

18个玉米自交系配合力及杂种优势群分析

秦家友¹, 严康¹, 刘霞², 任纬¹, 邹刚¹, 陈翠莲¹

(1. 四川省内江市农业科学院, 四川内江 641000; 2. 四川省内江市种猪场, 四川内江 641000)

摘要 [目的]研究玉米自交系及其组合性状的配合力, 确定其应用和改良方向。[方法]采用NCII设计, 以3个强优势组合的亲本自交系为测验种, 与12个新选系配制72个杂交组合, 分析18个玉米自交系的配合力和杂种优势群。[结果]N045、N1150、内自268和N303的单株产量一般配合力较高, 易配制出高产组合; N98、779-1、N1150、Z544、内自N36、内自268和济533在降低株高和穗位高方面应用潜力较大; N303、1F1-1、779-1、779-3和N33可归为内自N36、4011和F15所在的A群, N98、C38012、G-3、N1150、N045、SU17和Z544可归为内自268、济533和F06所在的B群。[结论]该研究可为自交系的改良与应用提供参考。

关键词 玉米; 自交系; 配合力; 杂种优势群

中图分类号 S513 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)20-0034-03

Analysis of Combining Ability and Heterotic Groups Among 18 Maize Inbred LinesQIN Jia-you¹, YAN Kang¹, LIU Xia² et al (1. Neijiang Academy of Agricultural Sciences, Neijiang, Sichuan 641000; 2. Breeding Pig Farm of Neijiang, Neijiang, Sichuan 641000)

Abstract [Objective] Combining ability of maize inbred lines and their combinations were studied to determine the application and improvement direction. [Method] Combining ability and heterotic groups of 18 maize inbred lines were analyzed based on the data of NC II design, in which 12 new lines were crossed with parental inbred lines of 3 high heterosis combinations, 72 hybridized combinations were established. [Result] Inbred lines N045, N1150, Neizi 268 and N303 had higher GCA for yield per plant, they were more likely to produce high yield combinations. Inbred lines N98, 779-1, N1150, Z544, Neizi N36, Neizi 268 and Ji 533 had great potential for decreasing plant and ear height. Inbred lines N303, 1F1-1, 779-1, 779-3 and N33 were classified into the heterotic group A as Neizi N36, 4011 and F15, while N98, C38012, G-3, N1150, N045, SU17 and Z544 were clustered into the heterotic group B with Neizi 268, Ji 533 and F06. [Conclusion] The research could give reference for improvement and application of inbred line.

Key words Maize; Inbred lines; Combining ability; Heterotic group

玉米育种中配合力高低是自交系筛选和亲本选配的重要依据, 对自交系及其组合各性状进行配合力测定, 可了解其利用潜力, 进而明确其应用和改良方向。杂种优势的利用是玉米高产的主要技术手段, 将遗传多样的种质资源划分为不同的杂种优势群, 形成自己的杂种优势模式, 并结合配合力表现对种质进行有目的地改良和创新, 易于选育出优良的自交系和配制出强优势组合, 提高育种效率。该研究以组合杂种优势较强的3对亲本自交系为测验种, 分析18个自交系各性状的配合力表现, 并划分杂种优势群, 为自交系的进一步改良和应用提供参考。

1 材料与方

1.1 材料 以近年育成的12个自交系N98、N303、1F1-1、779-1、779-3、C38012、G-3、N1150、N045、N33、SU17、Z544为被测系, 3对自交系内自N36和内自268、济533和4011、F06和F15为测验种。3对测验种代表了不同的杂种优势模式, 组合内自N36×内自268在四川平坝丘陵地区综合性状优良, 产量表现突出, 推广利用价值高; 济533×4011在四川省有较大面积的推广; F06×F15即正大615在云南推广面积较大。

1.2 试验设计 2015年冬在海南乐东县九所镇按NCII设计, 以被测系为母本, 测验种为父本, 组配72个组合。2016年春季在四川内江种植杂交组合, 采用随机区组设计, 3次重复, 单行区, 行长3.7 m, 行距0.9 m, 每行种8窝16株, 种植

密度4.8万株/hm², 每行选取中间10株测定株高、穗位高, 室内考种穗长、穗粗、穗行数、行粒数、百粒重和单株产量。

1.3 数据统计方法 按NCII设计的原理和方法, 利用DPS 7.05进行数据处理和分析, 估算一般配合力(GCA)和特殊配合力(SCA)相对效应值。根据单株产量SCA相对效应值划分杂种优势群, 在测验种固定的情况下, SCA较低的划入同一杂种优势群。

2 结果与分析

2.1 配合力方差分析 各性状方差分析表明(表1), 所测8个性状组合间方差均极显著, 说明不同组合间各性状存在极显著差异。进一步进行配合力方差分析, 结果表明, 被测系的行粒数和单株产量一般配合力(GCA)方差达显著水平, 其余性状达极显著水平; 测验种的穗长、行粒数和单株产量一般配合力(GCA)方差显著, 其余性状极显著; 各性状的特殊配合力(SCA)方差均达极显著水平。

2.2 一般配合力相对效应分析 各性状GCA相对效应分析表明(表2), N98、779-1、N1150、Z544、内自N36、内自268和济533株高和穗位高GCA相对效应值均为负, 用它们配制的组合可有效降低株高和穗位高; 779-3、C38012、G-3、N045、SU17、4011、F06和F15株高和穗位高GCA相对效应值均为正, 配制的组合株高和穗位较高的几率大; N303和1F1-1株高GCA相对效应值为负、穗位高为正; N33株高GCA相对效应值为正、穗位高为负, 所配组合抗倒性可能较差。

单株产量GCA方面, N045、N1150、内自268和N303相对效应值较高, 依次为17.14、16.04、15.01和12.97, 其配制的组合增产的可能性大; 779-1的相对效应值最低为

-20.57。穗部其他性状,G-3 穗长、N544 穗粗、N1150 行粒数、内自 268 的穗行数和百粒重 GCA 相对效应值最大,分别为 9.53、9.74、11.23、13.64 和 8.67;Z544 穗长、F06 穗粗、C38012 穗行数、779-1 行粒数、F15 百粒重 GCA 相对效应值最小,分别是 -6.63、-7.99、-10.14、-10.59、-8.32。

N303、N1150、N045 和 4011 穗部性状 GCA 相对效应值均为正,内自 268 除穗长 GCA 相对效应值为负外,其余穗部性状为正向较大值,用这 5 个自交系配制的组合穗部综合性状较优概率大,有利于增加产量;1F1-1、779-1 和 779-3 穗部性状 GCA 相对效应值均为负。

表 1 各性状配合力方差分析(F 值)

Table 1 Analysis of variance of combining ability for characters(F-value)

变异来源 Source of variation	自由度 DF	株高 Plant height	穗位高 Ear height	穗长 Ear length	穗粗 Ear diameter	穗行数 Ear rows	行粒数 Kernels per row	百粒重 100-kernel weight	单株产量 Yield per plant
组合间 Combination	71	35.67**	31.92**	10.71**	19.57**	44.24**	36.20**	27.45**	31.52**
母本 Female	11	7.07**	12.09**	2.48**	5.86**	7.40**	2.32*	3.26**	2.14*
父本 Male	5	19.14**	25.00**	4.39*	17.31**	17.46**	3.04*	9.98**	2.93*
母本×父本 Female×Male	55	11.09**	7.24**	7.30**	6.75**	14.04**	26.86**	13.84**	24.00**

注: *、** 分别表示在 0.05、0.01 水平上差异显著

Note: *, ** indicated significance at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively

表 2 各性状一般配合力相对效应值

Table 2 GCA effect value for characters

自交系 Lines	株高 Plant height	穗位高 Ear height	穗长 Ear length	穗粗 Ear diameter	穗行数 Ear rows	行粒数 Kernels per row	百粒重 100-kernel weight	单株产量 Yield per plant
N98	-8.96	-11.79	-1.67	3.53	-4.75	-5.06	-2.55	-1.33
N303	-2.20	2.13	3.03	0.93	4.46	4.15	2.99	12.97
1F1-1	-2.59	0.25	-6.12	-1.10	-2.42	-3.93	-4.32	-5.93
779-1	-5.12	-8.52	-6.43	-6.07	-9.44	-10.59	-4.46	-20.57
779-3	1.14	2.87	-5.33	-0.08	-4.22	-3.82	-0.92	-4.78
C38012	4.99	25.87	1.26	-6.18	-10.14	5.99	-2.86	0.95
G-3	6.47	10.33	9.53	-0.42	-0.12	1.48	3.45	4.06
N1150	-2.78	-11.97	4.72	4.43	6.76	11.23	8.45	16.04
N045	4.46	6.91	1.40	3.75	13.49	8.64	8.50	17.14
N33	0.71	-6.67	2.49	-3.47	-6.30	-6.90	1.17	-7.21
SU17	5.02	5.55	3.76	-5.05	6.12	-0.73	-6.21	-9.26
Z544	-1.14	-14.95	-6.63	9.74	6.54	-0.45	-3.23	-2.06
内自 N36	-1.95	-8.19	-6.18	1.16	-0.49	-0.86	-0.91	0.56
内自 268	-5.69	-16.31	-4.47	7.20	13.64	9.44	8.67	15.01
济 533	-6.53	-4.78	-2.07	3.53	0.18	-0.76	-4.57	0.97
4011	4.96	6.37	3.08	2.23	2.80	1.38	4.54	2.81
F06	3.51	16.03	3.72	-7.99	-8.61	-6.36	0.58	-10.43
F15	5.70	6.87	5.91	-6.12	-7.51	-2.84	-8.32	-8.93

2.3 单株产量特殊配合力相对效应分析 组合单株产量 SCA 相对效应分析表明(表 3),72 个组合中有 39 个组合 SCA 相对效应值为正,33 个组合为负,其中,N33×内自 268、779-1×F06、Z544×4011、G-3×内自 N36、779-3×内自 268、G-3×济 533、SU17×内自 N36、N33×F06 和 N98×F06 表现较好,单株产量 SCA 相对效应值依次为 30.61、29.72、25.55、24.69、24.17、23.99、21.79、21.61 和 20.81;G-3×内自 268、N045×F06、N33×济 533、Z544×济 533、779-1×内自 N36、G-3×F06 和 779-1×4011 表现较差,单株产量 SCA 相对效应值分别为 -39.54、-33.70、-30.39、-28.30、-24.69、-21.08 和 -20.33。

2.4 杂种优势群分析 以 3 对测验种为参照分析杂种优势群,在测验种固定的情况下,分别估算被测系与每对测验种之间的单株产量 SCA 相对效应值,SCA 较低的划入同一杂种优势群。结果表明(表 4),以内自 N36 和内自 268 为参照,

表 3 单株产量特殊配合力相对效应值

Table 3 SCA effect value for yield per plant

自交系 Lines	内自 N36 Neizi N36	内自 268 Neizi 268	济 533 Ji 533	4011	F06	F15
N98	17.26	-31.42	-3.32	7.89	20.81	-11.23
N303	-9.74	6.92	5.07	-8.59	-5.94	12.28
1F1-1	-8.45	3.91	4.30	-14.91	19.95	-4.80
779-1	-24.69	0.10	8.83	-20.33	29.72	6.36
779-3	-16.74	24.17	13.84	-7.90	5.50	-18.88
C38012	7.61	6.91	-19.61	2.93	-14.86	17.02
G-3	24.69	-39.54	23.99	2.12	-21.08	9.83
N1150	-0.41	1.07	-1.81	11.14	-15.36	5.38
N045	13.79	11.78	14.14	4.86	-33.70	-10.87
N33	-11.78	30.61	-30.39	-2.07	21.61	-7.97
SU17	21.79	-19.56	13.25	-0.68	1.43	-16.24
Z544	-13.33	5.06	-28.30	25.55	-8.08	19.11

N303、1F1-1、779-1、779-3、N1150、N33 和 Z544 可划入内自 N36 一群; N98、C38012、G-3、N045 和 SU17 可划入内自 268 一群。以济 533 和 4011 为参照, N98、C38012、N1150、N33 和 Z544 可归为济 533 一群; N303、1F1-1、779-1、779-3、G-3、N045 和 SU17 可归为 4011 一群。以 F06 和 F15 为参照, N303、C38012、G-3、N1150、N045 和 Z544 可与 F06 划为一群; N98、1F1-1、779-1、779-3、N33 和 SU17 可与 F15 划为一群。

以上分析表明, 1F1-1、779-1 和 779-3 无论以哪一对被测系为参照均可划入同一杂种优势群, 为减少杂种优势

群, 提高育种效率, 将与 1F1-1、779-1 和 779-3 同群的内自 N36、4011 和 F15 归为 A 群, 内自 268、济 533 和 F06 归为对应群 B 群。利用被测系与 A 群和 B 群各测验种的测交组合单株产量平均值估算 SCA 相对效应值, 并根据 SCA 划分杂种优势群, 结果表明, N303、1F1-1、779-1、779-3 和 N33 可归为 A 群, N98、C38012、G-3、N1150、N045、SU17 和 Z544 可归为 B 群。系谱分析表明, 内自 N36 与 N33、779-1 与 779-3 为姊妹系, 且所含 Reid 血缘比重较大, 血缘关系近; F06、G-3、N045 和 Z544 含热带血缘比重较大; 这些自交系都划入对应的杂种优势群中, 说明该划群方法有较大的合理性。

表 4 对应组合单株产量特殊配合力相对效应值

Table 4 SCA effect value for yield per plant of corresponding combination

自交系 Lines	内自 N36 Neizi N36	内自 268 Neizi 268	济 533 Ji 533	4011	F06	F15	A 群 Group A	B 群 Group B
N98	22.58	-22.58	-5.50	5.50	17.74	-17.74	4.64	-4.64
N303	-7.73	7.73	6.71	-6.71	-10.09	10.09	-2.02	2.02
1F1-1	-5.73	5.73	9.43	-9.43	13.70	-13.70	-9.39	9.39
779-1	-11.50	11.50	14.31	-14.31	12.93	-12.93	-12.88	12.88
779-3	-18.98	18.98	10.67	-10.67	13.50	-13.50	-14.50	14.50
C38012	0.32	-0.32	-11.06	11.06	-17.65	17.65	9.19	-9.19
G-3	29.80	-29.80	10.73	-10.73	-17.12	17.12	12.21	-12.21
N1150	-0.69	0.69	-6.35	6.35	-11.48	11.48	5.36	-5.36
N045	0.93	-0.93	4.55	-4.55	-12.64	12.64	2.59	-2.59
N33	-19.66	19.66	-13.90	13.90	16.37	-16.37	-7.27	7.27
SU17	19.18	-19.18	6.84	-6.84	9.78	-9.78	1.62	-1.62
Z544	-8.53	8.53	-26.42	26.42	-15.05	15.05	10.44	-10.44

3 结论与讨论

配合力高低是评价育种材料应用潜力的重要指标, 玉米自交系配合力的测定常利用代表几大杂种优势群的标准测验种进行^[1-6]。该研究以强优势组合的 3 对亲本自交系为测验种, 分析了 12 份新选自交系与其配合力的表现, 结果显示, N045、N1150、内自 268 和 N303 单株产量 GCA 相对效应值较高, 用其配制的组合增产的可能性大; N303、N1150、N045、4011 和内自 268 穗部性状 GCA 表现较好, 用这 5 个自交系配制的组合穗部综合性状较优的概率大; N98、779-1、N1150、Z544、内自 N36、内自 268 和济 533 株高和穗位高 GCA 相对效应值均为负, 用它们配制的组合可有效地降低株高和穗位高。

通过合理划分杂种优势群和建立杂种优势模式, 使自交系的组配方向更加明确, 可避免选配的盲目性, 增加筛选出强优势组合的几率。目前, 我国玉米种质主要分为 Reid、四平头、旅大红骨、Lancaster、P 群和热带种质群等^[7-12], 形成了多个杂种优势模式。过多的杂种优势群和杂种优势模式, 在育种基础材料的创建和杂交组合的组配过程中会带来困惑, 尽量简化杂种优势群和模式, 才能高效利用杂种优势, 提高玉米育种效率。王建军等^[13]根据组合的产量 SCA 和中亲优势将 12 个外来群体划分为 A、B 和 D 群, 建议在改良外来群体适应性的基础上, 可以我国 A、B、D 类群种质为核心, 利用群体内种质构建复合种质并进行改良, 逐步拓宽我国玉米种质。李明顺等^[14]根据系谱和产量 SCA 分析, 对 22 个来自 CIMMYT 的亚热带 QPM 自交系进行杂种优势群划分, 认为

来源于群 Poo132、UWO417、WOMTA、CYO、Poo133 的自交系可划为 QA 群; 来源于群体 Poo134 和 UYO 的自交系可划为 QB 群; Pob67 和 Pob68 遗传基础比较丰富, 尚不能确定属于哪一类群。

该研究先以 3 对测验种为参照, 在测验种固定的情况下, 利用单株产量 SCA 相对效应值划分杂种优势群, 结果发现, 1F1-1、779-1 和 779-3 无论以哪一对被测系为参照均可划入同一杂种优势群; 后将与 1F1-1、779-1 和 779-3 同群的内自 N36、4011 和 F15 归为 A 群, 内自 268、济 533 和 F06 归为对应群 B 群, 利用被测系与 A 群和 B 群各测验种的测交组合单株产量平均值估算 SCA 相对效应值, 最终根据 SCA 将 18 个自交系划分为 A、B 2 个杂种优势群, 并结合系谱分析验证了该方法划分杂种优势群具有一定的可靠性。

参考文献

- [1] 李新海, 徐尚忠, 李建生, 等. CIMMYT 群体与中国骨干玉米自交系杂种优势关系的研究[J]. 作物学报, 2001, 27(5): 575-581.
- [2] 陈彦惠, 张世煌, 吴连成, 等. 中国主要玉米改良群体杂种优势组合模式的初步评价[J]. 华北农学报, 2002, 17(4): 30-36.
- [3] 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.
- [4] 孙海燕, 蔡一林, 王国强, 等. 10 个玉米自交系穗部性状的配合力分析[J]. 玉米科学, 2006, 14(4): 61-63.
- [5] 王元东, 陈绍江, 段民孝, 等. 玉米 P 群自交系与国内传统骨干系的杂种优势表现及其配合力分析[J]. 玉米科学, 2006, 14(4): 21-25.
- [6] 桑志勤, 陈树宾, 段震宇, 等. 新疆中熟玉米自交系配合力分析和杂种优势群研究[J]. 西北农业学报, 2014, 23(3): 31-35.
- [7] 王懿波, 王振华, 王永普, 等. 中国玉米主要种质杂种优势利用模式研究[J]. 中国农业科学, 1997, 30(4): 16-24.
- [8] 赵久然, 郭景伦, 郭强, 等. 应用 RAPD 分子标记技术对我国骨干玉米自交系进行类群划分[J]. 华北农学报, 1999, 14(1): 32-37.

续表 4

年度 Year	试验地点 Test sites	推荐施氮量 Recommended nitrogen amount	回归方程得出施氮量 The amount of nitrogen concluded from regression equation	推荐施磷量 Recommended phosphate amount	回归方程得出施磷量 The amount of phosphate concluded from regression equation	推荐施钾量 Recommended potassium amount	回归方程得出施钾量 The amount of potassium concluded from regression equation
	北埂村汪香六	180	155.25	120	61.20	150	168.30
	安宁村吕贤梅	180	131.70	120	69.45	150	141.75
	庙岭村杨自来	300	210.00	150	229.95	180	175.95
	庙岭村杨自杰	300	399.90	150	326.85	180	320.25
	庙岭村曹长明	300	314.10	150	310.95	180	262.50
	庙岭村王为义	300	242.85	150	188.40	180	151.65
	头坡村潘江星	300	295.50	150	281.70	180	230.70
2011	百子山村王维杰	300	253.95	150	209.40	180	138.00
	中心村王克中	300	243.15	150	193.95	180	160.50
2012	镇江村裴全球	300	365.70	180	53.10	180	82.50
	安原村王中才	300	219.90	180	92.70	180	145.65
2013	安原居委会谢月兰	210	257.85	120	87.60	180	141.45
	红星村李德富	210	275.70	120	103.65	180	142.80

表 5 油菜“3414”试验点肥料利用率

Table 5 Fertilizer utilization rate of rape “3414” test sites

%

编号 No.	试验地点 Test sites	氮肥利用率 Nitrogen utilization rate	磷肥利用率 Phosphate utilization rate	钾肥利用率 Potassium utilization rate	编号 No.	试验地点 Test sites	氮肥利用率 Nitrogen utilization rate	磷肥利用率 Phosphate utilization rate	钾肥利用率 Potassium utilization rate
1	镇江村裴全球	43.86	8.54	45.41	15	北埂村鲍六零	36.60	7.10	52.10
2	镇江村裴中江	39.35	3.08	31.53	16	庙岭村吴忠杰	52.50	22.58	23.21
3	新闸村冯定韵	39.35	7.30	42.16	17	头坡村陈帮杰	46.57	35.09	25.06
4	北埂村汪香六	43.15	10.02	36.81	18	头坡村潘江星	32.93	12.65	19.71
5	安宁村吕贤梅	40.33	3.87	26.22	19	头坡村戴家国	31.44	13.91	18.56
6	庙岭村杨自来	36.00	18.60	28.00	20	柏子村刘长林	40.90	33.67	34.20
7	庙岭村杨自杰	36.09	25.13	44.45	21	百子山村王维杰	39.10	21.80	26.80
8	庙岭村曹长明	39.90	24.68	21.95	22	中心村王克中	39.30	18.10	19.80
9	庙岭村王为义	30.40	24.00	27.40	23	镇江村裴全球	43.30	5.25	40.00
10	头坡村潘江星	39.00	11.40	31.40	24	安原居委会王中才	31.15	8.50	40.98
11	镇江村裴全球	42.60	30.60	34.10	25	安原居委会谢月兰	47.60	4.70	36.40
12	红星村汪胜利	47.30	30.83	11.23	26	红星村李德富	35.00	7.00	36.40
13	安宁村胡龙贵	21.20	4.30	48.10		平均利用率 Average utilization ratio	39.59	15.48	32.98
14	北埂村刘道海	54.40	9.70	55.60					

3 小结

(1) 2009—2013 年在安庆市大观区分别安排油菜“3414”试验 26 处, 油菜“3414”试验得出了最佳施肥量是 N 131.70 ~ 399.90 kg/hm²、P₂O₅ 47.85 ~ 326.85 kg/hm²、K₂O 77.55 ~ 320.25 kg/hm², 结合当地实际, 油菜推荐施肥量是 N 180 ~ 360 kg/hm²、P₂O₅ 120 ~ 150 kg/hm²、K₂O 150 ~ 180 kg/hm²。

(2) 26 个小区试验中处理 6 出现最大产量 10 次, 最佳效益 11 次, 说明处理 6(N₂P₂K₂) 施肥水平在该区比较合理。

(3) 小区试验中, 作物油菜的氮、磷、钾平均利用率分别为 39.59%、15.48% 和 32.98%。

参考文献

- [1] 徐三伢, 晶桥镇水稻“3414”肥效试验总结[J]. 现代农业科技, 2009(20): 19-20.
- [2] 文建平. 测土配方施肥对水稻经济性状、产量及经济效益的影响[J]. 江西农业学报, 2013, 25(1): 52-54, 59.
- [3] 徐元招, 劳栋添, 胡玉仪, 等. 开平市水稻测土配方施肥田间肥效试验[J]. 农业科技通讯, 2013(3): 79-81.
- [4] 周春萍, 杨晓力, 龙安西. 水稻 3414 测土配方施肥试验结果分析[J]. 耕作与栽培, 2011(4): 17-18.
- [5] 汤伯伟, 阙惠庭, 叶国平, 等. 水稻测土配方施肥“3414”试验[J]. 现代农业科技, 2009(19): 20, 23.
- [6] 魏祥, 高鹏, 何文, 等. 水稻“3414”肥效试验初报[J]. 现代农业科技, 2011(12): 57, 60.

(上接第 36 页)

- [9] 袁力行, 傅骏骅, WARBURTON M, 等. 利用 RFLP、SSR、AFIP 和 RAPD 标记分析玉米自交系遗传多样性的比较研究[J]. 遗传学报, 2000, 27(8): 725-733.
- [10] 滕文涛, 曹靖生, 陈彦惠, 等. 十年来中国玉米杂种优势群及其模式变化的分析[J]. 中国农业科学, 2004, 37(12): 1804-1811.
- [11] 袁力行, 傅骏骅, 张世煌, 等. 利用 RFLP 和 SSR 标记划分玉米自交系

- 杂种优势群的研究[J]. 作物学报, 2001, 27(2): 149-156.
- [12] 曾孟潜, 吉海莲, 李九云, 等. 玉米杂种优势群及其杂交利用模式概念的形成与发展[J]. 华北农学报, 2007, 22(6): 30-37.
- [13] 王建军, 雍洪军, 张晓晓, 等. 12 个外来玉米群体与我国主要种质配合力效应和杂种优势分析[J]. 作物学报, 2012, 38(12): 2170-2177.
- [14] 李明顺, 张世煌, 潘光莹, 等. CIMMYT 亚热带优质蛋白玉米自交系的配合力和杂种优势群分析[J]. 中国农业科学, 2005, 38(4): 671-677.