

李瑞英,任崇勇,陈楠,等.鲁西南典型植物春季物候期的模拟研究[J].干旱气象,2015,33(6):1010-1016, [LI Ruiying, REN Chongyong, CHEN Nan, et al. Simulation of Spring Phenophase of Typical Plants in Southwestern Shandong Province[J]. Journal of Arid Meteorology, 2015, 33(6):1010-1016], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-06-1010

## 鲁西南典型植物春季物候期的模拟研究

李瑞英<sup>1</sup>,任崇勇<sup>1</sup>,陈楠<sup>1</sup>,江晓东<sup>2</sup>

(1.山东省菏泽市气象局,山东 菏泽 274000;2.南京信息工程大学应用气象学院,  
江苏省农业气象重点实验室,江苏 南京 210044)

**摘要:**利用2006~2014年鲁西南地区菏泽、曹县和济宁3个国家级农业气象观测站气象及物候观测资料,采用国际上流行的ForcTT积温模型模拟了当地常见、广泛分布的9种木本植物和4种草本植物展叶始期和开花始期的最佳积温开始日期和基础温度。结果表明:(1)模拟的木本植物展叶始期的最佳积温累积开始日期主要为1月1日,最佳基础温度主要为1℃。开花始期模拟的最佳积温累积开始日期不同木本物种差异较大,开花期较早(3月)的毛白杨、早柳和榆树的最佳积温累积开始日期为2月1日,最佳基础温度为3℃,开花期集中在4~6月的物种的最佳积温累积开始日期为3月1日,基础温度在3~5℃之间,开花期最晚(7月)的槐树的最佳积温累积开始日期为4月1日,基础温度为4℃;(2)就草本植物而言,展叶期较早(2~3月)的车前、苍耳和芦苇模拟的最佳积温累积开始日期为1月1日,最佳基础温度为1~2℃,展叶较晚(4月)的莲模拟的最佳积温累积开始日期为2月1日,最佳基础温度为3℃。开花期较早(4~6月)的车前和苍耳其开花始期模拟的最佳积温累积开始日期为2月1日,最佳基础温度为3℃,开花较晚(7~9月)的莲和芦苇模拟的最佳积温累积开始日期为4月1日,最佳基础温度分别为-1℃和2℃;(3)展叶始期和开花始期模拟的平均误差在2d左右。由此可知,无论是木本植物还是草本植物,ForcTT积温模型对展叶和开花始期的模拟效果均较好,预测值和观测值间的相关系数普遍在0.90以上,达高度相关。

**关键词:**物候期;模拟;ForcTT模型;鲁西南

**文章编号:**1006-7639(2015)-06-1010-07 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-06-1010

**中图分类号:**Q948.1

**文献标识码:**A

### 引言

植物物候模型是基于植物对环境因子的响应机理而建立的可模拟其生长发育的数学方程<sup>[1]</sup>,即用简洁的数学语言来描述环境因子与物候发育规律之间的关系,实现对物候的动态模拟。由于不同植物的遗传特性和生长发育规律不同,受环境因子影响的机理也不同,故而建模方法不尽相同。目前国内构建的物候模型主要包括统计分析模型<sup>[2]</sup>和以植物生长规律分析为主的机理模型<sup>[3]</sup>,前者主要通过数理统计方法建立植物物候期与气象因子间的直接关系,主要有积分回归法<sup>[4]</sup>、聚类分析<sup>[5]</sup>、主成分分析<sup>[6]</sup>等,后者以植物的生理生态过程为基础,采用生理发育时间作为发育进程的定量尺度,引入重

要参数,由这些参数相互作用决定每日生理效应的累积,多应用于作物模型中。

气候变化影响树木的展叶、开花、叶片凋落的时间以及生长期的长短。为此,许多学者开展了植物物候与气候变化的关系以及物候响应模型研究<sup>[7-16]</sup>。Reanmar最早提出了模拟物候期的积温模型,该模型是以积温作为预测的独立变量,之后Hänninen<sup>[17]</sup>和Chuine<sup>[18]</sup>等进行了重组得到8个积温模型,目前国际上流行的植物物候积温模型有ForcTT<sup>[19]</sup>和ForcSar<sup>[18]</sup>。Yuan等<sup>[20]</sup>利用积温模型CTM(Cumulative Temperature Model)和CDM(Chill Days Model)模拟了内蒙古锡林浩特羊草和克氏针茅的返青期和枯黄期;李荣平等<sup>[21]</sup>利用ForcTT和ForcSar模型模拟了草本植物芦苇的物候期,发现2

收稿日期:2015-02-03;改回日期:2015-03-04

基金项目:山东省气象局课题“鲁西南典型植物物候期对气候变化的响应”(2013sdqx11)资助

作者简介:李瑞英(1981-),女,山东菏泽人,硕士,工程师,研究方向为农业气象与气候变化。E-mail:liryeg@163.com

个积温模型模拟结果较好,且 ForcTT 模型的模拟精度优于 ForcSar 模型;郭玉生<sup>[22]</sup>应用灰色系统理论建立了 GM(1,1) 物候预报模型,并对 1970~1980 年山桃、杏、紫丁香、紫藤、刺槐、枣 6 个树种的始花期进行预测,该方法的优点是考虑了众多灰色量,需要原始数据少且对原始数据分布无特殊要求;鲁小珍等<sup>[23]</sup>应用线性自回归模型预测树木物候,使日本樱花、绯红晚樱、刺槐 3 树种的预测误差稳定在 1~2 d 内,该方法集中了线性自回归和多元线性回归模型的优点,模型考虑了时滞性,从而使预测值不但与现时刻输入有关,还受历史输入及自身滞后量的影响。可见,物候模型的发展已比较成熟。然而,针对鲁西南地区典型植物物候期的预测目前仍是空白,因此本研究试图采用国际上流行的 ForcTT 物候预报模型模拟该地区常见的木本植物和草本植物的展叶始期和开花始期,以期为当地农事生产提供依据和指导。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料来源

气候资料和物候期资料均来源于鲁西南地区 2006~2014 年菏泽、曹县和济宁 3 个国家级农业气象观测站,选取的 9 种木本植物(毛白杨、旱柳、榆树、槐树、刺槐、合欢、楝树、枣树、梧桐)和 4 种草本植物(莲、车前、苍耳、芦苇)均为当地常见且分布广泛的植物。

### 1.2 ForcTT 模型

ForcTT 模型是基于某一基础温度的日平均气温差累积的物候预测积温模型<sup>[19]</sup>,其原理为:自 1 月 1 日开始,设定一基础温度,若日平均气温高于基础温度,则取两者之差,若日平均气温低于基础温度,则取 0,依次组成每日的促进方程,如此累积直至物候期发生日,此阶段的温度累积定义为物候期的积温阈值,积温开始日期分别自 1 月 1 日、2 月 1 日、……,依次类推,直到模拟效果最佳,从而确定出最佳的基础温度和开始日期。基础温度  $T_b$  的取值范围一般为  $-5 \sim 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ,步长为  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ <sup>[21]</sup>。ForcTT 模型的定义和方程见表 1。

### 1.3 模型评价指标

采用均方根误差 RMSE 和绝对误差 AE 对展叶、开花始期预测模型进行评价分析。其表达式如下:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - A_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$AE = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - A_i|}{n} \quad (2)$$

式中, $P_i$  为观测值, $A_i$  预测值, $n$  为样本。

表 1 ForcTT 模型的定义和方程  
Tab. 1 The definition and equation of ForcTT model

符号	定义
$y$	展叶或开花期
$x_t$	日平均气温
$R_f(x_t)$	促进率方程
$s_f$	促进状态
$F^*$	积温阈值或促进单位阈值
$t_0$	积温开始日或促进单位累积开始日
$T_b$	基础温度

*ForcTT model* ( $F^*, T_b, t_0$ )

$$S_f = \sum_{t_0}^y R_f(x_t) = F^*$$

$$R_f(x_t) = \begin{cases} 0 & x_t \leq T_b \\ x_t - T_b & x_t > T_b \end{cases}$$

## 2 结果与分析

### 2.1 木本植物物候期的模拟

#### 2.1.1 展叶始期

由表 2 给出的木本植物展叶始期 ForcTT 模型的参数估计可以看出,9 种木本植物展叶始期模拟的最佳积温累积开始日期和基础温度不尽相同,最佳积温累积开始日期为 1 月 1 日或 2 月 1 日,最佳基础温度在  $0 \sim 2 \text{ }^\circ\text{C}$  之间,其中以  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  为主。对比发现,毛白杨、枣树和梧桐展叶始期模拟的参数值基本一致,积温累积开始日期均为 1 月 1 日,基础温度均为  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ ;槐树和楝树的最佳积温累积开始日期为 1 月 1 日,最佳基础温度为  $2 \text{ }^\circ\text{C}$ ;旱柳、榆树、刺槐和合欢的最佳积温累积开始日期均为 2 月 1 日,最佳基础温度差异较大。

从展叶始期的模拟误差来看,毛白杨、榆树、楝树和合欢 4 种植物的误差较小,绝对误差在  $1.33 \sim 1.67 \text{ d}$  之间,均方根误差在  $1.53 \sim 2.13 \text{ d}$ ,其中榆树的绝对误差和均方根误差均最小,说明其模拟效果最好;槐树、枣树、梧桐和刺槐的绝对误差和均方根误差均在  $2.0 \sim 3.0 \text{ d}$  之间,而旱柳的模拟误差最大,分别为  $3.0 \text{ d}$ 、 $3.61 \text{ d}$ 。

表 2 木本植物展叶、开花始期 ForcTT 模型参数估计

Tab. 2 Parameter estimation of ForcTT model at the beginning stage of leaf expansion and flowering of woody plants

物候期	参数/物种	毛白杨	旱柳	榆树	槐树	枣树	楝树	梧桐	刺槐	合欢
展叶	始期(月-日)	04-06	03-20	03-29	04-07	04-17	04-15	04-20	03-31	04-20
	$t_0$ (月-日)	01-01	02-01	02-01	01-01	01-01	01-01	01-01	02-01	02-01
	$T_b/^\circ\text{C}$	1.0	1.0	0.0	2.0	1.0	2.0	1.0	2.0	1.0
	$AE$	1.44	3.0	1.44	2.67	2.57	1.33	2.11	2.22	1.67
	$RMSE$	2.13	3.61	1.53	2.98	2.16	2.11	2.65	2.94	2.13
开花	始期(月-日)	03-06	03-21	03-06	07-11	05-21	05-04	06-22	04-23	05-30
	$t_0$ (月-日)	02-01	02-01	02-01	04-01	03-01	03-01	03-01	03-01	03-01
	$T_b/^\circ\text{C}$	3.0	3.0	1.0	4.0	5.0	3.0	3.0	4.0	5.0
	$AE$	1.22	1.44	1.33	2.22	1.89	1.78	3.11	0.89	2.11
	$RMSE$	1.97	1.73	1.76	2.40	2.29	2.26	3.33	1.56	2.38

另外还发现,展叶期集中在 3 月下旬的物种(如旱柳、榆树、刺槐)模拟的最佳积温累积开始日期为 2 月 1 日,而展叶期集中在 4 月上中旬的物种(如毛白杨、槐树、枣树、楝树、梧桐)模拟的最佳开始日期为 1 月 1 日。说明展叶出现较早而积温积累

开始日期较晚的旱柳、榆树和刺槐 3 物种,从开始日到展叶期所需的积温较少;而展叶出现较晚的毛白杨、槐树、枣树、楝树和梧桐 5 个物种,从开始日到展叶期所需的积温较多。

图 1 是 9 种木本植物展叶始期的模拟效果检

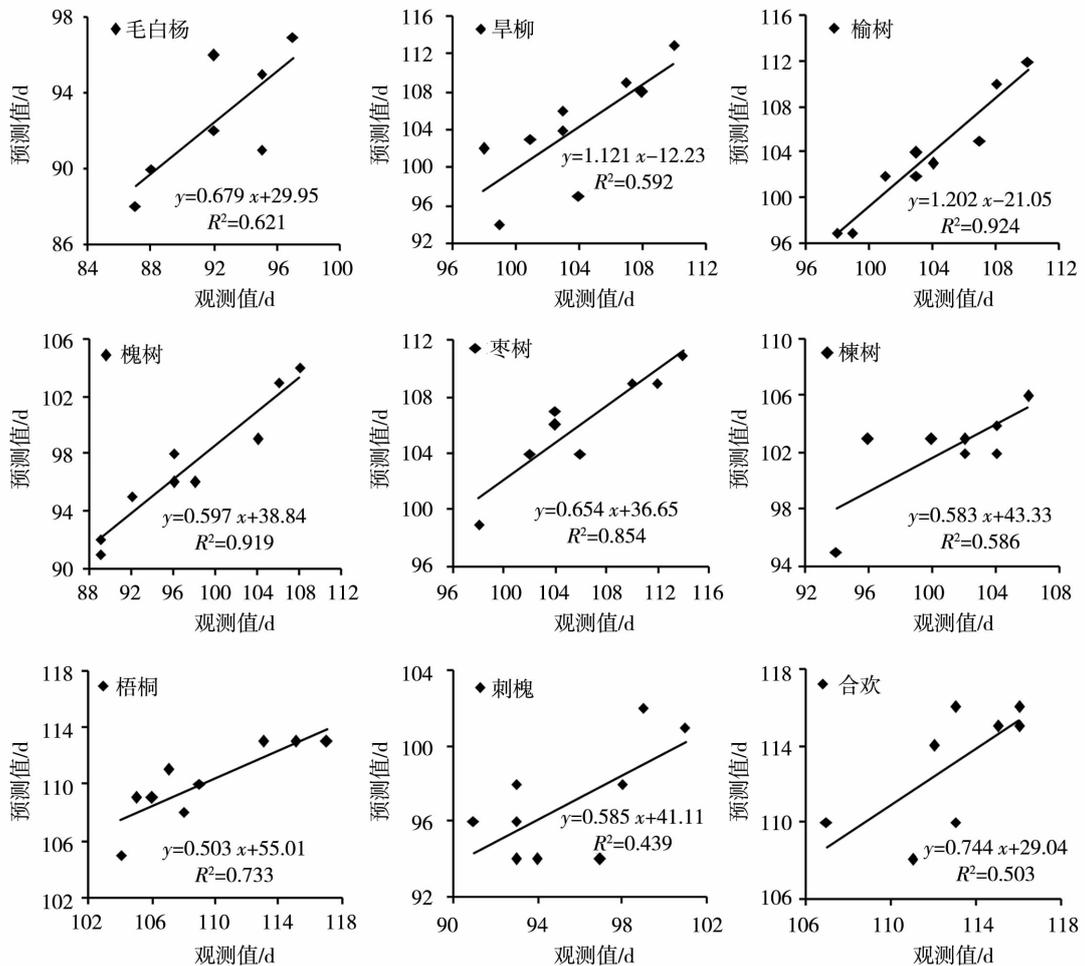


图 1 9 种木本植物的展叶始期模拟效果

Fig. 1 The correlation between the simulated and observed days of the beginning stage of leaf expansion for 9 woody plants

验。可以看出,9种植物的预测值和观测值间的相关系数在0.66~0.96 ( $F_{0.05} = 0.666, F_{0.01} = 0.798$ )之间,达中高度相关。其中,榆树、槐树和枣树的模拟效果最好,相关系数在0.92以上,表明预测值与观测值高度一致。

2.1.2 开花始期

由表2可知,开花期较早(3月)的毛白杨、旱柳和榆树的开花始期的最佳积温累积开始日期较早,为2月1日,槐树的开花期最晚(7月),最佳积温累积开始日期也最晚,为4月1日,其它5种植物的开花期出现在4~6月,最佳积温累积开始日期均为3月1日。9种物种开花始期的最佳基础温度为1~5℃,且以3℃为主,其中枣树和合欢的最佳基础温度为5℃,主要原因是这2个树种的开花期比较接近,均在5月下旬,且开花期较长,持续1~2个月;槐树和刺槐的基础温度为4℃,而榆树的基础温度则为1℃。

从开花始期模拟的误差来看,刺槐的模拟误差最小,绝对误差和均方根误差分别为0.89 d和1.56 d,模拟效果最佳;毛白杨、旱柳和榆树的绝对误差和均方根误差均在1.0~2.0 d之间,模拟效果较好;槐树、枣树、楝树和合欢的误差均在2.0 d左右,梧桐的误差在3.0 d,模拟效果相对较差。

由以上分析可知,开花期较早的物种其积温累积开始日期较早,基础温度也低,反之,开花期晚的物种,积温累积开始日期较晚,基础温度较高,开花始期的出现主要受其前1~3个月气温的影响。

图2给出了9种木本植物开花始期的模拟效果。可以看出,9种木本植物开花始期的预测值和观测值间的相关系数在0.76~0.97 ( $F_{0.05} = 0.666, F_{0.01} = 0.798$ )之间,达中高度相关。除枣树和梧桐的相关系数分别为0.76和0.89外,其它7个物种的相关系数均在0.90以上,说明9种木本植物开花始期的预测值与观测值高度一致,模拟精度较高。

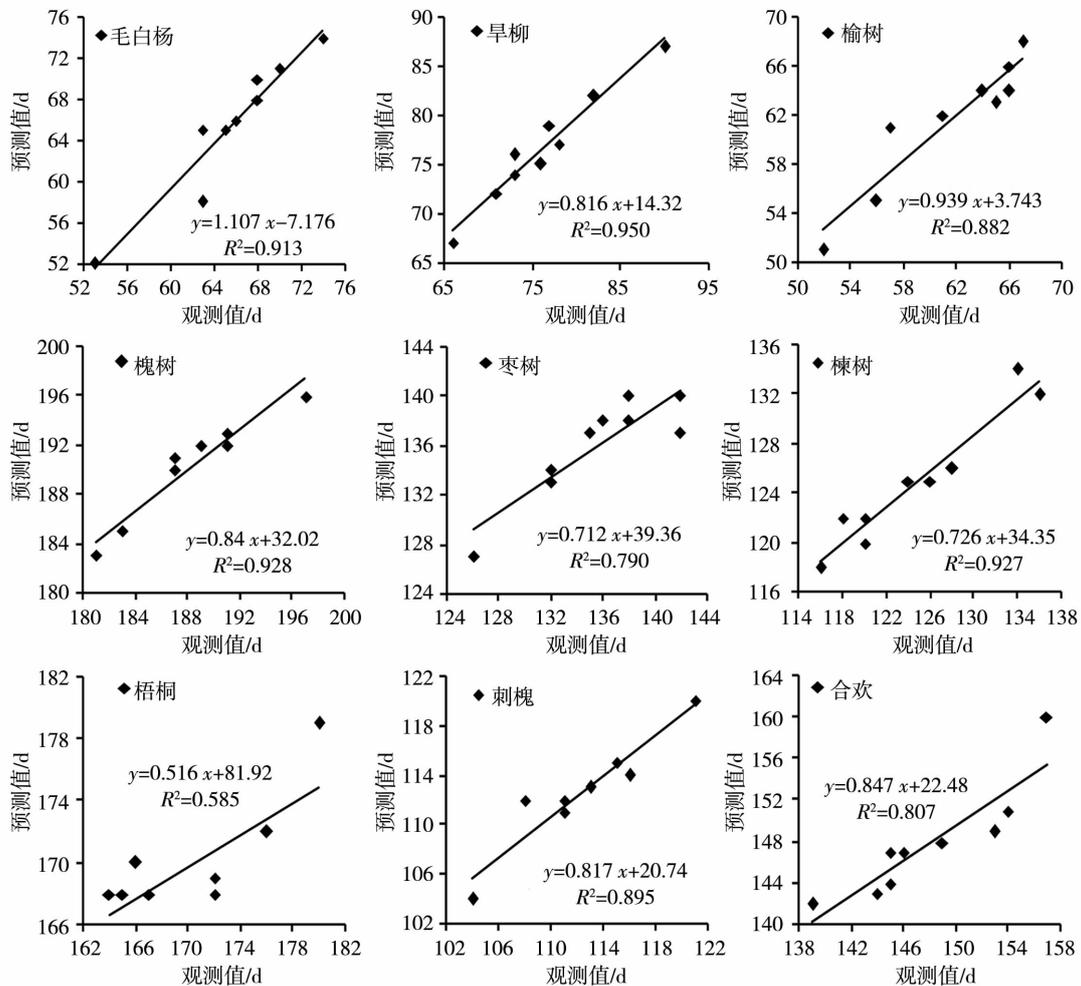


图2 9种木本植物的开花始期模拟效果

Fig. 2 The correlation between the simulated and observed days of the beginning stage of flowering for 9 woody plants

## 2.2 草本植物物候期的模拟

### 2.2.1 展叶始期

表 3 是草本植物展叶、开花始期 ForcTT 模型的参数估计。由表 3 可知,4 种草本植物中莲的展叶始期模拟的参数和其它 3 种植物相差较大,可能是由于莲生长在水中的习性及其展叶出现较晚所致。展叶期较晚(4 月)的莲,其展叶始期模拟的最佳积温累积开始日期也较晚为 2 月 1 日,最佳基础温度

为 3 °C,而其它展叶期相对较早(2~3 月)的 3 种植物,其展叶始期模拟的最佳积温累积开始日期较早,均为 1 月 1 日,最佳基础温度为 1~2 °C。

由图 3 可见,4 种草本植物展叶始期的模拟效果均较好,预测值和观测值间的相关性系数均在 0.91 以上,达高度相关,说明模拟的预测值与观测值高度一致,同时也验证了该模型预测上述草本植物展叶始期的准确性和适用性。

表 3 草本植物展叶、开花始期 ForcTT 模型参数估计

Tab. 3 Parameter estimation of ForcTT model at the beginning stage of leaf expansion and flowering of herbaceous plants

参数/物种	展叶期				开花期			
	莲	车前	苍耳	芦苇	莲	车前	苍耳	芦苇
始期(月-日)	04-23	02-28	03-31	03-24	07-03	04-14	06-22	09-10
$t_0$ (月-日)	02-01	01-01	01-01	01-01	04-01	02-01	02-01	04-01
$T_b/^\circ\text{C}$	3.0	1.0	1.0	2.0	-1.0	3.0	3.0	2.0
AE	2.22	1.89	2.11	1.89	2.11	2.67	1.89	1.89
RMSE	2.45	2.73	2.77	2.33	2.43	3.06	2.65	2.43

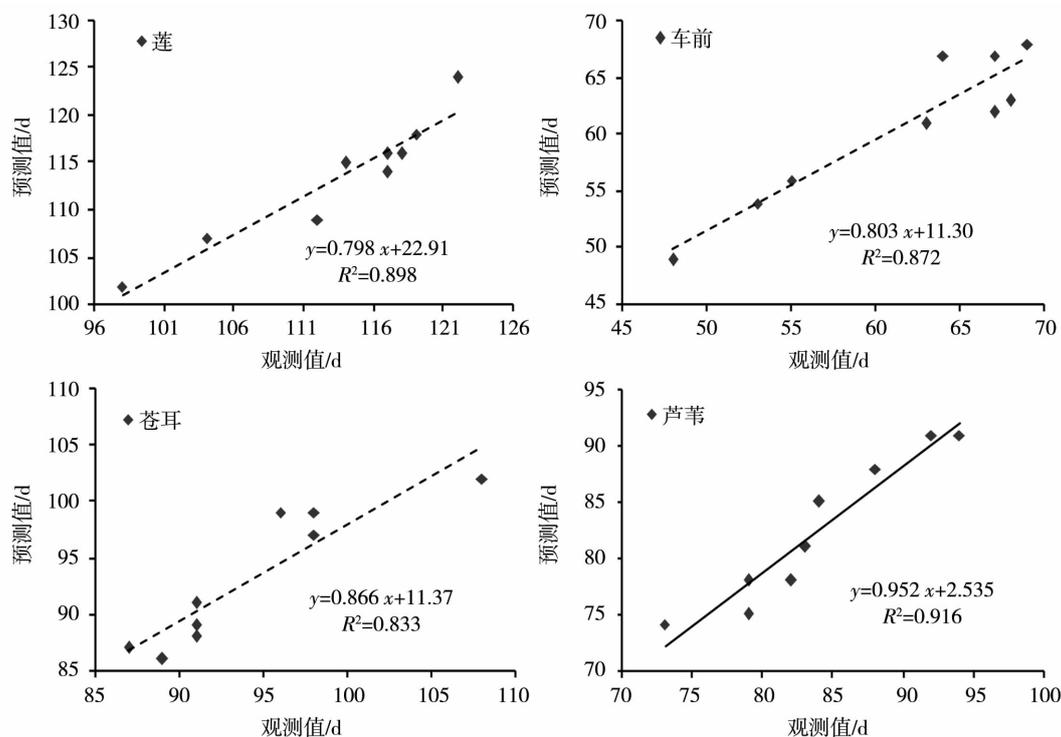


图 3 4 种草本植物的展叶始期模拟效果

Fig. 3 The correlation between the simulated and observed days of the beginning stage of leaf expansion for 4 herbaceous plants

### 2.2.2 开花始期

由表 3 可见,开花期出现较早(4~6 月)的车前和苍耳模拟的积温累积最佳开始日期也较早,均为 2 月 1 日,最佳基础温度为 3 °C;而开花期出现较晚(7~9 月)的莲和芦苇模拟的最佳开始日期也较晚,

均为 4 月 1 日,最佳基础温度分别为 -1 °C 和 2 °C。说明开花期出现早的物种,其积温累积开始日期也较早,反之,开始日期也较晚,同样说明开花前 1~3 个月气温对草本物种的开花影响较大。

由图 4 可见,4 种草本植物的开花始期的模拟

效果均较好,除苍耳外,其它3种植物的预测值和观测值间的相关性系数均在0.93以上,达高度相关,说

明模拟的预测值与实际观测值高度一致,也验证了该模型在预测草本植物开花始期的准确性和适用性。

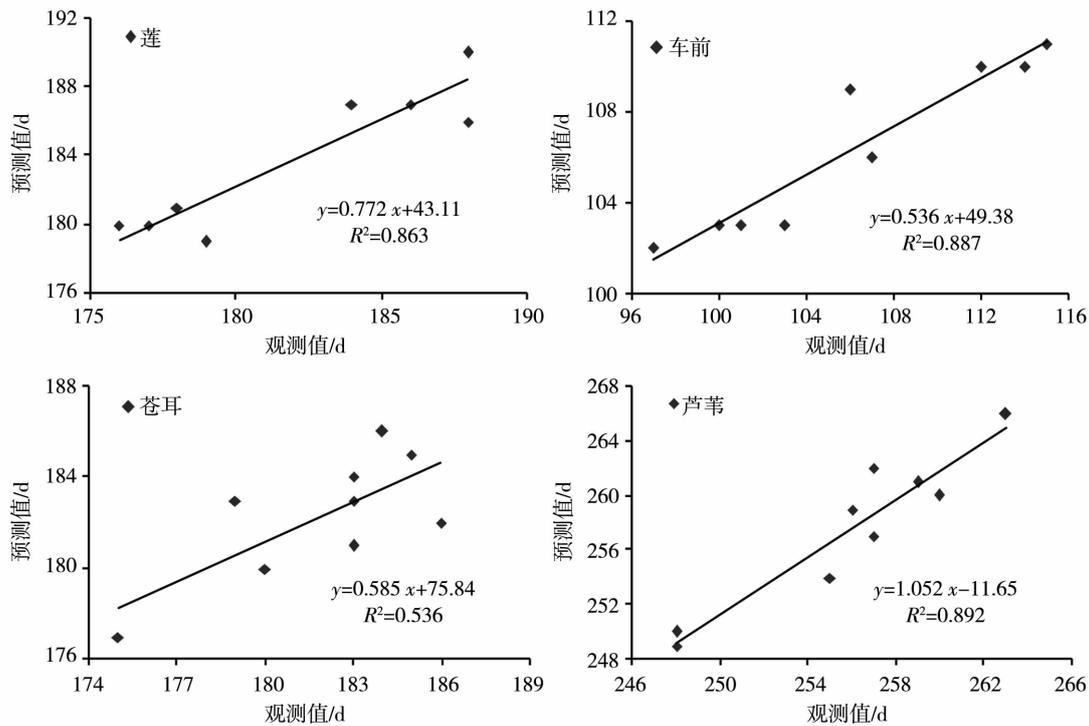


图4 4种草本植物的开花始期模拟效果

Fig. 4 The correlation between the simulated and observed days of the beginning stage of flowering for 4 herbaceous plants

### 3 小结

植物展叶和开花始期的模拟结果与其物候发生的早晚密切相关,展叶和开花期出现早的植物,其积温累积开始的日期也早,反之,开始日期也晚。虽然模拟的参数值在不同物种间存在差异,但无论是木本植物还是草本植物,其展叶和开花始期模拟的参数值存在一定的共性。具体表现为:展叶期出现较早(2~3月)的植物,其展叶始期模拟的积温累积最佳开始日期主要为1月1日,最佳基础温度主要为1℃;展叶期出现(4~5月)较晚的植物,其展叶始期模拟的最佳开始日期主要为2月1日,最佳基础温度主要为1℃。开花期较早(3~4月)的物种,其开花始期模拟的积温累积最佳开始日期主要为2月1日,最佳基础温度为3℃;开花期较晚(5~6月)的物种,其模拟的最佳开始日期为3月1日,最佳基础温度主要为3℃或5℃。可见,物候出现日期与积温累积开始的最佳日期一般相差3个月,说明植物的展叶和开花均受前期1~3个月气温的影响较大,这与李荣平等<sup>[1]</sup>模拟得出的前3个月的气温对芦苇的展叶具有一定影响的结论相一致。

从各物种展叶和开花始期的模拟值和观测值间

的相关性来看,ForcTT模型的模拟效果较好,两者的相关系数普遍在0.90以上,预测值和观测值之间的误差基本控制在2d以内,说明该模型适用于木本和草本植物展叶始期和开花始期的预测。

#### 参考文献:

- [1] 李荣平,周广胜,阎巧玲. 植物物候模型研究[J]. 中国农业气象,2005,26(4):210-214.
- [2] Maak K, Storch H V. Statistical downscaling of monthly mean air temperature to the beginning of flowing of *Galanthus nivalis* L. in Northern Germany [J]. International Journal of Biometeorology, 1997,41:5-12.
- [3] Kramer K. A modeling analysis of the effects of climatic warming on the probability of spring frost damage to tree species in the Netherlands and Genrlany[J]. Plant, Cell and Environment, 1994, 17:367-378.
- [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):402-409.
- [5] 程诗明,顾万春. 苦楝中国分布区的物候区划[J]. 林业科学, 2005,41(3):186-191.
- [6] 冯利平,高亮之,金之庆,等. 小麦发育期动态模拟模型研究[J]. 作物学报, 1997,23(4):418-424.
- [7] 国志兴,张晓宁,王宗明,等. 东北地区植被物候对气候变化的响应[J]. 生态学杂志, 2010,29(3):578-585.
- [8] 范广洲,赖欣,刘雅星. 中国木本植物物候对气温变化的响应

- [J]. 高原山地气象研究,2012,32(2):32-36.
- [9] 李燕,王志伟,张建玲. 气候变暖对山西南部典型植物物候的影响[J]. 中国农业气象,2012,33(2):178-184.
- [10] 赖欣,范广洲,刘雅星. 中国植物物候变化预测[J]. 干旱气象,2011,29(3):269-275.
- [11] 臧海佳,李星玉,李俊,等. 山东地区木本植物春季物候对气候变化的响应[J]. 中国农业气象,2011,32(2):167-173.
- [12] 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):306-310.
- [13] 吴瑞芬,霍治国,曹艳芳,等. 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[J]. 生态学杂志,2009,28(8):1470-1475.
- [14] 范瑛,李小雁,李广泳. 基于遥感数据的内蒙古草原灌丛物候变化研究[J]. 干旱气象,2014,32(6):902-908.
- [15] 李荣平,周广胜,王玉辉,等. 羊草物候特征对气候因子的响应[J]. 生态学杂志,2006,25(3):277-280.
- [16] 韩小梅,申双和. 物候模型研究进展[J]. 生态学杂志,2008,27(1):89-95.
- [17] Hänninen H. Modelling bud dormancy release in trees from cool and temperature regions[J]. Acta Forestalia Fennica,1990,213:1-47.
- [18] Chuine I, Cour P, Rousseau D D. Selecting models to predict the timing of flowering of temperate trees: implications for tree phenology modeling[J]. Plant Cell and Environment,1999,22(1):1-13.
- [19] Cannell M G, Smith R I. Thermal time, chilling days and prediction of budburst in *Picea sitchensis* [J]. Journal of Applied Ecology, 1983,20:951-963.
- [20] Yuan W P, Zhou G S, Wang Y H, et al. Simulating phenological characteristics of two dominant grass species in a semi-arid steppe ecosystem[J]. Ecological Research, 2007,22(5):784-791.
- [21] 李荣平,刘晓梅,周广胜. 盘锦芦苇物候特征及其对气候变化的响应[J]. 气象与环境学报,2006,22(4):30-34.
- [22] 郭玉生. 灰色系统模型在树木物候预报中的应用[J]. 北京林业大学学报,1987,9(1):90-94.
- [23] 鲁小珍,叶镜中,孙多. 带输入项的线性自回归模型在树木物候预测中的应用[J]. 浙江林学院学报,1985,15(2):201-206.

## Simulation of Spring Phenophase of Typical Plants in Southwestern Shandong Province

LI Ruiying<sup>1</sup>, REN Chongyong<sup>1</sup>, CHEN Nan<sup>1</sup>, JIANG Xiaodong<sup>2</sup>

(1. Heze Meteorological Bureau of Shandong Province, Heze 274000, China;  
2. College of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology,  
Jiangsu Key Laboratory of Agricultural Meteorology, Nanjing 210044, China)

**Abstract:** Based on the meteorological and phenological observation data of Heze, Caoxian and Jining agro-meteorological stations in southwestern Shandong Province from 2006 to 2014, the best beginning date of the accumulative temperature and basis temperature during the beginning of leaf expansion and blossoming for 9 woody plants and 4 herbaceous plants were simulated by ForcTT model. Results are as follows: (1) As far as the woody plants be concerned, the best beginning date of the accumulative temperature simulated by ForcTT model during the beginning of leaf expansion was mainly January 1st, and the best basic temperature was 1 °C, while that during the beginning of flowering was different for 9 species, the best beginning date of the accumulative temperature and basic temperature of *Populus tomentosa*, *Salix matsudana* and *Ulmus pumila* with blossom period in March were February 1st and 3 °C, respectively, the best parameters of woody plants with main blossom period from April to June were respectively March 1st and 3-5 °C, and that of *Sophora japonica* with blossom phase in July were April 1st and 4 °C, respectively. (2) Concerning herbaceous plants, the best beginning date of *Plantago asiatica*, *Xanthium sibiricum* and *Phragmites communis* with sprout leaves in February to March was January 1st, the best basic temperature was 1-2 °C, while that of *Nelumbo nucifera* with sprout leaves in April was February 1st and 3 °C, respectively. The best parameters of *Plantago asiatica*, *Xanthium sibiricum* which blossom was earlier (from April to June) were February 1st and 3 °C, respectively, while the best beginning dates of *Lotus* and *Phragmites* which blossom was later (from July to September) were April 1st, and the best basic temperature were -1 °C and 2 °C respectively. (3) The simulated average error during the beginning of leaf expansion and blossom were about 2 days. Therefore, the effects of the beginning of leaf expansion and blossom for the woody plants and herbaceous plants simulated by ForcTT model were all well, the correlation coefficients between the predicted value and observed value were above 0.90, which reached high correlation.

**Key words:** phenophase; simulation; ForcTT model; southwestern Shandong Province