刘雅茹,张璐,叶浩佳,等.欧李'农大7号'和'DS-1'杂交F1代果实性状的遗传变异分析[J].山西农业大学学报(自然科学版),2025,45(1):41-51.
Liu Y R, Zhang L, Ye H J, et al.Genetic variation analysis of fruit traits in F1 generation of *Cerasus humilis* 'Nongda 7'×'DS-1' hybrids[J].Journal of Shanxi Agricultural University(Natural Science Edition), 2025,45(1):41-51.
doi: 10.13842/j.cnki.issn1671-8151.202405008

欧李'农大7号'和'DS-1'杂交F1代果实性状的遗传变异分析

刘雅茹,张璐,叶浩佳,王辰怡,穆霄鹏,张帅,张建成,王鹏飞*

(山西农业大学 园艺学院,山西 晋中 030801)

摘 要:[目的]探究欧李杂交后代果实主要品质性状的遗传变异规律,筛选低酸低涩优良株系。[方法]创制了'农大7号'和'DS-1'正交和反交群体,测定了F1代果实可滴定酸、可溶性固形物、单宁、单果重、果实硬度等品质性状指标,进行遗传变异分析。采用赋值法将果实性状各指标进行量化,进行聚类分析。[结果]杂交后代可溶性固形物、可滴定酸、单宁、单果重、果形指数、果实硬度等均存在较大程度的分离。杂交后代果实可溶性固形物、可滴定酸、固酸比、单宁整体表现为偏高亲遗传倾向,果形指数表现为趋中偏低的遗传倾向,单果重表现为偏低亲遗传的倾向,果实硬度表现为明显的趋中遗传倾向。'DS-1'×'农大7号'后代固酸比、可滴定酸、单宁、单果重、果实硬度变异系数分别为26.71%、27.03%、32.35%、32.32%、20.83%,分离较为广泛,选择潜力较大。正交和反交后代可溶性固形物变异系数分别为13.15%、16.34%,选择潜力较小。杂交后代果实硬度、可溶性固形物、可滴定酸、单宁优势率均为正值,具有一定的杂种优势。[结论]杂交后代果实酸度和涩度表现为明显的母性遗传特性,低酸亲本作为母本,后代更容易筛选出鲜食品质优良的变异单株。通过组间连接法进行聚类分析,从'DS-1'×'农大7号'后代中筛选出7个低酸低涩优良株系。

关键词:欧李; 杂交; 可滴定酸; 可溶性固形物; 单宁; 遗传
中图分类号:S662.5 **文献标识码**:A **文章编号**:1671-8151(2025)01-0041-11

Genetic variation analysis of fruit traits in F1 generation of *Cerasus humilis* 'Nongda 7'×'DS-1' hybrids

Liu Yaru, Zhang Lu, Ye Haojia, Wang Chenyi, Mu Xiaopeng, Zhang Shuai, Zhang Jiancheng, Wang Pengfei*

(*College of Horticulture Science, Shanxi Agricultural University, Jinzhong 030801, China*)

Abstract:[Objective]This study aimed to investigate the genetic variation patterns of key fruit quality traits in Cerasus humilis hybrid offspring and identify low-acid and low-astringency superior strains within the hybrid population.[Methods]Orthogonal and reciprocal hybrid populations were established using 'Nongda 7' and 'DS-1' as parent varieties. Fruit quality traits, including titratable acidity, soluble solids, tannins, single fruit weight, and fruit hardness, were evaluated to analyze genetic variation.[Results]Significant segregation was observed in soluble solids, titratable acidity, single fruit weight, fruit shape index, and fruit hardness among the hybrid offspring. Traits such as soluble solids, titratable acidity, acid ratio, and tannins exhibited a tendency toward inheritance from higher-value parental traits, while fruit shape index tended toward lower-value inheritance. Single fruit weight showed a tendency toward lower parental inheritance, and fruit hardness displayed intermediate inheritance. The coefficients of variation of acid ratio, titratable acidity, tannins, single fruit weight, and fruit hardness in the 'DS-1'×

收稿日期:2024-05-09 **修回日期**:2024-07-10
基金项目:山西农业大学生物育种工程(YZGC108);科技部高端外国专家引进计划(G2022004008L)
作者简介:刘雅茹(ORCID:0009-0004-1641-0976),硕士研究生,研究方向:果树种质创新与利用,E-mail:1198480397@qq.com
*通信作者:王鹏飞(ORCID:0009-0000-3748-3024),博士,教授,硕士生导师,E-mail:pengfeiwang2004@163.com

'Nongda 7' offspring were 27.81%, 28.39%, 32.25%, 39.2%, and 20.49% respectively, indicating broad segregation and high selection potential. Soluble solids exhibited lower variation, 13.15% and 16.34% in orthogonal and reciprocal offspring, respectively, suggesting limited selection potential. Positive hybrid vigor was observed in traits such as fruit hardness, soluble solids, titratable acidity, and tannins, reflecting certain hybrid advantages. [Conclusion] The acidity and astringency of the hybrid offspring exhibited clear maternal genetic influence, making the use of a low-acid parent as the maternal line advantageous for selecting superior variant for fresh consumption. By quantifying fruit traits through an assignment method and applying cluster analysis, seven low-acid and low-astringency superior lines were identified in the 'DS-1' × 'Nongda 7' offspring.

Keywords: *C. humilis*, Hybridization, Titratable acids, Soluble solids, Tannin, Heredity

欧李(*Cerasus humilis*)为蔷薇科樱桃属矮生樱桃亚属落叶灌木,作为我国特色野生果树资源,植株有较强的抗寒和抗旱能力,开发利用前景广阔[1]。近30年来,各地学者在欧李种质资源、生物学特性、育种、栽培及食品开发等方面进行了系统研究[2-3],将其从野生状态驯化成一种新的栽培果树。自2003年以来,各地研究机构已选育了19个欧李品种,因这些品种果实酸度仍然偏高,主要作为加工原料。选育低酸低涩鲜食品种是目前欧李育种的重要目标。

近年来欧李育种进入了杂交育种阶段,基于创建的杂交组合,开展了欧李果实糖酸等品质性状的遗传规律研究。'农大4号'与'DS-1'杂交后代的可溶性固形物值均低于亲中值,呈连续变异[4]。张瑜等[5]创制了多个杂交组合,开展遗传分析,发现'农大6号'与'农大7号'杂交后代、'DS-1'与'Y03-09'杂交后代糖酸含量均集中在双亲之间,'DS-1'与'99-02'杂交后代糖酸含量均呈连续变异,糖含量多集中在高糖领域,酸含量均集中在中高酸区间。此外,张瑜[6]测定了206份欧李种质可滴定酸含量,按照酸含量值0.39的梯度,人工将欧李种质的酸度分为5类:低酸型(TAC值0.50%~0.89%),中低酸型(TAC值0.90%~1.29%),中酸型(TAC值1.30%~1.69%),高酸型(TAC值1.70%~2.09%),超高酸型(TAC值≥2.10%)。

徐豆等[7-8]分析了'DS-1'×'99-02','02-16'×'DS-1'欧李正、反交F1代果实及其亲本外观性状、果实色泽、类黄酮等的遗传变异情况,发现2个正反交杂交组合的可溶性固形物含量、可滴定酸含量、类黄酮含量遗传传递力均小于100%,表现为衰退变异。总体看,前人的研究对果实品质进行了遗传规律的分析,研究结果为后续杂交育种提供了参考依据。

近年来本课题组依托丰富的种质资源,创制了多个杂交组合,进行品种改良。欧李'农大7号'[9]是2010年审定的优良品种,属于中低酸品种,涩味轻,可少量鲜食,主要作为果汁、果脯等加工原料。品系'DS-1'是本课题组收集到的一个低酸品系,特点是酸涩度低、长势较强,但果个小,肉质较软(表1)。在综合评价的基础上,获得'农大7号'和'DS-1'杂交后代共576株,目的是筛选出低酸低涩鲜食优良株系,同时研究主要性状遗传变异规律。

1 材料与方法

1.1 试验材料

杂交苗定植于山西省晋中市太谷区山西农业大学欧李育种试验基地。2020年4月,以'农大7号'和'DS-1'为亲本相互杂交授粉,杂交种层积处理后于2021年3月中旬播种,2021年11月杂交苗出圃移栽,正交('农大7号'×'DS-1')192株,反

表1 亲本性状对比表

Table 1 Comparison table of parental traits

材料名称 Material name	单果重/g Single fruit weight	可食率/% Edible rate	果形指数 Fruit shape index	果实硬度 Fruit firmness	可溶性固形物/% Soluble solids	可滴定酸/% Titratable acids	固酸比 Solid-acid ratio	单宁含量/% Tannin content
'农大7号' 'Nongda 7'	9.85	94.8	1.30	11.40	9.90	1.27	7.79	0.22
'DS-1'	4.55	93.1	1.10	4.70	12.60	0.58	21.82	0.25

交(‘DS-1’×‘农大7号’)384株,按照株行距0.4 m×0.6 m定植,栽植后平茬。按欧李栽培技术规程实施田间常规管理,2022年每株杂交苗培养2～3个结果预备枝,2023年杂交苗成串结果,可正常进行果实性状的评价。2023年,结果正常且满足观测条件的杂交苗,‘农大7号’×‘DS-1’F1代67株,‘DS-1’×‘农大7号’F1代179株,从7月中旬开始,每隔3 d观测果实成熟情况,将各单株成熟的果实采回,采回后的果实对鲜果进行单果重、果实硬度、果实横纵径、可溶性固形物含量、可滴定酸含量的测定,将磨成浆的果实放入-40 ℃冰箱保存,进行后续单宁指标的测定。其中,单果重、横纵径、果实硬度指标的测量包括果肉和种子部分;对可溶性固形物含量、可滴定酸含量、单宁含量的测定只包括果肉部分。

1.2　果实性状测定

1.2.1　果实可滴定酸测定

每个后代植株取20～30个果实,每个果实切取小块果肉(带果皮),混匀后采用四分法切割,将果肉全部放入榨汁机中磨成浆,称取5.0 g样品,采用氢氧化钠滴定法,重复滴定3次,计算公式为:

$$可滴定酸(\%)=\frac{V}{m}\times\frac{V2\times c}{V1}\times100\times0.067$$

式中:V—样品提取液总体积(mL);$V1$—滴定时取样液体积(mL);$V2$—消耗氢氧化钠标准液体积(mL);c—氢氧化钠标准液浓度(mol/L);m—样品质量(g)。

1.2.2　果实单宁含量测定

取样方法同1.2.1,采用Folin-Ciocalteu试剂法[10],结果以用单宁作标准曲线表示。

1.2.3　果实硬度、可溶性固形物测定

每株后代选取15个果实,利用GY-1硬度计测量果实硬度,每次选取5个果实,重复3次。每株后代选取15个果实,利用LH-T32型号手持式折光仪测定可溶性固形物,每次选取5个果实,重复3次。

1.2.4　单果重、核重和横纵径测定

每株后代选取10个果实,采用电子天平称量果实和果核重量,采用电子数显卡尺测定纵径、横径,果形指数用果实纵径和横径的比值表示。

1.3　数据统计与分析

利用Excel 2023进行数据整理以及绘制表格和频率直方图,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。采用SPSS 20.0基于Kolmogorov-Smirnov Test进行正态分布检验,运用Origin 2021绘制小提琴图,对数值型数据进行标准化处理并用组间连接法绘制聚类图。相关指标计算公式为:

变异系数(CV)(%)=(S/F)×100;

遗传传递力(Ta)(%)=(F/MP)×100;

优势率(H)(%)=[(F-MP)/MP]×100;

超高亲率(HH)(%)=(高于高亲表型值的F1代单株数/F1代单株总数)×100;

超低亲率(LL)(%)=(低于低亲表型值的F1代单株数/F1代单株总数)×100。

以上公式中S表示杂交F1代数据的标准差,F表示杂交F1代数据的平均值,MP表示亲本平均值(亲中值)。

对果实各项指标数值进行分类并分段赋值,单果重、可食率、果形指数、果实硬度、可溶性固形物、固酸比含量采用正向赋值法,即分段范围数据较小则赋值较小;可滴定酸、单宁含量采用负向赋值法,即分段范围数据较小则赋值较大(表2)。

2　结果与分析

2.1　杂交后代果实性状分布情况

由图1可知,正交和反交后代单果重的分布范围分别为2.12～8.51 g和2.36～9.74 g,其集中值与亲本‘DS-1’相接近;可食率的分布范围分别为79.09%～92.60% 和 81.69%～95.49%,集中值均低于亲本;果形指数的分布范围分别为1.00～1.27和0.62～2.29,集中分布区间与‘DS-1’相近;果实硬度分布在两亲本之间,其分布范围分别是4.14～12.02和3.76～12.54;可溶性固形物的分布范围分别是10.38%～18.92% 和 8.66%～19.12%,集中值与‘DS-1’相近;可滴定酸分布范围分别是0.60～2.14和0.53～2.34,集中分布在两亲本之间;固酸比的分布范围分别是8.34～28.04、5.27～25.82。单宁含量的分布范围分别为0.14%～0.62%、0.12%～0.68%,集中分布区间与‘DS-1’相近。单果重、果形指数、可溶性固形物、单宁集中分布区间均与亲本‘DS-1’接近,说明正反交后代单果重、果形指数、可溶性固形物、单宁均受‘DS-1’亲本影响较大。

图2为正反交后代果实表型性状的频数分布

表2 果实性状赋值表

Table 2 Fruit trait assignment

果实性状 Fruit traits	1	2	3	4	5	6	8	9
单果重/g Single fruit weight	2～3	3～4	4～5	5～6	6～7	7～8	9～10	
核重/% Nuclear weight	0.2～0.3	0.3～0.4	0.4～0.5	0.5～0.6	0.6～0.7	0.7～0.8		
果形指数 Fruit shape index	0.6～0.8	0.8～1.0	1.0～1.2	1.2～1.4	1.4～1.6	1.6～1.8	2.0～2.2	2.2～2.4
果实硬度 Fruit firmness	3～5	5～7	7～9	9～11	11～13			
可溶性固形物/% Soluble solids	8～10	10～12	12～14	14～16	16～18	18～20		
可滴定酸/% Titratable acids	2.3～2.6	2～2.3	1.7～2.0	1.4～1.7	1.1～1.4	0.8～1.1		
固酸比 Solid-acid ratio	6～9	9～12	12～15	15～18	18～21	21～24	27～30	
单宁含量/% Tannin content	0.6～0.7	0.5～0.6	0.4～0.5	0.3～0.4	0.2～0.3	0.1～0.2		

图,正反交后代单果重、可食率、果形指数的频数分布均表现为连续正态分布趋势,这说明3个性状为数量性状且由多基因控制。

图3为正反交后代果实品质性状的频数分布图,正反交后代果实硬度、可溶性固形物、可滴定酸、单宁含量的频数分布均表现为连续正态分布趋势。正反交的固酸比检验分布不符合正态分布,呈明显的偏正态分布趋势,其余7个性状均呈现正态分布趋势。

2.2 杂交后代果实性状遗传变异分析

由表3可知,正反交固酸比均呈广泛变异,变异系数分别为25.48%、26.71%,遗传传递力分别为94.06%、84.94%,超高亲率分别为1.49%、2.79%,'DS-1'×'农大7号'后代平均值较高,表现出趋中偏高遗传倾向。可滴定酸的变异系数分别为30.63%、27.03%,遗传传递力均为124.72%,超高亲率分别为28.26%、30.17%,'农大7号'×'DS-1'后代无超低亲植株,'DS-1'×'农大7号'后代超低亲率为1.12%,表现出明显的偏高遗传倾向。单宁含量的变异系数分别为31.25%、32.25%,遗传传递力分别为133.33%、141.67%,超高亲率分别为70.15%、79.33%,超低亲率分别为14.93%、13.97%,表现出明显的偏高遗传倾向。正反交单果重的变异系数分别为31.32%、32.32%,分离较为广泛,具有较高的遗传多样性,遗传传递力分别为66.53%、68.75%,与其他性状相比较低,遗传不稳定,后代中未有超过高值亲本的单株,超低亲率分别为56.72%、50.84%,整体表现出偏低遗传的趋势。正反交后代果实硬度的变异系数分别为21.01%、20.83%,遗传传递力分别为103.48%、107.33%,超高亲率分别为2.99%、2.79%,超低亲率分别为1.49%、2.23%,表现出超高亲遗传倾向。正反交后代可食率变异系数较小,能稳定遗传,表现出明显的偏低亲遗传倾向。果形指数能够稳定遗传且受环境影响较小。可溶性固形物分离程度较高、能稳定遗传且受环境影响较小,表现出超高亲遗传趋势。

总体上,正反交果实的固酸比、单果重、可食率、果形指数的平均值均小于亲本亲中值,'农大7号'×'DS-1'后代中可溶性固形物、单宁含量、果实硬度超过高值亲本的比例较高于'DS-1'×'农大7号'后代,因此,以'农大7号'为母本,'DS-1'为父本进行反交时,筛选出果肉较硬的欧李单株的概率可能较大。'DS-1'×'农大7号'后代中固酸比、果形指数、可食率、超过高值亲本的比例高于'农大7号'×'DS-1'后代,因此,以'DS-1'为母本,'农大7号'为父本进行反交时,筛选出果个较大的欧李单株的概率较大。

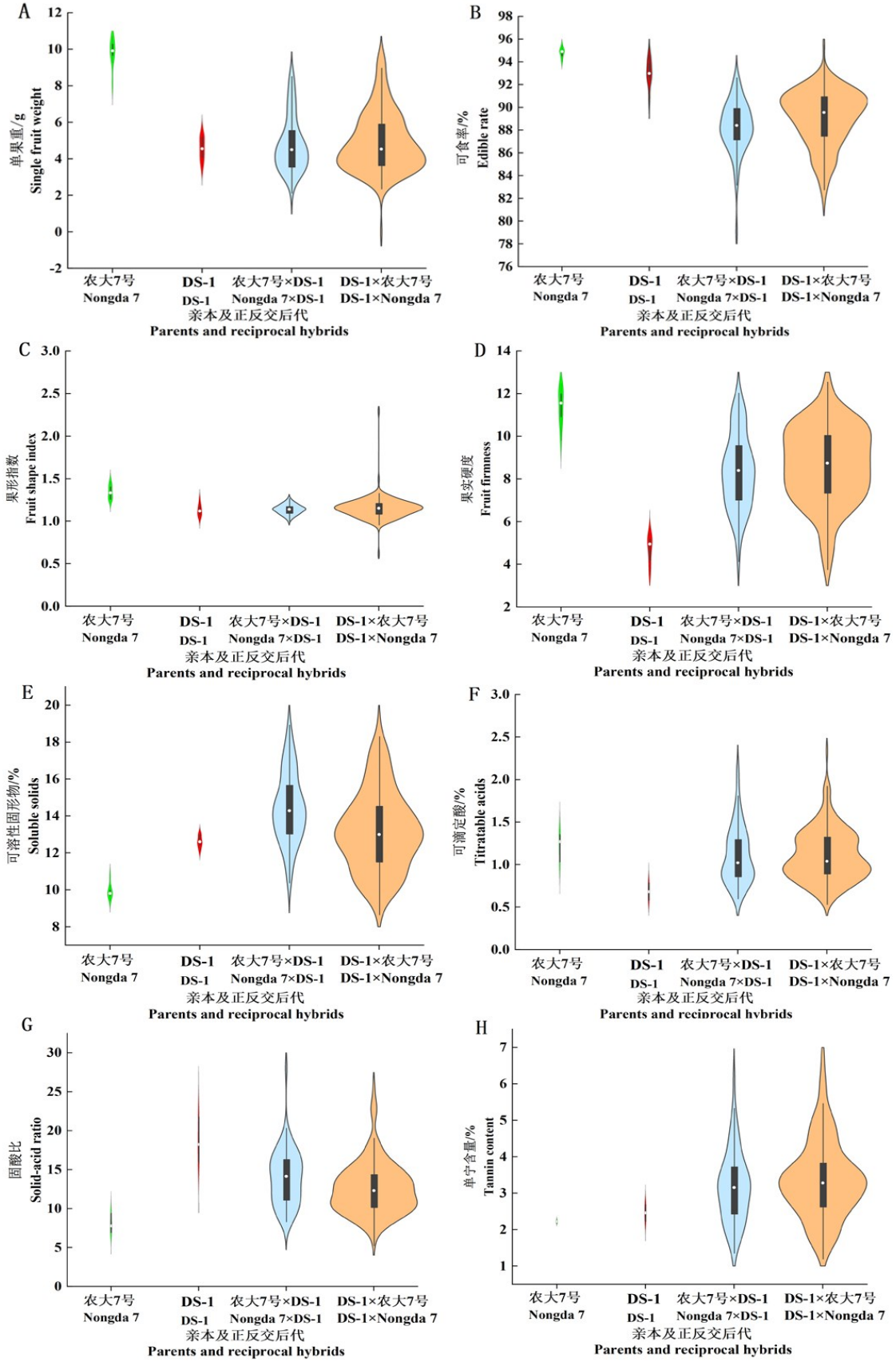
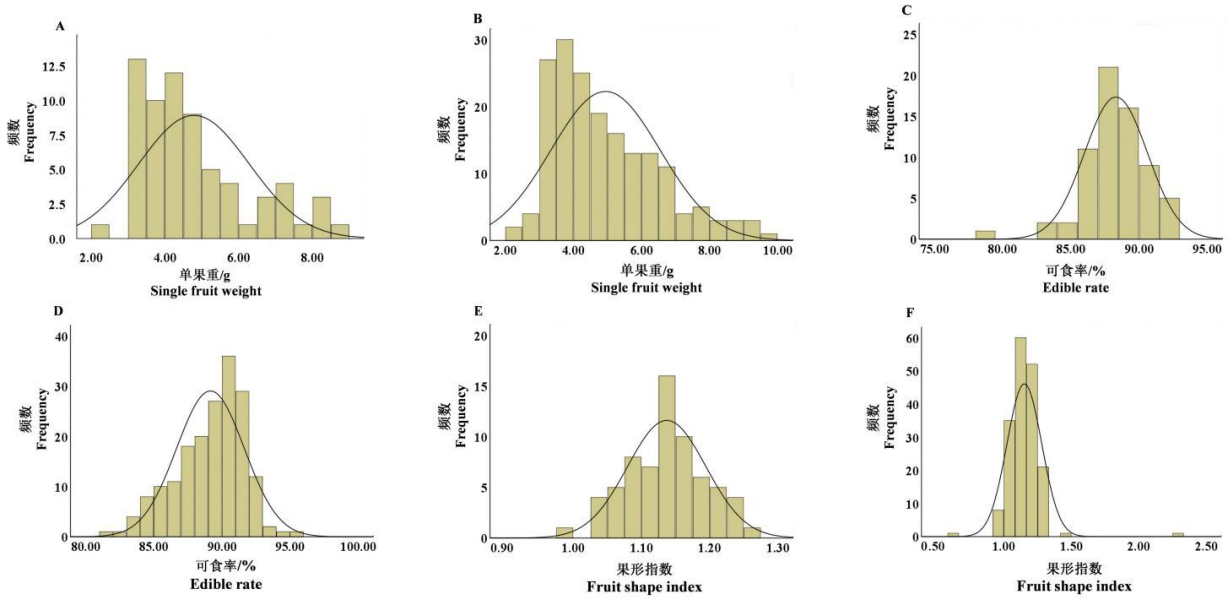


图1　亲本及正反交后代果实性状的分布

Fig. 1　Distribution of fruit traits of parents and reciprocal hybrids



A、C、E为‘农大7号’×‘DS-1’杂交组合;B、D、F为‘DS-1’×‘农大7号’杂交组合

A, C and E are the hybrid combinations of ‘Nongda 7’ × ‘DS-1’; B, D and F are the hybrid combinations of ‘DS-1’ × ‘Nongda 7’

图2 ‘农大7号’×‘DS-1’和‘DS-1’×‘农大7号’后代果实表型性状的频数分布

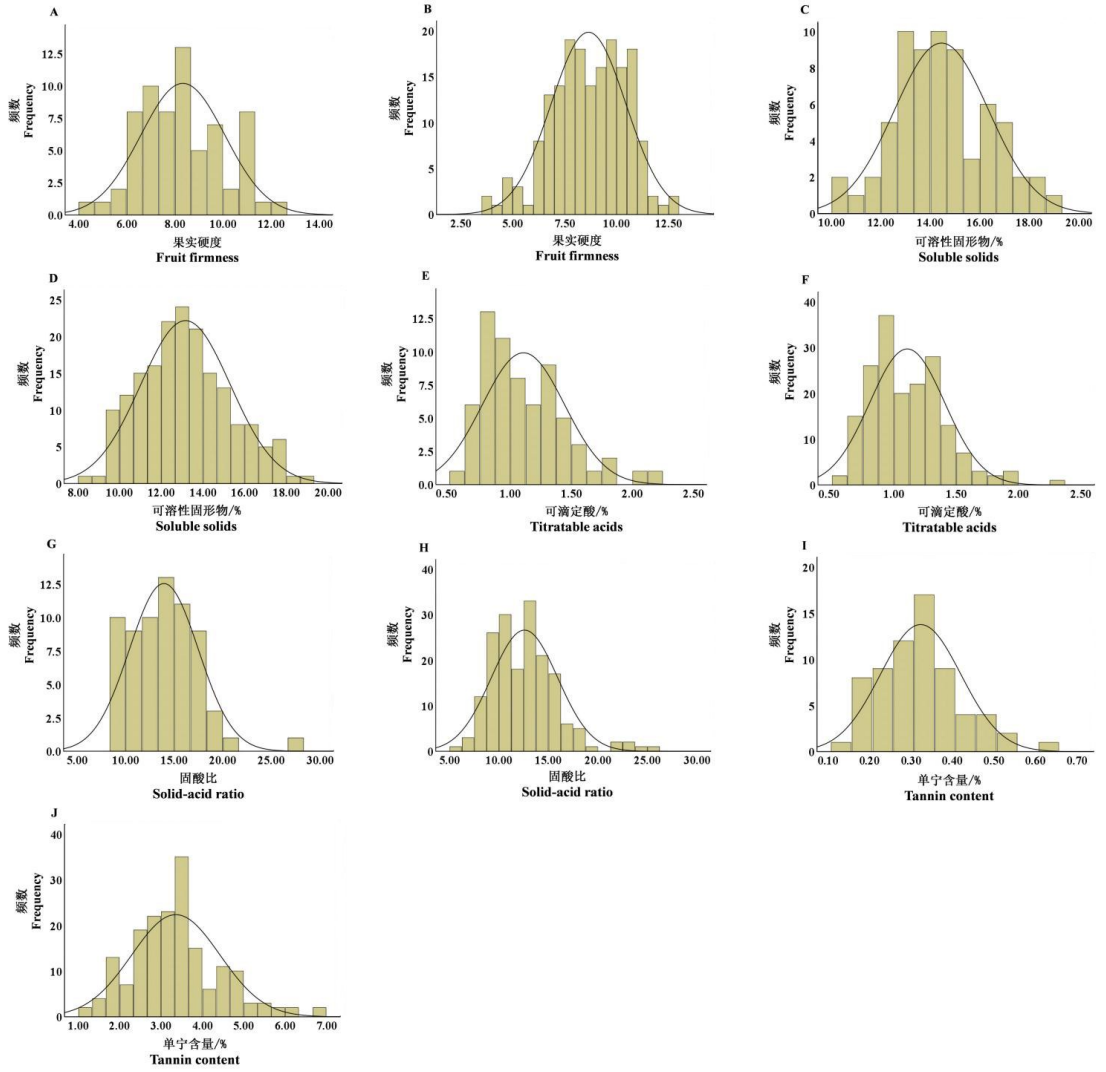
Fig. 2 Frequency distribution of phenotypic traits in the offspring of ‘Nongda 7’×‘DS-1’ and ‘DS-1’ ×‘Nongda 7’

2.3 杂交后代果实性状聚类分析

对杂交后代果实性状进行赋值(表2),用组间连接法分别对亲本‘农大7号’、‘DS-1’及正交(‘农大7号’×‘DS-1’)67个后代、反交(‘DS-1’×‘农大7号’)179个后代进行聚类分析,正交后代平均得分为28.14,反交后代平均得分为27.04。图4为亲本‘农大7号’、‘DS-1’及‘农大7号’×‘DS-1’后代的聚类为5大类,第1类只有后代单株‘5-2-5’,表现特征为酸涩度较低、口感较甜。第2类仅有单株‘4-2-7’,表现特征为果个较大、涩度较低,单果重为6.16 g,单宁含量为0.26%。第3类包括母本‘农大7号’及10个后代,表现特征为果个较大、涩度较低,平均单果重为5.94 g,平均单宁含量为0.31%,单宁含量范围为0.20%~0.41%,可滴定酸含量范围为0.64%~1.29%,可溶性固形物含量范围为9.92%~17.42%。第4类只有单株‘5-1-5’,表现特征为口感较甜、涩味较小,固酸比为16.77,单宁含量为0.29%。第5类包括父本‘DS-1’及54个后代,表现特征为果实较硬、口感较甜、涩度较低,果实硬度平均值为8.27,固酸比平均值为14.02,单宁含量平均值为0.32%,单宁含量范围为0.14%~0.62%,可滴定酸含量范围为0.58%~2.14%,可溶性固形物含量范围为10.38%~18.92%。在‘农大7号’×‘DS-1’杂交组合的后代中,未发现酸度低于0.8的变异单株,说明该组合选优的几率相对‘DS-1’×‘农大7号’低,选择难度大。

图5为亲本‘农大7号’、‘DS-1’及‘DS-1’×‘农大7号’后代的聚类图,可分为5大类,第1类包括单株‘7-1-13’,表现特征为果个较大、果实较硬、口感较甜、涩度较低,单果重为5.73 g,果实硬度为9.86,可溶性固形物含量为13.34%、单宁含量为0.32%。第2类包括单株‘9-1-13’,表现特征为果个较大、涩度较低,单果重为6.51 g,单宁含量为0.2%。第3类包括父本‘农大7号’和‘8-1-4’,表现特征为果个较大、果实较硬,单果重平均值为8.60 g,果实硬度平均值为10.53。第4类包括44个后代,表现特征为果个较大、涩度较低,单果重平均值为7.00 g,单宁含量平均值为0.31%,单宁含量范围为0.15%~0.50%,可滴定酸含量范围为0.63%~1.92%,可溶性固形物含量范围为10.70%~19.12%。第5类包括母本‘DS-1’及133个后代,表现特征为涩度较低,单宁含量平均值为0.34%,单宁含量范围为0.12%~0.68%,可滴定酸含量范围为0.53%~2.34%,可溶性固形物含量范围为8.66%~17.70%。

在第4类中发现‘6-2-8’、‘9-1-12’、‘9-1-33’、‘9-2-20’单株表现为酸涩度较低、口感脆甜、



A、C、E、G、I为‘农大7号’×‘DS－1’杂交组合;B、D、F、H、J为‘DS－1’×‘农大7号’杂交组合

A, C, E, G, and I are the hybrid combination of ‘Nongda 7’× ‘DS－1’; B, D, F, H, and J are the hybrid combinations of ‘DS－1’ × ‘Nongda 7’

图3　‘农大7号’×‘DS-1’和‘DS-1’×‘农大7号’后代果实品质性状的频数分布

Fig. 3　The frequency distribution of fruit quality traits of the offspring of ‘Nongda 7’×‘DS-1’ and ‘DS-1’ ×‘Nongda 7’

果个较大,固酸比分别为23.94、21.64、19.02、18.24,单宁含量分别为0.21%、0.40%、0.31%、0.36%,可滴定酸含量分别为0.73%、0.68%、0.63%、0.74%,单果重分别为8.78g、7.51g、5.22g、6.99g。在第5类中发现‘6-3-29’、‘7-2-27’、‘9-1-31’单株表现为酸涩度较低、口感脆甜、果个较大,固酸比分别为15.50、18.21、18.73,单宁含量分别为0.34%、0.27%,0.38%。可作为培育大果、口感脆甜、酸涩度较低的欧李育种资源。

2.4　优良株系的筛选

通过聚类分析结合田间观察评选出综合性状优良的7个杂交单株(表4),对数值型数据进行标准化处理并用组间连接法绘制聚类图,最终筛选出7个果实较大、酸涩度低、果实较硬的优良株系。其中株系‘6-2-8’果实风味表现为口感较甜、涩味低、果个较大,可作为培育鲜食欧李品种的重点优株。

3　讨论

糖酸含量是决定果实品质的重要性状。现有欧李品种果实酸度高、有涩味,鲜食品种性状的改良首先要降低果实酸。张瑜等[6]研究发现欧李杂交组合后代可滴定酸含量集中在中高酸区域,呈明显的连续变异,选择潜力较大。枣‘JMS2’×‘交城5号’F1代酸组分广泛分离,偏向高亲遗传

表3 ‘农大7号’与‘DS－1’F_1代杂交果实性状的遗传参数

Table 3 Genetic parameters for fruit traits in ‘Nongda 7’ and ‘DS－1’ F_1 generation

果实性状 Fruit traits	杂交后代 Hybrid offspring	亲本 Parent			F_1代 F_1 generation					
		N	D	MP	F±S	CV/%	HH/%	LL/%	Ta/%	H/%
单果重/g	农大7号×DS－1	9.85	4.55	7.20	4.79±1.50	31.32	0.00	56.72	66.53	－33.47
Single fruit weight	DS－1×农大7号	4.55	9.85	7.20	4.95±1.60	32.32	0.00	50.84	68.75	－31.25
核重/%	农大7号×DS－1	94.80	93.1	93.95	88.31±2.31	2.62	0.00	100.00	94.00	－6.00
Nuclear weight	DS－1×农大7号	93.10	94.80	93.95	89.16±2.49	2.79	0.56	99.44	94.90	－5.10
果形指数	农大7号×DS－1	1.30	1.10	1.20	1.14±0.06	5.26	0.00	7.46	95.00	－5.00
Fruit shape index	DS－1×农大7号	1.10	1.30	1.20	1.15±0.13	11.30	1.12	15.08	95.83	－4.17
果实硬度	农大7号×DS－1	11.40	4.70	8.05	8.33±1.75	21.01	2.99	1.49	103.48	3.48
Fruit firmness	DS－1×农大7号	4.70	11.40	8.05	8.64±1.80	20.83	2.79	2.23	107.33	7.33
可溶性固形物/%	农大7号×DS－1	9.90	12.6	11.25	14.45±1.90	13.15	85.07	0.00	128.44	28.44
Soluble solids	DS－1×农大7号	12.60	9.90	11.25	13.16±2.15	16.34	57.54	4.47	116.98	16.98
可滴定酸/%	农大7号×DS－1	1.27	0.58	0.89	1.11±0.34	30.63	28.36	0.00	124.72	24.72
Titratable acids	DS－1×农大7号	0.58	1.27	0.89	1.11±0.30	27.03	30.17	1.12	124.72	24.72
固酸比	农大7号×DS－1	7.79	21.82	14.81	13.93±3.55	25.48	1.49	0.00	94.06	－5.94
Solid-acid ratio	DS－1×农大7号	21.82	7.79	14.81	12.58±3.36	26.71	2.79	2.79	84.94	－15.06
单宁含量/%	农大7号×DS－1	0.22	0.25	0.24	0.32±0.10	31.25	70.15	14.93	133.33	33.33
Tannin content	DS－1×农大7号	0.25	0.22	0.24	0.34±0.11	32.35	79.33	13.97	141.67	41.67

注：N：农大7号；D：DS－1；MP：亲本平均值(中亲值)；F：杂交F1代数据的平均值；S：杂交F1代数据的标准差；CV：变异系数；H：优势率；Ta：遗传传递力；HH：超高亲率；LL：超低亲率。

Note：N：Nongda 7；D：DS－1；Cabernet Sauvignon；MP：Median value of parents；F：Average of F1 data；S：Standard deviation of F1 data；CV：Coefficient of variation；H：Heterosis ratio；Ta：Transmitting ability；HH：Higher than the high parent；LL：Lower than the low parent.

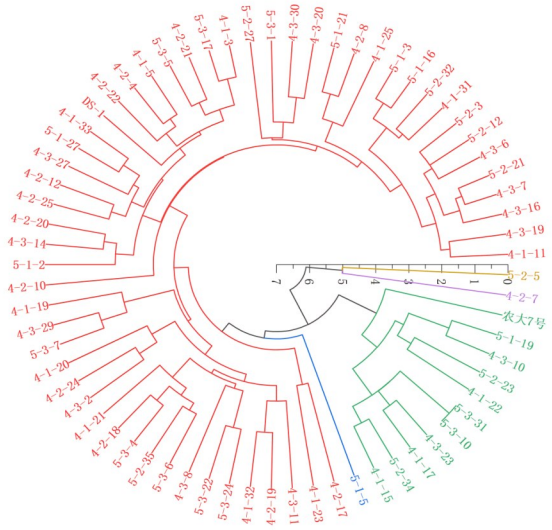


图4 ‘农大7号’×‘DS-1’后代果实性状的聚类分析

Fig. 4 Cluster plot of ‘Nongda 7’×‘DS－1’ fruit traits

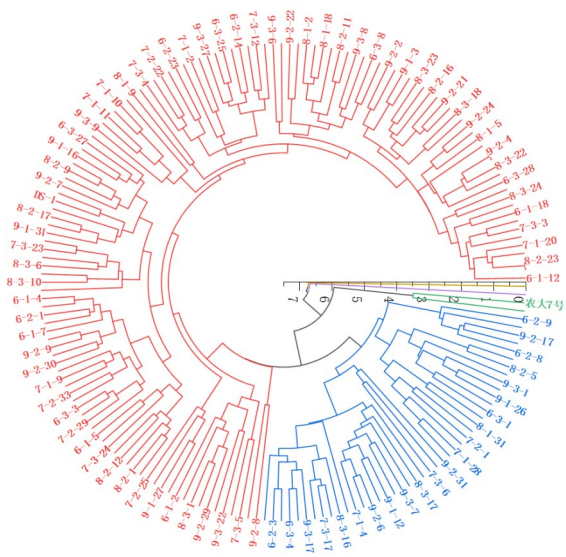


图5 ‘DS-1’×‘农大7号’后代果实性状的聚类分析

Fig. 5 Cluster plot of ‘DS－1’×‘Nongda 7’ fruit traits

趋势[11]，‘鄂梨2号’与‘华梨2号’梨杂交F1代可滴定酸含量表现为超亲遗传趋势[12]。Zhang等[13]研究发现，456份苹果梨种质资源及114个杂交品种中，可滴定酸选择潜力较大。本研究以低酸优系和中酸品种进行杂交，发现正反交后代可滴定

表4　'DS－1'×'农大7号'筛选出的低酸、低涩优系单株

Table 4　Selected single strains of superior lines in 'DS－1'×'Nongda 7'

材料名称 Material name	单果重/g Single fruit weight	核重/g Nuclear weight	果形指数 Fruit shape index	果实硬度 Fruit firmness	可溶性固形物/% Soluble solids	可滴定酸/% Titratable acids	固酸比 Solid－acid ratio	单宁含量/% Tannin content
6－2－8	8.78	0.76	1.27	7.34	17.54	0.73	23.94	0.21
6－3－29	5.25	0.60	1.11	11.16	11.08	0.71	15.50	0.34
7－2－27	6.41	0.63	1.31	10.36	13.26	0.73	18.21	0.27
9－1－12	7.51	0.65	1.26	9.78	14.74	0.68	21.64	0.40
9－1－31	5.37	0.45	0.98	7.66	10.00	0.53	18.73	0.38
9－1－33	5.22	0.46	1.21	10.74	11.98	0.63	19.02	0.31
9－2－20	6.99	0.61	1.30	11.42	13.44	0.74	18.24	0.36

酸呈正态分布,且变异系数较大,后代均表现出明显的偏高遗传倾向,表明各类果品从杂交后代筛选低酸变异是相对困难的。但是,本研究的正交和反交的遗传倾向存在差异,'DS-1'作母本进行杂交,后代筛选出了酸度低于低酸亲本'DS-1'的单株,说明酸度的遗传规律受亲本影响较大,开展酸度遗传改良需要在遗传规律研究的基础上严格选配杂交组合。在核果类果树杂交育种研究中,桃杂交组合中可滴定酸多为超高亲遗传趋势[14];姜凤超等[15]研究表明杏杂交后代果实中总酸含量低于亲中值,表现为衰退变异。欧李酸度的遗传倾向与桃相似,而与杏不同,后续研究应继续分析欧李杂交后代果实有机酸酸组分的变异情况。

关于果实含糖量的遗传研究,中国樱桃杂交F1代可溶性固形物含量呈偏高亲遗传趋势,选择潜力较小[16];'苹果梨'与'八月红'杂交后代的可溶性固形物大于中亲值,呈超高亲遗传趋势[17];'枣JMS2'×'交城5号'F1代糖偏向高亲遗传趋势[11]。Wang等[18]研究发现,樱桃'红飞'×'浦江红花'杂交后代可溶性固形物呈现超高亲遗传倾向;王中堂[19]研究发现枣杂交群体可溶性固形物含量平均值高于2个亲本。上述研究中各类果实可溶性固形物含量均表现为偏向高亲遗传趋势,说明亲本可溶性固形物含量较高时,培育出口感较甜优良单株的可能性较大。本研究杂交后代可溶性固形物遗传呈正态分布,表现出超高亲遗传趋势、能稳定遗传但是选择潜力较小,与上述研究结果相似,说明可溶性固形物的遗传传递力较强,杂交后代糖含量容易向偏高的方向遗传,这也可能是现在水果品种越来越甜的原因之一。欧李3个杂交组合可溶性固形物呈趋小变异,变异系数较大[5];付鸿博等[4]研究发现欧李'农大4号'与'DS-1'杂交后代群体果实可溶性固形物含量偏低于亲本遗传,选择潜力较小,与本研究杂交组合的遗传规律不同,说明欧李果实可溶性固形物的遗传变异趋势受亲本影响较大。对桃和李研究发现可溶性固形物含量独立遗传[20-21];Ferik等[22]发现不同杏资源基因型不同,可溶性固形物含量也有差异。以上研究发现不同品种果实可溶性固形物含量有差异,说明基因型也是影响可溶性固形物含量的原因之一。

果实涩度主要决定于单宁含量。葡萄'赤霞珠'与'西拉'亲本及杂交后代群体可溶性单宁和非可溶性单宁含量的选择潜力均较大[23];刘政海等[24-25]研究了葡萄'威代尔'×'霞多丽'和'黑比诺'×'马瑟兰'杂交F1代性状遗传变异情况,均发现杂交后代单宁含量呈偏高亲遗传趋势;唐玄德[26]通过研究'赤霞珠'与'北红葡萄'杂交后代群体单宁含量遗传规律,发现正反交后代单宁含量平均值均高于亲本,呈偏高亲遗传倾向。本研究中单宁含量表现出明显的偏高遗传倾向,与上述葡萄研究结果相似。说明杂交后代单宁含量较高的原因可能与亲本单宁含量较高有关,在今后的欧李育种中,可以将培育较低单宁含量的优系单株作为重点育种目标。

通过聚类分析筛选出的株系优良株系均是反交('DS-1'×'农大7号')的杂交后代,从正交'农大7号'×'DS-1')后代中没有筛选出优系单株,原因可能是'农大7号'×'DS-1'群体数量相较于'DS-1'×'农大7号'少,群体筛选出优良单株的后代概率较小。

4 结论

正反交后代果实的单果重、果形指数、固酸比均表现出偏小的遗传倾向,单果重分离较为广泛,具有较高的遗传多样性。果实硬度、可滴定酸、固酸比能够稳定遗传但变异程度相对较大。杂交后代果实酸度和涩度表现为明显的母性遗传特性。'农大7号'×'DS-1'杂交组合筛选出果肉较硬的欧李单株的概率较大,'DS-1'×'农大7号'杂交组合筛选出果个较大的欧李单株的概率较大。本研究同时筛选出了低酸低涩的后代优株,可根据育种目标加以重点利用。

参考文献

[1]郭炳成,李晓艳,张薇,等. 蒙原欧李果实发育过程中钙与果胶含量变化及相关性分析[J]. 北方园艺,2024(4):28-36.
Guo B C, Li X Y, Zhang W, et al. Changes and correlation between calcium and pectin contents during fruit development of Mengyuan types of *Cerasus humilis*[J]. Northern Horticulture, 2024(4):28-36.

[2]张莉,张薇,郭金丽. 欧李果实发育过程中钙与有机酸含量的变化及相关性分析[J]. 果树学报,2024,41(3):494-504.
Zhang L, Zhang W, Guo J L. Analysis of changes and correlations between calciums and organic acids in fruits of *Cerasus humilis* during different development stages [J]. Journal of Fruit Science,2024,41(3):494-504.

[3]张帅,梁淑丽,穆霄鹏,等. 欧李代用茶适制种质筛选与加工工艺研究[J].山西农业大学学报(自然科学版),2024,44(6):107-115.
Zhang S, Liang S L, Mu X P, et al. Study on germplasm selection and processing techniques for *Cerasus humilis* substitute tea [J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition),2024,44(6):107-115.

[4]付鸿博,王鹏飞,徐豆,等. 农大4号与DS-1欧李正、反交F_1代果实品质的遗传变异分析[J]. 核农学报,2021,35(10):2223-2233.
Fu H B, Wang P F, Xu D, et al. Heredity and variation analysis of fruit quality in the F1 generation from reciprocal crosses between nongda 4 and DS-1 Chinese dwarf cherry (*Cerasus humilis*)[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2021, 35(10):2223-2233.

[5]张瑜,王鹏飞,穆霄鹏,等. 欧李F_1果实糖酸性状的遗传变异分析[J]. 山西农业科学,2019,47(4):530-535.
Zhang Y, Wang P F, Mu X P, et al. Genetic variation analysis of sugar-acid characters in F1 generation fruits of Chinese dwarf cherry[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2019, 47(4):530-535.

[6]张瑜. 欧李种质酸含量变化与调控及遗传倾向的研究[D]. 太谷:山西农业大学,2019.
Zhang Y. Study on the change and regulation of acid content and hereditary tendency of Chinese dwarf cherry germplasm [D]. Taigu:Shanxi Agricultural University,2019.

[7]徐豆. 不同果色欧李杂交后代果实性状的遗传变异研究[D]. 太谷:山西农业大学,2020.
Xu D. Heredity and variation analysis of fruit characters in Chinese Dwarf Cherry [*Cerasus humilis* (bge.) sok.] hybrid offspring of different fruit color[D]. Taigu:Shanxi Agriculture University,2020.

[8]徐豆,付鸿博,杜灵敏,等. 欧李正反交F_1果实性状的遗传变异分析[J]. 山西农业科学,2020,48(5):696-699,714.
Xu D, Fu H B, Du L M, et al. Genetic variation analysis of fruit traits in positive and negative cross F1 generation of Chinese dwarf cherry[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2020, 48(5):696-699,714.

[9]王鹏飞,曹琴,杜俊杰,等. 鲜食欧李新品种'农大7号'[J]. 园艺学报,2013,40(1):181-182.
Wang P F, Cao Q, Du J J, et al. A new fresh-eating cultivar of Chinese dwarf cherry (*Cerasus humilis* bunge) 'nongda 7'[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2013, 40(1):181-182.

[10]汪晓谦. 红肉苹果酚类代谢及其对逆境的响应研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2015.
Wang X Q. Phenolic metabolism of red-fleshed apples and its response to stress [D]. Yangling: Northwest A & F University,2015.

[11]陈万年,鲍荆凯,潘依玲,等. 枣JMS2×交城5号F1代糖酸组分遗传变异分析[J]. 植物遗传资源学报,2023,24(3):767-779.
Chen W N, Bao J K, Pan Y L, et al. Genetic variation analysis of sugar-acid fraction in F1 hybrids of jujube JMS2 × Jiaocheng 5[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2023, 24(3):767-779.

[12]董秀娟,杨晓平,杜威,等. 梨F_1代果实品质性状遗传规律分析[J]. 北方园艺,2022(7):23-29.
Dong X J, Yang X P, Du W, et al. Analysis of heredity of pear fruit F1 generation quality traits[J]. Northern Horticulture, 2022(7):23-29.

[13]Zhang Y, Cao Y F, Huo H L, et al. An assessment of the genetic diversity of pear (*Pyrus* L.) germplasm resources based on the fruit phenotypic traits[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2022, 21(8):2275-2290.

[14]宋海岩,刘俊宏,江国良,等. 10个桃杂交组合F_1代主要果实性状遗传倾向分析与优势亲本筛选[J]. 四川农业大学学报,2022,40(6):812-819,877.
Song H Y, Liu J H, Jiang G L, et al. Genetic predisposition analysis of main fruit traits and screening of dominant parents in F_1 generation of 10 peach cross combinations[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2022, 40(6):812-819,877.

[15]姜凤超,孙浩元,杨丽,等.'串枝红'×'骆驼黄'杏F1代糖酸性状的遗传变异分析[J]. 果树学报,2018,35(6):649-657.
Jiang F C, Sun H Y, Yang L, et al. Analysis of genetic variation of sugar and acid contents in F1 population of apricot derived from 'Chuanzhihong' × 'Luotuohuang'[J]. Journal of Fruit Science, 2018, 35(6):649-657.

[16]王燕,刘针杉,张静,等. 中国樱桃杂交F_1代花和果实若干性状遗传倾向分析[J]. 园艺学报,2022,49(9):1853-1865.
Wang Y, Liu Z S, Zhang J, et al. Inheritance trend of flower and fruit traits in F_1 progenies of Chinese cherry[J]. Acta Horticulturae Sinica,2022,49(9):1853-1865.

[17]赵亚楠,欧春青,王斐,等. 梨F_1代群体果实性状的遗传分析及相关性研究[J]. 西北农业学报,2018,27(12):1811-1818.
Zhao Y N, Ou C Q, Wang F, et al. Genetic analysis and correlation study on pear fruit characteristics in F_1 generation [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2018, 27 (12):1811-1818.

[18]Wang Y, Liu Z S, Yang X Q, et al. Inheritance analysis of fruit-related traits in Chinese cherry[*Cerasus pseudocerasus* (Lindl.) G. Don] breeding progenies[J]. Scientia Horticulturae, 2023, 307:111519.

[19]王中堂. 枣高密度遗传连锁图谱构建与农艺性状QTL定位[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2020.
Wang Z T. High-density genetic map construction and QTL mapping of agronomic traits of *Ziziphus jujuba* Mill.[D]. Yangling:Northwest A&F University,2020.

[20]Osipov G E, Osipova Z A. Features of the inheritance of fruit size in the hybrid families of prunus domestica[J]. BIO Web of Conferences,2020,17:00070.

[21]Hernández Mora J R, Micheletti D, Bink M, et al. Integrated QTL detection for key breeding traits in multiple peach progenies[J]. BMC Genomics,2017,18(1):404.

[22]Ferik F, Ates D, Ercisli S, et al. Genome-wide association links candidate genes to fruit firmness, fruit flesh color, flowering time, and soluble solid content in apricot (*Prunus armeniaca* L.)[J]. Molecular Biology Reports,2022,49(6):5283-5291.

[23]刘敖一,孙琪,董志刚,等. '赤霞珠'与'西拉'杂交群体内种子单宁的遗传趋势分析[J]. 中外葡萄与葡萄酒,2022(4):8-13.
Liu A Y, Sun Q, Dong Z G, et al. Inheritance trend of seed condensed tannins in F1 hybrids of 'Cabernet Sauvignon' and 'Syrah' of Vitis vinifera[J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine,2022(4):8-13.

[24]刘政海,董志刚,李晓梅,等.'威代尔'与'霞多丽'葡萄杂交F_1代果实性状遗传倾向分析[J]. 果树学报,2020,37(8):1122-1131.
Liu Z H, Dong Z G, Li X M, et al. Inheritance trend of fruit traits in F_1 progenies of 'Vidal' and 'Chardonnay' of grape [J]. Journal of Fruit Science,2020,37(8):1122-1131.

[25]刘政海,董志刚,李晓梅,等. 酿酒葡萄'黑比诺'与'马瑟兰'杂交后代果实性状遗传倾向分析[J]. 中国果树,2020(6):29-35.
Liu Z H, Dong Z G, Li X M, et al. Inheritance trend of the fruit traits of wine grape 'Pinot noir' and 'Marselan' hybrid progenies[J]. China Fruits,2020(6):29-35.

[26]唐玄德.'赤霞珠'与'北红'葡萄正反交群体后代性状遗传特点研究[D]. 银川:宁夏大学,2022.
Tang X D. Study on genetic characteristics of progeny traits of 'Cabernet sauvignon' and 'Beihong' cross population[D]. Yinchuan:Ningxia University,2022.

(编辑:吕俊俐)