

北京地区引进观赏芍药花期与相关物候期的 灰色关联分析及其花期预测模型建立

刘建鑫^a, 于晓南^{a,b,①}

(北京林业大学: a. 园林学院, b. 花卉种质资源创新与分子育种北京市重点实验室
国家花卉工程技术研究中心 城乡生态环境北京实验室, 北京 100083)

Grey correlation analysis between blooming stage and related phenophases and prediction model establishment of blooming stage of herbaceous peony introduced in Beijing LIU Jianxin^a, YU Xiaonan^{a,b,①} (Beijing Forestry University: a. College of Landscape Architecture, b. Beijing Key Laboratory for Ornamental Plants Germplasm Innovation and Molecular Breeding, National Engineering Research Center for Floriculture, Beijing Laboratory of Urban and Rural Ecological Environment, Beijing 100083, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2015, 24(4): 108-110

Abstract: Phenophases of 18 cultivars of herbaceous peony (*Paeonia lactiflora* Pall.) introduced in Beijing were observed from 2012 to 2014, correlation degree between blooming stage and other six phenophases was analyzed by grey correlation analysis, hereby, its prediction model of blooming stage was established by multiple linear regression analysis method. The results show that correlation degree of blooming stage (Y) with bud color-changing stage (X_1), bud showing stage (X_2) and germination stage (X_3) is higher, and multiple linear regression prediction model is $Y=3.516+0.680X_1+0.165X_2+0.250X_3$ ($R^2=0.951$). The prediction model is tested and its score is 333.34 with a full mark rate of 83.34%, indicating the prediction result of this model is better.

关键词: 芍药; 开花物候期; 灰色关联分析; 花期预测; 多元线性回归分析

Key words: herbaceous peony (*Paeonia lactiflora* Pall.); blooming phenophase; grey correlation analysis; prediction on blooming stage; multiple linear regression analysis

中图分类号: S629; S682.1⁺2 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2015)04-0108-03

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2015.04.15

观赏芍药 (*Paeonia lactiflora* Pall.) 特指芍药科 (Paeoniaceae) 芍药属 (*Paeonia* Linn.) 多年生观赏花卉, 是中国的传统名花之一, 也是世界花卉市场上的重要切花^[1]。芍药品种非常丰富, 美国芍药协会 (American Peony Society) 将之分为 3 大品种群, 即中国芍药品种群 (Lactiflora Peony)、杂种芍药品种群 (Hybrid Peony) 和伊藤芍药品种群 (Itoh Hybrid)^[2]。因起源不同, 各品种群品种间的花期差异较大。对芍药花期进行预测, 不仅可以为其栽培生产和园林配置提供科学指导, 而且对选择花期相遇的品种进行杂交育种也具有重要价值。

目前, 关于植物花期的预测方法主要有 3 种: 运用统计学方法分析花期与气候因子的相关性并建立回归预测模型^[3-5]; 通过花期前物候现象对花期进行预测^[6]; 通过花前器官形态观测建立预测模型^[7-8]。对同一植物而言, 各物候期的发生顺序是稳定的, 且各物候期之间具有一定的相关性^[9], 因而, 可以利用物候现象预测花期。以往多采用相关分析和回归分析等方法来预测花期^[10-12], 但由于这些方法需要大量原始数据, 而且要求数据有一定的统计规律, 因此, 在很多情况下上述统

计方法难以应用。灰色关联分析是用灰色关联度顺序来描述因素间的影响程度或因素对系统主行为的贡献测度的一种方法^{[13]17-18}, 该方法对样本量要求不高, 不要求数据具有典型的分布规律, 而且计算量较小, 其结果与定性分析结果较吻合, 是一种实用和可靠的分析方法^[14]。

作者运用灰色关联分析法, 对种植于北京地区的引进观赏芍药品种连续 3 年的物候期数据进行研究, 据此分析芍药花期与其他物候期的相关性; 在此基础上, 运用多元线性回归分析法构建芍药花期的多元线性回归预测模型, 以期能及时准确预报芍药花期提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试材料为作者所在课题组于 2010 年引种自美国俄勒冈州的 18 个观赏芍药品种, 分别为品种 ‘Apache’、‘Athena’、‘Brightness’、‘Cream Delight’、‘Fernleaf Hybrid’、‘Firelight’、

收稿日期: 2015-02-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31400591)

作者简介: 刘建鑫 (1989—), 男, 山东济南人, 硕士研究生, 主要从事芍药资源与育种研究方面的研究。

①通信作者 E-mail: yuxiaonan626@126.com

‘Garden Peace’、‘Halcyon’、‘John Harvard’、‘Laddie’、‘Little Red Gem’、‘Lovely Rose’、‘May Lilac’、‘Nosegay’、‘Paladin’、‘Pink Teacup’、‘Roselette’和‘White Innocence’,分属于中国芍药品种群和杂种芍药品种群。栽培地位于北京市小汤山国家花卉工程技术研究中心苗圃。

1.2 方法

1.2.1 物候期观测 芍药物候期分为萌动期、萌发期、抽茎期、展叶期、显蕾期、透色期和花期7个阶段^[15]。于2012年至2014年每年3月初至6月底,从每个芍药品种中随机挑选10株观察并记录上述物候期,每个时期以60%样株达到该时期特征为准;开花前每周观察2次,开花时隔1天观察1次。

1.2.2 物候期记录 参照文献[6],将各物候期的日期换算成由1月1日起始的顺序日,例如:1月1日换算为顺序日1,2月1日换算为顺序日32,以此类推,据此建立样本序列。

1.2.3 预报检验方法 采用分级加权百分数计分评判法^[16]计算预测模型得分和满分率,进行预测准确性评定。

1.3 数据统计和处理

采用DPS 7.05软件,运用灰色关联分析法确定与芍药花期存在显著相关性的主要指标,然后采用多元线性回归分析法建立多元线性回归预测模型,最后采用分级加权百分数计

分评判法进行预测准确性评定。

2 结果和分析

2.1 灰色关联分析结果

2012年至2014年18个观赏芍药品种花期与其他物候期的物候期换算值及灰色关联分析结果见表1。结果显示:同一品种的各物候期间均存在一定程度的相关性,其中,对花期影响最大的是透色期,其次为显蕾期、萌动期,其后依次是萌发期、抽茎期、展叶期;透色期与花期的关联度最高。根据灰色关联分析原理,关联度越大的序列与母序列的关系越密切,关联度越小的序列与母序列关系越疏远^{[13]18-19},因而,透色期与芍药花期的相关性最为直接;萌动期与花期也具有较高的关联度,说明该时期的到来意味着芍药已经打破休眠,具备了开花条件。萌动期、萌发期、抽茎期和展叶期与花期的关联度较小,可能是因为这段时期内芍药主要进行营养器官的生长,对花器官的发育影响较小。

2.2 多元线性回归分析及预测模型检验结果

根据表1的分析结果,选用与观赏芍药花期(Y)关联度最高的透色期(X_1)、显蕾期(X_2)和萌动期(X_3)进行线性回归分

表1 2012年至2014年18个观赏芍药品种花期与其他物候期的物候期换算值及灰色关联分析结果¹⁾

Table 1 Conversion values of phenophase and result of grey correlation analysis between blooming stage and other phenophases of 18 cultivars of herbaceous peony (*Paeonia lactiflora* Pall.) from 2012 to 2014¹⁾

品种 Cultivar	不同物候期的换算值 Conversion value of different phenophases						
	萌动期 Germination stage	萌发期 Sprouting stage	抽茎期 Branch growing stage	展叶期 Leaf extending stage	显蕾期 Bud showing stage	透色期 Bud color-changing stage	花期 Blooming stage
Apache	85, 95, 85	88, 98, 88	96, 108, 92	104, 116, 98	108, 128, 112	116, 135, 130	121, 140, 134
Athena	85, 98, 86	88, 105, 88	92, 108, 92	96, 112, 97	104, 116, 104	111, 127, 114	116, 131, 119
Brightness	85, 95, 78	88, 98, 81	92, 101, 85	104, 105, 92	108, 112, 104	116, 129, 114	121, 135, 118
Cream Delight	85, 95, 85	88, 98, 87	96, 105, 88	104, 108, 92	111, 112, 100	116, 128, 112	121, 135, 116
Fernleaf Hybrid	79, 95, 85	82, 98, 88	85, 101, 91	88, 105, 98	96, 108, 103	111, 112, 108	116, 123, 114
Firelight	82, 95, 83	85, 98, 85	88, 108, 88	92, 112, 92	96, 116, 98	111, 128, 113	116, 134, 116
Garden Peace	88, 98, 85	92, 105, 87	96, 108, 92	104, 112, 96	108, 116, 102	111, 120, 114	121, 133, 118
Halcyon	79, 98, 85	82, 105, 89	85, 108, 92	88, 112, 98	96, 116, 104	104, 128, 114	111, 131, 119
John Harvard	82, 95, 80	85, 98, 83	88, 105, 85	92, 108, 91	100, 112, 98	104, 129, 114	116, 133, 118
Laddie	85, 95, 83	88, 98, 85	92, 101, 89	104, 105, 92	111, 108, 98	116, 120, 108	121, 125, 113
Little Red Gem	79, 92, 83	82, 94, 85	85, 98, 88	88, 101, 92	92, 105, 98	96, 108, 112	108, 121, 116
Lovely Rose	82, 101, 78	85, 105, 81	88, 112, 85	96, 116, 92	104, 125, 104	116, 133, 114	121, 140, 118
May Lilac	82, 95, 86	85, 98, 88	88, 112, 92	100, 116, 97	104, 120, 104	108, 128, 119	112, 135, 126
Nosegay	82, 95, 87	85, 98, 91	88, 101, 96	92, 108, 104	96, 112, 108	104, 116, 113	108, 121, 116
Paladin	82, 95, 86	85, 98, 88	88, 108, 92	92, 112, 98	104, 125, 104	116, 133, 112	121, 142, 118
Pink Teacup	82, 98, 85	85, 101, 88	88, 105, 92	96, 108, 97	104, 112, 104	116, 129, 114	121, 135, 118
Roselette	82, 95, 76	85, 98, 78	88, 105, 81	92, 108, 84	96, 112, 92	104, 120, 104	111, 128, 110
White Innocence	82, 98, 85	85, 101, 88	88, 112, 92	100, 116, 98	111, 125, 104	116, 128, 116	121, 135, 119
关联度 Correlation degree	0.704 0	0.692 9	0.685 8	0.681 8	0.746 5	0.828 7	-
排序 Order	3	4	5	6	2	1	-

¹⁾ 各物候期的3组数据从左至右依次为同一品种在2012年、2013年和2014年同一物候观测值的换算值 The three datums from left to right in each phenophases are in order of conversion values of the same phenological observation value of the same cultivar in 2012, 2013 and 2014.

析,拟合度(R^2)达0.951,拟合效果良好。经分析, $F=323.398$ 时 $P<0.001$,远小于显著性水平 $\alpha=0.05$,表明透色期、显蕾期、萌动期与花期之间存在显著的线性关系。据此,获得观赏芍药花期的多元线性回归预测模型 $Y=3.516+0.680X_1+0.165X_2+0.250X_3$ 。检验结果显示:此多元线性回归预测模型得分为333.34,满分为83.34%,表明该模型的预测效果好,具有较强的实用性,可以为预报北京地区观赏芍药的花期提供较为准确的参考。

3 讨论和结论

陈琪等^[17]运用主成分分析和回归分析相结合的方法构建了牡丹(*Paeonia suffruticosa* Andr.)花期回归模型,认为牡丹的花期与气温、地温显著相关,由两者建立的线性回归模型可以准确预测牡丹花期。气候是影响植物物候期的主要因素,而物候期中各物候性状存在相关性,因此,利用物候期中其他物候性状预测花期更为直接。孙凡雅等^[18]根据观赏海棠(*Malus* spp.)的童期性状对观赏海棠花期进行了灰色关联分析,认为观赏海棠杂交后代的萌芽期和展叶期与花期关联度最大,根据观赏海棠童期的萌芽期预测其花期具有一定的可行性,但并没有获得花期预测模型及其构建方法。张明庆等^[6]依据植物物候期的顺序规律,利用开花较早的树木预测其后开花树木的花期,并采用回归分析的方法建立春季观花树木的花期预报模型,通过检验确认预报效果良好,但是此方法需要寻找与所研究植物花期显著相关的其他植物,无疑使工作量增加。

作者以观赏芍药花期前的物候现象作为预报因子,分析了北京地区观赏芍药花期前各物候期与花期的相关性。灰色关联分析结果表明:与观赏芍药花期关联度最高的是透色期,其次是显蕾期、萌动期,这可能是因为透色期、显蕾期与花期在时间序列上最接近,影响最为直接;而萌动期与花期也有较高关联度,说明该时期的到来意味着芍药已经打破休眠,具备了开花条件。基于灰色关联分析结果进一步建立了观赏芍药花期多元线性回归预测模型,经检验,该模型的满分率达到83.34%,表明用该模型预测北京地区观赏芍药的花期准确度较高、实用性较强。据此,本研究方法与思路也可以应用于其他观赏植物的花期预测,以探索出适用于不同植物的花期预测模型。

参考文献:

[1] JI L J, SILVA J A T D, ZHANG J J, et al. Development and application of 15 novel polymorphic microsatellite markers for Sect.

Paeonia (*Paeonia* L.) [J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2014, 54: 257-266.

- [2] 陆光沛,于晓南. 美国芍药牡丹协会金牌奖探析[J]. 中南林业科技大学学报, 2009, 29(5): 191-194.
- [3] KIM B D, KIM H C, YOO S T, et al. The relationship between flowering dates of several woody plants and air temperature [J]. *Journal of Korean Nature*, 2011, 4: 211-217.
- [4] SCHNEEMILCH M, KOKKINN M, WILLIAMS C R. Flowering timing prediction in Australian native understory species (*Acrotiche* R. Br. Ericaceae) using meteorological data [J]. *International Journal of Biometeorology*, 2012, 56: 95-105.
- [5] 柏秦凤,王景红,屈振江,等. 陕西苹果花期预测模型研究[J]. 中国农学通报, 2013, 29(19): 164-169.
- [6] 张明庆,蔡霞. 北京地区春季主要园林树木的花期预测研究[J]. 首都师范大学学报:自然科学版, 2005, 26(2): 85-90.
- [7] 张明庆,杨国栋,许晓波. 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[J]. 植物生态学报, 2005, 29(4): 610-614.
- [8] 贾坤,张黎霞,赵天禄,等. 北京地区梅花的花期预报模式初建[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(S2): 97-100.
- [9] 竺可桢,宛敏渭. 物候学[M]. 增订本. 北京:科学出版社, 1980: 79.
- [10] RITZ C, PIPPER C, YNDGAARD F, et al. Modelling flowering of plants using time-to-event methods [J]. *European Journal of Agronomy*, 2010, 32: 155-161.
- [11] 张玲,赵黎,张明庆. 牡丹的花期预测研究[J]. 咸阳师范学院学报, 2009, 24(2): 77-79.
- [12] 贾化川,袁静,孙丽娟. 杏花花期预报方法探讨[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(2): 506, 554.
- [13] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉:华中工学院出版社, 1987.
- [14] 刘思峰,党耀国,方志耕. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京:科学出版社, 2004: 1-4.
- [15] 龙芳. 芍药的春节催花技术研究及抑制栽培初探[D]. 北京:北京林业大学园林学院, 2007: 14.
- [16] 杨国栋. 季节预报的准最适物候回归模式研究——以北京地区树木物候为例[J]. 首都师范大学学报:自然科学版, 1994, 15(4): 79-84.
- [17] 陈琪,张贯臣,苏金乐. 洛阳牡丹花期预测模型构建与检验[J]. 浙江农业学报, 2013, 25(1): 73-78.
- [18] 孙凡雅,沈向,康鸾,等. 观赏海棠杂交后代萌芽期观察及花期预测的灰色关联度分析[J]. 植物资源与环境学报, 2008, 17(4): 51-54.

(责任编辑:张明霞)