

中华猕猴桃杂交 F₁ 代果实性状遗传分析及父本筛选夏文娟¹, 郑丽^{1#}, 邱首哲¹, 刘志新¹, 杨硕¹, 方金豹^{2,3}, 陈德林⁴, 孙雷明^{2,3*}

(¹咸宁市农业科学院, 湖北咸宁 437100; ²中国农业科学院郑州果树研究所, 郑州 450009; ³楚雄云果产业技术研究院, 云南楚雄 675009; ⁴咸宁香城特色农业技术研究院有限公司, 湖北咸宁 437100)

摘要:【目的】探讨金桃与不同雄株杂交所得 F₁ 代果实相关性状的遗传倾向, 分析不同父本对 F₁ 代雌雄比例、果实单果质量、可溶性固形物含量和果肉颜色的影响, 为猕猴桃杂交育种的父本选配提供理论依据。【方法】以中华猕猴桃金桃为母本, 10 个中华猕猴桃雄株为父本, 共配置 10 个杂交组合。统计各杂交组合 F₁ 代雌雄性别比例, 测定果实单果质量、可溶性固形物含量和果肉颜色, 分析各性状遗传倾向和不同组合间的差异性, 利用灰色关联度分析法对 10 个组合 3 个果实性状进行综合评价。【结果】10 个杂交组合的 F₁ 代雌雄性别比例均符合 1:1。10 个杂交组合 F₁ 代单果质量均低于母本, 变异系数 18.75%~26.00%, 其中 I-8 和 I-3 组合显著高于其他大部分组合; 可溶性固形物含量变异系数 9.14%~15.25%, 只有 3 个组合高于母本; 果肉颜色呈现黄色、黄绿色和浅绿色不同程度分离, 其中 I-9 和 I-7 组合果肉黄色表型占比最高。灰色关联度分析结果表明, 关联度与权重系数排序为: 可溶性固形物含量 > 单果质量 > 果肉颜色。10 个组合的加权关联度排序为: I-9 > I-3 > I-2 > I-7 > I-8 > I-5 > I-1 > I-4 > I-6 > I-10。【结论】F₁ 代果实单果质量、可溶性固形物含量和果肉颜色性状受父本影响较大, 部分杂交组合间有关性状呈现显著差异, 整体表现趋小倾向。综合各性状分析结果, 推断 I-9、I-3 和 I-2 组合的父本具有选育单果质量大、可溶性固形物含量高、黄色果肉猕猴桃新品种的潜力, 可作为选育中华系猕猴桃的父本库。

关键词: 中华猕猴桃; 果实性状; 遗传倾向; 灰色关联度分析; 父本筛选

中图分类号: S663.4

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2025)10-2240-09

Genetic analysis of fruit traits in F₁ generation of *Actinidia chinensis* and selection of paternal parentsXIA Wenjuan¹, ZHENG Li^{1#}, QIU Shouzhe¹, LIU Zhixin¹, YANG Shuo¹, FANG Jinbao^{2,3}, CHEN Delin⁴, SUN Leiming^{2,3*}

(¹Xianning Academy of Agriculture Sciences, Xianning 437100, Hubei, China; ²Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450009, Henan, China; ³Chuxiong Yunguo Agriculture Technology Research Institute, Chuxiong 675009, Yunnan, China; ⁴Xianning Xiangcheng Characteristic Agricultural Technology Research Institute Co., Ltd, Xianning 437100, Hubei, China)

Abstract: 【Objective】This experiment aimed to investigate the genetic trends of fruit-related traits in the F₁ generation of *Actinidia chinensis* ‘Jintao’ with different paternal parents, understand the influence of different paternal genotypes on the sex ratio, single fruit weight, soluble solids content (SSC), and flesh color of the F₁ generation and try to screen out potential superior paternal parents. 【Methods】Using *A. chinensis* ‘Jintao’ as the maternal parent and 10 different male *A. chinensis* genotypes as paternal parents, 10 hybrid combinations were established. The sex ratio of the F₁ generation was recorded, and fruit weight, soluble solids content (SSC), and flesh color were measured to analyze genetic trends and differences. Gray relational analysis (GRA) was applied for a comprehensive evaluation of fruit

收稿日期: 2025-03-25 接受日期: 2025-05-19

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFD1600700); 武汉市农科院创新项目(DSQ202505); 国家现代农业产业技术体系(CARS-26); 中国农业科学院科技创新工程(CAAS-ASTIP-2025-ZFRI-03)

作者简介: 夏文娟, 女, 农艺师, 本科, 研究方向为猕猴桃种质资源与遗传育种。Tel: 0715-8106066, E-mail: 378485104@qq.com。#为共同第一作者。郑丽, 副研究员, 硕士, 研究方向为猕猴桃种质资源与遗传育种。E-mail: 353068259@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 0371-65330995, E-mail: sunleiming@caas.cn

traits across the 10 hybrid combinations. At the harvest stage, 10 fruits were randomly sampled from each plant to measure single fruit weight and post-ripening SSC, while flesh color was visually described using the RHS color chart. Data were processed and statistically analyzed using Excel 2019, and GRA was also performed. SPSS 25.0 was used to calculate means, standard deviations, coefficients of variation (*CV*), chi-square values, and significance of differences. 【Results】 Among the 10 hybrid combinations, 8 exhibited male-biased sex ratio in the F₁ generation, while 2 showed female-biased ratios. However, the differences between the male and female amount were not significant, conforming to a 1:1 sex ratio. The average single fruit weight of the F₁ generation ranged from 59.95 g to 79.84 g, all smaller than that of the maternal parent (82 g), with coefficient of variations (*CV*) of 18.75%–26.00%. The top three combinations for average single fruit weight were I-3, I-8, and I-2 (79.84 g, 79.34 g, and 74.51 g respectively), significantly or marginally bigger than the others. The combination I-10 had the smallest average single fruit weight, only 59.95 g, significantly smaller than the most others. The maximum single fruit weight ranged from 85.42 g to 141.52 g among the 10 hybrid combinations, with a proportion exceeding the maternal parent ranged from 7.14% to 34.42%. Among them, I-8, I-3, and I-2 had the highest proportion of offspring surpassing the maternal parent (34.42%, 34.29%, and 30.77%, respectively). The average SSC of the F₁ generation ranged from 12.9% to 16.1%, with *CV* of 9.14%–15.25%. Only three combinations surpassed the maternal parent in average SSC, while the other seven were lower. The combinations I-2, I-9, and I-5 had the highest average SSC (16.1%, 15.9%, and 15.7% respectively), significantly higher than the others. The combination I-10 had the lowest average SSC, only 12.9%. The maximum SSC across the 10 combinations ranged from 16.9% to 20.1%, with 8.33%–63.46% exceeding the maternal parent. The combinations I-2, I-5, and I-9 had the highest proportions (63.46%, 50.00%, and 46.51%, respectively). The flesh color of F₁ generation showed a segregation of yellow, yellowish green, and light green, with yellow flesh being the most prevalent (41.18%–84.21%), while yellowish green and light green proportions were nearly equal. The combination I-3 did not produce light green flesh phenotype. By assigning values to different flesh colors, the top three combinations in descending order were I-7, I-9, and I-3. The gray correlation analysis of three traits revealed the following order of correlation and weight coefficients: SSC>single fruit weight>flesh color. The weighted relational degrees of 10 combinations ranked as: I-9>I-3>I-2>I-7>I-8>I-5>I-1>I-4>I-6>I-10. 【Conclusion】 The F₁ generation exhibited extensive segregation in single fruit weight and SSC, with an overall trend toward smaller fruit size and lower SSC. The differential analysis revealed significant variations in these traits among the F₁ generation of different hybrid combinations, suggesting that the observed differences might be attributed to the influence of the paternal parent. The flesh color also displayed distinct segregation, further indicating the paternal contribution to this trait. Based on the mean values of related traits and the proportion of F₁ generation exceeding the maternal parent, it could be inferred that the paternal lines of I-8, I-3, and I-2 would possess potential for breeding large-fruit cultivars, while I-2, I-5, and I-9 would be more likely to produce offspring with high SSC. Furthermore, the paternal parents of combinations I-7, I-9, and I-3 may breed cultivars with yellow-flesh. The comprehensive evaluation results demonstrated that the paternal lines of combination I-9, I-3, and I-2 seems to be more likely to breed new kiwifruit varieties with large fruit size, high soluble solids content, and yellow flesh.

Key words: *Actinidia chinensis*; Fruit trait; Genetic tendency; Grey correlation analysis; Paternal parent screening

中国是绝大多数猕猴桃属种质资源的原产地和分布中心,该属现有的54个种中有52个为中国特有或中心分布^[1],丰富的种质资源为中国猕猴桃品种选育和产业发展提供了坚实基础。猕猴桃育种方法主要有野生选种、实生选种、芽变选种、诱变育种及杂交育种等,其中杂交育种是当前最重要的方法^[2]。近10多年来,中国科研工作者通过杂交方式选育了金艳^[3]、农大金猕^[4]、瑞玉^[5]、中猕2号^[6]等一批综合性状优良的猕猴桃雌性品种。

猕猴桃作为雌雄异株植物,雄株只开花不结果,父本的选择存在盲目性,从而增加了杂交育种的难度。准确地选配杂交亲本组合,不仅可以缩短杂交育种年限,还可以利用亲本性状互补,把双亲的优良性状综合在杂种后代中^[7]。研究杂交后代果实性状的遗传倾向,分析亲本对杂交后代的影响,对提高杂交育种效率具有重要意义。与大多数果树一样,猕猴桃的许多经济性状是多基因控制的数量性状^[8],通常在杂交实生后代群体性状遗传动态研究的基础上进行性状的遗传研究。Beatson等^[9]研究发现,猕猴桃杂交后代的果实性状受遗传因素显著影响,可通过育种进行改良。李明章等^[10]对中华猕猴桃红阳杂交后代果实经济性状进行遗传倾向分析,发现杂交后代果实大小呈现趋小的遗传趋势且受父本影响,可溶性固形物含量呈倾向于母本且超母本的遗传倾向。刘现稳等^[11]对毛花猕猴桃华特杂交后代果实性状进行遗传分析,发现果实大小和可溶性固形物含量在后代群体中变异系数较大,都有趋向退化的趋势。韩飞等^[12]发现山梨猕猴桃与中华猕猴桃杂交后代果实单果质量和可溶性固形物含量分别表现为趋小和趋高的遗传倾向,果肉颜色的遗传倾向于母本。

前人对猕猴桃杂交后代果实性状遗传规律的研究多采用单个杂交群体,难以说明不同父本对杂交后代的影响程度。猕猴桃雄株又不结果,父本对F₁代果实性状的影响无法早期预判。因此,仅靠遗传倾向分析依然无法实现亲本的科学选配和定向育种。王丽华等^[13]以红阳猕猴桃为母本与10个不同的雄株进行杂交,通过简单评价发现杂交后代的果实质量普遍比母本小,果肉红色素表现有向非红色偏离的遗传趋势,但缺乏对各群体及性状的关联分析。

笔者在本研究中选择10个不同父本与同一个母本分别进行杂交,通过对F₁代果实性状进行遗传

分析,评估不同父本对杂交后代果实相关性状的影响,并采用灰色关联度分析法^[14]对各群体果实品质进行综合评价,从而筛选出目标性状遗传优势率大的父本,利于为中华系猕猴桃的选育储备较好的父本库,减少父本选择的盲目性。

1 材料和方法

1.1 试验材料

母本为中华猕猴桃(*Actinidia chinensis*)栽培品种金桃,父本为国家园艺种质资源库郑州猕猴桃分库资源圃(东经113°42',北纬34°48')中的10个中华猕猴桃雄株,它们来源于同一个优系雌株(果形端正,品质优良)实生后代群体的姊妹系,所选雄株树势中等,花量相对较大,花期相近。2018年春季,中国农业科学院郑州果树研究所猕猴桃团队将10个父本(1号、2号、3号、4号、5号、6号、7号、8号、9号、10号)分别与金桃进行授粉杂交并获得果实,杂交组合编号依次为I-1、I-2、I-3、I-4、I-5、I-6、I-7、I-8、I-9、I-10。杂交果成熟后进行洗种,种子经沙藏和适当低温处理后于2019年春播种于穴盘中,并于同年移植于营养钵。在营养钵中生长1 a(年)后,于2020年春季将10个杂交组合F₁代共2438株杂交苗定植于咸宁市农业科学院农业高新技术研发试验区猕猴桃基地(东经114°25',北纬29°53'),对照品种为同时定植的一年生金桃嫁接苗。

1.2 基地条件

试验材料种植基地位于咸宁市咸安区横沟桥镇杨畈村,2022—2024年,基地年平均气温18.2℃,年平均降水量1470 mm,年日照时数为1 716.13 h,属于亚热带季风气候。基地土壤为红壤土,pH值约为6.0。猕猴桃栽培架式为水平大棚架,棚架高度1.8 m,杂交苗定植密度为4 m×1 m,所有植株均挂牌、编号,进行统一管理。试验材料田间管理方式按照常规猕猴桃标准化生产进行管理,授粉方式为自然开放式授粉,果实自然生长,均不使用膨大剂和套袋处理。

1.3 调查项目与测定方法

2022年杂交后代陆续开花结果,每年于4月中旬根据花的形态鉴别植株的性别,并挂牌标记,2024年统计各组合雌、雄株数量。2022—2024年连续3 a对杂交群体结果树及对照品种金桃果实的相关性状进行测定和观察记录。具体方法:于每年9月上旬

开始,当果实可溶性固形物含量(w ,后同)超过 7.0% 时开始分株采收,单株样本之间相互独立,采收的果实置于实验室常温软熟,每株树根据结果量采 10~20 个果实,分别测量单果质量和软熟后果实可溶性固形物含量,并对果实的果肉颜色(外层果肉)进行描述。取 3 a 数据的平均值作为各单株的代表值。果实采收时使用电子天平测量单果质量,软熟后采用 ATAGO 折光仪测定可溶性固形物含量,同时对照 RHS 标准比色卡目测果肉颜色。

1.4 数据分析

利用 Excel 2019 进行数据统计和处理,并进行灰色关联度分析,使用 SPSS 25.0 计算平均值、标准差、变异系数、卡方值和进行差异显著性($P<0.05$)分析等。

变异系数/%: $CV = \frac{S}{F} \times 100,$ (1)

卡方值: $\chi^2 = \sum \frac{(O-E)^2}{E}.$ (2)

式中, S 为标准差, F 为杂交后代平均值, O 为实际观察值, E 为假设比值。

使用灰度关联分析法进行综合评价,计算公式如下:

关联度系数:

$$\xi_i(k) = \frac{\min \min |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max \max |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max \max |x_0(k) - x_i(k)|},$$
 (3)

等权关联度: $R_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k),$ (4)

权重系数: $\omega_i = \frac{R_i}{\sum R_i},$ (5)

加权关联度: $G_i = \sum_{i=1}^n (\xi_i \times \omega_i).$ (6)

式中, k 为性状指标的序号, n 为性状个数, $x_0(k)$ 为理想组合的第 k 个性状的值, $x_i(k)$ 为参试组合 i 第 k 个性状的值, ρ 为分辨系数(取值 0.5)^[15]。

2 结果与分析

2.1 杂交组合 F₁代雌雄株比例

于 2024 年开花期鉴定统计各组合 F₁代群体的存活数量及雌、雄株比例(表 1)。10 组 F₁代中,雌株共 863 株,雄株共 920 株,总体雌株:雄株的比例为 1:1.07,另有 123 株未开花,不能确定性别。除 I-5 和 I-8 组 F₁代的雌株略多于雄株外,其余 8 个组合均为雄株的数量多于雌株。将 F₁代雌、雄性别比例的实

表 1 F₁代雌雄株性别比较
Table 1 Comparison of male and female sex in F₁ generation

组合编号 Combination No.	株数 Survival number	雌株 ♀ Female	雄株 ♂ Male	未开花 Unbloomed	雌雄比例 Proportion	卡方值 χ^2 Chi-square value
I-1	118	48	56	14	1:1.17	0.615
I-2	230	104	113	13	1:1.08	0.374
I-3	171	70	81	20	1:1.16	0.815
I-4	132	60	64	8	1:1.07	0.129
I-5	206	100	97	9	1:0.97	0.046
I-6	192	84	95	13	1:1.13	0.680
I-7	158	76	78	4	1:1.03	0.026
I-8	247	122	117	8	1:0.96	0.105
I-9	283	129	135	19	1:1.05	0.136
I-10	169	70	84	15	1:1.20	1.273
合计 Total	1906	863	920	123	1:1.07	1.825

际观察值 O 与假设比值 $E=1:1$ 进行卡方检验。结果表明,在显著性水平为 $F=0.01$ 时,10 组雌雄性别比例均符合 1:1。

2.2 杂交组合 F₁代单果质量

单果质量是果实经济性状的重要指标。试验基地母本金桃单果质量平均值为 82.00 g。10 个杂交组合 F₁代平均单果质量分布范围为 59.95~79.84 g

(表 2),均低于母本平均值,平均单果质量的变异系数 18.75%~26.00%。10 组杂交后代单果质量最小值分布范围为 43.59~52.96 g,变化范围较小;最大值分布范围为 85.42~141.52 g,变化范围较大;超母本比例分布范围 7.14%~34.42%,变化范围较大。

F₁代果实单果质量平均值差异性分析结果表明,I-3、I-8 分别与 I-1、I-4、I-5、I-6、I-7 组合以及 I-10

表 2 不同组合 F₁代果实单果质量分析
Table 2 Fruit weight of F₁ generation of different combinations

g

组合编号 Combination No.	母本均值 Average of female parent	杂交子代 Hybrid progeny				
		平均值±标准差 Mean±SD	最小值 Min.	最大值 Max.	变异系数 CV	超母本比例 Supermaternal proportion/%
I-1	82.00±15.62	67.16±13.92 bc	49.10	90.01	20.73	20.83
I-2	82.00±15.62	74.51±16.13 ab	49.94	119.50	21.64	30.77
I-3	82.00±15.62	79.84±19.23 a	52.96	137.00	24.10	34.29
I-4	82.00±15.62	65.85±13.80 bc	44.70	88.70	20.96	16.67
I-5	82.00±15.62	70.11±13.94 b	47.37	102.86	19.88	18.00
I-6	82.00±15.62	65.72±12.32 bc	45.53	101.88	18.75	7.14
I-7	82.00±15.62	70.09±18.48 b	48.65	117.00	26.00	23.16
I-8	82.00±15.62	79.34±19.30 a	49.43	141.52	24.33	34.42
I-9	82.00±15.62	71.91±15.70 ab	45.21	104.33	21.83	29.07
I-10	82.00±15.62	59.95±11.32 c	43.59	85.42	18.88	8.57

注：表中数据为平均值±标准差，同列不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下同。
Note: The data in the table is mean ± standard deviation, different small letters indicate significant differences at the 0.05 level. This same below.

分别与 I-2、I-3、I-5、I-7、I-8、I-9 组合之间存在显著差异。平均值最高的前三组为 I-3、I-8、I-2，单果质量分别为 79.84、79.34、74.51 g，高于或显著高于其他组合；I-10 组平均单果质量最低，仅 59.95 g，显著低于多数其他组合。

通过对 10 个杂交组合 F₁ 代单果质量占比分析，发现 I-1、I-4 和 I-10 这 3 组 F₁ 代中有超过 50% 的株系为平均单果质量小于 60.00 g 的小果表型，超母本比例仅为 20.83%、16.67%、8.57%，且后代中没有单果质量超过 100 g 的个体；而 I-8、I-3 和 I-2 这 3 个组合 F₁ 代中单果质量超母本比例分别达到 34.42%、34.29%、30.77%，超母本比例较高，其中 I-3 和 I-8 组 F₁ 代中分别出现了平均单果质量达 137.00 和 141.52 g

的大果个体。

2.3 杂交组合 F₁ 代果实可溶性固形物含量

可溶性固形物含量是果实风味品质的重要指标。2022—2024 年试验基地母本金桃的果实可溶性固形物含量平均值为 15.6%。由表 3 可知，10 个杂交组合 F₁ 代平均可溶性固形物含量分布范围为 12.9%~16.1%，其中，有 3 个组合 F₁ 代平均值高于母本值，其余 7 个组合均低于母本值。F₁ 代平均可溶性固形物含量变异系数范围 9.14%~15.25%，变异系数较大，但小于单果质量的变异系数。10 个杂交组合 F₁ 代可溶性固形物含量最小值分布范围为 10.0%~12.9%，变化范围较小；最大值分布范围为 16.9%~20.1%，变化范围也较小；超母本比例占比分布范围

表 3 不同组合 F₁ 代果实可溶性固形物含量分析
Table 3 Soluble solids content of F₁ generation of different combinations

%

组合编号 Combination No.	母本均值 Average of female parent	杂交子代 Hybrid progeny				
		平均值±标准差 Mean±SD	最小值 Min.	最大值 Max.	变异系数 CV	超母本比例 Supermaternal proportion/%
I-1	15.6±1.45	14.8±1.35 b	12.8	17.4	9.15	25.00
I-2	15.6±1.45	16.1±1.79 a	12.3	19.0	11.11	63.46
I-3	15.6±1.45	14.3±1.49 bc	12.0	17.7	10.44	22.86
I-4	15.6±1.45	14.2±1.52 bc	12.1	16.9	10.71	8.33
I-5	15.6±1.45	15.7±1.60 a	12.9	18.8	10.18	50.00
I-6	15.6±1.45	13.6±1.54 cd	10.6	17.3	11.35	11.90
I-7	15.6±1.45	14.2±1.30 bc	10.4	16.7	9.14	13.16
I-8	15.6±1.45	13.9±1.59 c	11.1	17.4	11.45	17.83
I-9	15.6±1.45	15.9±1.71 a	12.3	20.1	10.77	46.51
I-10	15.6±1.45	12.9±1.97 d	10.0	17.0	15.25	14.29

8.33%~63.46%,变化范围较大。

10个杂交组合F₁代果实可溶性固形物含量平均值差异性分析结果表明,不同杂交组合差异显著。I-2、I-9和I-5组合果实可溶性固形物含量平均值最大,分别为16.1%、15.9%、15.7%,显著高于其他组合;I-10组合F₁代果实平均可溶性固形物含量最低,仅12.9%,显著低于大多其他组合。

10个杂交组合中,I-4、I-6、I-7和I-10这4个组合果实可溶性固形物含量超母本比例较低,均小于15%;而I-2、I-5和I-9这3个组合F₁代果实可溶性固形物含量超母本比例最高,分别为63.46%、50.00%、46.51%,可溶性固形物含量的最大值分别为19.0%、18.8%、20.1%,超母本优势明显。

2.4 杂交组合F₁代果肉颜色

果肉颜色是猕猴桃果实非常重要的商品性状,中华猕猴桃果肉颜色以黄色为主,也有少量黄肉红心和绿肉表型。本研究中母本金桃果肉颜色为黄色,父本的姊妹系果肉颜色也多为黄色,10个杂交组合后代果肉颜色分布见表4。F₁代果肉颜色呈现黄色、黄绿色和浅绿色不同程度分离。总体来看,10个杂交组合F₁代果肉颜色黄色表现型占比最高,为41.18%~84.21%,黄绿色和浅绿色表型占比接近,其中I-3组合后代中没有发现果肉颜色为浅绿色的个体。

研究发现,与绿色相比,明亮鲜艳的黄色更能促进食欲^[16],同时黄肉猕猴桃富含天然抗氧化剂类胡萝卜素^[17],因此黄色果肉猕猴桃的选育已成为当前研究的重点。本研究将果肉颜色黄色、黄绿色、浅绿

色分别赋值3分、2分、1分,根据颜色占比计算果肉颜色得分(黄色占比×3+黄绿色占比×2+浅绿色占比×1)。由表4可知,果肉颜色赋值得分最高的三个组合依次为I-7、I-9和I-3,颜色得分分别为2.73、2.63、2.56,其果肉黄色表型占比分别为84.21%、76.79%、56.00%;果肉颜色赋值得分最低的组合依次为I-5、I-6和I-10,颜色得分分别为2.11、2.11、2.18,其果肉黄色表型占比分别为42.86%、44.10%、41.18%。

2.5 不同组合果实单果质量、可溶性固形物含量、果肉颜色综合评价

为满足中国消费者喜好,中华猕猴桃的育种目标通常是果实单果质量大、可溶性固形物含量高、果肉表型为黄色等。本研究中利用灰色关联分析法对10个杂交组合的3个果实性状进行综合评价,以10个杂交组合中平均单果质量、平均可溶性固形物含量、果肉颜色得分的最大值构建理想参考组合X₀,即:单果质量79.84 g、可溶性固形物含量16.1%、果肉颜色得分2.73。将所有指标进行无量纲化处理,根据公式(3)求得相对应的关联系数(表5),根据公式(4)、(5)计算各性状指标的等权关联度与权重系数,结果如表6所示,关联度与权重系数排序为可溶性固形物含量>单果质量>果肉颜色。利用公式(6)计算各组合加权关联度并进行排序,关联系数在0~1之间,数值越大,表示其综合表现越优异^[18]。结果如表7所示,10个杂交组合的加权关联度排序为:I-9>I-3>I-2>I-7>I-8>I-5>I-1>I-4>I-6>I-10,排名前3的组合对应的加权关联度分别为0.75、0.73、0.70,表明这3个组合综合表现优于其他组合。

表4 不同组合F₁代果实果肉颜色分析
Table 4 Flesh color of F₁ generation of different combinations

组合编号 Combina- tion No.	母本 Female parent	F ₁ 代不同颜色比例 Percentage of F ₁ with different color/%			颜色 得分 Score
		黄色 Yellow	黄绿色 Yellowish green	浅绿色 Light green	
I-1	黄色 Yellow	58.33	20.83	20.83	2.37
I-2	黄色 Yellow	46.15	28.85	25.00	2.21
I-3	黄色 Yellow	56.00	44.00	0	2.56
I-4	黄色 Yellow	60.00	20.00	20.00	2.40
I-5	黄色 Yellow	42.86	25.71	31.43	2.11
I-6	黄色 Yellow	44.10	22.56	33.34	2.11
I-7	黄色 Yellow	84.21	5.26	10.53	2.73
I-8	黄色 Yellow	54.76	23.81	21.43	2.33
I-9	黄色 Yellow	76.79	8.93	14.28	2.63
I-10	黄色 Yellow	41.18	35.29	23.53	2.18

表5 参试组合与“理想组合”各性状指标的关联系数
Table 5 Correlation coefficients of the trait indicators between tested combinations and “Ideal combination”

组合编号 Combination No.	单果质量 Fruit mass	可溶性固形物含量 Soluble solids content	果肉颜色 Flesh color
I-1	0.44	0.61	0.49
I-2	0.65	1.00	0.40
I-3	1.00	0.53	0.39
I-4	0.42	0.51	0.67
I-5	0.51	0.83	0.51
I-6	0.41	0.45	0.35
I-7	0.51	0.51	1.00
I-8	0.95	0.48	0.46
I-9	0.56	0.91	0.77
I-10	0.33	0.39	0.39

表 6 各性状指标的等权关联度与权重

Table 6 The equal-weight correlation degree and weight value of each trait indicator

指标 Index	等权关联度 Equal-weight correlation degree	权重系数 Weight value	排序 Ranking
可溶性固形物含量 Soluble solids content	0.62	0.36	1
单果质量 Fruit weight	0.58	0.33	2
果肉颜色 Flesh color	0.54	0.31	3

表 7 参试组合加权关联度与排序

Table 7 The weighted correlation degree and ranking of the tested combinations

组合编号 Combination No.	加权关联度 Weighted correlation degree	排名 Ranking
I-9	0.75	1
I-3	0.73	2
I-2	0.70	3
I-7	0.66	4
I-8	0.63	5
I-5	0.58	6
I-1	0.51	7
I-4	0.48	8
I-6	0.41	9
I-10	0.37	10

3 讨 论

猕猴桃群体中雌雄株比例对品种选育有着重要影响。本研究 10 个杂交组合中有 8 组 F₁ 代群体为雄株偏多, 另外 2 组为雌株偏多, 但雌、雄株数量差异并不显著, 雌雄性别比例均符合 1:1, 与前人研究结果一致^[19-20]。McNeillage^[21]对猕猴桃性别决定的遗传机制进行了研究, 提出性别可能由单一位点的等基因控制, 解释了猕猴桃杂交实生后代雌雄性别比例接近 1:1 的原因。

本研究中, 10 个杂交组合 F₁ 代果实单果质量平均值均小于母本平均值, 呈现趋小遗传倾向, 这与李璐璐^[7]和李明章等^[10]相关研究结果较为一致。这可能是由于猕猴桃果实单果质量表现为多基因控制的数量性状遗传, 杂交后代在有性过程中非加性效应解体, 使果实平均单果质量普遍低于亲中值, 向小果形回归^[22]。本研究中, 杂交组合 I-3、I-8 与 I-1、I-4、I-5、I-6、I-7、I-10 的果实单果质量平均值存在显著差异, 超亲占比差异也较大, 说明父本对杂交后代单果质量性状遗传有较大影响。F₁ 代果实单果质量超母

本比例最高的 3 个组合分别为 I-8、I-3 和 I-2, 其单果质量平均值和最大值也是 10 组中最高的, 由此推断, 这 3 个杂交组合的父本具有选育大果的潜力。

刘现稳等^[11]对毛花猕猴桃华特杂交后代的研究结果表明, 杂交群体中果实可溶性固形物含量变异较大, 平均含量略低于母本值, 有趋向退化的遗传趋势。李璐璐^[7]、李明章等^[10]、韩飞等^[12]研究结果表明, 猕猴桃杂交后代的可溶性固形物含量表现为较强的超母本遗传倾向, 超亲遗传优势明显。本研究中, 10 个杂交组合 F₁ 代的果实可溶性固形物含量平均值, 有 3 组大于母本值, 7 组小于母本值, 整体呈现趋小遗传倾向。这可能是由于猕猴桃种间和种内存在高度的遗传变异, 不同亲本的杂交组合, 后代可溶性固形物含量的遗传倾向存在差异。因此, 亲本的选择对杂交后代可溶性固形物含量的影响较大。本研究中, 杂交 F₁ 代果实可溶性固形物含量超母本比例最高的 3 个组合分别为 I-2、I-5 和 I-9, 其对应的平均值和最大值也是 10 组中最高的, 由此推断, 通过 I-2、I-5 和 I-9 这 3 个杂交组合的父本选育出可溶性固形物含量高的品种概率更大。

韩飞等^[12]的研究中, 山梨猕猴桃与中华猕猴桃种间杂交后代果实果肉颜色呈不同程度的分离, 绝大多数(86%)与母本表型相似。邱利娜^[19]对中华猕猴桃红阳种内杂交后代果肉颜色遗传分析, 杂交后代果肉颜色表现在黄色到绿色范围内, 母本的遗传传递力高于 50%。本研究中, 10 个杂交组合 F₁ 代果肉颜色也呈不同程度分离, 且出现了与母本和父本姊妹系果肉颜色不同的黄绿色和浅绿色变异。有研究表明, 无论绿肉还是黄肉猕猴桃, 它们的果实在发育初期均呈绿色, 果肉颜色从绿色向黄色的改变是由于果实成熟过程中叶绿素的降解导致类胡萝卜素与叶绿素比例升高, 使得类胡萝卜素颜色显现所形成的^[17]。说明杂交后代果肉颜色变化可能与各单株叶绿素和类胡萝卜素含量差异有相关性。本研究中, 不同杂交后代果肉颜色占比差异较大, 由此推断, 父本对杂交后代果肉颜色性状也有影响。本研究通过对果肉不同颜色赋值, 计算果肉颜色得分最高的 3 个组合依次为 I-7、I-9 和 I-3, 推断其父本选育果肉为黄色品种的概率更大。

本研究中采用灰色关联度分析法对 10 组杂交后代相关性状进行综合评价, 排名前 3 的组合依次为 I-9、I-3、I-2, 表明其父本在果实单果质量、可溶性

固形物含量、果肉颜色上综合遗传优势率较高。

4 结 论

以金桃为母本、不同中华猕猴桃雄株为父本,杂交后代果实单果质量、可溶性固形物含量和果肉颜色性状分离广泛,整体呈趋小遗传倾向,其遗传受父本影响较大。初步确定8号、3号、2号雄株作为杂交父本具有选育大果型猕猴桃新品种的潜力;2号、5号、9号雄株更容易选育出可溶性固形物含量较高的品种;7号、9号和3号雄株选育果肉为黄色品种的概率更大。9号、3号、2号雄株作为杂交父本更容易选育出单果质量大、可溶性固形物含量高、果肉为黄色综合表现优良的品种。

参考文献 References:

- [1] 黄宏文. 猕猴桃属 分类 资源 驯化 栽培[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
HUANG Hongwen. *Actinidia* taxonomy germplasm domestication cultivation[M]. Beijing: Science Press, 2013.
- [2] 齐秀娟, 王然, 张敏, 林苗苗, 李玉阔, 孙雷明. 猕猴桃育种研究进展[J]. 果树学报, 2024, 41(11): 2160-2172.
QI Xiujian, WANG Ran, ZHANG Min, LIN Miaomiao, LI Yukuo, SUN Leiming. Research progress in kiwifruit breeding[J]. Journal of Fruit Science, 2024, 41(11): 2160-2172.
- [3] 钟彩虹, 张鹏, 韩飞, 李大卫. 猕猴桃种间杂交新品种‘金艳’的果实发育特征[J]. 果树学报, 2015, 32(6): 1152-1160.
ZHONG Caihong, ZHANG Peng, HAN Fei, LI Dawei. Studies on characterization of fruit development of interspecific hybrid cultivar: ‘Jinyan’ [J]. Journal of Fruit Science, 2015, 32(6): 1152-1160.
- [4] 姚春潮, 李建军, 郁俊谊, 刘占德. 黄肉猕猴桃新品种‘农大金猕’[J]. 园艺学报, 2017, 44(9): 1825-1826.
YAO Chunchao, LI Jianjun, YU Junyi, LIU Zhande. A new yellow flesh kiwifruit cultivar ‘Nongda Jinmi’ [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2017, 44(9): 1825-1826.
- [5] 雷玉山, 李亮, 王西锐. 猕猴桃中熟新品种瑞玉的选育[J]. 中国果树, 2015(5): 1-2.
LEI Yushan, LI Liang, WANG Xirui. Breeding of a new mid-season kiwifruit cultivar ‘Ruiyu’ [J]. China Fruits, 2015(5): 1-2.
- [6] 涂美艳, 钟云鹏, 齐秀娟, 孙雷明, 徐子鸿, 杨思林, 苟林里, 王玲利, 方金豹. 中猕2号在四川的引种表现及配套栽培技术[J]. 四川农业科技, 2022(12): 29-32.
TU Meiyan, ZHONG Yunpeng, QI Xiujian, SUN Leiming, XU Zihong, YANG Silin, GOU Linli, WANG Lingli, FANG Jinbao. Introduction performance and cultivation techniques of Zhongmi No. 2 kiwifruit in Sichuan[J]. Sichuan Agricultural Science and Technology, 2022(12): 29-32.
- [7] 李璐璐. 猕猴桃种内/间杂交子代倍性分离及性状遗传规律研究[D]. 武汉: 中国科学院大学(中国科学院武汉植物园), 2019.
LI Lulu. Study on the ploidy and morphological traits inheritance of F₁ hybrids in *Actinidia* crossings[D]. Wuhan: Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, 2019.
- [8] 王圣梅, 黄仁煌, 武显维, 康宁. 猕猴桃远缘杂交育种研究[J]. 果树科学, 1994, 11(1): 23-26.
WANG Shengmei, HUANG Renhuang, WU Xianwei, KANG Ning. Studies on *Actinidia* breeding by species hybridization[J]. Journal of Fruit Science, 1994, 11(1): 23-26.
- [9] BEATSON R A, ALSPACH P A, CURRIE A J, HARRIS-VIRGIN P M, WHITE A. Genetic parameters for fruit traits of interspecific *Actinidia* hybrids[J]. Acta Horticulturae, 2011(913): 89-96.
- [10] 李明章, 邱利娜, 王丽华, 郑晓琴, 廖明安. 红阳猕猴桃杂交F₁代果实主要经济性状遗传倾向分析[J]. 果树学报, 2011, 28(1): 51-54.
LI Mingzhang, QIU Lina, WANG Lihua, ZHENG Xiaoqin, LIAO Ming'an. Inheritance trend of main characters in F₁ progenies of Hongyang kiwifruit variety[J]. Journal of Fruit Science, 2011, 28(1): 51-54.
- [11] 刘现稳, 刘永胜, 唐维. 毛花猕猴桃‘华特’F₁群体性状变异分析[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2020, 43(12): 1699-1702.
LIU Xianwen, LIU Yongsheng, TANG Wei. Analysis on trait variation of ‘White’ F₁ population in kiwifruit[J]. Journal of Heifei University of Technology (Natural Science), 2020, 43(12): 1699-1702.
- [12] 韩飞, 赵婷婷, 刘小莉, 张琦, 李大卫, 田华, 彭珏, 钟彩虹. 山梨猕猴桃与中华猕猴桃种间杂交后代果实性状的遗传倾向分析[J]. 植物科学学报, 2022, 40(4): 505-512.
HAN Fei, ZHAO Tingting, LIU Xiaoli, ZHANG Qi, LI Dawei, TIAN Hua, PENG Jue, ZHONG Caihong. Genetic analysis of fruit traits in *Actinidia rufa* (Siebold and Zuccarini) Planchon ex Miquel × *Actinidia chinensis* var. *chinensis* C. F. Liang kiwifruit hybrid population[J]. Plant Science Journal, 2022, 40(4): 505-512.
- [13] 王丽华, 郑晓琴, 吴霞, 饶军, 李明章. 红阳猕猴桃杂交后代部分果实性状的遗传倾向研究[J]. 中国南方果树, 2011, 40(4): 82-83.
WANG Lihua, ZHENG Xiaoqin, WU Xia, RAO Jun, LI Mingzhang. Study on the characters inheritance trend of partial fruit characteristics in hybrid offspring of Hongyang kiwifruit[J]. South China Fruits, 2011, 40(4): 82-83.
- [14] 赵玉坤, 高根来, 王向东, 甄胜虎, 宁慧云, 李宝珠. 灰色关联分析方法在作物育种上的应用[J]. 山西农业科学, 2012, 40(10): 1032-1034.
ZHAO Yukun, GAO Genlai, WANG Xiangdong, ZHEN Shenghu, NING Huiyun, LI Baozhu. Application of grey relational analysis to crop breeding[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sci-

- ences, 2012, 40(10): 1032-1034.
- [15] 金玉国. 一种测定权数的新方法: 灰色系统关联分析法[J]. 统计教育, 2002(3): 14-15.
- JIN Yuguo. A new method for the determination of the number of right: Grey correlation analysis system[J]. Statistical Education, 2002(3): 14-15.
- [16] 王雪婷, 许学文, 陈学好. 园艺作物果肉颜色研究进展[J]. 分子植物育种, 2022, 20(3): 1014-1025.
- WANG Xueting, XU Xuewen, CHEN Xuehao. Progress on fruit flesh color in horticultural crops[J]. Molecular Plant Breeding, 2022, 20(3): 1014-1025.
- [17] 王秀. 黄肉猕猴桃果实类胡萝卜素积累特性研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2020.
- WANG Xiu. Carotenoid accumulation characteristics in yellow-fleshed kiwifruit[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2020.
- [18] 刘艳昆, 王佳文, 王静, 张伟燕, 付晶, 王洪芳, 武守朝, 肖宇. 13个紫花苜蓿品种在沧州盐碱地的生产性能和营养价值[J]. 草业科学, 2023, 40(7): 1823-1832.
- LIU Yankun, WANG Jiawen, WANG Jing, ZHANG Weiyan, FU Jing, WANG Hongfang, WU Shouchao, XIAO Yu. Comparison and analysis of production performance and nutritional value of 13 alfalfa varieties in the Cangzhou saline-alkali area[J]. Pratacultural Science, 2023, 40(7): 1823-1832.
- [19] 邱利娜. 红阳猕猴桃杂交 F₁ 代部分性状遗传倾向分析及遗传多样性研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2010.
- QIU Lina. Study on the characters inheritance trend and genetic diversity of F₁ hybrids of 'Hongyang' kiwifruit[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2010.
- [20] 吴玉妹, 邹风景, 陈金爱, 张小所, 刘文, 刘胜洪. 猕猴桃实生苗性别比例和花器官分化研究[J]. 现代农业科技, 2016(22): 78-80.
- WU Yumei, ZOU Fengjing, CHEN Jin'ai, ZHANG Xiaosuo, LIU Wen, LIU Shenghong. Study on sex ratio and flower differentiation on kiwifruit seedlings by high grafting[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2016(22): 78-80.
- [21] MCNEILAGE M A. Gender variation in *Actinidia deliciosa*, the kiwifruit[J]. Sexual Plant Reproduction, 1991, 4(4): 267-273.
- [22] 李鹏丽, 申凤莲, 毛永民, 申连英, 鹿金颖. 果树性状遗传规律研究进展[J]. 河北农业大学学报, 2003, 26(增刊 1): 53-56.
- LI Pengli, SHEN Fenglian, MAO Yongmin, SHEN Lianying, LU Jinying. The review of studies on genetic development of fruit tree traits[J]. Journal of Hebei Agricultural University, 2003, 26(Suppl. 1): 53-56.