

玉米自交系 698-3 改良系主要性状及其产量配合力比较研究

余学杰^{1,2}, 王 均¹, 石海春^{1,2}, 袁继超¹, 赵长云², 柯永培^{1,2}

(1. 四川农业大学农学院, 四川 温江 611130; 2. 四川农大正红生物技术有限责任公司, 成都 610213)

摘 要: 以玉米自交系 698-3 及改良系为试验材料, 比较研究改良系与原自交系性状差异, 分析不同改良系产量配合力及组合杂种优势表现, 明确其遗传改良效果和育种利用潜力。结果表明, 各改良系在吐丝期、株高、主要经济性状及产量等方面均产生了不同程度的变异, 改良系 K336 有 13 个性状与自交系 698-3 达显著或极显著差异, 是表型差异最大的改良系, 改良系 SP698-3-17 和 SP698-3-11 的表型差异最小。单株产量 GCA 正效应较大的改良系依次为 K336、K389 和 698-3GT42, 多数改良系组合单株产量 SCA 效应差异不显著。多数组合统一对照优势为显著负优势, 只有组合 205-11×K336 达显著正优势, 其优势值达 12.27%; 36 个改良系组合的分类对照优势多数为正优势, 其中 7 个组合的正优势达显著或极显著水平。综上, 改良系 K336 和 K389 的产量及主要经济性状和产量配合力均得到显著改良, 其组合特殊配合力以及杂种优势总体表现较高, 可作为高产育种用亲本。

关键词: 玉米; 自交系 698-3; 改良系; 主要性状; 产量配合力

中图分类号: S513.035.1

文献标识码: A

Comparative Studies on Main Characters and Yield Combining Ability of Improved Lines Derived from Maize Inbred Line 698-3

YU Xue-jie^{1,2}, WANG Jun¹, SHI Hai-chun^{1,2}, YUAN Ji-chao¹, ZHAO Chang-yun², KE Yong-pei^{1,2}

(1. College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Wenjiang 611130;

2. Sichuan Nongda Zhenghong Biotechnology Co., Ltd., Chengdu 610213, China)

Abstract: Maize inbred line 698-3 and its improved lines were selected as research materials, the character differences between inbred 698-3 and its improved lines were comparatively studied through morphological data; in order to understand genetic improvement effect and breeding potential, heterosis and combining ability of yield were analyzed. The main achievements were as follows: the analytical results of phenotypic characters showed that, improved lines have various degrees of variation in silking stage, plant height, main economic traits and yield compared with the original maize inbred line 698-3. The improved line K336 have the most difference of phenotypic characters, and its 13 characters reach a significant difference in comparison with the 698-3. In contrast, improved lines SP698-3-17, SP698-3-11 are all the least difference of phenotypic characters. Positive GCA effect value of yield was in the sequence of K336, K389 and 698-3GT42, the most of improved line combinations in SCA of yield had no significant difference in comparison with the CK. Most of combinations' unification heterosis reach at 5% significant negative level in comparison with Chuandan418, and only the 205-11×K336 reach at 5% positive significant level, with the value of 12.27%, the corresponding heterosis of the most of 36 improved line's combinations are positive value in comparison with corresponding 698-3 combination, among them, seven combinations reach at 1% or 5% significant positive level. In summary, the main economic characters and yield and their yield GCA of improved lines K336 and K389 have a better improvement, some of their combinations' yield SCA, and yield heterosis all have a better performance, they could be used as ideal parents in high yield breeding.

Key words: Maize; Inbred line 698-3; Improved line; Main character; Yield combining ability

录用日期: 2019-04-27

基金项目: 四川省科技支撑计划项目(2016NYZ0006)、四川省重点研发项目(2019YFN0012)、四川省科技成果转化示范项目(2017CC0031)

作者简介: 余学杰(1966-), 四川雅安人, 实验师, 主要从事玉米遗传育种和种子科学等研究工作。E-mail: yuxj305169@163.com

柯永培为本文通讯作者。E-mail: keyp169@163.com

拥有优异玉米自交系是成功选育优良杂交种的基础。选育玉米自交系的方法很多,以具有优异遗传基础的骨干自交系为基础材料,采用多种方法进行遗传改良,创制新的自交系是常用方法之一^[1~3]。衡量一个玉米自交系是否优异的主要标准,除了其自身主要农艺、经济性状优良外,还得研究其产量配合力的高低^[4~7],因此,做好自交系农艺经济性状的准确鉴定,结合产量配合力表现,综合评价其应用潜力,对提高玉米育种效率具有重要的意义。四川省农业科学院作物研究所外引玉米杂交种78698作基础材料,采用自交和姊妹交交替进行的方式选育出的玉米自交系698-3,集高配合力、高产、优质、多抗、耐密等优良性状于一体,组配出了一批高产、优质、多抗、专用玉米杂交种推广应用,取得了显著的社会经济效益^[8,9],获2008年度四川省科技进步奖一

等奖。本研究以698-3为主要遗传背景的基础材料,采用纯系育种、诱变育种、回交育种等方法育成的698-3改良系为研究材料,比较改良系与原自交系的性状差异,分析不同改良系的产量配合力及组合杂种优势表现,明确其改良效果,进而综合评价改良系的育种应用潜力,为玉米育种实践服务。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为玉米自交系698-3和9份698-3改良系,改良系是通过纯系育种、诱变育种和回交育种等手段选育而成。选用生产上广泛应用的4个骨干自交系为测验种,2010年冬季在四川农大正红生物技术有限责任公司海南陵水南繁基地,按4×10不完全双列杂交设计组配40个F₁杂交组合(表1)。

表1 玉米自交系名称及来源
Table 1 The name and origin of maize inbred lines

类 别	名 称	来 源	供种单位
Group	Name	Origin	Providing department
测验种	K169	外引杂交种3163	四川农大正红生物技术有限责任公司
	205-11	外引杂交种Y7865F2×齐205	四川省农业科学院作物研究所
	288	(330×187-1)×84	四川省农业科学院作物研究所
	Jh96C-2	(金黄96C×48-2)×金黄96C	四川省农业科学院作物研究所
被测系	698-3(CK)	外引杂交种78698	四川省农业科学院作物研究所
	K318	四川省农业科学院MCOH群体	四川农大正红生物技术有限责任公司
	K389	四川省农业科学院MCOH群体	四川农大正红生物技术有限责任公司
	698-3GT42	(698-3×GT42)×698-3	四川农大正红生物技术有限责任公司
	SP698-3-17	698-3航天诱变选系	四川农大正红生物技术有限责任公司
	SP698-3-6	698-3航天诱变选系	四川农大正红生物技术有限责任公司
	SP698-3-11	698-3航天诱变选系	四川农大正红生物技术有限责任公司
	698-3GT1109	(698-3×GT1109)×698-3	四川农大正红生物技术有限责任公司
	698-3R	698-3经γ射线诱变选系	四川农大正红生物技术有限责任公司
	K336	四川省农业科学院MCOH群体	四川农大正红生物技术有限责任公司

注:GT系来源于玉米G综合种×大白草的选系;MCOH是以698-3为主要遗传背景的群体。

Note: GT lines were derived from the line of corn G synthetics×Teosinte; MCOH was a population of the main genetic background of maize inbred line 698-3.

1.2 试验方法

2011年春季在公司四川双流育种基地,种植自交系698-3和9份698-3改良系以及40个F₁杂交组合。采用随机区组设计,单行区,3次重复,行长3.5 m,行距80 cm,窝距50 cm,每行7窝,每窝定苗2株,种植密度为49 500株/hm²。为降低杂交组合对自交系在田间的影响,种植时将二者分开单独排列,作为两组独立的试验。在杂交组合中,每间隔9个组合种植川单418作为统一对照,以比较新组合的产量杂种优势情况。田间管理同大田生产,2011年

8月中旬玉米成熟后统一收获。

1.3 测定项目与方法

田间测定亲本的吐丝期、株高、穗位高、雄穗长、雄穗分枝数;果穗成熟收获后晒干,室内考查穗长、秃尖长、穗粗、穗行数、行粒数、粒深、百粒重,计算单株产量和出籽率。杂交种测定单株产量。

1.4 数据分析方法

1.4.1 方差分析

分别对自交系农艺经济性状及其杂交组合F₁的产量进行方差分析,并利用最小显著极差法(LSD法)

比较各性状的差异显著性。

1.4.2 配合力分析

参照荣廷昭等^[10]的《数量遗传学》中介绍的方法,按不完全双列杂交设计配合力分析方法进行分析,并根据孔繁玲^[11]的LSD法比较改良系与原自交系各性状配合力的差异显著性。

1.4.3 杂种优势分析

以698-3与相应测验种所配组合的平均单株产

量为分类对照、以川单418的平均单株产量为统一对照,利用每个组合(F_1)的平均单株产量分别计算分类对照优势与统一对照优势。

以上分析均在Excel 2007和DPSv7.05上进行。

2 结果与分析

2.1 改良系与原自交系间的性状差异

2.1.1 方差分析

表2 698-3及改良系主要性状方差分析结果(F 值)
Table 2 Analysis of variance of 698-3 and improved lines for characters(F -value)

变异来源	自由度	吐丝期	株高	穗位高	雄穗长	雄穗分枝数	秃尖长	穗长
Source of variation	DF	Days to silking	Plant height	Ear height	Tassel length	Tassel branch number	Barren ear tip length	Ear length
区组	2	3.196	0.125	0.687	1.461	0.249	0.402	2.025
自交系	9	40.729**	10.823**	2.681*	17.281**	35.871**	38.921**	31.119**

变异来源	自由度	穗粗	穗行数	行粒数	粒深	百粒重	出籽率	单株产量
Source of variation	DF	Ear diameter	Ear rows	Kernels per row	Kernel depth	100-kernel weight	Kernel rate	Yield per plant
区组	2	0.305	1.623	1.316	0.229	1.288	1.033	0.767
自交系	9	33.304**	37.330**	21.911**	4.297**	19.416**	26.077**	46.167**

注:*表示达5%显著水平;**表示达1%显著水平。下表同。
Note: *Significant at the 0.05 level; ** significant at the 0.01 level. The same blow.

由表2可以看出,除穗位高差异显著外,其余各性状差异均达极显著,表明各自交系间在所测性状上存在真实的遗传差异。

2.1.2 698-3与其改良系的农艺经济性状差异

698-3与其改良系间的表型差异分析表明(表3),

各改良系均有性状与原自交系698-3存在显著或极显著水平差异。与698-3相比具体表现为,改良系K336有13个性状达显著或极显著差异,显著差异率达92.86%,是表型差异最大的改良系;改良系698-3GT42、K389、K318分别有12、11、11个性状达

表3 698-3与其改良系的性状差异
Table 3 The difference of characters between 698-3 and its improved lines

自交系	吐丝期	株高	穗位高	雄穗长	雄穗分枝数	秃尖长	穗长
Inbred line	Days to silking	Plant height	Ear height	Tassel length	Tassel branch number	Barren ear tip length	Ear length
698-3(CK)	83.67	205.63	77.80	33.30	4.37	4.07	13.03
K318	79.33**	220.90**	78.30	36.40**	15.80**	0.71**	13.72
K389	76.67**	226.57**	83.13	36.10**	10.63**	1.03**	15.09**
698-3GT42	77.67**	223.23**	83.53	33.57	7.03**	0.98**	14.32*
SP698-3-17	82.67	197.40	73.50	29.63**	4.30	2.11**	14.06
SP698-3-6	84.33	207.10	80.77	33.67	5.70	2.96**	12.97
SP698-3-11	83.67	206.10	84.90*	30.77*	3.70	3.41*	13.74
698-3GT1109	83.67	200.07	84.13	35.47*	5.17	1.97**	11.39**
698-3R	83.00	200.63	82.43	29.30**	5.57	0.36**	8.20**
K336	76.00**	215.07*	86.00*	31.43*	10.83**	1.01**	15.53**
LSD _{0.05}	1.53	9.43	7.02	1.85	1.93	0.60	1.12
LSD _{0.01}	2.09	12.92	9.62	2.54	2.65	0.82	1.54

续表3 Continued 3

自交系	穗 粗	穗行数	行粒数	粒 深	百粒重	出籽率	单株产量
Inbred line	Ear diameter	Ear rows	Kernels per row	Kernel depth	100-kernel weight	Kernel rate	Yield per plant
698-3(CK)	3.44	13.60	14.70	0.82	22.41	0.62	33.80
K318	4.04**	13.87	22.93**	0.98*	29.75**	0.85**	94.52**
K389	4.12**	16.20**	23.53**	0.85	23.57	0.78**	83.76**
698-3GT42	4.97**	18.00**	26.17**	1.08**	31.08**	0.81**	139.24**
SP698-3-17	3.66	13.97	20.31**	0.84	22.46	0.69**	56.00**
SP698-3-6	3.73*	15.20**	17.50	0.96*	22.27	0.69**	57.12**
SP698-3-11	3.75*	12.97	17.27	0.88	24.99*	0.62	42.56
698-3GT1109	4.68**	17.93**	16.23	0.99**	27.82**	0.72**	71.44**
698-3R	3.56	11.33**	12.33	0.81	29.70**	0.64	50.20*
K336	4.20**	14.20	25.70**	0.94*	28.03**	0.80**	102.44**
LSD _{0.05}	0.26	1.04	3.03	0.12	2.32	0.049	14.10
LSD _{0.01}	0.35	1.42	4.15	0.17	3.18	0.066	19.32

显著或极显著差异,属于表型差异较大的改良系;改良系 698-3GT1109、SP698-3-6、698-3R 分别有 9、6、6 个性状达显著或极显著差异,表型差异也较大;改良系 SP698-3-17、SP698-3-11 是表型差异最小的改良系,但也都有 5 个性状差异显著或极显著。由此可见,这些改良手段可有效地使玉米自交系 698-3 的主要农艺经济性性状发生不同程度的变异,进而便于筛选有利用价值的新种质,以供玉米育种实践应用。

在各性状上,同 698-3 达显著或极显著差异的改良系数存在较大差异,改良效果各异。9 个改良系的秃尖长均显著或极显著变小,说明改良系结实率更高;其次是单株产量、穗粗、出籽率,分别有 8、7、7 个改良系表现为显著或极显著增大;穗长、穗行数、行粒数、粒深、百粒重达显著或极显著水平的改良系在 5~6 个,其中,行粒数、粒深、百粒重的改良系均表现为显著或极显著增大,而穗长、穗行数出现了双向变异,但多数改良系表现为显著或极显著增大,说明这些改良手段对 698-3 的单株产量及其构成因素改良效果较好;吐丝期有 4 个改良系表现为极显著缩短;株高有 4 个改良系表现为显著或极显著增高;雄穗分枝数有 4 个改良系表现为极显著增多;雄穗长出现了双向变异,有 3 个改良系表现为显著或极显著增长,另 4 个改良系表现为显著或极显著缩短;穗位高的变化效果不明显,仅 2 个改良系显著高于 698-3。

2.2 产量配合力分析

2.2.1 方差分析

对 698-3 及其改良系所配组合的产量进行方差

分析,结果表明,各组合间的产量达极显著水平差异(F 值为 4.138**),表明各组合间产量存在真实差异,可作进一步分析。进行产量配合力方差分析,结果表明,被测系亲本间产量一般配合力(GCA)达极显著差异(F 值为 4.562**),组合间产量特殊配合力(SCA)也达极显著差异(F 值为 2.776**),因此,可对产量进行一般配合力和特殊配合力效应分析。

2.2.2 一般配合力效应分析

以基础材料 698-3 产量 GCA 效应值为对照,利用 LSD 法比较改良系产量 GCA 与对照的差异显著性,结果表明(表 4),不同亲本产量 GCA 效应值与 698-3 存在较大差异,其中,K389、698-3GT42、K336 与 698-3 相比差异显著或极显著,且均为正向效应。

2.2.3 特殊配合力效应分析

对各组合单株产量特殊配合力(SCA)效应分析结果表明(表 5),40 个组合中有 19 个组合的 SCA 为正效应值,21 个组合为负效应值。组合 Jh96C-2×SP698-3-6、205-11×K336、205-11×698-3GT1109、Jh96C-2×SP698-3-17、K169×K389 表现较好,单株产量 SCA 在 11.32~17.17;表现最差的组合为 Jh96C-2×K389,其单株产量 SCA 为-20.57。以 698-3 与 4 个测验种所配组合的单株产量 SCA 为分类对照,利用 LSD 法比较改良系组合与分类对照的差异显著性,结果表明,有 5 个组合与分类对照的差异显著或极显著,其中,组合 205-11×698-3GT1109、205-11×698-3R、205-11×K336 组合正向显著或极显著高于分类对照,其单株产量 SCA 值分别为 14.57、7.39 和 13.68。

表4 698-3及其改良系产量GCA效应值
Table 4 The GCA effect value for yield of 698-3 and its improved lines

自交系 Inbred line	单株产量 Yield per lant	自交系 Inbred line	单株产量 Yield per lant
698-3(CK)	-6.46	SP698-3-6	-1.24
K318	-3.21	SP698-3-11	1.75
K389	7.61**	698-3GT1109	-3.92
698-3GT42	3.01*	698-3R	-8.41
SP698-3-17	-4.27	K336	15.17**

注: LSD_{0.05}=9.40; LSD_{0.01}=12.47.
Note: LSD_{0.05}=9.40; LSD_{0.01}=12.47.

表5 组合单株产量SCA效应值
Table 5 SCA effect for yield per plant of combination

被测系 Tested line	测验种 Tester			
	K169	205-11	288	Jh96C-2
698-3(CK)	1.57	-12.95	8.32	3.04
K318	7.63	4.33	-7.76	-4.21
K389	17.17	-5.00	8.39	-20.57*
698-3GT42	6.00	4.08	-13.25*	3.17
SP698-3-17	-8.83	-11.97	4.07	16.71
SP698-3-6	-7.96	-8.61	5.24	11.32
SP698-3-11	-4.95	-5.56	9.46	1.03
698-3GT1109	-12.33	14.57**	-0.65	-1.61
698-3R	8.11	7.39*	-4.90	-10.61
K336	-6.45	13.68**	-8.95	1.70
LSD _{0.05}	18.81			
LSD _{0.01}	24.94			

2.3 产量杂种优势分析

将各杂交组合的平均单株产量、分类对照优势、统一对照优势列于表6。由表6可知,40个组合的平均单株产量变幅在150.62~210.59 g,其中,K169×K389、Jh96C-2×698-3GT42、288×SP698-3-11等9个组合的平均单株产量在190 g以上;组合K169×698-3GT1109、K169×SP698-3-17、K169×SP698-3-6的平均单株产量在160 g以下;其余大部分组合的平均单株产量在160~190 g。以川单418的平均单株产量为统一对照,计算统一对照优势,仅11个组合的统一对照优势为正值,占总组合数的27.5%。205-11×K336的统一对照优势为12.27%,达显著差异;其余10个正值组合在10%以下,未达显著水平,说明优于川单418的杂交组合并不多。以698-3与4个测验种所配组合的平均单株产量为分类对照,计算分类对照优势,有24个组合的分类对照优势为正值,占总组合数的60%,其中205-11×K336的分类

对照优势值最大,达29.78%,大多组合的分类对照优势值在1.11%~9.73%,其余少数组合的分类对照优势值在11.29%~19.05%,有7个组合的分类对照优势达正向显著或极显著水平。

3 结论与讨论

3.1 698-3与改良系的性状差异

研究表明,经航天诱变、γ射线辐射、外源基因转移^[12,13]等不同改良手段均可使玉米某些性状发生改变,进而选育新的资源供玉米育种实践利用。本研究经纯系育种、诱变育种和回交选育等多种改良手段选育而成的9个改良系与698-3表型差异大小各不相同,其中,改良系K336、698-3GT42、K389、K318分别有13、12、11、11个性状与698-3达显著或极显著差异,属于表型改良较大的改良系;改良系SP698-3-17、SP698-3-11是表型差异最小的改良系,但也都有5个性状与698-3差异显著或极显著。在

表6 各杂交组合的平均单株产量、统一对照优势、分类对照优势
Table 6 Mean single plant yield, unification heterosis, and corresponding heterosis of all combinations

被测系 Tested line	测验种 Tester			
	K169	205-11	288	Jh96C-2
698-3(CK)	161.98	162.33	182.74	182.23
	-15.25**	-16.87**	-3.85	0.21
	0.00	0.00	0.00	0.00
K318	171.28	182.85	169.90	178.23
	-12.12*	-2.95	-10.27	-2.32
	5.99	12.75*	-6.94	-1.88
K389	191.64	184.35	196.88	172.70
	1.66	-1.28	6.72	-4.58
	19.05**	13.68*	8.04	-5.13
698-3GT42	175.87	188.83	170.62	191.83
	-8.82	0.67	-7.24	3.44
	8.66	16.48**	-6.62	5.31
SP698-3-17	153.77	165.50	180.67	198.10
	-21.19**	-10.77*	-3.18	8.51
	-4.95	1.90	-0.99	8.49
SP698-3-6	157.67	171.89	184.87	195.73
	-17.19**	-5.24	-2.88	4.90
	-2.62	5.97	1.11	7.47
SP698-3-11	163.67	177.93	192.08	188.43
	-12.75*	-5.94	-0.61	4.90
	1.67	9.52	5.37	3.33
698-3GT1109	150.62	192.39	176.30	180.13
	-20.01**	3.09	-10.86*	-4.05
	-6.31	18.58**	-3.40	-0.88
698-3R	166.56	180.72	167.57	166.64
	-10.63*	-3.73	-11.59*	-12.86*
	3.35	11.29	-8.07	-8.16
K336	175.59	210.59	187.10	202.53
	-6.7	12.27*	-4.41	8.59
	9.73	29.78**	2.44	11.39*
统一对照优势	LSD _{0.05}	10.45	LSD _{0.01}	13.84
分类对照优势	LSD _{0.05}	11.34	LSD _{0.01}	15.04

注:各杂交组合对应的数字从上到下依次为平均单株产量(g)、统一对照优势、分类对照优势(%)。
Note: The corresponding numbers from top to bottom of each combination are mean single plant yield(g), unification heterosis and corresponding heterosis respectively(%).

性状的具体改良效果方面,改良系的秃尖长均显著或极显著小于698-3,说明改良后的自交系的结实较好;在单株产量及其构成因素中,多数改良系都比698-3表现好,改良效果较好。

3.2 698-3改良系产量配合力改良效果

配合力作为自交系的一种内在属性,是决定自交系所配杂交种表现的一种潜在能力,其高低是衡量一个玉米自交系优劣的主要标准,了解和掌握玉

米自交系产量配合力表现,对正确指导自交系的选育、杂交亲本选配和确定优良杂交组合具有重要意义^[14-16]。本研究中,有K389、698-3R和K336等3个改良系的单株产量GCA效应显著或极显著高于对照698-3,说明这3个改良系易组配出高产杂交种。

3.3 698-3改良系应用潜力

作物杂交育种工作的经验表明,在配制玉米杂交组合时,既要选择GCA互补性强的双亲,同时还

应考虑其SCA的表现情况,这样才利于选出具有强优势的杂交组合^[17]。在本研究中,改良系K389、K336分别与4个测验种所配的组合中均有3个组合的平均单株产量在180 g以上,且在组合K169×K389、288×K389、205-11×K336中,K389与K336的单株产量GCA均极显著改良、他们所配组合的单株产量SCA效应值都较高,组合K169×K389、205-11×K336的分类对照优势均达正向极显著水平,这2个系的多数经济性状均得以优异改良,充分表明改良系K389、K336在高产育种上具有较好的增产潜能。育种实践也证明了改良效果最好的系为K389(正红505的父本)和K336(正红532的父本),正红505子粒含水率和收获损失率分别为27.8%和1.8%,较适宜丘陵区旱地两熟全程机械化种植,正红532子粒淀粉含量达76.8%,为高淀粉玉米品种。

参考文献:

- [1] 孙 轩,吉玉龙,张如养,等.玉米自交系京92遗传改良研究[J].北京农学院学报,2019,34(1):28-33.
Sun X, Ji Y L, Zhang R Y, et al. Genetic improvement of inbred line Jing92 in maize[J]. Journal of Beijing University of Agriculture, 2019, 34(1): 28-33. (in Chinese)
- [2] 彭长俊,崔士友.玉米育种技术体系的构建及有关问题的讨论[J].农学报,2018,8(4):1-7.
Peng C J, Cui S Y. The Construction of technology system of maize breeding and the discussion on relevant problems[J]. Journal of Agriculture, 2018, 8(4): 1-7. (in Chinese)
- [3] 张永科,王 瑞,赵小峰,等.改良昌7-2玉米自交系配合力研究[J].玉米科学,2017,25(6):12-20.
Zhang Y K, Wang R, Zhao X F, et al. Study on the improvement of maize inbred line Chang7-2[J]. Journal of Maize Sciences, 2017, 25(6): 12-20. (in Chinese)
- [4] 张如养,宋 伟,赵久然,等.玉米自交系京724和郑58的产量配合力及杂种优势研究[J].玉米科学,2018,26(6):1-6,13.
Zhang R Y, Song W, Zhao J R, et al. Yield combining ability and heterosis of maize inbred lines Jing724 and Zheng58[J]. Journal of Maize Sciences, 2018, 26(6): 1-6, 13. (in Chinese)
- [5] 殷洪达,张 林,付庭伟,等.外引美国中北部植物引种站40份玉米自交系产量性状配合力及杂种优势分析[J].种子,2017,36(12):55-60.
Yin H D, Zhang L, Fu T W, et al. yield components combining ability and heterosis analysis of 40 maize inbred lines from north central regional plant introduction station of US[J]. Seed, 2017, 36(12): 55-60. (in Chinese)
- [6] 苟才明,余世权,黄 宁,等.17个玉米地方种质选系的配合力分析[J].华北农学报,2015,30(2):175-182.
Gou C M, Yu S Q, Huang N, et al. Analysis on combining ability of 17 inbred lines from maize landraces[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2015, 30(2): 175-182. (in Chinese)
- [7] 张采波,吴章东,徐冬平,等.空间诱变对玉米自交系产量性状配合力的诱变效应[J].农业生物技术学报,2013,21(8):896-903.
Zhang C B, Wu Z D, Xu D P, et al. Combining ability effects of three maize(*Zea mays* L.) inbred lines by space flight[J]. Journal of Agricultural Biotechnology, 2013, 21(8): 896-903. (in Chinese)
- [8] 唐海涛,张 彪,杨俊品,等.优良玉米自交系698-3的选育与应用[J].中国农学通报,2008,24(11):189-193.
Tang H T, Zhang B, Yang J P, et al. Breeding and application of excellent maize inbred line 698-3[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(11): 189-193. (in Chinese)
- [9] 柯永培,张 彪,袁继超,等.深粒高产、优质、多抗、紧凑型玉米杂交种正红6号的选育研究[J].四川大学学报(自然科学版),2005,42(2):412-416.
Ke Y P, Zhang B, Yuan J C, et al. Breeding of a maize hybrid Zhenghong 6 of deep kernels, high yield, quality grains, Multi-resistances and upright leaves[J]. Journal of Sichuan University(Natural Science Edition), 2005, 42(2): 412-416. (in Chinese)
- [10] 荣廷昭,潘光堂,黄玉碧.数量遗传学[M].北京:中国科学技术出版社,2003.
- [11] 孔繁玲.植物数量遗传学[M].北京:中国农业大学出版社,2006.
- [12] 秦家友,石海春,柯永培,等.玉米辐射诱变系表型及SSR遗传差异研究[J].玉米科学,2012,20(2):41-47.
Qin J Y, Shi H C, Ke Y P, et al. Research on genetic difference of maize mutants by irradiation based on phenotypic and SSR[J]. Journal of Maize Sciences, 2012, 20(2): 41-47. (in Chinese)
- [13] 石海春,乔 晓,柯永培,等.远缘背景下玉米主要性状的QTLs分析[J].玉米科学,2011,19(6):30-39.
Shi H C, Qiao X, Ke Y P, et al. QTLs Analysis of the major characters of inbred lines derived from maize(*Zeamays* L.)×Teosinte(*Zeamexicana*Schard)[J]. Journal of Maize Sciences, 2011, 19(6): 30-39. (in Chinese)
- [14] 陈淑萍,岳海旺,谢俊良,等.80份美国解禁玉米自交系与先玉335亲本配合力试验分析[J].玉米科学,2018,26(2):30-34.
Chen S P, Yue H W, Xie J L, et al. Analysis of combining ability on 80 declassified American maize inbred lines with Xianyu335 parents in the north of Huang-Huai-Hai region[J]. Journal of Maize Sciences, 2018, 26(2): 30-34. (in Chinese)
- [15] 李佩瑶,王 震,张先宇,等.41份中晚熟欧洲玉米选系的配合力及杂种优势分析[J].玉米科学,2018,26(3):28-31.
Li P Y, Wang Z, Zhang X Y, et al. Analysis of main characters and heterosis of 41 species of European maize germplasm[J]. Journal of Maize Sciences, 2018, 26(3): 28-31. (in Chinese)
- [16] 张坤明,逯晓萍,薛春雷,等.61份玉米DH系的SSR标记分析及性状遗传研究[J].玉米科学,2018,26(5):14-20,29.
Zhang K M, Lu X P, Xue C L, et al. Genetic study of 61 maize DH lines based on SSR analysis[J]. Journal of Maize Sciences, 2018, 26(5): 14-20, 29. (in Chinese)
- [17] 张向群.玉米自交系两种配合力在杂种一代的表现[J].作物学报,1987,13(2):135-142.
Zhang X Q. The performance of two combining abilities in F₁ of corn inbred lines[J]. Acta Agronomica Sinica, 1987, 13(2): 135-142. (in Chinese)

(责任编辑:朴红梅)