

成都市植物园花灌木的花期多样性特征及其对微气候的响应

The Floral Phenological Diversity of Ornamental Shrubs in Chengdu Botanical Garden and Their Responses to Microclimate

唐 琪¹ 李梦霞² 宗 桦^{1*} 李 秀² 陈文凯²
TANG Qi¹ LI Mengxia² ZONG Hua^{1*} LI Xiu² CHEN Wenkai²

(1.西南交通大学建筑学院, 成都 611756; 2.成都市植物园暨成都市公园城市植物科学研究院, 成都 610083)
(1. School of Architecture, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan, China, 611756; 2. Chengdu Botanical Garden and Chengdu Park City Plant Science Research Institute, Chengdu, Sichuan, China, 610083)

文章编号: 1000-0283(2026)02-0052-09

DOI: 10.12193/j.laing.20250617002

中图分类号: TU986

文献标志码: A

收稿日期: 2025-06-17

修回日期: 2025-08-22

摘 要

花灌木通过其多维生态服务功能(如微调节气候、吸附空气污染物、提供生物栖息地、水土保持等)和景观美学效益,显著提升了绿地生态系统的服务效能与人居环境质量。但在全球气候变暖与城市化进程加速的影响下,花灌木的花期物候已出现提前、延长或紊乱现象,直接威胁城市景观生态系统的稳定性。中国西南地区虽拥有丰富的花灌木物种资源,但其物候特征与气候因子的响应机制尚未开展过系统性研究,导致城市绿化中花灌木的配置策略与气候适应性管理缺乏科学依据。因此,以成都市植物园栽培的201种花灌木为研究对象,通过系统收集其物种组成和花期物候特征(包含始花期、末花期及花期时长)和植物园的微气候数据(温度、日照和湿度),运用Pearson相关性和多元回归分析探讨花期特征与环境因子的关联,挖掘关键影响因子。结果表明,花灌木的花期变化极其丰富,始花期日序主要分布在20~194 d范围内,末花期日序分布在62~363 d范围内。其中,金缕梅科与锦葵科的花灌木分别对应最早与最晚的开花类群。平均花期最短的为冬青科,仅11 d;平均花期最长的是马鞭草科,达到284 d。4月下旬(第110~120 d)是花灌木第一次开花高峰期,10 d之后迎来第二次开花高峰期,第111 d(4月20日)开花种数相对最多,当天的开花灌木占比达到37.81%。相关性分析显示,光照时数和温度是影响花灌木花期变化的关键环境因子。其中,花灌木的日开花丰富度与直射光照时数、日均温和温差呈显著正相关性($p < 0.05$),与散射光照时数呈显著负相关($p < 0.05$)。总体而言,研究既为城市花灌木的科学选种育种和生态适应性管理提供科学依据,也为揭示气候变化背景下植物花期物候的响应机制提供参考。

关键词

植物园; 花灌木; 花期; 多样性; 微气候

Abstract

Ornamental shrubs significantly enhance the service efficiency of green space ecosystems and the quality of human settlements through their multi-dimensional ecological functions (e.g., microclimate regulation, air pollutant adsorption, biodiversity habitat provision, and soil-water conservation) and landscape aesthetic benefits. However, under the influence of global warming and accelerated urbanization, the flowering phenology of ornamental shrubs has shown advances, delays, or disruptions, directly threatening the stability of urban landscape ecosystems. Although Southwest China possesses abundant ornamental shrub species, systematic research on their phenological traits and responses to climatic factors remains lacking, resulting in a lack of scientific basis for urban greening configuration strategies and climate-adaptive management. Therefore, this study investigated 201 cultivated ornamental shrub species in Chengdu Botanical Garden, systematically collecting data on species composition, flowering phenological traits (including initial flowering date, end flowering date, and flowering duration), and microclimatic variables (temperature, solar radiation, and humidity). Pearson correlation and multiple regression analyses were employed to explore the relationships between flowering traits and environmental factors, identifying key influencing variables. The results revealed substantial diversity in flowering phenology. The initial flowering dates (expressed as day of year, DOY) ranged from 20 to 194, while the end flowering dates spanned 62 to 363. Notably, species from Hamamelidaceae and Malvaceae represented the earliest- and latest-flowering groups, respectively. The shortest mean flowering duration (11 days) was observed in Aquifoliaceae, whereas Verbenaceae exhibited the longest (284 days). The first flowering peak occurred in late April (DOY 110 ~ 120), followed by a secondary peak 10 days later. The highest daily flowering richness (37.81% of shrubs in bloom) was recorded on

唐 琪

1999年生/女/四川德阳人/硕士/研究方向
为生态景观与大地修复

李梦霞

1994年生/女/四川长宁人/硕士/研究方向
为园林植物应用

宗 桦

1981年生/女/四川宜宾人/博士/教授/研究
方向为植物生态、乡村景观、乡村生态、园
林植物应用

*通信作者 (Author for correspondence)
E-mail: zonghua@swjtu.edu.cn

DOY 111 (April 20). Correlation analysis indicated that sunlight duration and temperature were the dominant environmental drivers of flowering variation. Specifically, daily flowering richness showed a significant positive correlation ($p < 0.05$) with direct sunlight hours, mean daily temperature, and diurnal temperature range, but a negative correlation ($p < 0.05$) with diffuse sunlight hours. In conclusion, this study provides a scientific basis for species selection, breeding, and adaptive management of urban ornamental shrubs, while contributing to the understanding of plant phenological responses under climate change.

Keywords

botanical garden; flowering shrub; flowering period; diversity; microclimate

灌木的造型多样、色彩丰富，在园林绿化中具有重要的生态价值和景观功能，显著改善城市生态环境^[1,2]。因此，灌木在园林绿化中扮演着极为关键的角色^[3]。其中，花灌木是以观花为主的灌木，株高一般在3 m以下，其以丰富的花色和多样的形态弥补了乔木与地被之间的视觉空白，营造出层次丰富的季相景观^[4]。花灌木具有植株矮小、无明显的主干和根系发达等特征；其花色丰富且花期长，不少花灌木还集观叶、观花和观果为一体^[5]。当前，花灌木已经成为北方城市园林绿化的首选材料^[6]。此外，花灌木发达的根系能固土防沙、减少水土流失，同时通过滞尘^[7]、固碳^[8]、净化空气和蒸腾作用调节局部小气候^[9]，并为传粉昆虫提供蜜源，维护城市生物多样性。其花期长、适应性强、养护成本低的特点，使其成为城市绿化中极具性价比的选择，在生态宜居环境建设中发挥着重要作用。

花期物候是植物生长发育过程与活动规律对气候的反应^[10]，受微气候的显著影响。花灌木的花期物候变化不仅直接影响其生态服务功能和景观应用效果，还会通过调节空气中致敏花粉的分布与浓度进而对人类健康产生重要影响^[11]。对花灌木花期物候的观测可追溯到数千年的中国和罗马^[12]。如李新荣等^[13]连续10年（1987—1997年）观测了中国主要荒漠灌木种在该地区的花期物候特征，发

现开花较早的灌木日照时数要求较高；开花迟的种类其花期相对较长，为人工植被建设奠定了坚实基础。王雷等^[14]记录了重庆市主城区24种灌木的始花期、盛花期和开花持续时间，辅助了园林植物配置和管理。俄罗斯学者^[15]对克里米亚东南部海岸乔灌木物种花期进行了统计分析，指出为满足当地生态与景观需求，必须增加夏季开花灌木的种类与数量。Stawiarz等^[16]对2004—2006年卢布林地区连翘花期进行记录，明确5月下旬为最佳观赏期。Naranjo等^[17]对软紫草属内灌木进行杂交，以培育出长花期及高色彩丰富度的品种提升景观的持久性和视觉吸引力。Hovagimian等^[18]选取高观赏价值的锦带花研究其生态适应性特征，得出其在不同气候区景观设计中的应用前景。以上研究均体现了国内外对花灌木的高度关注，不仅聚焦于花灌木的观赏特性，还探究微气候与其花期的关系，致力于通过科学手段预测花期变化、优化植物配置甚至延长其观赏时期，综合提升其生态、美学和功能价值。

成都市植物园是四川地区灌木的种质资源库，收集了众多乡土和外来品种。为此，本研究通过梳理成都市植物园花灌木的组成、花期特征及其对微气候的响应模式，揭示其在四川地区的花期规律、生态适应性以及观赏特性。研究既可为科学筛选出适合当地环境条件的观赏灌木品种提供依据，又可

为合理配置灌木、打造四季有景的观赏效果提供科学指导。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象概况

成都市植物园隶属于成都市林业和园林管理局，位于成都市北郊天回镇（30° 40′ N，104° E），距市中心14 km，面积42 hm²，具有科研、科普以及景观游憩等三重功能，承担四川地区各类植物的引种、驯育、保护和研究，并向市民传播植物科学知识和环境保护意识^[19]。目前，园内现保存植物超过1 500种，其中灌木多达600余种，本研究重点选取在城市景观营造中常用的201种花灌木作为研究对象，详细记录其种类、花期及生长环境等信息。

1.2 数据收集方法

1.2.1 花灌木花期物候数据调查

采用全面踏查的方式对成都市植物园全域进行花灌木物种调研，覆盖每个专类园区。记录并观察每一种花灌木的分布及开花情况。为了确保各物种花期的准确性，采取每日定点观测的方式，按照特定的顺序行进路线观测每一种花灌木的开花情况，并进行系统记录。观测周期为2024年1月1日—12月31日。根据《国际生物计划》（IBP）制定的植物物候观测指南，以5%数量的花朵开始

绽放定为始花期的临界启动点, 以95%数量的花朵完全凋落定为末花期的临界启动点, 记录各灌木的始末花期。

1.2.2 植物园微气候数据的收集

观测周期内采用JDP3000 孢粉监测仪在植物园科普馆露台处, 持续收集植物园内气象要素数据, 包括空气温度、相对湿度、风速和辐照度等, 数据更新频率为3 min/次, 全年无间歇。

1.3 数据处理方法

采用Excel软件对各灌木花期进行统计, 采用年积日计时方法, 将灌木花期的起止日期统一转换为距当年1月1日的天数, 即2024年1月1日记作日序数为1, 2024年1月2日记作日序数为2, 以此类推。

将所有气象因子数据导入Excel中, 计算植物园2024年的全年日温、日最高温、最低温及日温。根据世界气象组织(WMO)指南要求, 将太阳每天辐射强度等于或超过120 W/m²的时间记为当日直射光照时数, 少于120 W/m²的照射时长为当日散射光照时数。最后运用SPSS和Stata软件探究灌木开花丰富度与各气象因子之间的相关性, 并绘制线性方程。

2 结果与分析

2.1 植物园花灌木的物种组成

成都市植物园共记录到花灌木201种, 隶属于59科123属(表1)。其中, 以荚蒾科(Viburnaceae)所含物种数量最多(图1-a), 为37种, 占全部种数的18.41%; 其次为蔷薇科(Rosaceae)含20种, 占比9.95%; 木樨科(Oleaceae)有11种, 占比5.47%; 豆科(Fabaceae)有9种, 占比4.48%; 绣球科

(Hydrangeaceae)有8种, 占比3.98%; 唇形科(Lamiaceae)和茄科(Solanaceae)均有7种, 各占3.48%; 爵床科(Acanthaceae)、夹竹桃科(Apocynaceae)和杜鹃花科(Ericaceae)均含5种, 各占2.49%; 山茶科(Theaceae)、金丝桃科(Hypericaceae)、忍冬科(Caprifoliaceae)、千屈菜科(Lythraceae)和锦葵科(Malvaceae)均含4种, 各占1.99%; 小檗科(Berberidaceae)、仙人掌科(Cactaceae)、金缕梅科(Hamamelidaceae)、马鞭草科(Verbenaceae)、桑科(Moraceae)、茜草科(Rubiaceae)和桃金娘(Myrtaceae)科均含3种, 各占1.49%; 芸香科(Rutaceae)、野牡丹科(Melastomataceae)、蜡梅科(Calycanthaceae)、山茱萸科(Cornaceae)、海桐科(Pittosporaceae)、菊科(Asteraceae)、冬青科(Aquifoliaceae)和五味子科(Schisandraceae)均含2种, 各占1%; 瑞香科(Thymelaeaceae)、杨梅科(Myricaceae)、鼠刺科(Icacinaeae)等28个科都仅包含1种。

对科内属一级分析(图1-b), 有34个科仅拥有一个属, 占总科数的57.63%, 占总属数的27.64%; 拥有2~5个属的科有22个, 占花灌木总科数的37.29%, 占总属数的50.41%;

拥有6个及以上属的有3个科, 分别为蔷薇科、木樨科和豆科, 共计占总科数的5.08%, 占总属数的21.95%。

分析花灌木的原产地可知, 201种花灌木中有152个种原产自中国, 占总花灌木物种数比例的75.62%, 其中有58种花灌木的产地为四川省, 有49种产自国外, 大部分引自南美洲, 少数引自非洲。

2.2 植物园的花灌木花期物候特征

2.2.1 始末花期分布

绝大部分花灌木的始花期日序位于20~194 d, 占比99.5%, 对应1月下旬至7月上旬之间, 该时间范围涵盖冬季、春季和夏季。其中始花期在春季的灌木最多, 占比为83.09%, 分别为3月占比31.34%、4月占比28.86%、5月占比22.89%。在几个主要科中, 金缕梅科花灌木的始花期最早, 而锦葵科的始花期最晚。

201种花灌木的末花期日序位于62~363 d, 对应为3月初至12月末之间, 即从春季初历经夏秋季直至冬季末期。对于各科的开花灌

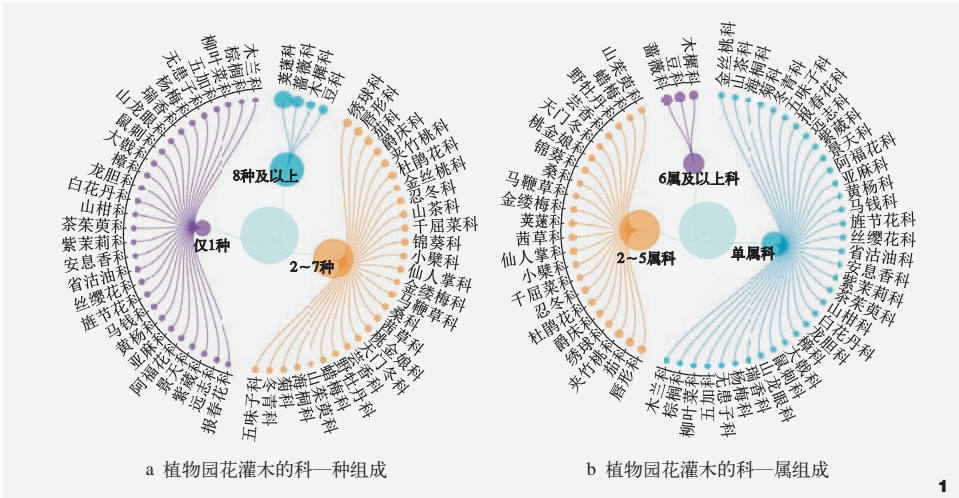


图1 植物园花灌木的物种组成
Fig. 1 Species composition of flowering shrubs in the botanical garden

表1 201种花灌木的基本信息
Tab. 1 Basic information of 201 flowering shrubs

序号 No.	科 Species	种 Family
1	蔷薇科	石斑木 (<i>Raphiolepis indica</i>)、北美海棠 (<i>Malus</i> ‘American’)、石楠 (<i>Photinia serratifolia</i>)、球花石楠 (<i>Photinia glomerata</i>)、月季 (<i>Rosa chinensis</i>)、粉团蔷薇 (<i>Rosa multiflora</i> var. <i>cathayensis</i>)、红果树 (<i>Stranvaesia davidiana</i>)、绣线菊 (<i>Spiraea salicifolia</i>)、粉花绣线菊 (<i>Spiraea japonica</i>)、渐尖粉花绣线菊 (<i>Spiraea japonica</i> var. <i>acuminata</i>)、麻叶绣线菊 (<i>Spiraea cantoniensis</i>)、珍珠绣线菊 (<i>Spiraea thunbergii</i>)、中华绣线菊 (<i>Spiraea chinensi</i>)、粉叶栒子 (<i>Cotoneaster glaucophyllus</i>)、光叶栒子 (<i>Cotoneaster glabratus</i>)、钟花樱桃 (<i>Prunus campanulata</i>)、棣棠 (<i>Kerria japonica</i>)、紫叶李 (<i>Prunus cerasifera</i> ‘Atropurpurea’)、火棘 (<i>Pyracantha fortuneana</i>)、贴梗海棠 (<i>Chaenomeles speciosa</i>)
2	木樨科	小蜡 (<i>Ligustrum sinense</i>)、小叶女贞 (<i>Ligustrum quihoui</i>)、金森女贞 (<i>Ligustrum japonicum</i> ‘Howardii’)、银姬小蜡 (<i>Ligustrum sinense</i> var. <i>variegatum</i>)、迎春花 (<i>Jasminum nudiflorum</i>)、茉莉 (<i>Jasminum sambac</i>)、白丁香 (<i>Syringa oblata</i> ‘Alba’)、丁香 (<i>Syringa oblata</i>)、雪柳 (<i>Fontanesia philliraeoides</i> var. <i>fortunei</i>)、探春 (<i>Chrysojasminum floridum</i>)、金钟花 (<i>Forsythia viridissima</i>)
3	英茱科	地中海英茱 (<i>Viburnum tinus</i>)、皱叶英茱 (<i>Viburnum rhytidophyllum</i>)、短序英茱 (<i>Viburnum brachybotryum</i>)、衡山英茱 (<i>Viburnum hengshanicum</i>)、琉球英茱 (<i>Viburnum suspensum</i>)、漾濞英茱 (<i>Viburnum chingii</i>)、短筒英茱 (<i>Viburnum brevityubum</i>)、吕宋英茱 (<i>Viburnum luzonicum</i>)、樟叶英茱 (<i>Viburnum cinnamomifolium</i>)、细梗淡红英茱 (<i>Viburnum erubescens</i>)、腾越英茱 (<i>Viburnum tengyuehense</i>)、沟核茶英茱 (<i>Viburnum setigerum</i>)、衡阳英茱 (<i>Viburnum hengshanicum</i>)、琼花 (<i>Viburnum keteleeri</i>)、蝴蝶英茱 (<i>Viburnum hanceanum</i>)、聚花英茱 (<i>Viburnum glomeratum</i>)、鸡树条英茱 (<i>Viburnum opulus</i> subsp. <i>Calvescens</i>)、蝶花英茱 (<i>Viburnum hanceanum</i>)、鳞斑英茱 (<i>Viburnum punctatum</i>)、宜昌英茱 (<i>Viburnum erosum</i>)、陕西英茱 (<i>Viburnum schensianum</i>)、雪球 (<i>Viburnum plicatum</i>)、英茱 (<i>Viburnum dilatatum</i>)、水红木 (<i>Viburnum cylindricum</i>)、光果英茱 (<i>Viburnum leiocarpum</i>)、台东英茱 (<i>Viburnum taitoense</i>)、欧洲英茱 (<i>Viburnum opulus</i>)、金佛山英茱 (<i>Viburnum chinshanense</i>)、烟管英茱 (<i>Viburnum utile</i>)、湖北英茱 (<i>Viburnum betulifolium</i>)、茶英茱 (<i>Viburnum setigerum</i>)、南方英茱 (<i>Viburnum fordiae</i>)、桦叶英茱 (<i>Viburnum betulifolium</i>)、三叶英茱 (<i>Viburnum ternatum</i>)、珊瑚树 (<i>Viburnum odoratissimu</i>)、毛枝金腺英茱 (<i>Viburnum chunii</i>)、接骨木 (<i>Sambucus williamsii</i>)
4	豆科	细叶粉扑花 (<i>Calliandra brevipes</i>)、金雀儿 (<i>Cytisus scoparius</i>)、紫穗槐 (<i>Amorpha fruticosa</i>)、胡枝子 (<i>Lespedeza bicolor</i>)、锈毛槐 (<i>Sophora prazeri</i>)、双荚决明 (<i>Senna bicapsularis</i>)、紫荆 (<i>Cercis chinensis</i>)、花木蓝 (<i>Indigofera kirilowii</i>)、密毛小雀花 (<i>Campyloptropis polyantha</i>)
5	绣球科	栎叶绣球 (<i>Hydrangea quercifolia</i>)、绣球 (<i>Hydrangea macrophylla</i>)、常山 (<i>Dichroa febrifuga</i>)、玫瑰珍珠溲疏 (<i>Deutzia scabra</i>)、宁波溲疏 (<i>Deutzia ningpoensis</i>)、溲疏 (<i>Deutzia scabra</i>)、长叶溲疏 (<i>Deutzia longifolia</i>)、川溲疏 (<i>Deutzia scabra</i>)
6	唇形科	蓝蝴蝶 (<i>Rotheca myricoides</i>)、艾氏香茶菜 (<i>Plectranthus ecklonii</i>)、穗花牡荊 (<i>Vitex agnus-castus</i>)、牡荊 (<i>Vitex negundo</i> var. <i>cannabifolia</i>)、杜虹花 (<i>Callicarpa pedunculata</i>)、华紫珠 (<i>Callicarpa cathayana</i>)、臭牡丹 (<i>Clerodendrum bungei</i>)
7	爵床科	珊瑚花 (<i>Justicia carnea</i>)、鸭嘴花 (<i>Justicia adhatoda</i>)、日本马蓝 (<i>Strobilanthes japonica</i>)、紫叶马蓝 (<i>Strobilanthes anisophyllum</i>)、喜花草 (<i>Eranthemum pulchellum</i>)
8	茄科	夜香树 (<i>Cestrum nocturnum</i>)、毛茛夜香树 (<i>Cestrum nocturnum</i>)、鸳鸯茉莉 (<i>Brunfelsia brasiliensis</i>)、大花木曼陀罗 (<i>Brugmansia suaveolens</i>)、蓝花茄 (<i>Lycianthes rantonnetii</i>)、素馨叶白英 (<i>Solanum laxum</i>)、珊瑚豆 (<i>Solanum pseudocapsicum</i>)
9	夹竹桃科	沙漠玫瑰 (<i>Adenium obesum</i>)、狗牙花 (<i>Tabernaemontana divaricata</i>)、夹竹桃 (<i>Nerium oleander</i>)、萝芙木 (<i>Rauvolfia verticillata</i>)、黄蝉 (<i>Allamanda schottii</i>)
10	杜鹃花科	映山红 (<i>Rhododendron simsii</i>)、大白杜鹃 (<i>Rhododendron decorum</i>)、羊躑躅 (<i>Rhododendron molle</i>)、灯笼树 (<i>Enkianthus chinensis</i>)、樟叶越橘 (<i>Enkianthus chinensis</i>)
11	忍冬科	蒹荑花 (<i>Abelia uniflora</i>)、六道木 (<i>Zabelia biflora</i>)、日本锦带花 (<i>Weigela japonica</i>)、金亮锦带花 (<i>Weigela florida</i> ‘Goldrush’)
12	小檗科	十大功劳 (<i>Mahonia fortunei</i>)、南天竹 (<i>Nandina domestica</i>)、汉源小檗 (<i>Berberis bergmanniae</i>)
13	桃金娘科	垂枝红千层 (<i>Melaleuca viminalis</i>)、粉花红千层 (<i>Callistemon rigidus</i>)、轮叶蒲桃 (<i>Syzygium grijsii</i>)
14	仙人掌科	昙花 (<i>Epiphyllum oxypetalum</i>)、胭脂掌 (<i>Opuntia cochenillifera</i>)、狂刺金琥 (<i>Kroenleinia grusonii</i> ‘Intertextus’)
15	山茶科	钟萼连蕊茶 (<i>Camellia cuspidata</i> var. <i>chekiangensis</i>)、长瓣短柱茶 (<i>Camellia grijsii</i>)、杜鹃叶山茶 (<i>Camellia azalea</i>)、直脉金花茶 (<i>Camellia petelotii</i>)
16	金丝桃科	浆果金丝桃 (<i>Hypericum androsaemum</i>)、纤枝金丝桃 (<i>Hypericum lagarocladum</i>)、金丝梅 (<i>Hypericum patulum</i>)、金丝桃 (<i>Hypericum monogynum</i>)
17	马鞭草科	马缨丹 (<i>Lantana camara</i>)、假连翘 (<i>Duranta erecta</i>)、金叶假连翘 (<i>Duranta erecta</i> ‘Golden Leaves’)
18	千屈菜科	紫薇 (<i>Lagerstroemia indica</i>)、福建紫薇 (<i>Lagerstroemia limii</i>)、石榴 (<i>Punica granatum</i>)、细叶雪茄花 (<i>Cuphea hyssopifolia</i>)
19	锦葵科	悬铃花 (<i>Malvaviscus arboreus</i>)、海滨木槿 (<i>Hibiscus hamabo</i>)、木芙蓉 (<i>Hibiscus mutabilis</i>)、金铃花 (<i>Abutilon pictum</i>)
20	金缕梅科	四川蜡瓣花 (<i>Corylopsis willmottiae</i>)、瑞木 (<i>Corylopsis multiflora</i>)、红花檵木 (<i>Loropetalum chinense</i> var. <i>rubrum</i>)
21	茜草科	梔子 (<i>Gardenia jasminoides</i>)、水团花 (<i>Adina pilulifera</i>)、玉叶金花 (<i>Mussaenda pubescens</i>)
22	桑科	桑 (<i>Morus alba</i>)、华桑 (<i>Morus cathayana</i>)、构 (<i>Broussonetia papyrifera</i>)

接上表

序号 No.	科 Species	种 Family
23	野牡丹科	巴西野牡丹 (<i>Tibouchina semidecandra</i>)、野牡丹 (<i>Melastoma malabathricum</i>)
24	海桐科	海桐 (<i>Pittosporum tobira</i>)、柄果海桐 (<i>Pittosporum podocarpum</i>)
25	芸香科	柠檬 (<i>Citrus × limon</i>)、白花花椒 (<i>Zanthoxylum bungeanum</i>)
26	天门冬科	凤尾丝兰 (<i>Yucca gloriosa</i>)、非洲天门冬 (<i>Asparagus densiflorus</i>)
27	蜡梅科	夏蜡梅 (<i>Calycanthus chinensis</i>)、蜡梅 (<i>Chimonanthus praecox</i>)
28	冬青科	枸骨 (<i>Ilex cornuta</i>)、全缘冬青 (<i>Ilex integra</i>)
29	五味子科	八角 (<i>Illicium verum</i>)、红花八角 (<i>Illicium dunnianum</i>)
30	山茱萸科	八角枫 (<i>Alangium chinense</i>)、山茱萸 (<i>Camellia azalea</i>)
31	菊科	迷迭香叶米花菊 (<i>Ozothamnus rosmarinifolius</i>)、澳洲米花 (<i>Ozothamnus diosmifolius</i>)
32	报春花科	矮紫金牛 (<i>Ardisia humilis</i>)
33	远志科	远志 (<i>Polygala tenuifolia</i>)
34	紫葳科	毛子角蒿 (<i>Incarvillea sinensis</i>)
35	景天科	白凤 (<i>Echeveria 'Hakuhou'</i>)
36	阿福花科	僧帽芦荟 (<i>Aloe perfoliata</i>)
37	亚麻科	石海椒 (<i>Reinwardtia indica</i>)
38	黄杨科	野扇 (<i>Sarcococca ruscifolia</i>)
39	马钱科	醉鱼草 (<i>Buddleja lindleyana</i>)
40	旌节花科	中国旌节花 (<i>Stachyurus chinensis</i>)
41	丝缨花科	桃叶珊瑚 (<i>Aucuba chinensis</i>)
42	省沽油科	省沽油 (<i>Staphylea bumalda</i>)
43	安息香科	大花野茉莉 (<i>Styrax grandiflorus</i>)
44	紫茉莉科	光叶子花 (<i>Bougainvillea glabra</i>)
45	茶茱萸科	马比木 (<i>Nothapodytes pittosporoides</i>)
46	山柑科	台湾鱼木 (<i>Crateva formosensis</i>)
47	白花丹科	岷江蓝雪花 (<i>Ceratostigma willmottianum</i>)
48	龙胆科	灰莉 (<i>Fagraea ceilanica</i>)
49	樟科	四川山胡椒 (<i>Lindera setchuenensis</i>)
50	大戟科	云南土沉香 (<i>Excoecaria acerifolia</i>)
51	鼠刺科	鼠刺 (<i>Itea chinensis</i>)
52	山龙眼科	红花银桦 (<i>Grevillea banksii</i>)
53	瑞香科	结香 (<i>Edgeworthia chrysantha</i>)
54	杨梅科	杨梅 (<i>Morella rubra</i>)
55	无患子科	羽毛槭 (<i>Acer palmatum</i> var. <i>dissectum</i>)
56	五加科	鹅掌柴 (<i>Heptapleurum heptaphyllum</i>)
57	柳叶菜科	倒挂金钟 (<i>Fuchsia hybrida</i>)
58	棕榈科	棕竹 (<i>Rhapis excelsa</i>)
59	木兰科	含笑花 (<i>Michelia figo</i>)

木而言，冬青科花灌木的花期平均结束时间最早，锦葵科花灌木末花期最晚。结合花灌木始末花期时间分析可知春季既有大量花灌木开始开花，同时又有大量已开花灌木的花朵凋落，如此一来春季开花高峰期能持续整个春季而不间断。其次，有32.84%的花灌木

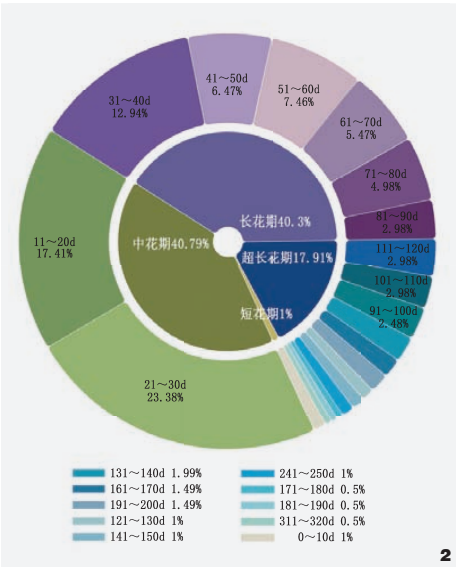


图2 不同花期长度的灌木占比
Fig. 2 Distribution of shrub species by flowering phenology duration

末花期出现在夏季，其中包含部分能在春季开花且花期能持续至夏季的花灌木。夏季部分花灌木的花期也延续至秋季，直至凋零。冬季少有花灌木处于末花期，其原因在于随着季节更替，进入花期的花灌木愈发减少，而在秋季开花的花灌木少于在秋季进入末花期的种类，因而末花期持续到秋季时期的开花灌木也急剧减少，仅有1%。

2.2.2 花期长度分析

植物园花灌木的花期跨度各异，59个科中花期最短的为冬青科，仅11 d；其余平均花期不足30 d的有五福花科、绣球科、海桐科、芸香科等15个科；平均花期最长的是马鞭草科，达到284 d，持续开花超过9个月。

根据花期长短将其划分为4类：花期在10 d以内的为短花期，处于11 ~ 30 d的为中花期，处于31 ~ 90 d的为长花期，花期超过90 d的为超长花期。如图2所示，在201个灌

木中, 中、长花期物种占绝对优势, 分别占比为 40.79% 和 40.3%, 绝大多数花灌木的花期在 10 ~ 90 d 内, 集中于 21 ~ 30 d。花期在 10 d 以下的灌木有桑和全缘冬青。有 17.91% 的花灌木拥有超长花期, 大多分布在 100 ~ 200 d 范围内, 仅有 0.5% 的物种的花期超过 300 d。其中, 马缨丹开花持续时间最长, 达到 311 d, 其次是光叶子花 (247 d) 和悬铃木 (246 d)。

2.3 植物园的花灌木开花物种丰富度与微气候因子的关系

2.3.1 植物园花灌木四季开花丰富度

依托于花灌木的花期时间可以统计出植物园内每日开花灌木种数。以日序为横轴, 每日开花灌木种数占比为纵轴, 将开花灌木随季节、月份及日期变化的动态趋势绘制成图 3。如图可得出, 大多数灌木集中在春季开花, 开花物种数量呈上升趋势。春季中的 4 月下旬 (第 110 ~ 120 d) 是第一次开花高峰期, 10 d 之后迎来第二次开花高峰期, 表明植物园花灌木在 4 月下旬至 5 月初开花最为密集, 在第 111 d (4 月 20 日) 开花种数相对最多, 当天的开花灌木占比达到 37.81%。从冬季的后半段开始, 植物园内开花灌木物种数逐日增多, 到春季初期增速变大直至到达春季开花最高峰时期, 4 月底有短暂的下降随后达到第二次开花峰值, 进入夏季以后开花物种呈现下降趋势, 在 6 月下旬下降趋势变大至秋冬交替时趋于平稳。

2.3.2 植物园的微气候分析

对植物园 2024 年全年日温、日最高温、最低温及温差 (图 4) 分析表明, 全年均温在 1.06 ~ 33.76 °C 之间, 日均温的最低值 (1 ~ 2 °C) 出现在年初 (0 ~ 50 d) 和年末 (325 ~ 366 d)。而最高值则出现在年中

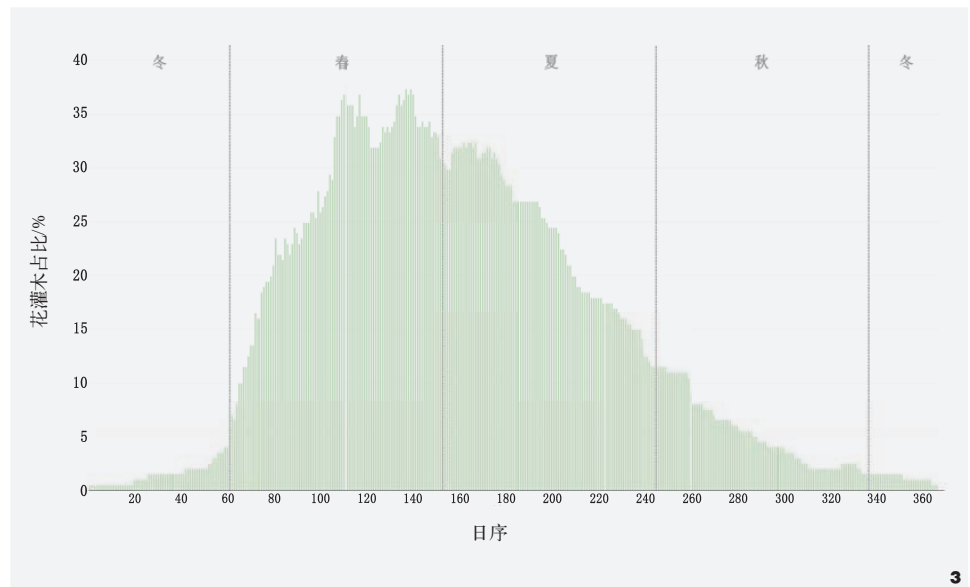


图3 花灌木花期变化趋势图
Fig. 3 Trend analysis of flowering phenological changes in ornamental shrubs

(150 ~ 250 d), 表明植物园气候具有明显的四季变化, 冬季寒冷, 夏季炎热。

最高温的变化趋势与日均温相似, 但波动幅度更大, 年最冷日在第 24 日, 日最高温度仅 2.6 °C, 冬季日最高温在 12 月初, 为 16.7 °C, 夏季日最高温可达到 40.17 °C, 最高温的峰值频繁出现在 220 ~ 255 d 区间段, 夏季的高温天气极为显著。最低温的变化趋势较日均温幅度小, 冬季最低温接近 0 °C, 而在夏季最低温可达到 29 °C, 但夏季最低温波动性较全年更加平缓, 说明夏季夜间气温变化较小。总体而言, 植物园冬季温差较小, 大部分不足 10 °C, 最低温差仅 0.8 °C, 冬季的气温变化较为稳定; 夏季温差较大, 最高达到 17.7 °C, 气温变化较为剧烈。

植物园 2024 全年日均光强范围介于 7.06 ~ 249.77 W/m² (图 4)。从变化趋势来看, 冬末春初光照强度在循环往复之间逐渐升高, 在春夏季节达到高峰, 每日日间光照强度超过 120 W/m² 的时数 (直射光照时数) 也

在波动性上涨, 夏末秋初波动性下降, 秋冬季则波动相对较小。日均光照强度在一年中的变化较为复杂且波动性呈现一定的规律性, 春末 (130 ~ 155 d) 的日均光照强度波动性强, 夏季中期日均光强的持续走低, 均可来源于突然的降雨天气。

全年光照时长呈现明显的季节性变化。其中 1 月日均光照时长在 11 h 左右, 随春季来临光照时长逐渐延长至 12 h。进入 4 月之后增加至 13 h/日, 随后继续增长直至 8 月下旬, 长达到 14 h。当季节向秋季过渡, 10 月份日均时长稳定在 10 h 左右。用日间光照时长减去日间直射光照时数, 得到当日散射光照射时长 (图 4), 散射光照射时长在冬季和春季初期增多、占据主导地位, 从 4 月开始至 8 月太阳直射光照逐渐成为主导因素。

植物园全年空气湿度变化趋势如图 4 所示, 全年相对湿度在 50% ~ 90%, 春季初期空气湿度在 60% ~ 75%, 4 月初至 5 月空气湿度在 57% ~ 80%, 6 月中期空气湿度回升并维

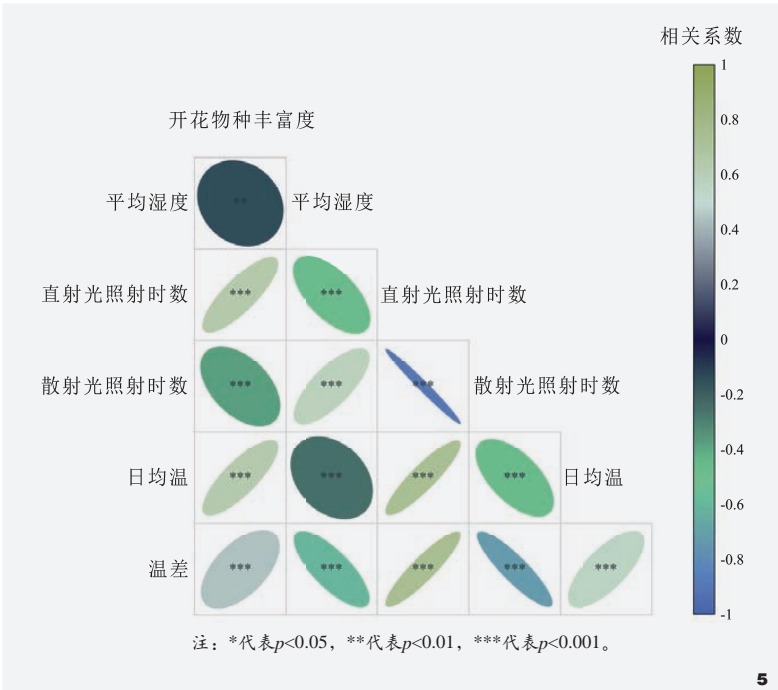
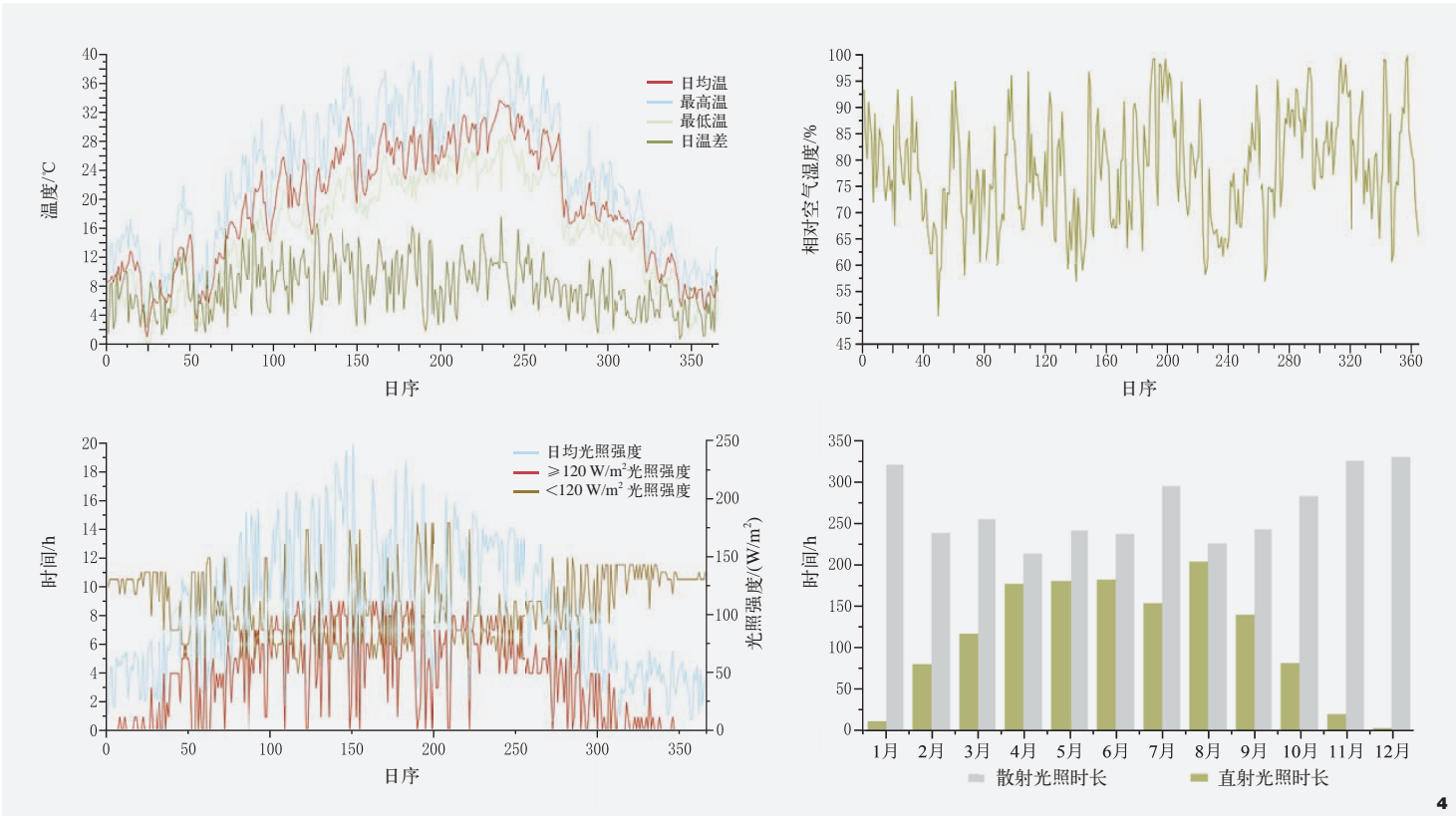


图4 成都市植物园全年气象因子统计图

Fig. 4 Statistical analysis of annual meteorological factors in Chengdu Botanical Garden

图5 日开花的花灌木物种丰富度与微气候因子的相关性分析

Fig. 5 Analysis of the correlation between daily species richness of flowering shrubs and microclimate factors

持在较高水平，冬季末期空气湿度由85%降至55%。全年相对湿度在70%~80%的天数最多，达到118天。空气湿度在90%以上的时间仅占全年天数的14.21%。

2.3.3 相关性分析

Pearson相关性分析表明(图5)，成都市植物园花灌木开花丰富度与直射光照时数、日均温和温差呈显著正相关性($p < 0.05$)，即开花物种丰富度随直射光照时数、日均温以及温差的增加而增加。日开花丰富度与散射光照时数呈显著负相关($p < 0.05$)，即随着散射光照时数和湿度的增加而降低，拟合的线性公式见图6。

3 结论与讨论

开花是植物生命周期中的重要阶段，花期物候的变化会影响植物的繁殖与进化、种间竞争、植物群落中的共生关系以及整个生态系统的稳定性^[20]。在气候变化的

背景下,已有大量研究探讨了花期物候学的变化,但这些研究尚未获得较为一致的结论。如部分研究发现,美国^[21]和欧洲^[22]多个地点的众多植物首次开花日期显著提前。也有研究发现同一地点的部分物种出现开花日期推迟^[23,24]。在中国,过去30—60年间,许多地区的植物花期物候均出现提前趋势^[25,26]。遗憾的是,已有研究主要聚焦于乔木和草本植物(草花),这是由于草花通常生命周期短、花期明显,易于观察,且常用于城市绿化、园艺观赏,经济价值高,研究需求大;而乔木具有更高的生态价值(固碳、遮阴等)和景观价值,其花期变化对气候响应敏感。灌木,通常介于草本和乔木之间,生态功能和观赏价值虽重要,但容易被忽略,且许多野生灌木分布零散,长期监测成本较高,或被视为“演替中间阶段”,而非稳定群落,导致研究持续性不足。

为此,本研究聚焦中国西部地区重要植物园中培育的花灌木的花期多样性,发现成都市植物园花灌木的始花期覆盖冬季、春季和夏季,主要集中在1月下旬至7月上旬。金缕梅科的始花期最早,锦葵科始花期最晚。末花期则从3月初延续至12月末,冬青科的末花期最早,锦葵科的末花期最晚。春季是花灌木开花和凋落的高峰期,花期持续整个春季;夏季有32.84%的灌木末花期延续至秋季,而冬季末花期的灌木较少,这归因于秋季开花灌木数量少。花灌木中,花期超过30 d的仅占58.21%,短于王雷等^[14]观察到的花乔木的花期长度(30~306 d)。此外,植物园的绝大部分(99.5%)花灌木的始花期日序位于20~194 d,3月和4月始花期的物种合计占比超过60%,远早于重庆的灌木初花平均年日(全年第130 d,5月中旬)^[14]。

花灌木的花期多样性分布特征也反映了

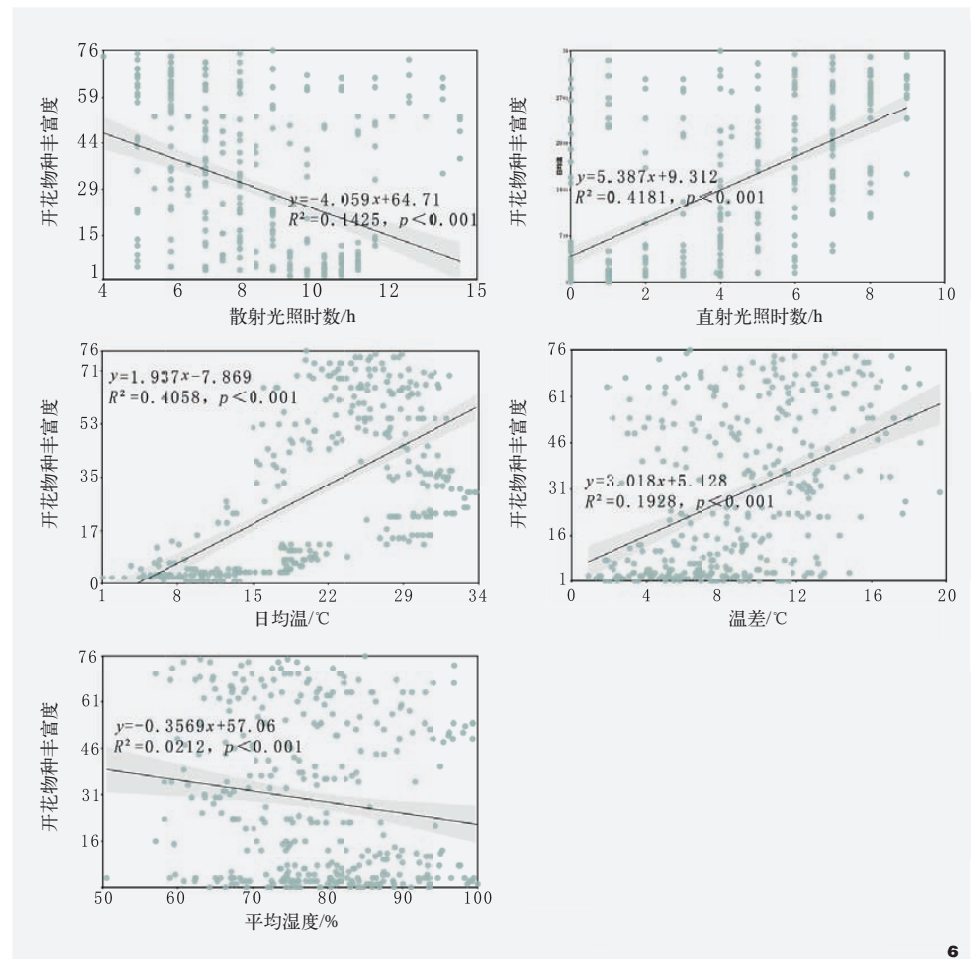


图6 日开花的花灌木物种丰富度与微气候因子间的线性关系

Fig. 6 Linear relationship between daily species richness of flowering shrubs and microclimate factors

植物对环境适应性的差异。春季是花灌木开花和凋落的高峰期,其丰富的开花物种数量可能与春季气候温和、光照充足有关,为花灌木提供了良好的生长和繁殖条件。部分花灌木的花期从夏季延续至秋季,表明其具有较强的适应性和耐受性,能够在夏季高温和秋季逐渐降温的环境中维持较长的花期。而冬季末花期的花灌木稀少与冬季低温、光照不足等环境条件密切相关。植物园中极为缺乏秋季开花的花灌木,亟须从乡土植物中广泛选育并应用到城市园林中。相关性分析表

明,花灌木的开花丰富度与直射光照时数、日均温和温差呈显著正相关,而与散射光照时数呈显著负相关,由相关系数可知,湿度因子对植物园花灌木开花丰富度影响较低,且不同科、属的花灌木对环境因子的响应存在较大差异,这种分异可能源于植物物候策略与光合产物分配机制的协同进化。

总体而言,本文是国内较为稀缺的灌木花期研究成果,可为揭示灌木物候变化规律提供重要基础。后续研究将结合光合参数测定与激素动态监测,以揭示微观生理机制驱

动花灌木开花格局的形成路径。并进一步探讨不同类型花灌木，如早花或者晚花、生长习性（木质藤本类、乔木类和竹类）的花期对环境因子的适应机制，辅助更好地预测各类花灌木对气候变化的响应。

注：文中图表均由作者绘制。

参考文献

[1] 王华. 太原市常见花灌木品种及在园林绿化中的应用[J]. 现代园艺, 2025, 48(02): 141-143.

[2] 韩文跃, 盖帅孜, 刘增文, 等. 陕西省关中地区城市绿化灌木的景观与生态服务功能调查分析[J]. 水土保持通报, 2023, 43(03): 61-68.

[3] 刘骥, 周心怡. 基于GIS模型的地域性灌木园林景观空间平衡性布局最优规划仿真[J]. 林业调查规划, 2024, 49(03): 176-181.

[4] 梁同军, 唐山, 李晓花, 等. 庐山植物园花灌木植物及园林应用[J]. 北方园艺, 2015(02): 74-78.

[5] 李作文, 汤天鹏. 中国园林树木[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2008.

[6] 马晓玲. 花灌木在北京地区园林绿化中的应用[J]. 现代园艺, 2025(08): 140-141.

[7] 恩卡尔·沙德克别克, 凯丽比努尔·努尔麦提, 阿丽亚·拜都热拉. 乌鲁木齐市常见绿化树种叶片滞尘量时空变化规律[J]. 生态学杂志, 2025, 44(07): 2185-2192.

[8] 朱俊文, 周伟, 吴宝成, 等. 南京市常用乔灌木植物固碳能力比较分析[J]. 中国野生植物资源, 2025, 44(03): 50-56.

[9] 赵鑫田, 陈开超, 李淳睿, 等. 荒漠灌木与城市绿化灌木功能性状及其对夏季热浪响应机理的差异[J]. 生态学报, 2024, 44(07): 2837-2848.

[10] 王耀琳. 民勤沙区70种植物的物候观测分析[J]. 甘肃林业科技, 1992, 17(04): 40-50.

[11] ZIELLO C, SPARKS T H, ESTRELLA N, et al. Changes to Airborne Pollen Counts Across Europe[J]. PLoS One, 2012, 7(04): e34076.

[12] 祝宁, 江洪, 金永岩. 中国东北天然次生林主要树种的物候研究[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1990, 14(04): 336-349.

[13] 李新荣, 张景光, 李玉俊, 等. 我国北方荒漠化地区主要灌木种的物候学研究[J]. 自然资源学报, 1999, 14(02): 128-134.

[14] 王雷, 李玲莉, 王海洋, 等. 重庆市46种木本园林植物不同生长型对开花物候的效应[J]. 西南大学学报(自

然科学版), 2020, 42(11): 86-94.

[15] KLIMENKO N I, POTAPENKO I L, KLIMENKO. Summer-flowering Trees and Shrubs in Landscaping for the South-eastern Coast of the Crimea[J]. South of Russia: Ecology, Development, 2021, 16(01): 6-16.

[16] STAWIARZ E, WRÓBLEWSKA A. Flowering Dynamics and Pollen Production of *Laburnum anagyroides* Med. Under the Conditions of South-eastern Poland[J]. Journal of Apicultural Science, 2013, 57(02): 103-115.

[17] NARANJO L L, ROBACKER C D. *Kolkwitzia × abelia*: A New *Abelia* Hybrid with Ornamental Potential?[J]. HortScience, 2022, 57(07): 774-776.

[18] HOVAKIMYAN Z H, MURADYAN N N, GAT-RCHYAN G M, et al. Adaptability and Prospects for the Use of Introduced Representatives of the Genus *Weigela* in Different Climatic Conditions[J]. Regulatory Mechanisms in Biosystems, 2024, 15(03): 522-526.

[19] 汪晓婷. 植物园景观规划设计研究——以成都植物园为例[D]. 成都: 西南交通大学, 2018.

[20] SONG C Y, ZHANG L, JIA Y, et al. Phylogenetic Relatedness and Plant Traits Influenced Flowering Phenology Change Patterns in Natural Habitats in China (2003-2021)[J]. BMC Plant Biology, 2025, 25(01): 654.

[21] ABU-ASAB M S, PETERSON P M, SHETLER S G, et al. Earlier Plant Flowering in Spring as a Response to Global Warming in the Washington, D. C. Area[J]. Biodiversity & Conservation, 2001, 10(04): 597-612.

[22] MENZEL A, YUAN Y, MATIU M, et al. Climate Change Fingerprints in Recent European Plant Phenology[J]. Global Change Biology, 2020, 26(04): 2599-2612.

[23] AHAS R, AASA A, MENZEL A, et al. Changes in European Spring Phenology[J]. International Journal of Climatology, 2002, 22(14): 1727-1738.

[24] TEMPL B, TEMPL M, FILZMOSER P, et al. Phenological Patterns of Flowering Across Biogeographical Regions of Europe[J]. International Journal of Biometeorology, 2017, 61(07): 1347-1358.

[25] DAI J H, WANG H J, GE Q S. Multiple Phenological Responses to Climate Change Among 42 Plant Species in Xi'an, China[J]. International Journal of Biometeorology, 2013, 57(05): 749-758.

[26] 杨子琼, 屈志强, 田磊, 等. 内蒙古荒漠草原典型植物物候对增温和氮添加的响应[J]. 草业科学, 2025, 42(10): 2455-2465.