网络出版时间:2025-09-10 DOI:10.13207/j.jnwafu.2026.03.003

25 个观赏海棠品种的引种适应性和观赏价值评价

任璞玉[1],张艳文[1],胡毅飞[2],吴晓军[2],李菲[1],刘伟超[1],张开明[1]
(1 河南农业大学 风景园林与艺术学院,河南 郑州 450002;2 西平县林业发展服务中心,河南 驻马店 463900)

[摘 要] 【目的】研究不同品种观赏海棠引种到河南郑州地区后的生长状况和开花性状,并进行观赏价值评价,以筛选出适宜当地广泛栽培的优良观花品种。【方法】选择 5~6 年树龄的 25 个观赏海棠品种,在郑州地区进行引种试验。通过比较不同海棠品种的株高、枝下高、一级分枝角度等判断树体生长势;观测春季萌芽和开花物候期,判断观赏海棠适应能力;观测花径、花型和花量,比较观赏海棠的花形态特征;采用 RHSCC 比色卡与色差仪结合的方法,分析观赏海棠在 4 个开花时期的花色变化;基于层次分析法,采用花期、开花始期、花色、花量、花型、株高、树形和生长势共 8 个评价因子,对 25 种观赏海棠进行引种适应性和观赏价值评价。【结果】25 个观赏海棠品种引种后能够在郑州地区正常生长,除'鲁道夫'生长势较差外,其余品种均生长良好。品种间物候期差异较大,除'金色雨点'引种后 2 年内没有开花、'主教'和'玫瑰柱'引种第 1 年(2022 年)未开花外,其余品种均正常开花。根据开花始期可将观赏海棠分为 7 个早花品种、12 个中花品种和 5 个晚花品种,观赏海棠均能在 3 月底到 4 月中旬进入开花盛期,引种第 2 年(2023 年)花期比第 1 年长 3~5 d,最长花期可达 23 d。多数观赏海棠为单瓣花,仅'白兰地'和'科里'为重瓣花;开花初期花色可分为红色系、粉色系和白色系,但随着开花时期的推进花色逐渐变浅。通过层次分析法对观赏海棠引种适应性和观赏价值进行综合评价,'塞尔科'等 4 种观赏海棠综合评分大于 4,确定其等级为Ⅰ级。【结论】'塞尔科'、'高峰'、'皇家美人'和'多花'的生长势旺盛,观赏价值高,且对郑州地区的环境适应性好,可作为该地区主要观赏海棠品种推广栽培。

[关键词] 观赏海棠;引种试验;物候期;观赏特性;适应性;层次分析法
[中图分类号] S661.4 [文献标志码] A [文章编号] 1671-9387(2026)03-0019-16

Introduction adaptability and ornamental value evaluation of 25 ornamental crabapple varieties

REN Puyu[1],ZHANG Yanwen[1],HU Yifei[2],WU Xiaojun[2],LI Fei[1],
LIU Weichao[1],ZHANG Kaiming[1]
(1 *College of Landscape Architecture and Art,Henan Agricultural University,Zhengzhou,Henan* 450002,*China*;
2 *Xiping County Forestry Development Service Center,Zhumadian,Henan* 463900,*China*)

Abstract:【Objective】This research aimed to study the growth status and flowering characteristics of different varieties of ornamental crabapple introduced to Zhengzhou,Henan province,and evaluate their ornamental value,to screen out excellent flowering varieties suitable for widespread cultivation locally.【Method】25 varieties of ornamental crabapple trees at the age of 5 to 6 years were selected for introduction trials in the Zhengzhou area. The growth potential of different crabapple varieties was determined by comparing data such as plant height,branch height and primary branch angle. The adaptability of the orna-

[收稿日期] 2024-12-03 [修回日期] 2025-01-15
[基金项目] 河南农业大学、西平县校地合作项目"海棠资源调查研究"(30801928);河南农业大学观赏海棠省级林木种质资源建设项目(30603268)
[作者简介] 任璞玉(2000—),女,河南洛阳人,在读硕士,主要从事风景园林植物资源与应用研究。E-mail:renpuyu736@163.com
[通信作者] 张开明(1978—),女,河南郑州人,教授,博士,博士生导师.主要从事园林观赏植物应用研究。
E-mail:K.M.Zhang@henau.edu.cn

mental crabapple was judged by observing the spring germination and flowering phenology. The flower morphology characteristics of ornamental crabapple were compared by observing the flower diameter, flower shape and flower quantity. The color change of the flowers during the four flowering periods of the ornamental crabapple was analyzed by the RHSCC color comparison card combined with a colorimeter. Based on the Analytic Hierarchy Process, eight evaluation factors including flowering period, initial flowering stage, flower color, flower quantity, flower shape, plant height, tree form, and growth vigor were used to evaluate the introduction adaptability and ornamental value of 25 ornamental crabapples.【Result】25 varieties of ornamental crabapple were able to grow normally in the Zhengzhou area after introduction. Except for *Malus* 'Rudolph', which had poor growth potential, the rest of the varieties showed great growth condition. There were significant differences in the phenological phases among varieties. Except for *Malus* 'Golden Raindrop', which did not flower in the two years after introduction, and *Malus* 'Cardinal' and *Malus* 'Velvet Pillar', which did not flower in the first year (2022), the rest of the varieties flowered normally. Based on the early flowering stage, the ornamental crabapple varieties could be divided into three groups: early-flowering group (7 varieties), mid-flowering group (12 varieties) and late-flowering group (5 varieties). All the ornamental crabapple entered the peak flowering period from the end of March to the middle of April, and the flowering period in the second year after introduction (2023) was 3 to 5 days longer than that in the first year, with the longest flowering period reaching 23 days. Most of the ornamental crabapple varieties were single flower, and only *Malus* 'Brandy wine' and *Malus* 'Corey' were double flowers. The flower colors in early flowering stage included red, pink and white lines, which gradually became lighter as the flowering period progressed. Through the AHP, the introduction adaptability and ornamental value of the ornamental crabapple were comprehensively evaluated, and *Malus* 'Selkirk' and 3 other ornamental crabapple varieties had a comprehensive score greater than 4, and their grade was determined as level Ⅰ.【Conclusion】*Malus* 'Selkirk', *Malus* 'Evereste', *Malus* 'Royal Beauty', and *Malus* 'Floribunda' have vigorous growth, high ornamental value, and good adaptability to the environment of the Zhengzhou area, which can be promoted and cultivated as the main ornamental crabapple varieties in this area.

Key words: ornamental crabapple; introduction trial; phenology; ornamental characteristics; adaptability; hierarchical analysis

观赏海棠(*Malus* spp.)是蔷薇科(Rosaceae)苹果属(*Malus* L.)重要的春季观花植物,因其具有较强的环境适应性以及较高的观赏价值,被广泛应用于园林绿化[1]。国内已有多地引种栽培观赏海棠,刘凤栾等[2]从荷兰、美国引进46种观赏海棠,筛选出对山东适应性良好、观赏价值较高的36份种质。何梅等[3]通过对6种北美海棠物候期和观赏性的研究,筛选出最适宜在南方地区推广的海棠品种。楚爱香[4]对河南海棠品种进行调查,发现郑州地区观赏海棠资源集中分布在郑州碧沙岗公园,属于海棠专类园;该地区对于观赏海棠的应用形式较为单一,了解观赏海棠对郑州地区的环境适应能力,有助于丰富该地观赏海棠的园林应用形式。刘胜男[5]对郑州碧沙岗公园的40种观赏海棠的表型多样性进行综合评价,选出9种观赏价值高的海棠品种,该地观赏海棠品种仍有较大的发掘空间,筛选出环境适应能力强、观赏价值高的海棠品种,对于郑州地区观赏海棠的应用与推广具有重要意义。

植物被引种栽植后,其适应能力和生长特性需要从多方面考察[6]。物候是植物生命周期对环境变化的长期适应,反映植物对环境的适应能力[7],观测植物的发芽、开花等物候特性,是研究引种适应性的重要参考[8]。张往祥等[9]对82种观赏海棠进行了花期物候观测,系统地研究了品种群的花期物候特征,发现观赏海棠的开花始期、花期长短等开花习性受遗传因素与外界环境的共同影响,研究其开花习性能进一步说明观赏海棠对环境的适应能力。王莹等[10]从观赏性、生态适应性与生长特性3个方面对8个彩叶紫薇品种进行综合评价,筛选出3种适应江苏省南通地区的优良品种。吴晓星等[11]对海棠

的观赏性、适应性和抗寒性进行综合评价，筛选出在北方地区推广价值较高的 6 个海棠品种。可见，除环境适应能力外，观赏价值也是重要的引种指标。观赏海棠花型多样，花量繁多，花色鲜艳丰富，具有较高的观赏价值[12]。花色研究主要通过比色卡目测比对与色差仪测色相结合的方法，对复杂多变的花色进行较为理想的数字化描述[13]。葛雨萱等[14]采用比色卡和分光色差计结合的方法，发现蜡梅变种的花色随着开花过程明显变化；张圆圆等[15]利用同种方法测定观赏向日葵的花色，将其分为黄色系和红色系两大类。以上观赏植物花色测定的成功试验，证实了比色卡和色差仪在花色测定方面的可靠性。

层次分析法是一种将定性与定量评价相结合，将复杂问题分解后，系统化、层次化地将个人主观判断进行定量化客观描述的分析方法[16]，是近几年植物观赏性状指标评价较常用的分析方法。2022 年，满丽婷等[17]运用层次分析法对引进的 22 种海棠材料从整体枝形、叶特征、花特征、果特征、生长性能和适应性能 5 个方面构建品种观赏性综合评价体系，筛选出了适宜在青海西宁地区引种栽培且观赏性高的海棠品种。以上研究结果说明运用层次分析法对植物观赏性进行评价是可行的。

本研究以移栽到河南郑州地区的 25 种观赏海棠为研究对象，观测株高、地径、枝下高等树形特征，判断其生长势；观察并记录其 2 年内的发芽、开花等物候期，判断观赏海棠对郑州地区气候的适应性；观测海棠开花特征，运用比色卡和色差仪相结合的方法比对观赏海棠开花时期的颜色变化；最后运用层次分析法综合生长特性、花期物候和开花特征对观赏海棠的引种适应性和观赏价值进行评价，期望筛选出观赏价值高、环境适应性强的优良品种，为郑州地区观赏海棠的应用与推广提供理论支持。

1　材料与方法

1.1　试验地概况与试验材料

试验地位于河南郑州市金水区（东经 112°42′～114°14′、北纬 34°16′～34°58′），该地全年气候较温和，四季分明[18]。试验田地势平坦，土壤肥沃，水肥统一管理。2021 年 12 月从河北定州燕青园艺引进 25 种观赏海棠（图 1），树龄 5～6 年，每种 3～5 株，种植间距约 2 m。于 2022－2023 年春季观测海棠植株引种 2 年的生长状况、花期物候及开花特征。

1.2　试验方法

1.2.1　观赏海棠树形观测　使用卷尺对不同观赏海棠的株高、枝下高等树形特征进行测量记录，使用量角器观测记录海棠树的一级分枝角度，根据分枝角度判断树形（直立、开张、半垂直、垂枝）[19]，通过海棠树形特征判断海棠植株的生长势。

1.2.2　观赏海棠花期观测　选取生长方位一致、生长状况良好的海棠植株，于 2022 和 2023 年春季观察并记录观赏海棠发芽和开花物候期。物候期记录参考标准为：芽尖变色 3 处以上为萌芽期，有 3 片以上完全展开叶为展叶始期，多半枝条的叶片完全展开为展叶盛期；10％以上花芽长出花蕾为显蕾期，3 朵以上花瓣完全展开为开花始期，50％以上花蕾完全开放为开花盛期，有极少数花瓣未掉落为开花末期，开花始期到开花末期的天数为花期[20]。观测频率为萌芽期、显蕾期、开花始期、开花盛期和开花末期每天 1 次，其他时期隔天 1 次，具体观测时间为上午 10：00－12：00。

1.2.3　观赏海棠花特征观测　（1）花形态特征。对不同海棠品种花瓣进行观察记录和拍照，使用游标卡尺测量花径；观察花瓣轮数确定花型，分为单瓣、半重瓣和重瓣 3 种类型；通过花朵覆盖叶片的比例判断海棠花量[21]。

（2）不同开花时期的花色表型。采集观赏海棠花蕾期（S1，花苞未展开的时期）、开花始期（S2，花朵开放 10％）、开花盛期（S3，花朵开放 60％）、开花末期（S4，90％花朵凋谢）的花瓣样品[9]，放入冰盒带回实验室，在统一稳定的自然光源下，使用英国皇家园艺协会 RHS 植物比色卡（RHS large colour chart，RHSCC）比对花瓣中部颜色；用便携式分光色差仪（NF 555，Nippon Denshoku，Tokyo，Japan）测定相关参数，包括明度（L^*）、红度（a^*）、蓝度（b^*）、彩度（C^*）和色相角（h°）。

1.2.4　观赏海棠综合评价　运用层次分析法（analytic hierarchy process，AHP）对观赏海棠的引种适应性和观赏价值进行综合评价，依据 AHP 模型构建原理，建立海棠的综合评价模型[17]。首先设立目标层（A），然后设立花特征（C1）和树特征（C2）2 个约束层（C），最后进一步详细划分指标层（P），确定花期（P1）、开花始期（P2）、花色（P3）、花量（P4）、花型（P5）及株高（P6）、树形（P7）、生长势（P8）共 8 个具体评价因子[22]。观测海棠的生长特性、花期物候和开花特征，结合已报道的植物性状分级方法，制定 5 分制的观赏海棠评分表[23]，评分标准参考已报道的观赏海棠评分标准[24]，结合观测数据，对各评价因子赋予不同的分值（表 1）。花色赋分综合考虑颜

色和色彩参数,认为花色鲜艳且明度值高的鲜红、深红和纯白分值最高[25];树形赋分考虑引种时间,确定树形直立分值高于树形开张分值[26]。

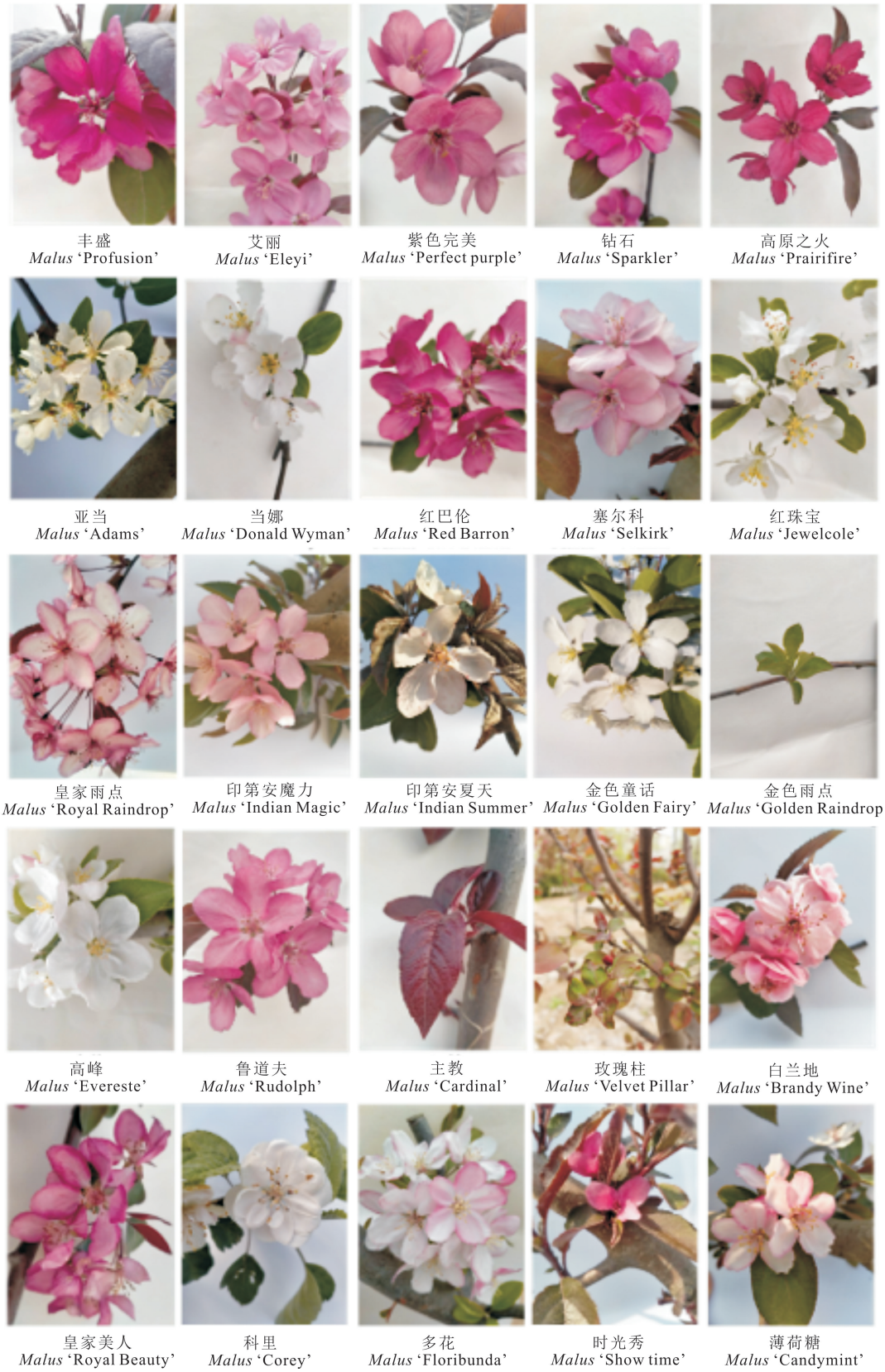


图 1 25 个观赏海棠品种的花部特征

Fig. 1 Floral characteristics of the 25 ornamental crabapple varieties

表 1　观赏海棠各评价因子的评分标准

Table 1　Evaluation criteria for each evaluation factor of ornamental crabapple

评价标准 Evaluation criterion	评价因子 Evaluation factor	得分值 Score				
		5	4	3	2	1
C1：花特征 Flower characteristics	P1：花期/d Florescence	≥20	15～19	10～14	≤10	
	P2：开花始期(月-日) Early flowering stage (Month-day)	03-15	03-16－03-25	03-26－04-06		
	P3：花色 Flower color	鲜红、深红、纯白 Bright red, deep red, lily white	粉红、淡红 Pink, pale red	粉白、黄白、暗红色 Pink white, yellow white, dark red	颜色较暗 The color is darker	无光泽且较暗 Glossy and dark
	P4：花量 Flowering amount	繁茂、覆盖或近覆盖叶片 Exuberant, cover, or near cover leaves	覆盖叶片约 70% Covering the leaves by about 70%	覆盖叶片约 50% Covering the leaves by about 50%	覆盖叶片约 30% Covering the leaves by about 30%	覆盖叶片 30%以下 Cover the leaves by about less than 30%
	P5：花型 Flower shapes	重瓣 Polyphyll	半重瓣 Half polyphyll	单瓣 Single-petaled		
C2：树特征 Tree characteristics	P6：株高/cm Plant height	≥160	140～<160	120～<140	100～<120	<100
	P7：树形 Tree shapes	下垂 Droop	半下垂 Half droop	直立 Up-right	开张 Opened	
	P8：生长势 Growth potential	旺盛 Exuberant	中等 Medium	一般 Average	较差 Poor	差 Bad

1.3　数据分析

利用 Excel 2021 整理并分析原始数据，采用 SPSS Statistics 27 软件进行方差、标准误差、多重比较等分析；利用 yaahp(V10)软件建立判断矩阵，计算各指标权重值以及判断矩阵的最大特征根(λ_{max})和随机一致性比率(R_C)，R_C<0.1 说明判断矩阵符合一致性检验[22]。

2　结果与分析

2.1　观赏海棠的树形特征

通过 25 个观赏海棠品种的株高、枝下高以及分枝角等树形特征判断海棠的生长势，对海棠的环境适应性进行初步评价。从株高来看，‘皇家美人’可达 211.25 cm，而‘钻石’仅 98.00 cm；从枝下高来看，‘钻石’在最低 48.25 cm 处分枝，而‘皇家美人’最高到 152.00 cm 处分枝；根据枝干的分枝角度判断树形，可知大部分海棠树形呈开张型或直立型生长，‘钻石’和‘薄荷糖’部分枝下垂生长，而‘皇家美人’树枝完全下垂生长；从观测的树形特征可以看出，大部分观赏海棠生长势旺盛或中等，只有‘鲁道夫’的生长势一般(表 2)。综上可知，25 种观赏海棠均能在郑州地区生长，说明其均可适应郑州地区的气候环境，可以进行物候期观测。

表 2　25 个观赏海棠品种引种至河南郑州后的树形特征

Table 2　Tree-shape characteristics of the 25 ornamental crabapple varieties after introduction to Zhengzhou, Henan Province

品种名 Cultivar	株高/cm Plant height	枝下高/cm Under branch height	一级分枝角/(°) Level 1 branch angle	树形 Tree shapes	生长势 Growth potential
丰盛 Profusion	155.60±11.15 bcd	78.20±4.55 efg	56.00±18.17 abcde	开张 Opened	中等 Medium
艾丽 Eleyi	124.50±8.81 efghij	86.75±9.71 de	70.00±14.14 abc	开张 Opened	旺盛 Exuberant
紫色完美 Perfect Purple	139.50±18.74 cde	69.25±5.97 fghi	35.00±17.32 de	开张 Opened	旺盛 Exuberant
钻石 Sparkler	98.00±9.80 k	48.25±5.32 j	75.00±10.00 a	半下垂 Half droop	中等 Medium
高原之火 Prairifire	127.00±13.04 efghi	63.60±7.34 hi	54.00±8.94 abcde	直立 Up-right	中等 Medium
亚当 Adams	121.00±22.11 efghij	74.00±7.70 efgh	55.00±5.77 abcde	直立 Up-right	中等 Medium
当娜 Donald Wyman	135.50±6.40 def	66.00±3.37 ghi	60.00±14.14 abcde	直立 Up-right	中等 Medium
红巴伦 Red Barron	165.00±0.00 b	66.50±2.12 fghi	30.00±0.00 e	直立 Up-right	中等 Medium
塞尔科 Selkirk	130.75±19.12 efg	77.75±3.30 efg	50.00±8.17 abcde	直立 Up-right	旺盛 Exuberant
红珠宝 Jewelcole	159.00±9.85 bc	93.80±10.57 cd	46.00±18.17 abcde	直立 Up-right	中等 Medium
皇家雨点 Royal Raindrop	116.25±13.15 fghijk	59.25±14.86 ij	55.00±12.91 abcde	开张 Opened	中等 Medium
印第安魔力 Indian Magic	120.00±12.25 fghijk	75.00±8.68 efgh	52.50±17.08 abcde	开张 Opened	中等 Medium
印第安夏天 Indian Summer	107.00±10.37 hijk	74.40±7.40 efgh	69.00±13.42 abc	开张 Opened	旺盛 Bloom
金色童话 Golden Fairy	121.00±8.04 efghij	58.75±10.37 ij	61.25±13.15 abcd	开张 Opened	中等 Medium
金色雨点 Golden Raindrop	131.60±13.20 efg	106.40±3.78 bc	68.00±10.95 abc	开张 Opened	旺盛 Exuberant
高峰 Evereste	126.25±4.79 efghij	66.75±9.00 fghi	47.50±15.00 abcde	直立 Up-right	旺盛 Exuberant

表 2(续) Table 2(continued)

品种名 Cultivar	株高/cm Plant height	枝下高/cm Under branch height	一级分枝角/(°) Level 1 branch angle	树形 Tree shapes	生长势 Growth potential
鲁道夫 Rudolph	113.60±9.21 fghijk	65.60±8.20 ghi	57.00±17.18 abcde	直立 Up-right	一般 Commonly
主教 Cardinal	116.60±6.35 fghijk	109.00±4.95 b	44.00±18.17 bcde	直立 Up-right	中等 Medium
玫瑰柱 Velvet Pillar	122.33±17.50 efghij	66.00±9.17 ghi	48.30±20.21 abcde	直立 Up-right	中等 Medium
白兰地 Brandy Wine	110.50±15.63 ghijk	68.75±11.12 fghi	58.75±16.52 abcde	开张 Opened	中等 Medium
皇家美人 Royal Beauty	211.25±33.26 a	152.00±13.74 a	68.75±16.52 abc	下垂 Droop	旺盛 Exuberant
科里 Corey	128.75±15.48 efgh	66.50±11.90 fghi	41.25±2.50 cde	开张 Opened	旺盛 Exuberant
多花 Floribunda	105.00±13.54 jk	65.50±14.66 ghi	50.00±16.33 abcde	开张 Opened	旺盛 Exuberant
时光秀 Show Time	125.00±10.80 efghij	80.25±11.93 def	42.50±15.00 cde	直立 Up-right	旺盛 Exuberant
薄荷糖 Candymint	106.00±12.94 ijk	68.20±14.67 fghi	74.00±16.36 ab	半下垂 Half droop	中等 Medium

注:同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。表 4 同。

Note: Different lowercase letters marked after the data in the same column indicate significant differences ($P<0.05$). Same as in table 4.

2.2 观赏海棠的春季物候观测

通过对观赏海棠引种后 2 年内的春季物候进行观测,可进一步判断其环境适应性和生长稳定性。观测的 2 年里,多数观赏海棠于 2 月下旬至 3 月初开始萌芽,萌芽时期较短,萌芽 2～7 d 进入展叶始期,展叶后 1～5 d 进入展叶盛期,2 年观测数据误差为 1～3 d;但是,'科里'2023 年展叶 16 d 后才进入展叶盛期,比 2022 年晚 11 d。25 种观赏海棠均能在 3 月中下旬进入开花始期,在 3 月底至 4 月初进入开花盛期,此时是海棠的最佳观花时期;值得注意的是,观赏海棠引种后第 2 年的花期更长,2022 年未开花的'主教'和'玫瑰柱'在 2023 年开花 15 d 以上(表 3)。25 种观赏海棠的开花时期存在较大的差异,根据开花始期可将 25 种观赏海棠分为 3 类,3 月 15 日及之前开花的为早花品种,包括'丰盛'等 7 种观赏海棠;'艾丽'等 12 个品种开花时间在 3 月 16 日至 3 月 25 日,为中花品种;'金色童话'等 6 个品种为晚花品种,在 3 月 26 日之后开花。引种 2 年内,除'金色雨点'外,其余 24 个观赏海棠品种均能顺利萌芽、开花。第 2 年花期延长、开花品种数量增加等,进一步说明试验地环境适宜参试海棠品种的生长。但由于两年春季温度、光照、降水量的不同,对物候期的观测带来一定影响[27]。

表 3 2022－2023 年 25 个观赏海棠品种在河南郑州的春季物候观测

Table 3 Spring phenology observation of the 25 ornamental crabapple varieties in 2022－2023 in Zhengzhou, Henan Province

品种名 Cultivar	萌芽期 Germinating stage	展叶始期 Leaf unfolding stage	展叶盛期 Leaf full unfolding stage	显蕾期 Show the bud stage	开花始期 Early flowering stage	开花盛期 Full-flower stage	开花末期 Late flowering stage	花期/d Florescence
丰盛 Profusion	2022-02-27	2022-03-05	2022-03-08	2022-03-10	2022-03-26	2022-03-28	2022-04-05	10
	2023-02-25	2023-03-03	2023-03-06	2023-03-08	2023-03-15	2023-03-20	2023-04-01	18
艾丽 Eleyi	2022-03-01	2022-03-08	2022-03-12	2022-03-10	2022-03-25	2022-03-28	2022-04-05	11
	2023-03-04	2023-03-06	2023-03-09	2023-03-10	2023-03-21	2023-03-25	2023-04-04	15
紫色完美 Perfect Purple	2022-02-27	2022-03-05	2022-03-07	2022-03-09	2022-03-25	2022-03-28	2022-04-02	8
	2023-02-23	2023-03-01	2023-03-04	2023-03-07	2023-03-15	2023-03-18	2023-03-29	15
钻石 Sparkler	2022-02-27	2022-03-05	2022-03-07	2022-03-09	2022-03-23	2022-03-28	2022-04-08	16
	2023-02-26	2023-03-02	2023-03-04	2023-03-07	2023-03-15	2023-03-19	2023-04-06	23
高原之火 Prairifire	2022-03-02	2022-03-08	2022-03-12	2022-03-12	2022-03-29	2022-03-31	2022-04-07	8
	2023-02-26	2023-03-03	2023-03-05	2023-03-10	2023-03-23	2023-03-28	2023-04-04	13
亚当 Adams	2022-03-03	2022-03-10	2022-03-12	2022-03-12	2022-03-27	2022-03-29	2022-04-08	11
	2023-03-01	2023-03-05	2023-03-07	2023-03-09	2023-03-20	2023-03-25	2023-04-04	16
当娜 Donald Wyman	2022-02-27	2022-03-02	2022-03-05	2022-03-09	2022-03-26	2022-03-28	2022-04-07	11
	2023-02-23	2023-02-28	2023-03-03	2023-03-09	2023-03-18	2023-03-22	2023-04-05	19
红巴伦 Red Barron	2022-02-27	2022-03-07	2022-03-10	2022-03-12	2022-03-27	2022-03-28	2022-04-05	9
	2023-02-26	2023-03-02	2023-03-04	2023-03-08	2023-03-18	2023-03-22	2023-03-28	11
塞尔科 Selkirk	2022-03-02	2022-03-07	2022-03-11	2022-03-14	2022-03-27	2022-03-29	2022-04-09	12
	2023-02-23	2023-02-28	2023-03-04	2023-03-07	2023-03-13	2023-03-17	2023-03-28	16
红珠宝 Jewelcole	2022-02-27	2022-03-03	2022-03-05	2022-03-12	2022-03-25	2022-03-28	2022-04-06	10
	2023-02-23	2023-02-28	2023-03-03	2023-03-10	2023-03-20	2023-03-23	2023-04-01	13
皇家雨点 Royal Raindrop	2022-03-01	2022-03-07	2022-03-11	2022-03-13	2022-03-30	2022-04-01	2022-04-07	7
	2023-03-02	2023-03-04	2023-03-06	2023-03-11	2023-03-25	2023-03-28	2023-04-04	11

表 3(续)　Table 3(continued)

品种名 Cultivar	萌芽期 Germinating stage	展叶始期 Leaf unfolding stage	展叶盛期 Leaf full unfolding stage	显蕾期 Show the bud stage	开花始期 Early flowering stage	开花盛期 Full-flower stage	开花末期 Late flowering stage	花期/d Florescence
印第安魔力 Indian Magic	2022-03-02	2022-03-08	2022-03-10	2022-03-12	2022-03-26	2022-03-29	2022-04-05	10
	2023-03-01	2023-03-03	2023-03-05	2023-03-09	2023-03-19	2023-03-22	2023-04-02	15
印第安夏天 Indian Summer	2022-02-27	2022-03-07	2022-03-10	2022-03-11	2022-03-26	2022-03-28	2022-04-04	9
	2023-02-25	2023-03-01	2023-03-05	2023-03-10	2023-03-15	2023-03-19	2023-04-01	18
金色童话 Golden Fairy	2022-03-02	2022-03-08	2022-03-11	2022-03-15	2022-03-30	2022-04-01	2022-04-08	14
	2023-03-04	2023-03-06	2023-03-09	2023-03-11	2023-03-28	2023-03-31	2023-04-14	18
金色雨点 Golden Raindrop	2022-03-04	2022-03-10	2022-03-11	/	/	/	/	/
	2023-03-05	2023-03-07	2023-03-09	/	/	/	/	/
高峰 Evereste	2022-03-05	2022-03-07	2022-03-10	2022-03-12	2022-03-27	2022-03-28	2022-04-04	9
	2023-03-01	2023-03-04	2023-03-07	2023-03-09	2023-03-19	2023-03-23	2023-04-02	15
鲁道夫 Rudolph	2022-03-04	2022-03-11	2022-03-12	2022-03-12	2022-03-28	2022-03-30	2022-04-07	9
	2023-03-03	2023-03-06	2023-03-08	2023-03-10	2023-03-22	2023-03-25	2023-04-02	12
主教 Cardinal	2022-02-27	2022-03-11	2022-03-16	/	/	/	/	/
	2023-02-26	2023-03-03	2023-03-05	2023-03-08	2023-03-17	2023-03-21	2023-04-01	14
玫瑰柱 Velvet Pilla	2022-03-06	2022-03-11	2022-03-14	/	/	/	/	/
	2023-03-05	2023-03-07	2023-03-09	2023-03-12	2023-03-28	2023-04-05	2023-04-14	18
白兰地 Brandy Wine	2022-03-04	2022-03-08	2022-03-11	2022-03-15	2022-04-01	2022-04-05	2022-04-09	8
	2023-03-05	2023-03-07	2023-03-09	2023-03-15	2023-03-31	2023-04-01	2023-04-13	14
皇家美人 Royal Beauty	2022-02-27	2022-03-02	2022-03-05	2022-03-08	2022-03-16	2022-03-24	2022-04-02	18
	2023-02-25	2023-03-03	2023-03-05	2023-03-07	2023-03-14	2023-03-17	2023-03-29	16
科里 Corey	2022-03-04	2022-03-11	2022-03-16	2022-03-20	2022-04-08	2022-04-09	2022-04-14	6
	2023-03-06	2023-03-12	2023-03-28	2023-03-23	2023-04-06	2023-04-08	2023-04-20	15
多花 Floribunda	2022-02-27	2022-03-05	2022-03-10	2022-03-08	2022-03-23	2022-03-28	2022-04-07	15
	2023-02-25	2023-03-01	2023-03-03	2023-03-07	2023-03-15	2023-03-20	2023-04-04	21
时光秀 Show Time	2022-03-02	2022-03-08	2022-03-13	2022-04-02	2022-04-04	2022-04-05	2022-04-09	5
	2023-03-02	2023-03-05	2023-03-07	2023-03-11	2023-03-23	2023-03-28	2023-04-04	13
薄荷糖 Candymint	2022-03-04	2022-03-09	2022-03-12	2022-03-12	2022-03-28	2022-03-31	2022-04-07	10
	2023-03-03	2023-03-05	2023-03-07	2023-03-11	2023-03-26	2023-03-29	2023-04-04	10

注：“/”表示未开花。

Note：“/” represents no flowering.

2.3　观赏海棠的开花特征

2.3.1　花形态特征　‘金色雨点’在观测时间内未开花，其余 24 个观赏海棠的花朵形态特征差异明显。对花径、花型和花量形态指标进行观测发现，‘玫瑰柱’和‘皇家美人’的花径小于 3 cm，花朵较小；‘丰盛’等 22 种海棠的花朵较大，其中‘塞尔科’的花径最大，达到 5.50 cm。‘白兰地’和‘科里’是重瓣花，其余 22 个品种均为单瓣花。‘艾丽’等 7 个品种花量覆盖或近覆盖叶片，观赏效果最佳；‘丰盛’等 12 种观赏海棠花量覆盖叶片 50％以上，观赏价值较高；‘红巴伦’等 5 种观赏海棠观赏性较差，花量覆盖叶片 30％以下(表 4)。值得注意的是，2 个重瓣花品种的花朵虽较大，但是花量覆盖叶片均在 30％以下，因此海棠的观赏价值需要多方面综合评价。

表 4　25 个观赏海棠品种引种至河南郑州后的花型特征

Table 4　Flower type characteristics of 25 ornamental crabapple varieties after introduction to Zhengzhou，Henan Province

品种名 Cultivar	花径/cm Flower diameter	花型 Flower shapes	花量 Flowering amount
丰盛 Profusion	3.17±0.17 j	单瓣花 Single flower	覆盖叶片约 70％ Covering the leaves by about 70％
艾丽 Eleyi	4.73±0.15 bcd	单瓣花 Single flower	繁茂、覆盖或近覆盖叶片 Exuberant，cover，or near cover leaves
紫色完美 Perfect Purple	4.33±0.09 bcd	单瓣花 Single flower	覆盖叶片约 50％ Covering the leaves by about 50％
钻石 Sparkler	4.50±0.29 cde	单瓣花 Single flower	覆盖叶片约 70％ Covering the leaves by about 70％
高原之火 Prairifire	3.50±0.12 ij	单瓣花 Single flower	覆盖叶片约 70％ Covering the leaves by about 70％

表 4(续) Table 4(continued)

品种名 Cultivar	花径/cm Flower diameter	花型 Flower shapes	花量 Flowering amount
亚当 Adams	3.57±0.19 hij	单瓣花 Single flower	覆盖叶片约 50% Covering the leaves by about 50%
当娜 Donald Wyman	4.43±0.12 cde	单瓣花 Single flower	覆盖叶片约 70% Covering the leaves by about 70%
红巴伦 Red Barron	4.83±0.12 bc	单瓣花 Single flower	覆盖叶片约 30%以下 Cover the leaves by about less than 30%
塞尔科 Selkirk	5.50±0.17 a	单瓣花 Single flower	繁茂、覆盖或近覆盖叶片 Exuberant, cover, or near cover leaves
红珠宝 Jewelcole	4.33±0.17 def	单瓣花 Single flower	覆盖叶片约 70% Covering the leaves by about 70%
皇家雨点 Royal Raindrop	4.17±0.09 ef	单瓣花 Single flower	覆盖叶片约 70% Covering the leaves by about 70%
印第安魔力 Indian Magic	4.10±0.06 ef	单瓣花 Single flower	繁茂、覆盖或近覆盖叶片 Exuberant, cover, or near cover leaves
印第安夏天 Indian Summer	3.47±0.15 ij	单瓣花 Single flower	繁茂、覆盖或近覆盖叶片 Exuberant, cover, or near cover leaves
金色童话 Golden Fairy	4.70±0.15 bcd	单瓣花 Single flower	覆盖叶片约 30%以下 Cover the leaves by about less than 30%
高峰 Evereste	5.07±0.07 b	单瓣花 Single flower	繁茂、覆盖或近覆盖叶片 Exuberant, cover, or near cover leaves
鲁道夫 Rudolph	3.97±0.09 fgh	单瓣花 Single flower	覆盖叶片约 50% Covering the leaves by about 50%
主教 Cardinal	3.50±0.17 ij	单瓣花 Single flower	覆盖叶片约 50% Covering the leaves by about 50%
玫瑰柱 Velvet Pillar	2.60±0.10 k	单瓣花 Single flower	覆盖叶片约 30%以下 Cover the leaves by about less than 30%
白兰地 Brandy Wine	5.07±0.07 b	重瓣花 Double flower	覆盖叶片约 30%以下 Cover the leaves by about less than 30%
皇家美人 Royal Beauty	2.70±0.10 k	单瓣花 Single flower	繁茂、覆盖或近覆盖叶片 Exuberant, cover, or near cover leaves
科里 Corey	3.63±0.19 ghi	重瓣花 Double flower	覆盖叶片约 30%以下 Cover the leaves by about less than 30%
多花 Floribunda	3.63±0.19 ghi	单瓣花 Single flower	繁茂、覆盖或近覆盖叶片 Exuberant, cover, or near cover leaves
时光秀 Show Time	4.00±0.11 fg	单瓣花 Single flower	覆盖叶片约 50% Covering the leaves by about 50%
薄荷糖 Candymint	3.57±0.23 hij	单瓣花 Single flower	覆盖叶片约 50% Covering the leaves by about 50%

注:‘金色雨点’在观测时间里未开花,因此表中未列出。表 5、6、8 同。

Note: ‘Golden raindrop’ does not bloom during the observation time, so it is not listed in this table. Same as in table 5, 6, 8.

2.3.2 4 个开花时期的花色 海棠花色是海棠重要的观赏性状之一,海棠花在不同开花时期呈现不同的颜色。经 RHSCC 比色发现,花蕾期颜色最深,可分为红色系和粉色系;开花初期颜色变浅,可分为红色系、粉色系和白色系;开花盛期颜色变浅或不变,以粉色系品种居多,少部分为白色系品种;到开花末期时,大多数海棠品种均存在明显褪色现象,海棠花色整体呈现粉色至白色。根据花蕾期和开花盛期时的花瓣颜色,可将 25 种观赏海棠分为四大类型[12],即‘丰盛’等 11 个品种为蕾红花紫型,‘艾丽’等 7 个品种为蕾紫花粉型,‘科里’和‘多花’为蕾红花白型,‘当娜’等 4 个品种为蕾白(粉)花白型(表 5)。

表 5 25 个观赏海棠品种引种至河南郑州后在 4 个开花时期的 RHSCC 比色结果

Table 5 RHSCC colorimetric results of 25 ornamental crabapple varieties at four flowering periods after introduction to Zhengzhou, Henan Province

品种名 Cultivar	花色 Flower color	RHSCC S1	RHSCC S2	RHSCC S3	RHSCC S4
丰盛 Profusion	蕾红花紫型 Bud red flower purple type	 中紫红色 RP-59 C Moderate purplish red	 深紫粉色 RP-N66 C Deep purplish pink	 强紫红色 RP-63 B Strong purplish red	 强紫粉色 RP-73 B Strong purplish pink
艾丽 Eleyi	蕾紫花粉型 Bud purple flower pink type	 深紫粉色 RP-N57 C Deep purplish pink	 深紫粉色 RP-N57 C Deep purplish pink	 强紫粉色 RP-68 B Strong purplish pink	 极淡紫色 RP-73 D Very pale purple

表 5(续)　Table 5(continued)

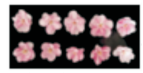
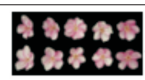
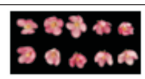
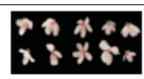
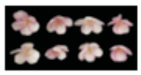
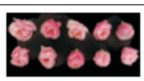
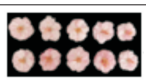
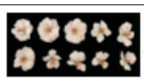
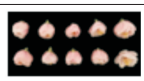
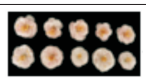
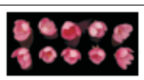
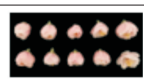
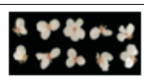
品种名 Cultivar	花色 Flower color	RHSCC S1	S2	S3	S4
紫色完美 Perfect Purple	蕾红花紫型 Bud red flower purple type	 深紫红色 RP-61 A Deep purplish red	 强紫红色 RP-59 D Strong purplish red	 深紫粉色 RP-64 D Deep purplish pink	 强紫粉色 RP-68 B Strong purplish pink
钻石 Sparkler	蕾紫花粉型 Bud purple flower pink type	 深紫粉色 RP-N57 D Deep purplish pink	 强紫粉色 RP-68 B Strong purplish pink	 淡紫粉色 RP-73 C Light purplish pink	 淡紫粉色 RP-63 D Light purplish pink
高原之火 Prairifire	蕾红花紫型 Bud red flower purple type	 强紫红色 RP-60 C Strong purplish red	 强紫红色 RP-61 B Strong purplish red	 深紫粉色 RP-N66 D Deep purplish pink	 深紫粉色 RP-N66 D Deep purplish pink
亚当 Adams	蕾红花紫型 Bud red flower purple type	 强紫红色 RP-63 A Strong purplish red	 强紫红色 RP-64 B Strong purplish red	 强紫红色 RP-60 D Strong purplish red	 强紫粉色 RP-63 C Strong purplish pink
当娜 Donald Wyman	蕾白(粉)花白型 Bud white(pink) flower white type	 淡紫粉色 RP-62 C Light purplish pink	 白色 W-NN155 D White	 白色 W-NN155 D White	 白色 W-NN155 D White
红巴伦 Red Barron	蕾红花紫型 Bud red flower purple type	 中紫红色 RP-58 A Moderate purplish red	 强紫红色 RP-60 C Strong purplish red	 中紫红色 RP-58 A Moderate purplish red	 强紫粉色 RP-68 B Strong purplish pink
塞尔科 Selkirk	蕾紫花粉型 Bud purple flower pink type	 强紫红色 RP-64 C Strong purplish red	 强紫粉色 RP-63 C Strong purplish pink	 深紫粉色 RP-70 C Deep purplish pink	 淡紫粉色 RP-63 D Light purplish pink
红珠宝 Jewelcole	蕾白(粉)花白型 Bud white(pink) flower white type	 淡紫粉色 RP-63 D Light purplish pink	 白色 W-NN155 D White	 白色 W-NN155 D White	 白色 W-NN155 D White
皇家雨点 Royal Raindrop	蕾紫花粉型 Bud purple flower pink type	 中紫红色 RP-58 A Moderate purplish red	 强紫红色 RP-60 C Strong purplish red	 强紫粉色 RP-73 B Strong purplish pink	 极淡紫色 RP-69 B Very pale purple
印第安魔力 Indian Magic	蕾红花紫型 Bud red flower purple type	 深紫红色 RP-61 A Deep purplish red	 强紫粉色 RP-68 B Strong purplish pink	 中紫红色 RP-58 A Moderate purplish red	 淡紫粉色 RP-73 C Light purplish pink
印第安夏天 Indian Summer	蕾紫花粉型 Bud purple flower pink type	强紫红色 RP-63 A Strong purplish red	淡紫粉色 RP-63 D Light purplish pink	极淡紫色 RP-73 D Very pale purple	极淡紫色 RP-69 D Very pale purple
金色童话 Golden Fairy	蕾白(粉)花白型 Bud white(pink) flower white type	深紫粉色 RP-61 D Deep purplish pink	极淡紫色 RP-69 A Very pale purple	白色 W-NN155 D White	白色 W-NN155 D White
高峰 Evereste	蕾白(粉)花白型 Bud white(pink) flower white type	强紫粉色 RP-62 A Strong purplish pink	白色 W-NN155 B White	白色 W-NN155 D White	白色 W-NN155 D White

表 5(续) Table 5(continued)

品种名 Cultivar	花色 Flower color	RHSCC S1	S2	S3	S4
鲁道夫 Rudolph	蕾红花紫型 Bud red flower purple type	 深红色 RP-60 A Deep red	 鲜紫红色 RP-61 C Vivid purplish red	 深紫粉色 RP-68 A Deep purplish pink	 粉白色 W-N155 B Pinkish white
主教 Cardinal	蕾紫花粉型 Bud purple flower pink type	 强紫红色 RP-59D Strong purplish red	 强紫粉色 RP-68B Strong purplish pink	 深紫粉色 RP-N66D Deep purplish pink	 深紫粉色 RP-N66D Deep purplish pink
玫瑰柱 Velvet Pillar	蕾红花紫型 Bud red flower purple type	 暗红色 RP-59 A Dark red	 强紫红色 RP-63 A Strong purplish red	 深紫粉色 RP-N66 C Deep purplish pink	 极浅紫色 P-75 C Very light purple
白兰地 Brandy Wine	蕾紫花粉型 Bud purple flower pink type	 深紫粉色 RP-61 D Deep purplish pink	 强紫粉色 RP-62 A Strong purplish pink	 中紫粉色 RP-70 D Moderate purplish pink	 淡紫粉色 RP-62 C Light purplish pink
皇家美人 Royal Beauty	蕾红花紫型 Bud red flower purple type	 中紫红色 RP-58 A Moderate purplish red	 强紫红色 RP-63 B Strong purplish red	 深紫粉色 RP-N66 D Deep purplish pink	 强紫粉色 RP-68 B Strong purplish pink
科里 Corey	蕾红花白型 Bud red flower white type	 强紫粉色 RP-62 A Strong purplish pink	 淡紫粉色 RP-68 D Light purplish pink	 浅紫粉色 RP-62 D Pale purplish pink	 极淡紫色 RP-69 D Very pale purple
多花 Floribunda	蕾红花白型 Bud red flower white type	 强紫红色 RP-58 C Strong purplish red	 极淡紫色 RP-69 D Very pale purple	 浅紫粉色 RP-62 D Pale purplish pink	 粉白色 W-N155 B Pinkish white
时光秀 Show Time	蕾红花紫型 Bud red flower purple type	 强紫红色 RP-63 A Strong purplish red	 强紫红色 RP-63 B Strong purplish red	 深紫粉色 RP-N66 C Deep purplish pink	 极浅紫色 P-75 C Very light purple
薄荷糖 Candymint	蕾红花紫型 Bud red flower purple type	 深红色 RP-60 A Deep red	 强紫红色 RP-63 A Strong purplish red	 中紫粉色 RP-65 A Moderate purplish pink	 粉白色 W-N155 B Pinkish white

注:S1. 花蕾期;S2. 开花始期;S3. 开花盛期;S4. 开花末期。表 6 同。

Note: S1. Bud stage; S2. Early flowering stage; S3. Full-flower stage; S4. Late flowering stage. Same as in table 6.

测定海棠在不同开花时期的花瓣色彩参数,发现'红珠宝'的 L^* 值最大,在盛花期 L^* 值达到 91.16,花色较浅;'红巴伦'的 L^* 值较小,说明'红巴伦'在整个开花时期花色较深。'艾丽'、'丰盛'和'高原之火'的 a^* 值较大,说明其花色偏红;而'红珠宝'和'高峰'的 a^* 值较小,花色整体偏白。'当娜'、'红珠宝'和'高峰'的 b^* 值较高,花色相对较深;'艾丽'和'高原之火'的 C^* 值较大,整体花色的彩度较高(表 6)。

表 6 25 个观赏海棠品种引种至河南郑州后在 4 个开花时期花色的色彩参数值

Table 6 Color parameter values of flowers at four flowering periods of 25 ornamental crabapple varieties after introduction to Zhengzhou, Henan Province

品种名 Cultivar	时期 Stage	明度(L^*) Brightness	红度(a^*) Redness	蓝度(b^*) Blueness	彩度(C^*) Chroma	色相角(h°) Hue angle
丰盛 Profusion	S1	34.52±2.31	44.78±2.01	1.34±0.10	44.81±2.76	0.03±0.02
	S2	47.50±1.95	36.48±2.52	−4.07±0.19	36.74±2.91	−0.12±0.01
	S3	48.81±1.11	37.35±3.72	−4.56±0.10	37.65±2.95	−0.13±0.03
	S4	67.34±2.10	16.71±3.68	−0.17±0.05	16.79±2.85	0.00±0.00

表 6(续)　Table 6(continued)

品种名 Cultivar	时期 Stage	明度(L^*) Brightness	红度(a^*) Redness	蓝度(b^*) Blueness	彩度(C^*) Chroma	色相角(h°) Hue angle
艾丽 Eleyi	S1	44.80±3.28	55.88±4.91	−0.53±0.05	55.90±4.62	−0.01±0.03
	S2	52.58±11.33	44.38±4.05	−5.90±0.06	44.80±8.51	−0.14±0.04
	S3	65.81±5.73	27.95±4.98	−5.94±0.11	28.58±5.06	−0.21±0.05
	S4	79.13±16.79	9.81±2.06	−2.63±0.11	10.18±2.63	−0.26±0.07
紫色完美 Perfect Purple	S1	34.66±9.51	41.04±3.35	−0.51±0.05	41.05±5.03	−0.01±0.04
	S2	49.99±9.92	36.65±10.06	−4.99±0.25	36.99±5.61	−0.14±0.02
	S3	56.12±10.85	32.43±8.79	−5.56±0.09	32.93±7.56	−0.17±0.03
	S4	63.67±10.60	20.68±1.58	−5.27±0.11	21.36±6.66	−0.25±0.09
钻石 Sparkler	S1	48.44±8.06	44.59±3.83	−3.21±0.06	44.72±3.63	−0.07±0.03
	S2	62.76±15.11	31.22±5.15	−5.89±0.18	31.81±5.84	−0.19±0.04
	S3	71.67±10.21	21.65±1.74	−6.03±0.08	22.49±2.03	−0.28±0.05
	S4	75.59±6.83	10.39±2.04	−1.18±0.10	10.59±1.99	−0.09±0.03
高原之火 Prairifire	S1	55.70±11.12	26.57±2.11	−4.64±0.13	27.18±8.00	−0.23±0.04
	S2	45.36±4.56	45.61±4.46	−4.07±0.12	45.81±4.93	−0.09±0.02
	S3	52.30±4.48	31.36±4.50	−7.30±0.07	32.22±4.34	−0.23±0.04
	S4	59.95±7.44	26.72±3.30	−7.71±0.06	27.89±5.09	−0.30±0.04
亚当 Adams	S1	44.25±9.64	32.42±4.57	−0.64±0.09	32.63±7.25	−0.06±0.05
	S2	45.49±7.44	42.08±3.63	−2.48±0.06	42.19±5.59	−0.06±0.03
	S3	54.14±7.55	32.76±4.07	−4.89±0.04	33.14±3.39	−0.15±0.04
	S4	65.46±12.71	19.24±4.65	−4.27±0.06	19.75±3.07	−0.21±0.06
当娜 Donald Wyman	S1	81.72±11.11	4.22±0.54	7.90±0.06	9.41±2.15	1.11±0.14
	S2	88.62±9.10	−1.74±0.81	3.27±0.03	3.74±1.04	−1.07±0.10
	S3	89.21±9.29	−2.33±0.76	2.59±0.07	3.52±1.22	−0.81±0.08
	S4	88.97±7.74	−2.15±0.53	2.49±0.07	3.36±1.02	−0.81±0.12
红巴伦 Red Barron	S1	28.85±5.72	35.72±4.08	4.18±0.08	35.99±3.38	0.12±0.06
	S2	36.05±5.36	37.14±4.40	−2.68±0.09	37.26±4.16	−0.08±0.04
	S3	40.66±8.78	38.43±10.74	−4.21±0.09	38.69±6.04	−0.11±0.04
	S4	60.86±7.83	18.17±3.78	−5.76±0.14	19.10±4.23	−0.30±0.06
塞尔科 Selkirk	S1	49.41±5.70	34.81±4.01	−7.16±0.09	35.59±4.21	−0.21±0.04
	S2	63.45±4.41	23.77±4.57	−6.93±0.11	24.77±4.26	−0.29±0.06
	S3	68.03±3.18	18.19±3.30	−3.89±0.28	18.68±4.34	−0.17±0.04
	S4	82.70±5.02	1.11±0.40	4.82±0.10	5.18±1.69	0.61±0.10
红珠宝 Jewelcole	S1	83.43±4.10	3.68±1.14	11.36±0.11	13.18±3.84	1.11±0.26
	S2	91.08±5.19	−2.57±0.64	2.54±0.11	3.67±1.11	−0.73±0.21
	S3	91.16±5.92	−2.11±0.97	1.51±0.07	2.66±0.95	−0.57±0.12
	S4	90.39±4.18	−2.11±0.79	2.17±0.04	3.11±0.97	−0.73±0.07
皇家雨点 Royal Raindrop	S1	52.92±5.89	36.75±7.97	−1.95±0.16	37.10±2.88	−0.13±0.07
	S2	51.21±2.80	43.13±3.81	−4.57±0.06	43.39±2.90	−0.11±0.09
	S3	75.42±2.74	15.95±2.54	−1.47±0.07	16.03±2.61	−0.08±0.07
	S4	83.99±7.58	4.27±0.40	0.00±0.00	4.44±1.00	0.07±0.06
印第安魔力 Indian Magic	S1	34.76±1.26	44.36±1.25	1.45±0.07	44.40±0.91	0.03±0.03
	S2	52.85±3.95	35.94±2.70	−4.16±0.09	36.20±3.99	−0.12±0.05
	S3	46.30±2.66	38.29±4.10	−5.03±0.11	38.64±6.77	−0.13±0.07
	S4	68.56±2.66	16.87±3.20	−3.45±0.07	17.27±1.07	−0.20±0.05
印第安夏天 Indian Summer	S1	48.65±4.35	35.79±2.77	−4.14±0.09	36.07±1.31	−0.12±0.04
	S2	69.37±6.45	17.34±2.34	−2.52±0.09	17.56±3.56	−0.13±0.06
	S3	79.01±6.66	7.55±0.84	0.77±0.10	7.77±0.94	0.14±0.03
	S4	83.42±1.20	1.93±0.49	3.44±0.07	4.12±2.15	1.09±0.05
金色童话 Golden Fairy	S1	61.78±5.53	34.41±3.95	0.82±0.07	34.44±2.16	0.03±0.03
	S2	87.09±4.13	5.09±0.84	−3.20±0.11	6.48±3.01	−0.59±0.12
	S3	91.01±7.64	−1.42±0.38	0.81±0.04	1.70±0.35	−0.50±0.07
	S4	87.54±6.20	−0.05±0.03	2.06±0.12	2.39±0.96	−0.44±0.02
高峰 Evereste	S1	75.41±2.10	7.40±2.14	12.10±0.14	15.04±1.74	1.01±0.06
	S2	87.53±3.86	−2.50±0.16	7.02±0.13	7.50±3.81	−1.19±0.06
	S3	88.22±2.98	−2.21±0.16	3.98±0.06	4.62±0.71	−1.04±0.06
	S4	88.28±5.58	−2.34±0.21	4.65±0.15	5.22±0.87	−1.09±0.07

表 6(续) Table 6(continued)

品种名 Cultivar	时期 Stage	明度(L^*) Brightness	红度(a^*) Redness	蓝度(b^*) Blueness	彩度(C^*) Chroma	色相角(h°) Hue angle
鲁道夫 Rudolph	S1	50.48±5.53	32.14±3.46	−0.65±0.10	32.50±2.47	−0.08±0.04
	S2	49.84±6.04	44.93±2.94	−4.58±0.11	45.18±4.98	−0.10±0.02
	S3	70.35±3.75	18.89±3.63	−3.27±0.14	19.19±3.68	−0.17±0.06
	S4	81.53±6.41	4.21±1.00	1.32±0.11	4.72±0.93	0.36±0.05
主教 Cardinal	S1	54.96±6.28	37.59±6.66	−6.31±0.16	38.13±4.94	−0.17±0.04
	S2	77.11±7.63	11.96±2.42	−2.24±0.10	12.17±2.38	−0.19±0.07
	S3	67.13±7.48	23.41±2.03	−7.06±0.08	24.47±3.11	−0.30±0.02
	S4	68.07±6.73	22.61±3.16	−6.50±0.08	23.54±2.50	−0.28±0.06
玫瑰柱 Velvet Pillar	S1	44.04±5.84	23.24±4.53	1.19±0.06	23.45±4.65	−0.01±0.02
	S2	58.83±3.02	24.81±5.01	−4.66±0.13	25.50±2.48	−0.23±0.02
	S3	64.98±8.75	25.08±8.50	−4.05±0.12	25.46±1.99	−0.14±0.02
	S4	76.97±4.01	9.64±0.71	−2.09±0.15	9.89±1.42	−0.20±0.07
白兰地 Brandy Wine	S1	61.78±4.05	33.62±4.63	4.60±0.04	34.01±3.52	0.14±0.02
	S2	60.94±3.18	43.13±5.45	−4.82±0.07	43.46±5.36	−0.12±0.02
	S3	79.60±6.14	13.36±2.43	−3.68±0.11	13.86±4.25	−0.27±0.04
	S4	81.77±5.65	6.89±1.57	−0.01±0.04	7.03±1.84	0.03±0.02
皇家美人 Royal Beauty	S1	35.23±3.42	46.83±4.95	3.15±0.04	46.98±3.12	0.07±0.02
	S2	52.95±3.83	38.80±1.81	−4.45±0.06	39.07±3.80	−0.12±0.03
	S3	53.74±3.02	32.45±4.04	−3.94±0.09	32.71±4.31	−0.13±0.03
	S4	72.62±6.64	13.31±3.61	−2.06±0.14	13.52±3.21	−0.16±0.03
科里 Corey	S1	70.80±3.99	18.49±2.71	14.18±0.07	23.62±2.43	0.65±0.06
	S2	76.40±8.81	20.36±2.71	−1.36±0.10	20.41±1.78	−0.07±0.04
	S3	82.75±5.46	8.57±2.45	−2.02±0.07	8.81±1.25	−0.24±0.04
	S4	84.19±5.39	4.32±0.82	1.76±0.12	4.81±1.21	0.37±0.06
多花 Floribunda	S1	82.90±5.64	11.40±2.54	−4.97±0.11	12.57±3.00	−0.44±0.02
	S2	85.78±7.65	7.61±2.05	−3.73±0.06	8.95±1.69	−0.56±0.07
	S3	88.96±4.30	2.15±0.76	−1.74±0.09	3.58±0.85	−0.36±0.04
	S4	86.38±7.07	3.33±1.15	−0.02±0.04	3.60±1.22	0.40±0.07
时光秀 Show Time	S1	47.17±5.57	40.09±5.65	−2.27±0.12	40.26±1.99	−0.08±0.03
	S2	52.95±2.13	43.32±5.78	−6.10±0.12	43.83±4.76	−0.15±0.02
	S3	56.47±6.39	37.64±7.71	−7.46±0.12	38.39±2.06	−0.20±0.04
	S4	70.90±4.59	15.61±2.13	−5.64±0.12	16.61±7.40	−0.35±0.04
薄荷糖 Candymint	S1	40.11±2.02	55.00±2.35	2.34±0.10	55.06±3.97	0.04±0.03
	S2	65.25±3.65	29.77±2.98	−3.63±0.11	29.99±1.67	−0.12±0.04
	S3	79.39±6.60	8.81±3.15	−0.84±0.10	8.85±1.43	−0.09±0.03
	S4	85.59±8.35	1.45±0.16	2.36±0.05	2.84±0.85	1.01±0.06

注:L^* 值越大,花色明度越高,花色越浅;a^* 值越大,花色越红;b^* 值越大,花色越深;C^* 值表示色彩的饱和度,值越大,彩度越大;h° 值表示花色的深浅变化。

Note: The larger the L^* value, the higher the color brightness, the lighter the color. The larger the a^* value, the redder the color. The larger the b^* value, the darker the color. C^* value represents the color saturation, the higher the value, the higher the saturation. h° value represents the shade changes of the flower colors.

综上可知,25 个观赏海棠品种花瓣颜色从花蕾期到开花末期变化明显,观赏海棠花蕾期的花色呈现不同程度的红色、粉色,色彩明度低,色彩饱和度高;在开花始期与开花盛期花色变浅,在开花末期变为不同程度的粉色甚至白色,色彩明度升高,色彩饱和度降低。

2.4 观赏海棠基于层次分析法的综合评价

2.4.1 判断矩阵及一致性检验 参考观赏海棠已有的观赏价值权重确定约束层 C 和指标层 P 的相对重要性,采用 1～9 比例标度法,生成层次模型及两两比较的判断矩阵 A-Ci、C1-Pi、C2-Pi,计算矩阵最大特征根 λ_{max} 和相应的权重系数[11]。随机一致性检验发现,3 个判断矩阵的 $R_C<0.10$,符合标准。在 2 个约束层中,中花特征(C1)的权重值为 0.666 7,树特征(C2)的权重值为 0.333 3。依据权重值排序,8 个指标中总权重值排前 3 的依次为花量(P4)、花期(P1)和生长势(P8)(表 7),说明花量、花期、生长势是观赏海棠重要的评价指标,对海棠的综合评价影响最大。

表 7　基于层次分析法对观赏海棠进行综合评价的判断矩阵及各指标权重和一致性检验结果

Table 7　Judgment matrix of comprehensive evaluation of ornamental crabapple and results of weight and consistency verification

层次模型 Hierarchical model	判断矩阵 Judgement matrix						权重 Weight	总权重 Total weight	总权重排序 Total weight ranking	一致性检验 Consistency test
A-Ci	A	C1	C2							
	C1	1	2				0.666 7			λ_{max}= 2.000 0
	C2	1/2	1				0.333 3			R_C=0.000 0
C1-Pi	C1	P1	P2	P3	P4	P5				
	P1	1	2	2	1/3	3	0.234 7	0.156 5	2	λ_{max}=5.210 3
	P2	1/2	1	1/2	1/4	1/2	0.084 4	0.056 3	8	R_C=0.046 9
	P3	1/2	2	1	1/3	1	0.133 3	0.088 8	7	
	P4	3	4	3	1	2	0.408 5	0.272 3	1	
	P5	1/3	2	1	1/2	1	0.138 8	0.092 5	6	
C2-Pi	C2	P6	P7	P8						
	P6	1	1/2	1			0.281 4	0.093 9	5	λ_{max}=3.103 9
	P7	2	1	1/2			0.330 4	0.110 1	4	R_C=0.099 9
	P8	1	2	1			0.388 0	0.129 3	3	

2.4.2　综合得分及分级　根据表 1 的各评价指标评分标准和表 7 的评价指标总权重对供试海棠进行综合评分[28]，可将 25 个观赏海棠品种分为 3 级（表 8）：‘塞尔科’、‘高峰’、‘皇家美人’和‘多花’的综合评分大于 4 分，具有花量大、花期长、植株生长势旺盛等优点，确定其等级为Ⅰ级，其中‘塞尔科’的综合评分最高，达到 4.436 8；Ⅱ级综合得分介于 3～4，包含‘丰盛’等 17 个观赏海棠品种，其均能较好地适应郑州地区的环境，具有较高的观赏价值；综合得分小于 3 的为Ⅲ级品种，包括‘金色童话’、‘白兰地’和‘科里’，表现为花量较少、花期较短，整体生长势较弱，不适宜在郑州地区大面积种植，可与其他优良品种搭配栽植。综上可知，引种的 25 个观赏海棠品种中，位于Ⅰ级的‘塞尔科’、‘高峰’、‘皇家美人’和‘多花’是最适宜在郑州地区推广栽植的海棠品种。

表 8　25 个观赏海棠品种基于层次分析法的综合评价结果

Table 8　Comprehensive evaluation results of 25 ornamental crabapple varieties based on hierarchical analysis

品种名 Cultivar	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	C1 权重得分 Weight score	C2 权重得分 Weight score	综合得分 Comprehensive score	分级 Classification
丰盛 Profusion	4	5	5	4	3	4	2	4	2.718 2	1.113 0	3.831 2	Ⅱ
艾丽 Eleyi	4	4	4	5	3	3	2	5	2.845 4	1.148 4	3.993 8	Ⅱ
紫色完美 Perfect Purple	4	5	4	3	3	3	2	5	2.357 1	1.148 4	3.505 5	Ⅱ
钻石 Sparkler	5	5	3	4	3	1	4	4	2.697 1	1.051 5	3.748 6	Ⅱ
高原之火 Prairifire	3	4	4	4	3	3	3	4	2.416 6	1.129 2	3.545 8	Ⅱ
亚当 Adams	4	4	5	3	3	3	3	4	2.389 6	1.129 2	3.518 8	Ⅱ
当娜 Donald Wyman	4	4	5	4	3	3	3	4	2.661 9	1.129 2	3.791 1	Ⅱ
红巴伦 Red Barron	3	5	5	1	3	5	3	4	1.744 8	1.317 0	3.061 8	Ⅱ
塞尔科 Selkirk	4	5	5	5	3	5	3	5	2.990 5	1.446 3	4.436 8	Ⅰ
红珠宝 Jewelcole	3	4	5	4	3	3	3	4	2.505 4	1.129 2	3.634 6	Ⅱ
皇家雨点 Royal Raindrop	3	4	4	4	3	4	2	4	2.416 6	1.113 0	3.529 6	Ⅱ
印第安魔力 Indian Magic	4	4	5	5	3	2	2	4	2.934 2	0.925 2	3.859 4	Ⅱ
印第安夏天 Indian Summer	4	5	3	5	3	2	2	5	2.812 9	1.054 5	3.867 4	Ⅱ
金色童话 Golden Fairy	4	3	5	1	3	2	2	4	1.788 7	0.925 2	2.713 9	Ⅲ
高峰 Evereste	4	4	5	5	3	3	3	5	2.934 2	1.258 5	4.192 7	Ⅰ
鲁道夫 Rudolph	3	4	4	3	3	3	3	3	2.144 3	0.999 9	3.144 2	Ⅱ
主教 Cardinal	3	4	4	3	3	3	3	4	2.144 3	1.129 2	3.273 5	Ⅱ
玫瑰柱 Velvet Pillar	4	5	5	1	3	3	3	4	1.901 3	1.129 2	3.030 5	Ⅱ
白兰地 Brandy Wine	3	5	4	1	5	2	2	4	1.841 0	0.925 2	2.766 2	Ⅲ
皇家美人 Royal Beauty	4	5	4	5	3	2	5	5	2.901 7	1.384 8	4.286 5	Ⅰ
科里 Corey	3	5	4	1	5	3	2	5	1.841 0	1.148 4	2.989 4	Ⅲ
多花 Floribunda	5	5	3	5	3	2	2	5	2.969 4	1.054 5	4.023 9	Ⅰ
时光秀 Show Time	3	4	4	3	3	3	3	5	2.144 3	1.258 5	3.402 8	Ⅱ
薄荷糖 Candymint	3	3	4	3	3	2	4	4	2.088 0	1.145 4	3.233 4	Ⅱ

3 讨 论

物候期是研究植物生长发育的重要依据,了解植物的物候期对研究植物的引种适应性、生长状况和观赏价值等具有重要意义[29]。有文献报道,海棠的开花期在 3 月下旬到 5 月下旬,花期可达到 15～20 d[30]。本研究中,25 个供试观赏海棠品种引种至河南郑州后,除'金色雨点'未开花外,其余品种均能在 3 月中下旬进入开花始期,4 月中上旬陆续进入开花末期,第 1 年花期 5～18 d,第 2 年花期 8～23 d,符合观赏海棠花期物候,说明观赏海棠能够适应郑州地区的环境。大部分观赏海棠在引种第 1 年就能顺利萌芽、开花,说明观赏海棠的环境适应能力较强。多数观赏海棠引种第 2 年的花期延长,说明观赏海棠的适应能力可能随着引种年限的增加而逐渐增强,但是不能排除引种两年里气温、降水量、光照等生长环境的差异对物候期观测带来的影响,仍需更长期地观测引种时间带来的物候变化。观赏海棠品种间的生长势差异,反映了其对生长地的适应能力,'艾丽'等 10 个品种生长旺盛,对郑州地区的适应能力较好,可以尝试作为郑州道路绿化的潜力树种,丰富郑州市区道路绿化观花树种;'丰盛'等 14 个品种的生长势中等,能较好地适应郑州环境,可以种植在校园和城市公园中;'鲁道夫'的生长势一般,对郑州地区的适应能力较差,栽植后需要定期养护管理[19]。

观赏海棠花量大;花朵类型多为单瓣,重瓣及半重瓣的品种少;花色繁多,由浅至深依次有白色、粉色、红色、紫色等,具有非常高的观赏价值[19]。本研究对 25 个观赏海棠品种的花径、花型、花量和花色进行观测发现,'塞尔科'花径最大,花量近覆盖叶片,花朵颜色鲜艳,观赏价值高,可以孤植、对植或丛植于广场、城市花坛、居住区内,独立成景,用于美化城市环境[29]。'白兰地'和'科里'是重瓣花,但是花量少,整体观赏效果一般,可以与花量大的'艾丽'等品种搭配种植,也可以作为海棠品种选育的优良亲本[31]。观赏海棠开花时期的花色变化提升了海棠的观赏价值,对园林观赏植物景观搭配、花色育种改良等具有重要意义。

运用层次分析法对 25 个海棠品种的花特征、树特征进行引种适应性和观赏价值综合评价,可将 25 个海棠品种分为 3 级,Ⅰ级包括'塞尔科'、'高峰'、'皇家美人'和'多花'4 个品种,具有花量大、花期长、株型高、生长势好等优良性状,适应能力强,观赏价值高,可作为春季观花树种广泛应用于郑州风景区、滨河两岸、住宅区、公路绿化带、城市公园等的园林景观建设中;Ⅱ级观赏海棠 17 种,具有较高的观赏价值,能够较好地适应郑州地区的环境,可以多品种搭配种植,扩大栽植规模,打造以海棠为主的园林空间;Ⅲ级品种'金色童话'、'白兰地'和'科里',不适宜在郑州地区大面积种植,可以参与建设海棠专类园,丰富观赏海棠品种资源[19]。

[参考文献]

[1] 李舒情,张往祥,申铁乾. 观赏海棠开花物候特征与气候适应性[J]. 西北植物学报,2024,44(10):1656-1664.
LI S Q,ZHANG W X,SHEN Y Q. Flowering phenology characteristics and climate adaptability of ornamental crabapple[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica,2024,44(10):1656-1664.

[2] 刘凤栾,房义福,孙居文,等. 36 种欧美观赏海棠生长与光合生理特性分析[J]. 植物生理学报,2013,49(8):738-742.
LIU F L,FANG Y F,SUN J W,et al. Analysis on the growth and photosynthetic characteristics of 36 furamerican ornamental crabapples[J]. Plant Physiology Journal,2013,49(8):738-742.

[3] 何梅,胡玉安,武启飞,等. 北美海棠 6 品种在南方地区的引种研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2019,43(6):73-82.
HE M,HU Y A,WU Q F,et al. Study on the growth adaptability of north American crabapple introduced to southern China[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition),2019,43(6):73-82.

[4] 楚爱香. 河南观赏海棠品种分类研究[D]. 南京:南京林业大学,2009.
CHU A X. Research on the cultivar classification of ornamental crabapples in Henan[D]. Nanjing:Nanjing Forestry University,2009.

[5] 刘胜男. 观赏海棠表型多样性分析与评价[D]. 郑州:河南农业大学,2022.
LIU S N. Analysis and evaluation of phenotypic diversity of ornamental crabapple[D]. Zhengzhou:Henan Agricultural University,2022.

[6] 高志勤. 观赏竹引种栽培的适应性及生长特征[J]. 安徽农学通报,2024,30(16):42-45.
GAO Z Q. Adaptability and growth characteristics of ornamental bamboo species introduced for cultivation[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin,2024,30(16):42-45.

[7] 庄铭皓,赵生寿,毕星,等. 城市化对上海市城乡梯度上植物爆芽与展叶物候的影响[J]. 生态学报,2024,44(6):2396-2405.
ZHUANG M H,ZHAO S S,BI X,et al. Impact of urbanization on bud burst and leaf unfolding phenology of plants along urban-rural gradient Shanghai,China[J]. Acta Ecologica Sinica,2024,44(6):2396-2405.

[8] 储吴樾，范俊俊，张往祥. 观赏海棠花期物候稳定性及其对温度变化的响应[J]. 南京林业大学学报(自然科学版)，2020，44(5)：49-54.
CHU W Y，FAN J J，ZHANG W X. Phenological stability of ornamental crabapple and its response to temperature change [J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)，2020，44(5)：49-54.

[9] 张往祥，魏宏亮，江志华，等. 观赏海棠品种群的花期物候特征研究[J]. 园艺学报，2014，41(4)：713-725.
ZHANG W X，WEI H L，JIANG Z H，et al. Studies on flowering phenological characteristics of ornamental crabapple cultivar group[J]. Acta Horticulturae Sinica，2014，41(4)：713-725.

[10] 王莹，李玉娟，谈峰，等. 8 个彩叶紫薇品种观赏性及适应性评价[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版)，2020，46(3)：327-333.
WANG Y，LI Y J，TAN F，et al. Evaluation of ornamental value and adaptability of eight varieties of crape myrtle with color leaves[J]. Journal of Zhejiang University (Agric & Life Sci)，2020，46(3)：327-333

[11] 吴晓星，刘凤栾，房义福，等. 36 个欧美观赏海棠品种(种)应用价值的综合评价[J]. 南京林业大学学报(自然科学版)，2015，39(1)：93-98.
WU X X，LIU F L，FANG Y F，et al. A comprehensive evaluation on application value of 36 Euro-American ornamental crabapples[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)，2015，39(1)：93-98.

[12] 李路文，杨美玲，曹振玉，等. 51 种苹果属观赏海棠花朵形态特征分析与分类研究[J]. 林业科技，2023，48(2)：45-49.
LI L W，YANG M L，CAO Z Y，et al. Discussion about 51 *Malus* cultivars morphological characteristics of the ornamental crabapple's flower and classification[J]. Forestry Science & Technology，2023，48(2)：45-49.

[13] 张洁. 四种观赏植物花青苷分析及其花色形成机制[D]. 陕西杨凌：西北农林科技大学，2011.
ZHANG J. Studies on petal anthocyanins compositions and coloration mechanism of four oramental plants[D]. Yangling，Shaanxi：Northwest A&F University，2011.

[14] 葛雨萱，王亮生，徐彦军，等. 蜡梅的花色和花色素组成及其在开花过程中的变化[J]. 园艺学报，2008(9)：1331-1338.
GE Y X，WANG L S，XU Y J，et al. Flower color pigment composition and their changes during flowering in *Chimonanthus praecox* Link[J]. Acta Horticulturae Sinica，2008(9)：1331-1338.

[15] 张圆圆，齐冬梅，刘辉，等. 观赏向日葵的花色多样性及其与花青苷的关系[J]. 园艺学报，2008(6)：863-868.
ZHANG Y Y，QI D M，LIU H，et al. The diversity of flower color of the ornamental sunflower and the relation to anthocyanins[J]. Acta Horticulturae Sinica，2008(6)：863-868.

[16] 张哲，潘会堂. 园林植物景观评价研究进展[J]. 浙江农林大学学报，2011，28(6)：962-967.
ZHANG Z，PAN H T. Research on the evaluation of garden plant landscapes[J]. Journal of Zhejiang A&F University，2011，28(6)：962-967.

[17] 满丽婷，张锦梅，刘桂英. 基于层次分析法的海棠品种观赏性评价体系构建与应用[J]. 北方园艺，2022(23)：61-67.
MAN L T，ZHANG J M，LIU G Y. Establishment and application of ornamental evaluation system for *Malus* spp varieties based on Analytic Hierarchy Process[J]. Northern Horticulture，2022(23)：61-67.

[18] 张艳文. 25 个海棠品种生长及观赏特性研究[D]. 郑州：河南农业大学，2024.
ZHANG Y W. Study on growth and ornamental characteristics of 25 varieties of crabapple[D]. Zhengzhou：Henan Agricultural University，2024.

[19] 杨润溪，李厚华. 海棠的园林价值分析[J]. 西北林学院学报，2017，32(3)：289-294.
YANG R X，LI H H. Landscape value analysis of crabapple [J]. Journal of Northwest Forestry University，2017，32(3)：289-294.

[20] 吴丁丁. 园林植物栽培与养护[M]. 北京：中国农业大学出版社，2007：22-25.
WU D D. Cultivation and maintenance of garden plants[M]. Beijing：China Agricultural University Press，2007：22-25.

[21] 王婷. 天津地区观赏海棠引种与筛选[J]. 北方园艺，2015(3)：70-72.
WANG T. Introduction and screening of crabapple in Tianjin region[J]. Northern Horticulture，2015(3)：70-72.

[22] 张鑫月，周晓慧，张悦，等. 基于层次分析法的胡枝子属植物观赏性综合评价[J]. 中国农学通报，2024，40(16)：83-88.
ZHANG X Y，ZHOU X H，ZHANG Y，et al. Comprehensive evaluation of ornamental characteristics of *Lespedeza* plants based on Analytic Hierarchy Process[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin，2024，40(16)：83-88.

[23] 夏冰，司志国，周垂帆. 基于层次分析法的木瓜属海棠植物景观价值评价[J]. 北方园艺，2017(17)：115-119.
XIA B，SI Z G，ZHOU C F. AHP-based landscape evaluation of *Chaenomeles* cultivars [J]. Northern Horticulture，2017 (17)：115-119.

[24] 安红. 26 种海棠观赏价值评价及呈色原理分析[D]. 陕西杨凌：西北农林科技大学，2024.
AN H. Ornamental value evaluation and color principle analysis of 26 kinds of *Malus* spp[D]. Yangling，Shaanxi：Northwest A&F University，2024.

[25] 张全全，张龙，李丽娟，等. 观赏海棠自由授粉子代花色特征及选优[J]. 东北林业大学学报，2021，49(8)：56-59，77.
ZHANG Q Q，ZHANG L，LI L J，et al. Selection of color characteristics of free pollinated progeny of ornamental crabapple[J]. Journal of Northeast Forestry University，2021，49(8)：56-59，77.

[26] 杨祎凡，乔梦，张往祥. 层次分析法在海棠半同胞家系优株选择的应用研究[C]//中国园艺学会. 中国观赏园艺研究进展. 北京：中国林业出版社，2017：265-272.
YANG Y F，QIAO M，ZHANG W X. Application of Analytic Hierarchy Process in the selection for superior plants of 11

half-sib families of ornamental crabapple[C]//Chinese Society for Horticultural Science. Adances in ornamental horticulture of China. Beijing: China Forestry Publishing House, 2017:265-272.

[27] LIU Y,CHEN S,PAL S,et al. The hormonal,metabolic,and environmental regulation of plant shoot branching[J]. New Crops,2024(1):10028.

[28] 朱倩玉,姜新强,刘庆超,等. 青岛地区彩叶树种的综合评价研究[J]. 中国农学通报,2016,32(31):13-19.
ZHU Q Y,JIANG X Q,LIU Q C,et al. Comprehensive evaluation of colored-leaf trees in Qingdao[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2016,32(31):13-19.

[29] 王向光. 观赏海棠不同品种表型性状分析[D]. 河北秦皇岛:河北科技师范学院,2018.
WANG X G. Phenotypic analysis of different varieties of ornamental crabapple[D]. Qinhuangdao,Hebei:Hebei Normal University of Science & Technology,2018.

[30] 耿健. 观赏海棠花青素代谢途径与产物的研究[D]. 重庆:西南大学,2011.
GENG J. The metabolic pathway of anthocyanin and itsmetabolites in *Malus* crabapples[D]. Chongqing:Southwest University,2011.

[31] 郑杨,曲晓玲,郭翎,等. 观赏海棠资源谱系分析及育种研究进展[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2008(1):152-160.
ZHENG Y,QU X L,GUO L,et al. Advances on ornamental crabapple resources[J]. Journal of Shandong Agricultural University(Natural Science),2008(1):152-160.

(责任编辑:窦春蕊)

(上接第18页)

[19] 魏永霞,曹晓强,冀俊超,等. 不同灌溉方式下旱直播水稻光合特性与干物质积累动态[J]. 农业机械学报,2021,52(10):358-368.
WEI Y X,CAO X Q,JI J C,et al. Effects of different irrigation methods on photosynthetic characteristics and dry matter accumulation dynamics of dry direct seeding rice[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2021,52(10):358-368.

[20] 甘雨康,施浩然,崔宁博,等. 不同微灌方式下水分调控对猕猴桃光合特性及产量的影响[J]. 灌溉排水学报,2020,39(4):17-25.
GAN Y K,SHI H R,CUI N B,et al. Effects of water regulation on photosynthetic characteristics and yield of kiwifruit leaves under different micro-irrigation methods[J]. Journal of Irrigation and Drainage,2020,39(4):17-25.

[21] 姚宇恒,南丽丽,陈洁,等. 红豆草幼苗叶片光合和叶绿素荧光对干旱胁迫的响应[J]. 草业科学,2024,41(5):1161-1174.
YAO Y H,NAN L L,CHEN J,et al. Effects of drought stress on the leaf photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence of sainfoin seedlings[J]. Pratacultural Science,2024,41(5):1161-1174.

[22] 刘亚娜,刘世增,王芳,等. 穴贮肥水和秸秆覆盖对苹果树光合及叶绿素荧光特性的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(14):164-172.
LIU Y N,LIU S Z,WANG F,et al. Impacts of hole fertilizer storage and straw mulching on photosynthesis and chlorophyll fluorescence of apple trees[J]. Jiangsu Agricultural Sciences,2019,51(14):164-172.

[23] 王琦,谭占明,程云霞,等. 不同比例红蓝光夜间补光对番茄生长生理的影响[J]. 山东农业科学,2024,56(9):58-66.
WANG Q,TAN Z M,CHENG Y X,et al. Effects of supplementing red and blue light at different ratios at night on growth and physiology of tomato[J]. Shandong Agricultural Sciences,2024,56(9):58-66.

[24] 刘丙花,赵登超,梁静,等. 4个品种核桃砧木幼苗干旱生理响应及抗旱性评价[J]. 经济林研究,2020,38(1):11-19.
LIU B H,ZHAO D C,LIANG J,et al. Physiological responses to drought stress and resistances evaluation of four cultivars of walnut root stock seedlings[J]. Non-Wood Forest Research,2020,38(1):11-19.

[25] YU Z C,ZHENG X T,LIN W,et al. Photoprotection of *Arabidopsis leaves* under short-term high light treatment:the antioxidant capacity is more important than the anthocyanin shielding effect[J]. Plant Physiology and Biochemistry,2021,166:258-269.

[26] 苗婷婷,吴中能,刘俊龙,等. 7个杨树品种苗期叶片解剖结构和叶绿素荧光特性研究[J]. 中国农学通报,2024,40(24):51-59.
MIAO T T,WU Z N,LIU J L,et al. Study on leaf anatomical structure and chlorophyll fluorescence characteristics of seven poplar varieties at seedling stage[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2024,40(24):51-59.

(责任编辑:屈李纯)