银桂初花物候期的气候条件

李 军¹ 杨秋珍^{1 2} 杨康民³

(1 上海市气象科学研究所, 上海 200030) (2 中国气象局上海台风研究所, 上海 200030)
(3 上海交通大学农业与生物学院, 上海 201101)

摘 要 根据江苏省苏州市东山县 1956~1984 年和 1999~2003 年银桂 (*Osmanthus fragrans*) 物候资料和同期气象资料, 应用数理统计方法分析了银桂初花的气候指标, 发现银桂初花期与初花前最低气温和相对湿度关系密切。早银桂初花的气候指标为: 日最低气温 10 d 滑动平均稳定 $\leq 23.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 同时日最低气温 $< 22.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, 满足这指标之后 3~12 d 早银桂初花, 或当日最低气温 10 d 滑动平均稳定在 $23.0\sim 25.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 同时日平均相对湿度 $\geq 88\%$ 连续在 3 d (包括 3 d) 以上, 在这日期之后的 12 d 内早银桂初花。晚银桂初花的气候指标为: 当日最低气温 9 d 滑动平均稳定 $\leq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, 同时日最低气温 $< 19.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 满足这指标后 4~12 d 晚银桂初花, 或当日最低气温 9 d 滑动平均稳定在 $20.0\sim 21.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, 同时日平均相对湿度 $\geq 88\%$ 连续在 3 d (包括 3 d) 以上, 在这日期之后的 6 d 内晚银桂初花。日最低气温 10 d 滑动平均稳定 $> 25.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 早银桂不开花; 日最低气温 9 d 滑动平均稳定 $> 21.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 晚银桂不开花。晚银桂和早银桂初花期存在显著的相关, 相关系数为 $0.443\ 8\ (n=34)$, 平均初花期晚银桂比早银桂迟 15 d。由于受全球气候变暖的影响, 1999~2003 年苏州东山地区银桂类初花期比 1956~1984 年推迟了 7~8 d。
关键词 银桂 初花 温度 指标 气候变化

CLIMATIC INDICES FOR INITIAL FLOWERING IN *OSMANTHUS FRAGRANS*

LI Jun¹ YANG Qiu-Zhen^{1 2} and YANG Kang-Min³

(1 Shanghai Meteorological Institute, Shanghai 200030, China)
(2 Shanghai Typhoon Institute of China Meteorological Administration, Shanghai 200030, China)
(3 College of Agriculture and Biology, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 201101, China)

Abstract Climatic indices for initial flowering in *Osmanthus fragrans* were analyzed statistically by comparing the phenological data and climate data from 1956 to 1984 and from 1999 to 2003 in Dongshan County, Suzhou, Jiangsu Province, China. The results showed that the initial flowering date of *O. fragrans* was closely related to daily minimum temperature and relative humidity. For early flowering *O. fragrans*, initial flowering occurred 3 to 12 days later following a condition that the daily minimum temperature of 10-day-moving-average (DMTMA10) $\leq 23.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ and the daily minimum temperature $< 22.0\text{ }^{\circ}\text{C}$, or 12 days later following a condition that DMTMA10 stays between 23.0 and $25.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ and the daily average relative humidity (DARH) $\geq 88\%$ for 3 or more than 3 days. It would not get flowering if the DMTMA10 $> 25.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. For late flowering *O. fragrans*, initial flowering occurred 4 to 12 days later following a condition that the daily minimum temperature of 9-day-moving-average (DMTMA9) $\leq 20.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ and the daily minimum temperature $< 19.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, or 6 days later following a condition that DMTMA9 stays between 20.0 and $21.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ and the DARH $\geq 88\%$ for 3 or more than 3 days. It would not get flowering if the DMTMA9 $> 21.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. The date of initial flowering of early flowering *O. fragrans* and that of late flowering *O. fragrans* were significantly correlated ($r = 0.443\ 8, n = 34$). The initial flowering date of late flowering *O. fragrans* is, on average, 15 days later than that of the early flowering *O. fragrans*. The initial flowering date of both types of *O. fragrans* during 1999 and 2003 was postponed 7–8 days compared with that during 1956 and 1984 in Dongshan County due to global climate warming.
Key words *Osmanthus fragrans*, Initial flowering, temperature, Indices, Climatic change

桂花为木犀科木犀属 (*Osmanthus*) 常绿阔叶乔木, 原产中国的西南地区和中部, 在中国有 2 500 多年栽培历史, 是中国十大名花之一。桂花集绿化、美化和香化于一身, 是观赏和实用兼备的优良园林树

种 经济用途广泛(杨康民和朱文江,2000)。在国内对于桂花的研究主要在栽培技术、桂文化、品种与分类、病虫害防治和幼苗等方面(吴光洪等,2004;成海钟和袁美勒,2004;杨康民等,1986),而对于桂花初花与气候的关系研究较少。开花是园林树木一年中最重要的物候期,花期的早晚和长短及开花的质量直接影响生产和观赏效果。树木的开花与气候关系密切,每年的初花期或早或晚。本文针对江苏省苏州市东山县的银桂(*Osmanthus fragrans*)物候和气象资料,以期分析银桂初花的气候指标,为银桂初花期的短期预报和银桂物候对气候变化的响应提供依据。

1 资料与方法

1.1 银桂初花物候和气象资料

观测的银桂品种为早银桂和晚银桂,历年银桂观测地点为江苏省苏州市东山县光福乡,品种保持不变。桂花初花期的物候标准为,大部分花处于半闭合状态,开花放量为10%(杨康民等,1986)。气象资料为苏州市东山县气象站的日平均气温、日最低气温、日平均相对湿度。时间为1956~1984年、1999~2003年的8~10月,共有34个样本。物候观测点和气象站的距离为1 km。

1.2 分析方法

采用数理统计中的相关分析和分类分析方法(杨永岐,1983;余传华和颜杰,2002),分析银桂初花期与气候因子的关系。在进行统计分析时,将历年银桂初花期以序号(y)表示,以8月1日为1,依次统计,然后以初花期前 z 天($z=1,2,\dots,20$)开始计算平均气温、最低气温、平均相对湿度与初花期之间的相关系数。在相关分析的基础上对因子的相关系数进行稳定性检验(朱盛明,1982)。从而分析出与银桂初花期关系密切的气候因子和时段。

设资料年代为 n 年,以 u 年为滑动步长,由公式(1)计算出 m ($m=n-u+1$)个相关系数。用以下3个指标来衡量相关系数的稳定性:1)滑动相关系数的平均值大于A;2)近3个滑动相关系数的乘积大于B;3)滑动相关系数的均方差小于C,其中A、B、C的值根据实际资料确定,本文取值分别为0.24、0.17和0.75。

$$r_j = \frac{\sum_{i=j}^m (x_i - \bar{x}_j)(y_i - \bar{y}_j)}{\sqrt{\sum_{i=j}^m (x_i - \bar{x}_j)^2 \cdot \sum_{i=j}^m (y_i - \bar{y}_j)^2}} \quad (j = 1, 2, \dots, m) \tag{1}$$

$$\text{式中 } \bar{x}_j = \sum_{i=j}^m x_i / u, \bar{y}_j = \sum_{i=j}^m y_i / u$$

2 分析结果

2.1 银桂初花期

1956~1984年和1999~2003年期间,早银桂初花期最早是1980年的8月24日,最晚是2001年的10月1日,最大变幅为39 d,平均为9月16日;晚银桂初花期最早是1966年的9月13日,最晚为1967年的10月13日,最大变幅为30 d,平均为10月1日。最早初花期晚银桂比早银桂迟20 d,最晚初花期晚银桂比早银桂迟12 d,平均初花期晚银桂比早银桂迟15 d。

20世纪90年代开始受全球气候变暖的影响变得明显,中国大部地区有气温升高的趋势(方修琦和余卫红,2002)。苏州市东山地区的气温变化趋势也在升高,秋季(气象上将日平均气温5 d滑动稳定低于22℃为入秋,其首日为秋季首日)开始日期1956~2003年平均日期为9月27日,最早为1966年的9月9日,最晚为2002年的10月19日。尤其是1995年以来秋季开始日期明显推迟,平均为10月4日,比1956~1994年平均晚了8 d。从1996~2003年东山地区秋季开始日期有两年的变化周期(图1)。银桂初花期也明显推迟,1999~2003年早银桂初花期平均为9月23日,推迟了7 d;晚银桂初花期平均为10月9日,推迟了8 d。可见苏州东山地区的银桂初花与气候关系密切,其物候与全球气候变暖同步,这与国内外这个领域学者的研究结果一致(方修琦和余卫红,2002;徐雨晴等,2004;Snyder *et al.*, 2001; Chmielewski & Rötzer, 2001; 黄敬峰等, 2000; 翁生和周广胜, 2005)。统计表明早银桂与晚银桂间的初花期关系密切(图2), $r = 0.44^{**}$ (***)表示通过置信水平 $\alpha = 0.01$ 的统计检验, **表示通过置信水平 $\alpha = 0.05$ 的统计检验, *表示通过置信水平 $\alpha = 0.1$ 的统计检验,样本数为34,下同)。晚银桂初花期(Y_1)与早银桂初花期(Y_2)间的统计关系式为 $Y_1 = 47.91 + 0.32 Y_2$ 。

2.2 银桂初花与气候

2.2.1 早银桂初花的气候指标

研究表明,植物物候与气温关系密切,特别是植物生长发育期各阶段的前期(Snyder *et al.*, 2001; Chmielewski & Rötzer, 2001; 黄敬峰等, 2000)。秋季树木开花和落叶等主要是由于气温下降到一定界限引起的(张福春,1995)。相关分析发现,早银桂初花期

图 1 1956 ~ 2003 年苏州市东山县秋季开始日期
Fig.1 The autumn started date from 1956 to 2003 in Dongshan County , Suzhou

图 2 1956 ~ 2003 年银桂初花日期序号
Fig.2 The initial flowering serial numbers of *Osmanthus fragrans* from 1956 to 1984 and from 1999 to 2003 in Dongshan County , Suzhou

与花前 10 d 的平均最低气温相关最好($r = -0.61^{***}$)与花前 10 d 平均气温、平均最高气温、平均相对湿度的相关系数分别为 -0.58^{***} 、 -0.45^{***} 、 -0.32^{*} 。花前 10 d 平均最低气温为 20.8°C ,其中 93.9% 年份低于 23.0°C 。进一步分析发现早银桂初花期之前,日最低气温 10 d 滑动平均稳定 $\leq 23.0^{\circ}\text{C}$,同时日最低气温 $< 22.0^{\circ}\text{C}$,有 76.5% 的年份在这日期之后 3 ~ 12 d 早银桂初花,平均 5.6 d 初花。如 1964、1966 和 1969 年满足上述指标出现日期分别为 9 月 22 日、9 月 10 日和 9 月 11 日,这 3 年早银桂的初花期分别为 9 月 27 日、9 月 23 日和 9 月 20 日。当日最低气温 10 d 滑动平均稳定在 $23 \sim 25.5^{\circ}\text{C}$,同时日平均相对湿度 $\geq 88\%$ 连续在 3 d (包括 3 d) 以上,在这日期之后的 12 d 内早银桂初花。如 1977 年 9 月 13 ~ 15 日、1982 年 8 月 21 ~ 23 日连续 3 d 满足指标,早银桂初花分别为 9 月 17 日和 8 月 29 日,历史上有 23.5% 的年份符合。上述两项指标的历史拟合率为 100%。满足上述指标的日期序号(X_2)与早银桂初花日期序号(Y_2)的统计关系式为 $Y_2 = 12.27 + 0.88X_2$ ($r = 0.83^{***}$) ,历

年情况见表 1。从历史资料看,当日最低气温 10 d 滑动平均稳定高于 25.5°C 时,早银桂不开花。

2.2.2 晚银桂初花的气候指标

相关分析表明,晚银桂初花与花前 9 d 的平均最低气温相关最好($r = -0.63^{***}$)与花前 9 d 平均气温、平均最高气温、平均相对湿度的相关系数分别为 -0.61^{***} 、 -0.37^{**} 、 -0.26 。进一步统计表明,当日最低气温 9 d 滑动平均 $\leq 20^{\circ}\text{C}$,同时日最低气温 $< 19.5^{\circ}\text{C}$,则 94.1% 的年份晚银桂在满足该指标后 4 ~ 12 d 初花,平均 6.5 d 后初花。如 1957、1975、1999 年满足上述指标出现日期分别为 9 月 11 日、10 月 8 日和 9 月 25 日,这 3 年晚银桂的初花期分别为 9 月 24 日、10 月 13 日和 10 月 3 日;当日最低气温 9 d 滑动平均稳定在 $20.0 \sim 21.5^{\circ}\text{C}$,同时日平均相对湿度 $\geq 88\%$ 连续在 3 d (包括 3 d) 以上,在这日期之后的 6 d 内晚银桂初花,如 1970 年 9 月 21 ~ 24 日连续 4 d 满足指标,晚银桂初花为 9 月 27 日,历史上有 5.9% 的年份符合,上述两项指标的历史拟合率为 100%。满足上述指标的日期序号(X_3)与晚银桂初花日期序号(Y_3)的统计关系式为 $Y_3 = 16.38 + 0.84$

表 1 早银桂初花指标的日期与初花日比较

Table 1 Comparison between date of the index and the initial flowering for early flowering *Osmanthus fragrans*

年份 Year	E ₁	E ₂	初花日(月.日) The initial flowering (Month, day)	初花日距指标的日数 Days between the index and the initial flowering(d)
1956	9.8		9.14	5
1957	9.5		9.10	4
1958	9.5		9.12	6
1959	9.16		9.25	8
1960	9.8		9.16	7
1961		9.12	9.17	4
1962	9.6		9.12	5
1963	9.21		9.29	7
1964	9.22		9.27	4
1965	9.8		9.14	5
1966	9.10		9.23	12
1967	9.14		9.23	8
1968	9.16		9.21	4
1969	9.11		9.20	8
1970		9.15	9.19	3
1971	9.11		9.24	12
1972		8.24	8.29	3
1973	9.5		9.10	4
1974	8.26		9.1	4
1975	9.22		9.30	7
1976	9.8		9.16	7
1977		9.15	9.17	4
1978	9.12		9.20	7
1979	9.1		9.9	7
1980		8.17	8.24	6
1981	9.5		9.18	12
1982		8.23	8.29	5
1983	8.25		9.1	5
1984		8.20	9.1	11
1999		9.6	9.18	11
2000	9.10		9.15	4
2001	9.20		10.1	11
2002	9.17		9.24	6
2003	9.13		9.20	6

E₁:符合指标 A 的开始日期(月.日) Date conformed to the index A (Month, day) E₂:符合指标 B 的开始日期(月.日) Date conformed to the index B (Month, day) 指标 A 为日最低气温 10 d 滑动平均稳定 ≤ 23.0 ℃ ,同时日最低气温 < 22.0 ℃ 指标 B 为日最低气温 10 d 滑动平均稳定在 23.0 ~ 25.5 ℃ ,同时日平均相对湿度 ≥ 88% 连续在 3 d (含 3 d) 以上 The index A was 10-day-moving-average of daily minimum temperature less than or equal to 23.0 ℃ and daily minimum temperature less than 22.0 ℃ . The index B was 10-day-slide-mean daily minimum temperature 23.0 ~ 25.5 ℃ and daily average relative humidity more than or equal to 88% were more than or equal to 3 days

$X_3(r = 0.95^{***})$,历年情况见表 2。历史资料表明 ,当日最低气温 9 d 滑动平均稳定 > 21.5 ℃ 时 ,晚银桂不开花。

表 2 晚银桂初花指标的日期与初花日比较

Table 2 Comparison between date of the index and the initial flowering for late flowering *Osmanthus fragrans*

年份 Year	L ₁	L ₂	初花日(月.日) The initial flowering (Month, day)	初花日距指标的日数 Days between the index and the initial flowering(d)
1956	9.27		10.4	6
1957	9.11		9.24	12
1958	9.23		9.28	4
1959	9.26		10.3	6
1960	10.7		10.12	4
1961	10.7		10.12	4
1962	9.28		10.3	4
1963	9.25		10.1	5
1964	9.28		10.5	6
1965	9.15		9.26	10
1966		9.9	9.13	3
1967	9.30		10.13	12
1968	9.23		9.29	5
1969	9.15		9.23	7
1970		9.24	9.27	2
1971	9.20		9.28	7
1972	9.23		10.1	7
1973	9.14		9.20	5
1974	9.19		9.26	6
1975	10.8		10.13	4
1976	9.14		9.26	11
1977	9.22		9.29	6
1978	9.23		9.29	5
1979	9.27		10.4	6
1980	9.18		9.25	6
1981	9.10		9.21	10
1982	9.16		9.27	10
1983	9.29		10.7	7
1984	9.13		9.21	7
1999	9.25		10.3	7
2000	10.4		10.12	7
2001	10.4		10.11	6
2002	9.23		10.6	12
2003	10.2		10.11	8

L₁:符合指标 A 的开始日期(月.日) Date conformed to the index A (Month, day) L₂:符合指标 B 的开始日期(月.日) Date conformed to the index B (Month, day) 指标 A 为日最低气温 9 d 滑动平均 ≤ 20 ℃ ,同时日最低气温 < 19.5 ℃ 指标 B 为日最低气温 9 d 滑动平均稳定在 20.0 ~ 21.5 ℃ ,同时日平均相对湿度 ≥ 88% 连续在 3 d (含 3 d) 以上 The index A was nine-day-slide-mean daily minimum temperature less than or equal to 20.0 ℃ and daily minimum temperature less than 19.5 ℃ . The index B was the days of nine-day-slide-mean daily minimum temperature 20.0 ~ 21.5 ℃ and daily average relative humidity more than or equal to 88% were more than or equal to 3 days

3 结 语

早银桂和晚银桂初花分别与花前 10 和 9 d 的

最低气温关系最为密切,早银桂初花与相对湿度的相关性比晚银桂要高。当气温低于某一界限后银桂初花,早银桂要求 10 d 平均最低气温稳定低于 25.5 °C,在 23.0 ~ 25.5 °C 下要求高湿($\geq 88\%$)的配合才能初花,晚银桂初花要求 9 d 平均最低气温稳定低于 21.5 °C,在 20.0 ~ 21.5 °C 下要求高湿($\geq 88\%$)的配合才能初花。在较高的温度下银桂不开花,早银桂 10 d 平均最低气温稳定高于 25.5 °C,晚银桂 9 d 平均最低气温稳定高于 21.5 °C。苏州市东山地区的银桂初花期对气候变暖有着很好的响应,随着气候的变暖苏州东山地区秋季首日明显偏晚,银桂初花期也推迟明显,1999 ~ 2003 年银桂初花期平均比 1956 ~ 1984 年平均晚 7 ~ 8 d。

本文建立的早银桂和晚银桂初花的气候指标和数理统计模式可为银桂初花期预测提供依据。银桂初花要求最低气温低于一定值,说明银桂初花需要一定量的低温积累,但关于桂花初花需要多少低温的累积量,这方面的研究还没有涉及,本文的结论是依据苏州东山地区的银桂物候资料和同期的气象资料得出的,文中没有涉及银桂初花期的地域特征(是否与日长有关),这些需要在进一步试验和收集银桂初花期地域资料的基础上作深入的研究。

参 考 文 献

- Cheng HZ (成海钟), Yuan ML (袁美勒) (2004). *Osmanthus fragrans* culture of Suzhou. *Journal of Nanjing Forestry University* (Natural Sciences Edition) (南京林业大学学报(自然科学版)), 28 (Suppl.), 101 – 103. (in Chinese with English abstract)
- Chmielewski FM, Rötzer T (2001). Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agriculture and Forest Meteorology*, 108, 101 – 102.
- Fang XQ (方修琦), Yu WH (余卫红) (2002). Progress in the studies on the phenological responding to global warming. *Advance in Earth Science* (地球科学进展), 17, 714 – 719. (in Chinese with English abstract)
- Huang JF (黄敬峰), Wang XZ (王秀珍), Cai CX (蔡承侠) (2000). Research on winter wheat phenology and climate in Xinjiang. *Agricultural Meteorology* (中国农业气象), 21 (1), 14 – 42. (in Chinese with English abstract)
- Snyder RL, Spano D, Duce P (2001). Temperature data for phenological models. *International Journal of Biometeorology*, 45, 178 – 183.
- Weng ES (翁恩生), Zhou GS (周广胜) (2005). Defining plant functional types in China for global change studies. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 29, 81 – 97. (in Chinese with English abstract)
- Wu GH (吴光洪), Hu SQ (胡绍庆), Xuan ZC (宣子灿), Xiang QB (向其柏) (2004). Standard of classification and application of sweet *Osmanthus*. *Journal of Zhejiang Forestry College* (浙江林学院学报), 21, 281 – 284. (in Chinese with English abstract)
- Xu YQ (徐雨晴), Lu PL (陆佩玲), Yu Q (于强) (2004). Review and prospect in the researches of influence of climate change on plant phenology. *Resources Science* (资源科学), 26, 129 – 136. (in Chinese with English abstract)
- Yang YQ (杨永岐) (1983). *Statistical Method in Argo-Meteorology* (农业气象中的统计方法). China Meteorological Press, Beijing. (in Chinese)
- Yu CH (余传华), Yan J (颜杰) (2002). *Excel and Analysis of Datum* (Excel 与数据分析). Electronic Industry Press, Beijing. (in Chinese)
- Yang KM (杨康民), Zhu WJ (朱文江) (2000). *Osmanthus fragrans* Lour (桂花). Shanghai Scientific & Technical Publishers, Shanghai. (in Chinese)
- Yang KM (杨康民), Zhu WJ (朱文江), Jiang YM (蒋永明), Wang JY (王家元), Wang YS (王元松) (1986). Observations on the blooming phenology and the time of harvesting of the flower of *Osmanthus fragrans*. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 13, 271 – 275. (in Chinese with English abstract)
- Zhang FC (张福春) (1995). Effect of global warming on plant phenological events in China. *Acta Geographica Sinica* (地理学报), 60, 403 – 408. (in Chinese with English abstract)
- Zhu SM (朱盛明) (1982). Stability analysis method and application of related coefficient. *Acta Meteorological Sinica* (气象学报), 40, 497 – 501. (in Chinese with English abstract)

责任编辑:周广胜 责任编辑:刘丽娟