

花期物候对气候变化的响应进展

张宝成¹, 白艳芬²

(1. 遵义师范学院 生命科学学院, 贵州 遵义 563002; 2. 遵义师范学院 公共管理学院, 贵州 遵义 563002)

摘 要: 由于人类活动引起大气温室气体增加造成气候变暖, 温度的变化改变了大气水热时空分布格局, 这不但引起植物花期物候变化, 而且会改变植物花期与虫媒昆虫和病虫害之间关系变化。该过程涉及到植物有性繁殖体种子的产量。花期的变化会对农业粮食安全产生影响, 同时植物的繁殖影响到自然生态系统植物群落组成的变化, 进而影响到生产力。因此, 该研究综述了近年来国内外植物花期对气候变化的影响, 并在此基础上对未来的研究方向进行了探讨和展望。

关键词: 花期; 物候; 气候变化; 粮食; 授粉

中图分类号: Q 944.58 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2015)22-0190-05

在 20 世纪, 由于人类活动引起大气温室气体增加, 导致气温平均升高 0.74℃, 到 21 世纪末气温将升高 1.8~4.0℃^[1]。气温增加改变了地表水热循环, 产生了一系列极端天气(如干旱和暴雨等)。植物物候综合反映了气候与环境变化, 因此常作为气候变化的重要指标^[2]。目前关于植物物候方面的研究, 主要集中在中高纬度和温度较低区域^[3-4]。MENZEL 等^[5]通过整合分析(Meta-analysis)总结了欧洲春季植物物候有提前趋势; 在区域尺度, BADECK 等^[6]和 ZHENG 等^[7]分别研究了德国和中国春季物候的变化, 发现春季物候呈提前趋势。目前, 关于气候变化与植物花期物候关系的研究比较匮乏, 而植物花期物候是植物生活史中重要组成部分。

植物花期具有很强的可塑性, 花期变化与植物健康和进化密切相关^[8]。植物花期物候意味着植物个体发育从营养生长转化为生殖生长。植物花期物候包括开花时期和花期的持续时间, 这影响到植物花器官的发育、传粉、花色发育和花分泌物等^[9]。花是植物有性繁殖的重要阶段, 是植物长期进化适应新环境的重要途径^[10]。

植物繁殖既受自身的影响, 也受外界因子的影响, 如温度、降水和授粉媒介^[11]。高等植物繁殖中两性配子的受精需要“媒介”传递花粉实现, 而蜜蜂是最重要的授粉者^[10]。温度和降水的变化影响到植物生长季长

短^[12]、土壤营养物质供给、昆虫多样性和活动性^[11], 进而影响到植物繁殖。植物花期物候是植物与气候条件长期作用的结果^[13], 气候变化影响到植物花絮中花的数目(如春季迟发育花期的黑麦草, 小穗花数由早期的 6.6 个下降到 4.6 个)、传粉和受精率^[14], 影响到种子数目和植物个体数目^[13]。因此, 植物学研究者认为, 种子反映了植物个体的所有繁殖成效^[10], 而忽视了花期物候与其种子生产过程。

自然生态系统花期物候变化涉及到植物繁殖, 影响到植物群落中不同物种间的竞争和物种组成^[13], 进而影响到生态系统的稳定性和生态功能的发挥。大部分植物在生殖阶段对温度的需求最高, 如抽穗与花序形成期^[15], 花的物候对气候变化比较敏感。因此, 研究植物花期物候对生态系统的影响具有重要的意义。同样, 农作物花期物候的变化, 影响农业粮食安全和社会稳定和谐发展。

1 农业花期物候变化

1.1 果树花期物候的变化

大部分农作物的种子和花是医药、化工原料和粮食的重要原料。对多年生植物, 早期物候是淬火和发育综合作用的结果。增温对淬火产生负面影响, 但是温度增加, 加速植物细胞发育速度; 植物物候对春季物候的响应主要取决于拮抗变暖效应之间的差额^[16]。春天气温增加, 有利于早开花植物花期提前^[17], 长期的观测研究也证实了气候变暖农作物花期物候呈提前趋势。但是不同区域和不同物种的响应有所差异, 如日本北部苹果树花期提前速率 3.8 d/℃^[18], 而德国的苹果和樱桃花期显著提前速度为 4.6 d/℃和 4.7 d/℃^[19]; 黄土高原梨树

第一作者简介: 张宝成(1978-), 男, 博士, 讲师, 研究方向为生态学。E-mail: woshimiantian@126.com.

基金项目: 贵州省教育厅资助项目(黔教合 KY 字[2014]260); 遵义师范学院博士启动基金资助项目(BS06 和 BS07 号)。

收稿日期: 2015-07-30

花芽开放期提前率为 9.3 d/10a^[20]。

1.2 粮食作物花期物候变化

与果树相比,粮食作物花期也呈现提前趋势,农作物的研究涉及到花期与产量关系的研究。在澳大利亚,花期气温显著影响到小麦、大麦、燕麦、羽扇豆、豌豆、油菜、亚麻和红花的花期物候^[21];花期物候是影响农作物羽扇豆产量的主要因素^[22]。温度是植物生理活动的重要因子,温度增加植物体内酶促反应加速,植物发育速度加快,尤其是最低温度增加,改变了苛刻环境,有利于植物花期生长发育,如冬小麦花期提前速率 4.8 d/10a,棉花花期提前速率 7.9 d/10a^[23]、黄瓜始花期提前速率 1.9 d/10a^[24],早稻花期显著提前速率为 6.2 d/10a^[25]。温度增加有利于花器官发育,有利于提高受精坐果率^[24],促进了产量增加^[23]。

最低温度增加有利于繁殖期延长。如小麦花期到乳熟期持续时间延长速率为 4.1 d/10a,小麦产量增加速度最高达 3 652 kg/hm²^[23]。对热量需求较高的 C4 作物玉米,夏季的温度每升高 1℃,玉米产量增加 1 813 kg/hm²^[25]。温度也是一面双刃剑,花期温度过高抑制产量的增加。春季最高温度和夏季最低温度升高 1℃,水稻产量分别降低 197 kg/hm² 和 336 kg/hm²。在小麦中的研究也发现,最高温度超过 23℃,明显抑制了小麦产量的积累^[23]。由于温度升高影响花絮不孕率,最高温度每升高 1℃,不孕率增加 2.9%^[25]。另外植物花期前的活力影响到粮食作物花的发育、授粉而影响到粮食产量^[26]。干旱环境中,花期提前,作物产量增加,晚熟植物花期推迟也促进了产量增加^[26]。

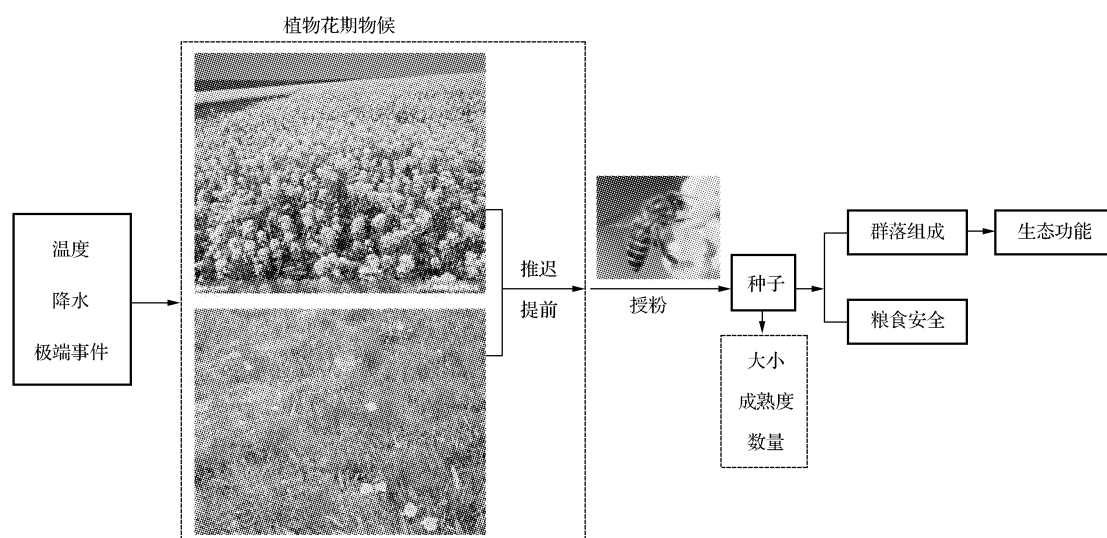


图1 植物花期物候与植物繁殖关系示意图

2 自然生态系统植物花期物候的响应

气候变化影响植物花期的机制有 3 种:一是温度增加促进了早花植物花期提前;二是温度过高超过了最佳发育温度范围,植物躲避高温时期物候出现推迟现象;三是干旱或者变暖诱导植物花器官的发育影响其花期物候^[17]。不同植物物候对气候变化的响应差异由于不同物种对气候敏感性所致^[27],因此不同物种花期物候敏感系数相差较大。郑州的蒲公英和车前草的始花期分别提前 8.16、13.0 d^[28]。内蒙古从东到西观测站长期物候研究表明,车前草开花期提前速率 3.5~10.7 d/a^[29]。美国落基山脉半干旱草原,32 种优势植物中,75% 的植物花期提前,其平均提前速率为 6.1 d/10a,其中 9 种植物平均提前速率为 16 d/10a^[30]。美国科罗拉多州落基山生物实验站的观测表明,气候变化明显影响到灵香草始花期^[31]。由于植物物种差异,在同一区域植物物候甚至出现相反趋势,如青藏高原甘德垂穗披碱草始花期以

16 d/10a 的速率推迟,而互助的冰草始花期以 21 d/10a 的速率提前^[4]。民勤荒漠区的研究表明,油蒿花期显著提前速率为 2.19 d/10a,牡丹花期却显著推迟速率为 1.97 d/10a^[32]。而长江源头高寒草甸优势牧草花期物候显著受降水影响^[33]。

植物通过花期和花的数目对气候进行响应。降水变化,显著影响到植物花期物候进而影响到种子产量^[34]。花的数量有很大的变异性,花期变化达 57 d,日花最大数量变幅为 1~1 187^[31]。青藏高原高寒草甸长期研究表明,降水量变化影响到嵩草的花期物候^[33],进而影响优势植物的组成与生态系统的生产力^[12];气候变化影响到草甸化草原主要物种的花期物候^[35]以及草地植物组成^[36],导致群落营养组成变化^[37]。植物花期具有很强的可塑性,花期变化影响到植物群落的繁殖^[38]。如内蒙古草场植物开花期观测表明,植物之间的开花期相差达 3 个月^[13];花期变异性最大的是花序形成期^[15]。

同一植物由于对环境适应性的差异,不同来源结缕草间盛花期的差异达 27~58 d^[39]。兼有两性繁殖的植物花期研究表明,花较小的植物花期较长,它的种子比花期短的植物种子大;一年生植物花期比多年生植物长,开花时间受株高和种子大小的影响^[40]。

目前观测木本植物花期多在春天,温度增加明显促进了木本植物花期的提前。区域间的差异和物种间的差异导致木本植物花期物候相差较大。如郑州刺槐和垂柳的始花期分别提前 4.17 d/℃和 3.69 d/℃^[28];北京山桃始花物候花期提前 2.8~3.6 d/℃^[41]。民勤荒漠区 8 种木本植物花持续期延长速率为 1.64~7.36 d/10a^[28]。广东 10 个农业观测站苦楝植物的始花期提前了 0.5~12.0 d^[42]。内蒙古杨树花期和盛花期分别提前 1.3~10.6 d/℃和 0.7~0.9 d/℃^[43];在过去的 30 年间,欧洲榛子“拉脱维亚”和“立陶宛”的花期显著提前 0.6~1.1 d/a 和 0.1~0.9 d/a,桤木的花期分别提前 44 d/a 和 14.6 d/a^[44]。在印度温度增加促进了 11 种木本植物始花期提前^[45];在斯洛文尼亚气温增加促进了榛子和柳树花期提前^[46];在加拿大的埃德蒙顿,响叶杨的始花期提前 26 d^[47]。

3 试验方法对花期物候的影响

3.1 城市花期物候的影响

城市植物花期不但受城市局地“热岛效应”的影响,还受大气污染的影响^[48]。关于城市植物花期物候与城市污染物方面的研究比较缺乏,目前城市物候仍然集中在气温变化与其关系的研究。城区温度升高导致植物花期提前,如沈阳城市森林主要树种始花期提前 24.1 d^[49];韩国首尔 43 种城市木本植物花期比城郊的花期平均提前 10.2 d,其中变化最大的是杜鹃花,相差 24.0 d,最小的稠李仅相差 2.0 d^[48]。北欧 10 个城市的长期观测表明,城区连翘和苹果花期比城郊物候提前,但是城郊草本植物雪花莲花期明显比城市内提前^[50]。

3.2 不同试验方法对花期物候的影响

由于气温升高对生态系统的影响较大,研究者开始尝试开展模拟试验,研究植物对气候变暖的响应。与传统的长期物候观测相比,短期模拟增温方式缺乏植物的适应性;而且短期模拟增温幅度远远高于长期的增温幅度,造成短期模拟增温后不同功能组植物间物候差异较大,花期植物响应幅度是长期观测花期的 8.5 倍^[51]。在日本筑波,OTC(开顶箱)模拟增温 4℃,C3 植物藜草的花期比对照提前 50.0 d,而 C4 植物狗尾草提前 31.5 d,温度增加显著提前了植物繁殖物候,但是 C3 植物藜草的生物量和种子质量比对照显著降低 47.3%和 14.6%^[52]。在日本大雪山,用 OTC 模拟增温后,落叶灌木北极果的花期比对照提前 10 d^[53];在川西亚高山林线交错带,OTC 模拟增温明显提前了西川韭与草玉梅的始花时

间和最大开花时间及 2 种植物的开花率^[54]。在澳大利亚伯公高原,OTC 增温(1~2℃)3 年试验表明,亚高山石楠群落,推迟了非禾草类的花期^[55]。在澳大利亚草原模拟增温 2℃,植物始花期提前 2.1~20.3 d^[56]。

3.3 全球变化因子对花期的影响

由于人类活动导致大气 CO₂ 浓度升高,同时产生温室效应,温度升高改变了全球水热分布的时空格局。这些因子不但影响植物花期物候,还导致病虫害的发生影响植物花期。土壤水分和植物水分状态是影响热带树林植物花期物候的主要因子^[57],干旱草原植物花期物候变化主要受降水影响^[31];高山草地生态系统研究表明,CO₂ 浓度升高或夏天干旱对草地植物花期物候没有明显影响^[58]。在澳大利亚草原,模拟增温与 CO₂ 增加的交互作用对晚花植物的影响最大^[56]。

日本的研究表明,气候异常年苹果花期的提前速率为 4.6 d/℃^[18]。气候干旱波动导致植物花期提前,影响植物种子大小^[16]。欧洲中部干旱 32 d 后,花期物候显著提前 4 d,超过 170 mm 的暴雨事件显著缩短了植物花期持续时间^[59]。以往的研究表明,高山植物麦瓶草花期提前促进了其有性繁殖的成功率^[16]。北大西洋涛动(NAO)明显影响到桤木、榛子和紫丁香的始花期物候^[44]和德国 20 种植物花期物候^[60]。灰叶安息香花期和数量明显受极端事件的影响^[61]。植物花期物候对极端气候事件的响应主要受立地条件和功能多样性的影响^[59]。另外,气候变化影响植物花期病虫害的发生频率和花数量的变化,如毛茛蝇子草感染真菌的百分比随着植物花期的提前而显著增加^[62];同样,病虫害也影响植物花的数量^[63]。

4 研究热点和期望

气候变化影响到植物花期,植物花期影响到其种子的大小^[40],进而影响到粮食产量。目前关于植物花期变化与其产量的研究仅有少数的报道,因此需要加强这方面的研究。在自然生态系统中,植物花期物候受植物授粉类型(风媒/虫媒)、生长类型(一年生/多年生)和株高等影响^[40]。目前缺乏气候变化改变植物花期,进而影响其生产力方面的研究。由于种子生产力的变化涉及到植物群落的变化,因此,随着人们对全球变化认识的深入,关于植物花期与生态系统结构及其功能的研究是一个亮点。

植物花期与虫媒关系与气候变化关系方面的研究比较缺乏,需进一步加强。已知 65%的开花植物是虫媒传粉作用促进其繁殖和种群延续^[64]。从传粉昆虫的种类和数量而言,蜜蜂位居第一;蜜蜂甚至是大多数种子植物的唯一授粉昆虫^[64]。由于气候变化和人类活动导致了野生蜜蜂数量和类群的持续减少^[65]。昆虫与植物

花的发育是长期进化的结果,我国 80% 以上的被子植物的花筒深度与我国蜜蜂的吻长度一致^[66]。据联合国粮农组织的研究种类表明,85% 的农作物授粉依赖蜜蜂等昆虫,其中 12% 增产达 90%、28% 增产为 10%~40%^[67]。昆虫授粉涉及到植物的始花期、盛花期以及植物花期的持续时间^[62]。晚花期植物万年青授粉结实率较低,花期的早晚影响植物雄性株花的发育,越晚雄性的成功率越低^[62]。植物花期物候和昆虫的健康成本、可塑性以及对环境因子的反应,制约着准确评估生物和选择压力对植物花物候的影响。因此,植物花期的变化和虫媒授粉昆虫的发育时期、授粉次数以及植物的结实率等方面的研究以及植物花期的变化与植物病虫害的危害等,也是以后深入研究生态系统对全球变化响应的重要方面。

参考文献

- [1] IPCC. Climate Change 2007; The Physical Science Basis. In: (ed. SOLOMON S D, QIN M, MANNING Z, et al.) [M]. Cambridge University Press Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2007.
- [2] PEÑUELAS J, FILELLA I. Phenology-Responses to a warming world [J]. Science, 2001, 294: 793-794.
- [3] BRADLEY N L, LEOPOLD A C, ROSS J, et al. Phenological changes reflect climate change in Wisconsin [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1999, 96: 9701-9704.
- [4] 祁如英,王启兰,申红艳. 青海草本植物物候期变化与气象条件影响分析 [J]. 气象科技, 2006, 34(3): 702-706.
- [5] MENZEL A, SPARKS T H, ESTRELLA A, et al. European phenological response to climate change matches the warming pattern [J]. Global Change Biology, 2006(12): 1969-1976.
- [6] BADEECK F W, BONDEAU A, BOTTCHER K, et al. Responses of spring phenology to climate change [J]. New Phytologist, 2004, 162: 295-309.
- [7] ZHENG J, GE Q, HAO Z, et al. Spring phenophases in recent decades over Eastern China and its possible link to climate changes [J]. Climatic Change, 2006, 77: 449-462.
- [8] BURGESS K S, ETTERSON J R, GALLOWAY L F. Artificial selection shifts flowering phenology and other correlated traits in an autotetraploid herb [J]. Heredity, 2007, 99: 641-648.
- [9] 罗睿,郭建军. 植物开花时间: 自然变异与遗传分化 [J]. 植物学报, 2010, 45(1): 109-118.
- [10] 张大勇. 植物生活史进化与繁殖生态学 [M]. 北京: 科学出版社, 2003: 85-89.
- [11] 樊宝丽,孟金柳,赵志刚,等. 海拔对青藏高原东部毛茛科植物繁殖特征和资源分配的影响 [J]. 西北植物学报, 2008, 28(4): 805-811.
- [12] ZHANG B C, CAO J J, BAI Y F, et al. Effects of rainfall amount and frequency on vegetation growth in a Tibetan alpine meadow [J]. Climatic Change, 2013, 118: 197-212.
- [13] 李荣平,周广胜,杨洪斌. 科尔沁草甸植物繁殖物候研究 [J]. 辽宁气象, 2004(4): 20-22.
- [14] 杨永秀,王生耀. 高原气候因子对多年生牧草有性繁殖影响研究 [J]. 草业与畜牧, 2009(4): 33-36.
- [15] 张峰,周广胜,王玉辉. 内蒙古克氏针茅草原植物物候及其与气候因子关系 [J]. 植物生态学报, 2008, 32(6): 1312-1322.
- [16] CHUINE I. Why does phenology drive species distribution? [J] Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences, 2010, 365: 3149-3160.
- [17] SHERRY R A, ZHOU X H, GU S L, et al. Divergence of reproductive phenology under climate warming [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2007, 104: 198-202.
- [18] AWA M, KOBAYAS K. Apple (*Malus pumila* var. *domestica*) phenology is advancing due to rising air temperature in northern Japan [J]. Global Change Biology, 2010, 16: 2651-2660.
- [19] CHMIELEWSKI F M, MULLER A, BRUNS E. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961-2000 [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2004, 121: 69-78.
- [20] 郭江勇,林纾. 气候变化对西峰黄土高原地温与物候期的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2008(26): 235-239.
- [21] FRENCH R J, SCHULTZ J E. The phenology of eight cereal, grain legume, and oilseed crops in South Australia [J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 1982(22): 67-75.
- [22] THOMSON B D, SIDDIQUE K H M, BARR M D, et al. Grain legume species in low rainfall Mediterranean-type environments. I. Phenology and seed yield [J]. Field Crops Research, 1997, 54: 173-187.
- [23] WANG H L, GAN Y T, WANG R Y, et al. Phenological trends in winter wheat and spring cotton in response to climate changes in northwest China [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2008, 148: 1242-1251.
- [24] KALBARZYK R. Air temperature changes and phenological phases of field cucumber (*Cucumis sativus* L.) in Poland, 1966-2005 [J]. Horticultural Science, 2009, 36: 75-83.
- [25] TAO F, YOKOZAWA M, XU Y, et al. Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China, 1981-2000 [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2006, 138: 82-92.
- [26] LUDWIG F, ASSENG S. Potential benefits of early vigor and changes in phenology in wheat to adapt to warmer and drier climates [J]. Agricultural Systems, 2010, 103: 127-136.
- [27] GORDO O, SANZ J J. Impact of climate change on plant phenology in Mediterranean ecosystems [J]. Global Change Biology, 2010, 16: 1082-1106.
- [28] 吴荣军,郑有飞,赵国强,等. 郑州主要植物春季物候变化及其对气温变化的响应 [J]. 生态学杂志, 2009(28): 1049-1054.
- [29] 曹艳芳,吴瑞芬,闫伟雄. 车前草物候变化特征及对气候变化的响应 [J]. 内蒙古气象, 2008(4): 8-10.
- [30] LESICA P, KITTELSON P. Precipitation and temperature are associated with advanced flowering phenology in a semi-arid grassland [J]. Journal of Arid Environments, 2010, 74: 1013-1017.
- [31] INOUE D W, SAAVIRA F, LEE Y W. Environmental influences on the phenology and abundance of flowering by *Androsace septentrionalis* (Primulaceae) [J]. American Journal of Botany, 2003, 90: 905-910.
- [32] 常兆丰,韩福贵,仲生年. 民勤荒漠区 36 种植物物候期积温变化动因分析 [J]. 中国农学通报, 2010(26): 295-302.
- [33] 黄瑞灵,周华坤,刘泽华,等. 长江源区高山嵩草物候与生物量动态及其对气候变化的响应 [J]. 西北植物学报, 2012, 32(5): 1021-1026.
- [34] PEÑUELAS J, FILELLA I, ZHANG X Y, et al. Complex spatiotemporal phenological shifts as a response to rainfall changes [J]. New Phytologist, 2004, 161: 837-846.
- [35] 祁如英,张成昭,郭卫东. 青海省天然牧草物候期变化特征分析 [J]. 青海气象, 2008(2): 16-21.
- [36] 张宝成,曹军骥,王启元,等. 环境变化对青海湖天然草场牧草产量的影响 [J]. 干旱区资源与环境, 2010(24): 134-137.
- [37] 张宝成,曹军骥,白艳芬,等. 气候变化对青海湖天然高寒草原草场优势牧草群营养成分的影响 [J]. 干旱区资源与环境, 2011(3): 127-130.

- [38] TURNER R K, BURGESS D, HADLEY D, et al. A cost-benefit appraisal of coastal managed realignment policy[J]. Global Environmental Change, 2007, 17: 397-407.
- [39] 宣继萍, 周志芳, 刘建秀, 等. 结缕草属(*Zoysia* Willd.) 植物物候期的差异分析[J]. 植物资源与环境学报, 2008(17): 53-57.
- [40] JIA P, BAYAERTA T, LI X, et al. Relationships between flowering phenology and functional traits in Eastern Tibet Alpine Meadow[J]. Arctic Antarctic and Alpine Research, 2011, 43: 585-592.
- [41] 张学霞, 葛全胜. 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): 263-266.
- [42] 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.
- [43] 杨丽桃, 侯琼. 内蒙古东部地区小叶杨物候变化与气象条件的关系[J]. 气象与环境学报, 2008(24): 39-45.
- [44] KALVANE G, ROMANOVSKAJA D, BRIEDE A, et al. Influence of climate change on phenological phases in Latvia and Lithuania[J]. Climate Research, 2009, 39: 209-219.
- [45] THAKUR P D, THAKUR A. Impact of inter-annual climate variability on the phenology of eleven multipurpose tree species[J]. Current Science, 2008, 94: 1053-1058.
- [46] CREPINSEK Z, CEGLAR A, KAJFEZ B L. Long-term trends in spring phenological phases in Slovenia between 1955 and 2008[J]. Bratislava: Slovak Acad Sciences, 2009, 45: 56-59.
- [47] BEAUBIEN E G, FREELAND H J. Spring phenology trends in Alberta, Canada: links to ocean temperature[J]. International Journal of Biometeorology, 2000, 44: 53-59.
- [48] MIN B M. Comparison of phenological characteristics for several woody plants in urban climates [J]. Journal of Plant Biology, 2000, 43: 10-17.
- [49] 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): 1461-1468.
- [50] ROETZER T, WITTENLLER M, HAECKEL H, et al. Phenology in central Europe-differences and trends of spring phenophases in Urban and Rural areas[J]. International Journal of Biometeorology, 2000, 44: 60-66.
- [51] WOLKOVICH E M, COOK B I, ALLEN J M, et al. Warming experiments underpredict plant phenological responses to climate change[J]. Nature, 2012, 485: 494-497.
- [52] LEE J S. Combined effect of elevated CO₂ and temperature on the growth and phenology of two annual C3 and C4 weedy species[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2011, 140: 484-491.
- [53] SUZUKI S, KUDO G. Short-term effects of simulated environmental change on phenology, leaf traits, and shoot growth of alpine plants on a temperate mountain, northern Japan[J]. Global Change Biology, 1997, 3: 108-115.
- [54] LI X Y, ZHANG Y B, PAN K W, et al. Effects of elevated temperature on reproductive phenology and growth of *Allium sichuanense* and *Anemone rivularis* in timberline ecotone [J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28: 12-18.
- [55] JARRAD F C, WAHREN C H, WILLIAMS R J, et al. Impacts of experimental warming and fire on phenology of subalpine open-heath species [J]. Australian Journal of Botany, 2008, 56: 617-629.
- [56] HOVENDEN M J, WILLIAMS A L, PEDERSEN J K, et al. Elevated CO₂ and warming impacts on flowering phenology in a southern Australian grassland are related to flowering time but not growth form, origin or longevity [J]. Australian Journal of Botany, 2008, 56: 630-643.
- [57] BORCHERT R. Soil and stem water storage determine phenology and distribution of tropical dry forest trees[J]. Ecology, 1994, 75: 1437-1449.
- [58] BLOOR J M G, PICHON P, FALCINAGNE R, et al. Effects of warming, summer drought, and CO₂ enrichment on aboveground biomass production, flowering phenology, and community structure in an upland grassland ecosystem[J]. Ecosystems, 2010(13): 888-900.
- [59] JENTSCH A, KREYLING J, BOETTCHER-TRESCHKOW J, et al. Beyond gradual warming: extreme weather events alter flower phenology of European grassland and heath species[J]. Global Change Biology, 2009(15): 837-849.
- [60] MENZEL A. Plant phenological anomalies in Germany and their relation to air temperature and NAO[J]. Climatic Change, 2003, 57: 243-263.
- [61] MAHALL B E, THWING L K, TYLER C M. A quantitative comparison of two extremes in chaparral shrub phenology[J]. Flora, 2010, 205: 513-526.
- [62] ELZINGA J A, ATLAN A, BIERE A, et al. Time after time: flowering phenology and biotic interactions [J]. Trends in Ecology and Evolution, 2007(22): 432-439.
- [63] WOOLEY S C, SMITH B, KING C, et al. The lesser of two weevils: physiological responses of spotted knapweed (*Centaurea stoebe*) to above- and belowground herbivory by *Larinus minutus* and *Cyphocleonus achates* [J]. Biocontrol Science and Technology, 2011(21): 153-170.
- [64] 李捷, 朱朝东, 王凤鹤, 等. 野生蜜蜂及其传粉作用的研究现状[J]. 生物多样性, 2007(15): 687-692.
- [65] STOKSTAD E. Genomics: puzzling decline of U. S. bees linked to virus from Australia[J]. Science, 2007, 317: 1304-1305.
- [66] 杨冠煌. 中华蜜蜂在我国森林生态系统中的作用[J]. 中国蜂业, 2009(4): 5-8.
- [67] 安建东, 陈文锋. 全球农作物蜜蜂授粉概况[J]. 中国农学通报, 2011, 27(1): 374-382.

Flowering Phenology Response to Climate Change

ZHANG Baocheng¹, BAI Yanfen²

(1. College of Life Sciences, Zunyi Normal University, Zunyi, Guizhou 563002; 2. School of Public Policy and Management, Zunyi Normal College, Zunyi, Guizhou 563002)

Abstract: Human-induced increasing of atmospheric greenhouse gas concentrations caused climate warming. Temperature shifted concomitance with changes in atmospheric water and heat, extreme weather events. Climate change not only caused by changes in plant flowering phenology, but also lead to changes in plant insect pests and insect-flowering. The process involved sexual propagules plant seed production. Thus, changes in flowering impacted on agriculture for food security. Meanwhile seed of plants to changes in natural ecosystems affected plant community composition and ecological function. Therefore, this paper reviewed the recent domestic plants flowering impacts of climate change and prospects.

Keywords: flowering; phenology; climate change; grain; pollination