

6 个铁线莲品种杂交 F1 代表型性状遗传分析

陈晓蕾¹, 邵伟丽¹, 厉思源¹, 刘志高², 马红玲¹, 申亚梅², 董彬², 张超²

(1. 浙江农林大学 风景园林与建筑学院, 浙江 杭州 311300; 2. 浙江农林大学 浙江省园林植物种质创新与利用重点实验室, 浙江 杭州 311300)

摘要: 【目的】分析对比铁线莲 *Clematis* 杂交亲本与杂交一代 (F1) 之间表型性状的差异, 探究铁线莲杂交的遗传变异规律。【方法】以 6 个铁线莲品种为亲本, 开展了 4 个杂交组合试验, 对 F1 代的表型性状进行统计分析。【结果】①F1 代的花期与双亲相比出现分离, 但多介于亲本之间。②F1 代花色发生广泛分离, 紫罗兰色的遗传力高于红紫色以及复色紫罗兰色和紫色, 白色相对于红紫色为相对隐性性状; F1 代的花药颜色未发生分离, 黄色花药对于粉红色和红色花药为相对显性性状。③F1 代的萼片宽度、叶片长度、叶片宽度表现出超亲性状, 总平均值分别为中亲值的 111%、114% 和 119%; F1 代的花梗长度、花直径、萼片长宽比及叶片长宽比均小于双亲, 后代总平均值分别为中亲值的 85%、89%、91% 和 82%; F1 代的萼片长度和节间距变化不明显, 总平均值分别为中亲值的 98% 和 102%。④花部 5 个数量性状和叶片 4 个数量性状之间存在显著相关性 ($P < 0.05$), 其中叶片长度与叶片宽度呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 且相关系数最高为 0.940, 趋于连锁遗传。【结论】F1 代的大部分表型性状 (除花药颜色外) 都发生了变异, 仅有萼片长度和节间距表现出偏母性遗传的特点, 萼片宽度表现为偏父性遗传, 花期、花色、花药颜色、花梗长度、花直径、萼片长宽比、叶片长度、叶片宽度、叶片长宽比等 9 个性状未表现出明显的遗传倾向。图 1 表 7 参 24

关键词: 铁线莲; 杂交育种; 表型性状; 遗传变异

中图分类号: S722.3 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2023)01-0072-09

Genetic analysis of phenotypic traits in F1 hybrids of 6 *Clematis* cultivars

CHEN Xiaolei¹, SHAO Weili¹, LI Siyuan¹, LIU Zhigao², MA Hongling¹,
SHEN Yamei², DONG Bin², ZHANG Chao²

(1. College of Landscape and Architecture, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China; 2. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Germplasm Innovation and Utilization for Garden Plants, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, Zhejiang, China)

Abstract: [Objective] This study, with an analytical comparison of the phenotypic traits between cross parents and F1 generation of *Clematis*, is aimed to explore the genetic variation of *Clematis*. [Method] Four cross combination experiments were conducted to statistically analyze the phenotypic traits of F1 generation with six *Clematis* cultivars as parents. [Result] (1) Compared with those of the parents, the flowering stage of F1 generation was separated, but mostly between the parents. (2) There is a general color separation within the F1 generation with the heritability of violet higher than that of red purple, and that of violet and purple more recessive than that of red purple whereas the anther color of F1 generation was not separated with yellow anther relatively dominant to pink and red anther. (3) The sepal width, leaf length and leaf width of F1 generation

收稿日期: 2022-03-14; 修回日期: 2022-09-10

基金项目: 浙江省农业新品种重大专项花卉育种专项 (2021C02071-6-4); 浙江农林大学创新训练项目 (2021KX0057); 浙江省园林植物种质创新与利用重点实验室开放基金项目

作者简介: 陈晓蕾 (ORCID: 0000-0003-2935-1608), 从事铁线莲品种间杂交等研究。E-mail: 18332530987@163.com。通信作者: 刘志高 (ORCID: 0000-0002-2720-9619), 副教授, 博士, 从事园林植物栽培与应用研究。E-mail: vzhigao@sina.com

showed superparental traits, with the total mean values being 111%, 114% and 119% of the median parental values respectively; the pedicel length, flower diameter, sepal aspect ratio and leaf aspect ratio of F1 generation were lower than those of both parents, with the total average values of the offspring being 85%, 89%, 91% and 82% of the median parental values while the sepal length and segment spacing of F1 generation did not change significantly, with the total mean values being 98% and 102% of the median parental value respectively. (4) There were significant correlations ($P < 0.05$) between five quantitative traits in flower and four quantitative traits in leaf, and leaf length was positively correlated ($P < 0.01$) with leaf width, with the highest correlation coefficient of 0.940, which tended to be linked inheritance. [Conclusion] Most of the phenotypic traits (except anther color) in the offspring generation changed, with only sepal length and segment spacing showing maternal inheritance. On the hand, sepal width showed paternal inheritance, while nine traits, including flowering stage, flower color, anther color, pedicel length, flower diameter, sepal aspect ratio, leaf length, leaf width, and leaf aspect ratio, showed no obvious genetic tendency. [Ch, 1 fig. 7 tab. 24 ref.]

Key words: *Clematis*; cross breeding; phenotypic traits; the genetic variation

铁线莲属 *Clematis* 植物为多年生木质藤本, 少数为草本、灌木或亚灌木, 隶属于毛茛科 Ranunculaceae, 全世界现有铁线莲属植物 371 种^[1], 主要分布在热带及亚热带, 寒带地区亦有分布。中国约有 159 种铁线莲属植物^[2], 全国各地均有分布, 集中于华中和西南地区^[3-4]。铁线莲属植物兼具了药用及园艺观赏价值, 被誉为“攀援植物皇后”。国外铁线莲属植物的栽培育种工作已有很长的历史, 栽培品种多源于欧美等国家, 数量多达 3 000 余种, 适宜在冷凉干燥的环境下栽培, 目前已有超过 400 个品种在世界各地广泛种植^[5-6], 大量应用在西方的私家庭院中, 每年的英国切尔西花展中, 铁线莲都是最耀眼的“明星”。中国该属植物种占世界 1/3, 而且世界上园艺变种的主要亲本大都源于中国, 但中国拥有自主知识产权的铁线莲品种却寥寥无几。因此, 对铁线莲属植物中优良观赏种资源的开发利用和育种等工作意义重大。

杂交育种是人类有目的地创造变异的重要方法, 也是目前观赏植物品种改良的主要途径^[7]。铁线莲的花色、花期、花直径、花型、叶型等性状, 都是新品种选育的主要目标性状。掌握性状的遗传, 对正确选配亲本组合、提高育种效率具有重要意义。铁线莲遗传背景复杂, 大多数栽培品种并非是纯合子, 在复杂的遗传背景下, 要获得目标性状则需要大量的亲本组合中进行尝试。国内铁线莲的杂交育种工作尚处于起步阶段, 目前已有亲本选配、杂交结实率以及子代观赏性筛选^[8-10]的相关研究, 对铁线莲杂交遗传规律的报道较少, 而国外的杂交育种工作集中在新品种的研发以及现有品种的改良方面。鉴于此, 本研究以观赏性及适应性较好的 6 个铁线莲品种为亲本, 进行杂交试验, 对杂交一代 (F1) 的表型性状进行统计分析, 以期对铁线莲新品种选育提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 材料

2016 年 4—5 月, 将 6 个铁线莲品种组配成 4 个不同的杂交组合进行杂交授粉, 当年 11 月采收成熟的种子播种, 盆栽于浙江农林大学铁线莲种质资源圃内, 采用 *V*(泥炭):*V*(珍珠岩) 为 1:1 的基质, 50% 遮光, 常规水肥管理 (表 1)。

1.2 方法

杂交 F1 代从 2019 年 4 月开始开花, 确定花部性状稳定后于 2021 年 4—5 月, 按照 NY/T 2583—2014《植物新品种特异性、一致性和稳定性的测试指南 铁线莲属》^[11] 中列出的性状标准, 对亲本和 F1 代的 12 个表型性状进行观测记录。

1.2.1 花表型性状测定标准 每个观测对象选取 5 朵处于盛花期的花朵, 分别进行如下性状的测量: ①花色。随机选择 3 片花萼, 在室内上午北向自然光源下, 使用英国皇家园艺学会比色卡对花萼的上表面进行色值参数比对, 以比色卡比色中出现频率最高的颜色来确定花色。②花朵直径。过辐射对称中心

表 1 6 个铁线莲品种的主要信息

Table 1 Main information of of 6 *Clematis* cultivars

品种名	代码	来源	花期	品种特征	倍性
‘中国红’ ‘Westerplatte’	ZGH	波兰	4月	早花大花型	二倍体
‘浪子’ ‘The Vagabond’	LZ	英国	5月	晚花大花型	二倍体
‘马来西亚石榴石’ ‘Malaya Garnet’	SLS	日本	4月	早花大花型	二倍体
‘朱丽娅夫人’ ‘Mme Julia Correvon’	ZLY	法国	4—5月	意大利型	二倍体
‘羞嗒嗒’ ‘Innocent Blush’	XDD	波兰	4月	早花大花型	二倍体
‘鲁佩尔博士’ ‘Doctor Ruppel’	BS	阿根廷	4月	早花大花型	二倍体

测量花朵直径，每朵花测量 3 次取平均值^[12]。③萼片长和宽。分别测量萼片中轴线及与中轴线垂直的花萼片最宽处，得到萼片的长和宽。④花期 (盛花期) 观测。每天 8:00—9:00 观测并记录花朵的开放情况，以全株 50% 的花朵开放作为盛花期的标准。

1.2.2 节间距测定标准 选取植株上生长健壮、无病虫害的 5 个枝条，分别测定其中上部着生成熟叶片的各节间的距离，取平均值。

1.2.3 叶表型性状测定标准 随机选取 5 个植株中上的健康叶片，测量叶片中轴线和与中轴线垂直的叶片最宽处，得到叶片的长和宽。

1.3 数据分析

利用 Excel 进行数据统计，计算亲本中亲值 (M_{PS})、F1 代各表型性状 (i) 的平均值 (X_i)、标准差 (σ_i)、遗传变异系数 (C_V)，其中 $C_V < 15\%$ 、 $15\% \leq C_V \leq 30\%$ 、 $C_V > 30\%$ 分别定义为遗传变异度较小、中等和较大^[13]。采用 SPSS 25.0 分析数据，利用 Pearson 相关性分析计算各数量性状间的相关系数。中亲值 (M_{PS})= $(P_1+P_2)/2$ ，其中 P_1 、 P_2 为亲本各表型性状的实际测量值。遗传变异系数 (C_V)= $(\sigma_i/X_i) \times 100\%$ 。

2 结果与分析

2.1 花期遗传变异分析

由表 2 可见：铁线莲品种间杂交 F1 代的盛花期均在 4—5 月，集中于 4 月下旬 (43.2%)。不同杂交组合 F1 代花期分离，出现了花期早于或晚于双亲的个体。其中 ZGH×LZ 杂交组合中，F1 代早花个体在 4 月上旬和中旬开花，占比分别为 39.3% 和 25.0%；BS×ZGH 杂交组合中，F1 代晚花个体，花期分别为 5 月上旬 (13.7%)、中旬 (17.6%) 和下旬 (21.6%)，总占比为 52.9%；ZLY×XDD 杂交组合中，F1 代出现了 5 月上旬和中旬开花的晚花株系，占比分别为 21.1% 和 26.3%；SLS×LZ 杂交组合中，F1 代盛花期介于双亲之间。

表 2 花期遗传分析

Table 2 Heredity of flower time

杂交组合(♀×♂)	母本花期	父本花期	F1代株数/株	F1代花期分布比例/%					
				4月上旬	4月中旬	4月下旬	5月上旬	5月中旬	5月下旬
ZGH×LZ	4月下	5月上	28	39.3	25.0	28.6	7.1	0.0	0.0
SLS×LZ	4月中	5月上	35	0.0	17.1	54.3	28.6	0.0	0.0
BS×ZGH	4月中	4月下	51	0.0	2.0	45.1	13.7	17.6	21.6
ZLY×XDD	4月下	4月中	38	0.0	7.9	44.7	21.1	26.3	0.0

2.2 花色遗传变异分析

铁线莲品种不仅花色繁多，还有含 2 种或 2 种以上颜色的复合花色，其遗传十分复杂，亲本及 F1 代的花色如图 1 所示。从表 3 可见：在以紫罗兰色系品种 ‘浪子’ 为父本的 ZGH×LZ 和 SLS×LZ 杂交组合中，前者 F1 代中紫罗兰色系植株占群体的 29.6%，兼具父母本花色的复色 (紫罗兰色和红紫色) 植株占比为 70.4%，不存在与母本花色 (红紫色) 一致的植株；后者 F1 代中紫罗兰色系植株占群体的 60.0%，与母本花色 (紫罗兰色和紫色) 一致的植株占 40.0%，表明紫罗兰色的遗传力高于红紫色以及复



A 为 ZGH×LZ 的 F1 代; B 和 C 为 SLS×LZ 的 F1 代; D 为 BS×ZGH 的 F1 代; E、F 和 G 为 ZLY×XDD 的 F1 代

图 1 杂交亲本和部分杂交后代花色图
Figure 1 Flower colors diagram of parents and some hybrids

表 3 花色遗传分析

Table 3 Heredity of the flower colors

杂交组合 (♀×♂)	母本花色	父本花色	F1代花色分布比例/%							
			复色(紫罗兰 色和红紫色)	红紫色	紫罗 兰色	复色(紫罗兰 色和紫色)	复色(紫罗兰紫 色和红紫色)	复色(紫色和 红紫色)	紫罗兰 蓝色	白色
ZGH×LZ	红紫色	紫罗兰色	70.4	0.0	29.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SLS×LZ	复色(紫罗兰色和紫色)	紫罗兰色	0.0	0.0	60.0	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0
BS×ZGH	复色(紫罗兰紫色和红紫色)	红紫色	0.0	36.5	0.0	0.0	0.0	63.5	0.0	0.0
ZLY×XDD	红紫色	白色	0.0	42.1	31.6	0.0	0.0	0.0	26.3	0.0

色紫罗兰色和紫色。BS×ZGH 杂交组合中，有 36.5% 的 F1 代植株与父本花色 (红紫色) 一致，另外 63.5% 表现为紫色和红紫色的组合复色，与母本的紫罗兰紫色和红紫色的复色稍有差异；在 ZLY×XDD 杂交组合中，F1 代中出现了与亲本花色完全不同的紫罗兰色系和紫罗兰蓝色系的植株，却没有出现于父本花色一致的白花后代，初步推测白色为相对隐性性状。

2.3 花药颜色遗传变异分析

由表 4 可知：所有杂交组合的 F1 代花药颜色均未发生变异，与双亲中的一方保持一致。当黄色花药的品种作为亲本时，F1 代花药均为黄色，初步推测黄色花药对于粉红和红色为相对显性性状。BS×ZGH 杂交组合中，F1 代紫红色花药的植株占群体的 63.5%，红色花药颜色的植株占 36.5%，表明紫红色花药的遗传力大于红色花药。

表 4 花药颜色遗传分析

Table 4 Heredity of anther color

杂交组合(♀×♂)	母本花药颜色	父本花药颜色	F1代花药颜色分布比例/%			
			红色	黄色	粉红色	紫红色
ZGH×LZ	红色	黄色	0.0	100.0	0.0	0.0
SLS×LZ	粉红色	黄色	0.0	100.0	0.0	0.0
BS×ZGH	紫红色	红色	36.5	0.0	0.0	63.5
ZLY×XDD	黄色	黄色	0.0	100.0	0.0	0.0

2.4 花部形态性状遗传变异分析

由表 5 可以看出：几个杂交组合 F1 代的花梗长度分离广泛，变异系数皆大于 10%，最高可达 24.73% (ZLY×XDD)，表明花梗长度具有丰富的遗传变异力。在 ZGH×LZ 和 BS×ZGH 的 2 个杂交组合中，F1 代的花梗长度呈明显的减小趋势，F1 代的平均花梗长度分别为中亲值的 79% 和 82%，小于低亲

值分别为 92.31% 和 76.47%；而在 ZLY×ZDD 杂交组合中，虽然 F1 代的平均花梗长度为中亲值的 76%，表现出低亲性，但小于低亲的个体只占 48.65%，低亲优势并不显著，这可能是由于母本 (ZLY) 的花梗长度较大，起到了中和作用；SLS×LZ 的杂交组合中，F1 代的花梗长度介于双亲之间，并未表现出杂种优势。

表 5 花部形态性状遗传分析

Table 5 Heredity of floral morphological characters

性状	杂交组合 (♀×♂)	亲本数值/cm			F1代群体与亲本比较/cm				F1代分布比例/%		
		母本	父本	中亲值	均值/中亲值	均值±标准差	变幅	变异系数/%	小于低亲	双亲之间	大于高亲
花梗长度	ZGH×LZ	8.73	9.48	9.10	0.79	7.15±1.14	5.35~8.99	15.90	92.31	7.69	0.00
	SLS×LZ	5.53	9.48	7.50	1.02	7.66±0.85	6.12~8.89	11.03	0.00	100.00	0.00
	BS×ZGH	7.49	8.73	8.11	0.82	6.66±0.83	5.03~7.94	12.44	76.47	23.53	0.00
	ZLY×XDD	14.94	8.99	11.97	0.76	9.05±2.24	6.21~18.66	24.73	48.65	48.65	2.70
	总平均	9.17	9.17	9.17	0.85			16.03	54.36	44.97	0.68
花直径	ZGH×LZ	12.62	12.84	12.73	1.05	13.35±1.31	11.54~16.48	9.82	38.46	3.85	57.69
	SLS×LZ	13.27	12.84	13.06	0.85	11.14±1.12	9.11~12.93	10.03	0.00	94.12	5.88
	BS×ZGH	11.81	12.62	12.22	0.87	10.58±0.78	9.07~11.94	7.33	94.12	5.88	0.00
	ZLY×XDD	10.05	14.12	12.09	0.80	9.66±0.81	8.30~10.89	8.41	0.00	64.86	35.14
	总平均	11.94	13.11	12.53	0.89			8.90	33.15	42.18	24.68
萼片长度	ZGH×LZ	5.65	6.23	5.94	1.23	7.28±0.49	6.11~7.97	6.76	0.00	3.85	96.15
	SLS×LZ	6.65	6.23	6.44	1.02	6.57±0.23	6.05~6.99	3.48	5.88	55.88	38.24
	BS×ZGH	5.92	5.65	5.79	0.89	5.14±0.58	4.08~5.98	11.28	76.47	13.73	9.80
	ZLY×XDD	4.96	7.05	6.01	0.77	4.62±0.79	3.19~5.96	17.09	59.46	40.54	0.00
	总平均	5.80	6.29	6.05	0.98			9.65	35.45	28.50	36.05
萼片宽度	ZGH×LZ	2.56	3.06	2.81	1.37	3.85±0.52	3.04~4.69	13.49	0.00	7.69	92.31
	SLS×LZ	2.87	3.06	2.97	1.00	2.96±0.58	2.01~3.95	19.56	50.00	0.00	50.00
	BS×ZGH	2.47	2.56	2.52	1.16	2.91±0.49	2.02~3.98	16.76	21.57	5.88	72.55
	ZLY×XDD	2.90	4.92	3.91	0.91	3.54±0.86	2.02~4.92	24.25	29.73	70.27	0.00
	总平均	2.70	3.40	3.05	1.11			18.52	25.33	20.96	53.72
萼片长宽比	ZGH×LZ	2.21	2.03	2.12	0.91	1.92±0.28	1.38~2.50	14.72	69.23	19.23	11.54
	SLS×LZ	2.32	2.03	2.18	1.06	2.31±0.49	1.57~3.20	21.02	41.18	17.65	41.18
	BS×ZGH	2.40	2.21	2.31	0.78	1.80±0.33	1.17~2.71	18.31	88.24	3.92	7.84
	ZLY×XDD	1.71	1.43	1.57	0.88	1.38±0.43	0.73~2.61	31.34	70.27	13.51	16.22
	总平均	2.16	1.93	2.05	0.91			21.35	67.23	13.58	19.20

F1 代花直径总平均值相当于中亲值的 89%，总体表现出衰退趋势，但组合间存在差异。SLS×LZ、BS×ZGH 和 ZLY×XDD 的 3 个杂交组合中，F1 代的花直径呈减小趋势，F1 代花直径的总平均值为中亲值的 84%，但从 F1 代花直径的分布比例来看，仅在 BS×ZGH 杂交组合中出现了 94.12% 的小于低亲个体，另外 2 个杂交组合中则不存在小于低亲的个体。因此，虽然 3 个杂交组合中 F1 代的花直径均值表现出了一定的低亲性，但小于低亲的个体出现的几率并不高。而在 ZGH×LZ 杂交组合中，F1 代的花直径表现出一定的超亲性，超高亲个体出现的概率为 57.69%。

铁线莲品种间杂交组合 F1 代的萼片长度呈微弱的减小趋势，F1 代的总平均萼片长度为中亲值的 98%，萼片宽度呈一定的增大趋势，F1 代的总平均萼片宽度为中亲值的 111%，萼片长宽比呈明显的减小趋势，F1 代的总平均萼片长宽比为中亲值的 91%。萼片长度的减小，萼片宽度的增加，导致萼片长宽比减小，说明 F1 代的萼片形状已发生变化。几个组合杂交后代的萼片长宽比的变异系数均值为 21.35%，表明其遗传变异丰富，杂交后代的萼片形状发生变化且 F1 代间差异较大。

2.5 叶部形态性状遗传变异分析

由表 6 可知：F1 代节间距的平均变异系数为 11.68%，遗传力较差。总体来看，节间距介于双亲之间的 F1 代个体占群体的 60.55%，低亲个体和高亲个体分别占 13.52% 和 25.94%，F1 代节间距的总平均值为中亲值的 102%，未表现出明显的超亲优势。

表 6 叶部形态性状遗传分析

Table 6 Heredity of leaf morphological characters

性状	杂交组合(♀×♂)	亲本数值/cm			F1代群体与亲本比较/cm				F1代分布比例/%		
		母本	父本	中亲值	均值/中亲值	均值±标准差	变幅	变异系数/%	小于低亲	双亲之间	大于高亲
节间距	ZGH×LZ	9.62	11.41	10.52	0.99	10.40±1.59	7.53~12.69	15.34	37.04	25.93	37.04
	SLS×LZ	8.68	11.41	10.05	1.05	10.60±1.07	9.08~12.71	10.12	0.00	71.43	28.57
	BS×ZGH	12.82	9.62	11.22	0.97	10.89±1.10	9.08~12.95	10.07	11.76	84.31	3.92
	ZLY×XDD	15.38	12.34	13.86	1.05	14.61±1.63	11.56~18.33	11.18	5.26	60.53	34.21
	总平均	11.63	11.20	11.41	1.02			11.68	13.52	60.55	25.94
叶片长度	ZGH×LZ	18.07	13.07	15.57	1.28	19.91±2.10	15.32~23.15	10.53	0.00	25.93	74.07
	SLS×LZ	15.14	13.07	14.11	1.42	19.98±1.77	15.13~21.53	8.85	0.00	0.00	100.00
	BS×ZGH	16.27	18.07	17.17	0.93	16.02±1.17	14.62~17.85	7.30	54.90	45.10	0.00
	ZLY×XDD	18.68	17.12	17.90	0.91	16.22±2.31	11.40~20.35	14.24	60.53	21.05	18.42
	总平均	17.04	15.33	16.19	1.14			10.23	28.86	23.02	48.12
叶片宽度	ZGH×LZ	17.39	11.92	14.66	1.37	20.02±2.34	15.03~23.42	11.71	0.00	14.81	85.19
	SLS×LZ	14.28	11.92	13.10	1.52	19.86±1.98	15.77~23.21	9.96	0.00	0.00	100.00
	BS×ZGH	16.33	17.39	16.86	0.95	16.03±1.32	13.46~18.53	8.26	56.86	43.14	0.00
	ZLY×XDD	17.55	18.13	17.84	0.91	16.19±2.38	12.01~21.41	14.71	68.42	0.00	31.58
	总计	16.39	14.84	15.62	1.19			11.16	31.32	14.49	54.19
叶片长宽比	ZGH×LZ	1.93	1.10	1.52	0.66	1.00±0.05	0.91~1.09	4.97	100.00	0.00	0.00
	SLS×LZ	1.06	1.10	1.08	0.93	1.01±0.06	0.93~1.08	5.50	77.14	22.86	0.00
	BS×ZGH	1.01	1.93	1.47	0.68	1.00±0.04	0.88~1.07	4.45	52.94	47.06	0.00
	ZLY×XDD	1.07	0.95	1.01	0.99	1.00±0.07	0.90~1.12	6.61	21.05	60.53	18.42
	总平均	1.27	1.27	1.27	0.82			5.38	62.78	32.61	4.61

铁线莲品种间杂交组合 F1 代的叶片长度整体上表现出一定的增大趋势，总平均值为中亲值的 114%。在 ZGH×LZ 和 SLS×LZ 杂交组合中表现为超亲性，在 BS×ZGH 和 ZLY×XDD 杂交组合中则表现为低亲性；叶片宽度总体呈一定的增大趋势，F1 代总平均叶片宽度为中亲值的 119%；由于 F1 代的叶片宽度增幅较大，导致叶片长宽比减小，F1 代的总平均叶片长宽比为中亲值的 82%，叶片形状发生了明显的变化，但总平均变异系数 (5.38%) 小于 15%，F1 代间差异较小，遗传变异度较小。

2.6 9 个表型数量性状相关性分析

分析花部 5 个性状和叶片 4 个性状之间的相关性 (表 7) 发现：花直径分别与萼片长度、萼片长宽比呈极显著 ($P<0.01$) 正相关关系，花直径越大，萼片长度越大，萼片长宽比越大，表明萼片长度和萼片长宽比在一定程度上影响花直径的大小，但未表现出对萼片宽度的影响；萼片长宽比与萼片长度呈极显著 ($P<0.01$) 正相关关系，与萼片宽度呈极显著 ($P<0.01$) 负相关关系。叶片长度与叶片宽度呈极显著 ($P<0.01$) 正相关，即叶片长度越长，片宽度就越大，且相关系数最高 (0.940)，趋于连锁遗传。花梗长度与节间距之间呈极显著 ($P<0.01$) 正相关关系，说明节间距与花梗长度之间存在一定的联系。

3 结论与讨论

杂种优势利用是观赏植物杂交育种的有效手段^[14-16]。亲本间的异质性在很大程度上决定了杂种优

表7 F1代9个性状的相关性分析

Table 7 Correlation analysis of 9 characters of F1 generation

性状	花梗长度	花直径	萼片长度	萼片宽度	萼片长宽比	节间距	叶片长度	叶片宽度	叶片长宽比
花梗长度	1								
花直径	-0.318	1							
萼片长度	-0.122	0.608**	1						
萼片宽度	0.132	0.157	0.175*	1					
萼片长宽比	-0.159	0.250**	0.561**	-0.675**	1				
节间距	0.510**	-0.425	-0.493	0.239**	-0.495	1			
叶片长度	-0.005	0.435**	0.563**	0.110	0.337**	-0.249	1		
叶片宽度	0.025	0.409**	0.553**	0.107	0.347**	-0.233	0.940**	1	
叶片长宽比	-0.084	0.016	-0.042	-0.006	-0.073	-0.015	0.040	-0.301	1

说明：*表示显著相关($P<0.05$)；**表示极显著相关($P<0.01$)

势，亲本间主要性状的差异反映了它们的遗传差异，而选择遗传差异大的亲本进行杂交，才能产生较强的杂种优势^[17]。对生长于同一环境中的杂交群体表型性状进行系统测定和分析，对于研究观赏性状的遗传规律、探索该性状表现型与基因型的关联性以及开展后续目标育种具有重要意义^[18]。

本研究对6个铁线莲品种进行杂交试验，发现F1代的大部分表型性状(除花药颜色外)都发生了变异，仅有萼片长度和节间距2个性状表现出偏母性遗传的特点，萼片宽度表现为偏父性遗传，花期、花色、花药颜色、花梗长度、花直径、萼片长宽比、叶片长度、叶片宽度、叶片长宽比等9个性状未表现出明显的遗传倾向。余伟军^[10]研究发现：铁线莲品种间杂交后代综合了父本与母本之间的遗传特性，不同程度地遗传了双亲的某个或某些性状，部分单株之间存在差异。SABA等^[19]研究发现：部分菊花 *Chrysanthemum morifolium* 杂交F1代的表型性状与双亲中的一方相似，F1代间存在差异且与亲本有别。本研究结果与以上结果一致。

杂交F1代的花期出现分离，其中ZGH×LZ杂交组合中，F1代出现了花期早于双亲的个体，BS×ZGH和ZLY×XDD杂交组合中，F1代出现了花期晚于双亲的个体，但多数介于亲本之间，这与杨云燕等^[20]在切花菊品种间杂交试验中所得的结果一致。马绍宇等^[21]在高山杜鹃 *Rhododendron lapponicum* 杂种中发现花色发生广泛分离，分离的色谱范围并不局限于双亲之间；周熠玮等^[22]在姜花 *Hedychium coronarium* 的杂交F1代中发现了亲本中没有的橙红色花色植株；INAMURA等^[23]研究发现：三叶草 *Trifolium repens* 的杂交F1代中出现了花色优于亲本的个体，在本研究中部分F1代表现出一定的超亲优势，出现了兼具父本与母本花色的复色植株；而以白色植株作为父本时，F1代中有57.9%的植株与亲本花色均不相同，却没有出现与父本花色一致的白花后代，初步推测白色为相对隐性性状，这与AROS等^[24]在石竹 *Dianthus chinensis* 的杂交后代中，发现与亲本花色一致的橙色和红色丢失的结果一致。因此，在现实育种工作中选择白花的铁线莲品种作为亲本有利于创造出花色更为丰富的植株。通过分析杂交亲本与F1代的花药颜色，发现黄色花药的植株做亲本时，F1代的花药均为黄色，可以初步推测黄色花药为显性性状，因此若要选育其他颜色(除黄色外)花药的品种，不宜选择黄色花药的品种作为亲本。本研究中F1代的萼片长度呈轻微的减小趋势，萼片宽度呈一定的增大趋势，从而导致了萼片长宽比的减小，说明F1代的萼片形状已发生变化；F1代的叶片长度表现出一定的增大趋势，叶片宽度呈明显的增大趋势，导致叶片长宽比明显减小，叶片形状发生了明显的变化，但总平均变异系数为5.38%，F1代间差异较小。花梗长度和花直径总体上呈现出减小的趋势，其原因可能是亲本品种都是经过单项选择育成的优良品种，经过长期无性繁殖又使入选品种的非加性效应占较大比例，一经有性杂交可能使其优势解体，致使杂种群体的性状平均值下降。在实际育种工作中，将上述性状在杂种中的下降表现估计在内，提高亲本性状的平均值，仍可提高杂种平均值，从而有利于提高入选率。

本研究中，杂交后代9个数量性状的变异系数为3.48%~31.34%，所有杂交组合的F1代花直径、叶片长度、叶片宽度和叶片长宽比4个性状的变异系数均小于15%，遗传变异力较差；不存在所有杂交组合的F1代变异系数均大于15%的性状，但F1代中仍可能出现少数超高亲个体，选育观赏性更好的新

品种依然可能实现。

铁线莲品种大多是经过人工杂交而来, 又经过长期的无性繁殖, 因此大多数栽培品种基因型高度杂合, 品种间杂交后代分离极为广泛, 要研究其性状的遗传规律是十分困难的。但通过对各类杂交组合的亲本品种及其杂种的性状表现进行比较统计与分析, 仍可发现各性状在遗传上带有规律性的倾向。总结这些遗传倾向, 对杂交育种中的亲本选择与选配、提高育种效率具有指导意义。本研究中杂种 F1 代群体花色分离广泛, 为群体遗传学、花色分类、花色形成机理、新品种培育等研究提供了重要依据, 但通过肉眼及比色卡测定的花色结果带有一定的主观性, 后续可通过色差仪来将花色数量化, 以及测定杂种后代的花色素种类及含量来深入研究花色遗传变异机制。

4 参考文献

- [1] 朱玉雪, 张敏涛, 刘莹, 等. 4 种早花大花组铁线莲的耐热性综合评价[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2017, **35**(1): 58–65, 71.
ZHU Yuxue, ZHANG Mintao, LIU Ying, *et al.* Comprehensive evaluation of heat-tolerance of 4 cultivars of early large-flowered group *Clematis* [J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science)*, 2017, **35**(1): 58–65, 71.
- [2] 亚里坤·努尔, 买买提江·吐尔逊, 吐尔逊古丽·托乎提. 铁线莲属植物资源及其研究与应用价值分析[J]. 中国林副特产, 2012(1): 89–91.
Yalikun Nuer, Maimaitijang Tuerxun, Tuerxungul Tuhti. *Clematis* L. resources research and applied analysis [J]. *Forest By-Product and Speciality in China*, 2012(1): 89–91.
- [3] 王文采, 李良千. 铁线莲属一新分类系统[J]. 植物分类学报, 2005, **43**(5): 431–488.
WANG Wencai, LI Liangqian. A new system of classification on the genus *Clematis* (Ranunculaceae) [J]. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 2005, **43**(5): 431–488.
- [4] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志(第 28 卷: 毛茛科)[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
Editorial Board of Flora of China Chinese Academy of Sciences. *Flora of China (Vol. 28: Ranunculaceae)* [M]. Beijing: Science Press, 1980.
- [5] 刘志高, 邵伟丽, 申亚梅, 等. 铁线莲品种耐热性分析及评价指标筛选[J]. 核农学报, 2020, **34**(1): 203–213.
LIU Zhigao, SHAO Weili, SHEN Yamei, *et al.* Evaluation of heat tolerance and screening the index for the assessment of heat tolerance in cultivars of *Clematis* [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Science*, 2020, **34**(1): 203–213.
- [6] 高露璐, 李林芳, 马育珠, 等. 铁线莲品种群的花期观赏性状分析[J]. 园艺学报, 2017, **44**(5): 921–932.
GAO Lulu, LI Linfang, MA Yuzhu, *et al.* Analysis of florescence characteristics on *Clematis* cultivars group [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2017, **44**(5): 921–932.
- [7] SHEN Ping, GAO Suping, CHEN Xi, *et al.* Genetic analysis of main flower characteristics in the F generation derived from intraspecific hybridization between *Plumbago auriculata* and *Plumbago auriculata* f. *alba* [J/OL]. *Scientia Horticulturae*, 2020, **274**: 109652[2022-03-01]. doi: 10.1016/j.scienta.2020.109652.
- [8] 乔谦, 王雪, 王江勇, 等. 铁线莲杂交与花期观赏[J]. 山东林业科技, 2020, **50**(1): 35–40.
QIAO Qian, WANG Xue, WANG Jiangyong, *et al.* Artificial hybridization and flowering period of *Clematis* [J]. *Shandong Forestry Science and Technology*, 2020, **50**(1): 35–40.
- [9] 孙瑞琦. 铁线莲杂交育种及遗传转化初步研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2019.
SUN Ruiqi. *A Preliminary Study on Crossbreeding and Genetic Transformation of Clematis* [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2019.
- [10] 余伟军. 铁线莲遗传多样性、杂交育种及离体快繁研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2017.
YU Weijun. *Studies on Genetic Diversity, Hybridization and in vitro Rapid Propagation of Clematis* [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2017.
- [11] 中国农业科学院蔬菜花卉研究所, 北京天地秀色园林科技有限公司. 植物新品种特异性、一致性和稳定性的测试指南 铁线莲属: NY/T 2583—2014[S]. 北京: 中华人民共和国农业部种子管理局, 2014.
Beijing Tiandi Xiusei Garden Technology Co. LTD, The Institute of Vegetables and Flowers, Chinese Academy of Agricultural Sciences. *Guidelines for the Conduct of Tests for Distinctness, Uniformity and Stability: Clematis (Clematis L.): NY/T 2583—2014* [S]. Beijing: Seed Administration Bureau of the Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, 2014.

- [12] 周利君, 于超, 常笑, 等. 月季 F1 代群体表型性状变异分析[J]. *植物研究*, 2019, **39**(1): 131 – 138.
ZHOU Lijun, YU Chao, CHANG Xiao, *et al.* Variation analysis of phenotypic traits in F1 population of *Rosa* spp. [J]. *Plant Research*, 2019, **39**(1): 131 – 138.
- [13] 李娟娟, 陈洪伟, 王红利, 等. 一串红若干观赏性状在 F1 的遗传表现[J]. *华北农学报*, 2014, **29**(6): 113 – 120.
LI Juanjuan, CHEN Hongwei, WANG Hongli, *et al.* Genetic performance of several traits in F1 hybrids of different cross combinations in *Salvia splendens* [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2014, **29**(6): 113 – 120.
- [14] 王东雪, 毕雯璐, 江泽鹏, 等. 油茶 F1 代苗期叶表型性状遗传多样性研究[J]. *西北林学院学报*, 2019, **34**(1): 113 – 118.
WANG Dongxue, BI Wenjun, JIANG Zepeng, *et al.* Genetic diversity of leaf phenotypic traits in F1 progeny of *Camellia oleifera* [J]. *Journal of Northwest Forestry College*, 2019, **34**(1): 113 – 118.
- [15] 董虹妤, 刘青华, 周志春, 等. 马尾松子代生长杂种优势与亲本配合力、遗传距离的相关性[J]. *林业科学*, 2017, **53**(2): 65 – 75.
DONG Hongyu, LIU Qinghua, ZHOU Zhichun, *et al.* Correlation between heterosis in the growth of progeny and combining ability and genetic distance of the parents for *Pinus massoniana* [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2017, **53**(2): 65 – 75.
- [16] 张琳, 郭丽丽, 郭大龙, 等. 牡丹杂交 F1 代性状分离规律及混合遗传分析[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2018, **42**(6): 55 – 64.
ZHANG Lin, GUO Lili, GUO Dalong, *et al.* Separation analysis and mixed genetic analysis of phenotypic traits in F1 progenies of tree peony [J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition)*, 2018, **42**(6): 55 – 64.
- [17] 王秀刚, 胡翠平, 杨涛, 等. 百合品种粉美与多安娜杂交 F1 代主要性状遗传分析[J]. *作物杂志*, 2012(4): 90 – 94.
WANG Xiugang, HU Cuiping, YANG Tao, *et al.* Genetic analysis of main characters of F1 generation from hybridization of Dark beauty and Pollyanna [J]. *Crops*, 2012(4): 90 – 94.
- [18] 郭宁, 杨树华, 葛维亚, 等. 新疆天山山脉地区疏花蔷薇天然居群表型多样性分析[J]. *园艺学报*, 2011, **38**(3): 495 – 502.
GUO Ning, YANG Shuhua, GE Weiya, *et al.* Phenotypic diversity of natural populations of *Rosa laxa* Retz. in Tianshan Mountains of Xinjiang [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2011, **38**(3): 495 – 502.
- [19] SABA H, MUHAMMAD A J, UMER H, *et al.* Phenotypic characterization and RT-qPCR analysis of flower development in F-1 transgenics of *Chrysanthemum* × *grandiflorum* [J/OL]. *Plants*, 2021, **10**(8): 1681 [2022-03-04]. doi: 10.3390/plants10081681.
- [20] 杨云燕, 温超, 王珂永, 等. 切花菊杂交 F1 代若干性状的遗传分析[J]. *中国农业大学学报*, 2015, **20**(5): 179 – 187.
YANG Yunyan, WEN Chao, WANG Keyong, *et al.* Heredity analysis of several characters in F1 hybrid generation of cut-flower chrysanthemums [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2015, **20**(5): 179 – 187.
- [21] 马绍宇, 李世峰, 钱兴, 等. 高山杜鹃品种‘罗伯茨’ × 大白杜鹃杂交 F1 代主要观赏性状的遗传分析[C] // 张启翔. 中国观赏园艺研究进展. 北京: 中国林业出版社, 2017: 208 – 211.
MA Shaoyu, LI Shifeng, QIAN Xing, *et al.* Heredity analysis of main ornamental characters in F1 hybrid generation of *Rhododendron* ‘Lord Roberts’ × *R. decorum* [C] // ZHANG Qixiang. *Advance in Ornamental Horticulture of China*. Beijing: China Forestry Publishing House, 2017: 208 – 211.
- [22] 周熠玮, 许国宇, 王琴, 等. ‘白姜花’ × ‘金姜花’ 杂交 F1 代花色遗传分析及其相关 SSR 分子标记开发[J]. *园艺学报*, 2021, **48**(10): 1921 – 1933.
ZHOU Yiwei, XU Guoyu, WANG Qin, *et al.* Genetic analysis and development of associated SSR markers of the flower color in F1 population of *Hedychium coronarium* ‘COR01’ × ‘H. Jin’ [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2021, **48**(10): 1921 – 1933.
- [23] INAMURA T, NAKAZAWA M, ISHIBE M, *et al.* Production and characterization of intersectional hybrids between *Tricyrtis* sect. *Brachycyrtis* and sect. *Hirtae* via ovule culture [J]. *Plant Biotechnology*, 2019, **36**(3): 175 – 180.
- [24] AROS D, SUAZO M, RIVAS C, *et al.* Molecular and morphological characterization of new interspecific hybrids of *Alstroemeria* originated from *A. caryophylleae* scented lines [J/OL]. *Euphytica*, 2019, **215**(5): 93 [2022-03-05]. doi: 10.1007/s10681-019-2415-4.