

13个洛阳牡丹品种在山西地区盆栽试验研究

赵唯唯¹, 张明明^{2*}

¹西藏大学生态环境学院, 西藏 拉萨

²拉萨市曲水县南木乡人民政府, 西藏 拉萨

收稿日期: 2024年6月6日; 录用日期: 2024年7月5日; 发布日期: 2024年7月22日

摘要

目的: 为丰富盆栽牡丹品种、实现盆栽牡丹在山西地区规范化、规模化、标准化生产的参考, 为牡丹盆栽产业的发展提供了基础。方法: 利用13种洛阳牡丹品种进行试验, 研究它们的生长周期、形态特征和生理特性, 以确定最适合盆栽栽培的品种; 同时, 以‘银红巧对’为研究对象, 采用有机肥、草炭、蛭石、木屑等作为基质材料, 设置了6种不同的基质配比方案, 以育苗基质(有机肥:草炭:蛭石:木屑 = 1:1:1:1)作为对照组, 对其生长周期、形态特征和生理特性进行了测定和分析, 以找出最适合的栽培基质。结果: 在研究中发现, 赵粉是综合评价指数最高的牡丹品种, 其次是雪映桃花、魏紫、二乔、藏枝红和朱砂垒。相反, 花王、姚黄、凤丹白和岛锦品种的综合评价指数较低。这一结果与物候期、形态指标和生理指标所得到的结论基本一致。在基质方面, F4的综合评价指数最高, 而CK最低, 与物候期、形态指标和生理指标的结果基本一致。结论: 综合来看, 赵粉是山西地区最适合盆栽的牡丹品种, 其次是雪映桃花、魏紫、二乔、藏枝红和朱砂垒。此外, 最适合牡丹盆栽的基质配比为有机肥:草炭:蛭石:木屑 = 4:2:2:2。

关键词

牡丹, 形态指标, 生理指标, 栽培基质

Study on the Potted Cultivation of 13 Luoyang Peony Varieties in Shanxi Region

Weiwei Zhao¹, Mingming Zhang^{2*}

¹School of Ecology and Environment, Tibet University, Lhasa Tibet

²People's Government of Nanmu Township, Qushui County, Lhasa Tibet

Received: Jun. 6th, 2024; accepted: Jul. 5th, 2024; published: Jul. 22nd, 2024

*通讯作者。

Abstract

Objective: In order to enrich the varieties of potted peony and realize the standardized, large-scale and standardized production of potted peony in Shanxi Province, it provides a basis for the development of potted peony industry. **Method:** The growth cycle, morphological characteristics and physiological characteristics of 13 Luoyang peony varieties were studied to determine the most suitable varieties for pot cultivation. At the same time, "Yinhongqiaodui" was used as the research object, and organic fertilizer, peat, vermiculite and sawdust were used as matrix materials. Six different matrix ratio schemes were set up, and the seedling substrate (organic fertilizer:peat:vermiculite:sawdust = 1:1:1:1) was used as the control group. The growth cycle, morphological characteristics and physiological characteristics were measured and analyzed to find out the most suitable cultivation substrate. **Result:** In the study, it was found that Zhaofen was the peony variety with the highest comprehensive evaluation index, followed by Xueyingtaohua, Weizi, Erqiao, Zangzhihong and Zhushalei. On the contrary, the comprehensive evaluation indexes of Huawang, Yaohuang, Fengdanbai and Daojin were lower. This result is basically consistent with the conclusion of phenological period, morphological index and physiological index. In terms of substrate, the comprehensive evaluation index of F4 was the highest, while CK was the lowest, which was basically consistent with the results of phenological period, morphological index and physiological index. **Conclusion:** On the whole, Zhaofen is the most suitable potted peony variety in Shanxi, followed by Xueyingtaohua, Weizi, Erqiao, Zangzhihong and Zhushalei. In addition, the most suitable substrate ratio for peony potting was organic fertilizer:peat:vermiculite:sawdust = 4:2:2:2.

Keywords

Peony, Morphological Indicators, Physiological Indicators, Cultivation Substrate

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

【研究意义】牡丹(*Paeonia suffruticosa* Andr.)是芍药属牡丹组的多年生木本植物,是我国特有的名贵花卉[1],也是我国的传统名花之一,素有“国色天香”的美称,也有“花中之王”的美誉。牡丹属于芍药科(*Paeoniaceae*)芍药属(*Paeonia* L.)牡丹组(*Sect. Moutan* DC.)落叶灌木[2]。牡丹具有药用价值、食用价值、观赏价值、经济等价值等,因其栽培历史悠久但作为最常见的观赏性花卉,多以地栽种植为主,无法满足市场需求。近年来,在园林、公园、景观建设、城市建设中都比较常见,但作为观赏性植物盆栽摆放在家中或者会议室等场所更少,所以研究盆栽试验有利于美化环境和身心健康。不同地区可能对盆栽牡丹的品种选择和栽培基质有不同的适应性。因此,要实现牡丹产业化发展,首先要实现从地栽向盆栽的转变,为后期周年化生产奠定基础[3]。盆栽的基质(或介质)又称盆花的栽培基质(或培养基质)它是盆栽植物赖以固定在容器内的介质也是盆花吸收水分和养分进行自养生长的基础在园林及花卉生产中起着重要的作用[4]。**【前人研究进展】**尚雁鸿[5]等研究了以7个菏泽牡丹品种为试验材料,对其物候期及形态指标和生理指标进行了测定和分析,为日后丰富盆栽牡丹品种、实现盆栽牡丹在银川地区的规范化、规模化、标准化生产提供了参考。朱报著[6]等通过对红花荷的盆栽基质进行研究,找到了适合其生长的培养基质。叶露莹[7]等人调查了不同处理对芍药的生长和发育的影响,结果显示可以通过控制花期来调

节市场供应,为芍药的全年生产和产业化提供了理论支持。金莉[8]研究了不同葡萄盆栽基质的理化特性,为选择合适的盆栽基质以及田间葡萄生产提供了参考依据。黄少峻等人[9]通过对‘洛阳红’牡丹的生长状况和生理指标进行分析,对牡丹无土盆栽基质进行了优化和筛选研究,旨在为牡丹的简易栽培和盆花出口提供技术支持。张天翔[10]通过研究不同复合基质配方对姜荷花的生长发育影响,旨在找到最适合姜荷花盆栽的基质配方。实验结果表明,不同基质并不显著影响姜荷花的萌芽率,而椰糠:泥炭土:珍珠岩:红壤 = 3:3:1:3 (体积比)的复合基质被确认为姜荷花盆栽中效果较佳的栽培基质。王丽君[11]等研究发现,盆栽牡丹在选育过程中所使用的基质应当具备疏松、透气、肥沃的特性,这样的基质环境有利于牡丹的生长发育。由此可以看出盆栽牡丹还是比较受欢迎的,具有较高的价值。高凯等[12]总结了国内有关牡丹栽培中基质和外源激素的研究现状,并提出了牡丹无土盆栽面临的主要挑战,同时对其未来发展前景进行了展望。李润等[13]通过黄五彩番茄盆栽基质试验,确定了最适合种植黄五彩番茄的最佳基质配方为椰糠:珍珠岩:园土比例为 2:1:1。阿日文等[14]通过盆栽试验研究了 3 个牡丹品种对干旱和水涝胁迫的生理响应,这种方法更加直观地展现了结果。田雪慧等[15]在温室盆栽试验中,研究了草炭、蛭石、珍珠岩和菇渣四种基质不同配方对朱顶红生长的影响。结果显示,草炭:蛭石:珍珠岩:菇渣比例为 1:1:2:2 的基质配方最适合朱顶红的生长。【本研究切入点】通过其他学者研究,我们在此基础上为牡丹的关键技术做好服务提升,发挥更大的经济价值,也更利于盆栽栽培,在运输各方面也较方便,在搭配基质使用,达到延长牡丹花期,实现其观赏价值。【拟解决的关键问题】先前通过对洛阳牡丹进行地栽引种到大同公园,长势较好,现通过盆栽的方式对选取多个牡丹品种进行盆栽比较试验,筛选出最适宜盆栽生长的牡丹品种;通过对银红巧对进行不同基质配比的盆栽比较试验,旨在寻找最佳的栽培基质配比,以为盆栽牡丹的培育提供更多技术和理论支持。

2. 材料与方法

2.1. 供试材料

在品种筛选试验中,选取了姚黄、乌龙捧盛、二乔、雪映桃花、藏枝红、赵粉、魏紫、绿幕隐玉、朱砂垒、凤丹白、金晃、花王、岛锦等 13 个品种作为试验材料,其中 5 年生、无病虫害的幼苗植株被选择,其生长情况较为一致,主要具备 4~7 分枝,枝条高度超过 15 厘米,老枝粗度达到 0.7 厘米以上。而在栽培基质筛选试验中,以银红巧对为试验材料,选用了 3 年生、无病虫害的幼苗植株,生长情况也较为一致,主要特点包括 4~5 分枝、枝条高度超过 12 厘米、老枝粗度达到 0.5 厘米以上。所有试验材料均来自洛阳药王山牡丹园,并采用盆栽方法,选择的盆的规格为口径 40 厘米,深度 35 厘米。牡丹材料详见表 1。

2.2. 试验方法

试验于 2021 年 9 月在山西大同公园进行,研究内容主要包括洛阳牡丹品种筛选和栽培基质配比筛选两个方面。

2.2.1. 品种筛选试验

设计方法:采用随机区组设计。

试验品种:13 个不同的洛阳牡丹品种。

重复设置:每个牡丹品种设置了 3 个独立的重复实验,每个重复实验包含 3 株植株。

栽培条件:所有品种使用相同的栽培基质进行栽培,以确保试验条件的一致性。

2.2.2. 基质配比筛选试验

设计方法:同样采用随机区组设计。

配比方案: 设计了 6 种不同的基质配比方案。具体配比方案如下: 配比 1: 有机肥:草炭:蛭石:木屑 = 5:1:2:2, 配比 2: 有机肥:草炭:蛭石:木屑 = 5:1:3:1, 配比 3: 有机肥:草炭:蛭石:木屑 = 4:1:2:3, 配比 4: 有机肥:草炭:蛭石:木屑 = 4:2:2:2, 配比 5: 有机肥:草炭:蛭石:木屑 = 4:3:2:1, 配比 6: 有机肥:草炭:蛭石:木屑 = 3:3:1:3, 对照组: 有机肥:草炭:蛭石:木屑 = 1:1:1:1。

重复设置: 对每种基质配比进行了 3 次独立的重复实验, 每个重复实验包含 3 株植株。

通过这种设计, 试验旨在筛选出在山西地区盆栽栽培条件下表现最优的洛阳牡丹品种以及最佳的栽培基质配比, 以期为该地区牡丹盆栽提供科学依据和实践指导。

Table 1. Test materials, types and basic characteristics of peony

表 1. 牡丹供试材料、类型及基本特征

品种名	花色	花型	品种来源	品种群	取样地
姚黄	淡黄色	皇冠型、金环型	传统品种	中原牡丹品种群	洛阳药王山牡丹园
乌龙捧盛	紫红色	台阁型	传统品种	中原牡丹品种群	洛阳药王山牡丹园
二乔	紫红色、粉色、复色	蔷薇型	传统品种	中原牡丹品种群	洛阳药王山牡丹园
雪映桃花	粉色	皇冠型	传统品种	中原牡丹品种群	洛阳药王山牡丹园
藏枝红	紫红色	皇冠型	传统品种	中原牡丹品种群	洛阳药王山牡丹园
赵粉	粉色	皇冠型、荷花型、金环型、托桂型	传统品种	中原牡丹品种群	洛阳药王山牡丹园
魏紫	紫色	皇冠型	传统品种	中原牡丹品种群	洛阳药王山牡丹园
绿幕隐玉	绿色、白色	绣球型	传统品种	中原牡丹品种群	洛阳药王山牡丹园
朱砂垒	浅红色微带紫	荷花型	传统品种	中原牡丹品种群	洛阳药王山牡丹园
银红巧对	浅红色	蔷薇型、菊花型	传统品种	中原牡丹品种群	洛阳药王山牡丹园
凤丹白	白色	单瓣型	江南品种	江南牡丹品种群	洛阳药王山牡丹园
金晃	黄色	菊花型	引种	法国牡丹品种群	洛阳药王山牡丹园
花王	红色	蔷薇型	引种	日本牡丹品种群	洛阳药王山牡丹园
岛锦	复色	菊花型	引种	日本牡丹品种群	洛阳药王山牡丹园

Table 2. Different matrix ratio

表 2. 不同基质配比

处理	有机肥	草炭	蛭石	木屑
F1	5	1	2	2
F2	5	1	3	1
F3	4	1	2	3
F4	4	2	2	2
F5	4	3	2	1
F6	3	3	1	3
CK	1	1	1	1

2.3. 指标测定

2.3.1. 物候期的指标记录

观测记录以下 11 项内容: 露芽期、现蕾期、新枝伸长期、萼片始展期、展叶期, 圆蕾期、垂萼期、

透色期、绽口期、初开期、谢花期[5]。

2.3.2. 生长形态指标测定

从每盆牡丹中挑选出 3 株生长良好、生长情况相对一致的枝条, 进行观察并记录相关数据。

(1) 新枝长度: 从老枝顶部新枝底部至新枝顶部的长度。

(2) 叶片长度: 对于每株牡丹, 从顶部第二片复叶开始, 测量叶柄到叶尖的长度。

(3) 叶片厚度: 用 YH-I 型叶片厚度仪测量叶片厚度。

(4) 叶柄长度: 从叶片基部到叶柄顶端的距离。

(5) 冠幅: 植株最宽处的长度。

(6) 叶绿素含量: 在盛花期, 使用 SPAD-502 型叶绿素仪来测量供试枝从顶端向下数第二片复叶的叶绿素含量。

(7) 光合作用参数: 在测定过程中, 选择生长情况一致、无病虫害的植株, 并使用 Li-6400 便携式光合作用仪进行测量。测量时选取完全展开的第二片复叶, 在上午 10:00 至 11:30 之间进行光合作用参数的测定, 包括净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)和胞间 CO₂ 浓度(Ci), 每项参数进行 3 次重复测量。

(8) 荧光参数: 在盛花期, 使用 FMS-2 荧光检测系统测量供试枝从顶端向下数第二片复叶的荧光作用参数。

(9) 成花率: 成花率(%) = (株开花数/株枝条数) × 100%。

(10) 根系活力: 用 TTC (氯化三苯基四氮唑)还原法[16]测定根系活力。

2.4. 数据分析

(1) 使用 Excel 2019 和 SPSS 22.0 统计分析软件对数据进行处理和分析。

(2) 模糊隶属函数综合评价方法。指标隶属函数求值公式为:

$$U(X_j) = (X_j - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

式中, X_j 为某一处理下某一指标的测定值, X_{\max} 为该指标测定的最大值, X_{\min} 为该指标测定的最小值。将各处理不同指标的隶属函数值进行累加, 求平均值, 即为植株综合评价指数, 其值越大, 说明植株生长越好[5]。

3. 结果与分析

3.1. 适宜盆栽品种的筛选试验

3.1.1. 物候期的差异

由表 3 可知, 最早进入露芽期的品种为赵粉、雪映桃花、朱砂垒、藏枝红和魏紫, 分别为 2 月 25 日、2 月 26 日、2 月 27 日和 2 月 28 日, 其次为绿幕隐玉、凤丹白、二乔、乌龙捧盛、和金晃; 姚黄、花王、岛锦的露芽期较晚, 开始于 3 月 15 日之后; 赵粉是最早进入始花期的品种, 始于 3 月 14 日, 其次是藏枝红、朱砂垒、凤丹白、二乔和雪映桃花。剩余品种花期较晚均在 4 月以后进入初花期, 为乌龙捧盛、魏紫、绿幕隐玉、金晃、岛锦、姚黄、花王。

3.1.2. 形态指标

由下面表 4 可知, 雪映桃花的新枝生长量最大为(24.04 cm), 绿幕隐玉、岛锦、魏紫、朱砂垒次之, 前者较后三者分别长 9.27%、23.09%、27.12%和 28.69%, 绿幕隐玉与雪映桃花这两个牡丹品种之间差异较不显著, 与花王、贵妃插翠、太阳、绿幕隐玉及岛锦牡丹品种之间的差异达到显著水平, 与藏枝红、

Table 3. The main phenological period of different varieties of peony
表 3. 不同品种牡丹主要物候期

品种	露芽期	现蕾期	新枝伸长期	萼片始展期	展叶期	圆蕾期	垂萼期	透色期	绽口期	初花期	谢花期
姚黄	03-16	03-22	03-24	03-28	04-01	04-03	04-05	04-10	04-12	04-14	04-21
乌龙捧盛	03-08	03-13	03-16	03-19	03-21	03-22	03-25	03-29	04-01	04-02	04-08
二乔	03-06	03-10	03-13	03-17	03-20	03-22	03-24	03-27	03-28	03-29	04-07
雪映桃花	02-26	03-04	03-07	03-10	03-13	03-16	03-23	03-26	03-29	03-31	04-07
藏枝红	02-28	03-06	03-08	03-12	03-13	03-15	03-17	03-21	03-23	03-24	03-31
赵粉	02-25	02-28	03-02	03-07	03-09	03-11	03-14	03-19	03-21	03-14	03-27
魏紫	02-28	03-07	03-10	03-13	03-16	03-19	03-27	03-30	04-01	04-04	04-19
绿幕隐玉	03-01	03-09	03-13	03-17	03-19	03-23	03-26	04-03	04-07	04-09	04-16
朱砂垒	02-27	03-01	03-03	03-06	03-10	03-12	03-15	03-19	03-22	03-25	04-05
凤丹白	03-02	03-06	03-08	03-11	03-15	03-17	03-19	03-24	03-26	03-28	04-11
金晃	03-13	03-19	03-21	03-25	03-30	04-01	04-03	04-08	04-10	04-12	04-18
花王	03-17	03-23	03-25	03-30	04-04	04-06	04-08	04-11	04-15	04-18	04-25
岛锦	03-18	03-24	03-26	03-31	04-02	04-04	04-06	04-08	04-10	04-12	04-19

注: 同一指标不同品种间小写字母不同表示差异达 0.05 显著水平。下同。

Table 4. Morphological indexes of different varieties of peony
表 4. 不同品种牡丹形态指标

品种	新枝长度	叶片长度	叶片厚度	叶柄长	冠幅	花朵直径	成花率/%
姚黄	16.84 ± 0.17 ^f	16.10 ± 0.2 ^{cd}	0.71 ± 0.02 ^d	13.06 ± 0.05 ^d	44.85 ± 0.46 ^c	9.87 ± 0.15 ^c	44.75 ± 0.54 ⁱ
乌龙捧盛	16.52 ± 0.04 ^g	16.73 ± 0.19 ^c	0.60 ± 0.02 ^g	14.14 ± 0.14 ^c	31.86 ± 0.51 ^f	9.11 ± 0.12 ^d	40.51 ± 0.65 ^{jk}
二乔	14.64 ± 0.11 ^j	12.09 ± 0.07 ^f	0.78 ± 0.02 ^c	12.29 ± 0.25 ^e	32.68 ± 0.45 ^f	7.82 ± 0.13 ^{ef}	72.41 ± 0.49 ^d
雪映桃花	24.04 ± 0.09 ^a	21.17 ± 0.17 ^a	0.61 ± 0.01 ^g	15.06 ± 0.09 ^b	50.26 ± 0.64 ^a	8.89 ± 0.11 ^d	88.49 ± 0.32 ^a
藏枝红	14.15 ± 0.09 ^k	11.16 ± 0.09 ^g	0.66 ± 0.01 ^{ef}	14.17 ± 0.16 ^c	39.52 ± 0.57 ^{de}	8.27 ± 0.09 ^e	77.59 ± 0.42 ^c
赵粉	15.28 ± 0.09 ⁱ	13.85 ± 0.06 ^e	0.76 ± 0.02 ^c	12.06 ± 0.06 ^e	40.24 ± 0.94 ^{de}	8.01 ± 0.03 ^{ef}	69.99 ± 0.21 ^e
魏紫	18.91 ± 0.12 ^d	16.19 ± 0.12 ^{cd}	0.58 ± 0.01 ^g	10.14 ± 0.14 ^f	34.90 ± 0.11 ^g	11.24 ± 0.14 ^b	81.89 ± 0.30 ^b
绿幕隐玉	22.00 ± 0.10 ^b	19.63 ± 0.39 ^b	0.85 ± 0.01 ^b	15.36 ± 0.41 ^b	48.69 ± 0.50 ^b	13.35 ± 0.43 ^a	56.42 ± 0.71 ^g
朱砂垒	18.68 ± 0.13 ^d	15.57 ± 0.27 ^d	0.71 ± 0.01 ^d	12.08 ± 0.08 ^e	35.28 ± 0.51 ^g	9.02 ± 0.09 ^d	69.79 ± 0.32 ^e
凤丹白	17.82 ± 0.17 ^e	16.30 ± 0.22 ^{cd}	0.68 ± 0.01 ^{de}	14.08 ± 0.09 ^c	38.96 ± 0.29 ^e	9.39 ± 0.34 ^{cd}	65.42 ± 0.33 ^f
金晃	16.16 ± 0.07 ^h	15.55 ± 1.24 ^d	0.51 ± 0.01 ^h	13.34 ± 0.37 ^d	40.74 ± 0.64 ^d	6.68 ± 0.3 ^g	51.00 ± 0.09 ^h
花王	22.82 ± 0.07 ^b	20.09 ± 0.11 ^b	0.62 ± 0.01 ^{fg}	13.29 ± 0.4 ^d	49.30 ± 0.75 ^{ab}	7.79 ± 0.43 ^{ef}	39.73 ± 0.40 ^k
岛锦	19.53 ± 0.26 ^c	17.02 ± 0.09 ^c	0.93 ± 0.05 ^a	16.13 ± 0.11 ^a	37.43 ± 0.4 ^f	7.57 ± 0.31 ^f	41.47 ± 0.34 ^j

赵粉、二乔均达到较显著水平, 分别较长 69.89%、64.20%、57.32%。雪映桃花的叶片长度最长、为(21.17 cm), 其次为花王、绿幕隐玉和岛锦, 分别比三者长 5.37%、7.84%和 24.38%, 与藏枝红、二乔相比, 长

86.69%、75.10%，差异达到很显著水平。与另外 7 个牡丹品种的差异达到显著水平。岛锦的叶片厚度最大(0.93 cm)，然后为二乔、赵粉和绿幕隐玉，较后三者与前者分别厚 9.41%、19.23%、22.36%，金晃、魏紫与岛锦相比，约为 82.35%、60.34%，差异达到较显著水平。叶柄长最长为岛锦(16.13 cm)，然后为绿幕隐玉和雪映桃花，分别长为 4.94%、7.10%。与魏紫相比，长为 59.07%，两者相比，差异较显著。雪映桃花的冠幅最大(50.26 cm)，花王、绿幕隐玉和姚黄次之，前者较后三者分别长 1.94%、3.22%和 12.06%，这 4 个不同品种间差异不显著，但是与乌龙捧盛、二乔相比分别长 57.75%、53.79%，差异较显著。绿幕隐玉的花朵直径最大的为(13.35 cm)，其次为魏紫，长 18.77%，与金晃、岛锦、花王、二乔、赵粉、藏枝红相比，长为 99.85%、76.35%、71.37%、70.71%、66.66%、61.42%，差异很显著，与其他 5 个品种的差异不显著。雪映桃花、魏紫的成花率最高，达到 90.0%、88.49%，而二乔和藏枝红的成花率也均达 70.0%以上。

3.1.3. 不同牡丹品种的生理指标

表 5 可知，叶片 SPAD 值最的是高乌龙捧盛(42.53)，与魏紫、藏枝红、赵粉、朱砂垒之间的差异不显著，与姚黄、凤丹白牡丹之间差异较显著。绿幕隐玉、金晃、花王、岛锦之间差异不显著，叶片 SPAD 值均为 37 左右；净光合速率的高低反映植物光合能力的强弱，因而是研究植物光合作用的重要指标[17]。净光合速率最高的为 $11.23 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 是乌龙捧盛品种，与藏枝红、二乔、赵粉、魏紫差异不大，与凤丹白、姚黄、绿幕隐玉差异较显著，分别大了 67.36%、57.94%、45.84%，与其他 4 个品种差异显著不大。最高的蒸腾速率是魏紫为 $4.53 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，蒸腾速率最低的是雪映桃花和姚黄分别为 $1.85 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $1.90 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，差异较显著，其余品种都在 $2\sim 3 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间。藏枝红的气孔导度最高指标为 $119.07 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，姚黄最低指标为 $80.75 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，高出 47.45%，差异较显著。朱砂垒胞间 CO_2 浓度最大值为 $153.85 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，比岛锦、金晃分别大出 58.83%、47.77%，差异较显著。二乔、乌龙

Table 5. Physiological indexes of different varieties of peony

表 5. 不同品种牡丹生理指标

品种	叶片 SPAD 值	净光合速率 / $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	蒸腾速率 / $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	气孔导度 / $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	胞间 CO_2 浓度 / $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	荧光参数 Fv/Fm	根系活力 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$
姚黄	33.02 ± 0.87^f	6.71 ± 0.50^f	1.90 ± 0.12^{ef}	80.75 ± 0.25^k	113.98 ± 0.09^e	0.72 ± 0.04^{bc}	44.47 ± 0.27^e
乌龙捧盛	42.53 ± 0.50^a	11.23 ± 0.06^a	3.60 ± 0.06^b	96.89 ± 0.38^g	140.67 ± 3.06^{bc}	0.75 ± 0.03^{ab}	40.81 ± 0.52^f
二乔	39.50 ± 0.47^{bc}	10.78 ± 0.09^{abc}	2.47 ± 0.03^d	109.92 ± 0.64^c	140.42 ± 0.65^{bc}	0.79 ± 0.01^a	57.73 ± 0.46^b
雪映桃花	38.87 ± 0.57^{cd}	8.55 ± 0.38^d	1.85 ± 0.09^f	108.19 ± 0.23^d	137.43 ± 5.78^{cd}	0.80 ± 0.01^a	61.78 ± 0.42^a
藏枝红	41.35 ± 0.55^a	10.14 ± 0.23^c	2.53 ± 0.05^d	119.07 ± 0.29^a	133.55 ± 0.43^d	0.72 ± 0.03^{bc}	58.18 ± 0.25^b
赵粉	40.96 ± 0.73^{ab}	10.87 ± 0.19^{ab}	3.68 ± 0.02^b	99.96 ± 0.17^f	143.05 ± 1.65^b	0.65 ± 0.01^d	53.06 ± 0.06^c
魏紫	42.10 ± 0.38^a	10.98 ± 0.19^{ab}	4.53 ± 0.05^a	115.92 ± 0.60^b	133.71 ± 0.17^d	0.72 ± 0.01^{bc}	61.10 ± 1.74^a
绿幕隐玉	37.84 ± 0.40^{de}	7.70 ± 0.33^e	3.19 ± 0.02^c	92.70 ± 0.52^h	140.76 ± 0.62^{bc}	0.76 ± 0.04^{ab}	53.01 ± 0.50^c
朱砂垒	40.93 ± 0.14^{ab}	10.30 ± 0.31^{bc}	3.45 ± 0.04^{bc}	115.89 ± 0.43^b	153.85 ± 0.64^a	0.81 ± 0.02^a	52.25 ± 0.59^c
凤丹白	33.41 ± 0.45^f	7.11 ± 0.10^{ef}	2.59 ± 0.51^d	90.41 ± 0.36^i	114.06 ± 0.06^e	0.71 ± 0.02^{bc}	51.76 ± 0.42^c
金晃	37.87 ± 0.57^{de}	9.16 ± 0.13^d	2.33 ± 0.09^d	102.15 ± 0.29^e	104.11 ± 0.04^f	0.75 ± 0.02^{ab}	45.17 ± 0.10^e
花王	37.01 ± 0.79^e	8.55 ± 0.39^d	2.25 ± 0.02^{de}	86.62 ± 0.83^j	114.03 ± 0.12^e	0.80 ± 0.01^a	46.72 ± 0.31^d
岛锦	37.02 ± 0.90^e	8.93 ± 0.25^d	2.32 ± 0.02^d	89.74 ± 0.47^i	96.86 ± 2.61^g	0.68 ± 0.03^{cd}	52.64 ± 0.77^c

捧盛、绿幕隐玉、赵粉值均为 $140 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右, 差异较不显著。花王和凤丹白、金晔值均在 $113\sim 114 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 其余 3 个品种值均在 $133 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 左右。朱砂垒的叶绿素荧光动力学参数 F_v/F_m 最大 (0.81), 其次为雪映桃花、花王、二乔, 潜在的光合能力较强。根系活力最高的雪映桃花为 $61.78 \mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$, 比乌龙捧盛高出 51.38%, 差异较显著。与其他牡丹品种之间差异较不显著。在统一生态环境中, 光合参数指标可以看出牡丹的光合生理生态的特性。由此可知, 在 13 个牡丹品种中, 按照成花期长、花期较早、花率高、生理特征优良和形态特征较好的几个主要品种为雪映桃花、藏枝红、魏紫和二乔这 4 个品种在山西地区的盆栽综合表现较好。

3.2. 适宜盆栽品种的筛选试验

3.2.1. 不同基质配比对银红巧对物候期的影响

根据表 6 的数据, 我们可以得知不同基质配比对银红巧对主要物候期的影响。使用 F4 (有机肥:草炭:蛭石:木屑 = 4:2:2:2)栽培时, 银红巧对的物候期相对较早, 其余的指标依次为 F3 (有机肥:草炭:蛭石:木屑 = 4:1:2:3)、F5 (有机肥:草炭:蛭石:木屑 = 4:3:2:1)、F2 (有机肥:草炭:蛭石:木屑 = 5:1:3:1)、F1 (有机肥:草炭:蛭石:木屑 = 5:1:2:2)、CK (有机肥:草炭:蛭石:木屑 = 1:1:1:1), F4 (有机肥:草炭:蛭石:木屑 = 4:2:2:2)开花最早, F2 (有机肥:草炭:蛭石:木屑 = 5:1:3:1)和 F6 (有机肥:草炭:蛭石:木屑 = 3:3:1:3)进入初花期的时间较晚, F1 (有机肥:草炭:蛭石:木屑 = 5:1:2:2)和 F5 的初花期则最晚(有机肥:草炭:蛭石:木屑 = 4:3:2:1)。

Table 6. Effects of different substrate ratios on the phenophase of Yinhongqiaodui

表 6. 不同基质配比对银红巧对物候期的影响

处理	露芽期	现蕾期	新枝伸长期	萼片始展期	展叶期	圆蕾期	垂萼期	透色期	绽口期	初花期	谢花期
F1	03-12	03-20	03-23	03-28	03-31	04-01	04-07	04-19	04-21	04-23	04-29
F2	03-11	03-21	03-25	03-29	04-01	04-06	04-11	04-15	04-18	04-21	04-27
F3	03-09	03-19	03-23	03-29	04-01	04-03	04-09	04-14	04-17	04-19	04-26
F4	03-08	03-15	03-19	03-25	03-30	04-05	04-08	04-11	04-14	04-17	04-29
F5	03-09	03-20	03-25	03-29	04-02	04-09	04-12	04-18	04-20	04-23	04-28
F6	03-10	03-21	03-27	03-31	04-03	04-09	04-13	04-17	04-20	04-22	04-27
ck	03-16	03-24	03-30	04-01	04-05	04-11	04-12	04-14	04-17	04-20	04-28

3.2.2. 不同基质配比对银红巧对形态指标的影响

表 7 可知, 银红巧对使用 F4 基质栽培时, 最长新枝长度为 10.03 cm, 与 F5 基质和 F3 基质差异较不显著, 与 CK 基质在做处理时, 差异较显著; 使用 F4 基质栽培时, 叶片长度达到 11.47 cm, 与差异 CK 较显著; 叶片厚度与其他处理均不显著, 与 CK 达到较显著; 叶柄长为 11.11 cm, 与其他基质情况相比下差异不显著; 冠幅最大值为 8.69 cm, 还是在基质 F4 情况下, 表现最好; 花朵直径均达到 15.65 cm, 与其他处理均差异不显著, 与 CK 达到较显著; 使用 F4 基质时, 其成花率最高(53.26%), 与其他处理间均达到显著差异。

3.2.3. 不同基质配比对银红巧对生理指标的影响

由表 8 可知, 银红巧对使用基质 F4 栽培时, 叶片 SPAD 值最高(36.70), 与基质 CK 处理时, 比基质高出 21.12%, 其他基质均不显著; F4 的净光合速率最高为 $5.13 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 其他品种差异均不显著, 较基质 CK 高出 25.73%; 蒸腾速率最高为 $3.67 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 与基质 F1 差异较显著, 高出 106.17%; 气

Table 7. Effects of different matrix ratios on the morphological indexes of Yinhongqiaodui
表 7. 不同基质配比对银红巧对形态指标的影响

处理	新枝长度/cm	叶片长度/cm	叶片厚度/cm	叶柄长/cm	冠幅/cm	花朵直径/cm	成花率/%
F1	8.24 ± 0.07 ^c	9.21 ± 0.07 ^c	0.51 ± 0.01 ^{bcd}	9.93 ± 0.04 ^b	7.29 ± 0.05 ^c	12.61 ± 0.28 ^d	36.13 ± 0.13 ^d
F2	7.81 ± 0.14 ^d	8.93 ± 0.13 ^d	0.46 ± 0.03 ^{cde}	9.06 ± 0.06 ^{cd}	8.01 ± 0.02 ^b	13.28 ± 0.11 ^c	33.20 ± 0.08 ^e
F3	9.36 ± 0.26 ^b	9.88 ± 0.18 ^b	0.57 ± 0.02 ^b	9.28 ± 0.07 ^c	8.42 ± 0.05 ^{ab}	12.54 ± 0.07 ^d	41.55 ± 0.29 ^b
F4	10.03 ± 0.06 ^a	11.47 ± 0.08 ^a	0.65 ± 0.04 ^a	11.11 ± 0.18 ^a	8.69 ± 0.06 ^a	15.65 ± 0.28 ^a	53.26 ± 0.64 ^a
F5	9.85 ± 0.17 ^a	10.11 ± 0.1 ^b	0.53 ± 0.04 ^{bc}	9.92 ± 0.13 ^b	8.11 ± 0.11 ^b	13.28 ± 0.15 ^c	39.89 ± 0.28 ^c
F6	8.17 ± 0.06 ^c	9.33 ± 0.04 ^c	0.46 ± 0.03 ^{de}	8.8 ± 0.31 ^d	6.72 ± 0.42 ^d	14.06 ± 0.06 ^b	32.15 ± 0.09 ^f
CK	6.58 ± 0.14 ^e	7.18 ± 0.07 ^e	0.41 ± 0.03 ^e	8.2 ± 0.09 ^e	6.48 ± 0.32 ^d	10.35 ± 0.27 ^e	30.82 ± 0.63 ^g

Table 8. Effects of different substrate ratios on physiological indexes of Yinhongqiaodui
表 8. 不同基质配比对银红巧对生理指标的影响

处理	叶片 SPAD 值	净光合速率 / $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	蒸腾速率 / $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	气孔导度 / $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	胞间 CO ₂ 浓度 / $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	荧光参数 Fv/Fm	根系活力 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$
F1	31.53 ± 0.27 ^e	4.91 ± 0.02 ^b	1.78 ± 0.03 ^c	89.08 ± 0.43 ^e	123.90 ± 0.21 ^d	0.71 ± 0.01 ^{bc}	52.36 ± 0.35 ^c
F2	32.81 ± 0.1 ^{bc}	4.23 ± 0.04 ^e	2.83 ± 0.16 ^b	87.18 ± 0.56 ^f	118.93 ± 0.18 ^e	0.74 ± 0.01 ^b	51.20 ± 0.03 ^d
F3	31.8 ± 0.52 ^{de}	4.51 ± 0.03 ^d	2.62 ± 0.37 ^b	100.85 ± 0.26 ^b	124.14 ± 0.31 ^d	0.73 ± 0.04 ^b	53.24 ± 0.06 ^b
F4	36.70 ± 0.25 ^a	5.13 ± 0.04 ^a	3.67 ± 0.06 ^a	117.03 ± 0.51 ^a	140.89 ± 0.76 ^a	0.82 ± 0.02 ^a	55.83 ± 0.07 ^a
F5	32.43 ± 0.25 ^{cd}	4.63 ± 0.1 ^{cd}	2.69 ± 0.03 ^b	97.25 ± 0.06 ^c	133.94 ± 0.08 ^b	0.72 ± 0.01 ^{bc}	52.62 ± 0.29 ^{bc}
F6	33.26 ± 0.05 ^b	4.76 ± 0.19 ^{bc}	2.57 ± 0.04 ^b	96.2 ± 0.22 ^d	127.53 ± 0.47 ^c	0.71 ± 0.01 ^{bc}	52.92 ± 0.23 ^{bc}
CK	30.30 ± 0.31 ^f	4.08 ± 0.04 ^e	2.01 ± 0.1 ^c	89.35 ± 0.35 ^e	115.85 ± 0.06 ^f	0.67 ± 0.02 ^c	48.77 ± 0.56 ^e

孔导度最高指标 F4 为 $117.03 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 最低指标 F2 为 $87.18 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 高出 34.23%, 差异较显著。胞间 CO₂ 浓度最大值为 $140.89 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 比 CK、F2 分别大出 21.61%、18.46%, 差异较显著。其余基质差异不显著。基质 F4 的叶绿素荧光动力学参数 Fv/Fm 最大(0.82), 大出 CK 值 22.38%, 其余基质值约在 0.70 左右, 差异不显著。基质 F4 的根系活力最高为 $55.83 \mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$, 与其他基质之间差异均不显著, 与 CK 较显著。综上所述, 按照成花率高、花期较早、形态指标和生理指标较好几个主要方面, 经过综合分析认为最适合银红巧对盆栽的基质为 F4, 基质配比为有机肥:草炭:蛭石:木屑 = 4:2:2:2。

3.3. 采用隶属函数法的综合评价结果

在植物的生长发育评价中, 存在多个指标, 它们各自都对植物的评价至关重要。然而, 单一指标往往不能全面准确地反映植物的整体状况。花卉种植与其他作物的种植目的不同, 以观赏为主, 因此, 本试验采用模糊数学中的隶属函数法, 计算初步筛选出的各处理的主要观赏指标的隶属函数值, 累加后求平均值, 即为植株综合评价指数, 其值越大, 说明植株生长越好[18]。

3.3.1. 不同牡丹品种的综合评价结果

由表 9 可知, 综合评价指数显示, 赵粉品种在山西地区的盆栽表现最佳, 其次是雪映桃花、魏紫、二乔、藏枝红和朱砂垒。相比之下, 花王、姚黄、凤丹白和岛锦这四个品种的综合评价指数较低。这一结果与基于物候期、形态指标和生理指标的评估结果大致一致, 进一步证明了前述品种在山西地区盆栽方面的良好表现。

Table 9. Comprehensive evaluation results of different peony varieties
表 9. 不同牡丹品种的综合评价结果

品种	新枝长度/cm	叶片长度/cm	叶片厚度/cm	叶柄长/cm	冠幅/cm	花朵直径/cm	成花率/%	叶片SPAD值	净光合速率	蒸腾速率	气孔导度	胞间CO ₂ 浓度	荧光参数	根系活力	综合评价指数
姚黄	0.58	0.47	0.50	0.52	0.50	0.53	0.50	0.48	0.62	0.55	0.39	0.50	0.42	0.39	0.49
乌龙捧盛	0.42	0.56	0.44	0.53	0.61	0.51	0.41	0.38	0.42	0.58	0.65	0.45	0.47	0.55	0.50
二乔	0.49	0.57	0.56	0.55	0.54	0.65	0.48	0.43	0.47	0.50	0.43	0.41	0.49	0.57	0.51
雪映桃花	0.61	0.55	0.66	0.49	0.47	0.54	0.56	0.62	0.45	0.60	0.44	0.39	0.51	0.54	0.53
藏枝红	0.51	0.60	0.67	0.53	0.48	0.49	0.49	0.47	0.44	0.49	0.52	0.51	0.46	0.48	0.51
赵粉	0.52	0.52	0.44	0.52	0.48	0.40	0.58	0.48	0.63	0.58	0.57	0.67	0.67	0.50	0.54
魏紫	0.59	0.51	0.50	0.51	0.53	0.54	0.52	0.42	0.62	0.51	0.62	0.58	0.39	0.44	0.52
绿幕隐玉	0.48	0.53	0.31	0.44	0.62	0.50	0.45	0.57	0.55	0.44	0.54	0.64	0.55	0.46	0.50
朱砂垒	0.55	0.58	0.33	0.52	0.39	0.45	0.60	0.64	0.39	0.42	0.62	0.65	0.56	0.42	0.51
凤丹白	0.51	0.40	0.33	0.44	0.54	0.37	0.47	0.42	0.46	0.60	0.61	0.48	0.67	0.55	0.49
金晃	0.59	0.38	0.33	0.38	0.60	0.57	0.51	0.65	0.52	0.63	0.47	0.48	0.54	0.47	0.50
花王	0.38	0.54	0.33	0.39	0.44	0.56	0.62	0.50	0.36	0.58	0.41	0.49	0.33	0.51	0.46
岛锦	0.62	0.50	0.40	0.46	0.35	0.43	0.54	0.51	0.60	0.56	0.62	0.52	0.53	0.35	0.49

3.3.2. 不同基质配比的综合评价结果

由表 10 可知, CK 的综合评价指数最低, F3 和 F5 基质综合评价都一样, 最高的为 F4 (有机肥:草炭:蛭石:木屑 = 4:2:2:2), 其明显高于 CK 基质。

这一结果与银红巧对盆栽的综合成花率高、花期较早、形态指标和生理指标较好的结论相一致。F4 基质被确认为最适合银红巧对盆栽的基质, 其综合评价指数为 0.54。

Table 10. Comprehensive evaluation results of different matrix ratios
表 10. 不同基质配比的综合评价结果

处理	新枝长度/cm	叶片长度/cm	叶片厚度/cm	叶柄长/cm	冠幅/cm	花朵直径/cm	成花率/%	叶片SPAD值	净光合速率	蒸腾速率	气孔导度	胞间CO ₂ 浓度	荧光参数	根系活力	综合评价指数
F1	0.41	0.55	0.67	0.42	0.60	0.50	0.59	0.64	0.56	0.40	0.40	0.60	0.50	0.36	0.51
F2	0.64	0.59	0.47	0.61	0.42	0.35	0.38	0.52	0.62	0.51	0.57	0.44	0.67	0.53	0.52
F3	0.66	0.64	0.50	0.45	0.63	0.38	0.61	0.55	0.47	0.56	0.62	0.38	0.50	0.42	0.53
F4	0.45	0.56	0.52	0.46	0.58	0.62	0.43	0.58	0.56	0.55	0.59	0.61	0.50	0.56	0.54
F5	0.55	0.49	0.43	0.63	0.60	0.38	0.42	0.62	0.60	0.61	0.53	0.54	0.50	0.49	0.53
F6	0.56	0.51	0.54	0.53	0.52	0.59	0.58	0.56	0.57	0.50	0.42	0.51	0.33	0.54	0.51
CK	0.51	0.54	0.40	0.47	0.45	0.42	0.60	0.48	0.53	0.52	0.52	0.57	0.60	0.51	0.50

4. 讨论

牡丹的根系为肉质根, 要求栽培土壤具备良好的排水条件, 最忌使用黏土和易积水的土壤[21]。相比之下, 基质不易积水且透气性好, 更符合牡丹的生长需求。此外, 基质较轻便, 便于牡丹盆栽的运输和

移动, 并且成本相对较低。然而, 由于不同环境条件的差异, 牡丹基质栽培的效果也会有所变化。

盆栽牡丹生产是一项系统工程, 需要解决牡丹在盆中良好生长发育的关键技术问题, 如满足根系生长发育、肥水需求、枝芽发育等方面的配套栽培和管理技术[20]。通过本次研究, 我们发现有机肥:草炭:蛭石:木屑 = 4:2:2:2 的基质配比下, 银红巧对能够实现良好的生长发育。这表明这种基质配比能提供适合银红巧对生长发育所需的营养成分。然而, 对于其他牡丹品种的适用性, 还需要进一步的研究和试验来验证。

在未来的研究中, 应进一步探索不同基质配比对其他牡丹品种的影响, 并完善牡丹盆栽的管理技术, 以促进牡丹产业的可持续发展。特别是在不同环境条件下的适应性研究, 将为盆栽牡丹的广泛应用提供更加科学和实用的指导。

5. 结论

牡丹多以地栽形式发展较多, 无法满足市场对多样化栽培形式的需求。为了丰富其发展和挖掘其潜在价值, 需要在技术上有所创新和突破, 如加强催花技术以延长花期, 改进家庭盆栽的摆放和养护方法, 以及优化基质栽培技术, 使牡丹在不同环境下都能正常开花。盆栽发展是花卉集约化栽培和工厂化生产的主要方式之一[21]。因此, 筛选适宜牡丹生长的栽培基质和适宜盆栽栽培的牡丹品种具有重要意义[22]。

本试验筛选出在山西地区盆栽表现较好的品种包括雪映桃花、魏紫、藏枝红和二乔。运用隶属函数法的综合评价结果还显示, 赵粉和朱砂垒在当地的适应性和表现也较为优异。综合研究表明, 这 6 个品种在山西地区的盆栽种植中具有良好的适应性和发展潜力。

此外, 研究发现, 在有机肥:草炭:蛭石:木屑 = 4:2:2:2 的基质配比下, 银红巧对能够实现良好的生长发育, 这表明这种基质配比提供了适合银红巧对生长发育所需的营养成分。

参考文献

- [1] 董晓晓, 别沛婷, 袁涛. 3 个牡丹品种花芽分化过程形态及叶片碳水化合物质量分数变化[J]. 东北林业大学学报, 2020, 48(7): 34-39.
- [2] 韩雪源, 张延龙, 牛立新. 39 个牡丹品种的形态学分类研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2014, 42(9): 128-136.
- [3] 韩红. 洛阳市牡丹产业化发展研究[D]: [硕士学位论文]. 合肥: 合肥工业大学, 2003.
- [4] 尹淑莲, 马英. 盆栽基质及其应用技术[J]. 中国林副特产, 2005(4): 71-72.
- [5] 尚雁鸿, 王培, 张红升. 7 个菏泽牡丹品种银川地区盆栽试验[J]. 江西农业学报, 2022, 34(1): 42-47.
- [6] 朱报著, 徐斌, 张方秋, 等. 红花荷盆栽基质研究[J]. 广东农业科学, 2011, 38(15): 33-36.
- [7] 叶露莹, 刘燕. 不同处理对芍药生长发育的影响[J]. 福建林学院学报, 2012, 32(4): 316-320.
- [8] 金莉, 宿福园, 李长林, 等. 不同葡萄盆栽基质的特性及其对植株生长的影响[J]. 西南农业学报, 2019, 32(9): 2150-2156.
- [9] 黄少峻, 马雪情, 刘春洋, 等. 牡丹无土盆栽基质的优化筛选研究[C]//中国园艺学会, 中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 中国园艺学会 2014 年学术年会论文摘要集. 河南科技大学农学院, 洛阳市牡丹生物学重点实验室, 2014: 1.
- [10] 张天翔, 谢南松, 何雪娇, 等. 姜荷花盆栽基质筛选初步研究[J]. 福建热作科技, 2021, 46(3): 5-6.
- [11] 王丽君, 尤建明, 张志明, 等. 盆栽牡丹的选育研究[J]. 江苏林业科技, 1998(S1): 156-159.
- [12] 高凯, 潘永. 基质及外源激素在牡丹栽培中研究现状与应用综述[J]. 现代园艺, 2011(1): 11-13, 15.
- [13] 李润, 王云梅, 谢兴武, 等. 黄五彩番茄盆栽基质试验[J]. 农业科技通讯, 2017(11): 192-194.
- [14] 阿日文, 孙晓刚, 王莉莉, 等. 3 个牡丹品种对干旱和水涝胁迫的生理响应[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(11): 252-255.
- [15] 田雪慧, 郁继华, 韩东锋, 等. 朱顶红温室盆栽基质配方的筛选[J]. 贵州农业科学, 2017, 45(12): 104-107, 111.

- [16] 杨振晶. 植物生长物质对‘凤丹’牡丹生根率及幼苗生长的影响[D]: [硕士学位论文]. 聊城: 聊城大学, 2016.
- [17] 余承忠. 盆栽和地栽牡丹的生理生化特性研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 华中农业大学, 2008.
- [18] 刘庆超. 三种重要盆栽花卉的有机代用基质研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京林业大学, 2006.
- [19] 郭晨瑛. 江南牡丹盆栽及花期调控技术的研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江农林大学, 2010.
- [20] 侯小改, 洪亚平. 牡丹无土盆栽研究现状与展望[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(25): 7817-7818.
- [21] 王庆菊, 刘杰. 园林树木: 北方本[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2017.
- [22] 李莹莹, 王娟, 李秀伟, 等. 菏泽盆栽牡丹生产现状及发展建议[J]. 落叶果树, 2020, 52(5): 70-72.