



雄性不育枣‘JMS2’×‘交城5号’杂交F₁代 花性状遗传变异分析

潘依玲¹, 鲍荆凯¹, 吴翠云¹, 王玖瑞², 刘孟军², 闫芬芬¹

(1. 塔里木大学 园艺与林学院/南疆特色果树高效优质栽培与深加工技术国家地方联合工程实验室, 新疆阿拉尔 843300; 2. 河北农业大学 中国枣研究中心, 河北保定 071000)

摘要 以雄性不育枣‘JMS2’和‘交城5号’及其140株F₁代杂交群体为材料,对F₁代花面积、花直径、蜜盘直径、花粉量以及花粉活力5个花性状进行调查分析,旨在探索杂交F₁代花性状的分离特点和遗传变异规律。结果显示,F₁代枣花直径、花面积、蜜盘直径以及花粉量、花粉活性均呈连续变异,符合正态分布,是由多基因控制的数量性状。两年间的F₁代花大小性状分布趋势相似,表现出一定的性状分离,变异系数为8.66%~17.84%,其花面积变异系数最高,且花直径、花面积两性状表现趋中遗传。F₁代植株的花均有花粉,两年间花粉量和花粉活性性状均高于亲本,表现出明显的超亲遗传;花粉性状能广泛分离,变异系数为19.39%~50.13%,其花粉量变异系数较高。通过相关性研究发现花直径、花面积、蜜盘直径3个性状间存在着极显著的正相关关系,花粉量与花粉活力间并未存在显著关系。

关键词 枣;杂交;雄性不育;花性状;遗传变异

枣(*Ziziphus jujuba* Mill.)是鼠李目鼠李科枣属植物,起源于中国,已有3000多年的栽培历史^[1]。枣果实风味独特、营养价值丰富,干鲜兼制,是中国重要的特色果树^[2-4]。枣花器官的大小在一定程度上会影响昆虫授粉和人工授粉效率,而花粉量和花粉活力是影响杂交授粉的关键因子,能直接影响后续枣树的坐果情况^[5-7]。枣花粉量大,花芽当年即可分化与开花,花期较长,可从5月中旬持续到6月下旬^[8],但由于枣花小,人工去雄、授粉不易进行^[9-10],是阻碍枣杂交育种开展的重要原因之一。同时枣树存在落花落果严重,坐果率低的现象^[11],且常表现出花粉生殖性差、种仁败育、含仁率低的特性,直接或间接地影响着枣的杂交育种进程,以致种质资源创新滞后^[12]。

枣遗传背景复杂,属于高度杂合体^[2],杂交后代单株间花的性状能表现出一定的差异性。目前关于枣杂交后代花性状的遗传变异分析研究较少^[13],且不同杂交群体间花性状遗传变异上存在一定的差异,其遗传规律还有待进一步阐明。因

此本研究以雄性不育系材料‘JMS2’为母本,以花粉量大的‘交城5号’为父本,通过人工控制杂交,构建的140株F₁代为材料,通过对花直径、花面积、花盘直径、花粉量和花粉活力等花性状进行连续两年的调查与分析,探讨不同花性状在其后代遗传分离规律,以期今后枣的杂交亲本选配、优系选择及花性状的QTL定位等研究奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

于2016年对‘JMS2’×‘交城5号’组合开展罩网控制杂交试验,其中母本‘JMS2’是^[14-16]雄性不育系,花粉败育;父本‘交城5号’(简称J5)为‘骏枣’优系,高抗枣疯病品系^[17],花粉量大。2017年获得杂交后代株系,2018年优选出140株F₁代及亲本试材高接于新疆生产建设兵团第一师十团七连果园中,肥水管理水平良好,树体管理水平中等。嫁接3a后树体性状稳定,开展花粉性状调查分析。

收稿日期:2022-06-17 修回日期:2022-09-26

基金项目:国家自然科学基金(32060656);南疆重点产业支撑计划(2017DB006)。

第一作者:潘依玲,女,硕士研究生,研究方向为枣种质资源与遗传育种。E-mail:2810421623@qq.com

通信作者:闫芬芬,女,副教授,硕士生导师,研究方向为枣种质资源与遗传育种。E-mail:yanfenfeng@163.com

1.2 花大小性状的测定

于2020—2021年5月中下旬到6月中旬盛花期,在8:00—10:00采样,每样株从东西南北4个方向共采集30个枣吊的中部枣花,用冰盒带回

实验室。利用杭州万深检测科技有限公司生产的LA-S叶面积分析系统对花直径、花面积、蜜盘直径进行测量分析^[13],‘JMS2’与‘交城5号’及其杂交F₁代花大小存在差异(图1)。

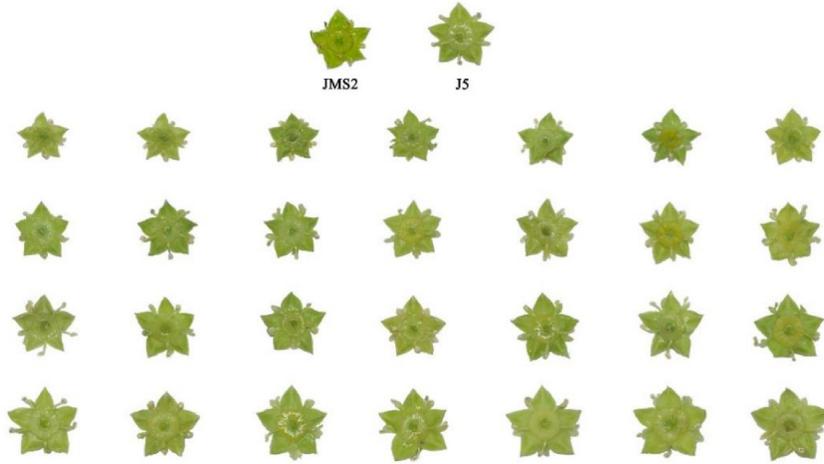


图1 亲本及杂交F₁代花器官

Fig.1 Floral organ diagram of parent and hybrid F₁ generation

1.3 花粉性状的测定

于盛花期采集枣吊中部枣花的蕾黄期花蕾,放入带有冰盒的低温采样箱中带回实验室。花粉量测定方法^[18]:剥离充分成熟饱满尚未开裂的花药30枚,置于2.5 mL离心管内,自然干燥。待花粉自然散开后,加入1%六偏磷酸钠溶液2 mL,震荡至花粉成悬浮状。吸取悬浮液于血球计数板,显微镜下观察400个小方格的花粉粒数,每品种重复15次,取平均值,计算单个花药的花粉数量(N)。活力测定方法:2020年采用I₂-KI染色法^[18]配置2% I₂-KI溶液,置于棕色试剂瓶中4℃保存待用,在载玻片上滴入2~3滴染液,用蘸有花粉的毛笔轻弹少量花粉放入溶液中,用镊子搅拌均匀,盖上盖玻片染色10 min后在显微镜下观察,有活力的花粉呈深红色,活力低的为浅红色,活力衰弱或内含物少的花粉呈黄色或黄褐色;2021年采用蓝墨水染色法^[19],在载玻片上滴入一滴蒸馏水,再加一滴蓝墨水溶液,用镊子搅拌均匀,蘸有花粉的毛笔轻弹少量花粉放入溶液中,盖上盖玻片5 min后置于电子显微镜下观察。花粉粒呈无色时表示具有生活力,呈淡蓝色为活力低的花粉,呈蓝黑色为无生活力或发育不良的花粉。观察不同视野,每个品种花粉粒总数在300粒以上求其平均值,统计花粉活力。

花粉数量 $N = (400 \text{ 方格内总花粉数} \times 10\,000 \times 2) / 30$

I₂-KI染色法计算公式:花粉活力 = (有色花粉粒数 + 颜色浅花粉粒数 × 0.5) / 总花粉粒数 × 100%

蓝墨水染色法计算公式:花粉活力 = (无色花粉粒数 + 颜色浅花粉粒数 × 0.5) / 总花粉粒数 × 100%

1.4 数据分析

对花直径、花面积、花盘直径、花粉量、花粉活力调查所得数据进行整理分析,利用Excle 2019和SPSS 26计算其平均值(Mean)、标准差(SD)、偏度(Skewness)、峰度(Kurtosis)、变异系数(CV)、遗传传递力(Ta)、超高亲率(HH)、低低亲率(L)、中亲值(V_{MP})和中亲优势率(R_{HM})^[20]等描述性分析参数,观察遗传变异情况;并用Excle 2019绘制频数分布直方图进行正态分布检测;用SPSS 26进行性状间的相关性分析。

变异系数(CV) = $(S/F_M) \times 100\%$

遗传传递力(Ta) = $(F_M/V_{MP}) \times 100\%$

中亲值(H_M) = $F_M - V_{MP}$

中亲优势率(R_{HM}) = $(F_M/V_{MP}) / V_{MP} \times 100\%$

超高亲率(HH) = 超高亲植株数/总数 × 100%

低低亲率(L) = 低低亲植株数/总数 × 100%

(F_M : F₁ 群体表型性状的平均数; V_{Mp} : 双亲表型性状的平均数)

2 结果与分析

2.1 F₁ 代花性状的遗传分布

2.1.1 F₁ 代花大小性状的遗传分布 通过对两年 F₁ 代植株花直径、花面积、蜜盘直径调查发现(图 2), 两年中 F₁ 代花直径、花面积、蜜盘直径表现出不同程度的偏态遗传, 且呈连续变异, 符合正态分布, 具有典型的数量性状遗传特征, 属于多基因控制的性状。

结合两年性状的频数分布进行统计与分析,

2020 年花直径主要分布范围为 6.01~7.07 mm, 占总数的 66.17%; 花面积主要分布范围为 23.36~32.18 mm², 占总数的 64.71%; 蜜盘直径主要分布范围为 2.66~3.16 mm, 占总数的 66.91%。2021 年花直径主要分布范围为 6.73~8.17 mm, 占总数的 75.74%; 花面积主要分布范围为 26.47~39.83 mm², 占总数的 72.79%; 蜜盘直径主要分布范围是 2.97~3.51 mm, 占总数的 66.91%。不同年份间整体遗传趋势相似, 在 F₁ 代植株中花直径、花面积主要表现趋中遗传, 推测两年花直径、花面积性状主要倾向亲本遗传; 同时花大小性状有超高亲植株的出现, 具有一定杂种优势。

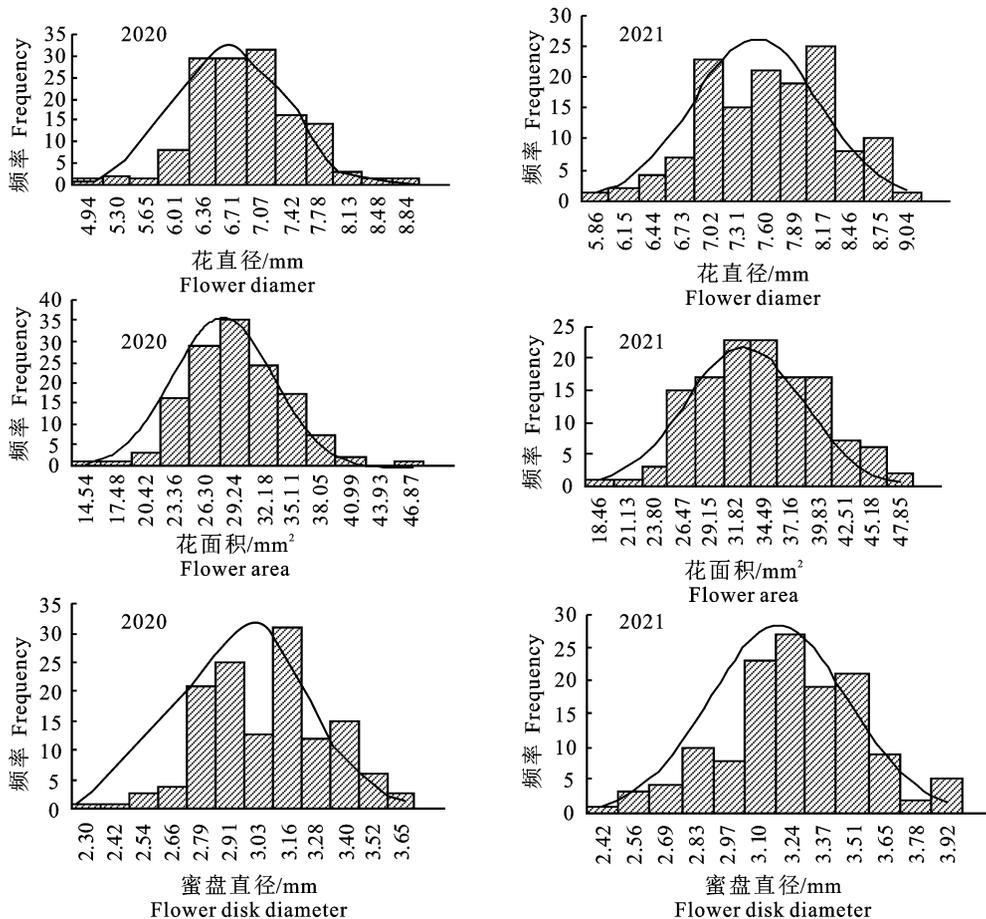


图 2 F₁ 代枣花大小性状频数分布直方图

Fig. 2 Frequency distribution histogram of flower size traits in jujube of F₁ generation

2.1.2 F₁ 代花粉性状的遗传分布 通过对两年 F₁ 代植株花粉量、花粉活力的观测, 并对花大小各性状两年的频数分布进行统计与分析(图 3), F₁ 代两年的花粉量、活粉活性呈现不同程度右偏态遗传。且呈连续变异, 基本符合正态性, 具有典型的数量性状遗传特征, 属于多基因控制的性状。

性状。

结合两年性状的频数分布进行统计与分析, 2020 年花粉量主要分布范围是 3 604.04~10 949.49 粒, 占总数的 59.56; 花粉活力主要分布范围为 47.22%~66.08%, 占总数的 48.57%。2021 年花粉量主要分布范围为 5 010.10~

12 973.74 粒, 占总数的 52.21%; 花粉活力主要分布范围为 41.25% ~ 55.91%, 占总数的 66.91%。不同年份间的遗传趋势整体相似, 两年

F₁ 代的多数植株花粉量、花粉活力性状出现了高于亲本的植株, 表现出超亲遗传, 且表现出较强的杂种优势。

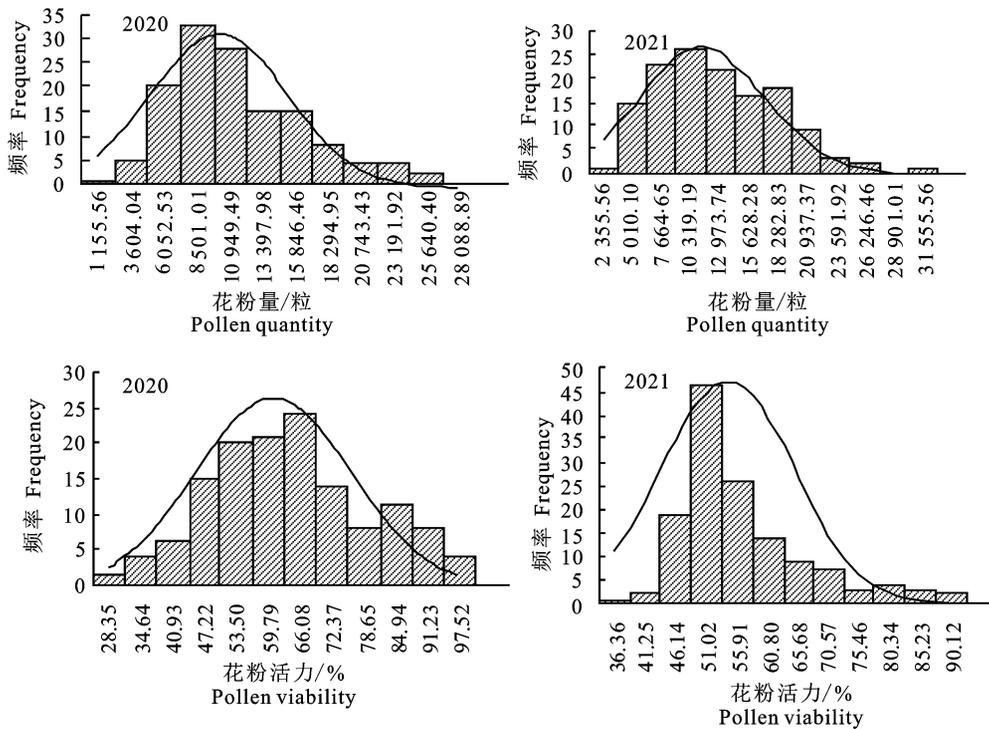


图3 F₁代枣花粉性状频数分布直方图

Fig. 3 Frequency distribution histogram of pollen characters in jujube of F₁ generation

2.2 花性状的遗传变异分析

2.2.1 F₁代花大小性状遗传变异分析 通过‘JMS2’×‘交城5号’两年的花大小性状调查研究发现(表1)。两年的母本‘JMS2’花直径、花面积均值小于父本‘交城5号’的; 父母本的蜜盘直径差异不大。两年花直径的F₁代均值表现不同, 2020年小于中亲值, 在2021年稍大于中亲值, 分离范围是4.94~9.04 mm, 变异系数分别为9.29%、8.66%; 遗传传递力分别是97.62%、100.54%; 两年间均出现了超高亲植株, 但F₁代超高亲的植株数不同, 超高亲率分别是26.47%、44.12%。两年花面积的F₁代植株的均值表现同上, 2020年低于中亲值, 2021年略高于中亲值, 分离范围是14.54~47.85 mm², 分离范围广泛, 变异系数分别为17.84%、17.54%; 遗传传递力分别是97.80%、102.27%; 两年花面积出现了超高亲的植株, 超高亲率分别是30.15%、40.44%。两年蜜盘直径的F₁代植株的均值表现不同, 2020年低于中亲值, 2021年略高于中亲值, 分离范围不大, 分离范围是2.30~3.92 mm, 变异系数分

别为8.88%、9.47%; 两年的遗传传递力是90.84%、97.78%; 不同年间的杂交后代植株多表现为低亲植株, 但也有超高亲植株的出现, 超高亲率11.76%、37.50%。

2.2.2 F₁代花粉性状的遗传变异分析 通过对母本雄性不育系的‘JMS2’与‘交城5号’杂交的F₁代两年间花粉性状的调查研究发现(表2)。F₁代植株均有花粉, 并未表现出败育, 推测母本‘JMS2’的花粉败育现象可能是受纯合隐性基因控制的, 但后代不同植株间的花粉量存在着差异。因此对其花粉量与花粉活性的遗传变异规律展开进一步研究。

两年的F₁代花粉量的平均值分别为10 248.37粒、11 354.09粒, 均高于亲中值6 711.11粒, 5 177.78粒; F₁代能分离广泛, 分离范围为1 155.56~31 555.56粒, 变异系数分别为50.13%、49.44%, 两年的遗传传递力均大于100%, 遗传传递力较强, 分别为152.71%、219.28%; 两年中均出现超高亲植株, 表现出超高亲植株数较多, 超高亲率分别为25.00%、

表 1 F₁ 代枣花大小性状的遗传变异分析
Table 1 Genetic variation analysis of flower size traits in Jujube in F₁ population jujube

| 性状 Trait | 年份 Year | 平均值 Mean | | 亲中值 V _{Mp} | 平均值±标准差 Mean±SD | 最小值 Min | 最大值 Max | 变异 系数/% CV | 超高 亲率/% HH | 低低 亲率/% L | 中亲 优势率/% R _{HM} | 遗传 传递力/% T _a | 峰度 Kurtosis | 偏度 Skewness |
|----------------------|------------|----------|-------|------------------------|--------------------|------------|------------|------------------|------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------|----------------|
| | | JMS2 | J5 | | | | | | | | | | | |
| 花直径/mm | 2020 | 6.71 | 7.03 | 6.87 | 6.71±0.62 | 4.94 | 8.84 | 9.29 | 26.47 | 50.00 | -2.38 | 97.62 | 0.72 | 0.15 |
| Flower diameter | 2021 | 7.26 | 7.65 | 7.46 | 7.50±0.65 | 5.86 | 9.04 | 8.66 | 44.12 | 36.03 | 0.54 | 100.54 | -0.52 | -0.11 |
| 花面积/mm ² | 2020 | 27.05 | 30.15 | 28.60 | 27.97±4.99 | 14.54 | 46.87 | 17.84 | 30.15 | 39.71 | -2.20 | 97.80 | 0.99 | 0.35 |
| Flower area | 2021 | 29.91 | 33.83 | 31.87 | 32.59±5.72 | 18.46 | 47.85 | 17.54 | 40.44 | 32.35 | 2.27 | 102.27 | -0.32 | 0.18 |
| 蜜盘直径/mm | 2020 | 3.33 | 3.29 | 3.31 | 3.01±0.27 | 2.30 | 3.65 | 8.88 | 11.76 | 83.09 | -9.16 | 90.84 | -0.27 | -0.03 |
| Flower disk diameter | 2021 | 3.25 | 3.27 | 3.26 | 3.19±0.30 | 2.42 | 3.92 | 9.47 | 37.50 | 58.82 | -2.22 | 97.78 | 0.07 | -0.15 |

注: 标准差也称标准偏差, 是方差的算术平方根(下同)。

Note: The standard deviation in the table is also called standard deviation, which is the arithmetic square root of the variance (the same below).

表 2 F₁ 代枣花粉性状的遗传变异分析
Table 2 Genetic variation analysis of pollen characters in F₁ population jujube

| 性状 Trait | 年份 Year | 平均值 Mean | | 亲中值 V _{Mp} | 平均值±标准差 Mean±SD | 最小值 Min | 最大值 Max | 变异 系数/% CV | 超高 亲率/% HH | 低低 亲率/% L | 中亲 优势率/% R _{HM} | 遗传 传递力/% T _a | 峰度 Kurtosis | 偏度 Skewness |
|------------------|------------|----------|-----------|------------------------|--------------------|------------|------------|------------------|------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------|----------------|
| | | JMS2 | J5 | | | | | | | | | | | |
| 花粉量/粒 | 2020 | 0 | 13 422.22 | 6 711.11 | 10 248.37±5 137.77 | 1 155.56 | 28 088.89 | 50.13 | 25.00 | 0 | 52.71 | 152.71 | 0.85 | 0.96 |
| Pollen quantity | 2021 | 0 | 10 355.56 | 5 177.78 | 11 354.09±5 614.01 | 2 355.56 | 31 555.56 | 49.44 | 52.21 | 0 | 119.28 | 219.28 | 0.27 | 0.65 |
| 花粉活力/% | 2020 | 0 | 49.01 | 24.50 | 61.05±15.51 | 28.35 | 97.52 | 25.42 | 78.68 | 0 | 149.15 | 249.15 | -0.50 | 0.25 |
| Pollen viability | 2021 | 0 | 46.46 | 23.23 | 54.38±10.54 | 36.36 | 90.12 | 19.39 | 81.62 | 0 | 134.07 | 234.07 | 1.51 | 1.33 |

52.21%。两年的 F₁ 代花粉活力的平均值分别为 61.05%、54.38%，均高于各自中亲值 24.50%、23.23%；后代能广泛分离，分离范围为 28.35%~97.52%，变异系数分别为 25.42%、19.39%，遗传传递力均大于 100%，遗传传递力较强，分别为 249.15%、234.07%；后代植株均表现出超高亲植株数较多，超高亲率分别为 78.68%、81.62%。

2.3 枣花性状的相关性分析

F₁ 代群体两年花性状的相关性分析结果见

表 3 F₁ 代枣花性状的相关性分析

Table 3 Correlation analysis of flower characters in F₁ population jujube

| 性状 Trait | 花直径 Flower diameter | 花面积 Flower area | 蜜盘直径 Flower disk diameter | 花粉量 Pollen quantity | 花粉活力 Pollen viability |
|---------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 花直径 Flower diameter | 1.000 | 0.967** | 0.779** | -0.044 | 0.019 |
| 花面积 Flower area | 0.974** | 1.000 | 0.778** | -0.041 | 0.021 |
| 蜜盘直径 Flower disk diameter | 0.737** | 0.778** | 1.000 | -0.051 | 0.077 |
| 花粉量 Pollen quantity | 0.075 | 0.101 | 0.113 | 1.000 | 0.081 |
| 花粉活力 Pollen viability | -0.093 | -0.043 | -0.017 | 0.020 | 1.000 |

注：* 表示显著相关，** 表示极显著相关；左下侧为 2020 年相关性，右上侧为 2021 年相关性。

Note: * Indicates significant correlation, ** indicates extremely significant correlation; the lower left side is the correlation of 2020, and the upper right side is the correlation of 2021.

3 讨论

在对‘JMS2’×‘交城 5 号’的 F₁ 代与亲本的花大小性状调查中发现，F₁ 代枣花直径、花面积、蜜盘直径的分布呈正态分布，表现为多基因控制的数量性状特征，这与杨植等^[13]有关枣花性状的相关报道结果一致。在园艺植物牡丹^[21]、月季^[22]和百合^[23]等有关花性状研究报道中，花大小性状亦是由多基因控制的数量性状，易受环境因素影响，因此由于不同年间的气候和水肥管理等环境因素导致两年间枣花大小性状表现出些许差异。两年间 F₁ 代花大小性状呈现一定的上升趋势，分离范围不大，具有一定的遗传变异，变异系数是 8.66%~17.84%，其中花面积遗传变异最大，且 F₁ 代花大小性状均有超高亲与低低亲植株出现，表现出一定的杂种优势，但没有出现远高于或低于亲本的 F₁ 代植株，F₁ 代植株主要倾向亲本遗传，因此推测花直径、花面积、蜜盘直径的遗传不仅存在加性效应，还存在一定的非加性效应，其杂交后代在花大小性状上的选择潜力不大。最后通过相关性研究发现花直径、花面积、蜜盘直径 3 个性状间存在紧密关系。

表 3，可以看出两年的花直径与花面积、蜜盘直径三者之间存在极显著的正相关关系，且相关系数均在 0.700 以上，说明花直径与花面积、蜜盘面积之间存在紧密的正相关关系；而花直径、花面积、蜜盘直径与花粉量、花粉活力的相关性均未达到显著水平；同时在两年的调查中，花粉量与花粉活力也并未存在显著的相关关系，说明花粉量的多少与花粉活性强弱并无直接关系。

‘JMS2’是雄性不育系，是较理想的杂交母本材料，本研究将‘交城 5 号’作为父本杂交后，通过对两年的花粉性状的调查中发现 F₁ 代群体枣花均有花粉，且枣花粉量、花粉活力的分布呈正态分布，具有数量性状遗传特征。结合杨植等^[13]对‘JMS2’为母本构建的另一个杂交群体调查中发现其 F₁ 代群体中也均有花粉，推测‘JMS2’花粉败育这一性状是受纯隐性基因控制的，这与闫芬芬等^[24]研究结果一致。可以进一步推测其 F₁ 代群体花粉量性状的遗传是受隐性基因和主基因加微效多基因组合因素影响的结果。不同年间 F₁ 代植株花粉性状整体呈现下降的现象，各性状广泛分离，变异幅度较大，变异系数达 19.39%~50.13%，F₁ 代花粉量和花粉活力高于亲本植株较多，超亲趋势遗传明显，特别是 F₁ 代的花粉活力高于亲本的植株占比很大，达到 75.00% 以上，且均有远高于亲本植株出现，具有较强的杂种优势。因此推测花粉量和花粉活力存在非加性效应，且较强，其杂交后代在花粉量和花粉活力的选择潜力大。花粉活力两年测定的方法不同，但两年的遗传规律表现相似。最后在相关性分析中发现花粉量与花粉活力两者之间并未存在显著关

系,说明花粉量的多少与花粉力的强弱无关,这与吴硕等^[25]和唐宁浩等^[7]对枣品种的花粉量与花粉萌发的相关性研究的结果一致。

本研究不仅发现了雄性不育‘JMS2’和‘交城 5 号’的 F₁ 花性状遗传变异规律特点,而且筛选出花大、花粉量大、花粉活力强的优系材料,上述结果为枣优异父本种质的筛选和花性状 QTL 及杂交分子辅助育种技术提供参考。

参考文献 Reference:

- [1] 李鹏丽,申凤莲,毛永民,等. 果树性状遗传规律研究进展[J]. 河北农业大学学报,2003(S1):53-56.
LI P L, SHEN F L, MAO Y M, et al. The review of studies on genetic development of fruit tree traits[J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2003(S1):53-56.
- [2] 陈贻金,何祥生,陈漠林. 中国枣树学概论[M]. 北京:中国科学技术出版社,1991.
CHEN Y J, HE X SH, CHEN M L. Introduction to Chinese Jujube Science[M]. Beijing: Science and Technology of China Press, 1991.
- [3] 刘孟军,王玖瑞,刘平,等. 中国枣生产与科研成就及前沿进展[J]. 园艺学报,2015,42(9):1683-1698.
LIU M J, WANG J R, LIU P, et al. Historical achievements and frontier advances in the production and research of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) in China[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2015, 42(9):1683-1698.
- [4] 国家药典编委会. 中华人民共和国药典[M]. 北京:化学工业出版社,2005.
Editorial Board of National Pharmacopoeia. Pharmacopoeia of the People's Republic of China[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [5] 黄双全,郭友好. 传粉生物学的研究进展[J]. 科学通报,2000(3):225-237.
HUANG SH Q, GUO Y H. Advances in pollination biology[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2000(3):225-237.
- [6] 刘玲,王玖瑞,刘孟军,等. 枣不同品种花粉量和花粉萌发率的研究[J]. 植物遗传资源学报,2006,7(3):338-341.
LIU L, WANG J R, LIU M J, et al. Pollen number and its germination rate of different Chinese jujube cultivars[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2006, 7(3):338-341.
- [7] 唐宁浩,何钢,李樊,等. 3 个南方枣品种花粉育性与花粉形态的观察[J]. 经济林研究,2009,27(4):70-72.
TANG N H, HE G, LI F, et al. Observation on pollen fertility and morphology of three southern jujube cultivars[J]. *Non-wood Forest Research*, 2009, 27(4):70-72.
- [8] 阿布都卡尤木·阿依麦提,樊丁宇,岳婉婉,等. 新疆枣花芽分化和单花发育过程观察与分析[J]. 新疆农业科学,2020,57(5):798-805.
ABUDUKAYOUMU · AYIMAITI, FAN N Y, YUE W W, et al. Observation and analysis on flower bud differenti-
- ation and single flower development of Xinjiang jujube[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2020, 57(5):798-805.
- [9] 张俊娥. 中国枣品种资源花粉生物学特性研究[D]. 太原:山西农业大学,2001.
ZHANG J E. Study on pollen biological characteristics of Chinese jujube variety resources[D]. Taiyuan: Shanxi Agricultural University, 2001.
- [10] 王尧. 枣授粉生物学研究[D]. 河北保定:河北农业大学,2008.
WANG R. Studies on pollination biology of Chinese jujube[D]. Baoding Hebei: Hebei Agricultural University, 2008.
- [11] 蔡光军. 枣树落花落果原因与提高坐果率技术措施[J]. 西北园艺(综合),2019(3):43-45.
CAI G J. Causes of flower and fruit drop of jujube and technical measures to improve fruit setting rate[J]. *Northwest Horticulture (Comprehensive)*, 2019(3):43-45.
- [12] 马庆华,续九如,王贵禧,等. 枣树杂交育种研究进展[J]. 中国农学通报,2008(11):174-178.
MA Q H, XU J R, WANG G X, et al. Progress on hybrid breeding of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008(11):174-178.
- [13] 杨植,张川疆,王振磊,等. 枣和酸枣杂交 F₁ 代花性状分离规律与混合遗传分析[J]. 分子植物育种,2023,21(1):231-242.
YANG ZH, ZHANG CH J, WANG ZH L, et al. Segregation and genetic mixing analysis of flower traits in the F₁ progeny of *Z. jujuba* Mill. × *Z. acidujuba* Cheng et Liu [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2023, 21(1):231-242.
- [14] 闫芬芬. 枣规模化杂种创制技术体系的建立及重要性状遗传分析[D]. 河北保定:河北农业大学,2017.
YAN F F. Establishment of large-scale hybrid creation system and hereditary analysis of important traits in Chinese jujube[D]. Baoding Hebei: Hebei Agricultural University, 2017.
- [15] 王玖瑞,刘玲,刘孟军,等. 枣树雄性不育新种质的获得[J]. 园艺学报,2006(2):374-377.
WANG J R, LIU L, LIU M J, et al. Acquirement of new male sterile germplasm of Chinese jujube[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2006(2):374-377.
- [16] 刘玲. 枣雄性不育种质筛选及其不育机理研究[D]. 河北保定:河北农业大学,2006.
LIU L. Screening male sterility germplasm and its mechanism in Chinese jujube[D]. Baoding Hebei: Hebei Agricultural University, 2006.
- [17] 肖京,杨艳荣,赵锦,等. 骏枣不同株系间的枣疯病抗性多样性[J]. 中国农业科学,2013,46(23):4977-4984.
XIAO J, YANG Y R, ZHAO J, et al. Diversity of resistance to jujube witches' broom disease among the strains of *Ziziphus jujuba* Mill. Junzao [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(23):4977-4984.

- [18] 王玖瑞. 枣树雄性不育和胚败育研究[D]. 河北保定: 河北农业大学, 2004.
WANG J R. Studies on male sterility and embryo abortion of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) [D]. Baoding Hebei: Hebei Agricultural University, 2004.
- [19] 罗立娜, 韩树全, 范建新, 等. 不同品种澳洲坚果花粉生活力的研究[J]. 江西农业学报, 2017, 29(8): 34-37.
LUO L N, HAN SH Q, FAN J X, *et al.* Study on pollen viability of different macadamia varieties[J]. *Acta Agricultrae Jiangxi*, 2017, 29(8): 34-37.
- [20] LI B L, WU R. Heterosis and genotype \times environment interactions of juvenile aspens in two contrasting sites[J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 1997, 73(10): 367-3675.
- [21] 张琳, 郭丽丽, 郭大龙, 等. 牡丹杂交 F₁ 代性状分离规律及混合遗传分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2018, 42(6): 51-60.
ZHANG L, GUO L L, GUO D L, *et al.* Separation analysis and mixed genetic analysis of phenotypic traits in F₁ progenies of tree peony[J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Humanities and Social Sciences Edition)*, 2018, 42(6): 51-60.
- [22] 王欢, 孔滢, 郎利新, 等. 亚洲百合与大花卷丹杂种 F₁ 重要性状的遗传分析[J]. 华北农学报, 2017, 32(4): 114-121.
WANG H, KONG Y, LANG L X, *et al.* Genetic analysis of important characters in F₁ hybrids of *Lilium Asiatic hybrids* and *L. leichtlinii* var. *maximowiczii*[J]. *Acta Agricultrae Boreali-Sinica*, 2017, 32(4): 114-121.
- [23] 周利君, 于超, 常笑, 等. 月季 F₁ 代群体表型性状变异分析[J]. 植物研究, 2019, 39(1): 131-138.
ZHOU L J, YU CH, CHANG X, *et al.* Variation analysis of phenotypic traits in F₁ population of *Rosa* spp. [J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2019, 39(1): 131-138.
- [24] 闫芬芬, 王玖瑞, 吴翠云, 等. 枣雄性不育种质‘JMS2’杂交子代开花结实性状的遗传分析[J]. 北方园艺, 2020(20): 9-15.
YAN F F, WANG J R, WU C Y, *et al.* Genetic analysis of flowering and fruit traits in hybrid progeny of male sterile germplasm ‘JMS2’ in Chinese jujube[J]. *Northern Horticulture*, 2020(20): 9-15.
- [25] 吴硕, 贾彦丽, 智福军, 等. 18 个枣品种花粉数量与萌发率的研究[J]. 河北农业科学, 2017, 21(1): 42-45.
WU SH, JIA Y L, ZHI F J, *et al.* Pollen number and its germination rate of eighteen Chinese jujube cultivars[J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2017, 21(1): 42-45.

Genetic Variation of Flower Traits in F₁ of Male Sterile Jujube ‘JMS2’ × ‘Jiaocheng 5’

PAN Yiling¹, BAO Jingkai¹, WU Cuiyun¹, WANG Jiurui²,
LIU Mengjun² and YAN Fenfen¹

(1. School of Horticulture and Forestry/The National-Local Joint Engineering Laboratory of High Efficiency and Superior-Quality Cultivation and Fruit Trees, Tarim University, Alar Xinjiang 843300, China;
2. Research Center of Chinese Jujube, Hebei Agricultural University, Baoding Hebei 071000, China)

Abstract Male sterile lines are better hybrid materials compared with the others in Chinese jujube. In this study, five floral traits, flower area, flower diameter, nectar disk diameter, pollen quantity and pollen vitality were investigated and analyzed using male sterile jujube ‘JMS2’ and ‘Jiaocheng 5’ and their 140 F₁ generation progenies as materials. The results showed that the flower diameter, flower area, honey disc diameter, pollen volume and pollen activity in jujube of F₁ generation showed continuous variation, which was in line with normal distribution, presumably there were quantitative trait controlled by multiple genes. The F₁ generation of flower size traits in both years had similar distribution trends and showed some trait separation, the coefficient of variation was between 8.66% to 17.84%, and its flower area coefficient of variation was the highest, and the two traits of flower diameter and flower area showed a tendency to be moderately inherited. The flowers of F₁ generation plants all had pollen, and the pollen quantity and pollen activity traits were higher than those of their parents in two years, indicating obvious transgressive inheritance. Pollen traits could be widely separated, and the coefficient of variation range from 19.39% to 50.13%, and the coefficient of variation of pollen quantity was high. Through correlation studies, it was found that there was a very significant positive correlation between the three traits of flower diameter, flower area and honey plate diameter, and there was no significant relationship between pollen amount and pollen vitality.

Key words Jujube; Hybrid; Male sterility; Flower traits; Genetic variation

Received 2022-06-17 **Returned** 2022-09-26

Foundation item National Natural Science Foundation of China (No. 32060656); Key Industrial Support Program Projects in South Xinjiang(No. 2017DB006).

First author PAN Yiling, female, master student. Research area: germplasm resources and heritage breeding of Chinese jujube. E-mail: 2810421623@qq.com

Corresponding author YAN Fenfen, female, associate professor, master supervisor. Research area: germplasm resources and heritage breeding of Chinese jujube. E-mail: yanfenfen@163.com

(责任编辑:潘学燕 **Responsible editor: PAN Xueyan**)