

重瓣水梔败育生理生化特征分析

王玮 欧阳博 毕文艺 赫雯琳 黄楷雯 李曜星 曾艳玲*

(中南林业科技大学 a. 经济林培育与保护教育部重点实验室; b. 经济林育种与栽培国家林业局重点实验室, 湖南长沙 410004)

摘要:【目的】为明确重瓣水梔败育现象, 以此为基础研究重瓣水梔雌雄器官的生理生化特征, 揭示重瓣水梔败育的生理原因, 为培育梔子新品种提供科学依据和技术支撑。【方法】以单瓣山梔和重瓣水梔为研究对象, 采集不同时期的新鲜单瓣山梔花苞以及重瓣水梔花苞, 取其花粉以作授粉备用。采用常规授粉方式为单瓣山梔和重瓣水梔自交和杂交授粉。每组合授粉 50 朵, 重复 3 次, 分别于授粉 15 天和 1 个月后统计坐果率。通过单瓣山梔和重瓣水梔自交和杂交结实情况明确重瓣水梔败育的基础上, 分别利用蒽酮-硫酸法、Bradford 法(考马斯亮蓝法)、MTT 染色法以及离体培养法(0.8%琼脂+30mg/L 蔗糖+15mg/L 硼酸)研究不同发育时期花柱可溶性糖和可溶性蛋白含量、柱头可授性以及花粉活力。【结果】当重瓣水梔作为母本时, 授粉 30 天后坐果率为 0%, 当单瓣山梔作为母本时, 授粉 30 天后坐果率达到了 50%以上。以重瓣水梔为父本, 授粉 15 天左右有 26%的果实膨大现象; 通过标准曲线的拟合, 得到重瓣水梔不同时期柱头可溶性糖含量平均值分别为 471.6 ug/mL、489.8 ug/mL、643.4 ug/mL、829.2 ug/mL, 单瓣山梔不同时期柱头可溶性糖含量平均值为 463.3 ug/mL、616.8 ug/mL、834.4 ug/mL、1177.2 ug/mL, 结果显示重瓣水梔柱头可溶性糖含量显著低于单瓣山梔 ($p<0.05$); 通过标准曲线的拟合, 得到重瓣水梔不同时期柱头可溶性蛋白含量平均值分别为 0.18 ug/mL、0.30 ug/mL、0.42 ug/mL、0.35 ug/mL, 单瓣山梔不同时期柱头可溶性蛋白含量平均值分别为 0.45 ug/mL、0.41 ug/mL、0.51 ug/mL、1.05 ug/mL, 结果显示重瓣水梔柱头可溶性蛋白含量极显著低于单瓣山梔 ($p<0.01$); 利用体式显微镜观察经 MTT 染色的柱头, 结果显示单瓣山梔和重瓣水梔不同时期柱头膨大差异不大且柱头可授性差异不明显; 花粉活力的显微观察结果显示, 随着花朵发育周期的变化, 花粉萌发率呈上升趋势。花冠呈淡黄绿色的重瓣水梔花粉萌发率显著高于同时期的单瓣山梔, 但重瓣水梔花粉量显著少于单瓣山梔。【结论】重瓣水梔柱头可溶性糖和可溶性蛋白显著低于单瓣山梔, 因此导致重瓣水梔柱头营养物质的缺乏, 影响花粉管的萌发, 进而阻遏受精作用。同时初步推断花粉活力低下并不是重瓣水梔败育的主要诱因, 但重瓣水梔柱头营养物质缺乏和花粉量极少可能是自然条件下重瓣水梔结实率低的原因之一。

关键词: 梔子; 败育; 柱头营养物质; 柱头可授性; 花粉活力

Analysis on Physiological and Biochemical Characteristics of Abortion of *Gardenia jasminoides* Ellis var. *grandiflora* Nakai

WANG Wei OU Yangbo BI Wenyi HE Wenlin HUANG Kaiwen LI Yaoxing ZENG Yanling

基金项目: 湖南省企业科技特派员计划(2021GK5006)。

*曾艳玲为通讯作者。

(Central South University of Forestry and Technology a. Key Laboratory of Cultivation and Protection for Non-Wood Forest Trees, Ministry of Education; b. Key Laboratory of Non-Wood Forest Products of State Forestry and Grassland Administration, Changsha 410004, China)

Abstract: 【Objective】 In order to clarify the abortion phenomenon of *Gardenia jasminoides* Ellis var. *grandiflora* Nakai, the physiological and biochemical characteristics of male and female organs of *Gardenia jasminoides* Ellis var. *grandiflora* Nakai were studied, and the physiological causes of abortion were revealed, so as to provide scientific basis and technical support for cultivating new varieties of *Gardenia jasminoides* Ellis var. *grandiflora* Nakai. **【Method】** Taking *Gardenia jasminoides* Ellis and *Gardenia jasminoides* Ellis var. *grandiflora* Nakai as research objects, fresh *Gardenia jasminoides* Ellis flower buds and *Gardenia jasminoides* Ellis var. *grandiflora* Nakai flower buds in different periods were collected, and their pollen was taken for pollination. Conventional pollination methods are self-pollination and cross-pollination of *Gardenia jasminoides* Ellis and *Gardenia jasminoides* Ellis var. *grandiflora* Nakai. Each combination pollinates 50 flowers, which is repeated for 3 times, and the fruit setting rate is counted after pollination for 15 days and 1 month respectively. Based on the self-pollination and cross-fertilization of *Gardenia jasminoides* Ellis and *Gardenia jasminoides* Ellis var. *grandiflora* Nakai, the contents of soluble sugar and protein, stigma receptivity and pollen viability in different developmental stages were studied by anthrone-sulfuric acid method, Bradford method (Coomassie brilliant blue method), MTT staining method and in vitro culture method (0.8% agar +30mg/L sucrose +15mg/L boric acid).

【Result】 The fruit setting rate was 0% after 30 days of pollination when *Gardenia jasminoides* Ellis var. *grandiflora* Nakai was used as female parent, and it was over 50% after 30 days of pollination when *Gardenia jasminoides* Ellis var. *grandiflora* Nakai was used as female parent. After pollination for about 15 days, 26% of the fruits were swollen. By fitting the standard curve, the average soluble sugar content in the stigma of *Gardenia jasminoides* Ellis var. *grandiflora* Nakai in different periods was 471.6 ug/mL, 489.8 ug/mL, 643.4 ug/mL and 829.2 ug/mL, respectively, and the average soluble sugar content in the stigma of *Gardenia jasminoides* Ellis in different periods was 463.3 ug/mL, 616.8 ug/mL, 834.4 ug/mL, respectively. By fitting the standard curve, the average content of soluble protein in the stigma of *Gardenia jasminoides* Ellis var. *grandiflora* Nakai in different periods is 0.18 ug/mL, 0.30 ug/mL, 0.42 ug/mL and 0.35 ug/mL, and that of *Gardenia jasminoides* Ellis in different periods is 0.45 ug/mL, 0.41 ug/mL, 0.51 ug/mL and 1.05 ug, respectively. The stigma stained by MTT was observed by stereomicroscope. The results showed that there was no significant difference in stigma enlargement and stigma receptivity between *Gardenia jasminoides* Ellis and *Gardenia jasminoides* Ellis var. *grandiflora* Nakai in different periods. The microscopic observation of pollen viability showed that the pollen germination rate showed an upward trend with the change of flower development cycle. The pollen germination rate of *Gardenia jasminoides* Ellis var. *grandiflora* Nakai with greenish-yellow corolla was significantly higher than that of *Gardenia jasminoides* Ellis in the same period, but the pollen quantity of *Gardenia jasminoides* Ellis var. *grandiflora* Nakai was significantly lower than that of *Gardenia jasminoides* Ellis. **【Conclusion】** The soluble sugar and soluble protein in the stigma of *Gardenia jasminoides* Ellis var. *grandiflora* Nakai are significantly lower than those of *Gardenia jasminoides* Ellis, which leads to the lack of nutrients in the stigma of *Gardenia jasminoides* Ellis var. *grandiflora* Nakai, affects the germination of pollen tubes, and further inhibits fertilization. At the same time, it is preliminarily concluded that the low pollen activity is not the main cause of abortion of *Gardenia jasminoides* Ellis var. *grandiflora* Nakai, but the lack of stigma nutrients and very little pollen may be one of the reasons for the low seed setting rate of *Gardenia jasminoides* Ellis var. *grandiflora* Nakai under natural conditions.

Keywords: *Gardenia jasminoides*; abortion; stigma nutrients; stigma receptivity; pollen vigor

梔子 (*Gardenia jasminoides*) 为茜草科 (Rubiaceae) 梔子属 (*Gardenia*) 常绿灌木植物, 通常结实的梔子又名山梔、黄梔子、黄枝子, 花瓣通常为单瓣花, 山梔果性寒、味苦, 具泻火除烦、清热利湿、凉血

解毒之功效（刘晓棠等，2008）。重瓣栀子属于水栀子，大多数果实败育，通常用作天然染色剂（李兆星等，2017）。栀子中含有 40 余种生理活性物质，其中为国内外所公认的中药栀子有效成分为环烯醚萜类物质，包括栀子苷、京尼平苷、羟异栀子苷、栀子苷酸等（杜少平等，2020）。栀子苷的药理作用广泛，具有保肝利胆、保护胰腺组织、抗炎镇痛、抗肺损伤、抗哮喘、降尿酸、降血糖、降血脂、抗老年痴呆、抗肝纤维化、抑制甲型 H1N1 流感病毒及脑缺血保护作用（袁源见等，2019）。

现代药理研究表明，单瓣山栀和重瓣水栀两者化学成分相似，均以环烯醚萜类和西红花苷类为主，其中，单瓣山栀中栀子苷含量高于重瓣水栀，重瓣水栀中京尼平苷及西红花苷-I 的含量均远高于单瓣山栀。单瓣山栀和重瓣水栀均能解热，重瓣水栀无保肝利胆作用，但染色功能显著（张赛行等，2023）。水栀子结实率较低，尤其是重瓣水栀几乎不结实，以至栀子色素供不应求，同时也局限了通过杂交育种种子选育优良品种的途径。提高杂交成功率最关键的步骤是先查明杂交败育的原因。王晓云等研究发现重瓣水栀可产生极少量的四合花粉，大部分是形态较小、畸形的单粒花粉或复合花粉，活力低下，柱头畸形且可授性低（王晓云等，2017）。戈群妹等研究结果则表明重瓣水栀所具有的 2 种分泌结构均为非蜜腺结构，这会减少昆虫或幼小动物的访问，从而减少传粉量（戈群妹等，2012）。本研究拟以不结果的重瓣水栀和结果的单瓣山栀为试材，在通过自交和杂交结实情况明确重瓣水栀败育的基础上，研究不同发育时期花柱可溶性糖和可溶性蛋白含量、柱头可授性、花粉活力，综合分析重瓣水栀败育的原因，为提高杂交效率，培育品质优良的新品种提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为湖南省长沙市宁乡市喻家坳乡腾辉中药材有限公司栀子培育基地（28.2552° N, 112.3153° E）的单瓣山栀和湖南省长沙市中南林业科技大学（28.1328° N, 112.9836° E）校园内的重瓣水栀。

将当天采摘的新鲜单瓣山栀和重瓣水栀分为 a-d 四个时期（图 1），a 时期萼片包裹花蕾，花药微微裂开散出少量花粉；b 时期冠管初步伸长，花冠呈绿色；c 时期冠管进一步伸长，花冠呈淡黄绿色，花药裂开程度加大，能够观察到有少量花粉附着在柱头上；d 时期花冠呈黄色，能够观察到花粉大量附着在柱头上，从 a 时期到 d 时期约需 15 天。各授粉亲本的花粉于盛花期采集并放置于 -20℃ 冰箱贮藏备用（叶佳伟等，2024）。



图1 不同发育时期栀子花朵

Fig. 1 *Gardenia jasminoides* at different developmental stages

a: 萼片包裹花蕾; b: 冠管初步伸长, 花冠呈绿色; c: 冠管进一步伸长, 花冠呈淡黄绿色; d: 花冠呈黄色。

a: sepals wrap flower buds; b: the crown tube is initially elongated and the corolla is green; c: the crown tube is further elongated and the corolla is yellowish green; d: the corolla is yellow.

1.2 试验方法

1.2.1 重瓣水栀和单瓣山栀自异交

将新鲜重瓣水栀花苞与新鲜不同时期单瓣山栀花苞剥去花瓣，留下花丝与柱头，花丝放置于不同纸盒中于 25℃光照培养室烘干 12 小时，通过滤网筛去多余花丝，利用玻璃瓶收集花粉并置于 4℃冰箱保存。

选择萼片包裹花蕾的花苞进行授粉，授粉前需利用镊子轻挑除去未成熟栀子花的全部雄蕊。使用授粉棒从玻璃瓶中蘸取少量花粉，再用其轻轻摩擦雌蕊，使花粉均匀分布在雌蕊的柱头上，以可以看到黄色花粉均匀散开为宜。为完成授粉的花套上授粉袋，用扎带固定防止脱落，别上记号牌进行标记，重瓣水栀和单瓣山栀杂交及自交利用不同数字标记间隔一周之后取袋。每组合（表 1）授粉 50 朵，重复 3 次，分别于授粉 15 天和 1 个月后统计坐果率。

表 1 自交和杂交组合
Tab.1 Self- and cross-pollination combinations

组合编号 Combination number	授粉组合/♀×♂ Pollination combination
1 one	单瓣山栀×单瓣山栀 <i>Gardenia jasminoides</i> Ellis × <i>Gardenia jasminoides</i> Ellis
2 two	单瓣山栀×重瓣水栀 <i>Gardenia jasminoides</i> Ellis × <i>Gardenia jasminoides</i> Ellis var. <i>grandiflora</i> Nakai
3 three	重瓣水栀×重瓣水栀 <i>Gardenia jasminoides</i> Ellis var. <i>grandiflora</i> Nakai × <i>Gardenia jasminoides</i> Ellis var. <i>grandiflora</i> Nakai
4 four	重瓣水栀×单瓣山栀 <i>Gardenia jasminoides</i> Ellis var. <i>grandiflora</i> Nakai × <i>Gardenia jasminoides</i> Ellis

1.2.2 柱头可溶性糖含量检测

取标准糖溶液将其稀释成 0-500 μg/mL 系列梯度的不同浓度的溶液。采用分光光度计在 625 nm 波长下分别测其 OD 值，绘制标准曲线。同时取栀子柱头在 110℃烘箱烘 15 min，然后调至 70℃过夜。将烘干后的柱头磨碎，称取 50 mg 样品倒入 10 mL 刻度离心管内，加入 4 mL 80%酒精，置于 80℃水浴中不断搅拌 40 min，离心 5 min（4000 rpm），收集上清液，其残渣加 2 mL80%酒精重复提取 2 次，合并上清液。在上清液中加入 10 mg 活性炭，80℃脱色 30 min，定容至 10 mL，过滤后取滤液测定。

吸取上述酒精提取液 1 mL，加入 5 mL 蒽酮试剂混合，沸水浴煮 10 min，取出冷却，在 625 nm 处测 OD 值。从标准曲线上得到提取液中糖的含量（陈佳佳，2024）。

1.2.3 柱头可溶性蛋白含量测定

取 BSA 标准蛋白溶液将其稀释成 0-300 μg/mL 系列梯度的不同浓度的溶液，取 13 支离心管，将其编号为 0-12，各管分别加入 100 μL 相应浓度的 BSA 标准蛋白溶液，各管分别加入 1 mLBradford 试剂并迅速混匀，室温 25-30℃反应 10min 后，以 0 号管为空白对照，在分光光度计上测各管的 A595 值，然后绘制标准曲线。

取 0.5g 新鲜栀子柱头在研钵中充分磨碎后加入离心管中，加入 2 mL 0.02M 的磷酸缓冲液，室温静置 20-30min，再 8000 r/min 离心 15min，收集上清液即为水溶性蛋白。

吸取上述蛋白提取液 100μL，加入 1mLBradford 试剂并迅速混匀，室温 25-30℃反应 10min 后，在分光光度计上测各管的 A595 值，从标准曲线上得到提取液中蛋白的含量（焦洁，2016）。

1.2.4 柱头可授性检测

取 0.5 g MTT 溶于 10 mL 5%的蔗糖溶液中配置显色液，将栀子花柱头浸泡于显色液中，10 min 后纯水洗去浮色，用体式显微镜观察，颜色深浅代表柱头可授性强弱（肖运强等，2022）。

1.2.5 花粉萌发率测定

花粉活力测定方法为离体培养法：（利用小型透明培养基）将液体培养基（0.8%琼脂+30mg/L 蔗糖+15 mg/L 硼酸）滴到载玻片上（叶利民，2012），待培养基凝固后，用毛笔沾取少量花粉，轻弹毛笔使花粉均匀撒在培养基上，标注培养时间及花粉时期，在 25℃恒温培养箱中培养 6 小时，在显微镜下用低倍镜（10×10）观察花粉萌发情况（徐芬芬，2011），各培养基选择三个不同视野计算花粉萌发率，取其平均值即为该培养基的最终花粉萌发率。

1.2.6 数据分析

采用 Excel 2007 软件对数据进行处理并作图；采用软件 GraphPad Pism9.5 进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 重瓣水栀和单瓣山栀自异交结果情况

由表 2 可知当重瓣水栀作为母本时，授粉 30 天后坐果率为 0%，当单瓣山栀作为母本时，授粉 30 天后坐果率在 50%以上。♀单瓣山栀×♂重瓣水栀在授粉 15 天左右有 26%的果实膨大现象，说明该授粉组合早期是存在果实发育的，但是随后发育受阻而导致最后的败育。

表 2 重瓣水栀和单瓣山栀自异交结果情况
Tab. 2 Self- and cross-pollination results of *Gardenia jasminoides* Ellis var. *grandiflora* Nakai and *Gardenia jasminoides* Ellis

授粉组合/♀×♂ Pollination comb ination	授粉数/ 个 Pollinati on number	授粉 15 天后结果数/ 个 Fruit number after 1 5 days of pollination	坐果率 /% Fruit s etting rate	授粉 30 天后结果数/ 个 Fruit number after 3 0 days of pollination	座果率 /% Fruit s etting rate
单瓣山栀×单瓣山栀	50	36	72%	30	60%
单瓣山栀×重瓣水栀	50	33	66%	25	50%
重瓣水栀×重瓣水栀	50	0	0%	0	0%
重瓣水栀×单瓣山栀	50	13	26%	0	0%

2.2 柱头可溶性糖和蛋白含量差异比较

通过标准曲线的拟合，得到重瓣水栀不同时期柱头可溶性糖含量平均值分别为 471.6 ug/mL、489.8 ug/mL、643.4 ug/mL、829.2 ug/mL，单瓣山栀不同时期柱头可溶性糖含量平均值分别为 463.3 ug/mL、616.8 ug/mL、834.4 ug/mL、1177.2 ug/mL，结果显示重瓣水栀柱头可溶性糖含量显著低于单瓣山栀（p<0.05）(图 1 A)。通过标准曲线的拟合，得到重瓣水栀不同时期柱头可溶性蛋白含量平均值分别为 0.18 ug/mL、0.30 ug/mL、0.42 ug/mL、0.35 ug/mL，单瓣山栀不同时期柱头可溶性蛋白含量平均值分别为 0.45 ug/mL、0.41 ug/mL、0.51 ug/mL、1.05 ug/mL，结果显示重瓣水栀柱头可溶性蛋白含量极显著低于单瓣山栀（p<0.01）(图 1 B)。

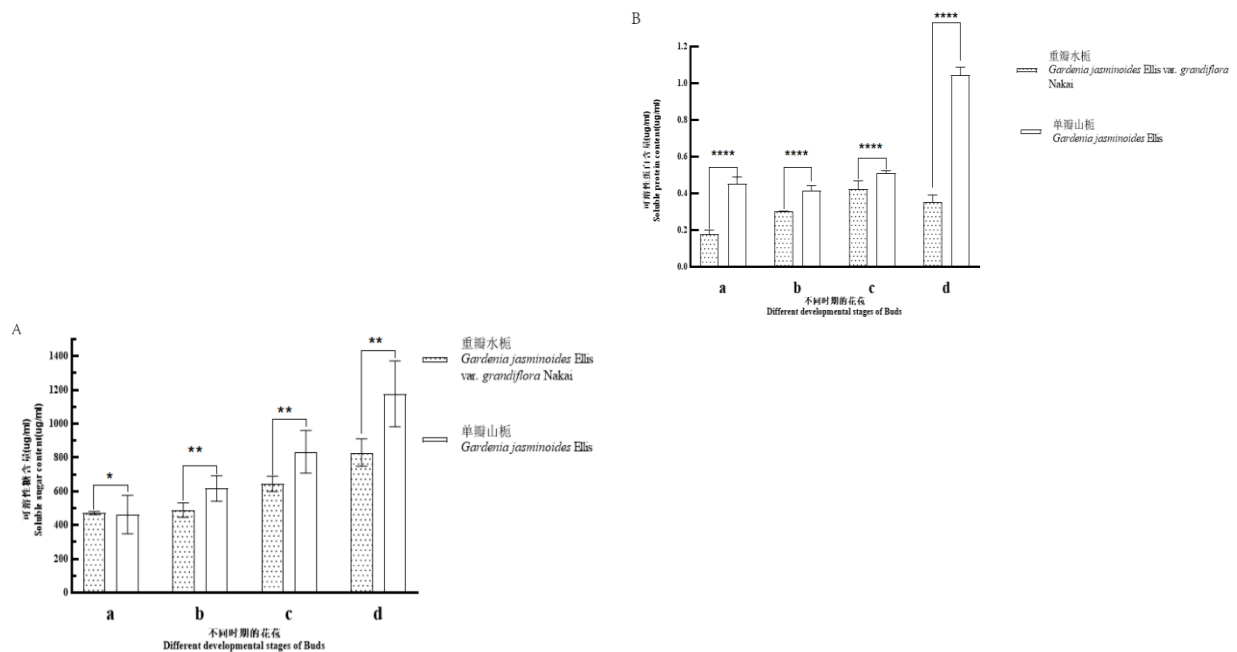


图 1 A 柱头可溶性糖含量

图 1 B 柱头可溶性蛋白含量

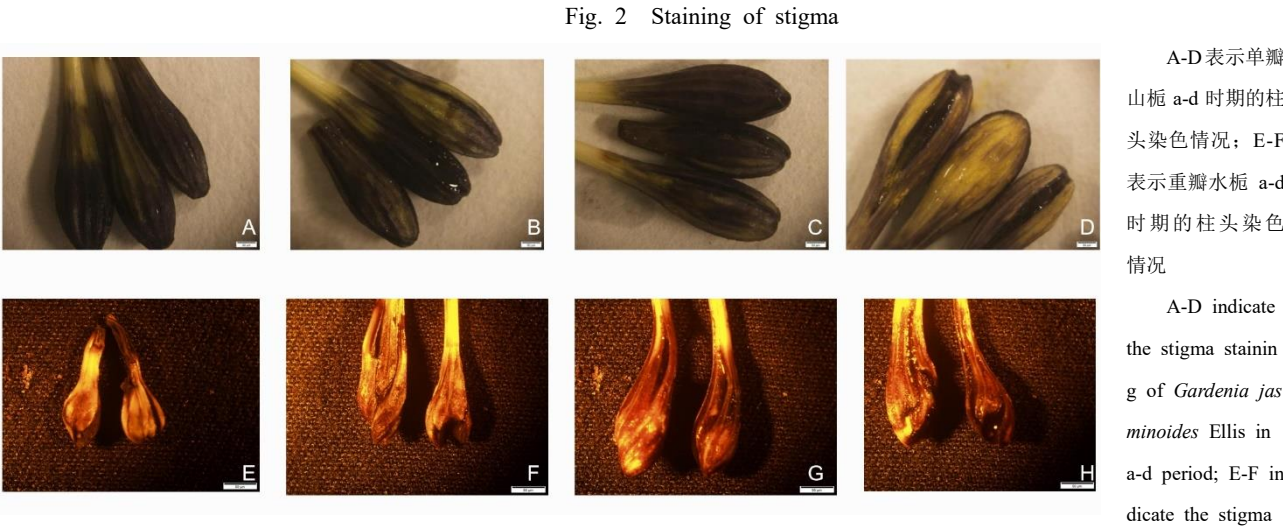
Fig. 1 A Content of soluble sugar in stigma

Fig. 1 B Content of soluble protein in stigma

2.3 柱头可授性的差异分析

柱头可授性对生殖成功与否有直接影响（宋一岚等，2020），通过柱头的体式显微镜观察发现（图 2），单瓣山梔 a-c 时期柱头膨大不明显，无花粉粘连，染色较深，d 时期柱头明显膨大并伴有花粉粘连情况，柱头可授性差异不明显。重瓣水梔 a-d 时期柱头无明显膨大，染色无明显差异，柱头可授性差异不大。

图 2 柱头染色情况



staining of *Gardenia Jasminoides* Ellis var. *grandiflora* Nakai in a-d period

2.4 花粉萌发率的比较分析

花粉的显微观察发现（图 3），随着花朵发育周期的变化，花粉萌发率呈上升趋势，c 时期的重瓣水梔花粉萌发率显著高于同时期的单瓣山梔，但重瓣水梔花粉量显著少于单瓣山梔。

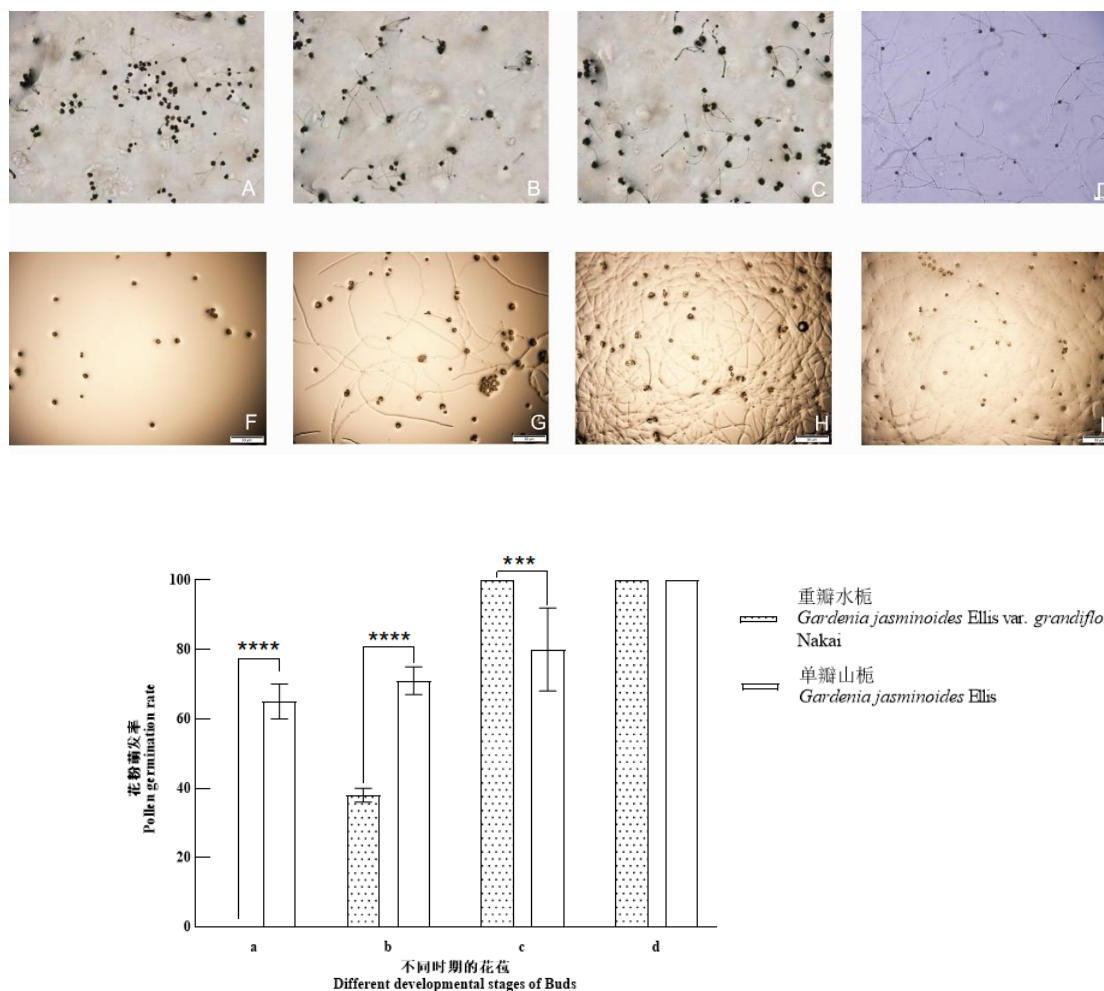


图 3 不同时期花苞花粉活力

Fig. 3 pollen vitality of flower buds at different stages

A-D 表示单瓣山梔 a-d 时期的花粉萌发率；E-F 表示重瓣水梔 a-d 时期的花粉萌发率

A-D indicate the pollen germination rate of *Gardenia Jasminoides* Ellis in a-d period; E-F indicate the pollen germination rate of *Gardenia Ja sminoides* Ellis var. *grandiflora* Nakai in a-d period

3 结论和讨论

花粉及柱头是参与有性生殖过程的重要元件（蔡昭艳等，2023），可溶性蛋白和可溶性糖既是渗透调节物质又是柱头识别物质的主要成分，在植物授粉过程中有着重要作用（张翔宇等，2022）。花粉活力的高低是植物授粉成败的关键，柱头可授性的强弱对座果率同样具有重要影响（申欣可等，2023）。花粉活力及柱头可授性的强弱与物种及品种紧密相关，同一品种不同发育阶段也有所差异（邵凤侠等，2019）。本研究自异交实验结果表明，单瓣山梔作为母本时，自异交座果率均在 50%以上，但重瓣水梔作为母本时，虽然采用单瓣山梔花粉授粉早期有 26%有果实膨大显现，但是最终座果率仍为 0%，经过初步推断，这一结果可能是由花粉萌发、柱头可授性及发育所需物质差异等原因导致的。基于此进一步研究结果表明，随着花朵发育，单瓣山梔花粉萌发率呈上升趋势，可授期的单瓣山梔花粉萌发率能达到 100%，且与可授期单瓣山梔花形态一致的重瓣水梔花粉萌发率也能达到 100%，这与王晓云等的研究结果并不一致（王晓云等，2017），据此可以初步推断花粉活力低下并不是重瓣水梔败育的主要诱因，但重瓣水梔花粉量极少可能是自然条件下重瓣水梔结实率低的原因之一。

柱头是识别花粉及花粉发生水合、萌发的场所,对座果产生重要的影响,甚至是制约座果的重要因素(Silvia等,2019)。研究发现柱头可授性差可严重影响座果率,譬如刘天凤等关于核桃开花动态及柱头可授性的研究表明(刘天凤等,2021),必须有具活力的花粉传到具可授性的柱头上才能完成授精,发育成果实。通过MTT染色法对重瓣水栀与单瓣山栀柱头可授性进行检测发现,两者均具有较高的柱头可授性,且无明显差异,说明柱头可授性也并不是影响重瓣水栀座果率的原因。除柱头可授性以外,柱头分泌物的刺激对花粉管的萌发也具有不可替代的作用。可溶性糖中的蔗糖是植物有机物运输、贮藏及积累的主要形式(黄淑燕等,2023),在植物受精过程中,可为花粉管萌发提供能源,同时,花粉黏附在柱头上需要花粉包被蛋白与柱头受体间的相互作用,柱头分泌的脂质也可以调节水分向花粉粒聚集并帮助花粉吸水萌发,而且萌发出的花粉管穿透柱头表面需要进行大量的雌雄间相互作用,并涉及细胞壁修饰、蛋白分泌和蛋白质信号传导等过程(陈雅林等,2018)。本研究结果表明,重瓣水栀柱头可溶性糖和可溶性蛋白显著低于单瓣山栀,因此导致重瓣水栀柱头营养物质的缺乏,影响花粉管的萌发,进而阻遏受精作用。

综上所述,自异交实验明确了重瓣水栀败育情况,通过对不同发育时期花柱可溶性糖和可溶性蛋白含量、柱头可授性以及花粉活力的研究,揭示了重瓣水栀败育的原因。后续研究可以进一步在柱头营养物质含量方面探究重瓣水栀败育的机理,为解决重瓣栀子败育难题,助力杂交育种培育新种质提供科学依据。

参 考 文 献

- 刘晓棠,赵伯涛,张玖,等. 2008.栀子的综合开发与利用. 中国野生植物资源, (01): 19-23.
(Liu X T, Zhao B T, Zhang J, et al. 2008. Comprehensive Development and Utilization of *Gardenia jasminoides*. Wild Plant Resources in China, (01): 19-23. [in Chinese])
- 李兆星,申洁,毕武,等. 2017.中国栀子属植物资源及利用研究进展. 中药材, 40(02): 498-503.
(Li Z X, Jie S, Bi W, et al. 2017. Research Progress of *Gardenia* Resources and Utilization in China. Chinese Herbal Medicine, 40(02): 498-503. [in Chinese])
- 杜少严,王意浓,康皓博,等. 2020.栀子的药用与保健价值及其应用研究进展. 中国食物与营养, 26(8): 60-63.
(Du S Y, Wang Y N, Kang H B, et al. 2020. Research progress on medicinal and health value and application of *Gardenia jasminoides*. Chinese Food and Nutrition, 26(8): 60-63. [in Chinese])
- 袁源见,王小青,陈超,等. 2019.栀子苷的药理作用研究新进展. 中兽医医药杂志, 38(06): 20-23.
(Yuan Y J, Wang X Q, Chen C, et al. 2019. New progress in pharmacological research of geniposide. journal of traditional chinese veterinary medicine, 38(06): 20-23. [in Chinese])
- 张赛行,魏湛林,马玲. 2023.高等植物有性生殖中的雌雄细胞识别机制研究进展. 园艺学报, 50(09): 1813-1829.
(Zhang S X, Wei Z L, Ma L. 2023. Research progress on the recognition mechanism of male and female cells in sexual reproduction of higher plants. Acta Horticultural Sciences, 50(09): 1813-1829. [in Chinese])
- 王晓云,徐旭,王鹏良. 2017.栀子开花生物学特性和人工去雄授粉研究. 种子, 36(12): 30-34.
(Wang X Y, Xu X, Wang P L. 2017. Study on flowering biological characteristics and artificial emasculation pollination of *Gardenia jasminoides*. Seeds, 36(12): 30-34. [in Chinese])
- 戈群妹,刘婉,郑兴峰. 2012.重瓣栀子花的分泌结构. 江苏农业科学, 40(08): 180-182.
(Ge Q M, Liu W, Zheng X F. 2012. Secretory structure of *Gardenia jasminoides* var. *fortuniana*. Jiangsu Agricultural Sciences, 40(08): 180-182. [in Chinese])
- 叶佳伟,高晓磊,周璇,等. 2024.攸县油茶远缘杂交亲和性的解剖学研究. 江西农业大学学报, 1-17.
(Ye J W, Gao X L, Zhou X, et al. 2024. Anatomical study on distant hybridization compatibility of *Camellia oleifera* in Youxian. Journal of Jiangxi Agricultural University, 1-17. [in Chinese])
- 陈佳佳. 2024.木槿种子败育的胚胎学观察和生理生化研究. 中南林业科技大学.
(Chen J J. 2024. Embryological observation and physiological and biochemical study on seed abortion of *Hibiscus*. Central South University of Forestry and Technology. [in Chinese])

- 焦洁. 2016.考马斯亮蓝 G-250 染色法测定苜蓿中可溶性蛋白含量. 农业工程技术, 36(17): 33-34.
- (Jiao J. 2016. Determination of soluble protein content in alfalfa by Coomassie Brilliant Blue G-250 staining method. Agricultural Engineering Technology, 36(17): 33-34. [in Chinese])
- 肖运强, 刘俊霞, 张飞. 2022.两种葱属植物柱头可授性检测. 新疆农垦科技, 45(01): 61-65.
- (Xiao Y Q, Liu J X, Zhang F. 2022. Detection of stigma receptivity of two *Allium* species. Xinjiang Agricultural Reclamation Science and Technology, 45(01): 61-65. [in Chinese])
- 叶利民. 2012.PEG 和钙对梔子花粉萌发的影响.种子, 31(07): 35-36+39.
- (Ye L. 2012. Effects of PEG and calcium on the germination of *Gardenia jasminoides* powder. Seeds, 31(07): 35-36+39. [in Chinese])
- 徐芬芬, 张翠香, 叶璐. 2011.蔗糖和硼酸对梔子花粉萌发特性的影响. 上饶师范学院学报, 31(03): 79-81.
- (Xu F F, Zhang C X, Ye L. 2011. Effects of sucrose and boric acid on germination characteristics of *Gardenia jasminoides* powder. Journal of Shangrao Teachers College, 31(03): 79-81. [in Chinese])
- 宋一岚, 张英杰, 孙纪霞, 等. 2020.兜兰花粉活力及柱头可授性探究. 分子植物育种, 18(2): 561-565.
- (Song Y L, Zhang Y J, Sun J X, et al. 2020. Study on pollen viability and stigma receptivity of *Paphiopedilum*. Molecular Plant Breeding, 18(2):561-565.[in Chinese])
- 蔡昭艳, 董龙, 王萌青, 等. 2023.百香果花不同发育阶段花粉活力、柱头可授性及其对坐果的影响.果树学报, 40(05): 969-977.
- (Cai Z Y, Dong L, Wang H Q, et al. 2023. Pollen vitality, stigma receptivity and their effects on fruit setting in different developmental stages of *Passiflora edulis* Sims. journal of fruit science, 40(05): 969-977.[in Chinese])
- 张翔宇, 贾文庆, 何松林, 等. 2022.牡丹种间远缘杂交不亲和的细胞学与生理机制研究. 林业科学研究, 35(04): 63-71.
- (Zhang X Y, Jia W Q, He S L, et al. 2022. Cytological and physiological mechanism of interspecific cross incompatibility of *Paeonia suffruticosa*. Forestry Science Research, 35(04): 63-71.[in Chinese])
- 申欣可, 范挺秀, 陈晓蔚, 等. 2023.油用牡丹‘凤丹’花粉萌发率、柱头可授性及结实性研究. 河南教育学院学报(自然科学版), 32(02): 38-41.
- (Shen X K, Fan T X, Chen X W, et al. 2023. Study on Pollen Germination Rate, Stigma Acceptability and Seed Setting of Oil Peony' Fengdan'. Journal of Henan Education Institute (Natural Science Edition), 32(02): 38-41.[in Chinese])
- 邵凤侠, 王森, 陈建华, 等. 2019.‘中秋酥脆枣’柱头形态发育进程与可授性. 园艺学报, 46(12): 2309-2322.
- (Shao F FX, Wang S, Chen J H, et al. 2019. Development process and receptivity of stigma of 'Mid-Autumn Crispy Jujube'. Acta Horticultural, 46(12): 2309-2322.[in Chinese])
- Silvia C, Bassols C D M R, Cezar R F, et al. 2019.Stigmatic receptivity of peach flowers submitted to heat stress. Acta Scientiarum. Agronomy, 42e42450-e42450.
- 刘天凤, 李莹, 谢伟东, 等. 2021.引种泡核桃开花动态及花粉活力和柱头可授性分析. 分子植物育种, 19(08): 2758-2767.
- (Liu T F, Li Y, Xie W D, et al. 2021. Research on Floral Dynamics, Pollen Viability and Stigma Receptivity of Introduced *Juglans sigillata*. Molecular Plant Breeding, 19(08): 2758-2767.[in Chinese])
- 黄淑燕, 江龙. 2023.雷公藤组织培养外植体可溶性糖含量研究. 四川林业科技, 44(05): 119-123.
- (Huang S Y, Jiang L. 2023. Study on soluble sugar content of tissue culture explants of *Tripterygium wilfordii*. Sichuan Forestry Science and Technology, 44(05): 119-123.[in Chinese])
- 陈雅林, 彭勇. 2018.山梔子和水梔子的本草学研. 中药材, 41(03): 753-756.
- (Chen Y L, Peng Y. 2018. Research on Herbology of *Gardenia jasminoides* Ellis and *Gardenia jasminoides* Ellis var. *grandiflora* Nakai. Chinese Herbal Medicine, 41(03): 753-756.[in Chinese])