

孔雀草不育系优势育种研究

包维红^{1,2} 代立熠¹ 邓浩昌¹ 傅开¹ 包满珠¹ 何燕红¹

1. 华中农业大学园艺林学学院/园艺植物生物学教育部重点实验室, 武汉 430070;
2. 中国科学院武汉植物园, 武汉 430074

摘要 为了探讨孔雀草雄性不育系的应用价值, 连续 2 a 以孔雀草不育系 BY 为母本, 以 6 个孔雀草自交系 (K4、K8、K13、K15、K17、K30) 与 2 个万寿菊自交系 (9904、9906) 为父本进行杂交, 获得 8 个杂交组合, 分析杂交后代的结实率、主要质量性状遗传规律和数量性状的杂种优势。结果表明: 孔雀草种内杂交组合在 2 a 中的结实率都较高, 孔雀草和万寿菊种间杂交不亲和, 杂交结实率低。孔雀草为父本时, 杂交 F₁ 的花型由父本的花型决定, 瓣型都为复瓣, 花色偏橙红色系; 万寿菊为父本时, 花型、瓣型和花色都和母本孔雀草的不育性状相似, 缺乏观赏性。综合评价各组合的观赏性状, BY×K17 植株低矮、花大、花期长且结实率与发芽率较高, 为优良的杂交组合; BY×K30、BY×K8 组合分别由于花大和最佳观赏期长而具有较强的观赏价值。超父本优势分析表明, 孔雀草种内杂交组合平均超父本优势值除花心直径为-0.64%外, 其他性状都具有超父本优势。孔雀草和万寿菊种间杂交时, 除花序直径外, 其他性状的杂种优势变化取决于父本万寿菊的特性。

关键词 孔雀草; 万寿菊; 雄性不育系; 自交系; 优势育种

中图分类号 S 682 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2016)04-0029-07

孔雀草 (*Tagetes patula*) 是菊科万寿菊属一年生草本花卉, 花色鲜艳、花期长、抗逆性强、耐粗放管理, 是重要的花坛花卉。孔雀草育种研究主要集中在开花特性与繁育生物学^[1]、资源收集与评价^[2-3]、杂交选育^[4-6]、诱变育种^[7-8]等方面。目前市场上广泛应用的孔雀草品种均为常规种, 不利于品种保护。孔雀草的 F₁ 代优势育种进展缓慢, 仅有潘晨等^[9]利用不完全双列杂交研究了孔雀草自交系间的杂种优势、遗传力和配合力, 并指出四倍体孔雀草优势育种后代杂种优势明显, 对孔雀草新品种选育有重要利用价值。

复杂的头状花序限制了菊科植物优势育种的有效开展。建立菊科花卉优势育种体系的前提是培育出雄性不育的优良亲本。截至目前, 许多菊科花卉中已有雄性不育亲本的应用。自从第 1 个向日葵 *Helianthus annuus* 的细胞质雄性不育被报道后, 育种人员已发现多个雄性不育资源, 并将其成功应用于优势育种^[10-11]。红花 *Carthamus tinctorius* 的 F₁ 杂种商业化生产得益于核质互作雄性不育系的应用^[12]。万寿菊 *Tagetes erecta*^[13] 和百日草 *Zinnia*

elegans^[14] 的 F₁ 种子生产也是基于核不育系的发现和应用。笔者所在课题组通过长期的研究获得了孔雀草雄性不育株系 BY^[15], 但该不育系能否应用于孔雀草的优势育种有待于进一步的研究。

本研究连续 2 a 以孔雀草雄性不育系 BY 为母本, 以 6 个孔雀草自交系 (K4、K8、K13、K15、K17、K30) 与 2 个万寿菊自交系 (9904、9906) 为父本, 进行顶交试验, 统计 8 个杂交组合的结实率和发芽率, 分析杂交后代主要观赏性状的遗传规律和杂种优势, 以期获得优良的杂交组合并探究孔雀草雄性不育系的应用价值。

1 材料与方法

1.1 材料

以 6 个孔雀草自交系 (K4、K8、K13、K15、K17、K30) 和 2 个万寿菊自交系 (9904 与 9906) 为父本, 以孔雀草不育系 BY 为母本 (表 1)。亲本材料均由华中农业大学园林植物遗传育种实验室培育和保存, 其中孔雀草不育系 BY 是 ‘Safari scarlet’ 种子经辐射诱变处理后选育出的突变植株。

收稿日期: 2015-08-04
基金项目: 国家自然科学基金项目 (31201647); 中央高校基本科研业务费专项 (2013PY081)
包维红, 硕士研究生, 研究方向: 园林植物遗传育种. E-mail: 2283785520@qq.com
通信作者: 何燕红, 博士, 副教授. 研究方向: 园林植物遗传育种. E-mail: hyh2010@mail.hzau.edu.cn

表 1 亲本的主要特征
Table 1 Main characteristics of the parent lines

编号 Code	种性 Species	花型 Flower type	瓣型 Petal type	花色 Flower color	备注 Remarks
K4	孔雀草 <i>T. patula</i>	莲状 Anemone	复瓣 Double	橙色 Orange	>S10 ^②
K8	孔雀草 <i>T. patula</i>	冠状 Crested	单瓣 Single	红色 Red	>S10
K13	孔雀草 <i>T. patula</i>	莲状 Anemone	单瓣 Single	橙色红芯 ^① Orange and red inners	>S10
K15	孔雀草 <i>T. patula</i>	莲状 Anemone	复瓣 Double	红色 Red	>S10
K17	孔雀草 <i>T. patula</i>	莲状 Anemone	复瓣 Double	黄色 Yellow	>S10
K30	孔雀草 <i>T. patula</i>	冠状 Crested	复瓣 Double	橙边红芯 Orange borders and red inners	>S10
9904	万寿菊 <i>T. erecta</i>	莲状 Anemone	复瓣 Double	橙色 Orange	>S10
9906	万寿菊 <i>T. erecta</i>	莲状 Anemone	复瓣 Double	浅黄色 Light yellow	>S10
BY	孔雀草 <i>T. patula</i>	莲状 Anemone	无瓣 Degenerated	橙色 Orange	组培保存 Maintained by tissue culture
‘Safari scarlet’	孔雀草 <i>T. patula</i>	莲状 Anemone	复瓣 Double	鲜红色 Bright red	F ₁ ^③

注:①橙边红芯:头状花序的舌状花边缘为橙色,舌状花中心为红色;②S10:表示自交代数为10;③F₁:杂交F₁代。Note:①Orange borders and red inners: Borders of ray florets of head inflorescence are orange and the inners are red; ②S10: The inbred line had been self-crossed for 10 consecutive generations; ③F₁: Filial 1 hybrid.

1.2 田间杂交

以孔雀草不育系 BY 为母本,以 6 个孔雀草自交系(K4、K8、K13、K15、K17、K30)和 2 个万寿菊自交系(9904 与 9906)为父本,按照 1×8 的顶交法进行杂交组配。2012 年 7 月中旬,将亲本种子播种于 128 孔穴盘中,8 月上旬将幼苗(2 对真叶)移栽至直径 23 cm 的素烧瓦盆,同时将组培保存的孔雀草不育系 BY 的组培苗移栽至瓦盆。常规栽培管理。2012 年 9 月下旬盛花期时,在 BY 头状花序最外层的舌状花未开放前套硫酸纸袋防止外源花粉污染,父本在管状花未开放前亦进行套袋隔离。待 BY 小花的柱头张开至羊角状时,进行人工辅助授粉。授粉后 30 d 采种,统计结实率。2013 年秋重复 2012 年的杂交试验。本研究所有试验均在湖北省武汉市华中农业大学实验基地进行。

1.3 性状测量

2013 年 2 月下旬,穴盘播种 8 个父本和 8 个杂交组合的种子,3 月中旬移栽,每组合种植 30 株。栽培管理同本文“1.2”。盛花期每个组合随机抽取 5 株生长健壮的单株,测量主要观赏性状,3 次重复。

株高:从植株基部到最顶部的垂直距离;株幅:植株垂直方向上的宽度的平均值;叶长:植株上最大的复叶的长度;叶宽:植株上最大复叶的宽度;花序直径:头状花序的直径长度(包括舌状花和管状花);花心直径:头状花序中管状花的直径;始花期:从播种到开花株数达到总植株数的 5%持续的天数(期间掐 2 次花蕾);最佳观赏期:为单株头状花序的舌状花完全展开的花朵数≥5 朵持续的总天数。2014 年重复 2013 年的工作。

1.4 数据统计分析

应用 Microsoft Excel 软件分析均值和杂种优势;应用 DPS 统计分析软件进行差异分析和多重比较^[16]。

2 结果与分析

2.1 结实率

2 次杂交各个组合的结实率见表 2,BY×K8 组合在不同年份杂交结实率差异显著,其他组合的结实率在不同年份没有显著差异。以孔雀草为父本的杂交组合的结实率为 21.10%~47.47%,组成孔雀

草不育系 BY 头状花序的平均小花数为 72.33,则每个花序对应的结实数为 15.26~34.34;以万寿菊为父本的 2 个组合结实率低至 0.94%~4.20%,说明孔雀草与万寿菊之间存在杂交不亲和性。

表 2 各个杂交组合的结实率

Table 2 Seed setting rate of hybrid combinations in 2012 and 2013			%
组合 Combinations	2012	2013	
BY×K4	40.82±4.36ab	39.81±9.25a	
BY×K8	47.47±11.87a	35.03±7.14ab	
BY×K13	32.21±6.09bc	30.51±9.52bc	
BY×K15	36.68±16.30ab	30.36±6.96bc	
BY×K17	23.37±5.88cd	30.54±10.90bc	
BY×K30	21.10±7.00d	24.74±6.98c	
BY×9904	2.36±1.09e	0.94±1.34e	
BY×9906	2.32±1.03e	4.20±3.42d	

注:同列中含有相同的小写字母表示差异不显著(α=0.05)。
Note: Values followed by common letters within the same column are not significant at 0.05.

2.2 质量性状遗传

分析花型、瓣型和花色的遗传规律,结果(图 1 和表 3)显示:冠状花型对莲状花型为显性,父本为冠状花型则杂交组合为冠状花型,父本为莲状花型,则杂交组合为莲状花型,即杂交组合的花型同父本孔雀草的花型。杂交组合的瓣型都为重瓣。舌状花花色遗传较复杂,父本为橙色,杂交后代为橙色(BY×K4);父本为红色则杂交后代为红色(BY×K15)或橙边红芯(BY×K8);父本为橙色红芯(K13)或黄色(K17),杂交后代为橙色红芯;父本为橙边红芯,则杂交后代亦为橙边红芯(BY×K30);所有组合的舌状花花色偏向橙红色系。

以万寿菊为父本,2 个杂交组合的花型、瓣型和花色均与孔雀草 BY 一致,表明花型、瓣型和花色的遗传规律主要由母本 BY 决定。

2.3 主要数量性状的均值和杂种优势

不同年份间,除了始花期,各杂交组合的株高、株幅、花序直径、花心直径、最大复叶长、最大复叶宽

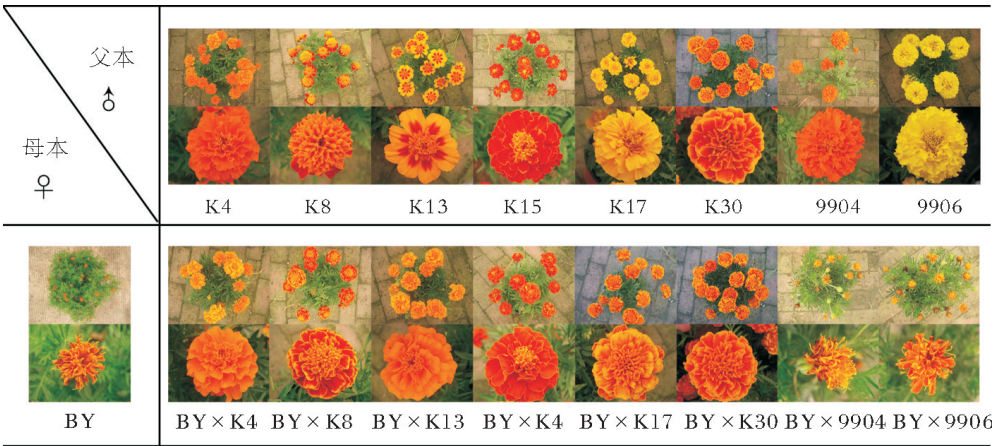


图 1 杂交组合及其亲本
Fig.1 The parent lines and the combinations

以及最佳观赏期等 7 个观赏性状都有显著差异;从基因型来看,8 个性状都有极显著差异;且年份和基因型间存在显著的交互作用(表 4);说明各杂交组合的观赏性状表现受环境和基因型共同作用。

孔雀草杂交育种旨在培育植株低矮、株型丰满、花期较早、花朵较大、重瓣性高、观赏期长的品种^[9]。根据这一育种目标,分析各组合主要数量性状的均值(表 5),选出优良杂交组合。BY×K17:植株较矮

(株高 30.64 cm)、叶片小(叶长 10.31 cm,叶宽 6.98 cm)、花大(花序直径 6.06 cm),与孔雀草的选育目标接近;BY×K30:花大且为冠状花(花序直径 5.91 cm、花心直径 2.11 cm),BY×K8:花序直径 5.42 cm、花心直径 2.17 cm,花朵较大,且最佳观赏期长达 83.83 d。以万寿菊为父本,种间杂交组合的花部特征与孔雀草不育系 BY 相同,不具备观赏性,故孔雀草不育系不适用于万寿菊和孔雀草种间杂交育种。

表 3 亲本与杂交组合质量性状对比

Table 3 Qualitative traits of the parent lines and combinations

组合 Combination	花型 Flower type			瓣型 Petal type			舌状花花色 Color of ray floret		
	母本 Female	父本 Male	F ₁	母本 Female	父本 Male	F ₁	母本 Female	父本 Male	F ₁
BY×K4	莲状 Anemone	莲状 Anemone	莲状 Anemone	无瓣 Degenerated	重瓣 Double	重瓣 Double	橙色 Orange	橙色 Orange	橙色 Orange
BY×K8	莲状 Anemone	冠状 Crested	冠状 Crested	无瓣 Degenerated	单瓣 Single	重瓣 Double	橙色 Orange	红色 Red	橙边红 Orange borders and red inners
BY×K13	莲状 Anemone	莲状 Anemone	莲状 Anemone	无瓣 Degenerated	单瓣 Single	重瓣 Double	橙色 Orange	橙色红芯 Orange and red inners	橙色红芯 Orange and red inners
BY×K15	莲状 Anemone	莲状 Anemone	莲状 Anemone	无瓣 Degenerated	重瓣 Double	重瓣 Double	橙色 Orange	红色 Red	红色 Red
BY×K17	莲状 Anemone	莲状 Anemone	莲状 Anemone	无瓣 Degenerated	重瓣 Double	重瓣 Double	橙色 Orange	黄色 Yellow	橙色红芯 Orange and red inners
BY×K30	莲状 Anemone	冠状 Crested	冠状 Crested	无瓣 Degenerated	重瓣 Double	重瓣 Double	橙色 Orange	橙边红芯 Orange borders and red inners	橙边红芯 Orange borders and red inners
BY×9904	莲状 Anemone	莲状 Anemone	莲状 Anemone	无瓣 Degenerated	重瓣 Double	无瓣 Degenerated	橙色 Orange	橙色 Orange	橙色 Orange
BY×9906	莲状 Anemone	莲状 Anemone	莲状 Anemone	无瓣 Degenerated	重瓣 Double	无瓣 Degenerated	橙色 Orange	浅黄色 Light yellow	橙色 Orange

表 4 杂交组合 8 个数量性状连续 2 a 的均方分析

Table 4 Variance analysis of 8 quantitative traits of the eight combinations in two consecutive years

性状 Traits	区组间 Replications within year	年份 Year	基因型 Genotype	年份×基因型 Genotype× year	误差 Error
自由度 df	2	1	7	7	30
株高 Plant height	1.852 9	31.590 1 *	101.021 3 **	24.183 8 **	6.418 1
株幅 Crown size	5.526 3	31.105 2 *	64.527 **	12.208 3	5.583 4
花序直径 Diameter of inflorescence	0.000 3	8.987 4 **	5.581 9 **	6.347 1 **	0.097 9
花心直径 Diameter of disk florets	0.005 8	0.208 0 **	0.630 7 **	0.099 9 **	0.026 0
叶长 Length of compound leaf	0.811 9	26.048 5 **	11.912 6 **	4.104 8 **	0.543 9
叶宽 Width of compound leaf	0.438 8	8.576 8 **	5.221 2 **	3.583 0 **	0.357 3
始花期 Initial flowering date	0.002 2	0.001 6	0.023 5 **	0.004 1 **	0.001 0
最佳观赏期 Optimal viewing period	0.000 1	0.430 0 **	0.062 3 **	0.076 9 **	0.002 3

注：*，** 分别表示在 5%和 1%水平差异显著。Note：*，** indicate significant difference at 5% and 1% levels,respectively.

分析各组合的超父本优势(表 6),孔雀草种内杂交组合的超父本优势值除花心直径为-0.64%外,其他都具有正向超亲优势。株高超亲优势区间为 1.21%~25.73%,平均值为 13.03%,各组合的株高明显增加;花序直径的区间为-1.64%~21.49%,仅 BY×K17、BY×K30 两个组合为负值,分别为-1.26%、-1.64%,其他组合花序直径明显增大。此外,株幅、最大复叶长、最大叶宽、始花期的平均超父本优势分别为 4.71%、14.51%、14.51%、15.40%、0.83%,可见孔雀草种内杂交,各组合的超父本优势明显,有利于提高观赏性状。

以万寿菊 9904 和 9906 为父本,与孔雀草不育系 BY 进行种间杂交。除最佳观赏期外,BY×9904 的其余 7 个性状都具有负向超父本优势,其中株高、

花序直径的负向超父本优势明显，分别为-41.45%、-64.14%，相对于父本来说，杂交组合的株高明显降低，花序直径明显减小。除花序直径（-55.37%）外，BY×9906 组合的其他性状具有正向超父本优势，其株高增高、叶长与叶宽明显增大，最佳观赏期延长。表明种间杂交时，除了花序直径，其他性状的杂种优势变化取决于父本万寿菊的特性。

表 5 杂交组合主要观赏性状均值
Table 5 Mean performance of combinations for the main ornamental traits

杂交组合 Combination	株高/cm Plant height	株幅/cm Crown size	叶长/cm Length of compound leaf	叶宽/cm Width of compound leaf	花序 直径/cm Diameter of inflorescence	花心直径/cm Diameter of disk florets	始花期/d Initial flowering date	最佳观赏期/d Optimal viewing period
BY×K4	34.82± 4.72a	34.58± 5.63a	11.03± 2.05bc	7.05± 1.78ab	4.61± 0.49c	1.23± 0.22c	75.50± 6.35 a	85.67± 7.94a
BY×K8	35.33± 5.65a	34.27± 3.64a	12.93± 1.38a	7.85± 1.27a	5.42± 0.41b	2.17± 0.34a	75.67± 6.22a	83.83± 4.17ab
BY×K13	30.87± 3.22a	32.35± 4.66a	11± 2.46bc	7.7± 1.89ab	5.08± 0.48b	1.52± 0.20b	72.17± 5.19a	86.83± 5.27a
BY×K15	34.01± 7.07a	32.68± 4.88a	12.52± 1.31ab	7.98± 1.01a	5.13± 0.33b	1.39± 0.14bc	73.83± 4.71a	87.17± 5.12a
BY×K17	30.64± 2.43a	32.51± 3.52a	10.31± 1.59cd	6.98± 1.09ab	6.06± 0.60a	1.52± 0.28b	73.67± 5.43a	81.00± 4.56abc
BY×K30	32.87± 5.80a	32.16± 3.50a	11.76± 1.93abc	7.55± 1.63ab	5.91± 0.58a	2.11± 0.34a	72.50± 4.09a	73.00± 8.81bcd
BY×9904	30.05± 6.14a	32.59± 3.61a	8.94± 1.15d	6.23± 0.88b	2.35± 0.31d	1.56± 0.09b	77.50± 4.81a	65.17± 17.79d
BY×9906	34.95± 3.60a	30.26± 2.73a	10.44± 0.79dc	6.38± 0.66ab	2.39± 0.32d	1.61± 0.25b	76.83± 4.92a	69.83± 15.83cd

表 6 杂交组合超父本优势值
Table 6 Heterosis over male-parent of combinations

杂交组合 Combination	株高 Plant height	株幅 Crown size	叶长 Length of compound leaf	叶宽 Width of compound leaf	花序直径 Diameter of inflorescence	花心直径 Diameter of disk florets	始花期 Initial flowering date	最佳观赏期 Optimal viewing period
BY×K4	3.12	-0.62	6.04	16.03	4.72	-2.97	1.14	2.41
BY×K8	1.21	-2.44	18.78	16.11	4.68	-32.93	1.67	-3.05
BY×K13	25.73	9.44	11.98	18.91	9.32	2.39	1.32	36.51
BY×K15	19.05	2.33	26.38	23.02	21.49	8.62	1.38	12.14
BY×K17	11.72	18.4	12.03	-5.41	-1.26	7.26	-0.49	1.28
BY×K30	17.35	1.14	11.85	23.74	-1.64	13.77	-0.05	17.30
平均 Average	13.03	4.71	14.51	15.40	6.22	-0.64	0.83	11.10
BY×9904	-41.45	-6.43	-27.88	-0.11	-64.14	-17.42	-2.38	15.81
BY×9906	53.78	24.42	33.88	39.87	-55.37	8.87	7.75	36.29
平均 Average	6.16	9.00	3.00	19.88	-59.76	-4.28	2.69	26.05

3 讨 论

本研究以孔雀草不育系为母本，以 6 个孔雀草自交系和 2 个万寿菊自交系为父本进行优势育种，结果表明：种内杂交组合的结实率和发芽率高；花型

由父本的花型决定；瓣型都为复瓣；花色整体偏橙红色系；孔雀草和万寿菊存在种间杂交不亲和性，且花型、瓣型和花色都保持孔雀草不育系的特性，不具观赏性；各杂交组合的观赏性状表现受环境和基因型共同作用。结合育种目标，BY×K17 植株低矮、花

期长且结实率较高,为优良的杂交组合;BY×K30、BY×K8 两个组合花大或最佳观赏期长,表现优异。孔雀草种内杂交组合的超父本优势值除花心直径为-0.64%外,其他性状都具有正向超父本优势,表明孔雀草不育系 BY 对孔雀草新品种选育有重要利用价值。

万寿菊和孔雀草是同属近缘种,其中万寿菊是二倍体($2n=2X=24$),孔雀草是四倍体($2n=4X=48$)^[17]。前人以万寿菊不育系为母本,孔雀草为父本进行种间杂交,培育出花大、颜色丰富、花期长和抗性强的优良三倍体品种。Namita 等^[5]指出万寿菊和孔雀草种间杂交不存在远缘杂交不亲和性,但是李福荣等^[8]研究发现两者种间杂交存在不亲和性,通过合理选配亲本,可以克服种间杂交的不亲和性。本研究以孔雀草不育系为母本,与万寿菊进行远缘杂交,杂交结实率为 0.94%~4.20%,表明孔雀草和万寿菊之间存在杂交不亲和性;且万寿菊和孔雀草种间杂交后代的观赏性状偏向于孔雀草的特性^[6],孔雀草不育系 BY 和万寿菊的杂交 F₁ 代的花型、瓣型和花色都保持孔雀草不育系的特性,观赏性差,不适宜用于种间远缘杂交。

本研究以孔雀草不育系 BY 为母本与孔雀草自交系进行种内杂交,其质量性状的遗传规律为:冠状花型对莲状花型为显性;瓣型都为复瓣;花色整体偏橙红色系。胡燕^[15]的研究表明孔雀草种内杂交后代的冠状花型对莲状花型为显性,复瓣对单瓣为显性,橙色花对黄色花和红色花为显性,红色花与黄色花杂交后代都为橙色。结合胡燕^[15]的研究结果,笔者认为杂交后代均表现复瓣、偏橙红色的主要原因可能是孔雀草 BY 是孔雀草‘Safari scarlet’经辐射培育而成的不育系,其舌状花虽然退化,但仍保留了原品种的复瓣和红色花的潜在特性。BY 和孔雀草自交系进行杂交,杂交后代恢复育性的同时,其瓣型和花色的遗传也受到原品种‘Safari scarlet’的影响。

在百日草、万寿菊等菊科花卉中,优势育种已得到成功应用。利用百日草雄性不育系进行优势育种,其杂交 F₁ 代在叶长、叶宽、分枝数、节点数、花径、舌状花数等性状上均有超亲优势^[14]。基于万寿菊雄性不育系培育的万寿菊 F₁ 代在株高、分枝数、花径、花朵数等性状上具有杂种优势^[18-19]。胡燕^[15]和潘晨等^[9]利用孔雀草自交系进行双列杂交,结果表明孔雀草 F₁ 代的杂种优势明显,表现出早花、大

花、多花、高重瓣和较长观赏期的优良特性。笔者基于孔雀草不育系 BY 展开优势育种研究,种内杂交组合的超父本优势值除花心直径为负值,其他性状都具有正向超父本优势,与前人研究结果一致,表明孔雀草不育系 BY 是优势育种的优良亲本,可用于孔雀草 F₁ 代优势育种。

参 考 文 献

- [1] 何燕红,董森,马爽,等.孔雀草的开花特性与繁育系统[J].华中农业大学学报,2015,34(2):9-15.
- [2] DAROKAR M P, KHAN M S, SHASANY A K, et al. Molecular diversity analysis in the germplasm collection of *Tagetes* species[J]. Journal of medicinal and aromatic plant sciences, 2000, 22(1): 536-539.
- [3] KELLY R O, HARBAUGH B K. Evaluation of marigold cultivars as bedding plants in central Florida [J]. Hort Technology, 2002, 12(3): 477-484.
- [4] 梁顺祥,唐道城.孔雀草新品种—雪域的特征特性及栽培技术[J].青海大学学报(自然科学版),2006,24(4):10-15.
- [5] NMAITA, SINGH K P, BHARADWAJ C P, et al. Studies on character association and path analysis of quantitative traits among parental lines of marigold (*Tagetes erecta* and *T. Patula*) and their interspecific F₁ hybrids [J]. Indian journal of horticulture, 2009, 66(3): 348-352.
- [6] 李福荣,张继冲,续九如,等.万寿菊×孔雀草杂交育种及杂种不育性的研究[J].内蒙古农业大学学报,2005,26(2):51-54.
- [7] 陈肖英,郑平,徐明全,等.太红 1 号孔雀草选育研究初报[J].热带农业科学,2010,30(7):30-34.
- [8] 柴小琴,猴建明,刘娟,等.航天诱变孔雀草新品系 wh1-6-1 选育报告[J].甘肃农业科技,2012(2):7-9.
- [9] 潘晨,胡燕,包满珠,等.孔雀草杂交组合遗传效应分析[J].中国农业科学,2014,47(12):2395-2404.
- [10] 崔良基,王德兴,宋殿秀.国内外向日葵遗传改良成就与发展趋势[J].杂粮作物,2006,26(6):402-406.
- [11] DE LA VEGA A J, DELACY I H, CHAPMAN S C. Progress over 20 years of sunflower breeding in central Argentina [J]. Field crops research, 2007, 100(1): 73-81.
- [12] ANJANI K. Development of cytoplasmic-genic male sterility in safflower [J]. Plant breeding, 2005, 124(3): 310-312.
- [13] HE Y H, NING G G, SUN Y L, et al. Cytological and mapping analysis of a novel male sterile type resulting from spontaneous floral organ homeotic conversion in marigold (*Tagetes erecta* L.) [J]. Molecular breeding, 2010, 26(1): 19-29.
- [14] LOU X Y, LU T T, LI M J, et al. Combining ability among male sterile two-type and restorer lines of *Zinnia elegans* and implications for the breeding of this ornamental species [J]. Scientia horticulturae, 2011, 129(4): 862-868.
- [15] 胡燕.孔雀草自交系、不育系的选育和杂交育种[D].武汉:华中

农业大学,2010.

[16] 唐启义,冯明光.实用统计分析及其 DPS 数据处理系统[M].北京:科学出版社,2002:218-221.

[17] 齐迎春,周光来,高扬.孔雀草的根尖压片技术及染色体形态分析研究[J].湖北民族学院学报(自然科学版),2008,26(3):261-265.

[18] SINGH D,MISRA K K. Diallel analysis for combining ability in marigold (*Tagetes* spp.)[J].Karnataka journal of agricultural sciences,2010,23(2): 298-301.

[19] GUPTA Y C. Combining ability in African marigold (*Tagetes erecta* L.)[J]. Journal of horticultural sciences,2009,4(1): 71-75.

Heterosis breeding of male sterile line of *Tagetes patula*

BAO Weihong^{1,2} DAI Liyi¹ DENG Haochang¹
FU Kai¹ BAO Manzhu¹ HE Yanhong¹

1.Key Laboratory of Horticultural Plant Biology, Ministry of Education /
College of Horticulture and Forestry Sciences ,
Huazhong Agricultural University , Wuhan 430070,China ;
2.Wuhan Botanical Garden ,Chinese Academy of Sciences ,Wuhan 430074,China

Abstract The male sterile line BY used as the female parent was crossed with six inbred lines of *Tagetes patula* including K4,K8,K13,K15,K17,K30 and two *Tagetes erecta* including 9904 and 9906 in two consecutive years to study the application potential of the male sterile plant. Seed setting rate,the main qualitative and quantitative traits of the eight crosses were investigated. The results showed that the seed setting rates and germination rates of intra-specific hybrids were relatively high in two years. The seed setting rate of hybrids between *T. patula* and *T. erecta* was extremely low due to the cross incompatibility. When *T. patula* was used as male parent,flower type of hybrids was determined by the male parent with double petal form and flower color was partial to red and orange. When *T. erecta* was used as male parent,flower type,petal form and flower color were similar to the female parent. All were cylindrical,lack of appreciation. Comparing the mean value of main traits,BY×K17 was an excellent combination with low plant height,small leaf blade,large flowers,long viewing period,high seed setting rate and germination rate. Both BY×K30 and BY×K8 had a good view because of large flowers and long viewing period. The results of over male-parent heterosis showed that when *T. patula* was used as male parent,the heterosis of other traits were positive except that of flower diameter (−0.64%). when *T. erecta* was used as male parent,the heterosis of other traits was based on characteristic of male parent except that of diameter of inflorescence.

Keywords *Tagetes patula* ; *Tagetes erecta* ; male sterile line; inbred line; heterosis breeding

(责任编辑:张志钰)