

尹志聪,袁东敏,丁德平,等. 2014. 香山红叶变色日气象统计预测方法研究. 气象,40(2):229-233.

香山红叶变色日气象统计预测方法研究^{*}

尹志聪^{1,3} 袁东敏² 丁德平¹ 谢 庄¹

1 北京市气象局,北京 100089

2 中国气象局气象影视中心,北京 100081

3 中国科学院大气物理研究所,北京 100029

提 要: 采用香山公园逐日黄栌树叶变色率以及相应的气象资料研究了黄栌树叶变色的气象条件,并建立了香山红叶变色日的气象统计预测模型。(1)黄栌树叶变色与临近几天的温度变化关系非常密切,根据气象条件阈值回报变色日的可信度比较高。(2)黄栌树叶平均变色日是 10 月 4—5 日,最早为 9 月 27 日,最晚为 10 月 13 日。(3)黄栌树叶变色日与 7 月的最低气温、平均气温和最高气温均存在显著的负相关。值得注意的是,黄栌树叶变色日的年际增量与 7 月降水的年际增量之间存在显著的正相关。(4)选择 7 月的平均温度和最高温度的年际增量作为预报因子建立模型,1999—2010 年回报的平均误差为 3 d 左右。(5)通过 2011 年独立样本检验和 2012 年预报试验的结果,可以认为香山红叶变色日气象统计模型具有比较高的准确率和可操作性。

关键词: 香山红叶, 变色, 温度, 预测模型

中图分类号: P456

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2014.02.011

Statistical Prediction Based on Meteorology of *Cotinus Coggygia* Leaves Discoloration-Day in the Fragrant Hill

YIN Zhicong^{1,3} YUAN Dongmin² DING Deping¹ XIE Zhuang¹

1 Beijing Meteorological Service, Beijing 100089

2 CMA Audio and Video Centre, Beijing 100081

3 Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

Abstract: Based on daily discoloration percentage and meteorological datasets, the meteorological conditions of *cotinus coggygia* leaves discoloration (CCLD) are studied and the staticstical prediction model is built. The results are as follows: (1) CCLD has a close relationship with temperature variation in the near several days, and the reliability of CCLD-Day forecast by meteorological threshold is high. (2) The mean CCLD-Day is between October 4 and 5, the earliest CCLD-Day is September 27, and the latest one is October 13. (3) There is significant negative correlation between CCLD-Day and the mean temperature (also minimum temperature and maximum temperature) in July. It should be noticed that the annual increment of CCLD-Day has significant positive correlation with that of precipitation in July. (4) Choosing the annual increment of mean and maximum temperature in July as predictors, the statistical prediction model based on meteorology is built, and the mean error is around 3 days. (5) According to the 2011 independent sample verification and the 2012 forecast experiment, the prediction model of CCLD-Day is proved to be usable.

Key words: *cotinus coggygia* leaves, discoloration, temperature, prediction model

* 北京市自然科学基金(8112028)和北京市优秀人才培养共同资助

2012 年 12 月 22 日收稿; 2013 年 9 月 23 日收修定稿

第一作者:尹志聪,主要从事气候预测及城市气象方面的研究. Email:yinzhc@163.com

引 言

北京市的旅游资源极为丰富,一年四季都有不少好去处,尤其是秋天的北京最具特色。香山是北京秋季旅游不可错过的景点,其红叶驰名中外,是我国四大赏枫胜地之一,也是“新北京十六景”之一。香山红叶主要有 8 个科涉及 14 个树种,总株数达 14 万株,其中黄栌有 10 万余株,是香山公园红叶的主体树种。黄栌树叶大概从 10 月上旬开始慢慢变红,观赏期一直持续到 11 月上旬甚至中旬,能为公园及周边地区带来可观的经济收益(刘杰等,2010;姚秀萍等,2011)。葛雨萱等(2011)研究指出:黄栌叶片绿色褪去、红色显现的主要原因是叶绿素含量迅速下降以及花青素含量急速上升,发生过程比较迅速。

根据物候学理论,前期气象条件如光、温、水等对植物物候早晚有重要影响(刘建栋等,2002;刘玲等,2006;竺可桢等,1973),其中气温是影响中国木本植物物候的主要因子,海拔高度以及地形地貌因可影响温度高低有时也被作为影响因子。陈正洪等(2008)的研究指出前期 2 月、冬季平均气温每升高 1°C ,武汉的樱花始花期分别提前 1.66 和 2.86 d。黄栌的生长发育及叶片变色与气象条件也存在密切的关系。在春夏季节,由于温度适宜,黄栌的树叶光合作用强烈,叶绿素掩盖着花青素,因此呈现出一片绿色。一到深秋,树叶受到低温霜冻的侵袭,叶绿素被破坏,叶子里的水分减少了,不能及时运输的淀粉变成了葡萄糖,糖分就逐渐转化为花青素,于是绿叶变成了红叶。周肖红等(2009)曾进行科学试验,发现在昼/夜温度为 $17/9^{\circ}\text{C}$ 循环一周的条件下,黄栌的嫩叶和成熟叶都可以积累高浓度的花青素,从而呈现红色。

以前对香山红叶变色日(CCLD-Day)气象条件的研究多是经验总结(赵颖彦,2011),缺乏利用物候观测资料的科学分析和验证,得到的阈值标准也不统一。本文将以黄栌树叶为代表,分析香山红叶变色日的基本特征,找出影响变色早晚的气象条件阈值和关键气候因子,并建立香山红叶变色日的气象统计预测模型。

1 资料及方法

本文采用的物候资料为香山公园红叶物候观测

组监测的逐日黄栌树叶变色率,设定全园变色率达到 $5\%\sim 10\%$ 的日期为红叶变色日。资料年份为 1998、1999、2000、2004、2005、2006、2009、2010、2011 和 2012 年(Phenological Observation Data, POD-10)。方法及机理研究主要使用前 9 年监测数据,其中前 8 年数据(POD-8)用作诊断分析,2011 年的监测数据作为独立样本进行验证,而 2012 年用作个例预报试验。

根据海拔高度和到香山的距离,本文选用昌平和门头沟气象站的逐日观测平均值作为代表,资料年份为 1998—2012 年,要素包括最高气温、最低气温、平均气温和降水量等(杨萍等,2011)。本文所采用的方法包括相关分析和回归分析等。

2 黄栌树叶变色的气象条件阈值

曾有人根据经验总结出香山红叶变色的阈值条件(赵颖彦,2011),但缺乏科学验证和统一标准。图 1 给出了黄栌树叶(POD-8)变色前 10 d 最低气温、气温日较差和平均气温的变化曲线,可以发现红叶变色前各温度要素变化非常明显,且离散度非常小,表现出一致的趋势。由此可以得出,黄栌树叶变色的气象条件阈值:(1)最低气温(T_{\min})低于 14°C ; (2)气温日较差(DT)大于 10°C ; (3)日平均气温(T_{mean})在 $13\sim 20^{\circ}\text{C}$;此 3 项条件保持 3 d,第 4 d 为红叶变色日。

通过分析,可以发现黄栌树叶变色与临近几天的温度变化关系非常密切,而与前期的累积效应关系不大。黄栌树叶变色前,最低气温和平均气温显著降低,气温日较差明显增大,并保持 3 d 以上。当气温迅速下降到一定程度,且夜间的温度比白天下降很多时,树叶还没有凋落,叶绿素已大部被破坏。同时,昼夜温差增大到 10°C 以上,平均气温保持在 $13\sim 20^{\circ}\text{C}$ 之间,有助于花青素的形成,因此叶子很快变红(葛雨萱等,2011)。如果气温下降很慢,而且昼夜温差不大,叶绿素还没有被破坏而树叶已经枯萎,那就变不成红叶了。同样,如果最低气温或平均气温下降得过低,花青素的形成将会受到影响,也会不利于红叶的形成。

为检验香山黄栌树叶变色的气象条件阈值的准确性,采用逐日气象数据对香山黄栌树叶(POD-9)变色日进行回报,其中 2011 年为预测效果检验的独立样本,结果如表 1 所示。1998、2000、2005 和 2006

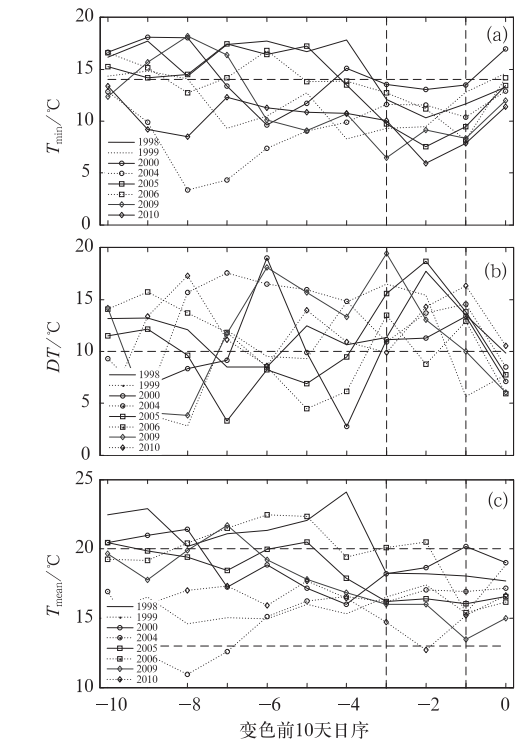


图1 香山黄栌树叶(POD-8)变色前 10 d 的最低气温(a)、气温日较差(b)和日平均气温(c) (横坐标 0 代表树叶变色日,横虚线代表各阈值条件)

Fig.1 The minimum temperature (a), diurnal temperature range (b) and daily mean temperature (c) of the 10 days before CCLD (The “0” on x axis denotes CCLD-Day, and horizontal dashed lines denote threshold)

年回报结果与观测数据完全吻合,其他几年的误差在 1~4 d,2011 年作为独立样本的预测误差为 1 d。总体来看,采用 3 个气象阈值条件回报的香山红叶变色日 9 年平均绝对误差为 1.22 d,回报结果比较理想,阈值条件可信度比较高。

3 黄栌树叶变色日的基本特征

香山黄栌树叶变色的物候监测资料非常珍贵,也非常缺乏,POD-9 资料并不连续,中间有 5 年空白,不利于气象统计预测模型的建立。为得到连续的黄栌树叶变色日,采用气象条件阈值对物候资料进行插补。即根据 3 个气象阈值条件共同约束的指标,得到空白年份的黄栌树叶变色日。从表 1 对已有资料年份的回报误差统计效果看,插补方法是可信的,误差在可接受范围内。插补结果如图 2 所示,得到 1998—2011 年共 14 年连续的黄栌树叶变色日 (Phenological Interpolation Data, PID-14)。对 PID-14 序列进行自相关检验(图略),发现 PID-14 序列在延迟 1 年之后,自相关便不再显著,为典型的非自相关序列。

黄栌树叶平均变色日的日序数是 277.36,对应的日期是 10 月 4—5 日。最早的红叶变色日是 9 月 27 日(1999 年),在 9 月变色的还有 2001 年。其他年份的红叶变色日均出现在 10 月,最晚红叶变色日

表 1 香山黄栌树叶(POD-9)变色日回报结果

Table 1 Forecast results used former data of CCLD-day (POD-9)

	1998	1999	2000	2004	2005	2006	2009	2010	2011	平均绝对误差
误差/d	0	-1	0	-4	0	0	-3	-2	+1	1.22

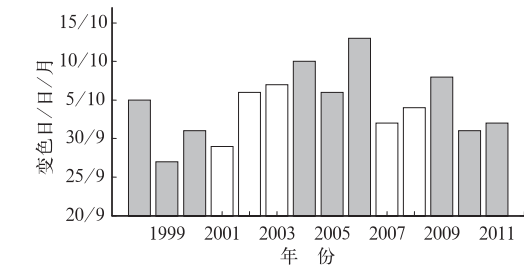


图2 香山黄栌树叶变色日 (空心为插补资料)

Fig.2 The CCLD-days from 1998 to 2011 (Hollow bars are interpolation data)

叶变色日以 2006 年为界,存在先延迟后提前的趋势。

4 黄栌变色日与月尺度气象条件的相关性

为分析黄栌变色早晚与前期月尺度气象要素之间的关系,表 2 给出了变色日与前期气象要素的相关系数。从中可发现树叶变色日与 7 月的各温度要素均存在显著的负相关,与最低气温、平均气温和最高气温的相关系数均通过 0.01 的显著性水平检验。由此可以认为前期 7 月的最高温度和平均气温越

为 10 月 13 日(2006 年)。从变化趋势上看,黄栌树

高,当年黄栌树叶变色越早。

与基本量的相关性不同,黄栌树叶变色日的年际增量与 7 月降水的年际增量之间存在显著的正相关(表 3),相关系数通过 0.01 的显著性水平检验,当 7 月降雨较去年多时,红叶变色期较去年偏晚。充沛的降雨非常有利于树叶的生长和叶绿素的生成,所以导致叶绿素被破坏,叶片绿色褪去所需要的时间相对较长。同时,黄栌树叶变色日的年际增量与平均气温和最高气温之间依然保持显著的负相关性,但是与气温日较差之间有显著的正相关。

表 2 红叶变色日与前期 6—9 月气象要素的相关系数
Table 2 Correlation coefficients between CCLD-day (PID-14) and meteorological condition from June to September

	最低气温	平均气温	最高气温	日较差	降雨量
6 月	-0.35	-0.23	-0.12	0.01	0.174
7 月	-0.62**	-0.70**	-0.70**	-0.42	0.31
8 月	0.15	-0.21	-0.27	-0.44	-0.26
9 月	-0.25	-0.07	0.13	0.29	-0.07

注:PID-14,**通过 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验。

表 3 红叶变色日年际增量与前期 6—9 月气象要素年际增量的相关系数
Table 3 Correlation coefficient between annual increment of CCLD-day (PID-14) and that of meteorological condition from June to September

	最低气温	平均气温	最高气温	日较差	降雨量
6 月	-0.32	-0.06	0.05	0.17	0.29
7 月	-0.35	-0.55*	-0.64*	0.66**	0.65**
8 月	0.17	-0.30	-0.45*	0.62*	-0.31
9 月	-0.48	-0.06	0.33	0.53	-0.33

注:PID-14,*通过 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验,**通过 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验。

5 香山红叶变色日气象统计预测模型

5.1 短期气候预测

年际增量在进行短期气候预测时具有放大对象预测信号的优势(范可等,2007;2008)。黄栌树叶变色日基本量及其年际增量的方差分别为 19.2 和 33.2,变换为年际增量后,信号被放大了 70%以上。根据以上分析,在进行短期气候预测时,以变色日的年际增量为预测对象。经过多次预报试验,选择 7 月平均温度和最高温度的年际增量作为预报因子,建立回归预测模型(张德山等,2010)如下:

$$Y = 0.01 + 6.8320 \times \Delta T_{\text{mean}} - 8.4392 \times \Delta T_{\text{max}} \tag{1}$$

图 3 给出了回报与 PID-14 两条曲线,相关系数

达到 0.73,通过 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验,1999—2010 年回报的平均误差为 3 d 左右,2011 年作为独立样本的预报变色日序为 275.75,与实际的变色日(日序:275)非常接近。由此可以认为香山红叶变色日短期气候预测模型预测结果可信,模型具有一定的实用价值。

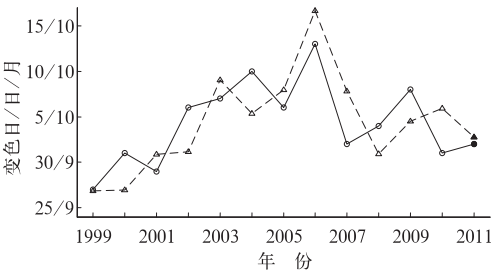


图 3 1999—2011 年回报的变色日(虚线)及 PID-14(实线)变色日

Fig. 3 Forecast results used former data of CCLD-day (dashed line) and PID-14 series (solid line) from 1999 to 2011

5.2 中期预报

根据短期气候预测的结果,划定进行中期预报的时间段,一般应该比短期气候预测值提前 15 d 开始根据气象条件阈值进行中期预报。温度条件可来自于 BJ-RUC 精细化数值预报和北京市气象台每天发布的未来 7 d 天气预报,也可以是两者的综合结果。预报时应采取迭代预报、逐步订正的方式进行。

5.3 2012 年预报试用

香山公园红叶物候观测小组的观测资料显示:由于夏季雨水丰沛,人工养护力度加大,2012 年红叶长势和观赏效果要好于往年,呈现出叶色红、润、艳的特点。由观测的逐日红叶变色率,确定 10 月 6 日为香山红叶变色日。2012 年 7 月昌平和门头沟两站平均的最高气温和平均气温分别为 31.2℃和 26.7℃。根据香山红叶变色日气象统计模型(式 1),采用平均气温和最高气温的年际增量作为预报因子进行短期气候预测,预测的变色日序为 278.7,变色日为 10 月 6 日左右,与观测结果(日序:279)相比,误差可以忽略。

根据短期气候预测的变色日,提前 15 d(9 月 21 日)进行中期预报,温度曲线如图 4 所示。9 月 29 日至 10 月 1 日的温度条件达到阈值要求,第一次中期预报的变色日为 10 月 2 日,误差为 -4 d。按照模型的约定,中期预报采取迭代预报,逐步订正的方式进行。10 月 4—6 日的温度条件再次达到阈值条

件要求,第二次预报的变色日为 10 月 7 日,误差为 1 d,比较接近观测结果。

由 2011 年独立样本检验和 2012 年预报检验的结果,可以认为香山红叶变色日气象统计模型具有比较高的准确率和可操作性。当然需要注意的是,虽然 2012 年短期气候预测的结果好于中期预报,但并不能说明两者之间的优劣。在使用过程中,应当根据实际情况,综合使用两种不同时间精度的预报方法。

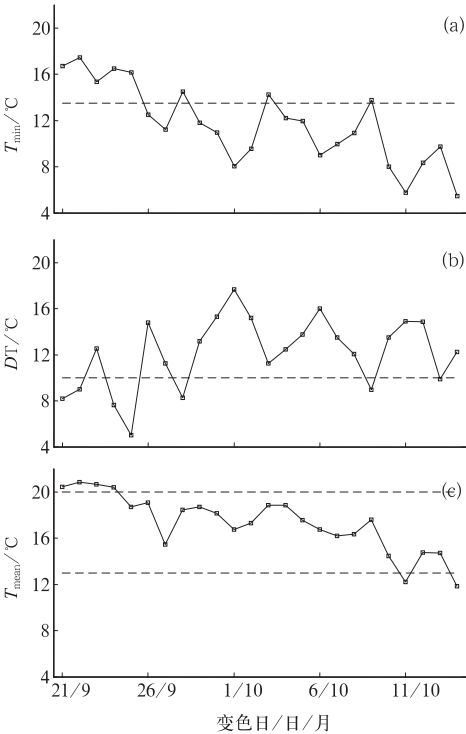


图 4 2012 年 9 月 21 日至 10 月 14 日两站平均的最低气温(a)、日较差(b)和平均气温(c) (虚线为对应的阈值条件)

Fig. 4 Minimum temperature (a), diurnal temperature range (b) and daily mean temperature (c) from 21 September to 14 October 2012 (Horizontal dashed lines denote threshold)

6 结论与讨论

本文采用香山公园逐日黄栌树叶变色率以及相应的气象资料研究了黄栌树叶变色的气象条件,并建立了香山红叶变色日的气象统计预测模型。

(1) 黄栌树叶变色的气象条件阈值:最低气温低于 14℃;日较差在 10℃以上;日平均气温在 13~20℃之间;此 3 项条件保持 3 d,第 4 d 为红叶变色日。

(2) 黄栌树叶平均变色日的日序数是 277.36,对应的日期是 10 月 4—5 日。最早的红叶变色日是 9 月 27 日(1999 年),最晚红叶变色日为 10 月 13 日(2006 年)。黄栌树叶变色日以 2006 年为界,存在先延迟后提前的趋势。

(3) 黄栌树叶变色日与 7 月最低气温、平均气温和最高气温均存在显著的负相关。与基本量的相关性不同,黄栌树叶变色日的年际增量与 7 月降水的年际增量之间存在显著的正相关。

(4) 选择 7 月的平均温度和最高温度的年际增量作为预报因子,建立模型,1999—2010 年回报的平均误差为 3 d 左右。同时,根据短期气候预测的结果,可以利用气象条件阈值进行中期预报。

(5) 由 2011 年独立样本检验和 2012 年预报检验的结果,可知香山红叶变色日气象统计模型具有比较高的准确率和可操作性。

需要指出的是,用直接观测的香山红叶变色率与气象条件相结合进行研究在国内尚属首次,且物候资料年份跨度较短,还有一些年份的中断,显然其结果是初步的。随着观测样本增多,一些新的特征可能会被揭示出来,对本文的结论也会有很好的补充。同时,香山红叶最佳观赏期与气象条件的关系也是值得进一步研究的问题。

参考文献

陈正洪,肖玫,陈璇. 2008. 樱花花期变化特征及其与冬季气温变化的关系. 生态学报,28(11):5209-5217.

范可,林美静,高煜中. 2008. 用年际增量方法预测华北汛期降水. 中国科学 地球科学,38(11):1452-1459.

范可,王会军,Choi Young-Jean. 2007. 一个长江中下游夏季降水的物理统计预测模型. 科学通报,52(24):2900-2905.

葛雨萱,王亮生,周肖红,等. 2011. 香山黄栌叶色和色素组成的相互关系及时空变化. 林业科学,47(4):38-42.

刘建栋,于强. 2002. 温度对夏玉米光合生产力影响的数值模拟研究. 应用气象学报,13(4):397-405.

刘杰,许小峰,罗慧. 2010. 气象条件影响我国农业经济产出的计量经济分析. 气象,36(10):46-51.

刘玲,郭建平,高素华. 2006. 低温、干旱并发对玉米影响的评估研究. 气象,32(4):116-120.

杨萍,刘伟东,仲跻芹,等. 2011. 北京地区自动气象站气温观测资料的质量评估. 应用气象学报,22(6):706-715.

姚秀萍,吕明辉,范晓青,等. 2011. 气象服务效益评价研究进展. 气象,37(6):749-755.

赵颖彦. 2011. 今日寒露催红京城. 法制晚报. 2011-10-8(A03).

张德山,海玉龙,冯涛,等. 2010. 北京地区 1~4 天花粉浓度预报的应用研究. 气象,36(5):128-132.

周肖红,葛雨萱,王亮生,等. 2009. 黄栌叶片变色期生理变化及植物生长调节剂对叶色的影响. 林业科学,45(7):59-62.

竺可桢,宛敏渭. 1973. 物候学. 北京:科学出版社,51-58.