

枣 JMS2×交城5号 F₁代果实性状 遗传分析与优系筛选

潘依玲¹, 鲍荆凯¹, 陈万年¹, 吴翠云¹, 王玖瑞², 刘孟军², 闫芬芬^{1*}

(¹新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·塔里木大学园艺与林学院, 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:【目的】探究杂交 F₁代果实性状的分离特点和遗传变异,为枣杂交育种和品种选育提供理论依据。【方法】以枣 JMS2×交城5号的 F₁代140个单株及亲本为试材,对果实成熟期、果实外观和内在品质等26个描述型和数值型性状进行调查测定,并进行遗传变异分析和相关性分析,利用灰色关联度法进行果实品质综合评价。【结果】F₁代果实的成熟期表现出分离,36.26%的 F₁株系成熟期多数在9月下旬。F₁代13个果实的描述型性状均出现不同的性状分离,其中果实形状出现了6个变异类型,子代果形倾向父本的倒卵圆形占比最高为35.85%,子代果形倾向母本的卵圆形占比为17.92%;果实质地出现4个变异类型,其中46.23%表现出果肉致密。果肩形状和柱头状态,分离比例依次为3:1、1:2:1,符合孟德尔遗传分离规律。F₁代果实大小和果实内在品质指标等13个性状均呈现连续变异,且符合正态分布或偏正态分布,具有多基因控制的数量性状特征。果实大小、果核大小以及可食率等性状的变异系数在0.85%~32.27%之间,其中单果质量变异系数最大;果实内在品质性状变异系数在11.29%~24.44%之间,其中有机酸含量的变异系数最大。可溶性固形物含量和单核质量2个数值型性状表现趋高遗传,单果质量、果实纵径、果实横径等11个数值型性状均表现趋低遗传。果实大小与果核大小性状间存在极显著正相关;可食率与果实大小性状呈极显著正相关,与果核大小呈极显著负相关;可溶性糖与有机酸含量呈显著正相关,与可溶性固形物含量呈极显著正相关。【结论】杂交 F₁代果实成熟期倾向父本遗传,且果实形状、果实颜色、果实质地等8个描述型性状倾向父本遗传,果肩形状和柱头状态两性状均可能是受一对和少数几对基因控制的质量性状,果实大小、果核大小、可食率及内在品质指标等13个数值型性状为多基因控制的数量性状,初步筛选出5个综合品质表现优良的株系。

关键词: 枣; 杂交后代; 果实性状; 遗传变异; 评价

中图分类号: S665.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2023)06-1085-14

Genetic analysis of fruit traits and selection of superior lines in F₁ generation of jujube JMS2 × Jiaocheng 5

PAN Yiling¹, BAO Jingkai¹, CHEN Wannian¹, WU Cuiyun¹, WANG Jiurui², LIU Mengjun², YAN Fenfen^{1*}

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

Abstract: 【Objective】The aim of this experiment is to investigate the segregation characteristics and genetic variation of fruit traits in the F₁ generation, so as to provide a theoretical basis for cross breeding and variety selection in jujube. 【Methods】The 26 descriptive and numerical traits such as fruit shape, fruit color, shape of fruit shoulder, shape of fruit top, size of fruit dot, density of fruit dot, stigma state, smoothness of fruit skin, thickness of fruit skin, texture of fruit flesh, color of fruit flesh, juice of fruit flesh, coarseness of fruit flesh, single fruit weight, fruit longitudinal diameter, fruit transverse diameter,

收稿日期: 2022-11-10 接受日期: 2023-01-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(32060656); 新疆重点产业支撑计划项目(2017DB006); 塔里木大学研究生科研创新项目(TDGR1202124)

作者简介: 潘依玲, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为枣种质资源与遗传育种。Tel: 17399976469, E-mail: 2810421623@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. E-mail: yanfenfen@163.com

fruit shape index, edible rate, soluble sugar, organic acid, soluble solids, vitamin C, single core weight, kernel longitudinal diameter, kernel transverse diameter and kernel shape index were described and measured using 140 plants of F_1 generation of Jujube JMS2 \times Jiaocheng 5 and the parents, and the fruit ripening period was investigated. The data obtained from the investigated traits were compiled and analyzed by EXCLE 2019 and SPSS 26.0, and genetic diversity parameters such as mean, standard deviation, skewness, kurtosis, coefficient of variation, genetic transmission power, ultra-high parental rate, low parental rate, pro-median and mid-parental dominance, and correlation analysis were performed to analyze the genetic variation of the investigated traits, and the fruit quality was comprehensively evaluated using the equal-weighted and weighted gray correlation method. **【Results】** The F_1 generation showed a separation in fruit ripening, with 36.26% of the F_1 offspring ripening mostly in late September. In the F_1 generation, the 13 descriptive traits including fruit shape, fruit color, shape of fruit shoulder, shape of fruit top, fruit point size, size of fruit dot, density of fruit dot, stigma state, smoothness of fruit skin, thickness of fruit skin, texture of fruit flesh, color of fruit flesh, juice of fruit flesh, coarseness of fruit flesh all showed different trait separation, among which six variant types of fruit shape appeared, and the top three fruit shapes of the offspring were obovoid, oblong and ovoid in that order. The fruit shape tended to be obovoid in the paternal genetic effect, with 35.85% of the offspring, while the fruit shape tended to be ovoid in the maternal genetic effect, with 17.92% of the offspring. Four types of variation in texture of fruit flesh were observed, and the percentage of flesh compact was 46.23%, and their traits tended to be in the paternal genetic effect. Two traits, shape of fruit shoulder and stigma status, were tested by chi-square test ($p=0.737>0.05$, $p=0.502>0.05$), and the separation ratios were 3:1 and 1:2:1 in that order, which were in accordance with Mendelian genetic separation law. The 13 numerical fruit traits, including fruit size, kernel size, edibility and intrinsic quality content of the F_1 generation group, showed continuous variation and conformed to normal or skew-normal distribution, with the characteristics of quantitative traits controlled by multiple genes. The coefficients of variation for fruit size and edibility ranged from 0.85% to 32.27%, with the largest coefficient of variation for single fruit weight and the smallest coefficient of variation for edibility; the coefficients of variation for kernel size traits ranged from 14.52% to 31.53%, with the largest coefficient of variation for single kernel weight and the smallest coefficient of variation for longitudinal kernel diameter; The coefficients of variation for intrinsic fruit quality traits ranged from 11.29% to 24.44%, with the largest coefficient of variation for organic acid content and the smallest coefficient of variation for soluble solids. The mean values of soluble solids content and single kernel weight, were higher than those of the middle parents, and the heterosis rates were positive, 5.56% and 28.81%, respectively, showing high genetic tendency and strong heterosis advantage; 11 traits including single fruit weight, longitudinal fruit diameter, transverse fruit diameter, fruit shape index, edibility, soluble sugar, organic acid, vitamin C, longitudinal kernel diameter, transverse kernel diameter, and kernel shape index, showed low genetic tendency. There were highly significant positive correlations between fruit size and kernel size traits; highly significant positive correlations between edibility and fruit size and other traits, and highly significant negative correlations with kernel size; significant positive correlations between soluble sugars and organic acids contents, and highly significant positive correlations with soluble solids content. **【Conclusion】** In this study, fruit ripening was mainly affected by paternal genetic and eight descriptive traits, namely fruit shape, fruit color, shape of fruit shoulder, shape of fruit top, density of fruit dot, stigma state, smoothness of fruit skin and coarseness of fruit flesh were found to be affected by maternal genetic factor in the F_1 generation. Both traits, fruit shoulder shape and stigma status, may be quality traits one or a few

pairs of genes. All 13 numerical traits including fruit size, kernel size, edibility and intrinsic quality content, were quantitative traits controlled by multiple genes. In summary, the traits with a great influence on fruit quality were selected, and five offspring with excellent overall quality performance were initially screened using the equal-weighted and weighted gray correlation method.

Key words: Chinese jujube; Hybrid offspring; Fruits traits; Genetic variation; Evaluation

枣(*Ziziphus jujuba* Mill.)为鼠李科枣属植物,是起源于中国的特色优势果树,亦是栽培历史最为悠久的“五果”之一^[1]。枣树适应性强,耐干旱、耐盐碱、易管理^[2],具有较高的经济和生态价值。枣果实风味独特、营养价值高,具有鲜食、制干、观赏、加工^[3]、药用^[4]等多方面用途,深受消费者青睐。据统计中国枣树种植面积已达200万hm²,产量达900多万t,年产值约1000亿元人民币,有近2000万人口以枣业为主要经济来源^[5]。

果树性状遗传变异规律是进行果树杂交育种的前提和基础,而杂交群体是果树性状遗传研究的基础。枣树花小,人工杂交难度大,且坐果率低,种仁败育严重,致使枣树有性杂交困难^[6],杂交育种进程仍缓慢,有关枣树杂交群体构建和研究的报道与其他果树树种相比较少^[7-8]。目前枣树遗传变异规律已在枣花^[9]、叶片^[10-11]、针刺^[12]、果实大小^[13]、果实营养成分^[14]等性状展开研究,但不同亲本构建的杂交群体间性状遗传规律存在差异。枣果实性状是反映品种优劣的重要指标,也是枣杂交育种关注的重要性状指标。目前有关枣杂交群体的果实性状研究主要集中在果实大小、可溶性糖含量、可滴定酸含量等^[13-16]性状上,品质指标系统性和全面性还有待加强。

笔者以雄性不育系材料JMS2作为母本^[17],交城5号(简称J5)高抗枣疯病的骏枣优系^[18]作为父本,杂交获得的140株F₁代杂交后代及亲本作为研究材料,对果实成熟期、果实外观和内在品质等26个描述型性和数值型性状进行调查与研究,探讨遗传变异特点和分离规律,同时利用灰色关联度分析法对F₁代果实性状进行综合评价,筛选出果实品质优良的株系,以期为枣的杂交育种、品种选育及果实品质性状的QTL定位等研究奠定基础。

1 材料和方法

1.1 试验材料

母本为雄性不育JMS2,父本为骏枣优系交城5号,父母本于2013年统一高枝嫁接,砧木为灰枣,株

行距1 m×2 m, 树体大小一致,留枝量相同。于2015—2016年连续2年采用罩网控制蜜蜂授粉技术开展控制杂交,罩网材料为网眼50目的白色蚊帐布网纱,每网室罩亲本10~12株。于每年现蕾期(5月上旬)搭架罩网隔离双亲,去除网室内已开的花朵,初花期(5月中下旬)向网内放置蜂箱饲养蜜蜂辅助授粉。每网室放置1个蜂箱,每蜂箱放置2个巢脾,放蜂期间每隔5~7 d更换清水和糖水饲养蜜蜂。花期每10 d喷施1次0.3% K₂HPO₄+0.2% 硼酸叶面肥增加坐果量,于当9年月中下旬采收果实冷藏处理,翌年1月份播种。苗期对杂交后代选用差异互补引物JSSR 311进行杂种鉴定。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,砧木均为多年生骏枣,肥水管理良好,树体管理水平中等。2021年树体果实性状稳定后开展果实相关性状调查分析。于2021年9月1日—10月20日,每隔2~4 d,观察果实成熟情况,在树整体的果实全红占比为90%以上时进行采摘,采摘枣吊中部大小相近、且无病虫害的果实,带回实验室放4℃冰箱待测。当天对果实外观品质进行调查与测量,后对果实进行混样(每个样品包含10个果以上),再将其放到-80℃备用。

1.2 果实性状的测定

参考《中国枣种质资源》对果形、果色、果肩形状、果顶形状、果点大小、果点密度、萼片状态、柱头状态、果实光滑度、果皮厚度、果实质地、果实颜色、果实汁液、果肉粗细等描述型性状进行评定(表1);评价标准参照鲜食枣果实评价标准^[16],其中综合口感评分指标包含果皮厚度、果实质地、果实汁液、果肉粗细(表2)。果实成熟期以全红期采样时间作为成熟期标准。

单果质量使用电子天平对随机选取30个果进行称质量,计算其平均值,单位为g,精确到0.01 g;果实纵径、果实横径利用游标卡尺测量,单位为mm,精确到0.01 mm;果形指数是果实纵径比果实横

径;可食率利用单果质量和单核质量计算得出,计算公式:可食率(%)=(果实质量-果核质量)/果实质量×100。

果实可溶性固形物含量测定:将已混匀的果肉,利用挤汁装置将枣汁挤出,用手持折光仪测定可溶性固形物含量。可溶性糖含量采用蒽酮比色法^[19]测定;可滴定酸含量采用酸碱中和法^[19]测定;维生素C含量采用钼酸铵比色法^[20]测定。

单核质量使用电子天平进行称质量,计算其平均值,单位为g,精确到0.01 g;果核纵径、果核横径利用游标卡尺测量,单位为mm,精确到0.01 mm;核形指数是果核纵径比果核横径。

1.3 数据处理方法

利用 Excle 2019 和 SPSS 26.0 对调查所得数据进行整理分析,并计算其平均值(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})等描述型分析参数,观察遗传变异情况;利用 SPSS 26.0 绘制其相应频数分布直方图并进行正态分布检测;同时利用 SPSS 26.0 进行性状间的相关性分析;最后利用 Excle 2019 计算等权和加权灰色关联度对其后代果实品质进行初步综合评价^[21],筛选果实品质优良的杂交 F₁ 代株系。

表 1 果实性状分离类型及赋值表

Table 1 Fruit traits separation type and assignment table

性状 Traits	1	2	3	4	5	6
果实形状 Fruit shape	卵圆形 Ovoid	长圆形 Oblong globose	倒卵圆形 Obovate	圆柱形 Cylinder	圆锥形 Coniform	葫芦形 Gourd
果实颜色 Fruit color	浅红 Light red	红 Red	紫红 Mauve	赭红 Reddish brown		
果肩形状 Shape of fruit shoulder	平 Flat	凸 Convex				
果顶形状 Shape of fruit top	凹 Concave	平 Flat	尖 Tine			
果点大小 Size of fruit dot	小 Small	中 Intermediate				
果点密度 Density of fruit dot	疏 Sparse	中 Intermediate	密 Dense			
柱头状态 Stigma state	宿存 Keep	残存 Remnant	脱落 Desquamate			
果实光滑度 Lubricity of fruit skin	光滑 Smooth	有隆起 Rised				
果皮厚度 Thickness of fruit skin	薄 Thin	中 Intermediate	厚 Thick			
果实质地 Texture of fruit flesh	疏松 Loose	酥脆 Crisp	较致密 Intermediate	致密 Compact		
果肉颜色 Color of fruit flesh	白色 White	浅绿色 Light green	绿色 Green			
果实汁液 Juice of fruit flesh	少 Lack	中 Medium	多 Rich			
果肉粗细 Coarseness of fruit flesh	细 Delicate	中 Intermediate	粗 Coarse			

表 2 综合口感评分表

Table 2 Comprehensive taste score table

性状 Traits	评分 Score				
果皮厚度 Thickness of fruit skin	薄 Thin 20	中 Intermediate 10	厚 Thick 0		
果实质地 Texture of fruit flesh	酥脆 Crisp 30	疏松 Loose 10	较致密 Intermediate 15	致密 Compact 0	
果实汁液 Juice of fruit flesh	多 Rich 30	中 Medium 15	少 Lack 0		
果肉粗细 Coarseness of fruit flesh	细 Delicate 20	中 Intermediate 10	粗 Coarse 0		

2 结果与分析

2.1 果实性状遗传分析

2.1.1 果实成熟期性状遗传分析 通过对母本JMS2和父本交城5号及其F₁代的成熟期调查发现(表3),母本JMS2成熟期为9月中旬,父本成熟期在

9月下旬。F₁代群体中9月上旬成熟的植株有10株,占比为10.99%;9月中旬成熟的植株有24株,占比为26.37%;9月下旬成熟的植株有33株,占比为36.26%;10月上旬成熟的植株有24株,占比为26.37%。其中F₁代多数植株与两亲本成熟期相近,在9月中旬和下旬,但主要集中在9月下旬成熟,成

表3 亲本及其F₁代群体成熟期调查

Table 3 Survey of the maturity of the parents and their F₁ generation population

亲本及F ₁ 群体 Parents and F ₁ group		成熟期 Mature period			
		9月上旬 Early September	9月中旬 Mid-September	9月下旬 Late September	10月上旬 Early October
亲本 Parents			JMS2(♀)	J5(♂)	
F ₁ 群体 F ₁ group	株数 No. of plants	10	24	33	24
	占比 Percentage/%	10.99	26.37	36.26	26.37

熟期倾向父本遗传。

2.1.2 果实描述型性状遗传分析 通过对JMS2×交城5号及其F₁代的果实形状、果实颜色、果肩性状、果顶性状、果点大小、果点密度、柱头状态、果面光滑度、果皮厚度、果实质地、果肉颜色、果实汁液、果肉

粗细等果实描述型性状进行调查分析(表4),结果显示13个果实描述型性状出现了40个性状分离。

果实外观性状中果实形状变异类型最多,有6个变异类型,母本JMS2表现为卵圆形、父本交城5号表现为倒卵圆形,F₁代主要分离的性状表现为卵

表4 F₁代果实描述型性状分离及变异

Table 4 Fruit descriptive trait segregation and variation in F₁ generation

性状 Traits	亲本 Parents		F ₁ 代各级所占比例 Percentage of F ₁ /%					
	JMS2	J5	1	2	3	4	5	6
果实形状 Fruit shape	卵圆形 Ovoid	倒卵圆形 Obovate	17.92	18.87	35.85	10.38	7.55	0.94
果实颜色 Fruit color	浅红 Light red	红 Red	32.08	55.66	12.26			
果肩形状 Shape of fruit shoulder	凸 Convex	平 Flat	23.58	76.42				
果顶形状 Shape of fruit top	尖 Tine	平 Flat	32.08	58.49	9.43			
果点大小 Size of fruit dot	中 Intermediate	中 Intermediate	40.57	59.43				
果点密度 Density of fruit dot	中 Intermediate	密 Dense	2.83	32.08	65.09			
柱头状态 Stigma state	残存 Remnant	残存 Remnant	22.64	55.66	21.70			
果面光滑度 Lubricity of fruit skin	光滑 Smooth	光滑 Smooth	96.23	3.77				
果皮厚度 Thickness of fruit skin	中 Intermediate	中 Intermediate	16.98	72.64	10.38			
果实质地 Texture of fruit flesh	较致密 Intermediate	致密 Compact	3.77	16.98	33.02	46.23		
果肉颜色 Color of fruit flesh	浅绿 Light green	浅绿 Light green	8.49	90.57	0.94			
果实汁液 Juice of fruit flesh	中 Intermediate	中 Intermediate	20.75	77.36	1.89			
果肉粗细 Coarseness of fruit flesh	中 Intermediate	中 Intermediate	26.42	67.92	5.66			

圆形、长圆形、倒卵圆形,依次占比17.92%、18.87%、35.85%。 F_1 代中果实颜色的3个表型中以红为主,占比55.66%;果肩形状的2个表型中以平为主,占比76.42%;果顶形状的3个表型中以平为主,占比58.49%;果点密度主要表现为密,占比65.09%;果点大小主要表现为中,占比59.43%;柱头状态主要表现为残存,占比55.66%;果面光滑度主要表现为光滑,占比96.23%。

果实内在性状中果实质地,母本JMS2表现为酥脆、父本交城5号表现为致密, F_1 代出现4个变异类型,质地致密占比46.23%。 F_1 代中的果皮厚度主要表现为中,占比72.64%;果肉颜色主要表现为浅绿,占比90.57%;果实汁液主要表现为中,占比77.36%;果肉粗细主要表现为中,占比67.92%。

在上述性状中,父母本的果肩形状表现为凸和平, F_1 代分离出凸和平2个表型,且分离比例接近于3:1,对其进行卡平方检验的结果显示 $\chi^2_{(df=1)}=0.113$, $p=0.737>0.05$;父母本的柱头状态均表现为残存, F_1 代中分离出脱落、残存、宿存等3个表型,分离比例接近于1:2:1,对其进行卡平方检验的结果显示 $\chi^2_{(df=2)}=1.377$, $p=0.502>0.05$,果肩形状和柱头状态2个果实性状均符合孟德尔遗传规律中等位基因调控的分离情况,推测该性状可能是受一对或少数几对基因调控的质量性状。

2.1.3 果实大小性状及可食率遗传分析 通过对果实大小和可食率性状的频数分布直方图(图1)分析,结果表明其性状呈连续变异,符合正态分布,具有典型的数量性状遗传特征,属于微效多基因控制的数量性状。偏度是度量正态分布偏向某一侧的指标,偏度越接近0,对称越均匀;偏度为正,表明数据分布在右侧更为扩展。偏度为负,表明数据分布在左侧更为扩展^[22]。单果质量和可食率的偏度值较大(表5),结合正态分布图可以看出单果质量出现明显的右偏分布,可食率出现明显的左偏分布。

对JMS2×交城5号杂交 F_1 代单果质量、果实纵径、果实横径、果形指数、可食率等5个果实性状进行调查分析(表5)。结果表明果实大小性状和可食率在子代中的变异系数在0.85%~32.27%,说明果实大小性状在子代个体中存在较为广泛的分离。其中单果质量变异系数最大,为32.27%;可食率变异系数最小,为0.85%。单果质量、果实纵径、果实横径、可食率的中亲优势率均为负值, F_1 代平均

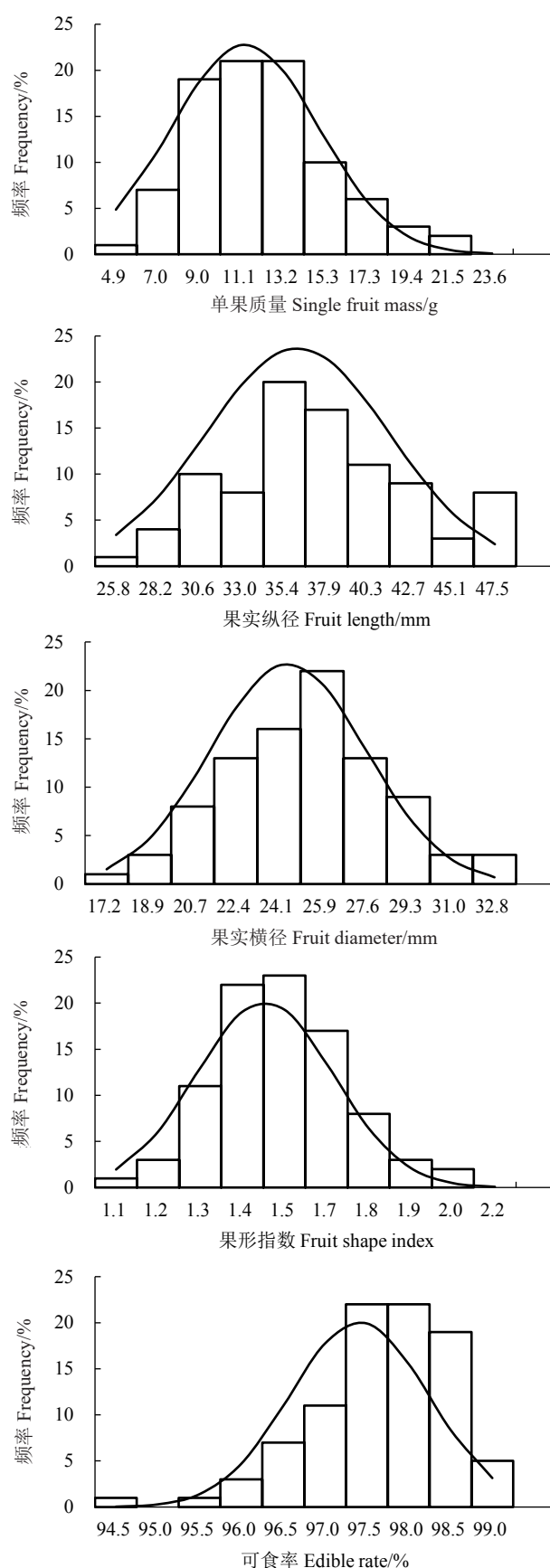


图1 F_1 代果实大小性状和可食率频数分布直方图
Fig. 1 Histogram of frequency distribution of fruit size traits and edibility rate in F_1 generation

表5 F₁代果实大小性状的遗传变异分析
Table 5 Genetic variation analysis of fruit size traits in the F₁ generation

性状 Traits	JMS2	J5	中亲 值	F ₁			变异 系数	超高 亲率	低低 亲率	中亲 优势率	遗传 传递力	峰度	偏度
	平均值 Mean	<i>V_{MP}</i>	平均值± 标准差 Mean±SD	最小值 Min	最大值 Max	CV/%							
单果质量 Single fruit mass/g	11.53	18.33	14.93	11.31±3.65	4.89	23.58	32.27	5.49	59.34	-24.26	76.86	0.88	0.87
果实纵径 Fruit length/mm	35.95	45.16	40.56	36.19±5.27	25.82	47.48	14.55	8.79	51.65	-10.74	89.86	-0.48	0.28
果实横径 Fruit diameter/mm	25.01	27.88	26.44	24.49±3.14	17.20	32.78	12.80	14.29	59.34	-7.38	92.86	0.03	0.22
果形指数 Fruit shape index	1.44	1.62	1.53	1.49±0.20	1.06	2.15	13.32	20.88	40.66	-2.68	97.68	0.93	0.58
可食率 Edible rate/%	98.17	98.31	98.24	97.42±0.83	94.51	99.02	0.85	12.09	81.32	-0.83	99.17	0.99	-0.72

值均小于亲中值,故推测单果质量、果实纵径、果实横径、可食率在子代中趋低遗传。但在F₁代群体中果实大小性状及可食率等5个性状均有超高亲植株出现,其中果形指数的超高亲率最高,为20.88%,其性状在F₁代中具有明显的杂种优势;而单果质量的超高亲率最低,为5.49%,其性状在F₁代中的杂种优势不明显。

2.1.4 果实营养性状的遗传变异分析 通过对果实营养性状的频数分布直方图(图2)分析,结果表

明其性状呈连续变异,符合正态分布,具有典型的数量性状遗传特征,属于微效多基因控制的数量性状。可溶性固形物和维生素C含量的偏度值较大(表6),结合正态分布图可以看出可溶性固形物含量出现明显的左偏分布;维生素C含量出现明显的右偏分布。

对JMS2×交城5号杂交F₁代可溶性糖、有机酸、可溶性固形物、维生素C含量等4个果实营养性状进行调查分析(表6),结果表明果实营养性状

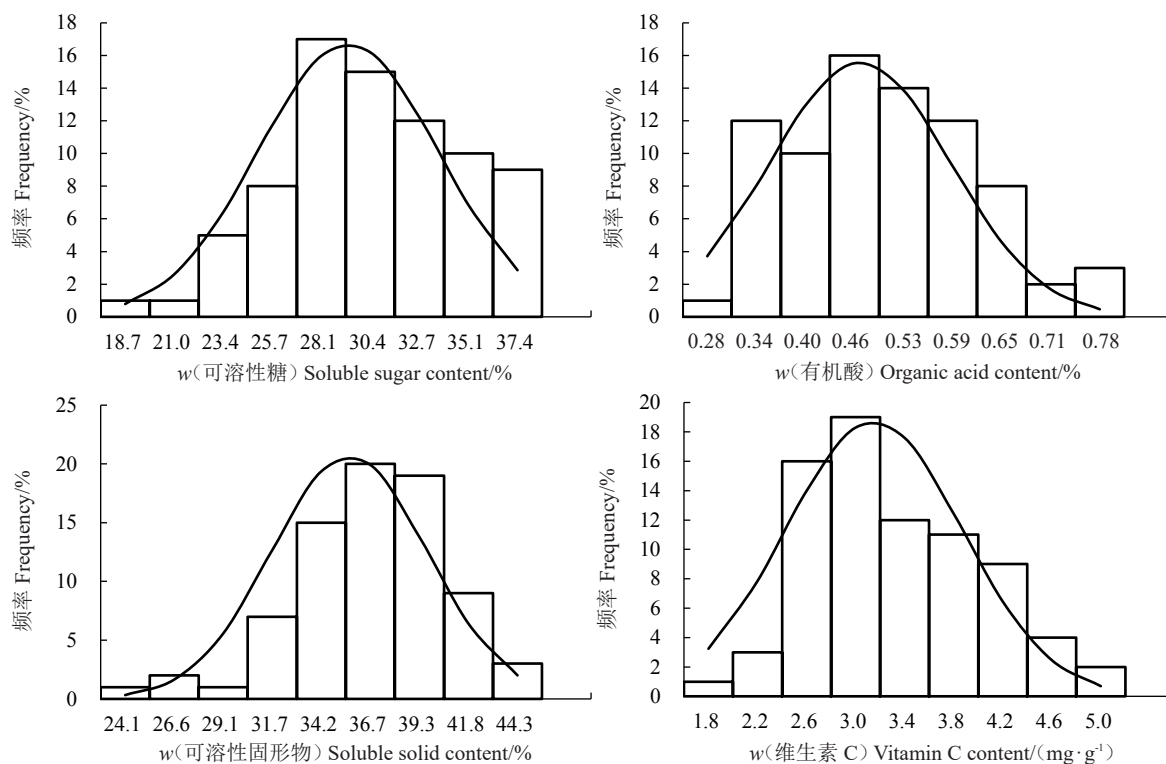


图2 F₁代果实营养性状频数分布直方图

Fig. 2 Histogram of frequency distribution of nutritional traits in F₁ generation fruits

表 6 F₁代果实营养性状的遗传变异分析Table 6 Genetic variation analysis of nutritional traits in F₁ generation fruits

性状 Traits	平均值 Mean		F ₁										
	JMS2	J5	中亲值 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 _{im} /%	遗传传 递力 Ta/%	峰度 Kurtosis	偏度 Skewness
可溶性糖含量 Soluble sugar content/%	25.51	34.26	29.88	29.33±4.30	18.70	37.41	14.66	16.67	17.95	-1.86	98.14	-0.48	-0.13
有机酸含量 Organic acid content/%	0.36	0.68	0.52	0.47±0.12	0.28	0.78	24.44	3.85	19.23	-9.89	90.11	-0.30	0.41
可溶性固形物含量 Soluble solid substance content/%	27.87	39.67	33.77	35.64±4.02	24.07	44.33	11.29	16.67	3.85	5.56	105.56	0.31	-0.45
维生素C含量 Vitamin C content/(mg·g ⁻¹)	2.40	4.40	3.40	3.17±0.71	1.84	5.00	22.45	5.13	11.54	-6.67	93.33	-0.35	0.45

在子代中的变异系数在 11.29%~22.44%，说明果实营养性状在 F₁ 代个体中存在较为广泛的分离。其中有机酸含量变异系数最大，为 22.44%；可溶性固形物含量变异系数最小，为 11.29%。除可溶性固形物含量杂种优势率表现出正值；可溶性糖、有机酸、维生素 C 含量均为负值，子代平均值均小于亲中值，故推测可溶性糖、有机酸、维生素 C 含量在子代中趋低遗传。但在 F₁ 代群体中果实营养性状有超高亲植株出现，其中可溶性糖和可溶性固形物含量的超高亲率最高，均为 16.67%，其性状在 F₁ 代具有明显的杂种优势；而有机酸含量的超高亲率最

低，为 3.85%，其性状在 F₁ 代的杂种优势不明显。

2.1.5 果核大小性状的遗传变异分析 通过对果核大小性状的频数分布直方图(图3)分析，结果表明其性状呈连续变异，符合正态分布，具有典型的数量性状遗传特征，属于微效多基因控制的数量性状。核形指数的偏度值较大(表7)，结合正态分布图可以看出核形指数出现明显的右偏分布。

对 JMS2×交城 5 号杂交 F₁ 代单核质量、果核纵径、果核横径、核形指数等 4 个果核性状进行调查分析(表7)。结果表明果核性状在子代中的变异系数在 14.52%~31.53%之间，说明果核大小性状在 F₁ 代

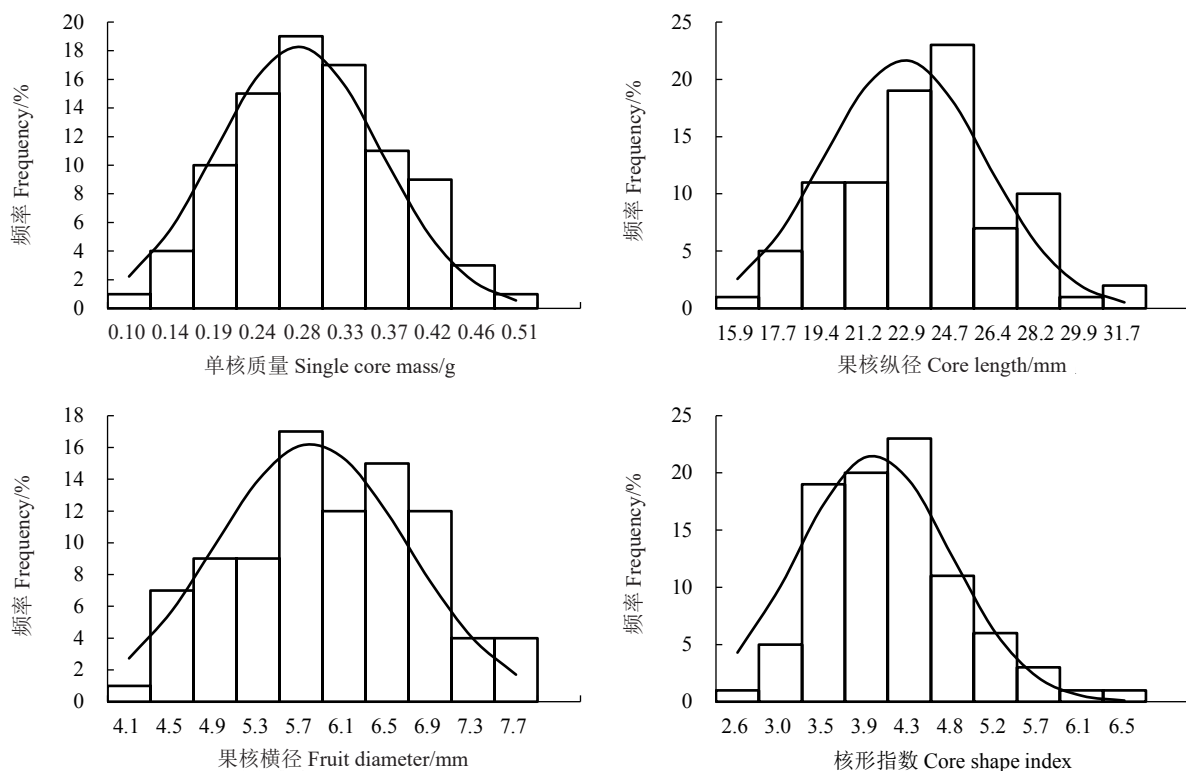
图 3 F₁代果核性状频数分布直方图Fig. 3 Histogram of frequency distribution of F₁ generation kernel traits

表7 F₁代果核大小的遗传变异分析Table 7 Analysis of genetic variation in kernel size of F₁ generation

性状 Traits	平均值 Mean		中亲 值 V_{MP}	F ₁			变异 系数 CV/%	超高 亲率 HH/%	低低 亲率 L/%	中亲 优势率 $R_{int}/\%$	遗传 传递力 Ta/%	峰度 Kurtosis	偏度 Skewness
	JMS2	J5		平均值± 标准差 Mean±SD	最小值 Min	最大值 Max							
单核质量 Single kernel mass/g	0.12	0.31	0.22	0.28±0.09	0.10	0.51	31.53	34.07	3.30	28.81	128.81	-0.14	0.27
果核纵径 Kernel length/mm	20.39	26.86	23.62	22.72±3.29	15.93	31.70	14.52	9.89	24.18	-3.81	96.22	0.17	0.29
果核横径 Kernel diameter/mm	5.99	5.78	5.89	5.81±0.89	4.14	7.69	15.25	45.05	50.55	-1.29	98.71	-0.55	0.10
核形指数 Kernel shape index	3.40	4.65	4.03	3.99±0.77	2.60	6.53	19.39	17.58	24.18	-0.98	99.02	1.23	0.86

个体中存在较为广泛的分离。其中单核质量变异系数最大,为31.53%;果核纵径变异系数最小,为14.52%。单核质量的中亲优势率是正值,果核纵径、果核横径的中亲优势率均为负值,F₁代平均值均小于亲中值,故推测果核纵径、果核横径在子代中趋低遗传。但在F₁代群体中果核性状有超高亲植株出现,其中单核质量的超高亲率最高,为34.07%,其性

状在F₁代具有明显的杂种优势;而果核纵径的超高亲率最低,为9.89%,其性状在F₁代的杂种优势不明显。

2.2 F₁代果实性状的相关性分析

JMS2×交城5号杂交F₁代果实和果核大小及果实可食率等9个性状的相关性分析结果(表8)表明,单果质量与果实纵径、果实横径存在极显著

表8 F₁代果实和果核大小及果实可食率性状的相关性分析Table 8 Correlation analysis of fruit and kernel size and fruit edibility traits in F₁ generation

性状 Traits	SFW	FL	FD	FSI	SKW	KL	KD	KSI	ER
SFW	1.000								
FL	0.761**	1.000							
FD	0.884**	0.538**	1.000						
FSI	-0.021	0.578**	-0.371**	1.000					
SKW	0.480**	0.447**	0.405**	0.092	1.000				
KL	0.571**	0.677**	0.446**	0.304**	0.518**	1.000			
KD	0.372**	0.217*	0.367**	-0.114	0.755**	0.185	1.000		
KSI	0.165	0.350**	0.069	0.313**	-0.223*	0.618**	-0.644**	1.000	
ER	0.473**	0.332**	0.463**	-0.076	-0.455**	0.063	-0.357**	0.344**	1.000

注:**在0.01级别(双尾),相关性显著;*在0.05级别(双尾),相关性显著。SFW.单果质量;FL.果实纵径;FD.果实横径;FSI.果形指数;SKW.单核质量;KL.果核纵径;KD.果核横径;KSI.核形指数;ER.可食率。

Note: ** Significant correlation at the 0.01 level (two-tailed); * Significant correlation at the 0.05 level (two-tailed). SFW. Single fruit mass; FL. Fruit length; FD. Fruit diam; FSI. Fruit shape index; SKW. Single kernel weight; KL. Kernel length; KD. Kernel diam; ER. Edible rate.

的正相关关系,且相关系数均在0.700以上,说明以上性状具有较强相关性;果实纵径与果实横径、果形指数具有显著的正相关关系,而果实横径与果形指数具有极显著的负相关关系。在果核大小性状的相关性分析结果中看出,单核质量与果核纵径、果核横径存在极显著的正相关关系;果核纵径与核形指数存在极显著的正相关关系,而果核纵径与核形指数存在极显著的负相关关系。在果

实大小与果核大小性状相关性分析结果中看出,果实的单果质量、果实纵径、果实横径分别与单核质量、果核纵径、果核横径存在极显著的正相关关系,其中果实纵径与果核纵径的相关系数最高,为0.677;果形指数与果核纵径、核形指数具有极显著的正相关关系,同时核形指数与果实纵径也存在极显著的正相关关系。在可食率与果实大小、果核大小性状相关性的分析结果中看出,可食率与

单果质量、果实纵径、果实横径存在极显著正相关关系,而与单核质量、果核纵径、核形指数存在极显著负相关关系。

从 F_1 代果实营养性状相关性分析结果(表9)可以看出,果实的可溶性糖与有机酸含量存在显著正

表9 F_1 代果实营养指标的相关性

Table 9 Correlation of nutritional indicators of F_1 generation fruits

指标Item	SSR	OA	SSS	Vc
SSR	1.000			
OA	0.226*	1.000		
SSS	0.523**	0.031	1.000	
Vc	0.189	-0.087	0.271*	1.000

注:**. 在0.01级别(双尾),相关性显著;* . 在0.05级别(双尾),相关性显著。SSR. 可溶性糖含量;OA. 有机酸含量;SSS. 可溶性固形物含量;Vc: 维生素C含量。

Note: **. Significant correlation at the 0.01 level (two-tailed); *. Significant correlation at the 0.05 level (two-tailed). SSR. Soluble sugar content; OA. Organic acid content; SSS. Soluble solids content; Vc. Vitamin C content.

相关关系;可溶性糖与可溶性固形物含量存在极显著正相关关系;可溶性固形物与维生素C含量存在显著正相关关系。

2.3 F_1 代果实品质的综合评价

笔者在本研究中利用等权和加权灰色关联度分析法对果实的单果质量、可溶性糖含量、有机酸含量、维生素C含量、可食率以及综合口感6个重要性状进行初步综合评价。在选取的果实品质性状中有机酸含量采用平均值,其他性状均采用最高值作为果实品质的“理想类型”构造数据。根据不同性状的重要程度以及变异程度分别给予权重值,依次是0.20、0.25、0.15、0.10、0.05、0.25。在 F_1 代中筛选出了性状表现优良的5个优系(表10),分别是J20、J47、J52、J56、J93,其加权关联度依次是1.297、0.842、0.989、0.681、0.717。加权关联度结合筛选出 F_1 代的5个优株果实品质性状的表现见表11,可以看出J20作为鲜食优系时,果实的综合品质表现要优于父母本和其他子代,筛选出的优系果实见图4。

表10 F_1 代的优株果实灰色关联加权系数

Table 10 Grey correlation weighting coefficients of fruit of superior plants fruit in F_1 generation

品种名称 Breed name	单果质量 Single fruit mass	可溶性糖含量 Soluble sugar content	有机酸含量 Organic acid content	维生素C含量 Vitamin C content	可食率 Edible rate	口感 Taste	加权关联度 Weighted correlation	排序 Rank
J20	0.067	0.302	0.103	0.054	0.754	0.017	1.297	1
J47	0.117	0.523	0.120	0.017	0.039	0.027	0.842	3
J52	0.078	0.754	0.099	0.016	0.035	0.007	0.989	2
J56	0.103	0.106	0.112	0.302	0.041	0.017	0.681	5
J93	0.073	0.397	0.137	0.018	0.073	0.019	0.717	4

表11 F_1 代的优株及亲本果实性状指标

Table 11 Indexes of fruit traits of superior plants and parents of F_1 generation

品种名称 Breed name	单果质量 Single fruit mass/g	w(可溶性糖) Soluble sugar content/%	w(有机酸) Organic acid content/%	w(维生素C) Vitamin C content/ (mg·g ⁻¹)	可食率 Edible rate/%	口感Taste
J20	4.89	36.11	0.60	4.36	97.68	酥脆、汁液多、果肉细、味酸甜 Crisp, Juicy, Delicate, Sweet and sour taste
J47	16.89	37.02	0.54	2.62	98.19	致密、汁液少、果肉中、味甜 Compact, Less juice, Intermediate, Sweet taste
J52	8.90	37.41	0.33	2.56	95.62	致密、汁液少、果肉中、味甜 Compact, Less juice, Intermediate, Sweet taste
J56	14.83	32.09	0.37	5.00	97.71	较致密、汁液中、果肉中、味酸甜 Intermediate, Juice medium, Intermediate, Sweet and sour taste
J93	7.42	36.62	0.50	2.84	97.79	较致密、汁液中、果肉细、味酸甜 Intermediate, Juice medium, Delicate, Sweet and sour taste
JMS2(母本) (Female parent)	11.53	25.51	0.36	2.40	98.17	酥脆、汁液中、果肉细、味甜 Crisp, Juice medium, Delicate, Sweet taste
J5(父本) (Male parent)	18.33	34.26	0.68	4.40	98.31	较致密、汁液中、果肉中、味酸甜 Intermediate, Juice medium, Intermediate, Sweet and sour taste

图4 F₁代优选单株及父母本果实Fig. 4 Preferred single in F₁ generation and parental fruits

3 讨论

3.1 F₁代果实成熟期与描述型性状的遗传变异分析

果实外观和口感是影响消费者购买的主要因素,研究果实外观和内在的描述型性状遗传特点,对于选育外观好、口感佳、商业价值高的优良品系具有重大意义,因此笔者对JMS2×交城5号的F₁代果实外观和内在的描述型性状进行遗传变异分析,调查发现13个果实描述型性状出现了40个性状分离,说明杂交F₁代描述型性状变异丰富,具有选育优良枣种质的潜力。其中F₁代的果实形状、果实颜色、果肩形状、果顶形状、果点密度、柱头状态、果面光滑度、果实质地8个描述型性状占比最多的表型与父本的表型一致,推测该性状更倾向于父本遗传。而果点大小、果皮厚度、果肉颜色、果实汁液、果肉粗细等5个描述型性状占比最多的表型同两亲本表型一致,表明这些性状呈现的分离比例较低,F₁代性状表现多与亲本一致。果实成熟期是果实性状的重要指标,本研究发现,F₁代群体果实的成熟期多数接近两亲本,这一研究结果与刘振中等^[23]在苹果上研究结果相似,但就两亲本而言,F₁代植株主要与父本成熟期相近,果实成熟期倾向父本遗传,推测在枣树上父本的果实成熟期具有较强的遗传力,但还需不同枣群体进一步验证。

研究发现枣F₁代果实描述型性状及成熟期会出现不同程度分离,但多数性状出现明显的偏父本遗传,父本的性状对杂交F₁群体影响更大,因此,在今后的枣杂交育种亲本选配工作中,应加强父本的选择和选配,选择果实大小、果实形状、果实质地和果面光滑度等性状优良的父本进行选配,进而获得符合选育目标的大量变异类型,提高育种工作效率。

同时,研究中发现F₁代枣果实的果肩形状和柱

头状态2个描述型性状的分离比例符合孟德尔遗传规律,推测可能是受一对或少数几对基因控制的质量性状。结合柱头状态在父母本上的表现型和在子代中的分离情况进一步推测,该性状在受显隐性基因控制的杂合体中柱头状态表现为残存,完全显性或隐性基因的柱头状态表现为宿存或脱落,但具体是显性还是隐性基因控制还有待进一步研究。

3.2 F₁代果实品质数值型性状的遗传变异分析

枣树遗传背景复杂,基因高度杂合^[6],故在杂交后代中,会出现微效多基因分离,也会出现隐性或多微效基因组合,即形成基因的加性和非加性效应,能表现出某些优良性状,但劣变率普遍较高。笔者在本研究中通过对JMS2×交城5号的F₁代枣果实大小、果实可食率、果实营养品质、果核大小等13个数值型果实品质性状调查分析,发现在F₁代中均呈现连续变异,表现出多基因控制的数量性状特征,这与谢欢等^[15]对冬枣×金丝4号杂交后代的研究结果相似,且在枇杷^[24]、苹果^[25]、葡萄^[26]等果树上也有相似规律。果实品质性状呈正态分布或偏正态分布,推测可能由于杂交育种过程非加性效应解体,以及栽培过程中气候与环境条件等外界因素的影响。F₁代枣果实大小性状、果实可食率、果实营养品质、果核大小等13个果实性状变异系数在0.85%~32.27%之间,说明其F₁代的果实性状能广泛分离,其中单果质量变异系数最大,各性状均表现不同程度的离散分布,部分株系出现超亲极端值,这一现象有利于从杂交F₁代群体中筛选出优异种质资源^[27-30]。F₁代果实的可溶性固形物含量和单核质量的均值高于中亲值,杂种优势率均为正值,分别为5.56%、28.81%;且F₁代均有超高亲植株出现,超高亲率分别为16.67%、34.07%,表现出趋高遗传倾向和较强杂种优势。可溶性固形物含量的趋高变异意味着更容易选育高可溶性固形物含量品种,本研究结果与谢欢

等^[15]在冬枣×金丝4号的枣杂交后代中的可溶性固形物含量遗传倾向相同,但单核质量遗传倾向研究结果与之表现出差异,推测是由于不同的杂交群体性状间的遗传规律存在一定相似性和差异性,故仍需要用不同的杂交群体去揭示枣的遗传变异规律。除上述两个性状外,其他果实大小、果实可食率、果实营养品质、果核大小等性状均表现出趋小变异,这一现象主要是由这些性状均受微效多基因控制、亲本品种均具有基因累加效应和互作效应、随着有性过程非加性效应解体而导致的,在其他果树上也有相似的报道^[26-27]。

3.3 F₁代果实性状综合评价与优系筛选

果实品质是由众多果实性状相互作用的结果,而果实性状形成是多基因控制的数量性状和多种因素相互作用的结果。笔者通过对果实大小、果实可食率、果实营养品质、果核大小等果实性状的相关性分析,发现果实大小与果核大小性状间存在极显著正相关性,说明枣果实越大,果核越大;可食率与果实大小性状呈极显著正相关性,与果核大小呈极显著负相关;可溶性糖与有机酸含量显著正相关,与可溶性固形物含量极显著正相关,这一结果与前人研究结果一致^[15-16]。利用JMS2×交城5号的F₁代获得的多个果实品质性状指标对其果实品质进行综合评价,评价结果会因信息重叠而出现偏差。而采用灰色关联度分析法对鲜食枣果实品质进行分析,可以摆脱果实品质指标多、选择难的问题,达到全面评价的目的。目前张梅等^[31]和李慧等^[21]分别对骏枣和鲜食枣种质应用灰色关联分析法进行筛选并取得了较好效果。笔者在本研究中参照枣树鲜食品种的育种目标,利用灰色关联分析法,选取6个对果实品质较为重要的性状指标,筛选出5个综合性状优良的优系,分别是J20、J47、J52、J56、J93,其中J20鲜食的果实品质表现要明显优于其他子代,可作为鲜食品种选育,而其他4个优系可以考虑作为干鲜兼制品种选育。笔者通过果实性状评价分析,初步筛选出5个果实品质综合性状表现优良的种质,但影响枣果实品质的性状还有很多,后续将会增加制干品种评价指标和其他影响枣优株综合评价的指标,以期加快新种质筛选进程。

4 结 论

本研究结果表明,杂交F₁代果实成熟期倾向父本

遗传,且26个果实品质性状均呈现不同程度性状分离。其中果实形状、果实颜色、果实质地等8个描述型性状倾向父本遗传;果肩形状和柱头状态2个性状均可能是受一对或少数几对基因控制的质量性状。果实大小和果核大小、可食率及果实内在品质等13个数值型性状为多基因控制的数量性状。初步筛选出5个综合品质表现优良的株系。

参考文献 References:

- [1] 刘孟军,王玖瑞,刘平,赵锦,赵智慧,代丽,李宪松,刘志国. 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 Mengjun, WANG Jiurui, LIU Ping, ZHAO Jin, ZHAO Zhihui, DAI Li, LI Xiansong, LIU Zhiguo. Historical achievements and frontier advances in the production and research of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba*) in China[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2015, 42(9): 1683-1698.
- [2] LIU M J, WANG J R, WANG L L, LIU P, ZHAO J, ZHAO Z H, YAO S R, STĂNICĂ F, LIU Z G, WANG L X, AO C W, DAI L, LI X S, ZHAO X, JIA C X. The historical and current research progress on jujube—a superfruit for the future[J]. Horticulture Research, 2020, 7(1): 119.
- [3] 毕金峰,于静静,白沙沙,王沛,丁媛媛. 国内外枣加工技术研究现状[J]. 农产品加工(学刊), 2010(2): 52-55.
BI Jinfeng, YU Jingjing, BAI Shasha, WANG Pei, DING Yuanyuan. Research status of jujube processing technology at home and abroad[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2010(2): 52-55.
- [4] 郭盛,段金殿,唐于平,钱大玮. 中国枣属药用植物资源化学研究进展[J]. 中国现代中药, 2012, 14(8): 1-5.
GUO Sheng, DUAN Jin'ao, TANG Yuping, QIAN Dawei. Progress on resource chemistry of the medicinal plants in genus *Ziziphus*[J]. Modern Chinese Medicine, 2012, 14(8): 1-5.
- [5] 刘孟军,王玖瑞. 新中国果树科学研究70年:枣[J]. 果树学报, 2019, 36(10): 1369-1381.
LIU Mengjun, WANG Jiurui. Fruit scientific research in New China in the past 70 years: Chinese jujube[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(10): 1369-1381.
- [6] 马庆华,续九如,王贵禧,姚立新. 枣树杂交育种研究进展[J]. 中国农学通报, 2008, 24(11): 174-178.
MA Qinghua, XU Jiuru, WANG Guixi, YAO Lixin. Progress on hybrid breeding of Chinese jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(11): 174-178.
- [7] 刘孟军,王玖瑞,刘平,林敏娟,肖京,刘志国,孙学超. 枣树免去雄杂交育种的设计与实践[J]. 园艺学报, 2014, 41(7): 1495-1502.
LIU Mengjun, WANG Jiurui, LIU Ping, LIN Minjuan, XIAO Jing, LIU Zhiguo, SUN Xuechao. Design and practice of emasculation-free cross breeding in Chinese jujube[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2014, 41(7): 1495-1502.

- [8] 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]. 保定:河北农业大学,2017.
YAN Fenfen. Establishment of technical system for large-scale hybrid creation of jujube and genetic analysis of important characters[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2017.
- [9] 杨植,张川疆,王振磊,闫芬芬,吴翠云,王玖瑞,刘孟军,林敏娟. 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 Zhi, ZHANG Chuanjiang, WANG Zhenlei, YAN Fenfen, WU Cuiyun, WANG Jiurui, LIU Mengjun, LIN Minjuan. Segregation and genetic mixing analysis of flower traits in the F₁ progeny of *Z. jujuba* Mill. × *Z. acido jujuba* Cheng et Liu[J]. Molecular Plant Breeding, 2023, 21(1): 231-242.
- [10] 鲍荆凯,王艳,潘依玲,卢登洋,闫芬芬,吴翠云. 枣杂交后代叶片表型性状的遗传规律分析[J/OL]. 分子植物育种, 2021: 1-17. [2021-12-31]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.s.20211231.0928.006.html>.
BAO Jingkai, WANG Yan, PAN Yiling, LU Dengyang, YAN Fenfen, WU Cuiyun. Analysis of inheritance of leaf phenotypic characters in jujube hybrid progeny[J/OL]. Molecular Plant Breeding, 2021: 1-17. [2021-12-31]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20211231.0928.006.html>.
- [11] 仇倩倩,夏怡蕾,鲍荆凯,闫敏,杨植,王程成,闫芬芬,吴翠云. 基于叶片表型性状的枣杂交 F₁ 代遗传规律分析[J/OL]. 分子植物育种, 2021: 1-22. [2021-11-22]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20211122.1348.004.html>.
QIU Qianqian, XIA Yilei, BAO Jingkai, YAN Min, YANG Zhi, WANG Chengcheng, YAN Fenfen, WU Cuiyun. Study on the genetic law of jujube hybrid F₁ generation based on leaf phenotypic traits[J/OL]. Molecular Plant Breeding, 2021: 1-22. [2021-11-22]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20211122.1348.004.html>.
- [12] 齐靖,董祯,申连英,毛永民,李艳辉,刘杰,王晓玲. 枣针刺长度的数量性状位点定位与分析[J]. 园艺学报, 2009, 36(6): 807-813.
QI Jing, DONG Zhen, SHEN Lianying, MAO Yongmin, LI Yanhui, LIU Jie, WANG Xiaoling. Analysis of QTL for needle length in Chinese jujube[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2009, 36(6): 807-813.
- [13] 仇倩倩. ‘JMS2’×‘邢16’杂交后代高密度遗传图谱构建及果实大小相关性状的 QTL 定位[D]. 阿拉尔:塔里木大学,2021.
QIU Qianqian. High-density genetic map construction and QTL mapping of fruit size-related traits of ‘JMS2’ × ‘Xing16’ population[D]. Alar: Tarim University, 2021.
- [14] 夏怡蕾. ‘JMS2’×‘邢16’杂交后代糖酸性状遗传规律及品质性状 QTL 定位[D]. 阿拉尔:塔里木大学,2022.
XIA Yilei. Genetic law of sugar and acid traits and QTL mapping of quality traits in Chinese jujube hybrid progenies[D]. Alar: Tarim University, 2022.
- [15] 谢欢,王中堂,李明玥,李新岗. 枣杂交后代果实性状遗传分析[J]. 经济林研究, 2022, 40(2): 125-134.
XIE Huan, WANG Zhongtang, LI Mingyue, LI Xingang. Genetic analysis of fruit characters in hybrid progeny of Chinese jujube[J]. Non-Wood Forest Research, 2022, 40(2): 125-134.
- [16] 袁野,胡兰,刘平,刘孟军. ‘蜂蜜罐’枣实生后代果实性状变异分析与评价[J]. 植物遗传资源学报, 2018, 19(3): 539-545.
YUAN Ye, HU Lan, LIU Ping, LIU Mengjun. Evaluation of fruit character in naturally-pollinated progeny of *Ziziphus jujuba* Mill. ‘Fengmiguang’ [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2018, 19(3): 539-545.
- [17] 王玖瑞,刘玲,刘孟军,周俊义. 枣树雄性不育新种质的获得[J]. 园艺学报, 2006, 33(2): 374-377.
WANG Jiurui, LIU Ling, LIU Mengjun, ZHOU Junyi. Acquisition of new male sterile germplasm of Chinese jujube[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2006, 33(2): 374-377.
- [18] 肖京,杨艳荣,赵锦,刘孟军. 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 Jing, YANG Yanrong, ZHAO Jin, LIU Mengjun. 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.
- [19] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社, 2006: 144-147.
GAO Junfeng. Experimental guidance for plant physiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006: 144-147.
- [20] 李军. 钼蓝比色法测定还原型维生素 C[J]. 食品科学, 2000, 21(8): 42-45.
LI Jun. Study on molybdenum blue method of L-VC test by spectrometry[J]. Food Science, 2000, 21(8): 42-45.
- [21] 李慧,魏天军. 基于主成分和灰色关联度分析的鲜食枣果实品质评价[J]. 经济林研究, 2021, 39(1): 60-67.
LI Hui, WEI Tianjun. Evaluation of fruit quality of fresh-eating jujube based on principal component and gray correlation analysis[J]. Non-Wood Forest Research, 2021, 39(1): 60-67.
- [22] 刘畅,张经常,唐斯旸,黄烁,冯章丽,卜海东,顾广军,张武杰,于文全,刘延杰,叶万军. 秋子梨杂种后代叶片性状的遗传倾向研究[J]. 中国果树, 2019(5): 35-40.
LIU Chang, ZHANG Jingchang, TANG Siyang, HUANG Shuo, FENG Zhangli, BU Haidong, GU Guangjun, ZHANG Wujie, YU Wenquan, LIU Yanjie, YE Wanjuan. Study the genetic tendency of leaf traits in hybrid progeny of *Pyrus ussunensis*[J]. China Fruits, 2019(5): 35-40.
- [23] 刘振中,樊红科,高华,赵政阳. 苹果杂交后代果实性状遗传变异分析[J]. 北方园艺, 2012(5): 5-8.
LIU Zhenzhong, FAN Hongke, GAO Hua, ZHAO Zhengyang. Analysis on the genetic variation of fruit characters in apple hybrids[J]. Northern Horticulture, 2012(5): 5-8.
- [24] 赵崇斌,郭乙含,李舒庆,徐红霞,黄天启,林顺权,陈俊伟,杨向晖. 宁海白×大房枇杷 F₁ 杂交群体果实性状的相关性及遗传分析[J]. 果树学报, 2021, 38(7): 1055-1065.
ZHAO Chongbin, GUO Yihan, LI Shuqing, XU Hongxia,

- HUANG Tianqi, LIN Shunquan, CHEN Junwei, YANG Xianghui. Correlation and genetic analysis of fruit traits in F₁ hybrid population of loquat generated from Ninghaibai × Dafang[J]. Journal of Fruit Science, 2021, 38(7): 1055-1065.
- [25] 刘志, 伊凯, 王冬梅, 杨巍, 杨锋, 张景娥. 富士杂交代果实内在品质性状的遗传[J]. 果树学报, 2004, 21(2): 95-102.
- LIU Zhi, YI Kai, WANG Dongmei, YANG Wei, YANG Feng, ZHANG Jing'e. Studies on the fruit internal characteristics inheritance trends of Fuji apple variety crossed progenies[J]. Journal of Fruit Science, 2004, 21(2): 95-102.
- [26] 刘政海, 董志刚, 李晓梅, 谭敏, 杨镭兆, 杨兆亮, 唐晓萍. '威代尔'与'霞多丽'葡萄杂交 F₁ 代果实性状遗传倾向分析[J]. 果树学报, 2020, 37(8): 1122-1131.
- LIU Zhenghai, DONG Zhigang, LI Xiaomei, TAN Min, YANG Rongzhao, YANG Zhaoliang, TANG Xiaoping. Inheritance trend of fruit traits in F₁ progenies of 'Vidal' and 'Chardonnay' of grape[J]. Journal of Fruit Science, 2020, 37(8): 1122-1131.
- [27] 白冰. 砂梨种质资源的调查与杂交代果实性状的遗传特性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2017.
- BAI Bing. Evaluation of *Pyrus pyrifolia* germplasm and the inheritance of fruit traits in pear crossing progenies[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2017.
- [28] 武晓红, 景晨娟, 陈雪峰, 赵习平, 袁立勇, 梁爽, 张宪成, 唐焕英, 李立颖. '金太阳'与'串枝红'杏正反交后代果实性状的遗传倾向研究[J]. 江西农业学报, 2018, 30(10): 13-18.
- WU Xiaohong, JING Chenjuan, CHEN Xuefeng, ZHAO Xiping, YUAN Liyong, LIANG Shuang, ZHANG Xiancheng, TANG Huanying, LI Liying. Studies on genetic tendency of fruit characters in F₁ generation of reciprocal crosses between apricot cultivars 'Jintaiyang' and 'Chuanzhihong' [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2018, 30(10): 13-18.
- [29] 陆琦文. 枣实生后代主要性状遗传变异分析及优异种质筛选[D]. 阿拉尔: 塔里木大学, 2020.
- LU Qiwen. Genetic variation analysis and excellent germplasm screening of jujube seedlings[D]. Alar: Tarim University, 2020.
- [30] CHO K H, HUR Y Y, NAM J C, PARK S J, KIM S H, HAN J H, LEE H C, JO S H. Evaluation of major fruit traits in progenies derived from a cross between 'Tano Red' and 'Ruby Seedless' grapevines (*Vitis* spp.) [J]. Korean Journal of Breeding Science, 2017, 49(4): 324-333.
- [31] 张梅, 王利娜, 王姝婧, 杨智鹏, 马路婷, 刘伟峰, 魏喜喜, 李建贵. 基于层次-关联度的新疆骏枣品质性状分析及综合评价[J]. 中南林业科技大学学报, 2022, 42(1): 78-85.
- ZHANG Mei, WANG Lina, WANG Shujing, YANG Zhipeng, MA Luting, LIU Weifeng, WEI Xixi, LI Jianguai. Analysis and comprehensive evaluation of Xinjiang Jun jujube quality by hierarchy-relation analysis[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2022, 42(1): 78-85.