *气象科技*, 2007, 35(3): 400-403.
- [17] 李荣平, 周广胜, 郭春明, 等. 1981-2005 年中国东北榆树木物候变化特征及模拟研究 [J]. *气象与环境学报*, 2008, 24(5): 11-15.
- [18] 韦京华. 广西楝树的生物气候规律初探 [J]. *广西科学*, 1996, 3(4): 28-29.
- [19] 徐文铎, 何兴元, 陈玮, 等. 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.
- [20] 袁婧薇, 倪健. 中国气候变化的植物信号和生态证据 [J]. *干旱区地理*, 2007, 30(4): 465-473.
- [21] 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.
- [22] Menzel A. Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996 [J]. *Int J Biometeorol*, 2000, 44: 76-81.
- [23] 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 [J]. *气候变化研究进展*, 2006, 2(1): 3-8.
- [24] 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研究 [J]. *中国农业气象*, 2003, 24(1): 28-32.
- [25] 陈效速, 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 [J]. *中国农业气象*, 2001, 22(1): 1-5.
- [26] Willis C G, Ruhfel B, Primack R B, et al. Phylogenetic patterns of species loss in Thoreau's woods are driven by climate change [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, 105: 17029-17033.
- [27] Penuelas J, Filella I. Phenology-Response to a warming world [J]. *Science*, 2001, 294: 793-794.
- [28] Penuelas J, Filella I, Comas P. Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region [J]. *Global Change Biology*, 2002, (8): 531-544.