

## 食用色素染色月季切花的瓶插衰老分析及安全性评价

杜婷婷, 王雪, 裴芳丽, 张晶晶, 邵玉涛, 裴海霞\* (内蒙古科技大学生命科学与技术学院, 内蒙古包头 014010)

**摘要** [目的]探究食用色素对月季的安全性及其对切花衰老的影响。[方法]在前期使用食用色素获得染色月季的基础上,对染色月季的瓶插衰老和安全性相关指标进行观察和检测。[结果]在温度(20±2)℃、湿度(50±5)%的条件下,染色月季与未染色月季切花的瓶插寿命均为9~10 d,无显著差异。食用色素染色月季切花的抗氧化酶SOD和CAT活性虽然低于未染色月季切花,但相差较小,其显著高于专业染色剂处理的月季切花的抗氧化酶活性。食用色素染色月季切花瓶插液中菌落数目显著低于专业染色剂月季切花瓶插液,且染色花瓣中铅、汞、砷的含量与未染色处理无显著差异,远低于国标要求。[结论]食用色素对月季切花的瓶插寿命和衰老影响较小,且食用色素染色月季切花的重金属含量符合国标要求,安全性有保证。

**关键词** 月季切花;染色;衰老;安全性

**中图分类号** S 685.12 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2023)01-0111-04

**doi**:10.3969/j.issn.0517-6611.2023.01.024



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Analysis of Aging and Safety Evaluation of Food Coloring Dyed Rose Cuttings in Vase

DU Ting-ting, WANG Xue, PEI Fang-li et al (College of Life Science and Technology, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou, Inner Mongolia 014010)

**Abstract** [Objective] To explore the safety of edible pigments on roses and their effects on senescence of cut roses. [Method] On the basis of using food pigments to obtain dyed roses in the early stage, the indexes related to bottle aging and safety of dyed roses were observed and detected. [Result] The results showed that under the conditions of temperature (20±2)℃ and humidity (50±5)%, the bottle life of both dyed and un-dyed rose cuttings was about 9-10 days without significant differences. The antioxidant enzymes SOD and CAT activities of food color dyed rose were lower than those of unstained rose, but the difference was small; they were significantly higher than those of professional dye treated rose. The number of bacterial colonies in the bottle insert of food coloring dyed rose was significantly lower than that in the bottle insert of professional dyed rose, and the content of Pb, Hg and As in the dyed petals was not significantly different from that in the unstained ones, which was much lower than the national standard. [Conclusion] The food coloring did not affect the life span and aging of cut flowers in vase, and the heavy metal content of food coloring dyed cut flowers complied with the national standard, which proved its safety.

**Key words** Cut flowers of rose; Dyeing; Aging; Safety

月季(*Rosa hybrida*),蔷薇科蔷薇属植物。月季切花,俗称玫瑰花,其作为世界四大切花之首,尽管天然颜色比较丰富,但缺乏蓝色、绿色、黑色及棕色等色系<sup>[1-3]</sup>。基于消费者对多种色彩以及多色合一更丰富花色的需求,遗传改良和基因工程改变花色被广泛应用于花色培育中。但是由于这2种技术所需时间较长,产生的效果很难预测,因此在花色基因工程育种尚未成熟、辐射诱变或自然变异等手段未获得明显进展时,利用染色技术改变花色来满足消费者日益增加的需求显得尤为重要<sup>[4-8]</sup>。染色鲜花在日本发展较早较快,日益普及,其主要目标在于想要创造出稀有的、奇特的、天然栽培难以达到的鲜切花花色<sup>[9-10]</sup>。近年来,国内不同品种的染色月季受到消费者的青睐,并且人工染色的月季价格远高于同等级未染色月季的价格,这激起了园艺人通过染色创制新色系染色月季的热情。由于染色月季的背后蕴含着巨大的商机,能创造出更高的经济价值,因此各种染色月季争相上市。为了降低染色成本,追求更大利益,各类染色月季所用染料品质参差不齐。为了降低成本及追求染色效果,通常使用工业染料或在其中添加一些化学试剂。月季切花的瓶插

寿命及衰老速度决定了月季的经济价值,同时也反映出其生长状态是否受到影响,在一定程度上指示其安全性。染色月季最终要走进居家环境,要与人较为亲密的接触,因此染色月季的安全性至关重要。以往研究主要集中于染色技术及其优化方面<sup>[9,11-12]</sup>,对于染色月季的安全性关注较少。笔者在使用食品级染料获得染色月季的基础上,对染色月季的瓶插衰老及重金属相关指标进行观察和检测,对食品级染色月季的安全性进行评价,以期能为包括染色月季在内的染色花卉的瓶插衰老研究和安全性评价提供参考。

### 1 材料与方法

**1.1 试验材料** 试验植物:处于2级开放状态的白色月季“坦尼克”(Rosa hybrid cv. Tineke)(图1)。

**1.2 试验方法** 前期使用不同浓度的食用色素(柠檬黄)对月季切花进行染色,经对比,9 g/L食用色素(柠檬黄)染色月季切花的基部均匀着色,色调柔和,因此在以下试验过程中,如无特殊标注,食用色素染色均使用9 g/L柠檬黄对月季切花进行染色。通过比色法测定超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)的活性,人工计数法统计菌落生长情况,二硫腈比色法测定染色月季花瓣中铅、汞、砷的含量。

**1.2.1 瓶插寿命的观测。**使用9 g/L柠檬黄对月季切花进行染色,将食用色素染色月季和未染色月季分别插入去离子水中,每隔1 d将月季花枝末端剪去除1 cm左右长度,每处理20枝月季,重复3次,观察花朵落瓣及萎蔫状态,进行瓶插天数统计,研究食用色素对月季切花瓶插期是否有影响。

**基金项目** 国家自然科学基金地区基金项目(31860572);山东省优秀中青年科学家科研奖励基金项目(2014BSB01588);国家自然科学基金项目(31660396);内蒙古自然科学基金项目(2021LHMS03003)。

**作者简介** 杜婷婷(1996—),女,内蒙古通辽人,硕士研究生,研究方向:观赏植物生长发育与采后生物学。\*通信作者,副教授,博士,从事观赏植物生长发育与采后生物学研究。

**收稿日期** 2022-02-26



图1 2级白色月季“坦尼克”

Fig.1 Secondary white rose “Tineke”

**1.2.2 SOD 和 CAT 测定。**使用食用色素与网购的所谓“专业染色剂”对月季切花进行染色,着色后,称取 0.1 g 染色花瓣,加入 1 mL 提取液,进行冰浴研磨,8 000 g, 4 ℃ 离心 10 min,取上清,置冰上待测。使用超氧化物歧化酶试剂盒(Solarbio)进行 SOD 测定,于 725 型分光光度计 560 nm 处测定吸光度。使用过氧化氢酶试剂盒(Solarbio)进行 CAT 测定,于 725 型分光光度计 240 nm 处测定吸光度  $A_1$ , 1 min 后的吸光度  $A_2$ , 计算  $\Delta A = A_1 - A_2$ 。

**1.2.3 菌落生长观测。**使用食用色素与专业染色剂对白色月季切花“坦尼克”进行染色,未染色月季切花作为对照,将切花完全着色后的瓶插液涂布于 LB 固体培养基上,37 ℃ 培养,记录菌落生长情况,采用人工计数法记录不同瓶插液的菌落生长状况。

**1.2.4 铅含量的测定。**使用食用色素对白色月季切花“坦尼克”进行染色,未染色月季切花作为对照。称取 5 g 月季花瓣,加入 10 mL 硝酸、0.5 mL 高氯酸,在 120 ℃, 0.5~1.0 h 180 ℃, 2.0~4.0 h 220 ℃ 的条件下进行消解,待液体呈棕褐色时加入少许硝酸,直至冒出白烟,液体为无色或者微黄时,消解结束。将消解液冷却后用水定容至 10 mL,混匀。将 10  $\mu$ L 铅标准系列溶液和 5  $\mu$ L 磷酸二氢铵-硝酸钡溶液同时注入石墨炉,原子化后测定吸光度,以质量浓度为横坐标,吸光度为纵坐标,制作标准曲线<sup>[13]</sup>。在与测定标准溶液相同的试验条件下,将 10  $\mu$ L 空白溶液或试样溶液与 5  $\mu$ L 磷酸二氢铵-硝酸钡溶液同时注入石墨炉,原子化后测定吸光度,与标准系列比较定量<sup>[14]</sup>。

**1.2.5 汞含量的测定。**使用食用色素对白色月季切花“坦尼克”进行染色,未染色月季切花作为对照。称取 2 g 月季花瓣,加入 45 mL 硝酸、10 mL 硫酸、数粒玻璃珠于消解装置锥形瓶中,转动锥形瓶防止局部炭化。装上冷凝管后小火加热,待发泡后停止加热;发泡停止后,加热回流 2 h(如加热过程中溶液变为棕色,加入 5 mL 硝酸,继续回流 2 h)。溶液为无色或淡黄色时,进行冷却,加入 20 mL 水,继续加热回流 10 min 放冷。然后用蒸馏水冲洗冷凝管,冲洗液并入消化液中,将消化液经玻璃棉过滤于容量瓶中。吸取汞标准使用

液,将硝酸溶液与去离子水以 1:9 的比例混合,配置汞浓度为 0、0.20、0.50、1.00、1.50、2.00、2.50 ng/mL 的标准液<sup>[15]</sup>。设定双光束测汞仪最佳条件,连续用硝酸溶液进样,待读数稳定之后,转入标准系列测量,绘制标准曲线。转入试样测量,先用稀释的硝酸溶液进样,使读数基本回零,再分别测定试样空白和试样消化液,试样测定结果按公式计算<sup>[16]</sup>。

**1.2.6 砷含量的测定。**使用食用色素对白色月季切花“坦尼克”进行染色,未染色月季切花作为对照。称取 2 g 月季花瓣,加入 5 mL 硝酸于消解罐中,浸泡过夜。将消解液于 140 ℃ 下孵育 4 h,自然冷却至室温后将消解罐取出,在控温电热板上 120 ℃ 驱散棕色气体。后将消解液移入 25 mL 容量瓶中,用少许蒸馏水洗涤内罐 3 次,合并洗涤液至 25 mL,混匀备用。吸取 1.00 mg/L 砷标准使用液,将硝酸溶液与去离子水以 2:98 的比例混合,配制砷浓度分别为 0.1、5、10、50 和 100 ng/mL 的标准系列溶液。将电感耦合等离子体质谱仪调试到符合要求后,将标准系列引入仪器进行测定,处理数据,绘制标准曲线,计算回归方程<sup>[17]</sup>。相同条件下,将试剂空白、样品溶液分别引入仪器进行测定。根据回归方程计算出样品中砷元素的浓度<sup>[18]</sup>。

**1.3 数据处理** 采用 Excel 2010 和 SPSS 23.0 进行数据统计与分析,采用 Origin 2018 作图。

## 2 结果与分析

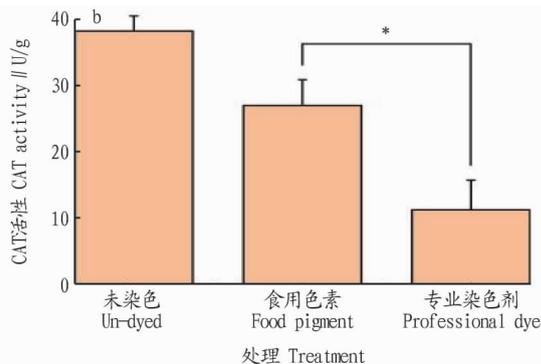
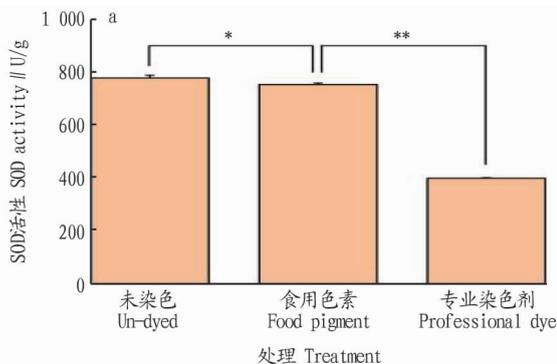
**2.1 食用色素染色月季与未染色月季瓶插寿命比较** 在温度(20±2)℃、湿度(50±5)%的条件下,观察染色月季的瓶插寿命。染色月季切花与未染色月季切花的瓶插寿命均为 9~10 d,经统计分析,二者无显著差异,表明食用色素对染色月季的生理代谢影响较小,并未改变或减少月季的瓶插寿命。

**2.2 不同处理月季抗氧化酶活性** 为检测食用色素是否对月季切花造成损害,加速月季切花衰老,以未染色月季和网购专业染色剂染色月季作为对照,测定并分析食用色素染色月季的抗氧化酶活性。SOD 是生物体内重要的抗氧化酶,是生物体内清除自由基的首要物质,其在生物体内的水平高低是判断衰老的直观指标<sup>[19]</sup>。较高浓度的 SOD 可以减缓细胞膜内的过氧化作用,保持细胞膜的完整性,从而延缓植物器的脱落和衰老<sup>[20-21]</sup>。由图 2a 可知,食用色素处理月季切花的 SOD 活性为 752.60 U/g,专业染色剂处理与未染色处理月季切花的 SOD 活性分别为 398.71、777.37 U/g。食用色素处理与未染色处理月季切花的 SOD 活性相近,但极显著高于专业染色剂处理的 SOD 活性。

CAT 是一种生物体抗衰老的保护酶,能维护细胞膜的稳定性和完整性,是生物演化过程中建立起来的生物防御体系的关键酶之一。CAT 具有提高植物抗逆水平,提高植物光合作用,增强植物防御能力和延缓衰老等作用<sup>[22]</sup>。由图 2b 可知,CAT 的活性与 SOD 的活性变化趋势一致,食用色素处理月季切花的 CAT 活性为 27.12 U/g,专业染色剂处理与未染色处理月季切花的 CAT 活性分别为 11.30、38.42 U/g。食用色素处理的 CAT 活性虽然比未染色处理月季切花的 CAT 活性低,但二者间无显著差异,显著高于专业染色剂处理。

以上 2 个结果说明专业染色剂在月季切花染色过程中,对月季花造成一定伤害,致使 SOD 和 CAT 活性降低,加速了月季切花衰老;而食用色素染色对月季切花影响较小,与未

染色月季的 SOD 和 CAT 活性相近,这与食用染色月季与未染色月季瓶插寿命相近的结果一致,也暗示食用色素染色剂比网购的专业染色剂安全性高。



注: \* 和 \*\* 分别表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ) 和极显著 ( $P < 0.01$ )。

Note: \* and \*\* respectively indicate significant ( $P < 0.05$ ) and extremely significant ( $P < 0.01$ ) differences between treatments.

图 2 不同处理月季切花 SOD(a) 和 CAT(b) 活性

Fig. 2 SOD(a) and CAT(b) activity of rose cutting under different treatments

**2.3 不同处理瓶插液中微生物菌落生长情况** 造成植物衰老的原因有很多,其中微生物在植物切口处过多积累,造成气孔堵塞也是其中一个重要因素。为检测食用色素中微生物是否过多积累而对月季切花造成损害,以未染色月季和专业染色剂染色月季作为对照,测定并分析食用色素染色月季的微生物菌落生长情况。对食用色素处理、专业染色剂处理和未染色处理的瓶插液进行稀释,稀释倍数分别为  $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 100$ ,将其涂布于 LB 培养基上,采用人工计数法观察记录菌落数目。从图 3 可见,食用色素处理瓶插液 ( $\times 100$ ) 中的菌落数目极显著高于未染色处理,极显著低于专业染色剂处理。这说明与专业染色剂相比,食用色素对月季切花损害较小,相对更加安全可靠,对月季切花瓶插期的影响较小。

求的铅含量,证明染色月季切花达到食品级要求。国标中规定食品级柠檬黄色素中汞含量  $\leq 0.01$  mg/kg,未染色月季切花中汞含量为 0.005 26 mg/kg,染色月季切花中汞含量为 0.005 58 mg/kg,二者间差异不显著,且远低于国标中要求的汞含量,证明染色月季切花达到食品级要求。国标中规定食品级柠檬黄色素中的砷含量  $\leq 0.5$  mg/kg。未染色月季切花中砷含量为 0.004 80 mg/kg,染色月季切花中的砷含量为 0.004 61 mg/kg,二者间差异不显著,且远低于国标中要求的砷含量,证明染色月季切花达到食品级要求。

表 1 染色月季与未染色月季重金属含量

Table 1 Heavy metal content of dyed and un-dyed rose

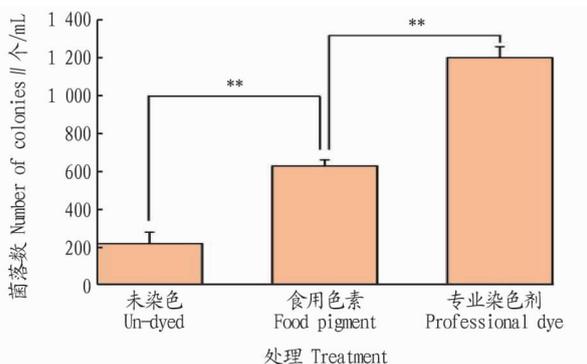
处理 Treatment	铅含量 Lead content	汞含量 Mercury content	砷含量 Arsenic content
未染色 Undyed	0.020 3 a	0.005 26 a	0.004 80 a
染色 Dyed	0.028 1 a	0.005 58 a	0.004 61 a

注: 同列相同小写字母表示处理间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

Note: The same lowercase letter in the same column means that there is no significant difference between treatments ( $P > 0.05$ ).

### 3 结论与讨论

随着时代的进步,人们对鲜花需求日益扩大,已不再满足于传统鲜花的颜色,为了满足人们所需,在现有技术相对匮乏的情况下,人工染色显得尤为重要。但由于染色切花与人体接触紧密,越来越多的人对染色切花对人体造成危害提出了质疑。该研究通过食用色素月季切花与专业染色剂月季切花和未处理的月季切花进行对比研究,旨在探讨食用色素对月季切花的瓶插衰老和安全性的影响。试验结果表明,在温度 ( $20 \pm 2$ )  $^{\circ}\text{C}$ 、湿度 ( $50 \pm 5$ ) % 的条件下,染色月季切花与未染色月季切花的瓶插寿命均为 9~10 d,无显著差异;食用色素月季切花的抗氧化酶活性均低于未染色月季切花,且显著高于专业染色剂处理,说明专业染色剂破坏了切花体内的酶,致使酶活性降低;观测食用色素处理月季切花瓶插液菌



注: \*\* 表示处理间差异极显著 ( $P < 0.01$ )。

Note: \*\* indicates extremely significant ( $P < 0.01$ ) differences between treatments.

图 3 不同染色剂处理瓶插液中微生物菌落数目

Fig. 3 Number of microbial colonies in the bottle insert under different stain treatments

**2.4 不同处理月季重金属含量安全性评价** 国标中规定食品级胭脂红色素中铅的含量  $\leq 0.1$  mg/kg。由表 1 可知,未染色月季切花中铅含量为 0.020 3 mg/kg,染色月季切花中铅含量为 0.028 1 mg/kg,二者间差异不显著,且远低于国标中要

落生长情况,瓶插液中的菌落数目显著低于专业染色剂处理,且染色花瓣中铅、汞、砷的含量也远低于国标含量,证明食用色素处理的月季切花安全无害。该试验进一步摸索出一套安全有效的染色技术,在满足日益增长的市场需求的同时,可为包括染色月季在内的染色花卉的瓶插衰老研究和安全性评价提供参考。

### 参考文献

- [1] 吴丽娟. 月季花文化研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2014.
- [2] 陈琦. 月季及其在园林绿化中的应用[J]. 现代农业科技,2021(15):154-156.
- [3] 张景普. 现代月季在园林景观中的应用[J]. 绿色科技,2019(21):72-73.
- [4] 叶安. 月季在园林绿化美化中的应用[J]. 现代园艺,2016(6):126.
- [5] 刘林幸. 月季在园林绿化美化中的应用[J]. 园艺与种苗,2013(6):30-32.
- [6] 高迎. 切花菊染色技术研究[D]. 南京:南京农业大学,2014.
- [7] 郑志亮. 花卉作物的花色基因工程[J]. 福建农业科技,1996(1):37-38.
- [8] 方萍,蒋劭博,吴海峰,等. 食用色素对鲜切单头菊染色及保鲜效果的影响[J]. 安徽农业科学,2022,50(15):159-162.
- [9] 李宁义,韩艳茹,常秀丽,等. 月季鲜切花染色技术的研究[J]. 农村实用工程技术(温室园艺),2005(10):24-25.
- [10] WINDT C W, GERKEMA E, VAN AS H. Most water in the tomato truss is imported through the xylem, not the phloem; A nuclear magnetic resonance flow imaging study<sup>[W]</sup> [J]. *Plant physiology*, 2009, 151(2): 830-842.
- [11] 章玉平,郑奕雄,刘武,等. 月季切花染色技术[J]. 安徽农学通报,

- 2009, 15(20): 109-111, 136.
- [12] 章玉平, 林雪粉, 黄进, 等. 月季切花染色技术研究[J]. 保鲜与加工, 2004(3): 32-33.
- [13] 魏琳丰. 不同消解方法在测定样品中重金属含量的应用[J]. 河南化工, 2016, 33(3): 12-15.
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中铅的测定: GB 5009. 12—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [15] 朱美荣. 微波消解-石墨炉原子吸收光谱法测定蔬菜水果中铅、镉、镍、铬含量的探讨[J]. 安徽预防医学杂志, 2016, 22(3): 153-155, 182.
- [16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中总汞及有机汞的测定: GB 5009. 17—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [17] 宋涛, 陈宏靖, 唐昌东, 等. 不同的湿法消解条件对原子荧光法检测黄鱼总砷的影响[J]. 海峡预防医学杂志, 2017, 23(6): 61-63.
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中总砷及无机砷的测定: GB 5009. 11—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [19] 魏婧, 徐畅, 李可欣, 等. 超氧化物歧化酶的研究进展与植物抗逆性[J]. 植物生理学报, 2020, 56(12): 2571-2584.
- [20] PHILOSOPH-HADAS S, MEIR S, AHARONI N. Carbohydrates stimulate ethylene production in tobacco leaf discs; II. Sites of stimulation in the ethylene biosynthesis pathway [J]. *Plant physiology*, 1985, 78(1): 139-143.
- [21] 汪本勤. 植物 SOD 的研究进展[J]. 河北农业科学, 2008, 12(3): 6-9, 12.
- [22] 刘云芬, 王薇薇, 祖艳侠, 等. 过氧化氢酶在植物抗逆中的研究进展[J]. 大麦与谷类科学, 2019, 36(1): 5-8.

(上接第 110 页)

随水分梯度的降低而减小,且日本荚蒾对轻度和中度干旱有一定的耐受性,而该研究中各荚蒾属品种净光合速率均呈先下降再升高后降低的趋势,在植株感受干旱胁迫后,各品种净光合速率含量迅速降低,与日本荚蒾表现出相同的变化趋势。

**3.2 抗旱荚蒾属品种选择** 荚蒾属植物因其独特的观赏特性受到学者的关注,不同地区的引种和适应性评价研究也陆续开展,田丽媛等<sup>[16]</sup>对杭州 31 种荚蒾属植物进行了观赏性评价,并选择观赏特性突出的粉团荚蒾(*Viburnum plicatum*)、台东荚蒾(*Viburnum taitoense*)、南方荚蒾(*Viburnum fordiae*)等进行了园林应用探讨;冯永平等<sup>[17]</sup>对浙江省引入的常绿荚蒾属植物进行生长适应性评价,选择出观赏价值较好的 8 种荚蒾属候选植物;段兆忠等<sup>[18-19]</sup>分别对太原和郑州地区的枇杷叶荚蒾(*Viburnum rhytidophyllum*)引种特性进行了评价;李霞等<sup>[20]</sup>研究了皱叶荚蒾(*Viburnum rhytidophyllum*)在沧州地区的推广价值。笔者通过对山东引种的 6 种荚蒾属植物进行抗旱性评价,选择出抗旱性较强的荚蒾属品种 2 个,分别为中华木绣球和雪球荚蒾,这 2 个荚蒾属品种在响应干旱胁迫方面表现优异,可以作为重点推广的观赏品种,为推动南方花卉在山东地区南种北繁进程提供了科学依据。

### 参考文献

- [1] 吕文君,刘宏涛,夏伯顺,等. 荚蒾属植物资源及其园林应用[J]. 世界林业研究,2019,32(3):36-41.
- [2] 吕文君,刘宏涛,袁玲,等. 荚蒾属植物在武汉地区的引种调查及观赏性状评价[J]. 中国园林,2018,34(8):86-91.
- [3] 李瑞姣,岳春雷,李贺鹏,等. 干旱胁迫对日本荚蒾幼苗生理生化特性

- 的影响[J]. 西北林学院学报,2018,33(2):56-61,103.
- [4] 吴淑洪,王大平,魏伟. 盐胁迫对常绿欧洲荚蒾生理指标的影响[J]. 贵州农业科学,2011,39(2):45-47.
- [5] 宋庆安,童方平,易露琴,等. 光胁迫下欧洲荚蒾的光合生理生态特性[J]. 中国农学通报,2008,24(5):166-170.
- [6] 刘晓静,刘佩迎,张谦,等. 土壤干旱胁迫对银杏幼苗光合特性的影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2018,49(3):467-472.
- [7] 陈洪国,姜军权. 不同浸提温度、时间及浸提剂对测定叶绿素含量的影响[J]. 咸宁学院学报,2005,25(6):77-78.
- [8] HODGES D M, DELONG J M, FORNEY C F, et al. Improving the thiobarbituric acid-reactive-substances assay for estimating lipid peroxidation in plant tissues containing anthocyanin and other interfering compounds[J]. *Planta*, 1999, 207(4): 604-611.
- [9] 职明星,李秀菊. 脯氨酸测定方法的改进[J]. 植物生理学通讯,2005,41(3):355-357.
- [10] 丁龙,赵慧敏,曾文静,等. 五种西北旱区植物对干旱胁迫的生理响应[J]. 应用生态学报,2017,28(5):1455-1463.
- [11] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [12] 李美如,刘鸿先,王以柔,等. 钙对水稻幼苗抗冷性的影响[J]. 植物生理学报,1996,22(4):379-384.
- [13] 魏强,薛欢,苑景淇,等. 鸡树条荚蒾对干旱胁迫的生理响应[J]. 北华大学学报(自然科学版),2018,19(2):170-174.
- [14] 王大平,姚彩虹,魏伟,等. 干旱胁迫对常绿欧洲荚蒾幼苗膜脂过氧化和抗氧化酶活性的影响[J]. 重庆文理学院学报(自然科学版),2011,30(1):47-49,62.
- [15] 李瑞姣,陈献志,岳春雷,等. 干旱胁迫对日本荚蒾幼苗光合生理特性的影响[J]. 生态学报,2018,38(6):2041-2047.
- [16] 田丽媛,施晓梦,王雪芬,等. 荚蒾属植物在杭州地区的观赏性评价及园林应用[J]. 黑龙江农业科学,2021(10):84-88.
- [17] 冯永平,施晓梦,田丽媛,等. 常绿荚蒾属植物引种试验初探[J]. 浙江园林,2020(3):84-88.
- [18] 段兆忠,郭丽丽,贾玲玲. 枇杷叶荚蒾在太原引种及繁殖试验研究[J]. 太原学院学报(自然科学版),2019,37(2):65-68.
- [19] 史喜兵,赵海红,孙毅宁. 枇杷叶荚蒾的引种栽培技术研究[J]. 北方园艺,2010(6):121-123.
- [20] 李霞,刘秀花,李霞,等. 沧州盐碱地皱叶荚蒾引种适应性研究[J]. 中国园艺文摘,2018,34(2):15-18,35.