

重瓣大花紫薇‘云裳’的有性杂交亲和性分析

李 冰^{1,2}, 孙利娜¹, 陈 尔¹, 唐军荣², 林 茂^{1,2*}

1. 广西壮族自治区林业科学研究院/广西特色经济林培育与利用重点实验室/广西林业实验室, 广西南宁 530002; 2. 西南林业大学林学院, 云南昆明 650224

摘 要: 本研究探讨重瓣大花紫薇‘云裳’(*Lagerstroemia speciosa* ‘Yunchang’)的有性杂交亲和性, 以重瓣大花紫薇‘云裳’作为母本, 并以大花紫薇(紫色)、大花紫薇(粉红色)、“红火箭”紫薇、毛萼紫薇、南洋紫薇、绒毛紫薇、“红叶”紫薇为父本进行杂交。通过进行花粉生活力、柱头可授性检测, 杂交、杂种萌发、授粉后花粉管萌发、花粉生长的荧光观察等试验, 系统分析重瓣大花紫薇‘云裳’在有性繁殖过程中的杂交亲和性。研究结果表明: (1) 重瓣大花紫薇‘云裳’的柱头全天都具备授粉能力, 尤其在上午 10:00—12:00 达到最强, 此时柱头表面呈深蓝色, 并伴有大量气泡产生; (2) 重瓣大花紫薇‘云裳’与大花紫薇(粉红色)杂交组合的坐果率、果实纵径、千粒重及出苗率显著高于其他组合, 即坐果率为 22.2%, 果实纵径为 19.45 mm, 千粒重为 7.9 g, 出苗率为 8.7%, 重瓣大花紫薇‘云裳’与‘红火箭’紫薇杂交组合产生的种子数最多, 达 153 粒, 而与南洋紫薇杂交组合未能结实, 发现重瓣大花紫薇‘云裳’与大花紫薇(粉红色)杂交存在严重的远缘杂交障碍, 特别是重瓣大花紫薇‘云裳’与南洋紫薇杂交亲和性更低。(3) 通过选取坐果率高和低的组合进行荧光显微观察发现, 授粉后 0~48 h, 坐果率较低的组合柱头上未见花粉萌发现象。而坐果率高的组合在授粉 0 h 和 2 h 也未见花粉粒萌发; 但在授粉 4 h 和 6 h 观察到少数花粉管开始生长, 并伴随着大量胼胝质在柱头上聚集以及花粉管断裂现象。授粉 8 h 和 24 h, 花粉管生长现象更加显著。授粉 48 h, 花粉管已生长至花柱位置, 并伴随大量胼胝质干扰和花粉管扭曲现象。这些观察结果揭示了重瓣大花紫薇‘云裳’的有性杂交障碍可能源于柱头上大量胼胝质的干扰。

关键词: 重瓣大花紫薇‘云裳’; 杂交育种; 亲和性; 荧光观察

中图分类号: S685.14

文献标志码: A

Analysis of Sexual Hybridization Compatibility in Double-flowered *Lagerstroemia speciosa* ‘Yunchang’

LI Bing^{1,2}, SUN Lina¹, CHEN Er¹, TANG Junrong², LIN Mao^{1,2*}

1. Guangxi Forestry Research Institute / Guangxi Key Laboratory of Special Economic Forest Cultivation and Utilization / Guangxi Laboratory of Forestry, Nanning, Guangxi 530002, China; 2. College of Forestry, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan, 650224, China

Abstract: This study investigated the sexual cross-compatibility of the double-flowered *Lagerstroemia speciosa* ‘Yunchang’, using it as the maternal parent and crossing it with *Lagerstroemia speciosa* (Deep Purple), *Lagerstroemia speciosa* (Deep Purplish Pink A), *L. indica* ‘Red Rocket’, *L. indica* ‘Pink Velour’, *L. balansae*, *L. siamica*, *L. tomentosa*, and *L. indica* ‘Red Leaf’ as paternal parents. Through experiments including pollen viability testing, stigma receptivity assessment, hybridization, hybrid seed germination, and fluorescence microscopy observation of pollen tube germination and growth after pollination, the cross-compatibility of double-flowered *Lagerstroemia speciosa* ‘Yunchang’ during sexual reproduction was systematically analyzed. The results showed: (1) The stigmas of double-flowered *Lagerstroemia speciosa* ‘Yunchang’ exhibited receptivity throughout the day, peaking between 10:00 AM and 12:00 PM when the stigma surface appeared dark blue with abundant

收稿日期 2025-02-26; 接受日期 2025-04-14

基金项目 广西特色经济林培育与利用重点实验室自主课题(No. JA-23-04-04); 广西林科院研究团队项目(No. 2024RT26); 广西林业科技推广示范项目([2022]GT21)。

作者简介 李 冰(1990—), 女, 硕士研究生, 研究方向: 林木遗传育种与应用。*通信作者(Corresponding author): 林 茂(LIN Mao), E-mail: 49888178@qq.com。

bubble formation. (2) The cross between double-flowered *Lagerstroemia speciosa* ‘Yunchang’ and *Lagerstroemia speciosa* (Deep Purplish Pink A) demonstrated significantly higher fruit set rate (22.2%), fruit longitudinal diameter (19.45 mm), thousand-seed weight (7.9 g), and seedling emergence rate (8.7%) compared to other combinations. The cross with *L. indica* ‘Red Rocket’ produced the highest number of seeds (153 seeds), while no fruit set was observed in the cross with *L. balansae*. Severe distant hybridization barriers were identified, particularly showing the lowest compatibility between double-flowered *Lagerstroemia speciosa* ‘Yunchang’ and *L. balansae*. (3) Fluorescence microscopy observations of combinations with high and low fruit set rates revealed that no pollen germination occurred on stigmas within 0–48 hours post-pollination in low fruit set combinations. In high fruit set combinations, no pollen grain germination was observed at 0 h and 2 h post-pollination; however, at 4 h and 6 h, a few pollen tubes began elongating, accompanied by significant callose deposition on stigmas and pollen tube rupture. Pollen tube elongation became more pronounced at 8 h and 24 h post-pollination. By 48 h, pollen tubes had elongated to the style position, with substantial callose interference and pollen tube distortion. These observations suggest that the sexual hybridization barriers in double-flowered *Lagerstroemia speciosa* ‘Yunchang’ may originate from extensive callose interference on the stigma.

Keywords: *Lagerstroemia speciosa* ‘Yunchang’; hybrid breeding; affinity; fluorescence

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2025.08.007

重瓣大花紫薇‘云裳’(*Lagerstroemia speciosa* ‘Yunchang’)为广西壮族自治区林业科学研究院与北京林业大学联合研发的国内首个重瓣品种,于2020年7月获得国家植物新品种授权(品种权号:20200154)。该品种具有雄蕊完全瓣化、几乎不结实、花型丰满的特点,花期5—11月,解决了果实宿留问题,显著提升观赏价值,适宜多种绿化场所^[1]。其花色鲜艳,花朵繁茂,成为近年来城市绿化中备受关注的优良观赏树种。

紫薇属(*Lagerstroemia*)全球分布约60种,我国作为该属植物多样性中心之一,拥有24种(含18个特有种),其中紫薇(*L. indica*)等物种因其长达百日的观赏花期和优良抗逆性,已成为全球温带至亚热带地区重要的园林树种^[2-3]。近年来,随着选择育种、分子标记^[4]和远缘杂交^[5-6]等技术,在紫薇属的种质创新已取得显著进展,培育了‘黑美人’紫薇(*L. indica* ‘Heimeiren’)、大花紫薇‘紫娟’(*Lagerstroemia speciosa* ‘Zijuan’)、大花紫薇‘紫婢’(*Lagerstroemia speciosa* ‘Zichan’)等一系列新品种^[7-9]。然而,我国紫薇育种仍面临两大技术瓶颈:其一,重瓣花型种质资源匮乏,现有品种瓣化率普遍低于80%且存在败育现象;其二,种间杂交存在显著生殖隔离,花粉管引导异常等受精前障碍导致杂交结实率低^[9-15]。针对我国紫薇育种面临的两大技术瓶颈,重瓣大花紫薇‘云裳’的培育也为我们提供了一些启示。一方面,通过人工选择和常规育种手段,可以进一步提高重瓣花型的瓣化率和观赏品质;另一方面,深入研究种间杂交的生殖隔离机制,探索解决花粉管引导异常等受精前障碍的有效途径,也有望提高杂交

结实率,推动紫薇育种技术的进一步发展。目前,有关大花紫薇和紫薇的主要报道集中在扦插^[16]、播种^[17]、组织培养^[18]、生理生化^[19]、杂交育种^[20]、诱变^[21]等方面的相关研究,未见有关重瓣大花紫薇‘云裳’有性杂交方面的报道。因此,本研究选取重瓣大花紫薇‘云裳’作为母本,并以大花紫薇(紫色)、大花紫薇(粉红色)、“红火箭”紫薇、毛萼紫薇、南洋紫薇、绒毛紫薇、“红叶”紫薇为父本,开展一系列杂交试验,旨在通过杂交育种技术,探索其与近缘物种间的亲和性。通过荧光观察等手段,深入分析杂交过程中的花粉萌发、花粉管生长等关键环节,为揭示杂交障碍机制及后续种质创新提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

本研究选取重瓣大花紫薇‘云裳’作为母本(图1),并以大花紫薇(紫色)、大花紫薇(粉红色)、“红火箭”紫薇、毛萼紫薇、南洋紫薇、绒毛紫薇、“红叶”紫薇作为父本(图2),对其进行种间杂交试验。



图 1 母本

Fig. 1 Female parent



图 2 父本
Fig. 2 male parent

1.2 方法

1.2.1 父本花粉活力测定 选择在上午 10:00 时,采集每个父本花朵 10 朵,使用镊子小心地将花粉敲落至凹槽载玻片上,滴加 0.5% TTC 溶液 1~2 滴。将载玻片置于 35 ℃ 的暗环境中培养 30~40 min,显微镜下观察花粉染色情况,随机选取 3 个视野,统计花粉总数和染色的花粉数量,计算花粉活力。结果显示,所有父本的花粉活力均高于 85%,表明选择的父本适合用于杂交授粉^[22-24]。

1.2.2 不同时期柱头可授性的检测 在 8:00—18:00 之间,挑选 15 朵无病虫害、形态完整的花朵,摘取其柱头。将柱头放置于凹槽载玻片上,滴加联苯胺过氧化氢反应液(联苯胺:过氧化氢:水=4:11:22)^[25-26]。等待 2~3 min,在研究级正置显微镜下观察、拍照、保存图像。如反应液变蓝并伴随大量气泡产生,表示柱头具有强(+++)、较强可授性(++);若仅有少量气泡产生,则表示柱头具有较弱可授性(+);若无气泡产生,则表示柱头不具备可授性(-)。

1.2.3 授粉后花粉萌发和花粉管生长荧光观察 选取坐果率高的组合进行荧光观察,以 FAA 固定液固定时间(A)、氢氧化钠浓度(B)、加热软化时间(C)、水浴锅加热温度(D)为变量,每个变量设置 3 个水平。依据 4 因素 3 水平正交试验进行设计(表 1)。将大花紫薇(粉红色)的新鲜花粉授粉到重瓣大花紫薇‘云裳’的柱头。授粉 6 h 后取下雌蕊,置于 FAA 固定液中固定,并储存于 4 ℃ 冰箱。压片处理前,用 70%、50%、25%乙醇依次浸泡 10 min,再用蒸馏水冲洗 20 min,最后使用不同浓度的氢氧化钠溶液对雌蕊进行加热处理。花柱压片参照 DAFNI 等^[27]

的方法。压片完成后,使用 Nikon Ni-U 荧光显微镜的暗视野观察花粉粒(pollen grain, pg)在柱头上的萌发及花粉管(pollen tube, pt)的生长情况,并拍照记录。每个处理重复 30 次,共进行 3 次重复,即每个处理总计观察 90 个样本。

上述试验后,将大花紫薇(粉红色)和南洋紫薇的花粉分别授粉到重瓣大花紫薇‘云裳’柱头,分别于 0、2、4、6、8、24、48 h 取下雌蕊,置于 FAA 固定液中固定,存于 4 ℃ 冰箱。然后压片,进行荧光显微镜观察^[28-29]。

表 1 不同处理对授粉后柱头花粉萌发和花粉管生长的荧光观察

Tab. 1 Fluorescence observation of pollen germination and pollen tube growth on stigmas after different treatments

组合 Combination	FAA 固定时间 FAA fixed time/h	氢氧化钠浓度 NaOH concen- tration/(mol·L ⁻¹)	加热 软化时间 Heating softening time/h	水浴锅 温度 Water bath heating tem- perature/℃
A ₁ B ₁ C ₁ D ₁	24	4	1	50
A ₁ B ₂ C ₂ D ₂	24	6	3	75
A ₁ B ₃ C ₃ D ₃	24	8	5	100
A ₂ B ₁ C ₂ D ₃	48	4	3	100
A ₂ B ₂ C ₃ D ₁	48	6	5	50
A ₂ B ₃ C ₁ D ₂	48	8	1	75
A ₃ B ₁ C ₃ D ₂	72	4	5	75
A ₃ B ₂ C ₁ D ₃	72	6	1	100
A ₃ B ₃ C ₂ D ₁	72	8	3	50

2 结果与分析

2.1 重瓣大花紫薇‘云裳’不同时段柱头可授性变化

通过联苯胺-过氧化氢法评估重瓣大花紫薇‘云裳’柱头不同时间段的可授性变化。由表 2、

图 3 可知，重瓣大花紫薇‘云裳’柱头全天具备授粉能力，其中 10：00—12：00 时段柱头可授性最强，柱头表面呈深蓝色，并伴有大量气泡产生，柱头可授性强度为+++；其次是 8：00 和 14：00，而 16：00—18：00 时段柱头可授性相对较弱。在 18：00 后，柱头颜色逐渐变浅，气泡数量也明显减少，柱头可授性呈逐渐降低趋势。即使在柱头可授性较弱的时段（16：00—18：00），柱头表面仍能观察到一定程度的颜色变化和气泡产生，说明重瓣大花紫薇‘云裳’柱头全天均具有授粉潜力。研究结果对于指导重瓣大花紫薇‘云裳’

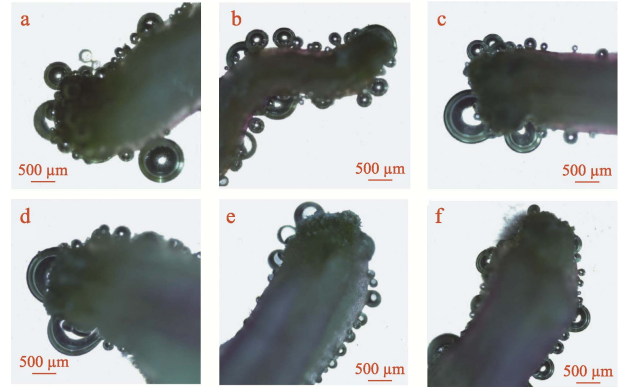


图 3 不同时段柱头可授性观察
Fig. 3 Observation of stigma receptivity at different time periods

表 2 重瓣大花紫薇‘云裳’不同时段柱头可授性变化
Tab. 2 Changes in stigma receptivity of *L. indica* ‘Yunchang’ at different time periods

编号 No.	时段 Time periods	柱头表面颜色 Capital surface color	柱头周围气泡量 Bubble quantity around the column head	柱头可授性 Stigma receptivity
a	8：00	蓝色	大气泡和少量小气泡	++
b	10：00	深蓝色	大量气泡	+++
c	12：00	深蓝色	大量气泡	+++
d	14：00	深蓝色	部分大气泡	++
e	16：00	蓝色	大量小气泡	+
f	18：00	蓝色	少量大气泡和小气泡	+

的人工授粉和提高杂交育种成功率具有重要意义。

2.2 不同杂交组合结实及萌发情况比较

由表 3 可知，重瓣大花紫薇‘云裳’×大花紫薇（粉红色）的杂交组合在坐果率、果实纵径、千粒重以及出苗率等指标与其他组合差异显著。在单果种子数量方面，重瓣大花紫薇‘云裳’×‘红火箭’紫薇的杂交组合的单果种子数最多，达到 153 粒。而重瓣大花紫薇‘云裳’×南洋紫薇的杂交组合未能结实。这可能与花粉活力、柱头可授性、授粉时间、环境条件以及基因型等多种因素有关。

表 3 不同杂交组合结实及萌发情况
Tab. 3 Comparison of seed setting and germination conditions in different hybrid combinations

序号 No.	父本 Male parent	坐果率 Fruit set rate/%	果实横径 Fruit transverse diameter/mm	果实纵径 Fruit longitudinal diameter/mm	单果种子数 Number of seeds per fruit	千粒重 Thousand-grain weight/g	出苗率 Emergence rate/%
1	大花紫薇（紫色）	17.2 ^b	16.59±3.39 ^b	16.75±0.43 ^d	132±14.8 ^b	3.8±0.80 ^d	0.5±1.61 ^d
2	大花紫薇（粉红色）	22.2 ^a	19.78±1.07 ^a	19.45±0.37 ^a	148±15.2 ^a	7.9±0.21 ^a	8.7±1.33 ^a
3	‘红火箭’紫薇	11.5 ^c	19.02±0.78 ^a	18.42±1.21 ^b	153±12.4 ^a	6.0±0.11 ^b	1.3±1.12 ^c
4	毛萼紫薇	12.4 ^c	18.16±0.22 ^a	16.81±1.08 ^d	96±7.3 ^c	6.7±0.12 ^b	2.5±0.71 ^b
5	绒毛紫薇	0.7 ^d	16.78±0.21 ^b	18.18±1.11 ^b	85±3.1 ^c	5.3±0.06 ^c	0.5±1.94 ^d
6	南洋紫薇	0.0 ^f	0.00 ^c	0.00 ^e	0.0 ^d	0.00 ^e	0.00 ^e
7	‘红叶’紫薇	0.4 ^e	18.51±1.20 ^a	17.65±0.71 ^c	145±5.2 ^a	6.1±0.20 ^b	1.0±1.42 ^c

注：同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著（*P*<0.05）。
Note: Different lowercase letters after the same column of data indicate significant difference among treatments (*P*<0.05).

2.3 杂交授粉后花粉萌发和花粉管生长的荧光观察

在杂交授粉后，挑选坐果率较高的组合进行花粉管萌发和生长的荧光显微观察。结果显示（表 4），仅 A₂B₁C₂D₃ 组合在处理成功地观察到花粉的萌发和花粉管的生长现象，即 FAA 固定液

48 h+氢氧化钠 4 mol/L+水浴煮沸（100 ℃）3 h。而其他组合由于雄蕊过于坚硬、导致苯胺蓝未能染色，压片处理后，无法观察到花粉萌发及花粉管的生长现象。

上述试验后，将大花紫薇（粉红色）和南洋紫薇授粉到重瓣大花紫薇‘云裳’柱头上，分别

表 4 授粉 6 h 花粉萌发和花粉管生长的荧光观察
Tab. 4 Fluorescence observation of pollen germination and pollen tube elongation 6 h after pollination

组合 Combination	观察结果 Observation results
A ₁ B ₁ C ₁ D ₁	雄蕊过于坚硬, 苯胺蓝未能染色成功。压片后未见花粉萌发及花粉管生长现象。
A ₁ B ₂ C ₂ D ₂	雄蕊软化程度适中, 苯胺蓝染色后有其他杂色出现, 未见花粉萌发及花粉管生长现象。
A ₁ B ₃ C ₃ D ₃	雄蕊过于柔软, 不利于苯胺蓝染色。
A ₂ B ₁ C ₂ D ₃	雄蕊软化程度适中, 苯胺蓝染色后, 压片过程可见花粉萌发及花粉管生长现象。
A ₂ B ₂ C ₃ D ₁	雄蕊过于坚硬, 苯胺蓝未能染色成功。压片后未见花粉萌发及花粉管生长现象。
A ₂ B ₃ C ₁ D ₂	雄蕊过于坚硬, 苯胺蓝未能染色成功。压片后未见花粉萌发及花粉管生长现象。
A ₃ B ₁ C ₃ D ₂	雄蕊过于坚硬, 苯胺蓝未能染色成功。压片后未见花粉萌发及花粉管生长现象。
A ₃ B ₂ C ₁ D ₃	雄蕊过于坚硬, 苯胺蓝未能染色成功。压片后未见花粉萌发及花粉管生长现象。
A ₃ B ₃ C ₂ D ₁	雄蕊过于坚硬, 苯胺蓝未能染色成功。压片后未见花粉萌发及花粉管生长现象。

于 0、2、4、6、8、24、48 h 摘取雌蕊, 置于 FAA 固定液固定 48 h 以上, 并存于 4 ℃ 冰箱内。然后压片, 进行荧光显微观察。结果显示, 坐果率高的组合授粉 0 h 和 2 h 未见花粉粒萌发; 但授粉 4 h 和 6 h 可见少数花粉管开始生长, 并伴随大量胼胝质在柱头上聚集及花粉管断裂现象, 同时发现大量胼胝质在柱头上聚集和花粉断裂现象; 而授粉 8 h 和 24 h, 花粉管生长现象更为显著。在授粉后 48 h, 花粉管已生长至花柱位置, 同时发现大量的胼胝质干扰和花粉管扭曲 (图 4)。授粉后 0~48 h, 坐果率较低的组合柱头上也未观察到花粉萌发现象 (图 5)。

3 讨论

3.1 柱头可授性与坐果率的关系

柱头作为植物授粉的关键部位, 其可授性直接影响到杂交的成功率和后续的坐果率。本研究发现, 重瓣大花紫薇‘云裳’的柱头在全天均具备可授性, 尤其在 10: 00 至 12: 00 时段, 柱头的可授性达到最强。这一结果与王梦瑶等^[30]、刘

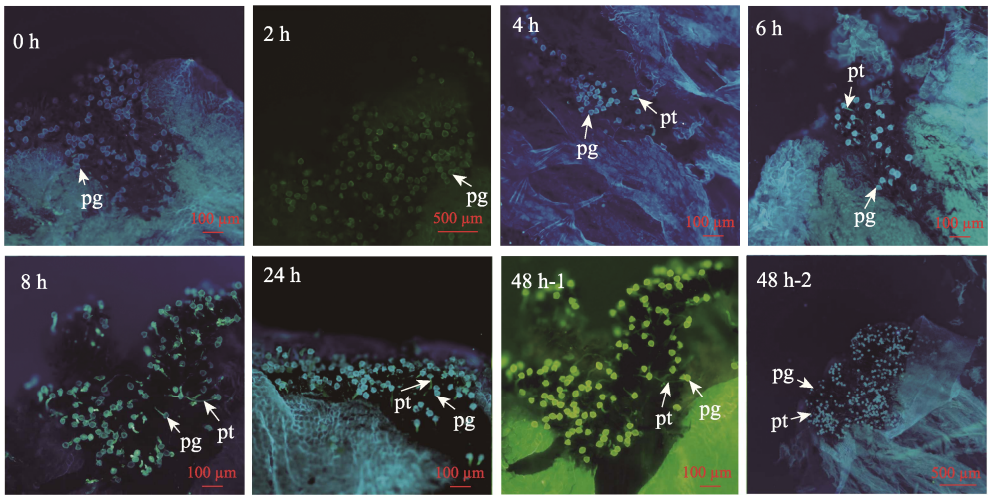


图 4 重瓣大花紫薇‘云裳’×大花紫薇 (粉红色) 授粉后花粉管萌发和花粉管生长观察
Fig. 4 Observation of pollen tube germination and pollen tube elongation after pollination in *L. indica* ‘Yunchang’ × *L. indica* (Deep purplish pink A)

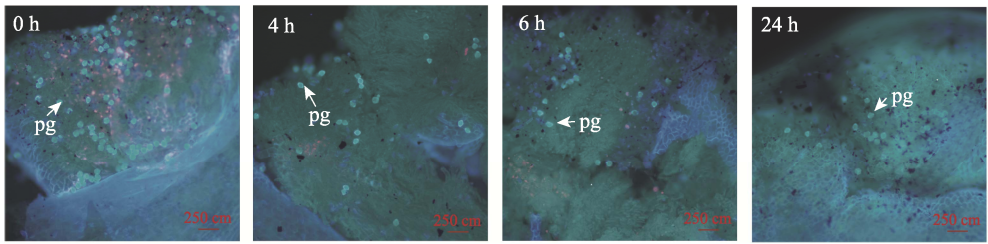


图 5 重瓣大花紫薇‘云裳’×南洋紫薇授粉后花粉管萌发和花粉管生长观察
Fig. 5 observation of pollen tube germination and pollen tube elongation after pollination in *L. speciosa* ‘Yunchang’ and *L. siamica*

婷婷^[31]、王甜^[32]对紫薇柱头可授性的研究结果基本一致。在本研究中,尽管重瓣大花紫薇‘云裳’的柱头全天具备授粉能力,但与其与大花紫薇(粉红色)的杂交组合坐果率仅达22.2%;而大花紫薇‘云裳’与南洋紫薇的组合坐果率最低,为0。这说明坐果率不仅与柱头可授性相关,还与亲本之间的遗传背景、杂交组合的适配性以及环境条件等多种因素有关。

3.2 重瓣大花紫薇‘云裳’有性杂交亲和性

研究植物杂交障碍的方法主要涵盖细胞学观察、生理生化测定和分子生物学分析等多方面。本研究采用细胞学观察的方法,探讨重瓣大花紫薇‘云裳’与大花紫薇(紫色)、大花紫薇(粉红色)、“红火箭”紫薇、毛萼紫薇、南洋紫薇、绒毛紫薇、“红叶”紫薇杂交亲和性的成因。经过选择坐果率高和低的组合分析,授粉0~48 h,坐果率较低的组合柱头上未见花粉萌发现象。而坐果率高的组合授粉0 h和2 h也未见花粉萌发;但在授粉4 h和6 h,可见少数花粉管开始生长,并伴随大量胼胝质在柱头上聚集及花粉管断裂。授粉8 h和24 h,花粉管生长更加显著。授粉48 h,花粉管已生长至花柱位置,并伴随大量胼胝质干扰和花粉管扭曲现象^[33-39]。出现这一现象的原因可能与花柱内部的阻力以及花粉管的生长极限有关。

参考文献

- [1] 王小明,陈明皋,潘会堂,曾慧杰,何才生.紫薇新品种创制与栽培技术研究[M].北京:中国林业出版社,2022.
WANG X M, CHEN M G, PAN H T, ZENG H J, HE C S. Research on the creation of new *Lagerstroemia* varieties and cultivation techniques[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2022. (in Chinese)
- [2] 黄建睿,陈涛,缪绅裕.紫薇属植物叶绿体基因组研究进展[J].广东农业科学,2022,49(10):52-61.
HUANG J R, CHEN T, MIAO S Y. Research progress on chloroplast genomes of *Lagerstroemia* species[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2022, 49(10): 52-61. (in Chinese)
- [3] 张林娟,李向茂,奉树成.紫薇种质资源与应用研究进展[J].广东农业科学,2024,51(2):81-91.
ZHANG L J, LI X M, FENG S C. Research progress on germplasm resources and application of *Lagerstroemia indica*[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2024, 51(2): 81-91. (in Chinese)
- [4] 黄建睿,缪绅裕. SSR 分子标记在紫薇属植物中的应用研究进展[J].安徽农业科学,2023,51(15):14-17.
HUANG J R, MIAO S Y. Advances in the application of SSR molecular markers in *Lagerstroemia*[J]. Anhui Agricultural Sciences, 2023, 51(15): 14-17. (in Chinese)
- [5] 焦垚,冯露,叶远俊,鞠易倩,潘会堂,张启翔,王国熙,潘隆应,朱嫒.大花紫薇与紫薇杂交 F1 表型遗传分析[C].成都:2017 年中国观赏园艺学术研讨会,2017.
JIAO Y, FENG L, YE Y J, JU Y Q, PAN H T, ZHANF Q X, WANG G X, PAN L Y, ZHU Y. Phenotypic genetic analysis of the F1 hybrid between *Lagerstroemia speciosa* and *Lagerstroemia indica*[C]. Chengdu: 2017 China Academic Symposium on Ornamental Horticulture, 2017. (in Chinese)
- [6] 焦垚.大花紫薇与紫薇杂交后代重要观赏性状遗传分析[D].北京:北京林业大学,2017.
JIAO Y. Phenotypic and genetic analysis of ornamental traits in hybrids of *Lagerstroemia indica* and *L. speciosa*[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2017. (in Chinese)
- [7] 秦波,孙开道,周启华,毛纯,黄耀恒,蒋日红,李传达,黄欣.紫薇新品种‘黑美人’[J].园艺学报,2024,51(增刊1):203-204.
QIN B, SUN K D, ZHOU Q H, MAO C, HUANG Y H, JIANG R H, LI F D, HUANG X. A new cultivar of *Lagerstroemia indica* ‘Heimeiren’[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2024, 51(Suppl. 1): 203-204. (in Chinese)
- [8] 梁桂婵,梁建,刘世晗,奚如春,代色平,李晓东,邓小梅.大花紫薇新品种‘紫娟’[J].园艺学报,2022,49(增刊1):169-170.
LIANG G C, LIANG J, LIU S H, XI R C, DAI S P, LI X D, DENG X M. A new *Lagerstroemia speciosa* cultivar ‘Zijuan’[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2022, 49(Suppl. 1): 169-170. (in Chinese)
- [9] 林嘉蓓,方姝懿,邓小梅,奚如春.大花紫薇新品种‘紫婵’[J].园艺学报,2021,48(增刊2):2987-2988.
LIN J B, FANG S Y, DENG X M, XI R C. A new *Lagerstroemia speciosa* cultivar ‘Zichan’[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2021, 48(Suppl. 2): 2987-2988. (in Chinese)
- [10] 王甜.紫薇和川黔紫薇远缘杂交亲和性及种子萌发特性研究[D].长沙:中南林业科技大学,2022.
WANG T. Study on the compatibility and seed germination characteristics of the distant hybridization between *Lagerstroemia indica* and *Lagerstroemia excelsa*[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2022. (in Chinese)
- [11] 蔡明,孟锐,潘会堂,张启翔,高亦珂,孙明,王学风,王晓玉.紫薇属与散沫花属远缘杂交亲和性的研究[J].园艺学报,2010,37(4):637-642.
CAI M, MENG R, PAN H T, ZHANG Q X, GAO Y K, SUN M, WANG X F, WANG X Y. Study on the distant hybridi-

- zation affinity between *Lagerstroemia* and *Lawsonia*[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2010, 37(4): 637-642. (in Chinese)
- [12] 胡杏, 鞠易倩, 叶远俊, 申建双, 潘会堂, 张启翔. 紫薇×大花紫薇不同育性株系花粉生活力及柱头可授性对比分析[J]. 河南农业大学学报, 2014, 48(2): 145-149.
- HU X, JU Y Q, YE Y J, SHEN J S, PAN H T, ZHANG Q X. Comparative investigation on the pollen viability and stigma receptivity of different hybrids between *Lagerstroemia indica* and *L. speciosa*[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2014, 48(2): 145-149. (in Chinese)
- [13] 罗卿清, 郑钢, 顾翠花, 顾帆, 陈凯, 郑绍宇. 黄薇花粉活力及柱头可授性[J]. 浙江农林大学学报, 2020, 37(1): 182-187.
- LUO Q Q, ZHENG G, GU C H, GU F, CHEN K, ZHENG S Y. Pollen viability and stigma receptivity of *Heimia myrtifolia*[J]. Journal of Zhejiang A&F University, 2020, 37(1): 182-187. (in Chinese)
- [14] 陈媚, 冯红玉, 徐丽, 刘迪发, 姚碧娇, 符小琴, 高玲. 西番莲花粉活力研究初报[J]. 中国南方果树, 2022, 51(5): 59-66.
- CHEN M, FENG H Y, XU L, LIU D F, YAO B J, FU X Q, GAO L. Preliminary report on the vitality of lotus pollen[J]. South China Fruits, 2022, 51(5): 59-66. (in Chinese)
- [15] ISHIHATA K, 罗丽娟. 西番莲花粉粒萌发和花粉管生长的研究[J]. 热带作物译丛, 1993(1): 40-42, 47.
- ISHIHATA K, LUO L J. Study on the germination of pollen grains and pollen tube growth of *Passiflora*[J]. Tropical Crop Translation Series, 1993(1): 40-42, 47. (in Chinese)
- [16] 蒙芳, 廖美兰, 王华新, 林茂, 唐庆, 李进华, 秦波. 大花紫薇扦插生根影响因素分析[J]. 广西林业科学, 2019, 48(4): 518-521.
- MENG F, LIAO M L, WANG H X, LIN M, TANG Q, LI J H, QIN B. Analysis of factors affecting rooting of cutting in *Lagerstroemia speciosa*[J]. Guangxi Forestry Science, 2019, 48(4): 518-521. (in Chinese)
- [17] 许鸿源, 钟文勇, 陈建丽, 郭华灵, 邓惠文, 黄仲春. 几种因素对大花紫薇种子萌发的影响[J]. 种子, 2005(9): 57-58, 61.
- XU H Y, ZHONG W Y, CHEN J L, GUO H L, DENG H W, HUANG Z C. The effects of several factors on the germination of *Lagerstroemia speciosa* seeds[J]. Seed, 2005(9): 57-58, 61. (in Chinese)
- [18] 刘婷婷. 大花紫薇新品种‘紫婵’组培快繁技术研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2021.
- LIU T T. Study on tissue culture and rapid propagation technology of new variety ‘zichan’ of *Lagerstroemia indica*[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2021. (in Chinese)
- [19] 吴际洋, 焦焱, 叶远俊, 鞠易倩, 刘婷婷, 梁晓涵, 程堂仁, 王佳, 张启翔, 潘会堂. 大花紫薇与紫薇杂交F1群体表型评价及分子标记连锁分析[J]. 园艺学报, 2018, 45(11): 2153-2163.
- WU J Y, JIAO Y, YE Y J, JU Y Q, LIU T T, LIANG X H, CHENG T R, WANG J, ZHANG Q X, PAN H T. Phenotypic evaluation and molecular marker linkage analysis of the F1 hybrid population between *Lagerstroemia speciosa* and *Lagerstroemia indica*[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2018, 45(11): 2153-2163. (in Chinese)
- [20] 袁汕, 林嘉蓓, 张恒, 奚如春. 大花紫薇及其新品种紫婵光合特性比较[J]. 热带作物学报, 2023, 44(4): 757-765.
- YUAN S, LIN J B, ZHANG H, XI R C. Comparative study on the photosynthetic characteristics of *Lagerstroemia speciosa* and its new variety ‘zichan’[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2023, 44(4): 757-765. (in Chinese)
- [21] 周袁慧子, 王艺锦, 潘会彪, 王凌晖, 滕维超, 周维. 大花紫薇幼苗光合、荧光特性对光照的响应[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(24): 6488-6492, 6497.
- ZHOUYUAN H Z, WANG Y J, PAN H B, WANG L H, TENG W C, ZHOU W. Response of photosynthetic and fluorescence characteristics of *Lagerstroemia speciosa* seedling to different light conditions[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2016, 55(24): 6488-6492, 6497. (in Chinese)
- [22] 梁建, 张宝津, 刘世晗, 孙旭高, 方姝懿, 邓小梅. 大花紫薇 EMS 诱变育种研究初探[J]. 华南农业大学学报, 2025, 46(2): 203-211.
- LIANG J, ZHANG B J, LIU S H, SUN X G, FANG S Y, DENG X M. Preliminary study on mutagenesis breeding of *Lagerstroemia speciosa* EMS[J]. Journal of South China Agricultural University, 2025, 46(2): 203-211. (in Chinese)
- [23] 袁娟. 大花紫薇生殖生物学研究[D]. 南宁: 广西大学, 2017.
- YUAN J. Study on the reproductive biology of *Lagerstroemia indica*[D]. Nanning: Guangxi University, 2017. (in Chinese)
- [24] 顾翠花, 王守先, 王敏. 5个紫薇品种花粉萌发的荧光显微观察[J]. 福建林业科技, 2011, 38(3): 92-95.
- GU C H, WANG S X, WANG M. Fluorescence microscopic observation of pollen germination in five varieties of *Lagerstroemia indica*[J]. Fujian Forestry Science and Technology, 2011, 38(3): 92-95. (in Chinese)
- [25] 焦雪辉, 岳长平, 史喜兵, 申潇潇, 乔雨轩. 11个紫薇品种花粉活力及柱头可授性日变化规律[J]. 分子植物育种, 2022, 20(23): 7894-7901.
- JIAO X H, YUE C P, SHI X B, SHEN X X, QIAO Y X. Diurnal variation patterns of pollen viability and stigma receptivity in 11 *Lagerstroemia indica*[J]. Molecular Plant Breed-

- ing, 2022, 20(23): 7894-7901. (in Chinese)
- [26] 王瑞文, 杨彦伶, 王瑞静, 沈宝仙. 紫薇花粉生活力变化及柱头可授性的研究[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(11): 2829-2832.
- WANG R W, YANG Y L, WANG R J, SHEN B X. Study on the viability changes of *Lagerstroemia indica* pollen and stigma receptivity[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2010, 49(11): 2829-2832. (in Chinese)
- [27] DAFNI A, MAUES M M. A rapid and simple procedure to determinestigma receptivity[J]. Sexual Plant Reproduction, 1998, 11: 177-180.
- [28] KHO Y O, BAE R J. Observing pollen tubes by meansf fluorescence[J]. Euphytica, 1968, 17(2): 298-302.
- [29] 李雪露. ‘紫韵’紫薇和川黔紫薇杂交不亲和分子机制的初步探究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2024.
- LI X L. Preliminary exploration of the molecular mechanism of incompatibility in the crossbreeding between ‘Ziyun’ *Lagerstroemia indica* and Chuanqian *Lagerstroemia indica*[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2024. (in Chinese)
- [30] 王梦瑶, 顾翠花. 紫薇品种间杂交亲和性分析[J]. 分子植物育种, 2022, 20(7): 2366-2371.
- WANG M Y, GU C H. Analysis of hybrid compatibility among *Lagerstroemia indica*[J]. Molecular Plant Breeding, 2022, 20(7): 2366-2371. (in Chinese)
- [31] 刘婷婷. 紫薇属与黄薇属属间杂交亲和性研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2020.
- LIU T T. Study on the intergeneric hybridization compatibility between *Lagerstroemia* and *Cliftonia*[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2020. (in Chinese)
- [32] 王甜. 紫薇和川黔紫薇远缘杂交亲和性及种子萌发特性研究[D]. 北京: 中国林业科技大学, 2022.
- WANG T. Study on the compatibility and seed germination characteristics of distant hybridization between *Lagerstroemia indica* and *Lagerstroemia intermedia*[D]. Beijing: Central South University of Forestry and Technology, 2022. (in Chinese)
- [33] 郑绍宇, 申星, 顾翠花. 屋久岛紫薇柱头可授性及花粉活力研究[C]. 成都: 2017 年中国观赏园艺学术研讨会, 2017.
- ZHANG S Y, SHEN X, GU C H. Study on the stigma receptivity and pollen viability of *Camellia japonica* from Yakushima Island[C]. Chengdu: 2017 China Academic Symposium on Ornamental Horticulture, 2017. (in Chinese)
- [34] 翟学杰. 榛子花粉贮藏和亲和性研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2009.
- ZHAI X J. Study on storage and affinity of hazelnut pollen[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2009. (in Chinese)
- [35] 白梦, 李博, 陈简村, 夏婷, 蒋宇璇, 罗乐, 张启翔, 张毓. 报春苣苔属植物杂交亲和性分析及杂交障碍[J]. 中南林业科技大学学报, 2024, 44(1): 89-96.
- BAI M, LI B, CHEN J C, XIA T, JIANG Y X, LUO L, ZHANG Q X, ZHANG Y. Analysis of hybrid compatibility and hybridization barriers in *Primulina* species[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2024, 44(1): 89-96. (in Chinese)
- [36] 申欣可, 范挺秀, 陈晓蔚, 范丙友. 油用牡丹‘凤丹’花粉萌发率、柱头可授性及结实性研究[J]. 河南教育学院学报(自然科学版), 2023, 32(2): 38-41.
- SHEN X K, FAN T X, CHEN X W, FAN B Y. Study on pollen germination rate, stigma receptivity, and fruit set of oil peony ‘Fengdan’[J]. Journal of Henan Institute of Education (Natural Science Edition), 2023, 32(2): 38-41. (in Chinese)
- [37] 王四清, 陈俊愉. 菊花和几种其他菊科植物花粉的试管萌发[J]. 北京林业大学学报, 1993(4): 56-60.
- WANG S Q, CHEN J Y. Pollen tube germination *in vitro* of Chrysanthemum and several other Compositae plants[J]. Journal of Beijing Forestry University, 1993(4): 56-60. (in Chinese)
- [38] DENG Y, TENG N, CHEN S, CHEN F, GUAN Z, SONG A, CHANG Q. Reproductive barriers in the intergeneric hybridization between *Chrysanthemum grandiflorum* (Ramat.) Kitam. and *Ajania przewalskii* Poljak. (Asteraceae)[J]. Euphytica, 2010, 174(1): 41-50.
- [39] 胡适宜. 植物的受精作用 第四讲 受精的障碍: 不亲和性[J]. 植物学通报, 1984(增刊 1): 93-99.
- HU S Y. The fertilization of plants fourth lecture barriers to fertilization: incompatibility[J]. Plant Bulletin, 1984 (Suppl. 1): 93-99. (in Chinese)