

气候变化对中国木本植物物候的可能影响^{*}

张福春

中国科学院
(国家计划委员会 地理研究所, 北京 100101)

提 要 本文根据我国近 30 年的物候资料和气候资料的统计分析, 论证了气温是影响中国木本植物物候的主要因子, 在此基础上建立了物候与年平均气温的线性统计模式, 又利用此模式分别计算了未来全球年平均气温升高 0.5—2.0℃ 和未来大气中 CO₂ 浓度倍增而增暖情况下, 我国主要木本植物物候期的大致变幅。

关键词 气候变化 物候 全球变暖

全球变暖不仅引起植物物候期的变化, 而且会影响生长季长度、植物初级生产力、越冬条件、种子成熟度、植物分布界限等。近年来研究气候变化对植物物候的影响的研究课题在国际上颇受重视, 1993 年 9 月第 13 次国际生物气象学会学术讨论会决定成立物候研究工作组, 以气候对植物生长发育期的影响为近年主要研究对象。为推动物候趋势与气候变化趋势的关系的研究, 提出把国际物候观测园网扩大到全世界 (现在参加的仅是欧洲 30 多国), 完善观测计划以适应全球变化研究的要求^[1]。日本学者已做过不少这方面研究, 如近几十年来城市热岛对樱花期的影响的研究, 在研究中, 他们推算全球平均气温上升 2℃ 时, 所引起的日本各地樱花开花期的可能变化^[2,3]。

类似的工作在国内开始于 1991 年, 当时该研究被列为国家科委攻关课题“全球气候变化预测、影响和对第研究”的“对林业影响”专题中。

我国物候的地理分布规律和地区差异, 在《中国农业物候图集》中已有阐述^[4], 本文在该基础上, 以我国木本植物物候在目前状况的变化为重点进行有关探讨。

1 气温是影响我国木本植物物候的主要因子

对于未来气候变化, 目前用已建立的多种模式进行预测的结果差异较大, 但主要体现在降水的变化上, 对温度变化趋势的预测则基本都是增暖。物候主要受温度影响, 如果能证明这一点, 可使模式大为简化。下面用观测资料最完整、年代最长的北京物候资料进行分析和论证。

1.1 影响北京春季树木物候的关键因子是温度, 影响的关键时期是春季

我们曾对北京的春季树木开花期 (山桃始花、杏树始花、紫丁香始花) 与气象因子 (温度、降水、日照时数) 采用积分回归法进行了统计学分析^[5]。采用积分回归法的好处在

^{*} 国家科委 85—913—03 国家攻关课题总结报告之一。

来稿日期: 1994 01; 收到修改稿日期: 1994 11。

于：①通过逐步回归法挑选因子，因子被选入早迟或能否被选入，反映各因子的相对重要性。在该模式的计算中，较早选入的几项都是有关气温的项，其复相关系数达 0.7 以上，F 检验值也较大。日照其次。降水因子在一定显著性标准下没有被选入，因此说明气温是影响北京春季树木开花期的关键因子，日照和降水量只是相对次要的因子。②采用积分回归法能反映主要气象因子影响系数的季节变化。气温的影响系数的季节变化见图 1，在上年秋季至开花前这段时间，根据影响系数，可分为三段：秋季、冬季、春季。在日照降水不变情况下，从旬平均气温偏高 1℃ 其影响系数来看，秋、春季都为负数（物候期提前），但绝对数值春季比秋季大得多。冬季的气温影响系数为正数，绝对数值小，说明有效温度以下的低温对开花期也有一定影响，气温偏高不利于冬季的休眠，反使开花期推迟。例如在降水日照不变情况下，10 月上旬、12 月中旬、3 月下旬的旬平均温度分别比多年平均值提高 1℃，则杏树始花期分别提前 0.24d、推迟 0.09d、提前 0.73d。不难看出影响北京春季树木开花的主要因子是春季气温的高低。

1.2 北京春季树木开花期与春季气温的相关系数很高，与其它季节气温的相关性不强

为了进一步验证上述的关键因子和时期存在的可靠性，我们用同样的物候资料与北京各季的温度求相关（表 1）。

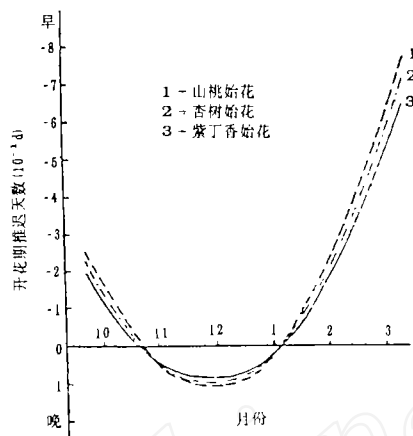


图 1 日照降水不变的情况下，旬平均气温偏高 1℃ 对北京春季树木开花期的影响

Fig.1 The effect of 1℃ change in average temperature of ten-day periods on the flowering date of trees when sunshine and precipitation are under normal conditions

表 1 北京一些春季物候现象与不同时段气温的相关系数^①

Tab. 1 The correlation coefficient between the phenological event in spring and temperature in different periods in Beijing

温度	山桃始花	杏树始花	紫丁香始花	柳絮飞	刺槐盛花
2—5 月平均气温	-0.77*	-0.87*	-0.72*	-0.82*	-0.66*
10—12 月平均气温（上年）	-0.24	-0.26	-0.08	0.04	-0.08
9—11 月平均气温	-0.11	-0.30	-0.26	-0.48**	-0.28
12—2 月平均气温（当年冬）	-0.39	-0.34	-0.20	-0.35	-0.27
年平均气温	-0.66*	-0.72*	-0.54*	-0.68*	-0.54*

注：* 显著性水平 0.01，** 显著性水平 0.05，无记号的为不显著。

可见，春季物候现象与春季月份的温度的相关系数很高，与其它季节的平均温度的相关系数不高。这些也进一步证明了用积分回归法算出结果的可靠性。特别要指出的是，春

^① 根据竺可桢 1950—1973 年观测的记录计算。

季物候与年平均温度的相关系数也很高。

1.3 物候与气温的关系的三种类型

物候对气温的反应可归纳为三种类型^[6]：

(1) 春季物候现象 如芽膨大、芽开放、展叶、开花等，它们的早晚波动主要受春季气温的制约。

(2) 树木的果实（或种子）成熟 如苹果、梨等的采摘等主要依赖于前期的温度条件，这样它们的开花早迟和果实（种子）生长期的积温多少对这些物候期起着重要作用。

(3) 秋季的植物开花（如野菊、桂花的开花）以及黄叶、落叶等 这些现象的出现主要决定于一定界限温度的短期作用，往往是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^[7]。据统计分析，在重庆，桂花开花日期与 9 月份平均气温的相关系数达 0.54，即秋暖开花晚，秋凉开花早，在武汉的统计结果也是如此；而秋季叶变色，只有当最低气温下降到 6℃ 或更低时才来临，以后经过 1—2 周才进入显著叶变色。

1.4 各种物候现象都与当地的年平均温高度相关

从表 1 和表 2 中可见，一地春季温度的高低，某期间的积温多少，或秋季气温下降某界限温度的早迟都与年平均温度有一定的相关。

2 未来的全球变暖对我国木本植物物候影响的定性分析

对于未来气候变化问题，根据不同模型的预测，共同结论是：①到下世纪中全球普遍增暖；②高纬的增暖较中纬大，低纬增暖最小；③冬季的增暖比夏季大；④降水的影响因地而异。

根据前面分析，在讨论时可忽略降水、日照的变化。对于温度的影响问题可按下列类型来考虑：

(1) 春季树木的展叶开花等春季的植物物候主要受春季温度波动的影响，所以未来的春温增高将使物候期提前。

(2) 果熟或种子的成熟等主要决定于果实生长期的积温。全年增暖可使果实的生长期缩短，而使这些物候现象提前。

(3) 秋季的树木开花和黄落叶等主要是由温度下降到一定界限引起的。由于未来的增暖，秋季下降到某界限温度的日期将推迟，这些物候现象也相应推迟。

(4) 由于高纬地区增暖幅度比中低纬地区大，所以高纬地区物候的春季提前、秋季黄落叶期的推迟、以及绿叶期的延长幅度都比中低纬地区变化大。

3 对未来气候变暖后我国树木物候变化的数值估算

通过统计分析得知，物候期与年平均温度有较大相关系数（表 1、2），可建立它们间的回归方程：

$$y = a + bx$$

这里 y 为物候期（年顺序日数）， x 为年平均温度， a 、 b 分别为系数，如年平均温度变化 Δx ，则物候期变化量 Δy 为：

$$\Delta y = b \Delta x$$

即年平均气温升高引起的物候期变化, 为其变化早 (年采均升高 1°C 引起的物候期变化) 乘以气温升高值。

回归系数 b 是根据全国各观测点的多年平均值 y_1, y_2, \dots, y_n 各点对应的年平均气温为 x_1, x_2, \dots, x_n (下标为观测点的序号), 求这两序列的相关系数, 若达到信度, 则建立一元回归方程, 求出 b 值。

根据中国物候观测网的观测资料, 计算出各种木本植物物候的 b 值及年平均气温升高 0.5°C 、 1.0°C 、 1.5°C 、 2.0°C 时的各种物候期的变化值 (表 2)。由表可见, 如果年平均气温上升 1°C , 上半年的物候提前, 下半年的物候则推迟; 上半年的提前一般在 $3-4\text{d}$, 下半年的推迟在 $3-4\text{d}$ 。年绿叶期将延长 $6-8\text{d}$ 。

表 2 物候期与年平均气温间的相关系数和年平均气温上升 $0.5-2.0^{\circ}\text{C}$ 时物候期的推迟天数

Tab. 2 The correlation coefficient between phenological events and annual mean temperature, and the number of days if the phenological events added by a $0.5-2.0^{\circ}\text{C}$ rise in annual mean temperature

树 种	物 候	相关系数 R	样本数	回归系数		年平均气温下列度数后物候的推迟天数 (d)			
				a	b	0.5°C	1.0°C	1.5°C	2.0°C
桧柏	始展叶	-0.7429*	10	147.092	-3.782	-1.9	-3.8	-5.7	-7.6
	始花	-0.8978*	14	138.792	-3.709	-1.9	-3.7	-5.6	-7.4
垂柳	始展叶	-0.7405*	36	132.098	-3.735	-1.9	-3.7	-5.6	-7.4
	始花	-0.6903*	34	134.362	-3.359	-1.7	-3.4	-5.1	-6.8
	飞絮	-0.8406*	25	170.635	-4.224	-2.1	-4.2	-6.3	-8.4
	叶全部变色	0.6975*	26	250.759	4.988	+2.5	+5.0	+7.5	+10.0
榆树	始展叶	-0.8401*	24	137.632	-3.323	-1.7	-3.3	-5.0	-6.6
	始花	-0.7779*	22	116.056	-3.011	-1.5	-3.0	-4.5	-6.0
	果熟	-0.7629*	23	164.947	-4.058	-2.1	-4.1	-6.2	-8.2
	始落叶	0.4656*	22	265.343	2.240	+1.1	+2.2	+3.3	+4.4
构树	始展叶	-0.9383*	26	192.804	-6.424	-3.2	-6.4	-9.6	-12.8
	始花	-0.9445*	23	198.087	-6.335	-3.2	-6.3	-9.5	-12.5
	叶全部变色	0.8601*	21	241.666	5.431	-2.7	-5.4	-8.1	-10.8
牡丹	始花	-0.8365*	9	142.054	-1.942	-1.0	-1.9	-2.9	-3.6
杏树	始展叶	-0.7662*	14	139.822	-3.113	-1.6	-3.1	-4.7	-6.2
	始花	-0.7795*	17	132.051	-3.143	-1.6	-3.1	-4.7	-6.2
	果熟	0.9019*	9	241.524	+5.933	+3.0	+5.9	+8.9	+11.8
	叶全部变色	0.5992**	11	281.117	2.419	+1.2	+2.4	+3.6	+4.8
毛桃	始展叶	-0.7941*	28	152.220	-4.182	-2.1	-4.2	-6.3	-8.4
	始花	-0.7907*	30	157.616	-4.588	-2.3	-4.6	-6.9	-9.2
	果熟		20	267.964	-4.025	-2.0	-4.0	-6.0	-8.0

树 种	物 候	相关系数 <i>R</i>	样本数	回归系数		年平均气升高下列度数后物候的推迟天数 (d)			
				<i>a</i>	<i>b</i>	0.5 °C	1.0 °C	1.5 °C	2.0 °C
山桃	始展叶	-0.6550**	10	136.441	-3.215	-1.6	-3.2	-4.8	-6.4
	始花	-0.9175*	11	134.574	-3.732	-1.9	-3.7	-5.6	-7.4
	叶全部变色	0.5298	8	276.339	2.758	+1.4	+2.8	+4.2	+5.6
槐树	始展叶	-0.8569*	23	147.952	-3.177	-1.6	-3.2	-1.8	-6.4
	叶全变色	0.5401**	16	280.256	2.324	+1.2	+2.3	+3.5	+4.6
刺槐	始展叶	-0.8678*	37	149.041	-3.808	-1.9	-3.8	-5.7	-7.6
	始花	-0.8821*	34	163.193	-3.766	-1.9	-3.8	-5.7	-7.6
	果熟	-0.6637*	27	274.083	-4.862	-2.5	-4.9	-7.4	-9.8
苦楝	始展叶	-0.8641*	23	177.668	-4.634	-2.3	-4.6	-6.9	-9.2
	始花	-0.9359	20	200.866	-5.217	-2.6	-5.2	-7.8	-10.4
	叶全部变色	0.5961*	20	241.581	4.140	+2.1	+4.1	+6.2	+8.2
枣树	始展叶	-0.8427*	19	153.109	-2.970	-1.5	-3.0	-4.5	-6.0
	始花	-0.8561*	20	189.326	-3.319	-1.7	-3.3	-5.0	-6.6
	叶全部变色	0.7344*	15	258.470	2.605	+1.3	+2.6	+3.9	+5.2
梧桐	始展叶	-0.7891*	26	172.768	-4.599	-2.3	-4.6	-6.9	-9.2
	始花	-0.7514*	22	219.696	-3.278	-1.7	-3.3	-5.0	-6.6
	果熟	-0.6062*	19	286.052	-3.027	-1.5	-3.0	-4.5	-6.0
	叶全部变色	0.3941**	25	275.710	2.102	+1.1	+2.1	+3.2	+4.2
桂花	始展叶	-0.5982**	15	187.018	-6.653	-3.4	-6.7	-10.1	-13.4
	始花	0.6891*	18	172.751	5.950	+3.0	+6.0	+9.0	+12.0
紫丁香	始展叶	-0.7898*	17	128.089	-2.858	-1.5	-2.9	-4.4	-5.8
	始花	-0.8028*	15	140.440	-2.914	-1.5	-2.9	-4.4	-5.8
	果熟	-0.6552**	12	297.704	-6.769	-3.4	-6.8	-10.2	-13.6
	叶全部变色	0.4758	9	270.858	2.372	+1.2	+2.1	+3.6	+4.8

注：正值为推迟日数，负值为提前日数；* 表示显著性水平为 0.01，** 表示显著性水平为 0.05，无记号的为不显著。

4 大气 CO₂ 浓度倍增情况下，我国一些木本植物物候的可能变化

目前几种主要大气环流模式 (GCMs) 的建立与运行，为预测未来 2×CO₂ 情景下全球气候变化提供了一系列结果，但其差异很大。本文主要参考张厚宣、张翼曾采用的未来气候情景模式^[8]，该模式根据 1991 年 IPCC 工作组的报告^[9]，大气 CO₂ 浓度加倍时，全球平均气温增高 1.5 °C 左右。并根据文献^[10]提供的北半球各纬度带的温度及降水变化 (表 3)。

表 3 区域气候变化的几种类型

Tab. 3 Some types of regional climate change

纬度	温度变化 (ΔT 为全球平均值)		降水变化
	夏	冬	
60—90°	(0.5—0.7) ΔT	(2.0—2.4) ΔT	冬季增多
30—60°	(0.8—1.0) ΔT	(1.2—1.4) ΔT	夏季减少
0—30°	(0.7—0.9) ΔT	(0.9—0.7) ΔT	多雨地区将增多

按 5° 纬度为间隔进行内插, 各纬度的增暖值见表 4。将这些 CO₂ 倍增后的各纬度增暖数值, 代入统计模式, 即求出我国各物候现象在大气中 CO₂ 倍增后的可能变化值 (表 4)。从表 4 可看出: ① 下世纪中 2×CO₂ 情况下, 我国主要木本植物物候上半年一般提前 4—6d, 秋季的黄叶落叶现象一般推迟 4—6d, 其绿叶期一般比现在延长 8—12d; ② 果实或种子成熟期一般都提前, 提前幅度都较春季其它物候现象大; ③ 北方物候期的变幅都较南方大。

表 4 大气 CO₂ 浓度倍增后各纬度年平均温度的增幅及我国各种物候现象的提前和推后天数 (d)Tab. 4 The change of annual mean temperature in every latitude in the CO₂ doubling scenario and the corresponding change of phenological events in China in every latitude

纬度 (°N)	15	20	25	30	35	40	45	50	55
ΔT	1.20	1.28	1.35	1.43	1.50	1.58	1.65	1.73	1.80
桧柏 始展叶		-4.8	-5.1	-5.4	-5.7	-6.0	-6.2		
始花		-4.7	-5.0	-5.3	-5.6	-5.9	-6.1		
垂柳 始展叶		-4.8	-5.0	-5.3	-5.6	-5.9	-6.2	-6.5	
始花		-4.3	-4.5	-4.8	-5.0	-5.3	-5.5	-5.8	
飞絮		-5.4	-5.7	-6.0	-6.3	-6.7	-7.0	-7.3	
叶全部变色		+6.4	+6.7	+7.1	+7.5	+7.9	+8.2	+8.6	
榆树 始展叶			-4.5	-4.8	-5.0	-5.3	-5.5	-5.7	-6.0
始花			-4.1	-4.3	-4.5	-4.8	-5.0	-5.2	-5.4
果熟			-5.5	-5.8	-6.1	-6.4	-6.7	-7.0	-7.3
始落叶			+3.0	+3.2	+3.4	+3.5	+3.7	+3.9	+4.0
构树 始展叶			-8.7	-9.2	-9.6	-10.1			
始花			-8.6	-9.1	-9.5	-10.0			
叶全部变色			+7.3	+7.8	+8.1	+8.6			
牡丹 始花				-2.8	-2.9	-3.1			
杏树 始展叶				-4.5	-4.7	-4.9	-5.1		
始花				-4.5	-4.7	-5.0	-5.2		
果熟				+8.5	+9.0	+9.4	+9.8		
叶全部变色				+3.5	+3.6	+3.8	+4.0		

纬度 (°N)		15	20	25	30	35	40	45	50	55
ΔT		1.20	1.28	1.35	1.43	1.50	1.58	1.65	1.73	1.80
毛桃	始展叶			-5.6	-6.0	-6.3	-6.6	-6.9		
	始花			-6.2	-6.6	-6.9	-7.2	-7.6		
	果熟			-5.4	-5.8	-6.0	-6.4	-6.6		
山桃	始展叶					-4.8	-5.1	-5.3		
	始花					-5.6	-5.9	-6.2		
	叶全部变色									
槐树	始展叶			-4.3	-4.5	-4.8	-5.0			
	叶全部变色			+3.1	+3.3	+3.5	+3.7			
刺槐	始展叶			-5.1	-5.4	-5.7	-6.0	-6.3		
	始花			-5.1	-5.4	-5.6	-6.0	-6.2		
	果熟			-6.6	-7.0	-7.3	-7.7	-8.0		
苦楝	始展叶			-6.3	-6.6	-7.0				
	始花			-7.0	-7.5	-7.8				
	叶全部变色			+5.6	+5.9	+6.2				
枣树	始展叶			-4.0	-4.2	-4.5	-4.7			
	始花			-4.5	-4.7	-5.0	-5.2			
	叶全部变色			+3.5	+3.7	+3.9	+4.1			
梧桐	始展叶			-6.2	-6.6	-6.9	-7.3			
	始花			-4.4	-4.7	-4.9	-5.2			
	叶全部变色			+2.8	+3.0	+3.2	+3.3			
桂花	始展叶			-9.0	-9.5	-10.0				
	始花			+8.0	+8.5	+8.9				
紫丁香	始展叶				-4.1	-4.3	-4.5	-4.7	-4.9	
	始花				-4.2	-4.4	-4.6	-4.8	-5.0	
	果熟				-9.7	-10.2	-10.7	-11.2	-11.7	
	叶全部变色				+3.4	+3.5	+3.7	+3.9	+4.1	

注：正值为推迟日数，负值为提前日数。

5 结论

综上所述，未来气候变化对我国木本植物物候的影响如下：

(1) 影响我国木本植物物候的主要气象因子是气温，降水和日照相对说不那么重要。

(2) 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，建立了物候与年平均气温的线性统计模式。利用该模式计算说明：如果年平均温度上升 1℃，我国各种木本植物物候期，春季一般提前 3—4d，而秋季一般推迟 3—4d，绿叶期延长 6—8d。

(3) 到下世纪中, CO_2 气倍增情况下, 我国普遍变暖, 年平均温度上升 $1.0-1.8^\circ\text{C}$, 我国木本植物物候变化为: 春季一般提前 $4-6\text{d}$, 绿叶期比现在延长 $8-12\text{d}$ 。果实或种子成熟期一般提前, 提前幅度较春季物候的大。北方物候现象的提前或推迟幅度较南方大。

值得注意的问题是, 在全球升温较大时是否也适用该模式? 上模式为统计模式, 是从全国物候观测网的观测资料经统计分析后提出的, 具有普遍性。但以上分析的各树种没有一种是全国分布的, 它们仅分布在我国有限区域, 可以认为, 就温度而言, 在其分布的中心区域是最适区域, 而其南北限(或上下限)处温度即为其上下限, 这也是上模式的适用温度范围, 该模式不能在该范围以外无限外推, 如果全球变暖较大, 估计其整个分布区会缓慢北移。当然影响树种分布因素, 除温度外, 还有降水、土壤等。

参 考 文 献

- 1 Scharrer H. Future of the International phenological Gardens. *Arbcreta phaenologica*. Deutscher wetterdienst. No 39. Sep 1994. 16—17.
- 2 Cmoto Y. Aono Y. Estimation of change in blooming dates of flower by urban warming. *J. Agr. Met*. 1990. 46 (3): 123—129.
- 3 Cmoto Y. Aono Y. Effects of warming on change in vegetation and phenological events. Presented at the international conference on climatic impacts on the environment and society. University of Tukuba. Ibaraki. Jan 27—Feb. 1. 1991.
- 4 张福春. 王德辉. 丘宝剑. 中国农业物候图集. 北京: 科学出版社. 1987.
- 5 张福春. 北京春季的树木物候与气象因子的统计学分析. 地理研究. 1983. 2 (2): 55—64.
- 6 张福春. 在山区气候调查中物候指标的应用. 山地气候文集. 北京: 气象出版社. 1984.
- 7 龚高法. 物候学与农业. 生物学通报. 1966 (3).
- 8 张厚宣. 张翼. 中国活动积温对气候变暖的响应. 地理学报. 1994. 49 (1): 27—36.
- 9 Tegart WJM. Sheldon GW. Griffiths DC Climate change. The IPCC Impacts Assessment — Report prepared for IPCC by Working Group 2. Canberra. Australia Government Publishing Service. 1990. 7—25.
- 10 张家诚. CO_2 的气候效应与华北干旱问题. 气象. 1983 (3): 3—9.

作 者 简 介

张福春, 男, 1940 年生, 副研。1964 年南京大学气象系毕业。现从事农业气候和物候方面工作。已发表论文 40 多篇, 专著 4 本, 代表作有“县级农业气候分析和区划”、《中国农业物候图集》、“物候”、“中国作物的收获指数”等。

EFFECTS OF GLOBAL WARMING ON PLANT PHENOLOGICAL EVENTS IN CHINA

Zhang Fuchun

(Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

Key words climate change, phenology, global warming, plant ecology

Abstract

In this paper, effects of global warming on phenological events of China are discussed.

First, it is demonstrated that atmospheric temperature is the most important factor influencing plant phenophase: 1. the integral regression method is used to analyse the relationship between meteorological factors and phenophase of trees in spring in Beijing. The calculated results show that the relation between meteorological factors and phenophase is close. But the most important factor which influence the phenophase of trees in spring is temperature and their correlation coefficient is more than 0.7. The sunshine and precipitation are not important factors. If precipitation and sunshine are similar to those in normal years, they may be analysed in three intervals: pre-winter, winter and spring. The effect of spring temperature on phenophase is the most important. At that time, the higher the temperature is, the earlier the phenophase occurs. The temperature effect in pre-winter period is similar to that in spring, but the intensity of the effects is smaller. The low temperature in winter also affects the phenophase in spring, but the higher the temperature in that time, the later the phenophase. It is shown that low temperature in winter is also an essential condition for the phenophases occurs. Secondary, the correlation coefficient between phenophase and annual mean temperature is calculated and the value is higher.

Because atmospheric temperature is the most important factor on phenophase, a linear model contains only phenophase and annual mean temperature factors are established by the author. Finally, we apply this model to evaluate changes of the phenological events in China for future global warming scenario. The calculated results are as follows:

1. Assuming a 2 °C rise of annual mean temperature, trees phenological events of spring in China will occur about 3—4 days earlier, but may be postponed for 3—4 days in autumn. The greenleaf stage will be prolonged for 6—8 days.

2. Assuming the scenario of a doubled CO₂ content on the next century which causes a 1.0—1.8 °C rise in the annual mean temperature in China, phenological events in China will be 4—6 days earlier in spring, but will be postponed 4—6 day in autumn. The green-leaf stage is prolonged for 10—12 days. The mature date of fruits and seeds may be earlier. Moreover, the number of days in the changes of phenological events in the northern part of China will be more than those in the southern part.