

# 内蒙古典型草本植物春季物候变化 及其对气候变暖的响应<sup>\*</sup>

吴瑞芬<sup>1</sup> 霍治国<sup>2\*\*</sup> 曹艳芳<sup>3</sup> 闫伟兄<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 内蒙古自治区生态与农业气象中心, 呼和浩特 010051; <sup>2</sup> 中国气象科学研究院, 北京 100081; <sup>3</sup> 内蒙古自治区气象信息中心, 呼和浩特 010051)

**摘 要** 为了解气候和物候变化规律, 指导农业生产和环境监测, 用线性倾向估计法分析了 1982—2006 年内蒙古地区草本植物春季物候及其前期温度的变化趋势, 并分区域分析了植物春季物候与温度的关系, 通过逐步回归分别建立了中西部地区和东部地区植物始花期的温度回归模型, 通过模型对未来气候变化情景下内蒙古地区草本植物始花期变化进行了预估。结果表明 20 世纪 80 年代以来植物始花期变化为提前趋势, 温度变化为增温趋势, 春季变暖比冬季明显, 温度和始花期的变化趋势均有明显的地域特征, 中西部地区增温趋势和植物始花期提前趋势均大于东部地区, 春季温度和植物始花期在两区域平均变化趋势均显著, 冬季温度在中西部地区变化显著, 而在东部地区变化不显著, 植物始花期与其前期温度呈明显的负相关, 春季温度是影响开花的主要因子, 未来如温度上升 1 °C, 始花期提早 3.1 ~ 5.0 d。

**关键词** 草本植物; 物候; 气候变暖; 响应

中图分类号 S963 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2009)08-1470-06

**Phenophase change of typical herbaceous plants in Inner Mongolia in spring and its response to climate warming.** WU Rui-fen<sup>1</sup>, HUO Zhi-guo<sup>2</sup>, CAO Yan-fang<sup>3</sup>, YAN Wei-xiong<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup> Inner Mongolia Eco-environmental and Agro-meteorological Center, Huhhot 010051, China; <sup>2</sup> Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China; <sup>3</sup> Inner Mongolia Meteorological Information Center, Huhhot 010051, China). *Chinese Journal of Ecology* 2009 28( 8 ): 1470–1475.

**Abstract :** To understand the change patterns and the relationships between climate and phenophase is of significance in instructing agricultural production and environmental monitoring. This paper analyzed the change trends of the phenophase of herbaceous plants in different areas of Inner Mongolia in spring 1982–2006, and of the air temperature at the prophase of the plants. The models for predicting the first flowering date of herbaceous plants in mid-west and east Inner Mongolia were established, and the future changes in the first flowering date in the scenario of climate warming were evaluated. Since the 1980s, the first flowering date was advanced, air temperature was increasing, and climate warming was more evident in spring than in winter. The change trends of the first flowering date and air temperature had obvious regional characters. In the mid-west area of Inner Mongolia, the advance in the first flowering date and the increase of air temperature were more evident than those in the east area. The first flowering date and the air temperature in spring varied evidently in the two areas, and the variation of the air temperature in winter was more evident in the mid-west area than in the east area. The first flowering date was negatively related to the prophase air temperature, and the main affecting factor was the air temperature in spring. If the air temperature raised 1.0 °C in the future, the first flowering date would advance 3.1 to 5.0 days.

**Key words :** herbaceous plant; phenophase; climate warming; response.

<sup>\*</sup>“ 十一五 ” 国家科技支撑计划资助项目( 2007BAC29B05 和 2006BAD04B03 )。

<sup>\*\*</sup> 通讯作者 E-mail: huozhiguo@cma. gov. cn

收稿日期: 2008-11-21 接受日期: 2009-03-04

随着全球气候变化,物候也正在发生变化。Menze(2000)对欧洲物候期变化趋势的分析研究发现,1951—1996年间欧洲春季物候期提前了6.3 d,秋季物候期推迟4.5 d,生长季延长10.8 d;Myking(1997)研究了荷兰沿海地带气候变暖对植物春季萌芽的影响结果表明,全球气候变暖使得植物春季物候提前20世纪80年代以后,中国春季物候平均提前3.5 d(郑景云等2002);张学霞等(2005)研究指出,北京在80年代后20年与80年代前30年相比,年平均气温增加1.2℃,变暖势态明显,而近50年中,北京山桃始花日期在1988年之后平均比1988年之前提前9.6 d。在全球气候变暖背景下,内蒙古气候也发生了明显变化,变化的主要特征是气候变暖(内蒙古气候中心2007),而有关气候变化对内蒙古地区植物物候影响方面的研究尚鲜见报道。

自然物候观测是气候变化最直观的植物信号记录,自然物候变化是气候与自然环境变化的综合指标(Sparks & Menzel 2002;Parmesan & Yohe 2003;李荣平等2006)。物候记录不仅反映了当时当地的气候和环境状态,而且还反映了过去一段时间内气候条件积累对生物的综合影响(邹效孟,1983)。通过对物候资料和分析研究,掌握植物物候的变化规律,不仅能清楚地了解气候的变化情况及其对植物物候的影响,而且对保护生态环境具有重要的指导意义(马玉玲等2004;王谋等2005;李荣平等2006)。本文分析了80年代以来内蒙古地区草本植物春季物候变化趋势、规律及其对气候变暖的响应,为掌握气候和物候变化规律,指导农业生产和监测生态环境变化等提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 资料来源

物候资料来自内蒙古气象局物候观测网,内蒙古自治区有24个物候观测站,观测的草本植物有车前、马蔺和蒲公英,但不同站点观测的物种及年代不完全相同,全区性的物候观测始于1982年,多数站点有3种物候观测(车前、马蔺和蒲公英),有部分站点为其中2种或仅有1种物候观测。本文从每个物候站选择一种具有代表性物种的始花期表示春季物候,选择原则是:1)资料序列长、记录连续;2)资料年代最少20年;3)由于春季最早开花的植物比晚开花的植物对温度的响应敏感(Fitter *et al.*,

1995;Beaubien & Freeland,2000;Abu-Asab *et al.*,2001),所以选择开花早的植物始花期作为研究对象,代表春季物候;4)马蔺和蒲公英始花日期相差不大,如仅有这2种植物,则选择开花稍早的蒲公英始花期;5)如有3种物候观测,从始花期较早的马蔺和蒲公英2种植物中选择始花期与车前正相关最显著的一种,正相关说明二者始花期具有顺序性、一致性,因而所选择的植物物候具有代表性。按照以上原则,筛选出18个观测站的植物物候,由于马蔺和蒲公英始花期较早,所以大部分站点筛选出蒲公英或马蔺,锡林浩特与临河选择了仅有的车前物候。资料起始年代为1982—1986年,结束年代均为2006年。物候站的分布从东到西覆盖了内蒙古地区的不同气候类型区,可以代表内蒙古地区的自然物候。对应站点的气温资料来自内蒙古气候观测网。

### 1.2 研究方法

为方便计算,将物候日期转换为日序,即距离同年1月1日的日数( $d$ ),用线性倾向估计分析物候期和气候的变化趋势 $x_i = a + bt_i$ ,式中 $a$ 为回归常数, $b$ 为回归系数,也叫倾向值,本文将 $b$ 值扩大10倍,即每10 $a$ 的倾向值。 $a$ 和 $b$ 可用最小二乘法估算。利用回归系数与相关系数之间的关系,求出时间 $t_i$ 与变量 $x_i$ 之间的相关系数,相关系数 $|r| > r_{0.05}$ 表明变化趋势在 $\alpha = 0.05$ 显著性水平上是显著的。

运用累积距平描述始花期与其前期冬春季气温的相关性。累积距平是一种常用的、由曲线直观判断变化趋势的方法,对于序列 $x$ ,某一时刻 $t$ 的累积距平表示为:

$$x_i = \sum_{j=1}^t (x_j - \bar{x}) \quad (t = 1, 2, \dots, n)$$

$$\text{式中 } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

采用逐步回归法,建立始花期预估模型,从而预估在未来气候变化情景下内蒙古地区植物物候的可能变化。

## 2 结果与分析

### 2.1 春季物候变化特征

内蒙古不同地区、不同草本植物始花期相差较大,平均日期为5月4日—6月8日,最早4月16日—5月21日,最晚5月16日—6月30日,蒲公英与

表 1 内蒙古草本植物物候站点、物种、资料年代和始花期  
Tab. 1 Phenological observation stations ,the species ,the period and the first flowering date of herbaceous plants in Inner Mongolia

地区	物种	记录起止年份	平均始花期 (月-日)	最早日期 (月-日)	最晚日期 (月-日)
锡林高勒	马蔺	1982—2006	5-11	4-20	5-24
临河	马蔺	1982—2006	5-16	5-6	6-7
乌拉特前旗	蒲公英	1982—2006	5-23	5-1	6-20
乌审召	蒲公英	1982—2006	5-6	4-26	5-16
固阳	蒲公英	1983—2006	5-15	4-20	6-6
呼和浩特	马蔺	1982—2006	5-13	5-1	5-25
察右中旗	马蔺	1982—2006	5-20	5-2	6-2
察右后旗	马蔺	1982—2006	5-19	5-4	6-3
太仆寺旗	蒲公英	1984—2006	5-18	5-7	6-7
锡林浩特	车前	1982—2006	6-8	5-21	6-30
赤峰	车前	1982—2006	5-25	4-25	6-15
翁牛特旗	蒲公英	1982—2006	5-7	4-29	5-20
奈曼	蒲公英	1982—2006	5-4	4-24	5-17
开鲁	马蔺	1983—2006	5-14	4-25	5-27
巴雅尔图	马蔺	1982—2006	5-16	5-8	5-24
突泉	蒲公英	1983—2006	5-5	4-16	5-18
扎兰屯	蒲公英	1986—2006	5-8	4-20	5-27
额右旗	蒲公英	1982—2006	5-17	5-10	6-3

马蔺始花期较早,车前始花期较晚(表 1)。分别计算 18 个物候站植物始花期的线性变化趋势(表 2),由表 2 可以看出,除突泉外,其余 17 个物候站倾向值均为负值,说明大部地区始花期为提前趋势,18 个站平均提前趋势为  $-5.2\text{ d} \cdot 10\text{a}^{-1}$ ,25 年来提前了 13.4 d。其中锡林高勒、临河、乌拉特前旗、乌审召、固阳、呼和浩特、察右中旗、察右后旗和赤峰市植物始花期提前趋势达显著水平( $P < 0.05$ ),倾向值为  $-3.6 \sim -16.2\text{ d} \cdot 10\text{a}^{-1}$ ,25 年来植物始花期提前了 9.0 ~ 38.8 d;其余站点植物始花期变化趋势不明显( $P > 0.05$ ),其中突泉为不明显延后趋势,倾向值为  $1.7\text{ d} \cdot 10\text{a}^{-1}$ ,太仆寺旗、锡林浩特等地为不明显提前趋势,倾向值为  $-0.5 \sim -4.4\text{ d} \cdot 10\text{a}^{-1}$ ,研究期间突泉延后 4.1 d,太仆寺旗、锡林浩特等地提前 3.2 ~ 10.6 d。

根据线性倾向值绘制始花期变化趋势分布图(图 1),由图 1 和表 2 可知,植物始花期具有明显的地域特征,中西部地区(锡林高勒、临河、乌拉特前旗、乌审召、固阳、呼和浩特、察右中旗、察右后旗)为明显的低值区,所分析站点植物始花期提前趋势均达到显著水平( $P < 0.05$ ),平均倾向值为  $-7.2\text{ d} \cdot 10\text{a}^{-1}$ ,为明显的提前趋势,研究期间平均提前了 18.0 d;东部区(太仆寺旗、锡林浩特、赤峰、翁牛特



图 1 研究区草本植物始花期变化线性趋势示意图  
Fig. 1 Linear trend of first flowering date of herbaceous plants in the study area

表 2 研究区草本植物始花期变化  
Tab. 2 Change in first flowering date of herbaceous plants in the study area

	地区	倾向值 ( $\text{d} \cdot 10\text{a}^{-1}$ )	相关系数	始花期 变化日数
中西部区	锡林高勒	-5.3	-0.426 *	-13.3
	临河	-11.0	-0.845 **	-27.5
	乌前旗	-7.1	-0.448 *	-17.8
	乌审召	-3.6	-0.435 *	-9.0
	固阳	-16.2	-0.813 **	-38.8
	呼和浩特	-4.4	-0.443 *	-11.0
	察右中旗	-4.8	-0.498 *	-12.0
	察右后旗	-7.8	-0.640 **	-19.5
	中西部平均	-7.2	-0.660 **	-18.0
	太仆寺旗	-1.8	-0.172	-4.1
东部区	锡林浩特	-1.4	-0.112	-3.5
	赤峰	-11.4	-0.781 **	-28.6
	翁牛特旗	-3.0	-0.394	-8.1
	奈曼	-0.5	-0.083	-1.2
	开鲁	-4.4	-0.349	-10.6
	巴雅尔图	-2.1	-0.345	-5.3
	突泉	1.7	0.150	4.1
	扎兰屯	-2.9	-0.217	-6.1
	额右旗	-1.4	-0.120	-3.2
	东部平均	-3.1	-0.498 *	-7.8
	全区平均	-5.2		-13.4

\*\*  $P < 0.01$ , \*  $P < 0.05$ 。

旗、奈曼、开鲁、巴雅尔图、突泉、扎兰屯、额右旗)为相对高值区,所分析站点中,除赤峰外,其余大部分站点变化趋势均不明显( $P > 0.05$ ),平均倾向值  $-3.1\text{ d} \cdot 10\text{a}^{-1}$ ,为明显的提前趋势,研究期间平均提前了 7.8 d。

## 2.2 气候变化特征

内蒙古地区地处中、高纬度,是受全球气候变暖影响最为明显的地区之一。近 50 年内蒙古地区平均气温上升了  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,增温始于 20 世纪 80 年代初(内蒙古气候中心,2007)。为分析植物始花期对气候变暖的响应,本文计算了内蒙古地区有全区性物候

表 3 研究区草本植物始花前期气温变化  
Tab.3 Change in the temperature before first flowering date of herbaceous plants

地区		春 季			冬 季		
		倾向值 ( $^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{ a}^{-1}$ )	相关系数	增温值 ( $^{\circ}\text{C}$ )	倾向值 ( $^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{ a}^{-1}$ )	相关系数	增温值 ( $^{\circ}\text{C}$ )
中西部	锡林高勒	0.7	0.610 **	1.7	1.0	0.624 **	2.2
	临河	0.9	0.632 **	2.2	0.8	0.524 **	2.1
	乌前旗	0.8	0.615 **	2.1	0.8	0.507 **	2.1
	乌审召	0.6	0.515 **	1.5	0.5	0.327 *	1.2
	固阳	0.7	0.528 **	1.7	0.7	0.464 *	1.7
	呼和浩特	0.7	0.576 **	1.7	0.9	0.584 **	2.2
	察右中旗	0.6	0.452 *	1.5	0.7	0.474 *	1.8
	察右后旗	0.6	0.410 *	1.4	0.8	0.471 *	1.9
中西部平均		0.9	0.611 **	2.3	0.8	0.589 **	2.0
东部	太仆寺旗	0.6	0.397 *	1.5	0.8	0.474 *	1.9
	锡林浩特	0.7	0.475 *	1.7	0.6	0.254	1.2
	赤峰	0.3	0.260	0.8	0.1	0.042	0.1
	翁牛特旗	0.5	0.350	1.2	0.2	0.157	0.6
	奈曼	0.6	0.428 *	1.5	0.3	0.191	0.8
	开鲁	0.6	0.443 *	1.5	0.4	0.204	1.0
	巴雅尔图	0.6	0.380	1.5	0.3	0.183	0.8
	突泉	0.5	0.294	1.2	0.0	0.017	0.1
	扎兰屯	0.5	0.283	1.2	0.1	0.026	0.1
	额右旗	0.5	0.257	1.2	0.0	0.010	0.1
东部平均		0.5	0.402 *	1.3	0.3	0.299	0.8
全区平均		0.7		1.8	0.5		1.3

\*\*  $P < 0.01$  ; \*  $P < 0.05$ 。

记录以来( 1982 年 )18 个物候站植物始花前期( 冬季 11 月—翌年 2 月、春季 3—5 月 )气温线性变化趋势( 表 3 ) ,18 个站点春、冬季温度倾向均为正值 ,春季增温趋势略大于冬季 ,春季倾向值为  $0.3 \sim 0.9\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{ a}^{-1}$  ,平均  $0.7\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{ a}^{-1}$  ,平均增温  $1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$  ;冬季倾向值为  $0 \sim 1.0\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{ a}^{-1}$  ,平均  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{ a}^{-1}$  ,平均增温  $1.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  。无论春季还是冬季 ,中西部地区增温趋势均较东部地区明显 ,所分析的中西部地区 8 个物候站中 ,固阳和乌审召的冬季、察右中旗和察右后旗增温趋势达显著水平(  $P < 0.05$  ) ,其余 4 个站冬春季增温趋势均达极显著水平(  $P < 0.01$  ) ,东部区 10 个物候站中仅锡林浩特、奈曼、开鲁的春季和太仆寺旗增温趋势达显著水平(  $P < 0.05$  ) ,其余站点温度变化均不显著(  $P > 0.05$  )。春、冬季中西部地区平均温度上升趋势分别为  $0.9$  和  $0.8\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{ a}^{-1}$  ,东部地区分别为  $0.5$  和  $0.3\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{ a}^{-1}$  ,春、冬 2 季中西部地区每 10 a 与东部区增温差值分别达  $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  和  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  。

根据气温线性倾向值分别绘制春季、冬季气温变化趋势分布图( 图 2、图 3 ) ,从图 2 和图 3 也可看出 ,气温变化也具有明显的地域特征 ,中西部地区为高值区 ,东部区为相对低值区 ,其变化趋势在地域分

布上恰好与始花期一致。



图 2 研究区春季温度变化线性趋势示意图  
Fig.2 Linear trend of the temperature in spring in the study area



图 3 研究区冬季温度变化线性趋势示意图  
Fig.3 Linear trend of the temperature in winter in the study area

2.3 春季物候对气候变暖的响应

分析表明,春季植物始花期变化趋势与冬、春季气温在地域分布上有很好的-一致性,为进一步分析始花期与气温的关系,将 18 个物候观测站分成东部、中西部 2 组,中西部地区 8 个站,东部区 10 个站,然后分别计算 2 组平均始花期、冬季平均气温、春季平均气温的累积距平值。从图 4 和图 5 的累积距平曲线可看出,中西部地区 80 年代初至 90 年代中期植物始花期呈波动式延后趋势,春季温度呈下降趋势,90 年代中期之后至今始花期呈提前趋势,春季温度呈上升趋势,始花期和春季温度均是在 1996 年发生突变。东部区 1982—1988 年始花期延后、春季温度下降,1988 年为一突变点;之后至 1996 年春季温度和始花期均为波动式变化时期,变化趋势不明显;1996 年之后至今始花期呈波动式下降趋势,春季温度呈波动式上升趋势,1996 年为突变点。由以上分析可知,中西部和东部植物始花期累积距平与春季温度累积距平的负相关关系都非常明显,相关系数分别达  $-0.789$  和  $-0.700$ ;与冬季温度也呈负相关,但不及春季相关性好,相关系数分别为

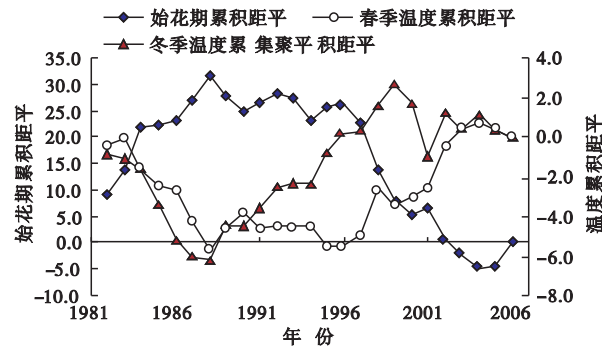


图 4 研究区中西部地区始花期与气温累积距平  
Fig. 4 Cumulate deviation of the temperature and the first flowering date in the mid-west part in the study area

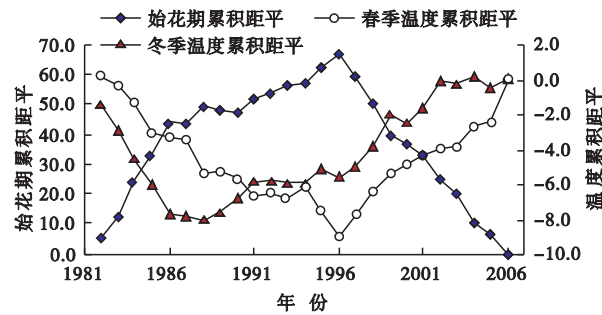


图 5 研究区东部区始花期与气温累积距平  
Fig. 5 Cumulate deviation of the temperature and the first flowering date in the east part in the study area

表 4 植物始花期逐步回归模型  
Tab. 4 Regression models of the first flowering date

	回归模型	R	F	SIG T
中西部	$y = -0.002 - 5.034t_{3-5}$	0.789	38.050	0.000
东部	$y = -3.051t_{3-5}$	0.700	22.079	0.000

表 5 未来不同增温情景下植物始花期提前的天数(d)  
Tab. 5 Ahead days in the scene of different temperature increases in the future

	增温值(℃)				
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
中西部	5.0	7.6	10.1	12.6	15.1
东部	3.1	4.6	6.1	7.6	9.2

$-0.653$ 和  $-0.400$ 。可见,冬、春季温度是影响植物始花期早晚的主要气候因子,而接近开花期的春季温度的影响更为显著。

以冬季温度距平( $t_{11-2}$ )和春季温度距平( $t_{3-5}$ )为自变量,以植物始花期距平( $y$ )为因变量,利用逐步回归,分别建立东部和中西部地区始花期回归模型(表 4),其中,变量取舍的原则为:当一个变量的 SIG T 值  $\leq 0.05$  时,该变量被引入回归方程,当 SIG T 值  $> 0.05$  时,该变量被剔除。经运算,回归两个回归模型中,  $t_{3-5}$  均为显著变量被引入,  $t_{11-2}$  均被剔除,  $t_{3-5}$  和  $y$  为负相关关系,说明春季温度的高低是影响植物开花早晚的最重要因素,春季温度越高,始花期越早。

根据 IPCC 第 4 次评估报告,近百年全球气温平均上升约  $0.74\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,在多个温室气体排放情景下,21 世纪末全球平均升温幅度大致为  $1.1\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 6.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,对于低排放情景(B1),升温为  $1.1\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 2.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,对于高排放情景(A1FI)升温为  $2.4\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 6.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。假设未来内蒙古地区以低排放情景增温,根据表 4 的回归模型计算结果,未来气候变暖对春季植物物候期影响的定量分析(表 5)。由表 5 可知,平均温度升高  $1\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,中西部地区始花期提前  $5.0 \sim 15.1\text{ d}$ ,东部地区提前  $3.1 \sim 9.2\text{ d}$ 。

3 结 论

内蒙古地区植物春季物候总体为提前趋势,平均倾向值为  $-5.2\text{ d} \cdot 10\text{ a}^{-1}$ ,25 年来提早了  $13.4\text{ d}$ ,春季物候的变化趋势具有明显的地域特征,中西部地区各物候站植物开花期变化趋势显著,东部地区除赤峰外,其余各物候站开花期均未达到显著水平,各物候站冬春季温度变化趋势与开花期变化趋势一致,也具有明显的地域特征。80 年代以来,中西

部地区各物候站增温趋势明显,东部区大部分站点增温趋势不明显,即增温显著的地区,开花期明显提前,增温不显著的地区开花期提前亦不明显;冬、春季温度与植物始花期呈明显的负相关,但接近开花期的春季温度是影响开花早晚的主要因子,温度高则开花提早,反之则开花推迟;根据植物始花物候期的回归预测模型得出,平均气温增高 $1^{\circ}\text{C}$ ,内蒙古地区春季物候期提前 $3.1\sim 5.0\text{ d}$ ;地区间植物始花期变化趋势差异较大,如固阳为 $-16.2\text{ d}\cdot 10\text{ a}^{-1}$ ,突泉为 $1.7\text{ d}\cdot 10\text{ a}^{-1}$ ,而其增温趋势差异不大,分别为 $0.7$ 和 $0.5^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{ a}^{-1}$ ;赤峰始花期变化趋势为 $-11.4\text{ d}\cdot 10\text{ a}^{-1}$ ,而其春季增温趋势仅为 $0.3^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{ a}^{-1}$ ,说明物候变化除受温度影响外,还受其他因子的影响,如降水、光照、土壤等影响,还有待于在今后的工作中进一步探讨。

#### 参考文献

- 李荣平,周广胜,王玉辉. 2006b. 羊草物候特征对其后因子的响应. 生态学杂志, **25**(2):277-280.
- 李荣平,周广胜,张慧玲. 2006a. 植物物候研究进展. 应用生态学报, **17**(3):541-544.
- 马玉玲,余卫红,方修琦. 2004. 呼伦贝尔草原对全球变暖的响应. 干旱区地理, **27**(1):29-34.
- 内蒙古自治区气候中心. 2007. 内蒙古气候变化公报.
- 王 谋,李 勇,黄润秋,等. 2005. 候变暖对青藏高原腹地高寒植被的影响. 生态学报, **25**(6):1275-1281.
- 张学霞,葛全胜,郑景云. 2005. 近50年北京植被对全球变暖的响应及其时效. 生态学杂志, **24**(2):123-130.
- 郑景云,葛全胜,郝志新. 2002. 气候增暖对我同近40年植

- 物物候变化的影响. 科学通报, **47**(20):1582-1587.
- 邹效孟. 1983. 农业物候学. 北京:农业出版社.
- Abu-Asab MS, Peterson PM, Shetler SG, et al. 2001. Earlier plant flowering in spring as a response to global warming in the Washington DC area. *Biodiversity and Conservation*, **10**:597-612.
- Beaubien EG, Freeland HJ. 2000. Spring phenology trends in Alberta, Canada: Links to ocean temperature. *International Journal of Biometeorology*, **44**:53-59.
- Fitter AH, Fitter RSR, Harris TTB, et al. 1995. Relations between first flowering date and temperature in the flora of a locality in central England. *Functional Ecology*, **9**:55-60.
- Menzel A. 2000. Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996. *International Journal of Biometeorology*, **44**:76-81.
- Myking T. 1997. Dormancy, budburst and impacts of climatic warming in coastal-inland and altitudinal *Betula pendula* and *B. pubescens* ecotypes// Lieth H, Schwartz MD, eds. Phenology in Seasonal Climates. Leiden, The Netherlands: Backhuys Publishers:51-66.
- Parmesan C, Yohe G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, **421**:37-42.
- Sparks TH, Menzel A. 2002. Observed changes in seasons: An overview. *International Journal of Climatology*, **22**:1715-1725.

---

作者简介 吴瑞芬,女,1966年生,硕士研究生,高级工程师。主要从事生态与农业气象预测预报研究。E-mail:wu\_ruifen@126.com

责任编辑 李凤芹

---