

网络出版时间:2021-08-27 18:02 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2022.03.011  
网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20210827.1445.010.html

6 个杂交杏李品种开花的生物学特性

刘亚心<sup>1</sup>,张嘉嘉<sup>1</sup>,杨绍彬<sup>1</sup>,唐 骏<sup>2</sup>,王迎迎<sup>3</sup>

(1 国家林业和草原局 泡桐研究开发中心,中国林业科学研究院 经济林研究开发中心 经济林种质创新与利用  
国家林业和草原局重点实验室,河南 郑州 450003;2 国有信阳市平桥区天目山林场,河南 信阳 4641002;  
3 国有济源市愚公林场,河南 济源 459000)

【摘 要】 【目的】系统了解杂交杏李(*Prunus domestica* × *armeniaca*)开花的生物学特性,为杏李育种改良及高效栽培提供理论支持。【方法】以杂交杏李 6 个主栽品种风味玫瑰、恐龙蛋、味帝、风味皇后、味王和味厚为试验材料,观测其开花物候期,并观测花冠直径、花瓣数、花瓣形状、花瓣颜色、花瓣纵横径、花药数、花丝长度、花柱长度、花萼颜色、有效花率及雌蕊退化率等花器官特征,同时利用光学显微镜测量花粉长度、宽度等指标,使用纤维素酶法测定花粉量,最后通过离体萌发法测定花粉活力及花粉萌发力。【结果】6 个杂交杏李品种的开花期主要在 3 月上旬至中旬,各品种间开花物候进程存在明显差异,变异系数为 0.20~0.51,以初花期变异系数最大,开花最早的风味玫瑰与最晚品种味厚时间相差 11 d。6 个品种的花瓣均为 5 瓣,呈白色椭圆形,花冠直径为 17.48~20.95 mm,单花花药数为 27.10~35.45 枚/蕾,花丝长度为 3.28~6.18 mm,花柱长度为 4.72~9.33 mm,花萼颜色多为绿色,花药颜色多为暗黄色。在花粉特征方面,风味玫瑰花粉粒长度显著大于其他品种,为 46.71 μm;味王的花粉粒宽度最大,为 26.97 μm,味帝的花粉粒长度和宽度均小于其他 5 个品种,分别为 27.13 和 13.34 μm。单花花药花粉量最大的品种是风味玫瑰,最小的品种是味帝。花粉活力最强的品种是恐龙蛋,最弱的品种是味帝,花粉管长度在 0.32~2.03 mm。【结论】不同品种杂交杏李开花的生物学特性存在明显差异,生产上建议选择开花物候期相似且花粉活力高的品种搭配种植,以提高坐果率和产量。

【关键词】 杂交杏李;开花物候期;花器官特征;花粉特性

【中图分类号】 S662.301 【文献标志码】 A 【文章编号】 1671-9387(2022)03-0084-07

Flowering biological characteristics of 6 *Prunus domestica* × *armeniaca* varieties

LIU Yaxin<sup>1</sup>, ZHANG Jiajia<sup>1</sup>, YANG Shaobin<sup>1</sup>, TANG Jun<sup>2</sup>, WANG Yingying<sup>3</sup>

(1 Key Laboratory of Non-timber Forest Germplasm Enhancement & Utilization of National Forestry and Grassland Administration, China Paulownia Research Center, State Forestry Administration, Non-Timber Forest Research and Development Center, Chinese Academy of Forestry, Zhengzhou, Henan 450003, China;  
2 State-owned Xinyang Pingqiao District Tianmu Mountain Forest Farm, Xinyang, Henan 4641002, China;  
3 State-owned Jiyuan City Yugong Forest Farm, Jiyuan, Henan 459000, China)

**Abstract:** 【Objective】 This study systematically investigated flowering biological characteristics of hybrid apricot varieties (*Prunus domestica* × *armeniaca*) to provide support for breeding improvement and efficient cultivation. 【Method】 The flowering phenology of 6 *P. domestica* × *armeniaca* varieties of Fengweimeigui, Konglongdan, Weidi, Fengweihuanghou, Weiwang and Weihou was observed. The floral organ characteristics including corolla diameter, petal number, petal shape, petal color, petal longitudinal and trans-

〔收稿日期〕 2021-04-30  
〔基金项目〕 国家重点研发计划项目(2019YFD1001201-2);河南省科技兴林项目(2020)  
〔作者简介〕 刘亚心(1996—),女,河南洛阳人,在读硕士,主要从事经济林栽培育种研究。E-mail:liuyaxin07@126.com  
〔通信作者〕 杨绍彬(1966—),男,四川崇州人,副研究员,主要从事经济林培育研究。E-mail:ysb1966327@aliyun.com

verse diameter, anther number, filament length, style length, calyx color, effective flower rate and pistil degeneration rate were counted. The length and width of pollen were measured by optical microscope. The pollen amount was determined by cellulase method. Finally, pollen viability and pollen germination capacity were determined by in vitro germination method. 【Result】 The flowering period of 6 *P. domestica* × *armeniaca* varieties was mainly from early March to mid-March. There were significant differences in the flowering phenological process among varieties with variation coefficients of 0.20–0.51. The initial flowering stage had the largest variation coefficient and the time difference between the earliest variety Fengweimeigui and the latest variety Weihou was 11 days. All 6 varieties had 5 petals in white oval shape with corolla diameter of 17.48–20.95 mm, single anther number of 27.10–35.45 /bud, filament length of 3.28–6.18 mm, and style length of 4.72–9.33 mm. Calyx color was green, and anther color was dark yellow. The length of pollen grains of Fengweimeigui (46.71 μm) was significantly longer than that of other varieties. The maximum width of pollen grains of Weiwang was 26.97 μm. The length and width of pollen grains of Weidi were 27.13 and 13.34 μm, smaller than those of other 5 varieties. The variety with the largest pollen amount per anther was Fengweimeigui, while the variety with the smallest pollen amount was Weidi. The cultivar with the strongest pollen viability was Konglongdan, and the cultivar with the weakest pollen viability was Weidi. The pollen tube length was 0.32–2.03 mm. 【Conclusion】 The flowering biological characteristics of different *P. domestica* × *armeniaca* varieties were significantly different. It is suggested that varieties with similar flowering phenology and high pollen vitality should be selected for planting to improve fruit setting rate and yield.

**Key words:** *P. domestica* × *armeniaca*; flowering phenophase; flower organ characteristics; pollen characteristics

杂交杏李(*Prunus domestica* × *armeniaca*)为李亚科核果类果树,是杏、李种间经多次杂交后培育出的新品种。中国林业科学研究院经济林研究开发中心引种示范后,筛选出风味玫瑰、恐龙蛋、味帝、味王、味厚和风味皇后等优良品种<sup>[1-5]</sup>。引种试验表明,杂交杏李适应性强,不仅具有较强的抗逆性,而且果实色泽艳丽、风味独特、营养价值丰富,有较高的食用价值和经济价值,具有良好的市场前景<sup>[6]</sup>。

开花物候期观测和花器官研究是开展资源筛选、授粉育种等工作的前提<sup>[7]</sup>。花粉是遗传信息的载体,其形态特征受核基因的控制,具有很强的遗传保守性,不易受外部自然环境条件的影响,而且花粉数量和花粉质量对育种极其重要,直接影响授粉的成功率和坐果率<sup>[8]</sup>。目前关于杂交杏李的花期、花粉量及花粉活力已有一些报道<sup>[9-11]</sup>,但是关于杂交杏李在黄河中下游流域的开花生物学特性尚缺乏全面系统的调查,致使在品种选择上存在一定的盲目性。因此,本研究以 6 个杂交杏李品种为试材,对其开花物候期、花器官特征、花粉形态、花粉量和花粉活力等开花生物学特性进行观察,旨在为生产中杂交杏李的品种选择、授粉树配置以及人工授粉提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于中国林业科学研究院经济林研究中心原阳试验基地(113°46.24′~113°47.59′E, 34°55.30′~34°56.45′N)。该地平均海拔约 78 m,属于暖温带大陆性季风气候,年均日照时数 1 930.5 h,年平均气温 14.8℃,极端最高气温 40.7℃,极端最低气温 8.9℃,年平均降水量 690.99 mm,土壤为沙质壤土(pH 5.3~5.6),肥力中等,灌溉条件良好。

### 1.2 试验材料

选择生长旺盛、树势健壮的 7 a 生杏李树品种作为试验材料,6 个品种分别为风味玫瑰(*P. domestica* × *armeniaca* ‘Fengweimeigui’)、恐龙蛋(*P. domestica* × *armeniaca* ‘Konglongdan’)、味帝(*P. domestica* × *armeniaca* ‘Weidi’)、味王(*P. domestica* × *armeniaca* ‘Weiwang’)、味厚(*P. domestica* × *armeniaca* ‘Weihou’)和风味皇后(*P. domestica* × *armeniaca* ‘Fengweihuanghou’)。

### 1.3 测定项目及方法

1.3.1 开花物候期 参照梁立峰<sup>[12]</sup>关于果树物候

期观察项目及标准,于 2021 年 3 月对 6 个杂交杏李品种的开花物候期进行观测。判定标准为:5%~25%的花朵开放为初花期,25%~75%的花朵开放为盛花期,75%以上的花朵已开放至全株开花结束为末花期。

1.3.2 花器官形态特征 于盛花期,每个品种随机选取 20 朵完全盛开的花朵,对供试品种的花器官形态特征进行调查。使用数显游标卡尺测量每朵花的花冠直径、花瓣纵横径、花丝长度和花柱长度。统计每朵花的花瓣数、雄蕊数,观察花药颜色及花瓣形状和颜色。

同时,每个品种随机选取 100 朵花,统计雌雄蕊相对长度,按雌蕊长于雄蕊、雌雄蕊等长、雌蕊短于雄蕊和雌蕊退化 4 类分类统计,其中前 2 类为有效花。按“有效花率=有效花数/总花数×100%”计算有效花率,并采用相同方法计算雌蕊退化率。

1.3.3 花粉收集和保存 采集各品种开花前 1 d 的大花蕾,剥下花药后平铺于光滑纸面上,于室内自然干燥散粉,待花粉完全散出后,收集花粉于 1.5 mL 离心管后密封,在干燥条件下贮存于-20℃冰箱,用于花粉形态和花粉活力测定。

1.3.4 花粉形态观察 参考洪亚平<sup>[13]</sup>的方法观察花粉形态,用香柏油浸染载玻片上少量均匀分散的花粉后盖上盖玻片,利用 OLYMPUS-BX51 光学显微镜观察花粉形态,每个品种各取 3 个不同视野,每个视野不少于 50 粒花粉。每个视野随机测量 10 个正常花粉的粒长和直径,以花粉粒粒长与花粉粒直径的比值(形态指数)判断花粉形状。

1.3.5 花粉量 随机选取各品种开花前 1 天的花蕾,用纤维素酶法<sup>[14]</sup>测定不同品种的单花药花粉量。取完整的花药 15 枚放入离心管中,待花药散粉后,加入 1 mL 体积分数 1%纤维素酶溶液处理 24 h

后,取 5 μL 溶液滴在载玻片上,利用 OLYMPUS-BX51 光学显微镜观察并统计花粉数量:花粉量(平均单个花药的花粉粒数)=(5 μL 溶液中总花粉粒×200)/15。

1.3.6 花粉活力 将收集好的花粉播于含 0.01%硼酸、10%蔗糖、1%琼脂(均为体积分数)的固体培养基<sup>[15]</sup>上,25℃暗培养 12 h 后,用 OLYMPUS-BX51 光学显微镜观察并统计花粉萌发率和花粉管长度。花粉萌发率以花粉管长度大于花粉粒直径视为萌发,每个品种观察 5 个视野,每个视野≥30 个花粉粒,同时测量 20 根花粉管长度,并计算萌发率:萌发率=(视野内萌发的花粉数/视野内的花粉总数)×100%。

1.4 数据统计与分析

首先对日期进行数字转化,设 2021-03-01 为 1,2021-03-02 为 2,2021-03-03 为 3,依次类推,2021-03-20 为 20,应用数理统计公式,计算变异系数(CV)<sup>[16]</sup>。采用 Excel 2010 绘制图表,利用 SPSS 26.0 进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 6 个杂交杏李品种的开花物候期

由表 1 可知,6 个杂交杏李品种开花日期均在 3 月中上旬,在试验地自然条件下,不同品种花期持续时间为 8~11 d,花期持续最长的品种为风味玫瑰,持续时间为 11 d。初花期和盛花期的极差较大,为 11 d,末花期的极差最小,为 9 d。最先进入盛花期的品种为风味玫瑰,在 3 月 3 日;最晚达到盛花期的品种为味厚,在 3 月 14 日。从变异系数来看,末花期变异系数最小,为 0.20,初花期变异系数最大,为 0.51,这表明在相同自然条件下,不同品种末花期出现的时间最为集中,而初花期的时间最为分散。

表 1 6 个杂交杏李品种开花物候期的观测

Table 1 Observation on flowering phenology of 6 *P. domestica*×*armeniaca* varieties

| 品种<br>Variety                 | 初花期(月-日)<br>Initial flowering | 盛花期(月-日)<br>Full flowering | 末花期(月-日)<br>Fading date | 花期持续时间/d<br>Flowering duration |
|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| 风味玫瑰 Fengweimeigui            | 03-01                         | 03-03                      | 03-11                   | 11                             |
| 风味皇后 Fengweihuanghai          | 03-06                         | 03-09                      | 03-15                   | 9                              |
| 味帝 Weidi                      | 03-08                         | 03-10                      | 03-16                   | 8                              |
| 恐龙蛋 Konglongdan               | 03-09                         | 03-11                      | 03-17                   | 8                              |
| 味王 Weiwang                    | 03-11                         | 03-13                      | 03-19                   | 9                              |
| 味厚 Weihou                     | 03-12                         | 03-14                      | 03-20                   | 8                              |
| 极差 Range                      | 11                            | 11                         | 9                       | 3                              |
| 变异系数 Coefficient of variation | 0.51                          | 0.39                       | 0.20                    | 0.08                           |

2.2 6 个杂交杏李品种的花形态特征

由表 2 可知,6 个杂交杏李品种的花瓣均为 5

瓣,白色椭圆形;6 个品种的花冠直径、花瓣纵横径、花药数、花丝长度和花柱长度间均存在较大差异。

其中风味玫瑰的花瓣直径最大,为 20.95 mm,显著大于其他品种;恐龙蛋的花冠直径最短,为 17.48 mm。味厚的花药为橘红色,其余品种的花药均为暗黄色。味帝的花瓣纵横径、花药数、花柱及花丝长度均显著大于其他品种,花药数达到 35.45 枚/蕾。风味皇后的花萼为淡红色,其余品种的花萼均为绿色。

表 2 6 个杂交杏李品种花部形态指标的比较

| Table 2 Comparison of flower morphological indexes among 6 <i>P. domestica</i> × <i>armeniaca</i> varieties |                       |                    |                   |                         |                   |                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-----------------|
| 花指标<br>Floral index                                                                                         | 风味玫瑰<br>Fengweimeigui | 恐龙蛋<br>Konglongdan | 味帝<br>Weidi       | 风味皇后<br>Fengweihuanghou | 味王<br>Weiwang     | 味厚<br>Weihou    |
| 花冠直径/mm<br>Corolla diameter                                                                                 | 20.95±1.31 a          | 17.48±0.57 c       | 19.75±0.43 b      | 19.85±0.41 b            | 19.82±0.84 b      | 17.64±0.29 c    |
| 花瓣数<br>Number of petals                                                                                     | 5                     | 5                  | 5                 | 5                       | 5                 | 5               |
| 花瓣形状<br>Petal shape                                                                                         | 椭圆<br>Ellipse         | 椭圆<br>Ellipse      | 椭圆<br>Ellipse     | 椭圆<br>Ellipse           | 椭圆<br>Ellipse     | 椭圆<br>Ellipse   |
| 花瓣颜色<br>Petal color                                                                                         | 白<br>White            | 白<br>White         | 白<br>White        | 白<br>White              | 白<br>White        | 白<br>White      |
| 花瓣纵径/mm<br>Number of petals                                                                                 | 8.23±0.76 b           | 6.23±0.46 e        | 10.10±0.38 a      | 7.68±0.83 c             | 7.13±0.70 d       | 8.47±0.70 b     |
| 花瓣横径/mm<br>Petal diameter                                                                                   | 6.47±0.61 c           | 5.60±0.43 e        | 8.45±0.29 a       | 5.98±0.38 d             | 5.41±0.49 e       | 7.31±0.34 b     |
| 花药颜色<br>Anther color                                                                                        | 暗黄<br>Dark yellow     | 暗黄<br>Dark yellow  | 暗黄<br>Dark yellow | 暗黄<br>Dark yellow       | 暗黄<br>Dark yellow | 橘红<br>Tangerine |
| 花药数/(枚·蕾 <sup>-1</sup> )<br>Number of anthers                                                               | 27.10±0.83 d          | 32.95±2.98 b       | 35.45±2.84 a      | 30.05±2.52 c            | 31.95±3.59 b      | 27.15±0.93 d    |
| 花柱长度/mm<br>Style length                                                                                     | 6.66±0.89 bc          | 5.47±1.67 d        | 9.33±0.52 a       | 6.29±0.21 c             | 4.72±0.57 e       | 7.15±0.33 b     |
| 花丝长度/mm<br>Filament length                                                                                  | 3.83±0.43 d           | 3.28±0.35 e        | 6.18±0.19 a       | 5.26±0.21 b             | 4.69±0.43 c       | 4.56±0.20 c     |
| 花萼颜色<br>Calyx color                                                                                         | 绿<br>Green            | 绿<br>Green         | 绿<br>Green        | 淡红<br>Pompadour         | 绿<br>Green        | 绿<br>Green      |

注:同行数据后标不同小写字母表示在  $P<0.05$  水平差异显著。

Note: Different letters of the postscript of peer data indicate significant differences at the level of  $P<0.05$ .

参照刘桂森等<sup>[17]</sup>的标准,雌蕊长于雄蕊及雌雄蕊等长的花为有效花,雌蕊短于雄蕊及雌蕊退化的花为无效花,统计不同杂交杏李品种有效花比率以及雌蕊退化率,结果(表 3)表明,味王有效花率最低,为 2.63%;恐龙蛋最高,达到 87.70%。各品种均存在雌蕊退化现象,味帝和味厚的雌蕊退化率分别为 19.06%和 15.79%,均显著高于其他品种( $P<0.05$ )。

表 3 6 个杂交杏李品种有效花率及雌蕊退化率

| Table 3 Effective flower ratio and pistil degeneration rate of 6 <i>P. domestica</i> × <i>armeniaca</i> varieties |                                |                                    |                      |                                |                                    | % |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|----------------------|--------------------------------|------------------------------------|---|
| 品种<br>Variety                                                                                                     | 有效花率<br>Effective flower ratio | 雌蕊退化率<br>Pistil degeneration ratio | 品种<br>Variety        | 有效花率<br>Effective flower ratio | 雌蕊退化率<br>Pistil degeneration ratio |   |
| 风味玫瑰 Fengweimeigui                                                                                                | 85.72 a                        | 1.99 b                             | 风味皇后 Fengweihuanghou | 11.07 c                        | 1.23 b                             |   |
| 恐龙蛋 Konglongdan                                                                                                   | 87.70 a                        | 1.84 b                             | 味王 Weiwang           | 2.63 d                         | 2.96 b                             |   |
| 味帝 Weidi                                                                                                          | 77.93 b                        | 19.06 a                            | 味厚 Weihou            | 77.30 b                        | 15.79 a                            |   |

注:同列数据后标不同小写字母表示在  $P<0.05$  水平差异显著。下同。

Note: Different lowercase letters show significant differences at the level of  $P<0.05$ . The same below.

2.3 6 个杂交杏李品种的花粉形态

由表 4 可见,6 个杂交杏李品种的花粉大小存在一定差异,其中风味玫瑰的花粉粒长度显著大于其他品种,为 46.71 μm;味王的花粉粒宽度最大,为 26.97 μm。味帝的花粉粒长度和宽度均小于其他 5 个品种,分别为 27.13 和 13.34 μm,且花粉粒形态指数高达 2.04,说明其花粉为超长球形;而味王花粉粒形态指数最小,为 1.07,说明其花粉为近球形。其他品种的花粉形状均为长球形。

2.4 6 个杂交杏李品种的花粉量及花粉活力

由表 5 可以看出,6 个杂交杏李品种的花粉量和花粉活力均存在较大差异,其中风味玫瑰的花粉量最多,为 1 440.00 粒/花药,显著高于其他品种;味帝的花粉量最少,仅为 536.67 粒/花药;其他品种的花粉量为 730~1 280 粒/花药。就花粉萌发率而言,风味玫瑰和恐龙蛋的萌发率均较高,分别为 48.08%和 49.42%,显著高于其他品种( $P<0.05$ );而味帝在培养基上完全不萌发,说明其花粉无活力;

风味玫瑰花粉管最长,为 2.03 mm,显著大于其他品种( $P<0.05$ )。

表 4 6 个杂交杏李品种的花粉形态

Table 4 Pollen morphology of 6 *P. domestica*×*armeniaca* varieties

| 品种<br>Variety        | 花粉粒长度/ $\mu\text{m}$<br>Pollen grain length | 花粉粒宽度/ $\mu\text{m}$<br>Pollen grain width | 花粉粒形态指数<br>Pollen morphology index | 花粉形状<br>Pollen shape |
|----------------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------|----------------------|
| 风味玫瑰 Fengweimeigui   | 46.71±1.06 a                                | 23.53±1.26 b                               | 1.99±0.10 a                        | 长球形 Long spherical   |
| 恐龙蛋 Konglongdan      | 43.48±1.00 b                                | 24.23±1.64 b                               | 1.80±0.13 c                        | 长球形 Long spherical   |
| 味帝 Weidi             | 27.13±0.75 e                                | 13.34±0.84 c                               | 2.04±0.12 a                        | 超长球形 Perprolate      |
| 风味皇后 Fengweihuanghou | 43.66±1.29 b                                | 23.26±1.61 b                               | 1.88±0.12 b                        | 长球形 Long spherical   |
| 味王 Weiwang           | 28.87±1.65 d                                | 26.97±1.72 a                               | 1.07±0.05 e                        | 近球形 Nearly spherical |
| 味厚 Weihou            | 38.50±0.97 c                                | 23.76±1.45 b                               | 1.63±0.11 d                        | 长球形 Long spherical   |

表 5 6 个杂交杏李品种的花粉萌发率和花粉管长度

Table 5 Pollen germination rate and pollen tube length of 6 *P. domestica*×*armeniaca* varieties

| 品种<br>Variety        | 花粉量/(粒·花药 <sup>-1</sup> )<br>Pollen quantity | 萌发率/%<br>Germination rate | 花粉管长度/mm<br>Pollen tubes |
|----------------------|----------------------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| 风味玫瑰 Fengweimeigui   | 1 440.00±28.80 a                             | 48.08±8.21 a              | 2.03±0.23 a              |
| 恐龙蛋 Konglongdan      | 1 023.33±16.78 c                             | 49.92±4.93 a              | 1.49±0.25 b              |
| 味帝 Weidi             | 536.67±205.8 e                               | 0 c                       | 0 e                      |
| 风味皇后 Fengweihuanghou | 1 280.00±56.96 b                             | 18.64±4.57 b              | 0.32±0.14 d              |
| 味王 Weiwang           | 730.00±33.33 d                               | 15.52±4.96 b              | 0.42±0.19 d              |
| 味厚 Weihou            | 753.33±31.22 d                               | 14.21±5.28 b              | 0.67±0.08 c              |

3 讨论与结论

植物的开花物候主要由开花起始日期、开花持续期和花期同步性 3 个部分共同组成,对植物的生殖具有重要影响<sup>[18]</sup>。始花期、开花高峰期和开花数等个体物候的总和,构成了该种群的开花物候<sup>[19]</sup>。除遗传因子外,环境因子也是影响植物开花物候的重要因素<sup>[20]</sup>。因此,有必要对杂交杏李的开花物候期进行全面系统的研究。本研究结果表明,黄河中下游地区杂交杏李的开花物候期与河南中牟<sup>[9]</sup>、河南平顶山<sup>[10]</sup>、新疆<sup>[11]</sup>等地区的开花进程基本一致。2003—2007 年,杨绍彬等<sup>[9]</sup>在河南省中牟县试验地对 7 个杂交杏李品种的开花物候期进行观测发现,其初花期基本在 3 月中下旬,花期持续时间为 5~7 d;2013 年雷莉莉等<sup>[10]</sup>在河南省平顶山郟县对 3 个杏李品种花期的调查发现,其初花期在 3 月 11 日至 3 月 17 日,花期持续 5~10 d;2017 年魏雅君<sup>[11]</sup>在新疆地区对 3 个杏李品种开花物候期的观测结果表明,其初花期在 4 月上旬,整个花期持续 11~20 d。本研究发现,2021 年 6 个供试品种在黄河中下游地区的开花期主要集中在 3 月上旬和中旬,各品种开花持续时间差异不明显,品种间的开花物候进程不同,由初花期至末花期的变异系数为 0.20~0.51,以初花期变异系数最大,开花最早的风味玫瑰与最晚品种味厚的时间相差 11 d;但品种间的开花进程结果与前人研究结果<sup>[9-11]</sup>一致,且花期有逐年提前开放的趋势。有研究发现,开花期和花期持续时间

受开花时期温度、降雨、湿度等气候条件的影响而有所差别<sup>[21]</sup>。因此,在生产上,应注重各品种的有效配置,选择花期基本一致或相似的品种进行搭配种植,以满足品种间的传粉授粉,确保丰产稳产。

种子植物受精的必经阶段是传粉,植物花冠大小、雌雄蕊长度以及花药大小等特征,影响着植物的生殖成功率<sup>[22]</sup>。本研究发现,6 个供试杂交杏李品种的花瓣均为 5 瓣,白色椭圆形,其中风味玫瑰的花冠直径最大,味厚的花药为橘红色,味帝的花柱和花丝长度最长,风味皇后的花萼为暗红色。风味皇后和味王有效花率很低,而且各品种均存在雌蕊退化现象,其中味帝雌蕊退化率高达 19.06%,这与杨绍彬等<sup>[9]</sup>的研究结果一致。有研究发现,雌蕊短或退化会影响果树的坐果能力,而且无效花会消耗树体营养<sup>[23]</sup>。这与 Rodrigo 等<sup>[24]</sup>在杏上的研究结果相似,说明环境因素对花柱退化也有一定影响。因此,在生产中,可根据花期气候条件,采取修剪短枝、细枝,合理施肥等保花保果措施来增加有效花比率,以提高杂交杏李的产量与品质。

本研究发现,杂交杏李的花粉形状根据花粉粒形态指数分为超长球形、长球形和近球形 3 种类型。其中,味帝花粉为超长球形,味王为近球形。风味玫瑰的花粉粒最长,味王的花粉粒最宽,味帝的花粉粒长度和宽度均最小,且味帝为花粉败育品种。质量差的花粉多表现为形状不规则、小、无萌发孔或者萌发孔过多等,此类花粉多为败育花粉<sup>[25]</sup>,这与无籽刺梨<sup>[26]</sup>的败育花粉特征基本一致。对于味帝花粉

败育的原因,还有待进一步研究。

单花花粉量和花粉萌发率是有性植物授粉受精的前提和保障,但是果树花粉量的多少主要取决于果树的品种、品种自身的遗传特性,也与树体的营养状况、花芽发育质量、种植区当年的气候环境、栽培管理水平等因素有关<sup>[27]</sup>。因此,无论对引种栽培,还是杂交育种工作而言,开展各个品种花粉量和花粉活力的研究均具有重要意义。本研究结果表明,风味玫瑰花粉量最多,为 1 440.00 粒/花药,味帝最低,为 536.67 粒/花药;除味帝外,其他品种均高于谢鹏等<sup>[15]</sup>的研究结果,可能是由于地理位置以及不同年份气候条件的差异所致。在花粉活力方面,恐龙蛋和风味玫瑰的花粉萌发率均较高,分别为 49.92%和 46.71%,而味帝的花粉在培养基上完全不能萌发,花粉活力为 0,属于花粉败育品种。对比发现,除了味厚和味王,其他品种花粉萌发率均高于谢鹏等<sup>[15]</sup>的研究结果,究其原因可能与不同年份气候条件、树体营养有关。此外,与杨绍彬等<sup>[9]</sup>报道的杂交杏李花粉活力相比,本试验测得的各品种花粉活力均较低,这主要与花粉活力测定方法不同有关。花粉生活力的强弱直接影响授粉效果<sup>[28]</sup>。因此,在生产上,使用授粉品种时应尽量选择与主栽品种花期一致、花粉数量多、花粉萌发率高且生活力强的品种,而尽量不用单花花粉量少且花粉生活力弱的品种作授粉品种。

不同品种杂交杏李的开花物候期、花器官特性及花粉特性存在差异,通过杏李开花物候期和花器官特征观察,掌握其开花的生物学规律,可为杂交杏李的科学授粉及育种奠定基础。

[参考文献]

[1] 李芳东,杜红岩,杨绍彬,等. 杏李种间杂交极早熟新品种风味玫瑰 [J]. 中国果树,2007,34(3):5-7.  
Li F D,Du H Y,Yang S B,et al. New varieties of ‘Fengwei-meigui’ from hybridization between apricot and plum [J]. China Fruit,2007,34(3):5-7.

[2] 李芳东,张昭祎,杜红岩,等. 杏李种间杂交新品种恐龙蛋 [J]. 中国果树,2006,33(1):6-7.  
Li F D,Zhang S Y,Du H Y,et al. New varieties of ‘Konglong-dan’ from hybridization between apricot and plum [J]. China Fruit,2006,33(1):6-7.

[3] 李芳东,杜红岩,杨绍彬,等. 杏李种间杂交新品种味帝 [J]. 中国果树,2006,33(3):3-4,67.  
Li F D,Du H Y,Yang S B,et al. New varieties of ‘Weidi’ from hybridization between apricot and plum [J]. China Fruit,2006,33(3):3-4,67.

[4] 杜红岩,杨绍彬,杜兰英,等. 杏李种间杂交新品种味王 [J]. 中国果树,2005,32(5):5-6.  
Du H Y,Yang S B,Du L Y,et al. New varieties of ‘Weiwang’ from hybridization between apricot and plum [J]. China Fruit,2005(5):5-6.

[5] 李芳东,杜红岩,杨绍彬,等. 杏李种间杂交新品种味厚 [J]. 中国果树,2005,32(6):3-4.  
Li F D,Du H Y,Yang S B,et al. New varieties of ‘Weiyou’ from hybridization between apricot and plum [J]. China Fruit,2005,32(6):3-4.

[6] 罗立娜,韩树全,范建新,等. 油梨开花物候期及花器官特征观察 [J]. 中国南方果树,2020,49(1):28-31.  
Luo L N,Han S Q,Fan J X,et al. Observation on the flowering phenology of avocado and the characteristics of flower organs [J]. South China Fruit Tree,2020,49(1):28-31.

[7] 陈永安,陈鑫,刘艳飞. 采粉期及贮藏条件对猕猴桃花粉生活力的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(8):157-160.  
Chen Y A,Chen X,Liu Y F. Effects of pollen picking period and storage conditions on the viability of kiwifruit pollen [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition),2012,40(8):157-160.

[8] 顾欣,张延龙. 百合属 5 个野生种及 7 个栽培品种花粉形态的观察 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(7):195-200.  
Gu X,Zhang Y L. Observation on pollen morphology of five wild species and seven cultivars of *Lilium* [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition),2013,41(7):195-200.

[9] 杨绍彬,李芳东,杜红岩,等. 杏李种间杂交品种适宜授粉组合筛选试验 [J]. 中国果树,2008(5):28-30.  
Yang S B,Li F D,Du H Y,et al. Selection of pollination combination of *Prunus domestica* × *armeniaca* [J]. China Fruit,2008(5):28-30.

[10] 雷莉莉,何兴波,杨绍彬,等. 3 种杏李花部特征与授粉亲和性的研究 [J]. 热带作物学报,2014,35(1):132-137.  
Lei L L,He X B,Yang S B,et al. Analysis of floral characteristics of three *Prunus domestica* × *armeniaca* cultivars [J]. Acta Tropical Crops,2014,35(1):132-137.

[11] 魏雅君. 杏李开花结实生物学特性研究 [D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2017.  
Wei Y J. Research on biological characteristics of flowering and fruiting of *Prunus salicina* × *armeniaca* [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University,2017.

[12] 梁立峰. 果树栽培学实验实习指导 [M]. 2 版. 北京:中国农业出版社,2001:19-20.  
Liang L F. Guidance for experimental practice of fruit tree cultivation [M]. 2nd ed. Beijing:China Agricultural Publishing House,2001:19-20.

[13] 洪亚平. 在光镜下观察新鲜花粉真实形态的制片方法 [J]. 河南科技大学学报(自然科学版),2007(1):67-69,109.  
Hong Y P. Film making method for observing the true shape

of fresh pollen under light microscope [J]. Journal of Henan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2007(1): 67-69, 109.

[14] 胡 琼,王 森,郭红艳. 不同枣品种花粉的形态特征和萌发特性 [J]. 经济林研究, 2015, 33(2): 73-81.

Hu Q, Wang S, Guo H Y. Pollen morphology and germination characteristics of different jujube cultivars [J]. Economic Forest Research, 2015, 33(2): 73-81.

[15] 谢 鹏,谭晓风,李芳东,等. 6 个杏李品种花粉量及花粉萌发率测定 [J]. 中国南方果树, 2009, 38(5): 34-35.

Xie P, Tan X F, Li F D, et al. Determination of pollen quantity and pollen germination rate of 6 *Prunus domestica* × *armeniaca* [J]. South China Fruit Tree, 2009, 38(5): 34-35.

[16] 潘德林,黄胜男,张计育,等. 猕猴桃在南京地区开花物候期的观察 [J]. 农学学报, 2016, 6(10): 63-66.

Pan D L, Huang S N, Zhang J Y, et al. Observation on flowering phenology of kiwifruit in Nanjing [J]. Journal of Agriculture, 2016, 6(10): 63-66.

[17] 刘桂森,张立彬. 山杏花型及其分布的研究 [J]. 河北农业技术师范学院学报, 1988(3): 45-48.

Liu G S, Zhang L B. Study on flower type and distribution of apricot [J]. Journal of Hebei Normal University of Agricultural Technology, 1988(3): 45-48.

[18] Jessica J W, Meagher T R. Meagher. Pollination and seed predation drive flowering phenology in *Silene latifolia* (Caryophyllaceae) [J]. Ecology, 2003, 84(8): 2062-2073.

[19] 赵金锁. 不同品种丁香开花习性统计分析 [J]. 山西农业科学, 2010, 38(2): 31-33.

Zhao J S. Statistical analysis of flowering habits of different varieties of clove [J]. Shanxi Agricultural Science, 2010, 38(2): 31-33.

[20] Fitchett J M, Grab S W, Thompson D I. Plant phenology and climate change progress in methodological approaches and application [J]. Progress in Physical Geography, 2015, 39(4): 885-893.

[21] 施亚晨. 美国山核桃雌雄异熟性初步研究 [D]. 南京: 南京林业大学, 2015.

Shi Y C. Preliminary study on male and female heterozygosity of *Carya cathayensis* [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2015.

[22] Cristina M I, Valentina L A. Floral traits and pollination systems in the Caatinga, a Brazilian tropical dry forest [J]. Annals of Botany, 2004(3): 365-376.

[23] 张胜利,代金玲. 内蒙古种源山杏花及花粉特性研究 [J]. 防护林科技, 2020, 205(10): 19-21.

Zhang S L, Dai J L. Inner Mongolia provenance apricot flowers and pollen characteristics [J]. Protection Forest Technology, 2020, 205(10): 19-21.

[24] Rodrigo J, Herrero M. Effects of pre-blossom temperatures on flower development and fruit set in apricot [J]. Scientia Horticulturae, 2002, 92(2): 125-135.

[25] 中川昌一. 果树园艺原论 [M]. 北京: 农业出版社, 1982.

Nakagawa Shyoichi. Original theory of fruit tree horticulture [M]. Beijing: Agricultural Publishing House, 1982.

[26] 史肖白,蔡剑华. 刺梨花粉形态观察 [J]. 上海农业学报, 1994(1): 88-92.

Shi X B, Cai J H. Observation of pollen morphology of cili [J]. Journal of Shanghai Agriculture, 1994(1): 88-92.

[27] 叶正文,杜纪红,苏 明,等. 桃 92 个品种的花粉量及其萌发特性的差异 [J]. 园艺学报, 2010, 37(4): 525-531.

Ye Z W, Du J H, Su M S, et al. Differences in pollen amount and germination characteristics of 92 peach varieties [J]. Horticultural Journal, 2010, 37(4): 525-531.

[28] Mu J, Yang Y, Luo Y, et al. Pollinator preference and pollen viability mediated by flower color synergistically determine seed set in an Alpine annual herb [J]. Ecology & Evolution, 2017, 7(9): 2947-2955.