

观赏辣椒杂种优势及重要性状遗传规律分析

林子翔, 马啸威, 吴建国, 朱祝军, 祝彪

(浙江农林大学 园艺科学学院 浙江省农产品品质改良技术研究重点实验室, 浙江 杭州 311300)

摘要: 【目的】探索观赏辣椒杂种优势以及观赏性状遗传规律, 促进观赏辣椒新品种培育以及优良性状的保留。

【方法】以簇生椒 *Capsicum annuum* ‘Salsa XP Red’ 卵圆形叶片自交系 (P15) 与单生椒 *C. annuum* ‘Salsa Deep Orange’ 披针形叶片自交系 (P6) 为亲本, 配置正交组合 P6×P15, 反交组合 P15×P6, 并构建 F₂ 群体, 研究观赏辣椒果实着生方式、叶形和株型性状的遗传规律。【结果】P6 和 P15 的叶片大小、株高、侧枝数等指标均存在显著差异 ($P<0.05$)。正反交观赏辣椒 F₁ 组合均在株高、株幅和叶片尺寸等性状上表现较高的杂种优势。在正反交的 F₂ 群体中, 方差最大的 5 个农艺性状从大到小依次为叶长、单株结果数、叶柄长、株幅、株高, 且正反交群体的株型与叶形各性状间存在极显著相关性 ($P<0.01$)。卡方检验表明: 正反交 F₂ 代群体质量性状分离比结果中, 果实簇生性状对单生性状、有限生长对无限生长均为单基因隐性遗传; 开展型株型对直立型株型、披针形叶对卵圆形叶均由双基因控制, 且具有隐性上位作用。【结论】观赏辣椒杂交亲本与 F₁ 代组合在单株结果数、分枝级数等 5 个性状上存在显著差异, 其中株型变异系数最小, 单果果实品质与单株果数变异系数较大, 叶长和单株结果数性状的单株间差异最显著。对观赏辣椒重要性状遗传规律分析表明: 果实着生方式簇生对单生、有限生长对无限生长是单基因控制隐性遗传性状。图 2 表 8 参 22

关键词: 观赏辣椒; 正反交组合; 杂种优势; 方差分析; 遗传规律分析

中图分类号: S682 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2021)04-0820-08

Genetic analysis on heterosis and important traits of ornamental pepper hybrids

LIN Zixiang, MA Xiaowei, WU Jianguo, ZHU Zhujun, ZHU Biao

(Key Laboratory of Quality Improvement of Agricultural Products of Zhejiang Province, College of Horticulture Science, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China)

Abstract: [Objective] This research aims to explore the heterosis of ornamental pepper and the genetic law of ornamental traits, to promote the cultivation of new varieties of ornamental pepper and the retention of excellent traits. [Method] The oval leaf inbred line (P15) of cluster pepper (*Capsicum annuum* ‘Salsa XP Red’) and the lanceolate leaf inbred line (P6) of single pepper (*C. annuum* ‘Salsa Deep Orange’) were used as parents, an orthogonal combination P6×P15 and an inverse combination P15×P6 were configured, and F₂ population was constructed to explore the inheritance of fruit bearing pattern, leaf shape and plant type of ornamental pepper. [Result] There were significant differences between P6 and P15 in leaf size, plant height and number of lateral branches ($P<0.05$). All F₁ combinations of cross ornamental pepper showed high heterosis in plant height, plant width and leaf shape. In F₂ population of reciprocal cross, the descending order of agronomic characters with the largest variance was leaf length, fruit number per plant, petiole length, plant width and plant height, and there was a significant correlation between plant type and leaf type traits ($P<0.01$). The Chi-square

收稿日期: 2020-11-29; 修回日期: 2021-04-28

基金项目: 浙江省重点研发计划项目 (2017C02018)

作者简介: 林子翔 (ORCID: 0000-0001-6868-3600), 从事园艺植物栽培研究。E-mail: 1054258953@qq.com。通信作者: 祝彪 (ORCID: 0000-0003-2980-4849), 副教授, 博士, 从事蔬菜栽培与品质调控研究。E-mail: billzhu@zafu.edu.cn

test showed that in the results of the segregation ratio of quality traits in the F_2 generations of reciprocal crosses, the fruit cluster traits were inherited in a single gene recessively for solitary traits and limited growth versus infinite growth. The developmental plant type versus the erect plant type and the lanceolate leaf versus the oval leaf were both controlled by two genes, and had recessive epistasis. [Conclusion] There are significant differences between ornamental pepper hybrid parents and F_1 generation in 5 traits, such as the number of fruit per plant and the number of branching grades. Among them, the coefficient of variation of plant type is the smallest, the coefficient of variation of fruit weight and fruit number per plant is larger, and the difference of leaf length and fruit number per plant is the most significant. The analysis of the inheritance law of the important traits of ornamental pepper reveals that the fruiting bearing pattern of clusters versus solitary and limited branch versus infinite branch are recessive genetic traits controlled by single gene.[Ch, 2 fig. 8 tab. 22 ref.]

Key words: ornamental pepper; reciprocal combination; heterosis; analysis of variance; genetic analysis

观赏辣椒为辣椒属 *Capsicum* 中一类主要作为观赏用途的特殊类型，通常指那些果形奇特、果色斑斓、株型紧凑、适合盆栽的辣椒品种，既可用于日常食用，又可作园艺用途、花坛布置与家居装饰，具有良好的开发应用前景^[1]。多年来，国外育种者开始有针对性地对观赏辣椒的表型性状进行遗传改良，培育出了很多具有新奇性状的新品种。ASMA 等^[2]用杂交方式培育了营养价值高出普通辣椒 12% 且适合观赏和盆栽种植的观赏辣椒品种；METTUPALAYAM 等^[3]在研究辣椒果实提取物对糖尿病治疗疗效的过程中，发现多个观赏辣椒品种果实提取物对糖尿病患者的疗效要优于普通辣椒果实；MANDARSARI 等^[4]发现：观赏辣椒的遗传特性明显优于普通辣椒，对高温干旱环境的适应能力更强。中国学者对观赏辣椒也进行了专门研究，如郭咏梅等^[5]以 3 个紫色观赏辣椒品种的果实为试材，进行花青素的提取工艺优化以及 pH 示差法测定条件的确定，并进一步证实观赏辣椒果实花青素含量与色差值存在显著的相关性；王云梅等^[6]通过杂交方式育成了 6 个适合凉山地区种植，耐寒且极具观赏价值的观赏辣椒品种。杂交育种是当前观赏辣椒新品种培育中的常用方法。目前，针对普通辣椒果实品质与辣椒素含量遗传规律的研究较多，对于观赏辣椒观赏特性、营养特性和环境适应性方面的研究也见报道，但针对观赏辣椒果实着生方式、叶形与株型以及辣椒花器等性状的遗传规律研究还未见报道。果实着生方式、叶形与株型等都是决定观赏价值的重要特性，了解其遗传规律将极大地提高育种效率。本研究以直立型簇生椒与开展型单生椒为材料，配置正反交组合及构建 F_2 群体，测量和统计亲本、 F_1 和 F_2 的叶形、果实着生方式、株型性状，研究其遗传规律，为后续新品种选育提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究选用从美国进口单生椒 *Capsicum annuum* ‘Salsa Deep Orange’ 的高代自交系 P6，簇生椒 *C. annuum* ‘Salsa XP Red’ 的高代自交系 P15，杂交获得 F_1 ， F_1 自交获得 F_2 。P6 最显著的特点为开展型株型，果实着生方式单生，披针形叶片，青熟果颜色黄色；P15 最显著的特点为直立型株型，果实着生方式簇生，卵圆形叶片，青熟果颜色绿色 (表 1)。

1.2 试验方法

试验在浙江农林大学实验基地的塑料温室内进行。试验材料于 2019 年 8 月 12 日播种，9 月 13 日田

表 1 观赏辣椒亲本及其正反交组合主要性状特征

Table 1 Main characteristics of ornamental pepper parents and their reciprocal cross combinations

材料	青熟果色	果形	果实着生状态	叶形	分枝类型	株型
P6	乳黄	短指形	单生	披针形	无限生长	开展
P15	绿	长锥形	簇生	卵圆形	有限生长	直立
P6×P15	绿	长锥形	单生	长卵圆	无限生长	半直立
P15×P6	绿	长锥形	单生	长卵圆	无限生长	半直立

间定植, 10–12月观察记录。亲本定植各20株, 正反交 F_1 各定植20株, 正反交 F_2 群体分别定植150株。株行距45 cm×50 cm, 采取常规田间管理。材料进入果实成熟期后调查其表型性状。

1.3 性状调查

依据《辣椒种质资源描述规范和数据标准》^[7]选定13个农艺性状进行统计分析, 其中品质性状4个, 分别为果实着生方式、分枝类型、叶形、株型; 数量性状9个, 分别为株高、株幅、侧枝数、分枝级数、单株结果数、叶长、叶宽、叶柄长及单节叶腋着生花数; 数量性状使用美耐特游标卡尺测量, 每个指标设置10次重复。使用Canon EOS30D单反相机拍摄记录性状。使用SPSS和Excel软件对测量所得数据进行统计分析、相关性分析、方差分析、性状变异频率和卡方检验分析。变异系数(V_C)计算方法参考段晓铨^[8]方法: $V_C = D_S / N_M \times 100\%$, D_S 为标准偏差, N_M 是平均值; 中亲优势 $= (F_1 - M_P) / M_P \times 100\%$, 超亲优势 $= (F_1 - H_P) / H_P \times 100\%$, F_1 为杂交组合 F_1 代表型, M_P 与 H_P 为双亲表型性状的均值与高值亲本的表型。

2 结果与分析

2.1 观赏辣椒重要数量性状方差分析

由表2可知: P6和P15在单株结果数、叶长、叶宽、叶柄长、株高、侧枝数、分枝级数、单节叶腋着生花数等指标均存在显著差异($P < 0.05$), $P6 \times P15$ 与 $P15 \times P6$ 在叶长、株幅、侧枝数、分枝级数4个性状上存在显著差异($P < 0.05$), 正反交的 F_2 代群体在分枝级数性状上表现出显著差异($P < 0.05$)。

表2 观赏辣椒亲本、 F_1 、 F_2 各重要数量性状方差分析

Table 2 Comparative analysis of variance of different quantitative traits in parents, F_1 and F_2 generations of ornamental pepper

世代	株高/cm	株幅/cm	侧枝数/个	分枝级数/级	单株结果数/个	叶长/mm	叶宽/mm	叶柄长/mm	单节叶腋着生花数/朵
P6	21.64±1.61 c	41.27±2.35 cd	8.50±1.72 b	7.40±1.17 a	26.10±4.84 d	63.94±1.66 c	23.57±0.95 b	34.11±1.08 c	4.00±1.49 d
P15	24.90±1.79 b	38.93±3.12 d	3.30±0.82 d	2.40±0.52 e	37.30±4.00 c	87.94±1.13 a	34.53±1.24 a	48.45±0.88 a	9.20±1.32 a
$P6 \times P15 F_1$	25.33±2.91 b	53.27±5.02 a	8.10±1.60 b	5.50±1.08 b	71.10±5.63 a	54.72±5.04 d	21.05±3.45 b	22.69±3.89 d	7.00±1.63 bc
$P15 \times P6 F_1$	25.65±3.15 b	44.04±2.95 bc	11.90±2.73 a	4.70±1.06 cd	68.60±16.02 a	61.01±3.48 c	21.92±1.60 b	23.25±1.31 d	5.70±1.89 c
$P6 \times P15 F_2$	28.45±2.55 a	45.48±3.18 b	6.47±0.72 c	5.02±0.41 bc	55.77±8.10 b	69.61±7.39 b	35.30±3.28 a	37.14±3.77 b	6.91±0.99 bc
$P15 \times P6 F_2$	29.04±3.30 a	44.72±2.37 b	5.29±1.08 c	4.23±0.48 d	56.31±11.93 b	71.86±5.89 b	36.91±4.97 a	38.99±4.47 b	7.36±0.93 b

说明: 数据为平均值±标准差, 其中: P6和P15样本统计量为20, F_1 样本统计量为20, F_2 样本统计量为150; 同列不同字母表示不同世代间差异显著($P < 0.05$)

结合遗传多样性分析方法, 对 F_2 代群体的数量性状进行变异分析。由表3可知: $P6 \times P15$ 的 F_2 代群体9个数量性状中, 方差最大的前5个数量性状从大到小依次为叶长、单株结果数、叶柄长、叶宽、株幅, 可见叶长和单株结果数等性状的单株间差异最显著; 各性状变异系数为20%~45%, 平均值为33%。9个数量性状中变异系数最大的是单节叶腋着生花数($V_C=45\%$), 其次为分枝级数($V_C=40\%$)和单株结果数($V_C=37\%$), 因此可认为单节叶腋着生花数、分枝级数、单株结果数的基因遗传稳定性较低, 表型易产生变化。变异最低的是株幅($V_C=20\%$)和株高($V_C=25\%$), 可以认为这2个性状的基因稳定性较好, 不易变异。由表4可知: 组合 $P15 \times P6$ 的 F_2 代群体9个数量性状中, 方差最大的前5个性状从大到

表3 组合 $P6 \times P15 F_2$ 群体的重要数量性状遗传分析

Table 3 Genetic analysis of important quantitative traits in the combined $P6 \times P15 F_2$ population

指标	株高/cm	株幅/cm	侧枝数/个	分枝级数/级	单株结果数/个	叶长/mm	叶宽/mm	叶柄长/mm	单节叶腋着生花数/朵
平均值	28.45	45.48	6.47	5.02	55.77	69.61	35.30	37.14	6.91
最大值	43.56	84.91	11.00	9.00	110.00	132.17	53.67	65.51	13.00
最小值	14.45	27.59	2.00	2.00	19.00	26.83	14.70	19.96	1.67
变幅	29.11	57.32	9.00	7.00	91.00	105.34	38.98	45.55	11.33
方差	49.85	81.34	4.48	4.06	437.05	607.46	128.22	129.33	9.57
标准差	7.06	9.02	2.12	2.01	20.91	24.65	11.32	11.37	3.09
变异系数/%	25	20	33	40	37	35	32	31	45

说明: 统计 F_2 样本数量为150

小依次为叶长、单株结果数、叶柄长、叶宽、株幅，单株间的叶长和单株结果数等性状差异较大。变异系数为 23%~42%，平均值为 35%。数量性状中变异系数最大的是单节叶腋着生花数 ($V_C=42\%$)，其次是单株结果数 ($V_C=41\%$)，再次是分枝级数 ($V_C=38\%$)、叶长和叶宽 ($V_C=36\%$)。综上所述，正反交组合得到的 F_2 代群体中，单株结果数、分枝级数、单节叶腋着生花数和叶片性状都存在显著变异，后代易发生变异，而株高和株幅性状变异最少，可以较好保留。

2.2 观赏辣椒重要数量性状相关性分析

对正反交 F_2 代群体的 9 个数量性状相关性分析结果 (表 5、表 6) 表明：株高与株幅、侧枝数、单株结果数呈极显著正相关 ($P<0.01$)；株幅与侧枝数、分枝级数和单株结果数呈极显著正相关 ($P<0.01$)；侧枝数与分枝级数、单株结果数呈极显著正相关 ($P<0.01$)；叶长与叶宽、叶柄长、单节叶腋着生花数呈

表 4 组合 P15×P6 F_2 群体的重要数量性状遗传分析

Table 4 Genetic analysis of important quantitative traits in the combined P15×P6 F_2 population

指标	株高/cm	株幅/cm	侧枝数/个	分枝级数/级	单株结果数/个	叶长/mm	叶宽/mm	叶柄长/mm	单节叶腋着生花数/朵
平均值	29.04	44.72	5.29	4.23	56.31	71.86	36.91	38.99	7.36
最大值	45.53	69.37	11.00	10.00	115.00	119.29	69.93	68.46	13.00
最小值	13.42	23.34	3.00	2.00	17.00	28.03	16.80	14.52	2.33
变幅	32.11	46.03	8.00	8.00	98.00	91.26	53.12	53.94	10.67
方差	63.75	105.71	3.33	2.59	541.05	652.22	174.25	181.43	9.37
标准差	7.98	10.28	1.83	1.61	23.26	25.54	13.20	13.47	3.06
变异系数/%	27	23	35	38	41	36	36	35	42

说明：统计 F_2 样本数量为 150

表 5 组合 P6×P15 F_2 群体数量性状相关性分析

Table 5 Correlation analysis of quantitative traits in the combined P6×P15 F_2 population

项目	株高	株幅	侧枝数	分枝级数	单株结果数	叶长	叶宽	叶柄长	单节叶腋着生花数
株高	1								
株幅	0.63**	1							
侧枝数	0.42**	0.68**	1						
分枝级数	-0.24**	0.27**	0.26**	1					
单株结果数	0.58**	0.72**	0.73**	0.11	1				
叶长	0.35**	-0.00	-0.16	-0.47**	0.02	1			
叶宽	0.38**	-0.02	-0.17*	-0.51**	0.00	0.91**	1		
叶柄长	0.21**	-0.21**	-0.30**	-0.55**	-0.12	0.80**	0.88**	1	
单节叶腋着生花数	0.31**	-0.09	-0.25**	-0.55**	-0.04	0.88**	0.93**	0.93**	1

说明：**表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。*表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关

表 6 组合 P15×P6 F_2 群体数量性状相关性分析

Table 6 Correlation analysis of quantitative traits in the combined P15×P6 F_2 population

项目	株高	株幅	侧枝数	分枝级数	单株结果数	叶长	叶宽	叶柄长	单节叶腋着生花数
株高	1								
株幅	0.69**	1							
侧枝数	0.43**	0.32**	1						
分枝级数	-0.01	0.32**	0.32**	1					
单株结果数	0.75**	0.54**	0.62**	0.16	1				
叶长	0.10	0.04	0.06	0.08	0.11	1			
叶宽	0.06	0.07	-0.05	0.07	0.05	0.89**	1		
叶柄长	0.07	0.06	-0.04	0.05	0.06	0.93**	0.96**	1	
单节叶腋着生花数	0.05	0.09	-0.01	0.03	0.02	0.89**	0.88**	0.90**	1

表示：**表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。*表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关

极显著正相关 ($P < 0.01$)。

2.3 观赏辣椒重要数量性状杂种优势分析

由表 7 可知: F_1 代 $P6 \times P15$ 与 $P15 \times P6$ 在单株结果数、株高、株幅 (图 1)、侧枝数性状上均表现中亲优势; $P6 \times P15$ 表现中亲优势的性状依次为单株结果数 (124.29%)、侧枝数 (37.29%)、株幅 (32.84%)、分枝级数 (12.24%)、株高 (8.85%)、单节叶腋着生花数 (6.06%), 占有性状的 66.67%; $P15 \times P6$ 表现中亲优势的性状有单株结果数 (116.4%)、侧枝数 (101.69%)、株高 (10.23%)、株幅 (9.83%), 占有性状的 44.44%。 $P6 \times P15$ 的 F_2 代在 7 个数量性状上表现中亲优势: 单株结果数 (75.93%)、株高 (22.26%)、叶宽 (21.51%)、株幅 (13.42%)、侧枝数 (9.66%)、单节叶腋着生花数 (4.70%)、分枝级数 (2.45%); $P15 \times P6$ 的 F_2 代在 5 个数量性状上表现中亲优势: 单株结果数 (77.63%)、叶宽 (27.06%)、株高 (24.80%)、株幅 (11.52%)、单节叶腋着生花数 (11.52%)。可见, 正反交组合 F_1 和 F_2 代在株高、单株结果数和株幅性状上均表现较显著的中亲优势。

F_1 代 $P6 \times P15$ 与 $P15 \times P6$ 在单株结果数、株幅、株高性状上表现出超亲优势, $P6 \times P15$ 在单株结果数 (90.62%)、株幅 (29.08%)、株高 (1.73%) 表现正向优势; $P15 \times P6$ 在单株结果数 (83.91%)、侧枝数 (40.00%)、株幅 (6.71%)、株高 (3.01%) 表现正向优势。 $P6 \times P15$ 和 $P15 \times P6$ 的 F_2 代群体均在单株结果数 (49.52%、50.97%)、株高 (14.26%、16.63%)、株幅 (10.20%、8.36%)、叶宽 (2.23%、6.89%) 性状上表现正向优势。可见, $P6 \times P15$ 与 $P15 \times P6$ 在 F_1 与 F_2 代均在株高、株幅和单株结果数上表现超亲优势。

2.4 观赏辣椒株型、分枝形式、果实着生方式、叶形遗传规律分析

图 2 为亲本、 F_1 和 F_2 代的株型、分枝形式及果实着生方式。经卡方检验 (表 8), 簇生与单生、有限

表 7 不同世代杂种优势比较分析

Table 7 Comparative analysis of heterosis in different generations

世代	杂种优势	杂种优势/%								
		株高	株幅	侧枝数	分枝级数	单株结果数	叶长	叶宽	叶柄长	单节叶腋着生花数
$P6 \times P15 F_1$	中亲优势	8.85	32.84	37.29	12.24	124.29	-27.94	-27.54	-45.03	6.06
$P15 \times P6 F_1$	中亲优势	10.23	9.83	101.69	-4.08	116.40	-19.66	-24.54	-43.68	-13.64
$P6 \times P15 F_2$	中亲优势	22.26	13.42	9.66	2.45	75.93	-8.34	21.51	-10.03	4.70
$P15 \times P6 F_2$	中亲优势	24.80	11.52	-10.34	-13.67	77.63	-5.37	27.06	-5.55	11.52
$P6 \times P15 F_1$	超亲优势	1.73	29.08	-4.71	-25.68	90.62	-37.78	-39.04	-53.17	-23.91
$P15 \times P6 F_1$	超亲优势	3.01	6.71	40.00	-36.49	83.91	-30.62	-36.52	-52.01	-38.04
$P6 \times P15 F_2$	超亲优势	14.26	10.20	-23.88	-32.16	49.52	-20.84	2.23	-23.34	-24.89
$P15 \times P6 F_2$	超亲优势	16.63	8.36	-37.76	-42.84	50.97	-18.29	6.89	-19.53	-20.00

说明: 数据表示不同类型在不同世代的植株所占百分比, 其中 F_1 代样本统计量为 20, F_2 代样本统计量为 150



图 1 亲本与 F_1 正反交株型与株幅对比图

Figure 1 Comparison of positive and negative cross plant types and plant amplitudes between parents and F_1

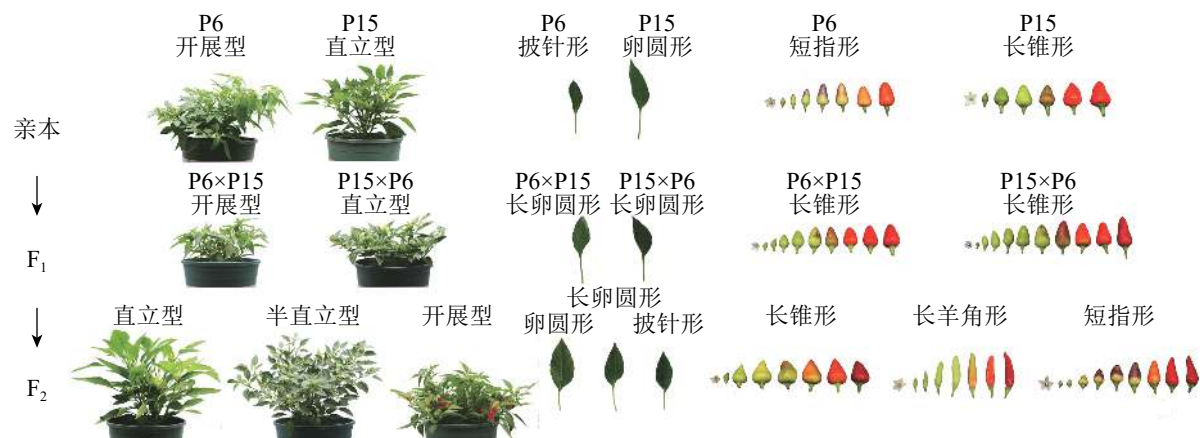


图 2 亲本与 F₁、F₂ 正反交株型与叶片、果实性状对比图

Figure 2 Comparison of plant type, leaf and fruit traits between parents, F₁ and F₂ reciprocal crosses

表 8 P6 和 P15 辣椒正反交 F₂ 代群体重要质量性状分离比及卡方检验

Table 8 Segregation ratio and Chi-square test of important quality traits in F ₂ population of reciprocal cross of P6 and P15															
指标	世代	性状	株数	期望 分离比	χ^2	$\chi^2_{0.05,1}$	$\chi^2_{0.05,2}$	指标	世代	性状	株数	期望 分离比	χ^2	$\chi^2_{0.05,1}$	$\chi^2_{0.05,2}$
果实着生方式	P6×P15 F ₂	簇生	39	1:3	0.03	3.84		株型	P15×P6 F ₂	披针形	37		0		
		单生	111		0.01		卵圆			32	3:9:4	0.41		5.99	
	P15×P6 F ₂	簇生	40	1:3	0.11	3.84			P6×P15 F ₂	长卵圆	87		0.05		
		单生	110		0.04		披针形			31		0.96			
分枝类型	P6×P15 F ₂	有限生长	31	1:3	0.96	3.84		P15×P6 F ₂	直立型	直立型	31	3:9:4	0.20		5.99
		无限生长	119		0.32		半直立			82		0.04			
	P15×P6 F ₂	有限生长	32	1:3	0.67	3.84			P6×P15 F ₂	开展型	37		0		
		无限生长	118		0.22		直立型			32	3:9:4	0.41		5.99	
叶形	P6×P15 F ₂	卵圆	22	3:9:4	1.13		5.99	P15×P6 F ₂	半直立	半直立	87		0.05		
		长卵圆	91		0.44		开展型			31		0.96			

分枝与无限分枝性状符合 1:3 的孟德尔遗传模型 ($\chi^2=0.03<\chi^2(0.05, 1)=3.84$), 说明观赏辣椒簇生对单生、有限生长对无限生长性状均由隐性单基因控制。P6(披针形) 与 P15(长卵圆形) 进行杂交, 所得 F₁ 植株的叶形均为长卵圆形, 说明长卵圆形对披针形为显性。将 F₂ 群体经卡方测验表明: 长卵圆、卵圆、披针形叶形植株数量的分离比符合 9:3:4 的分离比 (15% 的卵圆形叶, 61% 的长卵圆形叶, 25% 的披针形叶)。同理, P15(直立型) 与 P6(开展型) 进行杂交, F₁ 代均呈半直立型, F₂ 代中直立型株、半直立型株和开展型植株的数量分离比符合 9:3:4 的分离比 (21% 的直立型株, 55% 的半直立型株, 25% 的开展型株), 说明辣椒叶片形状与株型性状受 2 对等位基因控制, 其遗传方式符合孟德尔遗传定律。

3 讨论

相较于张宇斌等^[9]、王述彬等^[10]通过境外引种, 多代筛选辣椒优异品种的育种方式, 国内的观赏辣椒自主育种起步较晚。很多育种者在辣椒的农艺性状表型上做了大量改良^[11-12]。多数研究认为: 单株产量、单株结果数均有杂种优势, 使用杂种优势选育适合国内推广的观赏辣椒品种是可行的。

通过对不同株型和叶形的观赏辣椒进行杂交组合, 后代群体的表型性状优势指数与前人研究结果类似。陈蕊红^[13]选择了 8 个亲本辣椒, 组配成 16 个不完全双列组合, 发现: 超中优势效果明显, 单株产量杂种优势明显。这与本研究得出的单株结果数有显著杂种优势结论一致。果实数量和辣椒观赏性密切相关, 对于辣椒观赏价值起决定性作用。杂种优势往往也表现在株高、冠幅、叶片等在常规辣椒育种中常被忽视的表型性状上。JEONG 等^[14]在研究盆景辣椒杂交代育过程中就指出: 观赏辣椒遗传特性主要表现为叶长变异性强, 侧枝数量和株型性状变异不明显, 在亲本选择的时候可以优先考虑选取侧枝表现

较优的品种。尽管观赏辣椒属于辣椒属中的一个特异群体,但其在株高、株幅、叶形上较高的变异特性和杂种优势与常规辣椒基本一致。通过杂交育种可改善观赏辣椒生长势、分枝性等性状,更有利于观赏辣椒在全国范围内的推广。

辣椒诸多表型性状间存在错综复杂的关系^[15]。徐睿等^[16]分析了40份观赏辣椒种质资源的遗传性状,认为单株果实数量与株幅、株高存在正相关。陈倩倩等^[17]对19个辣椒品种的12个表型性状进行遗传分析,结果表明:不同辣椒品种之间性状差异显著,变异系数为8.49%~37.77%。叶长与叶宽、始花节位、对椒单果质量呈极显著正相关。可根据育种目标对辣椒性状的要求,有目的地筛选育种材料。本研究中辣椒正反交 F_2 代群体的植株性状与叶片性状间存在显著正相关,与前人研究结果基本一致。辣椒正反交组合 F_1 、 F_2 代群体中,单株结果数、分枝级数、单节叶腋着生花数和叶长都存在显著变异,不易通过杂交育种保留其叶形与开花性状,而株高和株幅变异较少,遗传稳定性较好。MAMEDOR等^[18]、王昆等^[19]也得出了相似的结果。

辣椒遗传规律受到基因的作用与控制,不同学者在辣椒各表型性状上进行了研究。隋益虎等^[20]使用紫色辣椒和绿色辣椒品种配制杂交组合,测定其叶片花青素相对含量,研究其遗传规律,发现辣椒叶片花青素含量遗传模式符合2对加性-显性-上位性主基因+加性-显性-上位性多基因模型,因此,对辣椒紫叶性状的遗传选择应在分离早期世代进行。本研究针对辣椒叶形的研究显示:长卵圆形叶片对披针形叶片为显性,且披针形叶片对卵圆形叶片具有隐性上位作用。此研究结果可为选育具有奇特叶型的辣椒种质材料提供理论依据。李全辉等^[21]以线辣椒 *C. annuum* var. *longum* 黄色突变体为母本,野生型红色自交系辣椒为父本进行杂交,发现辣椒果实红色对黄色为显性,线辣椒成熟果色黄色性状受1对隐性基因控制。本研究针对辣椒果实着生方式进行研究,发现辣椒簇生对单生和有限分枝对无限分枝均为单基因控制隐性遗传性状。株型和叶形受2对等位基因控制,这与LÜ等^[22]的研究结果一致。株型、叶形、果实的着生方式是观赏性辣椒重要的表现性状,可为选育优良性状的观赏辣椒种质资源提供依据。

4 参考文献

- [1] 杨莎, 陈文超, 张竹青, 等. 观赏盆栽辣椒品种及关键栽培技术[J]. 湖南农业科学, 2015(5): 93–95.
YANG Sha, CHEN Wenchao, ZHANG Zhuqing, et al. Key cultivation techniques of ornamental potted hot pepper varieties [J]. *Hunan Agric Sci*, 2015(5): 93–95.
- [2] ASMA S D, MD A Y A H, SHUBARNA A, et al. Reusing greywater for cultivation of *Capsicum frutescens* and *Calendula officinalis* [J]. *J Environ Manage*, 2020, **272**(3): 111088. doi: 10.1016/j.jenvman.2020.111088.
- [3] METTUPALAYAM A R, PRASENJIT M, KOLA V, et al. Food-drug interaction and pharmacokinetic study between fruit extract of *Capsicum frutescens* L. and glimepiride in diabetic rats [J]. *Clinic Phytosci*, 2020, **6**(1): 216–219.
- [4] MANDARSARI A, ANINDITA R, BUDI S. Price volatility analysis of CAYENNE pepper (*Capsicum frutescens*) in East Java [J]. *Agric Soc Econ J*, 2020, **20**(2): 129–136.
- [5] 郭咏梅, 段旭东, 白健君, 等. 观赏辣椒果实花青素提取及果色相关性分析[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2021, **41**(1): 48–58.
GUO Yongmei, DUAN Xudong, BAI Jianjun, et al. Extraction of anthocyanins from ornamental pepper fruits and correlation analysis of fruit color [J]. *J Shanxi Agric Univ Nat Sci Ed*, 2021, **41**(1): 48–58.
- [6] 王云梅, 谢兴武, 黄修芬, 等. 凉山地区观赏辣椒品种筛选试验[J]. 长江蔬菜, 2017(14): 56–59.
WANG Yunmei, XIE Xingwu, HUANG Xiufen, et al. Screening test of ornamental pepper cultivars in Liangshan area [J]. *J Changjiang Veg*, 2017(14): 56–59.
- [7] 李锡香, 张宝玺. 辣椒种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [8] 段晓铨. 16个辣椒组合杂种优势分析及亲本选配研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2013: 7–36.
DUAN Xiaoquan. *Study on Heterosis Analysis and Crossing Parent Selection of Sixteen Capsicum annuum L.* [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2013: 7–36.
- [9] 张宇斌, 张永兰, 乙引, 等. 22份引进观赏辣椒品种的观赏特性及分类[J]. 贵州农业科学, 2013, **41**(11): 161–164.
ZHANG Yubin, ZHANG Yonglan, YI Yin, et al. Ornamental characteristics and classification of 22 varieties of ornamental pepper [J]. *Guizhou Agric Sci*, 2013, **41**(11): 161–164.

- [10] 王述彬, 袁希汉, 邹学校, 等. 中国辣椒优异种质资源评价[J]. *江苏农业学报*, 2001, **17**(4): 244 – 247.
WANG Shubin, YUAN Xihan, ZOU Xuexiao, *et al.* Evaluation of Chinese excellent pepper germplasms [J]. *Jiangsu J Agric Sci*, 2001, **17**(4): 244 – 247.
- [11] ALIMIN M, BINK M, DIELEMAN J A, *et al.* Genetic and QTL analyses of yield and a set of physiological traits in pepper [J]. *Euphytica*, 2013, **190**(2): 1 – 21.
- [12] 王立浩, 刘伟, 张宝玺. 我国辣椒种业科技发展现状、挑战及其思考[J]. *辣椒杂志*, 2016, **14**(3): 1 – 6.
WANG Lihao, LIU Wei, ZHANG Baoxi. Opportunities and challenges of science and technology development of capsicum seed industry in China [J]. *Pepper Mag*, 2016, **14**(3): 1 – 6.
- [13] 陈蕊红. 辣椒杂种优势及其亲本选配的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2003.
CHEN Ruihong. *Study on Heterosis of Choice of Parents in Pepper(Capsicum annuum L.)* [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2003.
- [14] JEONG H B, JANG S J, KANG M Y, *et al.* Candidate gene analysis reveals that the fruit color locus C1 corresponds to *PPR2* in pepper (*Capsicum frutescens*) [J]. *Front Plant Sci*, 2020, **12**(9). doi: [10.3389/fpls.2020.00399](https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00399).
- [15] 乔迺妮. 辣椒主要数量性状遗传分析[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006.
QIAO Ningni. *Genetic Analysis of the Main Quantitative Traits of Pepper* [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2006.
- [16] 徐睿, 张雅楠, 林子翔, 等. 观赏辣椒种质资源农艺性状遗传多样性关联分析[J]. *浙江农业学报*, 2018, **30**(11): 1886 – 1892.
XU Rui, ZHANG Yanan, LIN Zixiang, *et al.* Analysis in agronomic characters of ornamental pepper germplasm resources [J]. *Zhejiang J Agric Sci*, 2018, **30**(11): 1886 – 1892.
- [17] 陈倩倩, 胡宏赛, 肖海环, 等. 辣椒主要数量性状的遗传分析[J]. *北方园艺*, 2019, **12**(4): 12 – 17.
CHEN Qianqian, HU Hong sai, XIAO Haihuan, *et al.* Genetic analysis on main quantitative traits in pepper(*Capsicum annuum* L.) [J]. *North Hortic*, 2019, **12**(4): 12 – 17.
- [18] MAMEDOV M I. Heterosis and correlation studies for earliness, fruit yield and some economic characteristics in sweet pepper [J]. *Capsium Eggplant Newsletter*, 2001, **34**(20): 42 – 45.
- [19] 王昆, 于海龙, 曹亚从, 等. 辣椒杂种优势相关研究进展及其展望[J]. *辣椒杂志*, 2018, **16**(3): 1 – 7.
WANG Kun, YU Hailong, CAO Yacong, *et al.* Progress and perspective of heterosis researches on pepper [J]. *Pepper Mag*, 2018, **16**(3): 1 – 7.
- [20] 隋益虎, 陈劲枫, 杨学玲, 等. 辣椒叶片花青素含量的遗传分析[J]. *南京农业大学学报*, 2009, **32**(3): 19 – 24.
SUI Yihu, CHEN Jinfeng, YANG Xueling, *et al.* Inheritance of anthocyan in contents in leaves of chili pepper [J]. *J Nanjing Agric Univ*, 2009, **32**(3): 19 – 24.
- [21] 李全辉, 巩振辉. 线辣椒成熟果色黄色性状遗传规律[J]. *西北农业学报*, 2019, **28**(5): 762 – 766.
LI Quanhui, GONG Zhenhui. Study on the inheritance of ripe yellow fruit characters in chili pepper(*Capsicum annuum* var. *longunt*) [J]. *Acta Agric Boreali-Occident Sin*, 2019, **28**(5): 762 – 766.
- [22] LÜ Junheng, LIU Yuhua, LIU Zhoubin, *et al.* Mapping and identifying candidate genes involved in the novel fasciculate inflorescence in pepper (*Capsicum annuum* L.) [J]. *Mol Breeding*, 2019, **39**(11): 1 – 11.