

气候变化对植物物候影响的研究进展

徐雨晴¹, 陆佩玲¹, 于强²

(1. 北京林业大学资源与环境学院, 北京 100083;

2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要 影响物候期变化的因子主要有生物因素和环境因素, 后者对物候期影响更显著, 其中气温、光照和水分是最主要的影响因子。目前对物候学的研究方向主要集中在探讨物候与气候变化之间的关系。研究表明, 随着近年气温的升高, 植物生长季延长、春季物候期提前、秋季物候期推迟成为一种全球趋势。欧洲国际物候观测园 1959 年~1996 年间的资料表明, 植物春季物候期提前了 6.3 天, 秋季物候期推迟了 4.5 天, 生长季长度延长 10.8 天。归一化植被指数 (NDVI) 资料显示, 在过去 20 年内, 欧亚地区植物生长季延长了 18 天左右, 北美延长了 12 天。针对我国而言, 采用全国物候观测网的物候观测资料与气象资料进行统计分析, 建立物候与年平均气候的线性统计模式, 利用该模式计算表明: 年平均温度每上升 1℃, 我国各种木本植物物候期, 春季一般提前 3 天~4 天, 而秋季一般推迟 3 天~4 天, 绿叶期延长 6 天~8 天。

关键词 物候; 气候变化; 生长季

中图分类号: P461+.7 文献标识码: A 文章编号: 1007-758X(2004)01-0129-08

物候知识起源较早, 在两千多年以前, 雅典人就已试制了物候推移的农历。从中世纪(公元 476 年~1453 年)就开始有对植物物候期的观测, 之后, 对物候的影响因子及物候的应用等方面的研究更加全面和深入。近年, 物候在人类生活及农、林业生产中的预报作用已被越来越多的研究所揭示, 探讨物候对气候变暖的响应已成为当今物候研究的热点。本文在查阅大量文献的基础上, 对多年来植物物候研究结果进行综述, 并在此基础上, 提出研究中尚未解决或未涉及到的问题, 希望能作为以后的研究工作的参考。

1 物候研究概述

1.1 植物物候观测历史

国外植物物候观测始于中世纪。在欧洲, 古希腊的雅典人就已经编制了农用物候历。英国马香子孙五代, 则从 1736 年到 20 世纪 40 年代, 对植物、候鸟和昆虫等 27 种动植物进行了长期观测和记录, 这是欧洲年代最长的物候记录。欧洲有组织的物候观察开始于 18 世纪中期, 如 1750 年, 植物学家 Linné 在瑞典组织了有 18 个点的观测网。19 世纪欧洲物候观测网更加完善, 其观测点分布在比利时、荷兰、意大利、大不列颠和瑞士等国, 其中瑞士的森林物候观测网是于 1869 年在伯尔尼建立, 观测一直持续至 1882 年, 德国物候观测网是在 19 世纪 90 年代由植物学家霍夫曼建立, 他选取了 34 种植物作为中欧物候观测的对象观测了 40 年。20 世纪 50 年代期间, 欧洲各国均建立了物候观测网, 1957 年, 德国著名的物候学家 Schnella 创立国际物候观测园。植物物候观测中单项物候记录起源早, 历时长久, 世界范围内最早的这种物候观测在日本, 自公元 812 年起, 日本就一直断断续续进行樱花开花的记录, 至今已有 1 100 年之久。

我国最早的有组织的植物物候观测工作是在竺可桢的推动下开展的, 他在 1934 年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。解放后,物候学受到地理和气象部门的重视,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,由中国科学院地理所支持建立了全国物候观测网,制定了动、植物物候观测方法,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年~1971年间多数单位中断了观测,直至1972年才得以恢复。文化大革命后,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^[1]。

20世纪50年代以来,由于各国物候观测网的扩大,物候资料更加丰富了。更由于遥感技术和电子计算机等的应用,使物候学的研究在规律的探索和应用方面都得到了更大的发展。

1.2 植物物候研究的作用、意义

物候是指植物为了适应气候条件的节律性变化而形成与此相应的植物发育节律,物候学是一本“生命脉搏”的教科书^[2]。掌握物候变化规律在预报农时,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和现实意义。在指导农事活动方面,全国各地都以当地的物候作为预报农时的指标,如华北地区有农谚“冬芽发,种棉花”,贵阳一带有“穷人不听富人哄,阎王刺(云实)开花播谷种^[3]”;在指示病虫害方面,通过物候变化与病虫害的发生期的对应关系,可以指示病虫害的发生期;在生态环境保护方面,通过了解由于环境污染造成的物候变化及植物的损坏情况,找到污染源,掌握污染的程度,从而成为环境监测和保护的参考;在气候的物候鉴定及预测方面,利用物候与气候的关系模式,通过物候变化情况,鉴定地方气候的变化,在缺乏气候资料的地方,对气候变化趋势作预测;在引种、选种等方面,植物物候资料也有参考作用,如美国通过我国的省志、县志把东北的大豆、四川的桐油,浙江黄岩的柑橘引进到美国气候相似的地区,获得了成功。另外,植物物候也能为自然地理区划、农、林、牧、渔业区划,确定放蜂时间、旅游高峰期等提供参考。

1.3 植物物候分类

树木物候一般划分为4个时段,即芽期、绿叶期、花期、果期(种子期)。在具体的研究中,为了更好地了解各发育期的特征,又将乔木和灌木的生长发育期细分如下几个时期:萌动期(芽开始膨大期、芽开放期)、展叶期(开始展叶期、展叶盛期)、开花期(花序或花蕾出现期、开花始期、开花盛期、开花末期、第二次开花期)、果熟期(果实成熟期、果实脱落开始期、果实脱落末期)、叶秋季变色期(叶开始变色期、叶全部变色期)、落叶期(开始落叶期、落叶末期)。将草本植物划分为9个时期:萌动期、展叶期、花序或花蕾出现期、开花、果实或种子成熟、果实脱落期、种子散布期、第二次开花、黄枯期^[4]。

杨国栋等人^[5]对木本植物物候期的划分有所不同,从宏观看他把木本物候划分为以下几个阶段:萌动期、绿色期、秋色期、叶幕期、休眠期、花期、果期,并确定其持续的时间。

1.4 影响植物物候期的因子

影响植物物候变化的因素繁多,主要有生物因素和环境因素。前者是内在因素,包括物种及品种类型、生理控制等,后者是外在因素,包括温度、光照、水分,生长调节剂等。其中气温、光照、水分为主要影响因子。

1.4.1 温度和光照

(1)温度。植物物候与气温状况息息相关^[6],特别是在植物生长发育期各阶段的前期。据调查,每个物候期的开始日期与其前2个~3个月的气温间有显著的相关关系^[7]。在中纬度地区,植物的春季物候,如发芽、展叶、开花的时期主要取决于气温的高低^[8]。另有研究表明,物候期持续的时期与活动积温有显著的相关性^[9],植物完成一定的发育期要求一定量的积温(即积温法则,这一法则由法国的Reanmar首次确定)。自20世纪70年代中期以来,物候和气温同时发生了明显的变化,物候变化主要受气温变化的影响。张福春^[10]认为,春季树木的展叶开花等主要受春季气温波动的影响,果实

或种子的成熟等主要取决于果实生长期的积温,秋季的树木开花和黄落叶等主要是由于气温下降到一定界限引起的。

一般认为当所需要的寒冷条件具备后,芽才有生长能力^[11],把芽暴露在低温($-5^{\circ}\text{C} \sim +10^{\circ}\text{C}$)中几个星期能打破休眠。较冷的冬温有利于打破冬季休眠,但对利用恒温比变温处理来打破芽休眠的效果存在争议。有些对桃树的研究显示出,变温比恒温对打破休眠更有效^[12]。然而,Myking 却发现分别用恒温和变温处理对打破桦木芽的休眠没有差别^[13]。

气温对花期的影响依不同物种、不同的温度处理而异。在一定条件下,低温能诱导植物提前开花,如彭东升等人^[14]研究发现低温是诱导梅花提前开花的主导因子,当梅花形成花芽后经过 10d 以上的小于 10°C 的低温就可以完成春化作用而提前开花。但一般而言,随着温度的升高,植物始花期提前,如在 $5^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ 范围内,梅的花期随温度升高而提前,影响开花期的敏感温度处于 $5^{\circ}\text{C} \sim 15^{\circ}\text{C}$ ^[15];杏树开花前期温度的升高能加速花芽开放,使花期和授粉期提前^[16]。在暖温带地区,高温促进始花期提前,在开花前,无论用自然或人工(实验)高温诱导,都会导致花提前开放。

土温变化会对作物发育期产生影响。如一定条件下,在植物分生组织处的土壤温度每升高 1°C ,作物发育期大约提前 1 天(即暖土缩短作物发育的时间),并可改变叶面积指数^[17]。

由于气候分布的地带性和非地带性,物候现象随纬度、经度和海拔的变化具有推移性的特点。“人间四月芳菲尽,山寺桃花始盛开”就说明了不同海拔地区的温度不同而导致物候的差异。这种关于物候与海拔、纬度之间关系的研究很多,如刘占林等人^[18]通过对自然种群传粉物候期的观测发现,华山新麦草的传粉高峰期与海拔有一定的关系:海拔每升高 200m,传粉物候期就推迟 2 天~3 天,黄敬峰等人^[19]认为,纬度愈高,海拔愈高,冬小麦物候期愈早,而春季返青后物候期愈晚;Johann^[20]对生长在高山草甸上的野水仙研究表明,海拔每增高 200m,水仙盛花期推迟 8d。Hopkins^[21]通过长期的物候研究后指出,在其它因素相同的条件下,北美洲温带纬度每向北移动 1 度,经度向东移动 1 度或上升 400 英尺,植物的阶段发育在春天和初夏各延期 4 天,在晚夏和秋天则恰相反,即提前 4 天(霍普金斯定律)。

(2)光照。对大多数树木而言,缩短光周期对诱导温带植物芽的休眠起关键作用,而在休眠期却不起主导作用^[22]。一般情况下,缩短光照时间能促进短日照植物开花,使花期提前,而延长光照时间延迟短日照植物开花^[23]。Roberts 等人将植物生长期分为 3 个阶段:诱导前期、诱导期和诱导后期。谷物并不是从播种到开花的整个生长期都受光周期影响,它仅在诱导期对光周期敏感^[24],其花期受光周期强烈影响。栽培作物对光照有定量的反应,当光照在光周期诱导阶段超过临界值时,短日照作物花期就会延迟 100 天,日中型和长日照作物会延迟 150 天^[24]。

(3)温度结合光照。温度结合光照处理能明显地调节植物物候期。Jouni^[25]的研究表明,变温和持续延长光照时间最能促进植物花芽开放,在昼夜温度分别为 20°C 和 10°C 时,当光照时间在 6h 的基础上每天延长 10 分钟,再利用变温处理能使萌芽期提前 10 天或更多,当缩短光照时间,花芽萌发期推迟。Edmonds^[26]等人认为,冬季和早春植物开花的主要影响因素是温度,晚春和早夏植物开花受温度和光照同时影响,而晚夏植物花粉的开始传播主要受光照的影响。

1.4.2 水分 作物生长发育受水分强烈影响,低地地区的雨养作物物候,特别是使谷物获得高产的最佳开花时期与水的可利用性关系密切^[27]。据调查分析表明,在丘陵地区,谷物在花序出现期遭受干旱会使花期推迟^[28],Lilley 等人验证了这种花期推迟的现象,且他们认为推迟的时间长短和干旱的程度有关^[29]。但有时利用干旱处理能使某些植物花期提前^[30]。灌溉是改变土壤干旱的方法之一,它对物候期也有一定的影响,如泰国东北部地区的近期试验表明,对低地的大部分作物而言,灌溉能使花期提前 6 天~7 天^[31]。一定光照条件下,改变空气湿度能引起植物物候变化,如 24h 光照条件

下,空气湿度增加,能稍微促进作物开花,当光照小于24h时,空气湿度增加却稍微推迟作物开花^[32]。

1.4.3 植物生长调节剂 植物生长调节剂更多的是用于对植物花期的调控,有催花和延花两种不同的效应。目前,催花常用的植物生长调节剂有 GA_3 和BA。用5ppm和10ppm的 GA_3 处理仙客来能使其提前10天开花^[33];BA使移植后的丝石竹花期显著提前^[34]。延花较常用的调节剂有 PP_{333} 、 B_9 。用 PP_{333} 处理使早凤桃、菊花等延迟开花^[35], B_9 处理使菊花、杜鹃等延迟开花^[35,36]。

1.4.4 其它影响因素

(1)施肥。一般情况下,对谷物施肥后,花期能提前13天^[37];在土壤极度缺磷的情况下,追施磷肥后谷物开花提前5天;在土壤肥力高的情况下,施用肥料,特别是氮肥,可使花期延迟,如在高土壤肥力条件下对3种不同品种的谷物按照 $120kg \cdot hm^{-2}$ 施用氮肥后,花期延迟1天~8天^[38]。

(2)基因。开花期间,基因分为两类:开花基因和分生组织基因。开花基因中的突变体使植株比野生类型提前或延迟开花。随着科学的发展,转基因技术被用于花期的调控,不久的将来,这种技术能得到进一步推广。

(3) CO_2 浓度。 CO_2 浓度的增加对植物有施肥和增温效应,因而间接地对物候期产生影响。试验表明,无论是实生苗羊草还是移植苗羊草对二氧化碳倍增的响应均表现为提前进入各物候期和延长生长期,但实生苗羊草物候期较移栽羊草更敏感^[39]。张福春^[10]认为,到本世纪中叶,在 CO_2 气体倍增情况下,若年平均温度上升 $1.0^\circ C \sim 1.8^\circ C$,我国木本植物物候变化为春季一般提前4天~6天,果实或种子成熟期提前。

(4)竞争。种内和种间竞争都能抑制植物生长,泰国的近期试验表明,当谷物和杂草间存在强烈竞争时,谷物开花时间会延迟几天^[27]。

(5)移植。移植有延期效应,因而在选择谷物秧苗时,一般选择较老的秧苗来栽培,这在泰国和老挝早有研究。另外印度还有研究表明,作物移植期推迟20天会导致花期推迟8天^[40]。

(6)芽的部位。不同部位的芽存在物候差异,随着季节的推移,主芽比侧芽物候平均推迟一个发育期,Lavender对银杏和冷杉的研究中也作过主芽比侧芽物候期滞后的报道。

此外,城市热岛效应使城市比农村物候提前等等,这些无不表明了影响植物物候的因素繁多。

2 植物物候对近来气候变化的响应

近100年来,地球气温增加了 $0.6^\circ C$,冬、春季平均气温增加了 $1^\circ C$ 以上,变暖的两个主要时期为1910年~1945年和1976年至今^[41]。气候变化使植物开始和结束生长的日期发生了相应的变化,植物对全球变暖的响应表现为春季物候期提前,秋季、夏季物候期推迟^[7],植物生长季长度延长(主要是由于春季物候的提早到来)。近40年来,随着我国大部分地区的增温及秦岭以南广大地区的降温,东北、华北及长江下游地区的物候期提前,西南东部、长江中游及华南地区的物候期推迟^[42](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),其中,就北京地区而言,近十几年来北京春季物候持续偏早,且偏早天数创历史记录,这与北京近年持续的暖冬相一致。

植物是气候变化的指示物,植物物候对气候变化的响应依不同物种、变暖的季节和地点(如海拔高度)而异,主要表现在以下几个方面。

(1)植物绿叶期对气候变暖的响应。在地中海地区的生态系统中,现在大多数落叶植物叶子的生长比50年前平均提早了16天,而落叶时间推迟了13天。另有报道,从北欧斯堪的纳维亚到欧洲东南部的马其顿地区,白杨展叶期比30年前提前了6天,而秋季叶变色期推迟了5天^[43]。欧洲地区生物春季物候在1969年~1998年间的提早了8天^[44],北美在1959年~1993年间提早了6天^[45]。Kramer^[46]运用指令序列模型预测,气温每升高 $1^\circ C$,石栎会提早3.6天展叶。在我国,如果年平均温度

上升 1°C ,各种木本植物物候期春季一般提前 3 天 ~ 4 天 ,秋季一般推迟 3 天 ~ 4 天 ,绿叶期延长 6 天 ~ 8 天^[10]。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 天 ;平均温度上升 1°C ,春季物候期平均提前 3.5 天^[42]。

(2) 植物花期对气候变暖的响应。关于花期对气候变暖的响应的报道较多且显示出相同的趋势。研究显示 ,1952 年 ~ 2000 年间地中海地区^[47]、1852 年 ~ 1994 年间匈牙利地区^[48]、1936 年 ~ 1998 年间美国威斯康星地区^[2]以及 1970 年 ~ 1999 年间华盛顿地区^[49]的植物花期提前了大约一个星期。这些研究结果都与在地中海西部地区温度每升高 1°C 橄榄树最大花粉浓度的到达时间提前约 6 天的模型结果相一致^[50]。另外 ,1900 年 ~ 1997 年间在加拿大的埃德蒙顿和阿尔伯达地区 ,白杨树的始花期提前 2.7 天/10 年^[51] ,这与线形趋势显示出的此期间加拿大西部的山杨树开花提前 26 天结果一致。温度高低与花期早晚间有一定的数量关系 ,如在英国 ,春季平均温度每升高 1°C ,植物始花期分别提前约 2 天 ~ 10 天^[52] ,在匈牙利 ,温度每升高 1°C ,刺槐花期提前 7 天^[48] ,在我国 ,年平均温度上升 1°C ,大部分植物始花期提前 3 天 ~ 6 天^[10]。一般而言 ,全球温度每升高 3.5°C ,春季花期将提前 2 周^[52]。

(3) 植物生长季对气候变化的响应。有回归方程显示 ,欧洲地区早春气温每升高 1°C ,植物生长季提早约 7 天 ,年均温升高 1°C ,生长季长度延长 5 天^[8] ,这与 White 等人^[53]在美国的站点所测结果相一致。对欧洲国际物候园收集的 1959 年 ~ 1996 年间的资料分析表明 ,春季物候期提前了 6.3 天 ,秋季物候期推迟了 4.5 天 ,生长季延长了 10.8 天^[54] ,这与北纬 45° ~ 70° 地区 1982 年 ~ 1990 年间的归一化植被指数 (NDVI) 所显示的结果基本一致^[55]。最近的 NDVI 资料表明 ,过去 20 年内 ,欧亚地区植物生长季长度延长了 18 天左右 ,北美延长了 12 天^[56]。近年来 ,关于气候与生长季变化间的关系的研究以欧洲居多 ,所得结论基本一致 ,如 Rötzer^[57] 等人依据 1951 年 ~ 1995 年间中欧 10 个地区的 4 个春季物候期的观测 ,发现了植物生长季有提前 1.3 天/10 年 ~ 4.0 天/10 年的趋势 ;Chmielewski^[44] 对欧洲国际物候园收集的 1969 年 ~ 1998 年间的资料分析表明 ,气候的变化导致欧洲植物生长季提前 2.7 天/10 年 ;Menze^[54] 对 1959 年 ~ 1996 年间的同样资料分析表明 ,一些植物物种呈现出春季物候期平均提前 2.1 天/10 年秋季物候期平均推迟 1.6 天/10 年 ,而整个生长季延长 3.6 天/10 年的线性趋势。

据分析 ,植物生长季长度的延长可能是由于全球人类活动的增加 ,导致大气中二氧化碳量的增加 ,从而引起的气候变暖所致。近年来欧洲树木年生长量增加 ,这在以往常归因于氮肥化合物和二氧化碳的作用 ,现在则有人认为 ,这与生长季长度的延长无不相干。故此 ,植物物候与全球碳固定、水分循环和养分循环关系异常密切。

3 结语

物候受生物因素、环境因素等多方面影响 ,其影响程度依植物种类、品种 ,作用方式、所在地环境等的不同而异。在自然条件下 ,植物同时受多种因素影响 ,其影响结果也因不同条件而异。

物候研究历史久远 ,资料丰富。植物物候对气候变化的响应的研究遍布全球 ,主要集中在北半球欧洲地区。各研究结果趋势大体相同 ,即植物生长季长度随着近来气温的升高而延长 ,春季物候期提前 ,秋季物候期推迟。

物候研究中仍然有许多未知领域等待着各国学者去开拓 ,如气候变化对物候期的影响将到什么程度 ,其极限值是多少 ? 热带生态系统是否比寒温带、暖温带及地中海生态系统受气候变化的影响小 ? 气温和其它驱动全球变化的因素之间怎样相互作用 ,从而影响生物物候及分布 ? 这些都是今后研究所要解答的问题。

参考文献 (References):

[1] 张福春. 物候 [M]. 北京 : 气象出版社 , 1985. 20 ~ 21. [ZHANG Fu-chun. Phenology [M]. Beijing : Meteorology Press , 1985. 20 ~

21.]
- [2] Bradley N L , Leopold C L , Ross J. Phenological changes reflect climate change in Wisconsin[J]. *Proc. Natl. Sci. , USA* , 1999 , 96 : 9701 ~ 9704.
- [3] 竺可桢 , 宛敏渭. 物候学[M]. 北京 : 科学出版社 , 1983. 28 ~ 43. [ZHU Ke-zhen , WAN Min-wei. Phenology[M]. Beijing : Science Press , 1983. 28 ~ 43.]
- [4] 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 , 1965 ~ 1992. [Institute of Geography , CAS. Annuals of observations on plants and animals in China(1 ~ 11) [M]. Beijing : Science Press , 1965 ~ 1992.]
- [5] 杨国栋 , 陈效述. 木本植物物候相组合分类研究[J]. 林业科学 , 2000 , 36(2) : 40. [YANG Guo-dong , CHEN Xiao-qiu. Classification of phenophase combination of woody plant[J]. *Scientia Silvae Sinicae* , 2000 , 36(2) : 40.]
- [6] Snyder R L , Spano D , Duce P , et al. Temperature data for phenological models [J]. *Int. J. Biometeorol. ,* 2001 , 45(4) : 178 ~ 183.
- [7] Ahas R , Jaagus J , Aasa A. The phenological calendar of Estonia and its correlation with mean air temperature [J]. *Int. J. Biometeorol. ,* 2000 , 44(4) : 159 ~ 166.
- [8] Frank M , Chmielewski , Thomas R. Response of tree phenology to climate change across Europe [J]. *Agricultural and Forest Meteorology ,* 2001 , 108(2) : 101 ~ 112.
- [9] ZHANG Xin-bo , REN Jian-ru , ZHANG Dan-er. Phenological observations on *Larix principis-rupprechtii* Mayr in primary seed orchard [J]. *Journal of Forestry Research* , 2001 , 12(3) : 201 ~ 204.
- [10] 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. [ZHANG Fu-chun. Effects of global warming on plant phenological events in China [J]. *Acta Geographica Sinica* , 1995 , 50(5) : 403 ~ 408.]
- [11] Hänninen , H. Effects of climatic change on trees from cool and temperate regions : an ecophysiological approach to modelling of bud burst phenology [J]. *Can. J. Bot. ,* 1995 , 73 : 183 ~ 199.
- [12] Couvillon G A , Erez A. Effect of level and duration of high temperatures on rest in the peach [J]. *J. Am. Soc. Hortic. Sci. ,* 1985 , 110 : 579 ~ 581.
- [13] Myking T. Effects of constant and fluctuating temperature on time to budburst in *Betula pubescens* and its relation to bud respiration [J]. *Trees ,* 1997 , 12(2) : 107 ~ 112.
- [14] 彭东升 , 赵守边. 诱导梅花提早开花初探 [J]. 湖北园林 , 1986 (1) : 25 ~ 26. [PENG Dong-sheng , ZHAO Shou-bian. Preliminary probing into the earlier flowering of *Prunus mum*(Sieb). et Zucc. [J]. *Hubei Gardens* , 1986 , (1) : 25 ~ 26.]
- [15] 王心燕. 梅的开花与温度条件的关系 [J]. 仲凯农业技术学院学报 , 1992 , 5(1) : 18 ~ 23. [WANG Xin-yan. The relationships between the flowering of *Prunus mum*(Sieb). et Zucc. and the condition of temperature [J]. *Journal of Zhongkai Agrotechnical College* , 1992 , 5(1) : 18 ~ 23.]
- [16] Rodrigo J , Herrero M. Effects of pre-blossom temperatures on flower development and fruit set in apricot [J]. *Scientia Horticulture ,* 2002 , 92 (2) : 125 ~ 135.
- [17] Stone P J , Sorensen I B , Jamieson P D. Effect of soil temperature on phenology canopy development biomass and yield of maize in a cool-temperate climate [J]. *Field Crops Res. ,* 1999 , 63(2) : 169 ~ 178.
- [18] 刘占林 , 宋颐 , 李珊 , 等. 华山新麦草开花物候期观测和自然种群基因流的间接估测 [J]. 植物生态学报 , 2001 , 25(4) : 426 ~ 430. [LIU Zhan-lin , SONG Yi , LI Shan , et al. Pollination phenology and indirect estimate of gene flow in natural populations of *psathrost achrs huashanica* [J]. *Acta Phytoecologica Sinica* . 2001 , 25(4) : 426 ~ 430.]
- [19] 黄敬峰 , 王秀珍 , 蔡承侠. 新疆冬小麦与物候条件研究 [J]. 中国农业气象 , 2000 , 21(1) : 42. [HUANG Jing-feng , WANG Xiu-zhen , CAI Cheng-xia. Research on winter wheat phenology and climate in Xinjiang [J]. *Chinese Journal of Agricultural Meteorology* , 2000 , 21 (1) : 42.]
- [20] Johann B , Josef H. The use of phenology models in plant conservation programmes : the establishment of the earliest cutting for the wild daffodil *narcissus radiiflorus* [J]. *Biological Conservation* , 2000 , 93(2) : 155 ~ 163.
- [21] Hopkins A D. Periodic events and natural laws as guides to agricultural research and practice [J]. *U. S. Dept. Agr. Monthly Weather Rev.* 1918 , 9(Suppl.) : 10.
- [22] Hänninen H. Modelling bud dormancy release in trees from cool and temperate regions [J]. *Acta For. Fenn.* , 1991 , 3 : 1 ~ 47.
- [23] Vergara B S , Chang T T. The flowering response of the rice plant to photoperiod [M]. 4th edn. IRRI , Los Baños , 1985. 61.
- [24] Carberry P S , Ranganathan R L , Reddy J , et al. Predicting growth and development of pigeonpe flowering response to photoperiod [J]. *Field Crops Res. ,* 2001 , 69(2) : 151 ~ 162.

- [25] Jouni P , Veikko K , Heikki H . Effect of photoperiod and temperature on the timing of bud burst in Norway spruce (*Picea abies*) [J]. *Tree Physiology* , 1998 , 18(11) : 811 ~ 816 .
- [26] Edmonds R L . Aerobiology : The ecological systems approach [M]. US/IBP Synthesis Series 10 . Dowden , Hutchinson , and Ross , Inc . Stroudsburg , Pennsylvania . 1979 . 41 ~ 54 .
- [27] Fukai S . Phenology in rainfed lowland rice [J]. *Field Crops Res .* , 1999 , 64(1) : 51 ~ 56 .
- [28] Puckridge D W , O ' Toole J C . Dry matter and grain production of rice using a line source sprinkler in drought studies [J]. *Field Crops Res .* , 1981 , 4(3) : 303 ~ 319 .
- [29] Tsuda M . Effect of water deficits on panicle exertion in Rice and sorghum [J]. *Jpn . J . Crop Sci .* , 1986 , 55(2) : 196 ~ 200 .
- [30] Tsuda M , Takami S . Changes of heading time panicle weight in rice subjected to water stress during the early stage of panicle development [J]. *Jpn . J . crop Sci .* , 1991 , 60(2) : 241 ~ 246 .
- [31] Wonprasaid S , Khunthasuvon S , Sittisuang P , et al . Performance of contrasting rice cultivars selected for rainfed lowland conditions in relation to soil fertility and water availability [J]. *Field Crops Res .* , 1996 , 47(3) : 267 ~ 275 .
- [32] Mortensen L M , Tove F . Effects of air humidity , lighting period and lamp type on growth and vase life of roses [J]. *Scientia Horticulture* , 1998 , 73(4) : 229 ~ 237 .
- [33] Gowda Y N . Regulation of flowering in *C. Persicum* . Mill folial application of cycocel [J]. *Curr . Res . Uni . Agri . Sci .* , 1991 , 20(12) : 256 ~ 259 .
- [34] 王隆华 . 植物开花生理 [M]. 北京 : 科学出版社 , 1992 . 300 ~ 309 . [WANG Long-hua . Plant Physiology of flowering [M]. Beijing : Science Press , 1992 . 300 ~ 309 .]
- [35] Koriesh E M . Effects of cycocel , gibberic acid and nucleic acid on flowering and characters [J]. *Assiut . J . Agri . Sci .* , 1989 , 20(1) : 43 ~ 58 .
- [36] Keever G B . Response of tow forcing azalea cultivars to Bonze and B9 application [J]. *J . Envi . Hort .* , 1990 , 8(4) : 182 ~ 184 .
- [37] Seng V , White P F , Nesnitt H J , Ros C , et al . Granulated rock phosphate : an effective source of phosphate for lowland rice production in Cambodia [A]. In : *Fragile Lives in Fragile Ecosystems* , Proceedings of the International Rice Research Conference , 13 ~ 17 February [C]. PO Box 933 Manila , Philippines , 1995 . 189 ~ 297 .
- [38] Nilsson O , Wigel D . Modulating the time of flowering [J]. *Current Opinion in Biotechnology* , 1997 , 8(2) : 195 ~ 199 .
- [39] 高雷明 , 黄银晓 , 林舜华 . CO₂ 倍增对羊草物候和生长的影响 [J]. *Environmental Scie .* , 1999 , 20(5) : 29 . [GAO Lei-ming , HUANG Yin-xiao , LIN Shun-hua . Effects of doubled CO₂ concentration on the phenology and growth of *leymus chinensis* [J]. *Environmental Scie .* , 1999 , 20(5) : 29 .]
- [40] Josph K . Performance of rice varieties as influenced by the age of seedlings and delayed transplanting [J]. *Indian J . Agron .* , 1991 , 36(1) : 83 ~ 86 .
- [41] Walther G R , Post E , Convey P , et al . Ecological responses to recent climate changes [J]. *Nature* , 2002 , 416(6879) : 389 ~ 395 .
- [42] 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 . [ZHENG Jing-yun , GE Quan-sheng , HAO Zhi-xin . Effects of global warming on plant phonological changes for the last 40 years in China [J]. *Chinese Science Bulletin* , 2002 , 47(20) : 1584 ~ 1587 .]
- [43] Menzel A , Fabian P . Growing season extended in Europe [J]. *Nature* , 1999 , 397(6721) : 659 .
- [44] Chmielewski F M , Rötzer T . Response of tree phenology to climate change across Europe [J]. *Agriculture and Forest Meteorology* , 2001 , 108(2) : 101 ~ 112 .
- [45] Schwartz M D , Reiter B E . Changes in North American spring [J]. *Int . J . Climatol .* , 2000 , 20 : 929 ~ 932 .
- [46] Kramer K , Leinonen I , Loustau D . The importance of phenology for the evaluation of impact of climate change on growth of boreal temperate and Mediterranean forests ecosystems an overview [J]. *Int . J . Biometeorol .* , 2000 , 44(2) : 67 ~ 75 .
- [47] Peñuelas J , Filella I . Phenology : Responses to a warming world [J]. *Science* , 2001 , 294 : 793 ~ 795 .
- [48] Walkovszky A . Changes in phenology of the locust tree (*Rovinia pseudoacacia L .*) in Hungary [J]. *Int . J . Biometeorol .* , 1998 , 41(4) : 155 ~ 160 .
- [49] Shetler S , Abu-Asab M , Peterson P , et al . Earlier plant flowering in spring as a response to global warming in the Washington DC area [J]. *Biodiversity and Conservation* , 2001 , 10 : 597 ~ 612 .
- [50] Osborne C P , Chuine I , Viner D , et al . Olive phenology as a sensitive indicator of future climatic warming in the Mediterranean [J]. *Plant , Cell and Environment* , 2000 , 23 : 701 ~ 710 .

- [51] Beaubien E G. Freeland H J. Spring phenology trends in Alberta , Canada : links to ocean temperature [J]. *Int . J. Biometeorol .* , 2000 , 44 (2) : 53 ~ 59 .
- [52] 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 .
- [53] 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 , 43 (3) : 139 ~ 145 .
- [54] Menzel A. Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996 [J]. *Int . J. Biometeorol .* , 2000 , 44 (2) : 76 ~ 81 .
- [55] Myneni R B. Increase plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991 [J]. *Nature* , 1997 , 386 : 698 .
- [56] Zhou L , Tucker C J , Kaufmann R K. Variation in northern vegetation activity inferred from satellite data of vegetation index during 1981 to 1999 [J]. *J. Geophys. Res .* , 2001 , 106 (D17) : 20069 ~ 20083 .
- [57] Rötzer T , Wittenzeller M , Haechel H , et al. Phenology in central Europe-differences and trends for spring phenophases in urban and rural areas [J]. *Int . J. Biometeorol .* , 2000 , 44 (2) : 60 ~ 66 .

Review and Prospect in the Researches of Influence of Climate Change on Plant Phenology

XU Yu-qing¹ , LU Pei-ling¹ , YU Qiang²

(1 . College of Resource and Environment , Beijing Forestry University , Beijing 100083 , China ;

2 . Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research , CAS , Beijing 100101 , China)

Abstract : Biological and environmental factors are the main factors that influence plant phenology , especially the latter , among which the dominating factors are air temperature , photoperiod and water . At present , the researches focus on the study of the relationship between phenological changes and climate change . Now a lengthening of growing season , an advancing of the spring events and a delaying of the autumn events are a global trend . An earlier onset of biological spring by 6.3 days , a delay of autumn by 4.5 days and thus an lengthening of growing season have been reported across Europe for 1959 ~ 1996 from the IPC (International Phenology Garden) data . New NDVI (Normalized difference vegetation index) data suggest that the growing season has been prolonged nearly 18 days in Eurasia and 12 days in North America during the past two decades . The linear model derived from the observation and meteorology data shows one-degree increase of average air temperature is associated with an advance of spring phenology by 3 ~ 4 days , a delay of autumn events by 3 ~ 4 days , and a lengthening of the green leaf period by 6 ~ 8 days in China .

Key words : Phenology ; Climate change ; Growing season