树木花期预报的花芽形态测量法研究 ——以大山樱花期预报为例

张明庆¹ 杨国栋¹ 许晓波²

(¹ 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100037) (² 北京玉渊潭公园, 北京 100038)

摘要 树木花期预报在林果、养蜂、园林和旅游业等方面有很大的实用价值。该文以大山樱(*Prunus sargentii*)为例, 探讨通过花芽形态测量进行花期预报的新方法。通过 1998 ~ 2000 年对北京玉渊潭公园大山樱进行的数据采集和处理, 建立了线性和指数两种预报模型。2002 年的试报检验表明, 采用 3 株的观测数据, 并利用 3 日滑动平均的方法, 对观测数据进行处理后所作的预报, 误差在 3 d 以内的预报达 80% 以上; 2003 年连续测报的平均误差, 模型 1 为 1.6 d, 模型 2 为 2.1 d。这一树木花期预报的物候学新方法, 简便易行、建模周期短、预报精度高, 在春季芽膨大后, 直至露瓣期之前, 可以逐日连续发布预报。

关键词 花期预报 形态测量法 大山樱 北京 物候

THE USE OF FLOWER BUD MEASUREMENTS FOR FORECASTING FLORESCENCE IN *PRUNUS SARGENTII*

ZHANG Ming-Qing¹ YANG Guo-Dong¹ and XU Xiao-Bo²

(¹ College of Resources Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100037, China)

(² Beijing Yuyuantan Park, Beijing 100038, China)

Abstract The ability to forecast the timing of florescence in trees is valuable for fruit trees, beekeeping, gardens and tourism. In this paper, measurements of bud morphometry (length and width) of *Prunus sargentii* were taken when its buds were beginning to expand at Yuyuantan Park in Beijing from 1998 to 2000.

Our results showed that linear and exponential equations could adequately forecast the timing of bud florescence. A three-day running mean method measured on three trees was used in the forecast model. The forecast accuracy within 3 days in 2002 was more than 80% of florescence, and the forecast in 2003 was more precise, from 1.6 to 2.1 days.

It was found that this new method is a convenient and precise method for forecasting florescence of plants having bigger buds in winter. A primary forecasting model could be developed by amending and perfecting this method by, for example, measuring several trees in a year. Additionally, the method can be applied to forecasting the first day of leaf out.

Key words Florescence forecast, Flower bud measurement, *Prunus sargentii*, Beijing, Phenology

果树何时开花, 关系着适时进行果树的花期管理, 从而不违农时; 观花乔灌木何时开放, 关系着游赏观光活动的安排, 以免错过良机; 在卫生保健方面, 则关心致敏花粉何时飞散, 以便及时予以防治。所有这些, 都需要借助于花期预报。本文通过大山樱(*Prunus sargentii*)对树木花期预报进行了新的探讨。从而提供了一种简便易行, 通过花芽形态测量, 进行树木花期预报的物候学新方法, 其具体结果已运用于北京地区春季赏樱活动的预报实践。此外, 这一研究成果, 对丰富和改进一般树木花期预报手

段, 也具有方法论的意义。

1 花期测报方法探索的新思路

对于树木花期的预报, 长期以来主要依据气象因子, 特别是气温资料, 建立数学模型, 进行预报(Tsuboi Yaponi, 1985), 及至现在, 仍然遵循这一思路进行树木花期预报的研究(魏秀兰等, 2001; 张翠英等, 2001; 张秀英和胡东燕, 1995)。采用这种方法, 需要有多数花期与气象因子的平行观测资料。此外, 国内有人根据物候现象发生的顺序相关性原理,

利用前期发生的物候现象,对后期树木花期进行测报(任宪威等,1983;杨国栋,1991,1994;竺可桢和宛敏渭,1980)。采用这种方法,需要以多年的系统物候观测资料为基础。

本文采取花芽形态测量法,获取数据,建立花期预报模型,是基于“一个种在一定地区繁衍并扩展它的范围,它必须能够调整其生活周期使和它的环境中的周期现象取得协调”的生态学原理(Larcher,1980)。在整个树木的年生活周期中,某一时间——本文所采用的时间单位为“天”——树木花芽生长发育的状况,必然反映了此前光、热、水、土、气等诸生态因子对它作用的积累性综合,而春季花芽萌动之后,花芽在某一时间生长发育的状况,也必然影响到此后花期的早晚。在日本,有人曾通过测量芽重并建立指数模型,进行樱花花期预报(Mihara Yashiaki,1984)。但是,称量芽重会对测报对象造成损坏。在芽的生长发育过程中,芽的重量必然与其形态大小的变化存在某种相关性。因此,我们探索直接在树体上测量花芽长轴与短轴的增长状况,建立花期预报模型的新方法,这样就可以在不损坏测报对象的条件下,依据其自身的变化,连续多次发布预报。

2 研究材料的背景及观测数据的采集与处理

本文的研究材料为大山樱,取自北京玉渊潭公园的樱花园。这里的大山樱是在中日恢复邦交时,当时的日本首相田中角荣向我国赠送的礼品树。此后玉渊潭公园进行了成功的繁殖,至今已有 30 多年的历史了。大山樱花期较早,花色粉红,开时绚烂,落时缤纷,极具观赏价值。但它的花期较短,全园不过 6.7 天,最佳观赏期就更短,转眼之间就绿沃红消了。所以,历年来,每闻大山樱花信,总是吸引大量游人前来观赏,正在形成仲春赏樱的新民俗。这也激发我们从原来采用榆树、山桃等始花期对大山樱进行一次性预报(杨国栋,1991),进而探讨依据大山樱花芽生长情况,做连续预报的新方法,以便将预报做得更好。

选择长势较好的几株大山樱,进行定株定人的观测。测量方法采用目视投影法,即在选定植株上,将随机选择的花芽贴置在坐标纸上,观测其最大宽度(短轴),最大长度(长轴),以 mm 为单位,估测到小数点后一位。每次观测必须记录观测日期,并在备注栏中对当日的有关物候现象予以简要的描述,以备日后综合分析工作中参考。

在实际观测中发现,芽长轴基部的起始点不好确定,容易发生观测误差,从而造成观测数据波动较大;而芽的短轴,则易于判定,读取数据较为准确。因此,以观测芽短轴的数据来建模,长轴的观测仅作为研究的参照。

早春大山樱花芽开始膨大时即开始观测。1998~2000 年之间,观测植株依次为 6、5 和 5 株。每次在观测植株的南侧向阳枝条上随机测量 10 枚发育正常的花芽长、短轴,并及时填写在观测记录表中。起初每隔 2~3 d 观测 1 次,随着花芽的增大和花期的临近,隔天以致每天观测 1 次。测量一直延续到芽开放、花蕾将分离的那一天为止。3 年来,共测花芽 1 420 枚。最重要的是,每年必须准确记录观测植株的始花日期,否则,前期花芽测量数据将失去建模的可能。

每次观测后分别计算每株 10 枚花芽长、短轴的均值,取小数点后两位,一起填入记录表中。待全部观测结束后,计算每次观测日期与始花日期之间相距的天数,这样每一距始花日期的天数即对应着一株观测对象 10 枚花芽长、短轴的平均值。

将 1998~2000 年各株芽短轴的数据,按照距始花日期天数的多少进行排序,然后对距始花日期天数相同的各株观测数据进行平均,这样做的目的,是为了减小由于观测和株间以及年度间自然和人为原因产生的随机性误差和波动,从而得到更具代表性的短轴大小和距始花天数相对应的数据。为了反映芽连续生长的情况,对短轴的数据进行 3 日滑动平均处理,可以更好地反映其生长的趋势性变化,于是便形成了距始花天数(Y_i)与相应于这一天的芽短轴 3 日滑动平均值(X_i)的变量对,这个变量对即是本文进行统计分析研究的样本(表 1)。

3 预报模型的建立

依据表 1 花芽短轴和距始花天数组成的变量对数据,在直角坐标中绘制散点图。由此可以发现, X_i 与 Y_i 之间具有良好的相关趋势,于是进一步对它们进行相关、回归分析,并建立预报模型。不论线性模型,还是指数曲线模型,其相关系数均通过了 $\alpha = 0.001$ 的显著性检验($n = 25$),这说明预报模型的建立具有统计学意义。因此,可以将这两个回归方程,作为大山樱始花日期的测报工具。

$$\begin{aligned} \hat{Y}_i &= -12.631X_i + 63.843 \\ r &= -0.922 \end{aligned} \tag{1}$$

表 1 滑动平均处理后的花芽短轴(X_i)与距始花天数(Y_i)(北京:1998~2000 年 玉渊潭公园)
Table 1 The relationship between the short axes (Y_i) of the sprout and the days (X_i) before the first flowering day forecasted by the method of 3-day running mean (Yuyuantan Park, Beijing, 1998–2000)

Y_i (d)	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16
X_i (mm)	3.39	3.34	3.21	3.21	3.36	3.41	3.28	3.18	3.26	3.48	3.61	3.66	3.62
Y_i (d)	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	
X_i (mm)	3.72	3.71	3.83	3.97	3.98	4.20	4.03	4.34	4.29	4.72	4.88	5.03	

$\hat{Y}_i = 646.71e^{-1.0106X_i}$ (2)
 $r = -0.9767$
 Y_i 预报对象的当年预测值, X_i 预报因子的当年观测值。

负相关系数表示随着距始花日期的临近,花芽越长越大,即在数值变化上,前者(Y_i)变小的同时,后者(X_i)增大。(图 1)

由两种预报模型的对比可知,指数模型的相关系数较大。这反映出春季大山樱花芽的生长有一个相对加速的生长期,同时也反映了这一时期北京地区气温回升的特点。因此,指数模型较直线模型能够更好反映这一生态过程。

图 1 大山樱花芽短轴 X_i 与距始花天数 Y_i 的散点分布及其拟合直线与指数曲线
Fig.1 The linear and exponential relationship between the short axes (X_i) of sprout and the days before the first flowering day (Y_i)

4 以不同株数采集预报因子的试报检验

为了检验测报模型,并考察以不同株数采集数据作为预报因子的预报效果,我们在 2002 年分别以 1、2 和 3 株的芽短轴观测数据的 3 日滑动平均值,作为预报因子(X_i)代入上述两种模型,进行全园始花日期的预报效果检验。从物候观测规范和观赏需要考虑,全园始花日期的判定标准是开始有大于或等于 10% 的植株达到始花期的那一天。

为了从整体上比较以不同株数采集预报因子的试报效果,本文采用分级加权百分数计分评判法,进

行了预报准确性评定(杨国栋,1994)。这一评判法,首先,依据每一次预报误差的绝对值分级,即:

- $|Y_i - \hat{Y}_i| \leq 1$ d 为Ⅰ级
- $1 d < |Y_i - \hat{Y}_i| \leq 3$ d 为Ⅱ级
- $3 d < |Y_i - \hat{Y}_i| \leq 5$ d 为Ⅲ级
- $|Y_i - \hat{Y}_i| > 5$ d 为Ⅳ级。

然后,统计各级预报的次数,并计算它们在一个预报序列中各自所占的百分率。再后,按照Ⅰ级得 4 分,Ⅱ级得 3 分,Ⅲ级得 2 分,Ⅳ级得 1 分的权重计算各级得分。最后,将每一个预报序列中的各级得分加和在一起,并计算其满分率。所谓满分率,就是按照本评判方法,如果预报结果都属于Ⅰ级,即 100% 的预报误差绝对值均 ≤ 1 d,其得分应是满分 400 分,显然这是不可能的,所以实际预报得分与满分的百分比即是满分率,以此来比较不同预报模型和不同样本数量情况下的整体预报优劣。表 2 是按照这一评判法,对不同株数采集预报因子和两种模型试报的检验结果。

由表 2 的试报检验结果可知,试报的满分率都在 60% 以上,平均误差在 4 d 以内,总体效果良好。但利用 1、2 或 3 株采集的数据作为预报因子进行预报的效果有较大的差异。首先,从满分率来看,2 和 3 株的预报满分率都在 75% 以上,以至超过 85%;而 1 株预报的满分率都在 70% 以下。其次,从误差的等级分布来看,2 和 3 株的预报结果达Ⅰ、Ⅱ级水平的百分率之和都在 78.5% 以上,Ⅳ级的预报结果在 10% 以下;而 1 株预报结果达Ⅰ、Ⅱ级水平的百分率在 60% 以下,预报结果为Ⅳ级可达 12.9% ~ 23.5%。第三,从平均误差来看,3 株预报的平均误差值在 2 d 以内,而 1 株的平均误差为 3 ~ 4 d,2 株的平均误差居中为 2 ~ 3 d。可见,作为预报因子,以参与采集的株数越多,其预报效果越好。但参与预报的株数越多,观测工作量越大,从试报检验的结果来看,选择 2 ~ 3 株就可以达到较高的预报精度。在预报实践中,两种预报模型可以同时使用,测报结果相互参照,以提高预报水平。

5 预报示例

2003 年春大山樱花芽膨大后,于 3 月 14 日开始对长势良好的 3 株大山樱,每天在每株的南侧随机测量 10 枚花芽,得到共计 30 个花芽短轴数据,其平均值列如表 3。从第三天起,计算 3 日滑动平均值。所谓 3 日滑动平均,就是将连续观测 3 d 的数据进行平均,然后逐日向后推移,如 3 月 14 ~ 16 日为

3.99 mm,将计算结果记在 3 月 15 日,依此类推得到 3 月 16 ~ 28 日芽短轴的滑动平均值(X_t),用此滑动平均值逐日代入两种预报方程,分别得到当日距始花日的理论天数。例如将 3 月 15 日的滑动平均值,3.99 mm 代入模型 1 和模型 2,经换算分别得到预报日期为 3 月 29 日和 3 月 27 日。该年实际始花日为 4 月 2 日,误差分别为 4 和 6 d。用同样的方法,计算得到 3 月 16 ~ 28 日的预测结果如表 3。

表 2 不同株数采集预报因子的试报效果检验(北京:玉渊潭公园 2002 年)
Table 2 Forecast results of different numbers of plants (Yuyuantan Park, Beijing, 2002)

级别 Grade	1 株(模型 1) 1 Plant (Model 1)		1 株(模型 2) 1 Plant (Model 2)		2 株(模型 1) 2 Plants (Model 1)		2 株(模型 2) 2 Plants (Model 2)		3 株(模型 1) 3 Plants (Model 1)		3 株(模型 2) 3 Plants (Model 2)	
	百分比 Percent (%)	得分 Score	百分比 Percent (%)	得分 Score	百分比 Percent (%)	得分 Score	百分比 Percent (%)	得分 Score	百分比 Percent (%)	得分 Score	百分比 Percent (%)	得分 Score
I	18.8	75.3	22.4	89.4	33.3	133.3	35.7	142.8	62.5	250.0	43.8	175.0
II	30.6	91.8	37.6	112.9	45.2	135.6	57.1	171.4	25.0	75.0	43.8	131.3
III	27.1	54.1	27.1	54.1	11.9	23.8	7.1	14.3	6.3	12.6	12.5	25.0
IV	23.5	23.5	12.9	12.9	9.5	9.5	0.0	0.0	6.3	6.3	0.0	0.0
合计 Total	100.0	244.7	100.0	269.3	99.9	302.2	99.9	328.5	100.1	343.9	100.1	331.3
满分率 Rate of full mark (%)	64.2		67.3		75.6		80.1		85.9		82.8	
平均误差 Average error (d)	3.9		3.0		2.5		1.9		1.8		1.8	
检验次数 Times of checkout	85		85		42		42		16		16	

表 3 2003 年大山樱花芽观测及其花期预报记录表(北京:玉渊潭公园)
Table 3 The observed short axes of the *Prunus sargentii* and the corresponding forecast results in 2003 (Yuyuantan Park, Beijing)

日期(月.日) Date(m.d)		3.14	3.15	3.16	3.17	3.18	3.19	3.20	3.21
短轴 Short axes (mm)		4.05	3.97	3.96	4.07	4.22	4.03	4.07	4.18
3 日滑动平均 3-day running mean (mm)			3.99	4.00	4.08	4.11	4.11	4.09	4.14
实测始花日期(月.日) Florescence (m.d)		4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2
模型 1 Model 1	预报结果(月.日) Forecast results(m.d)		3.29	3.30	3.30	3.30	3.31	4.2	4.2
	误差 Errors (d)		4	3	3	3	2	0	0
模型 2 Model 2	预报结果(月.日) Forecast results (m.d)		3.27	3.28	3.28	3.29	3.30	3.31	3.31
	误差 Errors (d)		6	5	5	4	3	2	2
日期(月.日) Date (m.d)		3.22	3.23	3.24	3.25	3.26	3.27	3.28	3.29
短轴 Short axes (mm)		4.16	4.12	4.51	4.31	4.65	4.49	4.77	5.73
3 日滑动平均 3-day running mean (mm)		4.15	4.26	4.31	4.49	4.48	4.63	5.00	
实测始花日期(月.日) Florescence (m.d)		4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	
模型 1 Model 1	预报结果(月.日) Forecast results(m.d)	4.4	4.2	4.3	4.2	4.3	4.2	3.29	
	误差 Errors (d)	-2	0	-1	0	-1	0	+4	
模型 2 Model 2	预报结果(月.日) Forecast results (m.d)	4.1	4.1	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	
	误差 Errors (d)	1	1	0	0	0	0	0	

6 余 论

本文提出的依据花芽短轴测量数据,进行花期预报的物候学新方法,与以往依据生态条件(主要是气温)进行花期预报,或在不同树木花期之间进行预报,都需要多年的观测数据才能够建模相比,具有建模周期短的特点,这样可以大大地减小研究开发的周期。依据我们对山桃(*Prunus davidiana*)、蜡梅(*Chimonanthus praecox*)、玉兰(*Magnolia denudata*)等花木,核桃(*Juglans regia*)等果木,毛白杨(*Populus tomentosa*)、洋白蜡(*Fraxinus pennsylvanica* var. *subintegerrima*)、泡桐(*Paulownia tomentosa*)等常见绿化用林木的初步研究,只要有一年比较系统的观测,即可在统计上通过相关检验,这就是说可以据此建立数学模型,投入试用,进行花期预报。此后在逐年的测报实践中,对初建模型进行修订完善。

直接在树体上进行花芽长、短轴的测量,不会损坏研究对象,方法简便易行。依据花芽春季萌动后连续生长不断增大的特点,可以逐日观测,连续发布预报。

总之,本方法对于越冬芽较大的各种乔灌木,无论是花木、果木,还是林木作花期预报,都有可能适用。推而广之,对于需要预先知道其展叶期,以服务于养蚕、采茶或者观叶的树木来说,这一方法也可用于对其展叶期测报的研究和生产实践。

参 考 文 献

Tsuboi Yaponi (Translated by Hou HS (侯宏森), Qi LF (齐来福), Wang MX (王茂新), Shi GN (史国宁), Zhang JS (张菊生), Shen DF (沈德福)) (1985). *New Handbook on Agricultural Meteorology* (in Japanese). China Agriculture Press, Beijing,

317 – 318. (in Chinese).
Ren XW(任宪威), Liu XZ(刘秀珍), Li Z(李珍) (1983). A study on phenology of woody plants in Beijing. *Journal of Beijing Forestry College* (北京林学院学报), 5(1), 1 – 13. (in Chinese with English abstract)
Mihara Yashiaki (Translated by Xiang S (项硕), Huang JL(黄俊来), Rong DZ (荣德珍)) (1984). *Practical Agricultural Meteorology* (in Japanese). Guangxi People's Press, Nanning, 26. (in Chinese)
Wei XL(魏秀兰), Kong FZ(孔凡中), Zhang ZH(张宗灏), Zhang CY(张翠英) (2001). Long time forecasting of flowering time of *Paeonia suffruticosa* in Heze. *Meteorology* (气象), 27(6), 55 – 57. (in Chinese with English abstract)
Larcher W (Translated by Li B (李博)) (1980). *Physiological Plant Ecology* (in German). Science Press, Beijing, 275. (in Chinese)
Yang GD(杨国栋) (1991). Forecasting-flowering-time models in forestry of oriental cherry and peach blossom in Beijing. In: Yang SZ(杨树珍) ed. *Research of Economic Development and Composition in Beijing Area* (首都地区经济发展与布局研究). China Workers Press, Beijing, 262 – 268.
Yang GD(杨国栋) (1994). Research of the very phonological regression model for seasonal forecasting. *Journal of Capital Normal University* (首都师范大学学报), 15(4), 79 – 84. (in Chinese with English abstract)
Zhang CY(张翠英), Liu LF (刘了凡), Fan JH (樊景豪) (2001). Research of the forecasting blooming time model of *Robinia pseudoacacia* L. *ShanDong Meteorology* (山东气象), 21(3), 30 – 31. (in Chinese with English abstract)
Zhang XY(张秀英), Hu DY (胡东燕) (1995). Prediction of peach-blossom flowering phase. *Journal of Beijing Forestry University* (Natural Science Edition) (北京林业大学学报(自然科学版)), 17(4), 88 – 93. (in Chinese with English abstract)
Zhu KZ (竺可桢), Wan MW(宛敏渭) (1980). *Phenology* (物候学). Science Press, Beijing, 80. (in Chinese)

责任编辑: 陈效速 责任编辑: 刘丽娟