

网络出版时间:2013-01-25 17:27

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20130125.1727.025.html>

玉米改良群体 MM 中选系的产量配合力及杂种优势分析

陈 灿, 员海燕, 雷云天

(西北农林科技大学 农学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】筛选出玉米优良自交系和杂交组合, 探明玉米 MM 群体的育种潜势、所属杂优群体及杂优模式, 为其进一步改良和利用提供依据。【方法】以 6 个分别代表我国玉米主要优势群的自交系(丹 598、WN11、武 109、丹 599、X104 和昌 7-2)为测验种, 采用 NC II 遗传交配设计, 对选自玉米 MM 改良群体的 9 个自交系进行配合力及杂种优势分析。【结果】MM 群体中自交系 3、4、5、7 和 9 具有较高的产量一般配合力(GCA)相对效应值; 组合 9×丹 599、6×WN11、3×武 109、8×WN11 和 1×丹 598 的产量特殊配合力(SCA)相对效应值较高; 9×丹 599、3×武 109、5×丹 598、4×丹 599 和 7×丹 598 的产量配合力总效应(TCA)较高; 9×丹 599 和 3×武 109 的产量对照优势较强; MM 群体与 WN11 和 X104 间杂交无优势, 而与丹 598 和丹 599 杂交优势较大。【结论】玉米 MM 群体中自交系 3、4 和 5 产量 GCA 较高, 可用于配制组合; 组合 9×丹 599 和 3×武 109 较对照增产, 可进一步进行试验; MM 群体与兰卡斯特群和瑞德黄马牙种群质亲缘关系较近, 为这两类血缘兼有的优势群, 可与旅大红骨群及 P 群构建杂优模式。

【关键词】 玉米改良群体; 自交系; 配合力; 杂种优势

【中图分类号】 S513.035.1

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2013)03-0093-06

Analysis of yield combining ability and heterosis of selective lines from the improved maize population MM

CHEN Can, YUN Hai-yan, LEI Yun-tian

(College of Agriculture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】To further improve and utilize MM population, elite inbred lines and hybridized combinations were screened, and their breeding potentials, heterotic groups and heterosis pattern of MM population were investigated. 【Method】6 inbred lines(Dan598, WN11, Wu109, Dan599, X104 and Chang7-2) representing the domestic main advantage groups were used as testers, and the combining ability and heterosis of 9 inbred lines selected from the improved maize population MM were analyzed using NC II genetic mating design. 【Result】The relative effects of GCA of the inbred lines 3, 4, 5, 7 and 9 are high and the crosses with high relative effects of SCA for yield per plant were 9×Dan599, 6×WN11, 3×Wu109, 8×WN11 and 1×Dan598. The crosses with high TCA for yield per plant were 9×Dan599, 3×Wu109, 5×Dan598, 4×Dan599 and 7×Dan598 and the crosses with high control heterosis for yield per plant were 9×Dan599 and 3×Wu109. Hybridization between the MM population with WN11 and X104 had no advantage, but hybridization between the MM population with Dan598 and Dan599 had large advantages. 【Con-

【收稿日期】 2012-05-25

【基金项目】 陕西省“13115”科技创新工程重大科技专项(2010ZDKG-67); 陕西省科技攻关项目(2011K02-09); 西北农林科技大学唐仲英育种基金项目(200902090089)

【作者简介】 陈 灿(1985—), 男, 湖南南县人, 在读硕士, 主要从事玉米遗传育种研究。E-mail: chencan129@126.com

【通信作者】 员海燕(1960—), 女, 陕西华阴人, 教授, 博士生导师, 主要从事玉米遗传育种研究。E-mail: haiyan60@126.com

clusion】Inbred lines 3,4 and 5 had higher yields of GCA and can be used for the preparation of the combination. Yields of combinations 9×Dan 599 and 3×Wu109 were higher than the contrast and should be further tested. The MM population is consanguinity similar to the population of Lancaster and Reid yellow dent. It was identified as the population possessing the advantages of both populations, and can be used to build heterotic patterns with Ludahonggu population and P population.

Key words: the improving maize population; inbred lines; combining ability; heterosis

种质资源是育种工作的基础,丰富优异的玉米种质资源是玉米育种的基本前提^[1]。随着单交种的普及及生产水平的不断提高,育种家将更多的注意力集中在黄早四改良系、掖 478 改良系、丹 340 改良系、美 78599 选系等极少数优秀的种质上^[2],导致我国玉米种质基础变得十分狭窄,进而成为制约我国玉米育种取得新突破和可持续发展的瓶颈。世界其他国家也同样面临着玉米种质基础狭窄和资源匮乏的问题,玉米群体的合成和改良研究,可以有效缓解这一突出问题。为此,国内外学者对玉米群体农艺性状、经济性状、配合力和杂种优势^[3-9]以及玉米群体中选系的配合力及杂种优势等^[10-14]进行了研究。本试验对选自玉米 MM 群体的 9 个自交系进行配合力和产量杂种优势分析,以期筛选出优良自交系和组合,探明 9 个选系的应用价值、MM 群体的育种潜势、所属杂优群体及杂优模式,为 MM 群体的进一步改良和利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

选用西北农林科技大学玉米课题组育成的 9 个自交系(由美国、法国等多个国家的玉米种质混合授粉并经过多年轮回选择而得的 MM 改良群体内选育而来,分别用 1、2、3、4、5、6、7、8 和 9 表示)作为被测系,以分别代表我国主要优势群的 6 个自交系丹 598(旅大红骨群)、WN11(兰卡斯特群)、武 109(科鲁格群)、丹 599(P 群)、X104(瑞德黄马牙群)和昌 7-2(唐山四平头群)为测验种。于 2009 年夏季按 NC II 遗传交配设计,组配 54 个杂交组合。

1.2 试验设计

2010 年夏季在西北农林科技大学教学试验农场试验田进行 54 个杂交组合的田间鉴定试验,以郑单 958 和先玉 335 为对照品种。试验采用完全随机区组设计,3 次重复,单行区,行长 3.0 m,行距 0.6 m,株距 0.23 m。田间管理同大田,成熟后按小区收获果穗,室内考查穗长、穗粗、穗行数、行粒数、秃尖长、千粒质量、单株产量和出籽率。

1.3 统计分析

采用 DPS7.05 统计软件对 8 个农艺性状进行方差分析。采用 NC II 遗传交配设计^[15]分析方法进行配合力方差分析,计算一般配合力(GCA)和特殊配合力(SCA)的相对效应值。配合力总效应(TCA)为组合的双亲 GCA 及组合 SCA 效应之和。根据产量 TCA 结合对照杂种优势对测交组合进行杂种优势分析。对照优势: $H = (F_1 - X) / X \times 100\%$;其中 F_1 为测交组合单株产量, X 为 2 个对照单交种的单株产量平均值。

2 结果与分析

2.1 玉米测交组合各农艺性状的方差分析

方差分析结果(表 1)表明:组合间各性状差异均达极显著水平。进一步对这 8 个性状做配合力方差分析,将组合间的性状差异分解为被测系、测验种和被测系×测验种的差异,结果表明除穗粗外,被测系其余各性状的 GCA 方差均达显著或极显著水平,表明这些性状的 GCA 在 9 个自交系之间存在显著的遗传差异;除行粒数、秃尖长和穗粗外,测验种其余各性状的 GCA 方差均达显著或极显著水平,说明这些性状的 GCA 在测验种之间存在显著的遗传差异;被测系×测验种各性状的 SCA 方差均达极显著水平,说明这些性状的 SCA 在被测系×测验种之间存在交互作用。

2.2 玉米测交组合各农艺性状的配合力分析

2.2.1 一般配合力(GCA) 从表 2 和表 3 可以看出,不同自交系同一性状的 GCA 相对效应和同一自交系不同性状的 GCA 相对效应均有很大差异。表 2 结果表明:单株产量 GCA 相对效应值为正值的被测系有 3、4、5、7 和 9,为负值的被测系有 1、2、6 和 8,其中被测系 3、4 和 5 的 GCA 相对效应显著高于其他被测系,说明用这 3 个被测系作亲本,利于组配产量较高的组合,有较高的利用价值。综合其他产量构成因子可知:被测系 3 的单株产量 GCA 相对效应值(10.607)最高,是因为其千粒质量(10.344)及穗行数(5.534)GCA 相对效应值较大;

被测系 4 的单株产量 GCA 相对效应值(6.538)较大,是因为其千粒质量(8.413)及秃尖长(−34.612) GCA 相对效应值较大;被测系 5 的单株产量 GCA 相对效应值(5.167)居第 3,是由于其行粒数(5.118)、穗行数(5.004)及秃尖长(−33.692)GCA 相对效应值较大。被测系 6 的单株产量 GCA 相对

效应值(−10.743)最低,主要是由于行粒数(−8.813)、穗长(−6.478)及秃尖长(47.122)的 GCA 相对效应值较低所致;被测系 1 的单株产量 GCA 相对效应值(−8.813)较低,主要是由于穗行数(−7.465)及千粒质量(−5.423)的 GCA 相对效应值较低所致。

表 1 54 个玉米测交组合 8 个农艺性状的方差分析(MS 值)
Table 1 ANOVA of 54 maize test-crosses for 8 agronomic traits (MS value)

变异来源 Variation source	自由度 DF	单株产量 Yield per plant	穗行数 Rows per ear	行粒数 Kernels per row	千粒质量 1 000-seed weight	出籽率 Seed producing rate	穗长 Ear length	穗粗 Ear diameter	秃尖长 Bald tip length
区组 Block	2	580.278	0.660	20.494	237.745	0	308.320	14.194	1.100
组合 Combination	53	740.730**	3.410**	33.888**	1 758.172**	0.002**	468.190**	35.707**	9.747**
被测系 Line	8	904.558*	8.831**	97.550**	4 371.854**	0.003**	981.567**	24.633	25.313**
测验种 Tester	5	2 169.651**	13.984**	41.238	3 355.932*	0.006**	1 029.889*	26.070	7.097
被测系×测验种 Lines×Testers	40	529.349**	1.004**	20.237**	1 035.71**	0.001**	295.302**	39.127**	6.965**
误差 Error	106	279.762	0.361	7.595	156.301	0	124.970	5.184	0.755

注:“*”和“**”分别表示在 $P=0.05$ 和 $P=0.01$ 水平上显著。
Note:“*” and “**” indicate significant difference at $P=0.05$ and $P=0.01$ levels, respectively.

表 2 9 个玉米被测系 8 个性状的 GCA 相对效应值
Table 2 Relative effects of the GCA for 8 traits among 9 inbred lines

被测系 Line	单株产量 Yield per plant	穗行数 Rows per ear	行粒数 Kernels per row	千粒质量 1 000-seed weight	出籽率 Seed producing rate	穗长 Ear length	穗粗 Ear diameter	秃尖长 Bald tip length
1	−8.183 e	−7.465 d	6.341 b	−5.423 ef	2.230 a	1.532 bc	3.480 a	−27.936 d
2	−2.537 de	−0.399 b	−0.734 cd	−2.435 cd	−1.537 c	−0.860 cd	3.623 a	93.630 a
3	10.607 a	5.534 a	−5.669 de	10.344 a	−1.927 c	−0.730 cd	−2.891 b	−4.221 c
4	6.538 ab	−5.360 cd	1.228 dc	8.413 a	−0.173 b	2.005 bc	−2.865 b	−34.612 d
5	5.167 ab	5.004 a	5.118 b	−5.410 ef	−2.252 c	−2.116 cde	2.092 a	−33.692 d
6	−10.743 f	0.054 b	−8.813 e	−0.231 c	1.321 a	−6.478 de	0.937 ab	47.122 b
7	0.290 cd	−0.998 b	−8.867 e	4.557 b	0.087 b	−7.398 e	−2.463 b	25.940 b
8	−2.616 de	−2.638 bc	12.874 a	−6.782 f	1.386 a	8.771 a	−2.501 b	−67.306 e
9	1.477 bc	6.268 a	−1.480 cd	−3.033 de	0.866 a	5.274 ab	0.587 ab	1.074 c

注:同列数据后标不同字母代表差异显著($P<0.05$)。表 3 同。
Note:Data in the same column with different letters represent a significant difference($P<0.05$). Table 3 is the same.

表 3 6 个玉米测验种 8 个性状的 GCA 相对效应值
Table 3 Relative effects of the GCA for 8 traits among 6 testers

测验种 Tesrer	单株产量 Yield per plant	穗行数 Rows per ear	行粒数 Kernels per row	千粒质量 1 000-seed weight	出籽率 Seed producing rate	穗长 Ear length	穗粗 Ear diameter	秃尖长 Bald tip length
丹 598 Dan598	9.699 a	9.766 a	2.967 a	−1.340 b	−1.494 e	−1.716 b	−2.225 c	21.566 a
WN11	−9.914 c	−2.067 c	−6.891 c	−0.093 b	−0.844 d	0.864 ab	1.400 ab	31.543 a
武 109 Wu109	−1.871 b	−3.629 c	1.338 ab	0.210 b	−0.455 c	4.046 a	−0.053 bc	−4.989 b
丹 599 Dan599	10.886 a	0.465 b	3.972 a	6.284 a	−1.580 e	4.616 a	−2.467 c	−15.426 b
X104	−8.042 c	−2.725 c	−0.760 b	−7.414 c	1.884 b	−0.626 b	−0.296 bc	−16.347 b
昌 7-2 Chang 7-2	−0.758 b	−1.811 c	−0.627 b	2.352 b	2.490 a	−7.184 c	3.640 a	−16.347 b

表 3 结果表明:单株产量 GCA 相对效应值为正值且与其他自交系有显著差异的测验种有丹 599 和丹 598。综合其他产量构成因子可知:丹 599 的单株产量 GCA 相对效应值(10.886)最大,是因为其千粒质量、穗长和行粒数的 GCA 相对效应值都为正向效应,其值依次为 6.284,4.616 和 3.972;丹

598 的单株产量 GCA 相对效应值(9.699)较大,是因为其穗行数 GCA 相对效应值(9.766)较大所致。单株产量 GCA 相对效应值为负值且显著低于其他测验种的有 WN11 和 X104。WN11 单株产量 GCA 相对效应值(−9.914)最低,是因为其行粒数(−6.891)及秃尖长(31.543)的 GCA 相对效应值

较低所致;X104 单株产量 GCA 相对效应值(−8.042)较低,是因为其千粒质量(−7.414)和穗行数(−2.725)的 GCA 相对效应值较低所致。

由表 3 可知,MM 群体与 WN11 和 X104 之间杂交无优势,而与丹 598 和丹 599 杂交优势较大。由此初步推断,MM 群体与丹 598 和丹 599 血缘关系较远,可构成杂优模式,而与 WN11 和 X104 血缘关系接近,相互间不宜组配杂交种。

2.2.2 单株产量的特殊配合力(SCA) 单株产量 SCA 相对效应值分析结果(表 4) 表明:54 个杂交组合的 SCA 相对效应值为−22.385~25.424,有 24 个组合的单株产量 SCA 为正值,其中 9×丹 599、6×WN11、3×武 109、8×WN11 和 1×丹 598 的产量 SCA 相对效应值显著高于其他组合,分别为

25.424,20.755,20.112,19.390 和 18.625。8×武 109、6×丹 599、3×丹 599 和 9×武 109 的单株产量 SCA 相对效应值显著低于其他组合,分别为−22.385,−19.877,−18.442 和−18.067。

分析单株产量 SCA 相对效应值显著高、低组合的亲本自交系的 GCA 发现,单株产量 GCA 高的自交系所配组合的 SCA 不一定高,反之亦然。究其原因,单株产量 SCA 高除相应位点基因间的互作外,不同产量构成因素互补是一个重要原因。如组合 3×丹 599 的双亲 GCA 均较高,但双亲均千粒质量高,产量构成因素间不能互补,所以综合结果是单株产量的 SCA 并不高;而组合 1×丹 598 的亲本丹 598 的行多互补了亲本 1 的行少,结果单株产量 SCA 较高。

表 4 54 个玉米杂交组合单株产量的 SCA 相对效应值

Table 4 Relative effects of the SCA for yield per plant among 54 cross combinations

测验种 Tester	被测系 Line								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
丹 598 Dan598	18.625	6.463	−16.151	−8.726	9.381	−10.571	12.949	−5.602	−6.367
WN11	−14.439	−13.494	12.146	−11.916	1.843	20.755	−8.755	19.390	−5.530
武 109 Wu109	−6.998	8.067	20.112	15.102	−5.018	17.219	−8.034	−22.385	−18.067
丹 599 Dan599	10.028	−8.299	−18.442	5.527	4.119	−19.877	−1.788	3.308	25.424
X104	−5.833	7.525	−0.499	3.553	−4.601	−0.389	−1.160	3.009	−1.605
昌 7-2 Chang 7-2	−1.384	−0.262	2.834	−3.540	−5.723	−7.138	6.788	2.280	6.145

2.2.3 单株产量的配合力总效应(TCA) 从表 5 可以看出,54 个杂交组合中共有 29 个组合的单株产量 TCA 为正值。其中,TCA 显著高于其他组合的有 9×丹 599(37.787)、3×武 109(28.848)、5×丹 598(24.247)、4×丹 599(22.951)和 7×丹 598(22.938);TCA 显著低于其他组合的有 1×WN11(−32.535)、8×武 109(−26.872)、2×WN11(−25.945)和 1×X104(−22.057)。除被测系 6 外,其他 8 个被测系与丹 598 和丹 599 的杂交后代的产量 TCA 均为正值;除被测系 3、6 和 8 外,其他 6 个被测系与 WN11 的杂交后代的产量 TCA 都为负值;除被测系 3 和 4 外,其他 7 个被测系与 X104 杂交后代的产量 TCA 也都为负值。以 9 个被测系

与各个测验种的产量 TCA 总和的平均值来说明 MM 群体与各个测验种的产量 TCA,其大小顺序为:MM×丹 599>MM×丹 598>MM×昌 7-2>MM×武 109>MM×X104>MM×WN11。

TCA 效应值较高组合的双亲的 GCA 均较高,如 TCA 效应排列在前 5 位的组合中,测验种丹 599 和丹 598 分别在 2 个组合中出现,而这 2 个测验种的 GCA 效应居 6 个测验种之首,被测系的情况类似。同理,TCA 效应显著低的 3 个组合中,测验种 WN11 和 X104 分别出现在 2 个和 1 个组合中,而它们的 GCA 效应居 6 个测验种之尾,被测系的情况类似。因此,TCA 效应综合了 GCA 和 SCA 的效应,但 GCA 效应的作用更大些。

表 5 54 个玉米杂交组合单株产量的 TCA

Table 5 TCA for yield per plant among 54 cross combinations

测验种 Tester	被测系 Line									均值 Mean
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
丹 598 Dan598	20.142	13.626	4.155	7.512	24.247	−11.614	22.938	1.482	4.810	9.699
WN11	−32.535	−25.945	12.838	−15.292	−2.905	0.098	−18.380	6.861	−13.967	−9.914
武 109 Wu109	−17.051	3.659	28.848	19.769	−1.722	4.605	−9.615	−26.872	−18.461	−1.871
丹 599 Dan599	12.732	0.050	3.050	22.951	20.171	−19.734	9.388	11.578	37.787	10.886
X104	−22.057	−3.054	2.065	2.049	−7.477	−19.173	−8.912	−7.649	−8.170	−8.042
昌 7-2 Chang 7-2	−10.325	−3.556	12.683	2.240	−1.314	−18.639	6.319	−1.094	6.864	−0.758
均值 Mean	−8.183	−2.537	10.607	6.538	5.167	−10.743	0.290	−2.616	1.477	

2.3 玉米单株产量的杂种优势分析

从表 6 可以看出,54 个杂交组合的单株产量对照优势为-44.475%~13.403%。正向组合有:9×丹 599、3×武 109、5×丹 598、4×丹 599 和 7×丹 598,对照优势分别为 13.403%,6.045%,2.259%,1.192%和 1.181%;较低的组合有 1×WN11、8×

武 109、2×WN11、1×X104 和 6×丹 599,对照优势分别为 -44.475%, -39.813%, -39.051%, -35.851%和 -33.939%。初步鉴定出 9×丹 599 和 3×武 109 可以达到国家规定的玉米品种审定增产标准,说明由 MM 群体可以选育出有生产价值的玉米新品种。

表 6 54 个玉米杂交组合单株产量的对照优势
Table 6 The control heterosis for yield per plant of 54 cross combinations %

测验种 Tester	被测系 Line									均值 Mean
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
丹 598 Dan598	-1.120	-6.483	-14.277	-11.515	2.259	-27.256	1.181	-16.477	-13.739	-9.714
WN11	-44.475	-39.051	-7.131	-30.283	-20.088	-17.616	-32.824	-12.051	-29.192	-25.857
武 109 Wu109	-31.731	-14.685	6.045	-1.427	-19.115	-13.907	-25.611	-39.813	-32.891	-19.237
丹 599 Dan599	-7.219	-17.656	-15.187	1.192	-1.096	-33.939	-9.971	-8.168	13.403	-8.738
X104	-35.851	-20.211	-15.997	-16.011	-23.851	-33.477	-25.032	-23.992	-24.421	-24.316
昌 7-2 Chang 7-2	-26.195	-20.624	-7.259	-15.853	-18.779	-33.037	-12.496	-18.597	-12.048	-18.321

3 小结与讨论

本研究结果表明,被测系 3、4、5、7 和 9 的单株产量 GCA 较高,是较好的育种材料,可直接用以组配杂交组合。杂交组合 9×丹 599、6×WN11、3×武 109、8×WN11 和 1×丹 598 的单株产量 SCA 相对效应值较高。9×丹 599、3×武 109、5×丹 598、4×丹 599 和 7×丹 598 的 TCA 较高,对照优势较强,其中 9×丹 599 和 3×武 109 初步鉴定达到国家规定的品种审定的增产标准,可进一步进行多点鉴定试验。

综合分析双亲的产量 GCA 相对值、SCA 相对值、TCA 和对照优势,可以得出以下结果:1)单株产量一般配合力高的亲本所配组合的特殊配合力并不一定高,反之一般配合力低的亲本在某些组合也能变现出较高的特殊配合力,如 4×丹 599,亲本 GCA 相对值分别为 6.538 和 10.886,而亲本间 SCA 相对效应仅为 5.527;9×丹 599,GCA 分别为 1.477 和10.886,组合 SCA 相对值为 25.424。说明单株产量的 GCA 相对效应与 SCA 相对效应间不存在相关关系。这与赵保献等^[16]、谭登峰等^[17]和王向东等^[18]的研究结果一致。2)TCA 值越高,对照优势越强,如 9×丹 599、3×武 109 和 5×丹 598 的 TCA 与对照优势大小相对应。这与陈彦惠等^[19]、闫飞燕等^[20]和张前进等^[21]的研究结果一致,说明 TCA 可以作为评价组合杂种优势水平的指标之一。3)TCA效应综合了GCA 和 SCA 的效应,分析 TCA 效应值较高组合的双亲的 GCA 发现,TCA 效应值较高组合的双亲的 GCA 均较高,说明 GCA 效应的

作用更大。分析单株产量 SCA 相对效应值显著高、低组合的亲本自交系的 GCA 发现,单株产量 SCA 高除相应位点基因间的互作外,双亲不同产量构成因素的互补也是一个重要原因。因此,在自交系选育时,应注重产量构成因素 GCA 的选择;在杂交组合组配时,应注重双亲间产量构成因素间的互补。从而充分利用产量构成因素的 GCA 及 SCA 效应,最大限度地提高杂交种的产量。

玉米 MM 群体为引自美国及法国等国家的几十个杂交种混合并经过多年轮回选择而成,本研究采用的 9 个被测系选育自该群体。试验结果表明,3、4 和 5 这 3 个自交系具有较高的单株产量配合力,有 2 个组合的对照优势达到国家规定品种审定增产标准,由此可以推断 MM 群体具有育种利用价值。测交结果表明,MM 群体与丹 599(P 群)及丹 598(旅大红骨群)有较强的杂交优势,而与 WN11(兰卡斯特群)及 X104(瑞德黄马牙群)的杂交优势较弱。故认为 MM 群体与兰卡斯特群及瑞德黄马牙群血缘相近,属于这两类血缘兼有的优势群,可与旅大红骨群及 P 群构建杂优模式,可以此为依据对该群体进行进一步改良及利用。

[参考文献]

[1] 于翠红. 玉米种质资源研究利用与创新方向 [J]. 河北农业科学,2008,12(5):71-73.
Yu C H. Innovative direction and utilization of maize germplasm resources [J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2008,12(5):71-73. (in Chinese)
[2] 彭泽斌,田志国. 改良 HS 相互轮回选择与玉米育种 [J]. 玉米科学,2004,12(1):18-20.
Peng Z B, Tian Z G. The status of modified HS reciprocal re-

- current selection in maize breeding [J]. Journal of Maize Sciences, 2004, 12(1): 18-20. (in Chinese)
- [3] 王振华, 赵英男, 孙广全, 等. 加拿大玉米群体与我国主要玉米种质杂种优势关系分析 [J]. 玉米科学, 2011, 19(3): 47-50, 55. Wang Z H, Zhao Y N, Sun G Q, et al. Heterosis analysis between Canadian maize populations and Chinese maize elite germplasm [J]. Journal of Maize Sciences, 2011, 19(3): 47-50, 55. (in Chinese)
- [4] 张兴瑞, 霍仕平, 向振凡, 等. 玉米梯度热带种质群体主要经济性状杂种优势研究 [J]. 中国农学通报, 2011, 27(27): 79-85. Zhang X R, Huo S P, Xiang Z F, et al. Heterosis of gradient tropical germplasm populations on maize economic traits [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(27): 79-85. (in Chinese)
- [5] 杨爱国, 张世煌, 李明顺, 等. CIMMYT 和我国玉米种质群体的配合力及杂种优势分析 [J]. 作物学报, 2006, 32(9): 1329-1337. Yang A G, Zhang S H, Li M S, et al. Combining ability and heterosis of CIMMYT and 13 domestic maize populations in an NCII mating design [J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(9): 1329-1337. (in Chinese)
- [6] 马燕斌, 杨克诚. 6 个玉米人工合成群体的配合力分析 [J]. 玉米科学, 2007, 15(3): 48-51. Ma Y B, Yang K C. Analysis of combining ability of 6 synthetic maize populations [J]. Journal of Maize Sciences, 2007, 15(3): 48-51. (in Chinese)
- [7] Vivek B S, Crossa J, Alvarado G. Heterosis and combining ability among CIMMYT's mid-altitude early to intermediate maturing maize (*Zea mays* L.) populations [J]. Maydica, 2009, 54(1): 97-107.
- [8] Jumbo M B, Carena M J. Combining ability, maternal, and reciprocal effects of elite early-maturing maize population hybrids. [J]. Euphytica, 2008, 162(3): 325-333.
- [9] Ruiz de Galarreta J I, Álvarez A. Breeding potential of early-maturing flint maize germplasm adapted to temperate conditions. [J]. Spanish Journal of Agricultural Research, 2010, 8(1): 74-81.
- [10] 李 严, 董 玲, 金 益, 等. 三个用 CIMMYT 种质构建的玉米半外来群体的改良和利用 [J]. 东北农业大学学报, 2010, 41(1): 19-23. Li Y, Dong L, Jin Y, et al. Improvement and usage of three semi-exotic maize populations constructed with CIMMYT germplasm [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2010, 41(1): 19-23. (in Chinese)
- [11] 叶雨盛, 王晓琳, 李月明, 等. 外来玉米群体选系的配合力及杂种优势研究 [J]. 玉米科学, 2012, 20(1): 48-52. Ye Y S, Wang X L, Li Y M, et al. Combining ability and heterosis of the inbred lines in exotic maize population [J]. Journal of Maize Sciences, 2012, 20(1): 48-52. (in Chinese)
- [12] 陈泽辉, 高 翔, 祝云芳. Suwan 与我国四大玉米种质的配合力和杂种优势分析 [J]. 玉米科学, 2005, 13(1): 5-9. Chen Z H, Gao X, Zhu Y F. Study on the combining ability and heterosis between Suwan and four major maize germplasm of China [J]. Journal of Maize Sciences, 2005, 13(1): 5-9. (in Chinese)
- [13] Souza C L, Barrios S C L, Moro G V. Performance of maize single-crosses developed from populations improved by a modified reciprocal recurrent selection [J]. Scientia Agricola, 2010, 67(2): 198-205.
- [14] Amiruzzamam M, Islam M A, Pixley K V, et al. Heterosis and combining ability of CIMMYT's tropical $\times$ subtropical quality protein maize germplasm [J]. International Journal of Sustainable Agriculture, 2011, 3(3): 76-81.
- [15] 高之仁. 数量遗传学 [M]. 成都: 四川大学出版社, 1986. Gao Z R. Quantitative genetics [M]. Chengdu: Sichuan University Press, 1986. (in Chinese)
- [16] 赵保献, 陈润玲, 雷晓兵, 等. 玉米自交系主要数量性状配合力及利用潜力分析 [J]. 中国农学通报, 2008, 24(10): 217-221. Zhao B X, Chen R L, Lei X B, et al. Analysis on the combining ability and utilization potentiality of maize inbred lines [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(10): 217-221. (in Chinese)
- [17] 谭登峰, 杨爱国, 潘光堂, 等. CIMMYT 群体和我国地方群体的配合力与聚类分析 [J]. 四川农业大学学报, 2002, 20(4): 317-320. Tan D F, Yang A G, Pan G T, et al. Study on combining ability and clustering analysis between the maize populations of CIMMYT and local China [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2002, 20(4): 317-320. (in Chinese)
- [18] 王向东, 高根来, 张凤琴. 玉米产量性状遗传配合力分析 [J]. 玉米科学, 2001, 9(1): 31-33. Wang X D, Gao G L, Zhang F Q. Genetic analysis of combining ability of yield properties of maize [J]. Journal of Maize Sciences, 2001, 9(1): 31-33. (in Chinese)
- [19] 陈彦惠, 王利明, 戴景瑞. 中国温带玉米种质与热带、亚热带种质杂优组合模式研究 [J]. 作物学报, 2000, 26(5): 557-564. Chen Y H, Wang L M, Dai J R. Studies on heterotic patterns between tropical-subtropical and Chinese temperate germplasms in maize [J]. Acta Agronomica Sinica, 2000, 26(5): 557-564. (in Chinese)
- [20] 闫飞燕, 范继征, 周锦国, 等. 12 个不同玉米热带种质比例群体的产量配合力效应及杂种优势分析 [J]. 西南农业学报, 2011, 24(2): 471-477. Yan F Y, Fan J Z, Zhou J G, et al. Combining ability and heterosis of 12 different kinds of tropic maize populations [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2011, 24(2): 471-477. (in Chinese)
- [21] 张前进, 张 新, 王振华, 等. 8 个热带、亚热带玉米群体的配合力和杂种优势分析 [J]. 中国农学通报, 2008, 24(9): 109-113. Zhang Q J, Zhang X, Wang Z H, et al. Analysis of combining ability and heterosis for 8 tropical, subtropical maize populations [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(9): 109-113. (in Chinese)