

枣 JMS2×交城5号 F₁ 代糖酸组分遗传变异分析

陈万年¹, 鲍荆凯¹, 潘依玲¹, 吴翠云^{1,2}, 王玖瑞³, 刘孟军³, 闫芬芬^{1,2}

(¹塔里木大学园艺与林学院/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, 新疆阿拉尔 843300; ²新疆生产建设兵团塔里木盆地生物资源保护利用重点实验室, 阿拉尔 843300; ³河北农业大学中国枣研究中心, 保定 071001)

摘要: 探索枣杂交 F₁ 代果实糖酸组分性状遗传变异规律, 将为枣杂交育种亲本选配和优异种质筛选提供理论依据。本研究以枣 JMS2×交城5号的 140 株 F₁ 代及亲本为试材, 利用高效液相色谱(HPLC)测定杂交果实糖组分和酸组分的含量。结果表明: 杂交后代果实中糖主要是由蔗糖、果糖、葡萄糖组成, 其中蔗糖占比 52.5%。糖组分变异系数范围为 26.74%~35.45%, 其中葡萄糖变异系数最大, 蔗糖变异系数最小。果糖、葡萄糖的 F₁ 均值大于中亲值, 蔗糖则低于中亲值。酸主要由苹果酸、奎宁酸和柠檬酸组成, 其中苹果酸占比 35.10%。酸组分的变异系数范围为 29.67%~42.86%, 苹果酸 F₁ 均值小于中亲值, 草酸和富马酸的 F₁ 均值高于中亲值, 其他酸组分受环境影响较大。糖组分、酸组分均呈现出正态分布特征, 均是由多基因控制的数量性状。筛选出高糖杂交优系 J17 和 J70。

关键词: 枣; F₁; 糖组分; 酸组分; 遗传变异

Genetic Variation Analysis of Sugar-acid Fraction in F₁ Hybrids of Jujube JMS2 × Jiaocheng 5

CHEN Wan-nian¹, BAO Jing-kai¹, PAN Yi-ling¹, WU Cui-yun^{1,2}, WANG Jiu-rui³, LIU Meng-jun³, YAN Fen-fen^{1,2}

(¹College of Horticulture and Forestry, Tarim University/The National and Local Joint Engineering Laboratory of High Efficiency and Superior-Quality Cultivation and Fruit Deep Processing Technology of Characteristic Fruit Trees in South Xinjiang, Aral 843300; ²Xinjiang Production & Construction Corps Key Laboratory of Protection and Utilization of Biological Resources in Tarim Basin, Aral 843300; ³Research Center of Chinese Jujube, Hebei Agricultural University, Baoding 071001)

Abstract: The experiment aimed to explore the genetic variation at traits of sugar and acid components in F₁ generation of the jujube hybrid, which might offer further support for selecting the parents and quality germplasm selection in breeding. The contents of sugar and acid components in fruit of the 140 hybrid plants of JMS2 × Jiaocheng 5 and both parents were determined by high performance liquid chromatography (HPLC). The results showed that the sugars in fruit of the hybrid progenies were mainly composed of sucrose, fructose and glucose, of which sucrose accounted for 52.5%. The variation coefficient of sugar components ranged from 26.74% to 35.45%, with the highest variation coefficient of glucose and the lowest variation coefficient of sucrose. The average value of fructose and glucose in F₁ plants were higher than the median value of both parents, while sucrose was lower than the median value. The main acids were malic acid, quinic acid and citric acid, of which malic acid accounted for 35.10%. The coefficient of variation of acid components ranged from 29.67% to 42.86%. The mean value of malic acid in F₁ was lower than the median value of both parents, and the mean value of oxalic acid and fumaric acid was higher than the median value. The other acid components were

收稿日期: 2022-11-04 修回日期: 2022-12-06 网络出版日期: 2023-02-07

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20221104002>

第一作者研究方向为枣种质资源与遗传育种, E-mail: 286830793@qq.com

通信作者: 闫芬芬, 研究方向为枣种质资源与遗传育种, E-mail: yanfening@163.com

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

Foundation projects: National Natural Science Foundation of China (32060656); Key Industrial Support Program Projects in South Xinjiang (2017DB006)

largely environment-dependent. Both sugar and acid components showed normal distribution characteristics and were quantitative characters controlled by multiple genes. Finally, the optimal hybrid lines J17 and J70 with higher sugar content were identified.

Key words: jujube; F_1 progeny; sugar fraction; acid fraction; genetic variation

果实品质是果树品种改良的首要目标,糖和酸是果实营养物质的重要组成部分,不同糖组分对甜度的贡献不同,不同酸组分可促进消化腺活动和改善食欲^[1],糖酸比是决定果实品质和风味的重要参考指标。因此,糖酸组分和糖酸比是果实品质分析评价和新品种选育的重要指标,杂交后代果实糖酸组分的遗传变异规律对杂交亲本科学选配、新品种的培育和分子标记辅助育种具有重要的意义。

目前,关于苹果、柑橘、葡萄、杏等果树的糖酸组分遗传变异分析已见报道^[2-4],苹果果实糖酸组分研究发现,可溶性糖主要是由果糖、葡萄糖、蔗糖组成,其中果糖、蔗糖对总糖的影响较大^[5-6]。果糖含量最高,品种之间的差异最小,蔗糖最低,品种之间的差异较大。苹果中的花青苷含量和糖酸比表现出超亲优势^[7]。不同柑橘果实酸组分主要是由有机酸、奎宁酸、酒石酸和苹果酸构成,不同有机酸产生的酸味差异显著^[8-9]。葡萄中可溶性固形物和可滴定酸含量均表现出杂种优势,具有趋向于高糖高酸的遗传特点^[10]。陈力耕等^[11]研究发现,柑橘果汁的可溶性固形物均超过双亲平均值,且呈现连续分布,推测该性状遗传为数量性状遗传,受多基因控制。越橘杂交后代果实中的糖酸组分以及总糖总酸含量广泛分离,后代平均值低于中亲值,糖呈现正态分布特征,属于多基因控制的数量性状^[12]。欧李 F_1 代果实可溶性固形物含量呈现正态分布特征,是由微效多基因控制的数量性状;可滴定酸含量呈明显的连续变异,说明其属于多基因控制的数量性状^[13]。枣树具有花小、去雄难,坐果率低和胚败育率高等特点,构建杂交群体难度较大,枣杂交后代果实糖酸组分性状的遗传分析未见报道。

本研究以JMS2与交城5号罩网控制杂交获得的140株 F_1 代及亲本为材料,采用高效液相色谱法测定果实糖组分、酸组分含量及糖酸比,并进行遗传变异分析,探究杂交后代果实糖酸组分性状的遗传特点及倾向,筛选出高糖、高酸及高糖酸比的优异种质资源,为枣杂交育种和品质改良研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验地点位于新疆阿拉尔市十团7连(81°28'E, 40°59'N)。采集JMS2、交城5号及其杂交获得的140株 F_1 代接穗,2018年4月高接于8年生骏枣砧木上,株行距为1 m×3 m,田间管理一致。其中母本JMS2为雄性不育品系,且干鲜兼制,父本交城5号为优良骏枣高糖品系。2020-2021年于果实全红期采集成熟均匀一致果实,亲本及每个杂交 F_1 无性系选取全红期果实30个用于糖酸组分测定。

1.2 样品预处理

将成熟度一致的枣果实果肉切下,称取锡箔纸后,使用锡箔纸包裹果肉,上端留口。将果肉与锡箔纸一起称重,记为鲜重。将包裹好的果肉放入真空冻干机中,温度设置为-50℃,压力保持在50 Pa以下,冻干48 h后取出称重。称重使用百分天平,精确到0.01 g。称重后用粉碎机将枣肉打粉,放入-80℃超低温冰箱保存待用。

1.3 糖组分测定

参考蒲云峰^[13]的方法。准确称取1.0000 g枣冻干粉,倒入25 mL容量瓶,定容,在室温下超声萃取40 min。于4000 r/min下离心20 min,取上清液过0.22 μm水相针式滤头后置于棕色进样瓶,放置于4℃冰箱中保存待测。LC-20AD岛津液相色谱仪,色谱柱Waters XBridge Amide(5 μm, 4.6 mm×250 mm)柱;流动相A(0.2%三乙胺-水):流动相B(0.2%三乙胺-乙腈)=24:76,流速为1 mL/min;进样体积10 μL;柱温30℃,雾化管、漂移管温度为60℃;氮气气流量为1.6 L/min;检测18 min。样品测定3次,标准曲线参考国标GB5009.8-2016^[14]峰面积建立幂函数回归方程,根据标准曲线计算鲜重含量。

1.4 酸组分测定

参考周晓凤^[15]的方法。准确称取1.0000 g枣冻干粉,倒入15 mL离心管中,加入5 mL 0.04 mol/L的磷酸二氢钾缓冲液(pH2.6),在冰水浴中超声萃取40 min。于4000 r/min下离心20 min,倒入10 mL容量瓶中,重复提取,最终定容10 mL,吸取上清液过0.22 μm水相针式滤头后置于棕色进样瓶,放置于

4 ℃ 冰箱中保存待测。LC-20AD 岛津液相色谱仪, 色谱柱 Inertsil AQ-C18 (5 μm, 4.6 mm×250 mm) 柱; 流动相为磷酸二氢钾缓冲液, 流速为 0.8 mL/min; 进样体积 10 μL; 柱温 30 ℃; 检测波长 210 nm; 检测 20 min。样品测定 3 次, 标准曲线峰面积建立线性回归方程, 根据标准曲线计算鲜重含量。

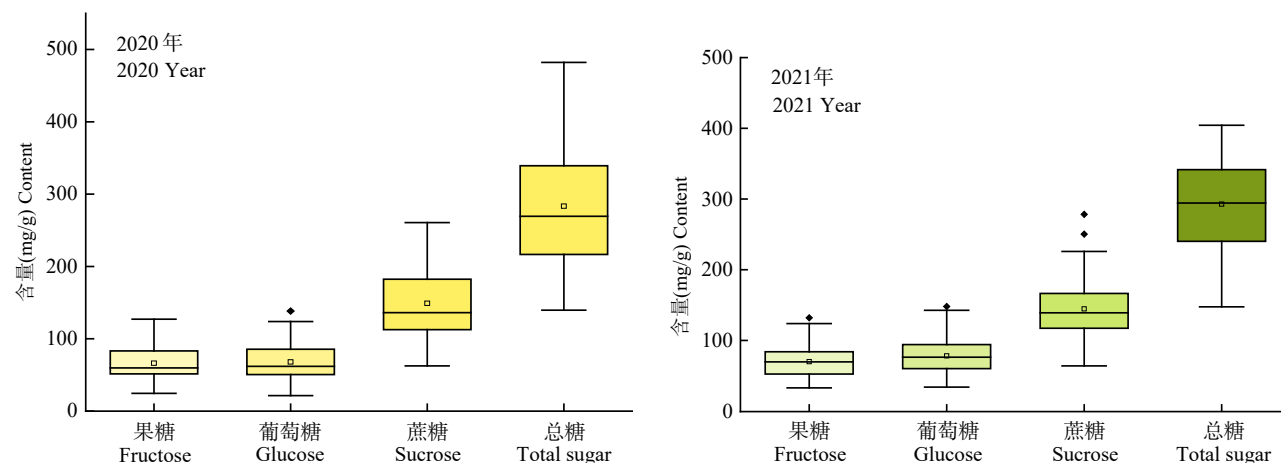
1.5 数据分析

采用 Excel2010 以及 SPSS 分析数据, Origin2019 进行绘图。变异系数、遗传传递力利用 Excel 进行数据分析, 公式如下: 变异系数 (CV) = 标准差 / F × 100; 遗传传递力 = F / MP × 100; 中亲优势率 = F - MP / 0.5 (P₁ + P₂) × 100。公式中的 F 为后代平均值, MP 为中亲值, P₁ 和 P₂ 为亲本值。糖酸比 = 总糖含量 / 总酸含量。

2 结果与分析

2.1 果实糖酸组分含量及其分布

2.1.1 果实糖组分与总糖含量及其分布 如图 1 所



箱体代表数据的集中分布范围, 上边缘代表最大值, 下边缘代表最小值。上四分位数是将一组数据由小到大排列后第 75% 的数据。中位数是居于中间位置的数据, 也就是 50% 数据。下分位数是 25% 的数据; 下同

The box represents the concentrated distribution range of the data, with the upper edge representing the maximum value and the lower edge to representing the minimum value. The upper quartile is the 75% of the data after arranging a set of data from smallest to largest. The median is the data that resides in the middle, which is the 50% data. The lower quartile is the 25th percentile of data; The same as below

图 1 JMS2×交城 5 号 F₁ 代群体果实糖组分、总糖含量及其分布

Fig.1 Fruit sugar constituent, total sugar and its distribution range of JMS2 × Jiaocheng 5 F₁ progenies

2.1.2 果实酸组分含量及分布 杂交后代果实中酸组分含量由高至低依次为苹果酸 > 奎宁酸 > 柠檬酸 > 酒石酸 > 草酸 > 富马酸 (图 2)。苹果酸含量最高, 2020 年和 2021 年占总酸比例分别为 19.04% 和 25.00%, 含量范围分别为 3.63~5.43 mg/g、4.16~5.87 mg/g, 平均含量位于中间区域, 呈现正态分布, 两年变化规律一致。柠檬酸两年的含量分别为 1.99~3.04 mg/g、1.82~2.90 mg/g, 总酸两年含量分别为 11.33~14.14 mg/g、10.77~15.57 mg/g, 两年的平均

示, 杂交后代果实中糖主要是由蔗糖、果糖和葡萄糖组成, 其中蔗糖含量明显高于其他组分, 连续 2 年的变化范围分别为 112.84~181.86 mg/g、117.60~166.21 mg/g。两年中葡萄糖与果糖数据离散程度小。2020 年杂交后代果实中糖组分含量与总糖含量的分布倾向于右偏态正态分布, 其中果糖中位数低, 平均数小, 含量在 51.50~83.19 mg/g; 葡萄糖含量在 50.55~85.39 mg/g, 平均数小。总糖含量在 217.60~337.67 mg/g。2021 年果糖含量范围是 52.76~84.05 mg/g, 呈现出正态分布特征。葡萄糖含量范围为 60.12~93.31 mg/g。蔗糖含量的均值高于中位线, 呈现出右偏分布, 总糖含量范围是 240.64~341.36 mg/g, 呈现标准的正态分布, 均值与中位线重合。2021 年不同糖组分含量均值均高于 2020 年, 且不同糖组分含量有极值存在, 说明子代中有超高亲单株的出现, 这为选育高糖、高糖酸比, 口感丰富的优良枣品种提供了参考。

含量趋向于中间区域, 呈现正态分布。草酸、富马酸、酒石酸、奎宁酸平均含量呈现出右偏正态分布, 倾向于低亲本的规律。两年间的酒石酸、奎宁酸、苹果酸、柠檬酸含量变化差异小, 6 种酸组分以及总酸均有极值出现, 说明杂交后代有超亲单株的出现。2020 年 Vc 含量为 3.88~5.29 mg/g, 其平均含量与中位数一致, 呈现出正态分布的特征。2021 年 Vc 含量为 4.07~5.65 mg/g, 其平均含量呈现出右偏正态分布特征, 倾向于低亲本的遗传规律。

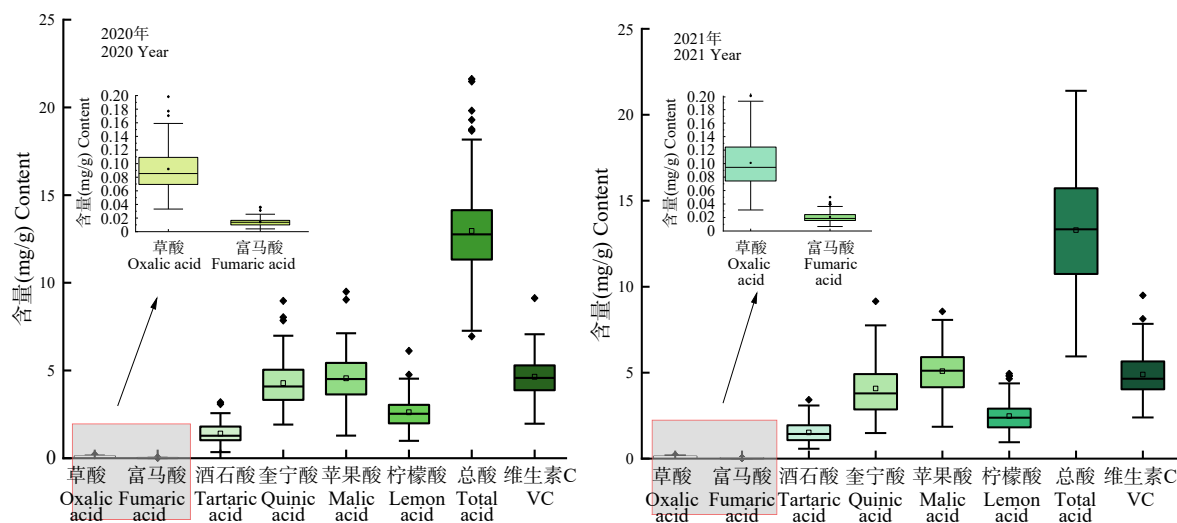


图2 杂交后代果实酸组分、总酸、维生素C含量及其分布

Fig.2 Acid constituents, total acid, vitamin C content and their distribution range in the F_1 generation population

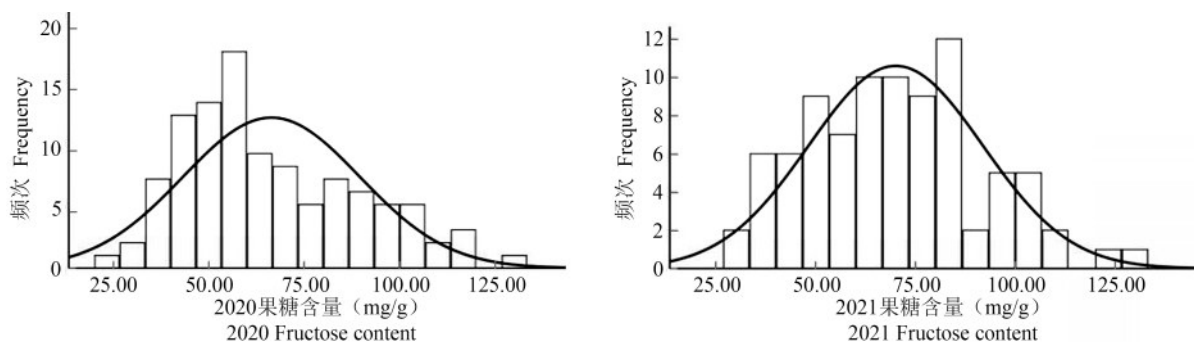
2.2 果实糖酸组分的遗传变异分析

2.2.1 果实糖组分的遗传变异分析 杂交后代果实中蔗糖、果糖和葡萄糖含量呈现明显的正态分布特征(图3),说明枣杂交后代果实中蔗糖、果糖和葡萄糖组分均是受多基因控制的数量性状。糖组分在子代中的变异系数范围为26.74%~35.45%(表1),各性状均出现广泛的分离,其中葡萄糖变异系数最大,两年变异系数分别为35.45%、31.32%,性状分离较为广泛。蔗糖变异系数最小,两年分别为32.78%、26.74%,推测蔗糖在杂交后代中的变异较其他糖组分低。子代的果糖、葡萄糖含量平均值大于中亲值,趋向于变大遗传,且超高亲率较高,表明这两个组分还存在非加性效应的影响。

2.2.2 果实酸组分的遗传变异分析 苹果酸含量分布符合典型的正态分布特征(图4),草酸、富马酸、酒石酸、奎宁酸含量的两年数据分布倾向于含量较低的区域,含量高的后代比例小,呈现出右偏正态分布,表明枣杂交后代果实各酸组分是受多基因控制的数量性状。酸组分的变异系数在29.67%~42.86%之间(表1),各性状均呈现出广泛分离,其中两年的草酸含量均值均高于中亲值,中亲优势率分

别为32.00%和25.00%,遗传传递力较高,具有趋高遗传变异趋势。2020年酒石酸含量平均值高于中亲值,2021年酒石酸含量平均值低于中亲值,变异系数分别为39.29%和41.18%,表明酒石酸性状受环境影响较大。两年的富马酸含量平均值均高于中亲值,变异系数分别为42.86%和38.57%,遗传传递力较高,具有趋高遗传趋势。两年的苹果酸含量变异系数分别为32.53%、29.67%,变异系数相对较小。苹果酸含量的中亲优势率均为负值,子代平均值明显低于低亲值,推测枣杂交后代苹果酸趋向于变小遗传。两年的草酸含量平均值均高于中亲值,倾向于高亲遗传,变异系数分别为33.33%和40.00%,遗传变异相对较小。

2.2.3 果实糖酸比及维生素C遗传变异分析 两年维生素C含量均呈现出右偏正态分布特征(图5),表明其是受多基因控制的数量性状。两年维生素C含量变异系数分别为25.65%、27.20%,性状分离相对较小。2个年度的糖酸比变异系数分别为30.00%、37.48%,性状分离广泛,且两年的平均值均高于中亲值,具有超高亲遗传趋势。遗传传递力在两年中分别为106.23%、135.56%(表1),说明糖酸比性状的遗传力较高。



(图3)

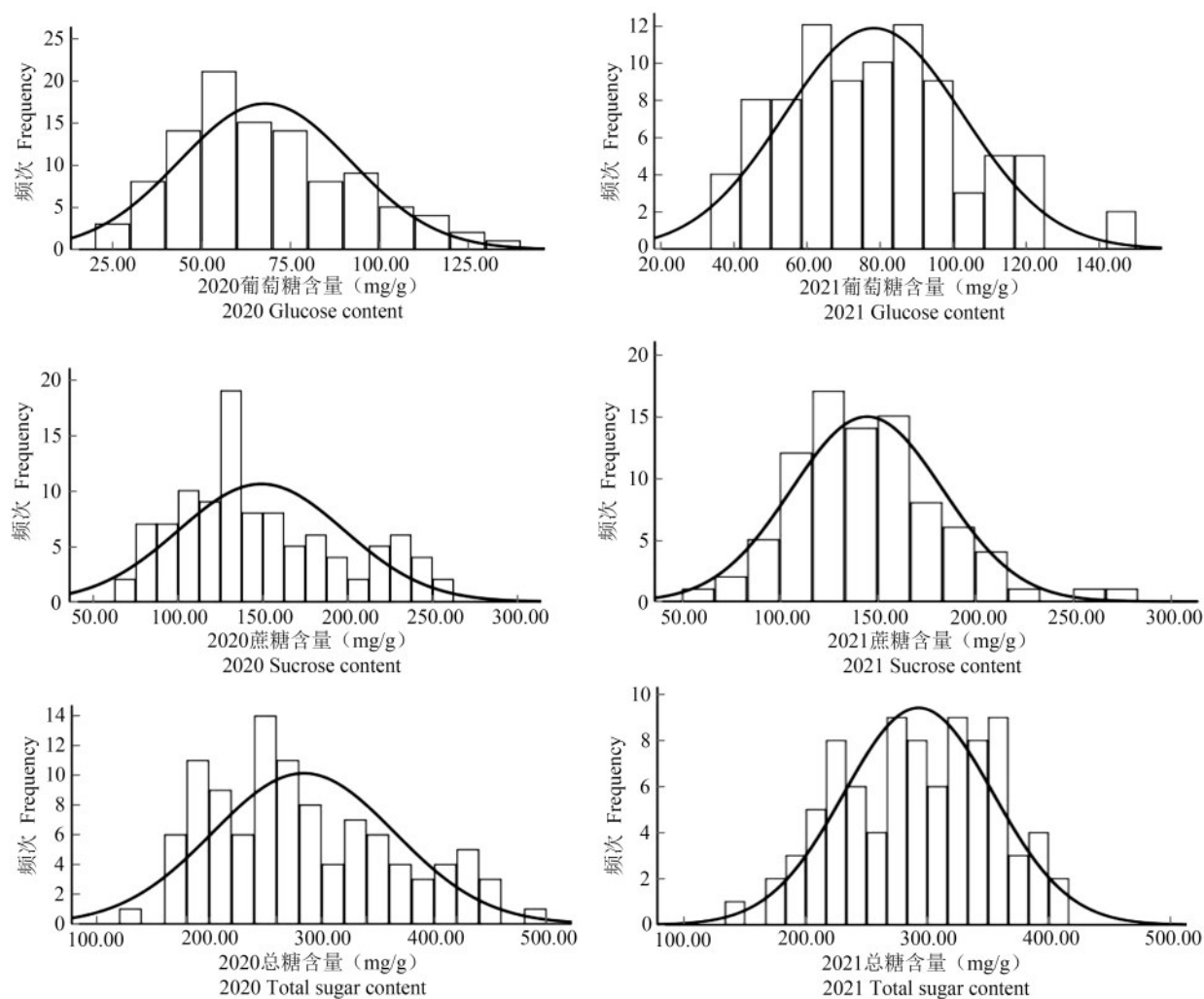
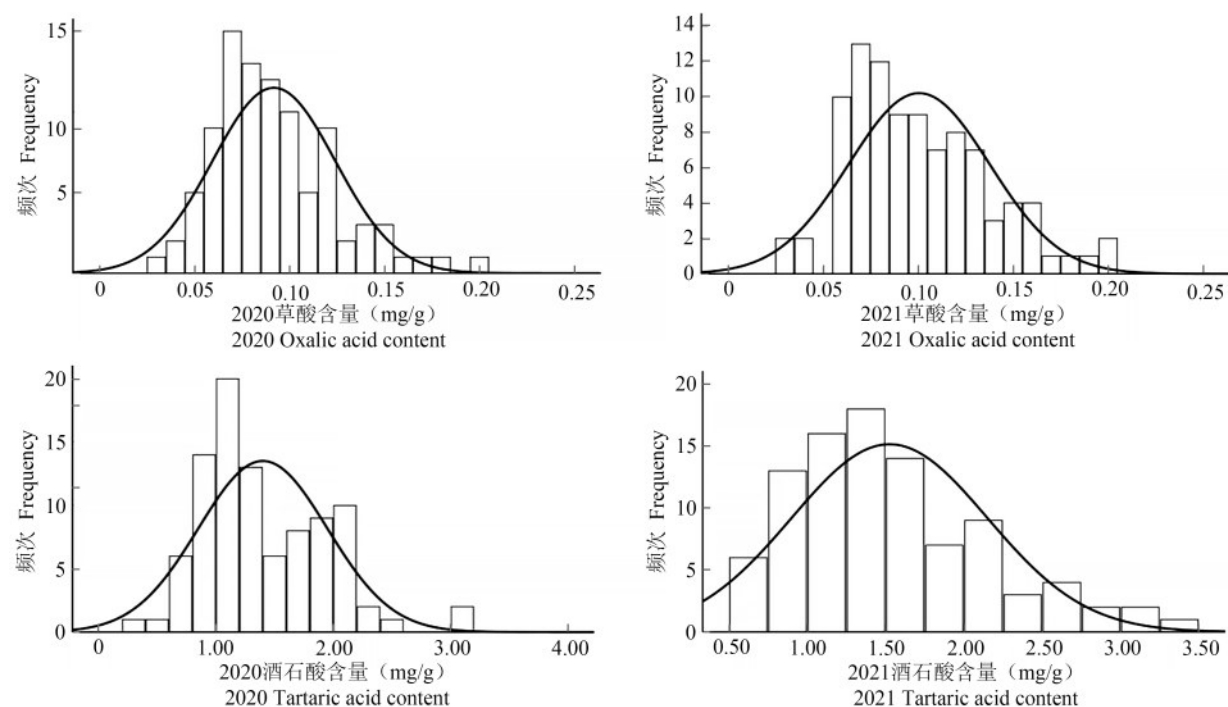


图3 果实糖组分与总糖正态分布图

Fig.3 Normal distribution of sugar constitution and total sugar in fruit



(图4)

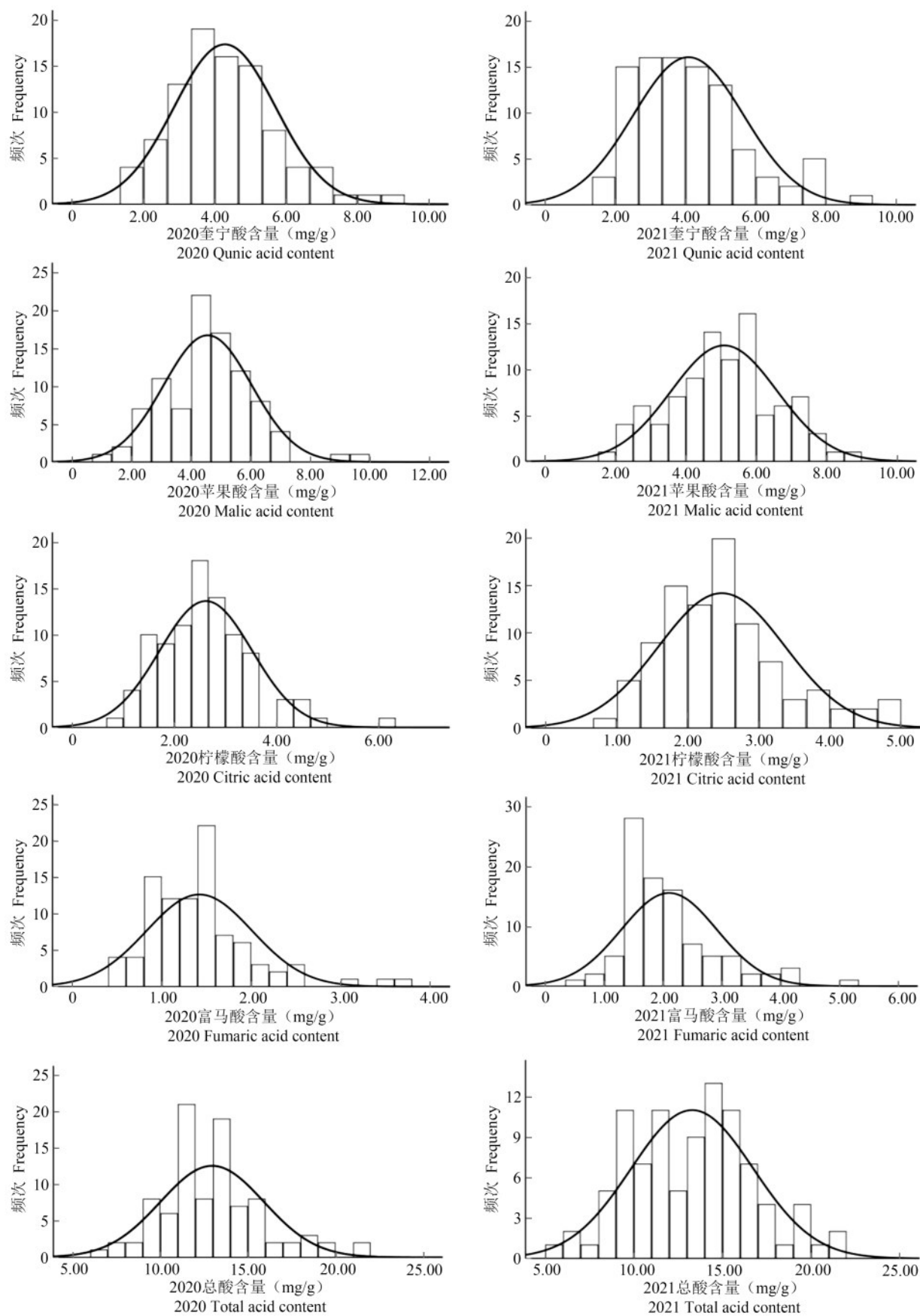


图4 果实酸组分与总酸正态分布图

Fig.4 Normal distribution of acid distribution and total acid in fruit

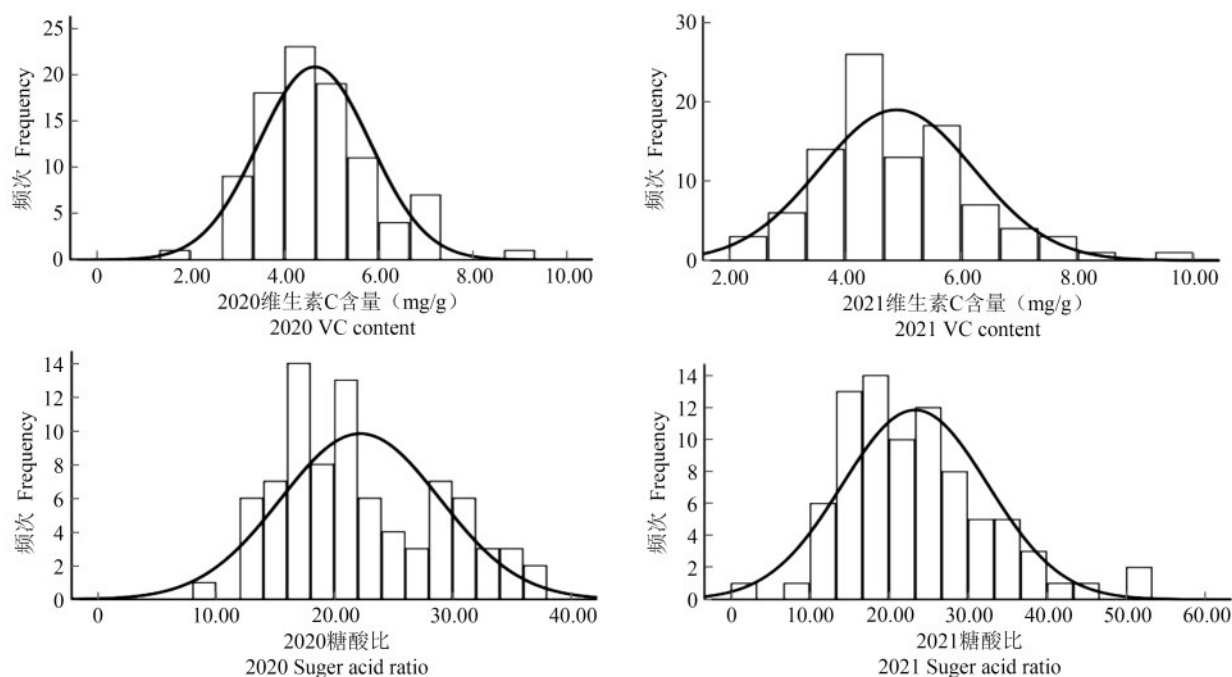


图5 果实糖酸比与维生素C含量正态分布图

Fig.5 Normal distribution of sugar-acid ratio and vitamin C content in fruit

表1 果实糖酸组分性状的遗传变异分析

Table 1 Genetic variation analysis of sugar constitutions and acid constituents in fruit

年份 Year	性状 Traits	亲本 Parents			子代群体 Offspring								
		母本 Female	父本 Male	中亲值 Mid-parent value	平均值 Mean	标准差 SD	最小值 Max.	最大值 Min.	变异 系数 (%) CV	中亲优势率 (%)	遗传	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis
										Ratio of mid -parent heterosis	传递力(%) Genetic transmissibility		
2020	果糖含量(mg/g)	54.76	45.34	50.05	66.28	23.09	24.63	127.14	34.85	32.43	132.43	0.63	-0.37
	葡萄糖含量(mg/g)	50.54	77.12	63.83	67.95	24.09	21.53	138.35	35.45	6.46	106.46	0.64	-0.15
	蔗糖含量(mg/g)	136.19	135.47	135.83	149.10	48.88	62.56	260.62	32.78	9.77	109.77	0.52	-0.61
	总糖含量(mg/g)	241.49	257.93	249.71	284.07	80.99	139.57	482.19	28.51	13.76	113.76	0.52	-0.59
	草酸含量(mg/g)	0.08	0.06	0.07	0.09	0.03	0.03	0.20	33.33	32.00	132.00	0.88	0.91
	酒石酸含量(mg/g)	0.94	0.82	0.88	1.40	0.55	0.35	3.19	39.29	59.41	159.41	0.81	0.63
	奎宁酸含量(mg/g)	4.32	2.89	3.60	4.28	1.43	1.91	8.97	33.41	18.85	118.85	0.71	0.69
	苹果酸含量(mg/g)	5.23	5.40	5.32	4.55	1.48	1.28	9.49	32.53	-14.40	85.60	0.46	0.99
	柠檬酸含量(mg/g)	1.60	2.35	1.97	2.62	0.91	0.99	6.12	34.73	32.87	132.87	0.88	1.66
	富马酸含量(mg/g)	1.47	0.99	1.23	1.40	0.60	0.41	3.60	42.86	13.82	113.82	1.18	2.88
	维生素C含量(mg/g)	4.30	3.82	4.06	4.64	1.19	1.97	9.13	25.65	14.30	114.30	0.75	1.38
	总酸含量(mg/g)	12.17	11.53	11.85	12.96	3.33	2.81	21.62	25.69	9.37	109.37	0.43	1.13
	糖酸比	19.85	22.38	21.12	22.43	6.73	8.64	36.77	30.00	6.23	106.23	0.42	-0.77
2021	果糖含量(mg/g)	57.02	58.22	57.62	70.01	21.85	32.97	131.95	31.21	21.50	121.50	0.40	-0.2
	葡萄糖含量(mg/g)	60.12	56.48	58.30	78.12	24.27	34.01	148.00	31.32	34.00	134.00	0.50	-0.05
	蔗糖含量(mg/g)	165.89	143.95	154.92	144.68	38.69	64.05	278.26	26.74	-6.61	93.39	0.79	1.04
	总糖含量(mg/g)	283.03	258.65	270.84	292.82	61.40	147.55	404.27	20.97	8.12	108.12	-0.16	-0.85
	草酸含量(mg/g)	0.09	0.07	0.08	0.10	0.04	0.03	0.20	40.00	25.00	125.00	0.63	0.06
	酒石酸含量(mg/g)	1.54	1.58	1.56	1.53	0.63	0.58	3.42	41.18	-1.92	98.08	0.86	0.32
	奎宁酸含量(mg/g)	4.84	3.62	4.23	4.08	1.57	1.49	9.15	38.96	-3.55	96.45	0.91	0.62

表 1 (续)

年份 Year	性状 Traits	亲本 Parents		子代群体 Offspring									
		母本 Female	父本 Male	中亲值	平均值 Mean	标准差 SD	最小值 Max.	最大值 Min.	变异 系数 (%) CV	中亲优势率 (%)	遗传 传递力(%)	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis
				Mid- parent value						Ratio of mid- parent heterosis	Genetic transmissibility		
	苹果酸含量(mg/g)	6.62	7.24	6.93	5.09	1.51	1.85	8.56	29.67	-26.55	73.45	0.01	-0.45
	柠檬酸含量(mg/g)	2.32	3.22	2.77	2.48	0.89	0.95	4.94	35.89	-10.47	89.53	0.83	0.56
	富马酸含量(mg/g)	2.29	1.69	1.99	2.10	0.81	0.66	5.02	38.57	5.53	105.53	1.24	1.58
	维生素 C 含量(mg/g)	6.48	6.40	6.44	4.89	1.33	2.40	9.50	27.20	-24.07	75.93	0.72	0.83
	总酸(mg/g)	15.42	15.75	15.58	13.28	3.44	5.95	21.39	25.88	-14.70	85.30	-0.16	-0.85
	糖酸比	18.35	16.41	17.38	23.56	8.83	9.91	50.65	37.48	35.56	135.56	0.92	0.74

2.3 果实糖组分与酸组分的相关性分析

两年间果糖与蔗糖均呈现极显著正相关(表 2), 相关性系数分别为 0.91 (2020 年)、0.90 (2021 年)。果糖、葡萄糖、蔗糖在两年中均与总糖极显著正相关, 果糖与葡萄糖呈现极显著正相关。酒石酸与苹果酸两年间均呈现稳定的极显著正相关, 相关系数分别为 0.32、0.29。苹果酸与草酸、富马酸、酒石酸、总酸呈现极显著的正相关, 与糖酸比呈现极显著的负相关。富马酸与奎宁酸、苹果酸呈现极显著的正相关。酒石酸与奎宁酸、苹果酸呈现极显著的正相关, 草酸、奎宁酸、苹果酸、柠檬酸与糖酸比呈现极显著的负相关。说明糖酸比的变化主要是受酸组分的影响。

2.4 高糖酸杂交优系的筛选

将所有杂交后无性系按照糖酸组份含量由高到低排序, 在 140 个杂交后代中挑选出排名前八的高糖杂交优系, 排名前六的高酸杂交优系, 排名前六的高糖酸比杂交优系(表 3)。8 个高糖优系中 J17 总糖含量最高, 为 425.6 mg/g, 高于亲本 70.44%。除 J61 的糖组分中葡萄糖含量最高外, 其余杂交后无性系均为蔗糖含量最高, 葡萄糖含量次之, 果糖含量最低。

高糖杂交后无性系酸组分中苹果酸含量较高, J64、3J13、J61 的糖酸比较其他杂交后无性系高。在所有杂交后无性系中 J135 总酸含量最高, 为 18.19 mg/g, 苹果酸含量为 7.39 mg/g, 明显高于其他杂交后无性系。在所有杂交后无性系中糖酸比最高的是 J161, 为 43.3, 糖酸比最低的是 J23, 为 27.53。高糖酸比后代中 J70 糖含量高, 其口感酸甜更佳; J59 总酸含量最高, 口感偏酸。3J10 中柠檬酸含量最高, 并且该杂交后无性系总糖含量在 6 个杂交后

无性系中最高, 为 425.66 mg/g, 属于高糖、高酸杂交后无性系。

3 讨论

3.1 杂交后代果实的糖酸组分分布规律

枣中糖、酸的组分及含量是衡量果实品质和营养价值的重要指标。高京草等^[16]通过对不同枣树品种果实的研究发现, 枣干果中蔗糖所占含量最高。王建宇等^[17]通过对不同枣品种糖组分的研究发现, 蔗糖含量变化范围为 15.73%~66.87%, 相比于果糖、葡萄糖含量最高。邓倩等^[18]、张亚若^[19]对不同枣品种的糖组分含量进行检测, 均发现蔗糖含量在糖组分中占主导地位。Ma 等^[20]通过高效液相色谱测定 364 份苹果果实中的可溶性糖发现其中果糖含量最高。刘有春等^[21]通过对越橘杂交后代果实中糖酸性状进行分析得出, 其果实中果糖和葡萄糖为主要成分, 柠檬酸和酒石酸为主要有机酸成分。郭梁等^[22]通过研究发现甜樱桃中果糖和葡萄糖占比最高, 苹果酸含量最高。本研究采用箱线图对糖组分以及总糖含量进行分析, 数据分布更加直观。连续两年对糖组分与总糖测定分析, 排除环境和栽培技术的影响。朱更瑞等^[22]通过对 118 份桃地方品种的研究发现, 其中可溶性糖、总糖、蔗糖表现出较高的分布水平, 与本研究结果一致。研究发现枣杂交后代果实属于蔗糖积累型果实。蔗糖含量在糖组分当中含量最高, 占比 52.5%, 其次为葡萄糖, 果糖含量最低。

关于不同枣品种果实的酸组分的研究, 孙延芳等^[23]测得枣果实中酸组分多为柠檬酸、苹果酸、奎宁酸, 所得结果并不全面。童盼盼^[24]通过对 3 种枣主栽品种成熟果实中酸组分研究发现, 苹果酸含量最高。马倩倩^[25]通过对枣果实的研究发现苹果酸

表 2 糖酸组分的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of sugar fraction and acid fraction

性状 Traits	果糖含量 Fructose content	蔗糖含量 Sucrose content	葡萄糖含量 Glucose content	总糖含量 Total sugar content	草酸含量 Oxalic acid content	富马酸含量 Fumaric acid content	酒石酸含量 Tartaric acid content	奎宁酸含量 Quinic acid content	苹果酸含量 Malic acid content	柠檬酸含量 Citric acid content	总酸含量 Total acid content	糖酸比 Sugar acid ratio
果糖含量 Fructose content	1											
蔗糖含量 Sucrose content	0.91**	1										
葡萄糖含量 Glucose content	0.29**	0.29**	1									
总糖含量 Total sugar content	0.63**	0.63**	0.65**	1								
草酸含量 Oxalic acid content	0.03	0.03	-0.14	-0.08	1							
富马酸含量 Fumaric acid content	0.02	0	-0.10	-0.08	0.11	1						
酒石酸含量 Tartaric acid content	0.07	0.06	-0.12	-0.04	0.29**	0.11	1					
奎宁酸含量 Quinic acid content	0.05	0.02	-0.03	-0.03	0.05	0.13	0.06	1				
苹果酸含量 Malic acid content	0.11	0.12	0.01	0.06	0.04	0.07	0.32**	0.17*	1			
柠檬酸含量 Citric acid content	-0.07	-0.06	-0.03	-0.06	0.09	0.15	0.12	0.10	0.13	1		
总酸含量 Total acid content	0.05	0.04	-0.06	-0.03	0.14	0.19*	0.37**	0.48**	0.57**	0.35**	1	
糖酸比 Sugar acid ratio	0.07	0.07	0.10	0.14	-0.12	-0.19*	-0.12	-0.37**	-0.11	-0.19**	-0.33**	1

左下为 2020 年相关性, 右上为 2021 年相关性; *表示在 $P<0.05$ 水平上显著相关; **表示在 $P<0.01$ 水平上极显著相关The lower left is the 2020 correlation, and the upper right is the 2021 correlation. * indicates a significant correlation at the $P<0.05$ level; ** indicates a significant correlation at the $P<0.01$ level

含量最高可达 19.21 mg/g。赵爱玲等^[26]对 219 种枣品种酸组分研究, 结果表明枣中有有机酸以苹果酸、奎宁酸、柠檬酸为主, 分别占总酸的 47.27%、33.38% 和 11.87%。梁丰志等^[27]通过对 3 种不同糖积累型的 9 个枣品种研究发现, 其主要糖酸组分为蔗糖、葡萄糖、果糖、苹果酸、柠檬酸、琥珀酸。刘晓庚等^[28]对南酸枣研究发现枣中 21 种有机酸中柠檬酸、酒石酸、苹果酸为主要成分。王德^[29]研究发现在灰枣和骏枣果实中苹果酸含量最高。本研究对 140 株杂交后代进行酸组分测定, 结果表明杂交后代果实总有机酸含量由高到低依次为苹果酸>奎宁酸>柠檬酸>酒石酸>草酸>富马酸, 与郁荷香等^[30]发现枣果实中酸组分的含量分布规律一致。

3.2 杂交后代糖酸组分遗传变异特点

在苹果、桃、柑橘等果树上研究表明, 果实当中糖含量是由多基因控制的数量性状, 加性效应在遗传效应占比较大^[31-35]。谢欢等^[36]研究发现枣中可溶性糖、有机酸均呈现正态分布, 属于多基因控制的数量性状。陈美霞等^[37]通过对杏杂交后代果实分析得出苹果酸、总酸、总糖及蔗糖遗传表现为基因的加性效应。李宝江等^[38]通过研究发现苹果酸含量是受主效基因和加性多基因共同控制。王宏伟等^[39]通过研究发现白梨和砂梨的杂交后代果实中苹果酸和柠檬酸呈现连续变异。本研究发现, 糖组分(果糖、蔗糖、葡萄糖)以及总糖两年中含量均呈现出正态分布特征, 苹果酸与柠檬酸、总酸均呈现典型的正态分布特征, 草酸、富马酸、酒石酸、奎宁酸平均含量呈现出右偏正态分布, 为多基因控制的数量性状。

连续两年的果糖、葡萄糖、蔗糖及总糖含量平均值均高于中亲值, 具有趋高遗传趋势。各酸组分中苹果酸含量最高, 变异系数最小, 说明苹果酸相对其他酸组分在子代中性状分离幅度小。草酸、富马酸含量平均值均高于中亲值, 说明这两种组分遗传不仅存在加性效应, 还存在一定的非加性效应, 呈现出高亲遗传规律。苹果酸含量平均值均低于中亲值, 主要表现为基因的加性效应, 呈现出低亲遗传规律。酸组分在两年的遗传传递力差异较大, 表明在杂交后代中酸组分受环境和栽培措施影响较大。

本研究发现果糖与蔗糖、葡萄糖含量呈现极显著正相关, 说明随着果糖的增加, 蔗糖、葡萄糖也增加, 这与前人研究结果一致^[40-43]。研究发现总酸与苹果酸和奎宁酸呈现显著的正相关, 苹果酸与总酸

相关系数最大,这与周晓凤等^[44]研究结果一致。郭梁等^[45]研究结果发现总酸与奎宁酸的相关系数最大,奎宁酸与苹果酸呈现极显著的负相关,与柠檬酸呈现显著负相关。本研究发现,富马酸与奎宁酸、苹果酸呈现极显著的正相关,酒石酸与奎宁酸、苹果酸呈现极显著的正相关。且总酸与酒石酸、奎宁酸呈现显著正相关,进一步说明酒石酸、奎宁酸、苹果酸、柠檬酸是总酸的主要组成。

表3 筛选出的高糖、高酸优系
Table 3 Superior lines of high-sugar and high-acid in progenies

类型 Type	编号 No.	总糖含量 (mg/g) Total sugar content	总酸 含量 (mg/g) Total acid content	果糖含量 (mg/g) Fructose content	葡萄糖 含量 (mg/g) Glucose content	蔗糖 含量 (mg/g) Sucrose content	草酸含量 (mg/g) Oxalic acid content	富马酸 含量 (mg/g) Fumaric acid content	酒石酸 含量 (mg/g) Tartaric acid content	奎宁酸 含量 (mg/g) Quinic acid content	苹果酸 含量 (mg/g) Malic acid content	柠檬酸 含量 (mg/g) Citric acid content	糖酸比 Sugar acid ratio
高糖 High sugar	J17	425.60	14.83	107.90	117.67	200.04	0.10	0.01	2.07	3.54	5.51	3.59	28.66
	3J21	387.38	18.19	90.74	96.68	199.96	0.11	0.02	2.38	5.98	7.39	2.32	21.32
	J64	387.19	12.11	97.51	98.60	191.08	0.06	0.01	1.16	3.44	5.14	2.29	32.05
	3J13	379.22	12.12	91.67	96.74	190.80	0.07	0.02	1.32	4.46	4.65	1.59	31.56
	J61	377.07	11.39	121.20	130.82	125.06	0.09	0.02	1.65	2.05	5.07	2.51	33.13
	J143	362.63	12.17	81.97	85.13	195.53	0.07	0.01	1.17	3.13	6.08	1.71	30.83
	J137	359.30	13.07	74.90	84.29	200.13	0.09	0.01	1.36	4.68	4.65	2.28	27.68
	J97	350.2	11.03	55.78	57.05	237.46	0.08	0.02	0.78	4.62	3.90	1.63	32.28
高酸 High acid	J135	387.38	18.19	90.74	96.68	199.96	0.11	0.02	2.38	5.98	7.39	2.32	21.32
	3J10	425.66	14.83	107.90	117.67	200.04	0.10	0.01	2.07	3.54	5.51	3.59	28.66
	J159	389.40	13.22	101.03	109.57	178.80	0.07	0.01	1.57	3.41	5.15	3.00	29.69
	108	362.63	12.17	81.97	85.13	195.53	0.07	0.01	1.17	3.13	6.08	1.71	30.83
	J129	377.07	11.39	121.20	130.82	125.06	0.09	0.02	1.65	2.05	5.07	2.51	33.13
	J10	350.28	11.03	55.78	57.05	237.46	0.08	0.02	0.78	4.62	3.90	1.63	32.28
高糖酸比 High glycolic acid	J161	275.80	6.45	57.25	62.40	156.15	0.05	0.01	0.95	1.87	2.25	1.32	43.30
	J13	311.72	9.02	91.55	98.05	122.12	0.08	0.02	1.00	2.24	3.54	2.14	34.54
	J70	307.10	8.96	84.15	85.80	137.16	0.11	0.01	1.35	2.45	3.44	1.59	34.47
	J59	299.49	10.18	83.94	86.64	128.91	0.09	0.04	1.19	3.25	3.41	2.20	29.91
	J138	262.07	9.13	70.36	68.92	122.79	0.09	0.02	1.16	3.91	2.22	1.74	29.24
	J23	249.94	9.13	65.86	71.26	112.82	0.08	0.01	1.21	2.75	2.98	2.10	27.53

3.3 杂交优系的筛选

本研究表明杂交后代糖组分和酸组分各性状分离广泛,特征差异明显,具有一定数量的超亲单株出现,并筛选得出高糖、高酸以及高糖酸比的优系。筛选的高糖优系总糖含量较亲本和其他后代单株高出 36%~70%,其中 J17 总糖含量最高,为 425.6 mg/g,高于亲本 70.44%,明显高于赛蜜酥 1 号 121.88 mg/g^[46]。筛选的高酸优系总酸含量为 11.03~18.19 mg/g。优系 J17 不仅糖酸比较高,且总糖含量最高,其鲜食口感酸甜最佳。吴硕等^[47]对 31 份枣资源的糖酸比进行分析得出,枣果实糖酸比为 7.0~44.8 之间,其中襄汾圆枣、晋矮大枣、灵宝大枣糖酸比较高。本研究所选出的 20 个优系糖酸比在 21.32~43.30 之间,明显高于其他优系品种。

4 结论

枣 JMS2×交城 5 号 F₁ 代属于蔗糖积累型果实,其中蔗糖含量在糖组分中含量最高,占比达 52.5%,其次为葡萄糖占总糖 23.92%,果糖含量最低为 23.33%。有机酸含量由高到低依次为苹果酸>奎宁酸>柠檬酸>酒石酸>草酸>富马酸,以苹果酸、奎宁酸和柠檬酸为主要成分,其中苹果酸占总酸 35.10%。糖组分、酸组分均呈现出正态分布特征,推测为多基因控制的数量性状。果糖、葡萄糖、蔗糖及总糖含量平均值均高于中亲值,草酸、富马酸平均值均高于中亲值,具有趋高遗传趋势。对 20 个高糖、高酸及高糖酸比杂交后代分析,最终筛选出高糖杂交优系 J17 和 J70。

参考文献

- [1] 汪弘扬, 张传辉, 刘雨涵. 后疫情时代红枣市场调查与预测. 中国市场, 2022(15): 142-144
Wang H Y, Zhang C Y, Liu Y H. Survey and forecast of red dates market in the post-epidemic era. China Market, 2022 (15): 142-144
- [2] 陈俊伟, 张上隆, 张良诚. 果实中糖的运输、代谢与积累及其调控. 植物生理与分子生物学学报, 2004, 14 (1): 1-10
Chen J W, Zhang S L, Zhang L C. Sugar transport, metabolism, accumulation and their regulation in fruits. Physiology and Molecular Biology of Plants, 2004, 14 (1): 1-10
- [3] 姜凤超, 孙浩元, 杨丽, 张俊环, 王玉柱. ‘串枝红’×‘骆驼黄’杏 F₁ 代糖酸性状的遗传变异分析. 果树学报, 2018, 35(6): 649-657
Jiang F C, Sun H Y, Yang L, Zhang J H, Wang Y Z. Analysis of genetic variation of sugar and acid contents in F₁ population of apricot derived from 'Chuanzhihong' × 'Luotuo Huang'. Journal of Fruit Science, 2018, 35(6): 649-657
- [4] 韩婷婷, 杨天资, 赵培磊, 祝军, 张玉刚, 孙晓红. ‘金冠’和‘红勋 1 号’杂交后代遗传多样性分析. 青岛农业大学学报: 自然科学版, 2021, 38(1): 1-6
Hang T T, Yang T Z, Zhao P P, Zhu J, Zhang Y G, Sun X H. Analysis of genetic diversity of the hybrid populations of 'Golden Delicious' × 'Hongxun No. 1'. Journal of Qingdao Agricultural University: Natural Science, 2021, 38(1): 1-6
- [5] 张小燕, 陈学森, 彭勇, 王海波, 石俊, 张红. 新疆野苹果矿质元素与糖酸组分的遗传多样性. 园艺学报, 2008, 35 (2): 277-280
Zhang X Y, Chen X S, Peng Y, Wang H B, Shi J, Zhang H. Genetic diversity of mineral elements and sugar-acid fractions in Xinjiang wild apple. Horticultural Plant Journal, 2008, 35 (2): 277-280
- [6] 赵尊行, 孙衍华, 黄化成. 山东苹果中可溶性糖、有机酸的研究. 山东农业大学学报, 1995, 26(3): 355-360
Zhao Z X, Sun Y H, Huang H C. Research of soluble sugars and organic acids in apples of Shandong. Journal of Shandong Agricultural University, 1995, 26(3): 355-360
- [7] 王海波, 陈学森, 辛培刚, 张小燕, 慈志娟, 石俊, 张红. 几个早熟苹果品种果实糖酸组分及风味品质的评价. 果树学报, 2007, 22 (4): 513-516
Wang H B, Chen X S, Xin P G, Zhang X Y, Ci Z J, Shi J, Zhang H. Evaluation of sugar-acid fraction and flavor quality of fruits of several early-ripening apple varieties. Journal of Fruit Science, 2007, 22 (4): 513-516
- [8] 陈发兴, 刘星辉, 陈立松. 果实有机酸代谢研究进展. 果树学报, 2005, 22(5): 526-531
Chen F X, Liu X H, Chen L S. Advances in research on organic acid metabolism in fruits. Journal of Fruit Science, 2005, 22(5): 526-531
- [9] Amaki Y T. Organic acid in the juice of citrus fruits. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 1989, 58: 587-594
- [10] 贾楠, 李敏敏, 韩斌, 尹勇刚, 刘长江, 孙艳, 赵胜建, 郭紫娟. ‘玫瑰香’和‘红地球’葡萄杂交后代果实糖酸性状遗传倾向分析. 河北果树, 2021, 168 (4): 9-10, 12
Jia N, Li M M, Han B, Yin Y G, Liu C J, Sun Y, Zhao S J, Guo Z J. Genetic predisposition of sugar and acid in hybrid progeny of 'Muscat Hamburg' and 'Red Globe' grape. Hebei Fruits, 2021, 168 (4): 9-10, 12
- [11] 陈力耕, 胡运权, 陈克玲. 克里迈丁×本地早果实主要性状的遗传. 中国柑桔, 1988, 12 (2): 3-5
Chen L G, Hu Y Q, Chen K L. Inheritance of the main traits of cremidine × local early fruit. South China Fruits, 1988, 12(2): 3-5
- [12] 刘有春, 鄂辉邦, 刘成, 王兴东, 杨艳敏, 孙斌, 张舵, 袁兴福, 魏永祥. 越橘半同胞系杂交后代果实糖酸性状的变异和遗传倾向. 果树学报, 2016, 33(6): 664-675
Liu Y C, E H B, Liu C, Wang X D, Yang Y M, Sun B, Zhang D, Yuan X F, Wei Y X. Variation and genetic predisposition for sugar-acid traits in fruit of crossed progeny of lingonberry hemizygous line. Journal of Fruit Science, 2016, 33(6): 664-675
- [13] 蒲云峰. 骏枣苦味物质鉴定及形成机理研究. 杭州: 浙江大学, 2019
Pu Y F. Identification and formation mechanism of bitter substances in jujube. Hangzhou: Zhejiang University, 2019
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.8-2016 食品安全国家标准食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定. 北京: 中国标准出版社, 2016
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. GB 5009.8-2016 food safety national standards for the determination of fructose, glucose, sucrose, maltose and lactose in food. Beijing: China Standard Publishing House, 2016
- [15] 周晓凤. 基于果实糖酸分析的枣种质资源遗传多样性研究. 阿拉尔: 塔里木大学, 2019
Zhou X F. Study on genetic diversity of jujube germplasm resources based on fruit sugar-acid analysis. Aral: Tarim University, 2019
- [16] 高京草, 哈力娜·哈麦拉, 韩刚, 李宁. 不同枣品种果实中主要糖分及其含量特征. 北方园艺, 2017, 41 (16): 31-36
Gao J C, Ha L N, Han G, Li N. Characteristics of main sugar and its contents in different jujube cultivars. Northern Horticulture, 2017, 41 (16): 31-36
- [17] 王建宇, 王振磊, 林敏娟. 不同枣品种果实中可溶性糖及组成成分分析. 黑龙江农业科学, 2019(8): 115-119
Wang J N, Wang Z L, Lin M J. Analysis of soluble sugar content and composition on fruit of different jujube varieties. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2019(8): 115-119
- [18] 邓倩, 王羊, 邓群仙, 张慧芬, 夏惠, 林立金, 吕小平, 廖文飞.

- 枣和酸枣果实可溶性糖积累规律差异研究. 四川农业大学学报, 2021, 39(6): 734-741
- Deng Q, Wang Y, Deng Q X, Zhang H F, Xia H, Lin L J, Lv X P, Liao W F. Differences in soluble sugar accumulation pattern in *Ziziphus jujuba* Mill. and *Ziziphus acidojujuba* Cheng et Liu fruits. Journal of Sichuan Agricultural University, 2021, 39(6): 734-741
- [19] 张亚若. 枣果实糖代谢模式及相关基因表达与转录组分析. 阿拉尔: 塔里木大学, 2021
- Zhang Y R. Expression and transcriptome analysis of sugar metabolism patterns and related genes in jujube fruits. Aral: Tarim University, 2021
- [20] Ma B Q, Chen J, Zheng H Y, Fang T, Collins O, Li S H, Han Y P, Wu B H. Comparative assessment of sugar and malic acid composition in cultivated and wild apples. Food Chemistry, 2015, 172(1): 86-91
- [21] 刘有春, 魏永祥, 王兴东, 刘成, 蒋明三, 张舵, 袁兴福, 陶承光. 南高丛越橘品种 'Sapphire' 和北高丛品种 'Berkeley' 正反交后代果实糖酸组分含量的遗传倾向. 中国农业科学, 2014, 47(24): 4878-4885
- Liu Y C, Wei Y X, Wang X D, Liu C, Jiang M S, Zhang D, Yuan X F, Tao C G. Inheritance tendency of sugar and acid contents in the reciprocal cross progenies' fruits of southern × northern high bush blueberry (*vaccinium*). Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(24): 4878-4885
- [22] 朱更瑞, 王新卫, 曹珂, 方伟超, 陈昌文, 王力荣. 不同生态品种群桃果实糖酸及其组分含量分析. 植物遗传资源学报, 2017, 18(5): 891-904
- Zhu G R, Wang X W, Cao K, Fang W C, Chen C W, Wang L R. Analysis of sugar and acid content and its components in peach fruit of different ecological varieties. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(5): 891-904
- [23] 孙延芳, 梁宗锁, 杨开宝, 刘政. 高效液相色谱法分析酸枣中的有机酸和维生素 C. 黑龙江农业科学, 2011, 1(8): 80-82
- Sun Y F, Liang Z S, Yang K B, Liu Z. Analysis of organic acids and VC in sour jujube by high performance liquid chromatography. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2011, 1(8): 80-82
- [24] 童盼盼. 枣果实酸积累模式及相关基因挖掘. 阿拉尔: 塔里木大学, 2021
- Tong P P. Acid accumulation pattern and related gene mining in jujube fruits. Aral: Tarim University, 2021
- [25] 马倩倩. 枣果实发育过程中主要有机酸含量变化及其相关代谢的研究. 阿拉尔: 塔里木大学, 2017
- Ma Q Q. Changes in the content of major organic acids during the development of jujube fruit and their related metabolism. Aral: Tarim University, 2017
- [26] 赵爱玲, 薛晓芳, 任海燕, 王永康, 李登科, 李毅. 枣种质资源有机酸组分及含量特征分析. 西北农业学报, 2021, 30(8): 1185-1198
- Zhao A L, Xue X F, Ren H Y, Wang Y K, Li D K, Li Y. Analysis of composition and content characteristics of organic acids in jujube germplasm. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2021, 30(8): 1185-1198
- [27] 梁丰志, 孙金梅, 童盼盼, 张亚若, 王迪, 王江波. 不同糖积累型枣糖酸积累特征及差异性分析. 湖北农业科学, 2021, 60(9): 78-83
- Liang F Z, Sun J M, Tong P P, Zhang Y R, Wang D, Wang J B. Analysis on the characteristics and differences of sugar-acid accumulation in different sugar accumulation types of jujube. Hubei Agricultural Sciences, 2021, 60(9): 78-83
- [28] 刘晓庚, 陈优生. 南酸枣果实的成分分析. 中国野生植物资源, 2000, 12(3): 35-40
- Liu X G, Chen Y S. Analysis of constituents in choerosponclias axillaris fruits. Chinese Wild Plant Resources, 2000, 12(3): 35-40
- [29] 王德. 枣新品系鉴定及其经济生物学性状研究. 阿拉尔: 塔里木大学, 2016
- Wang D. Identification of new strains of jujube and their economic and biological traits. Aral: Tarim University, 2016
- [30] 郁香荷, 章秋平, 刘威生, 孙猛, 刘宁, 张玉萍, 徐铭. 中国李种质资源形态性状和农艺性状的遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2011, 12(3): 402-407
- Yu X H, Zhang Q P, Liu W S, Sun M, Liu N, Zhang Y P, Xu M. Genetic diversity analysis of morphological and agronomic characters of Chinese plum germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources, 2011, 12(3): 402-407
- [31] 林媚, 姚周麟, 王天玉, 徐阳, 徐建国, 张伟清. 8 个杂交柑橘品种的糖酸组分含量及特征研究. 果树学报, 2021, 38(2): 202-211
- Lin M, Yao Z L, Wang T Y, Xu Y, Xu J G, Zhang W Q. A study on the components and characteristics of sugars and acids in 8 hybrid citrus cultivars. Journal of Fruit Science, 2021, 38(2): 202-211
- [32] 王婷婷, 周阳广, 朱虹娟, 张苗, 段耀国, 曹惠祥, 管书萍, 解凯东, 伍小萌, 龙春瑞, 高俊燕, 郭文武. 2 个柑橘三倍体有性群体果实糖酸性状遗传评价. 果树学报, 2022, 39(7): 1147-1156
- Wang T T, Zhou Y G, Zhu H X, Zhang M, Duan Y H, Cao H X, Guan S P, Xie K D, Wu X M, Long C R, Gao J Y, Guo W W. Inheritance of sugar and acid contents in the fruits of triploid hybrids originated from two $2x \times 4x$ crosses with Nadorcott tangor as a female parent. Journal of Fruit Science, 2022, 39(7): 1147-1156
- [33] 刘志, 伊凯, 王冬梅, 杨巍, 杨锋, 张景娥. 富士杂交后代果实内在品质性状的遗传. 果树学报, 2004, 1(2): 95-102
- Liu Z, Yi K, Wang D M, Yang W, Yang F, Zhang J E. Studies on the fruit internal characteristics inheritance trends of fuji apple variety crossed progenies. Journal of Fruit Science, 2004, 1(2): 95-102
- [34] 郑丽静, 聂继云, 李明强, 康艳玲, 匡立学, 叶孟亮. 苹果风味

- 评价指标的筛选研究. 中国农业科学, 2015, 48(14): 2796-2805
- Zheng L J, Nie J Y, Li M Q, Kang Y L, Kuang L X, Ye M L. Study on screening of taste evaluation indexes for apple. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(14): 2796-2805
- [35] 许建兰, 马瑞娟, 张斌斌, 丁辉, 严娟, 俞明亮. 不同肉色桃杂交后代主要性状遗传规律研究. 果树学报, 2019, 36(1): 21-30
- Xu J L, Ma R J, Zhang B B, Ding H, Yan J, Yu M L. Study on inheritance of main characters in progenies generated from crosses between the peaches with different color. *Journal of Fruit Science*, 2019, 36(1): 21-30
- [36] 谢欢, 王中堂, 李明玥, 李新岗. 枣杂交后代果实性状遗传分析. 经济林研究, 2022, 40(2): 125-134
- Xie H, Wang Z T, Li M Y, Li X G. Genetic analysis of fruit characters in hybrid progeny of Chinese jujube. *Non-wood Forest Research*, 2022, 40(2): 125-134
- [37] 陈美霞, 陈学森, 王新国, 慈志娟. '凯特'与'新世纪'杏杂种后代风味物质遗传的初步研究. 园艺学报, 2006, 33(5): 942-946
- Chen M X, Chen C S, Wang X G, Ci Z J. Inheritance of flavor constituents in F₁ progenies of 'Katy' and 'Xinshiji' apricot. *Acta Horticulturae Sinica*, 2006, 33(5): 942-946
- [38] 李宝江, 景士西, 丁玉英, 张景娥. 苹果糖酸遗传和选择研究. 遗传学报, 1994, 12(2): 147-154
- Li B J, Jing S X, Ding Y Y, Zhang J E. Malic acid genetic and selection studies. *Journal of Genetics and Genomics*, 1994, 12(2): 147-154
- [39] 王宏伟, 王成荣, 于森, 戴洪义, 王然. 梨杂交后代果实主要有机酸遗传动态的研究. 青岛农业大学学报: 自然科学版, 2008, 23(3): 231-235
- Wang H W, Wang C R, Yu M, Dai H Y, Wang R. Genetic tendency of organic acid in the pear hybrid progeny. *Journal of Qingdao Agricultural University: Natural Science*, 2008, 23(3): 231-235
- [40] 李娅楠, 闫雷玉, 张波, 杨舜博, 赵政阳. 不同苹果品种果实糖酸组分特征研究. 果树学报, 2021, 38(11): 1877-1889
- Li Y N, Yan L Y, Zhang B, Yang S B, Zhao Z Y. A study on sugar and organic acid components in different apple cultivars. *Journal of Fruit Science*, 2021, 38(11): 1877-1889
- [41] 丁胜华, 王蓉蓉, 单杨, 李高阳, 黄绿红. 不同品种枣果实品质分析与评价. 食品与机械, 2016, 32(2): 31-36
- Ding S H, Wang R R, Shan Y, Li G Y, Huang L H. Quality attributes evaluation and analysis of different varieties jujube fruits. *Food & Machinery*, 2016, 32(2): 31-36
- [42] 梁力平, 赵岩, 于鑫森, 宋丽军. 新疆 99 个品种红枣有机酸测定及其多元统计分析. 食品研究与开发, 2022, 43(10): 181-188
- Liang L P, Zhao Y, Yu X M, Song L J. Determination and multivariate statistical analysis of organic acids in 99 varieties of Jujube in Xinjiang. *Food Research and Development*, 2022, 43(10): 181-188
- [43] Liu T J, Li Y P, Zhou J J, Hu C G, Zhang J Z. Genome-wide genetic variation and comparison of fruit-associated traits between kumquat (*Citrus japonica*) and clementine mandarin (*Citrus clementina*). *Plant Molecular Biology*, 2018, 6(4-5): 493-507
- [44] 周晓凤, 郭雪飞, 冯一峰, 蒲小秋, 吴翠云. 枣种质资源果实糖组分及其含量特征分析. 干旱区资源与环境, 2019, 33(7): 181-186
- Zhou X F, Gou X F, Feng Y F, Pu X Q, Wu C Y. Analysis of sugar components and content characteristics in jujube germplasm resources. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2019, 33(7): 181-186
- [45] 郭梁, 陈学森, 王海波, 石俊, 晋学娟, 刘晓静, 王娜. 甜樱桃实生后代部分品质性状的遗传变异. 中国农学通报, 2009, 25(5): 200-204
- Guo L, Chen X S, Wang H B, Shi J, Jin X J, Liu X J, Wang N. Genetic variation of some quality traits in live progeny of sweet cherries. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(5): 200-204
- [46] 靳娟, 张雁飞, 阿布都卡尤木·阿依麦提, 周龙, 郝庆. '赛蜜酥 1 号'枣及其芽变品系果实的性状差异. 西北植物学报, 2022, 42(6): 962-973
- Jin J, Zhang Y F, Aa Y M T, Zhou L, Hao Q. Trait differences between the fruit of 'Saimisui No. 1' jujube and its bud variant strains. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2022, 42(6): 962-973
- [47] 吴硕, 贾彦丽, 智福军, 魏薇. 31 份枣资源 19 个性状的多元统计分析. 河北农业科学, 2020, 24(5): 56-62, 70
- Wu S, Jia Y L, Zhi F J, Wei W. Multivariate statistical analysis of 19 characters of 31 Jujube resources. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2020, 24(5): 56-62, 70