

## 18个玉米自交系的配合力研究

张华, 卢庭启, 蒋晓芳, 王秀全, 何丹, 税红霞, 庞启华 (四川省绵阳市农业科学研究院, 四川绵阳 621023)

**摘要** [目的] 探明 18 个遗传背景不同的玉米自交系在农艺、产量性状方面的配合力, 为该地骨干自交系的改良与玉米杂交种选育提供指导。[方法] 选用骨干自交系绵 714、绵 723 及 18599 为测验种, 采用不完全双列杂交设计, 对 18 个玉米自交系的配合力、杂种优势及主要性状遗传参数进行分析。[结果] 配合力分析结果表明, 自交系渝 9573、1074 在单株产量、穗行数、行粒数等产量性状上具有较高的一般配合力, 自交系 S273 与测验种绵 723 的单株产量特殊配合力最高。[结论] 自交系渝 9573、1074 在产量性状方面表现出较好的一般配合力, 具有较好的育种利用潜力, 自交系 S273 在产量方面与绵 723 有较强杂种优势, 可作为未来高产杂交种的选配模式。

**关键词** 玉米; 自交系; 一般配合力; 特殊配合力

**中图分类号** S513 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)21-0061-04

## Analysis of Combining Ability on 18 Maize Inbred Lines

ZHANG Hua, LU Ting-qi, JIANG Xiao-fang et al (Mianyang Academy of Agricultural Sciences, Mianyang, Sichuan 621023)

**Abstract** [Objective] To detect the combining ability of 18 maize inbred lines on agronomic traits and yield traits, and to provide the theoretical basis for assessing potential value of inbred lines. [Method] With Mian 714, Mian723 and 18599 as the testers, incomplete diallel cross was adopted to analyze the combining ability of 18 maize inbred line, hybrid vigour and genetic parameters of main traits. [Result] The result from combining ability analysis indicated that the GCA of YU9573 and 1074 were high in yield traits, the SCA of S273×Mian723 was high in yield per plant. [Conclusion] Inbred lines YU9573 and 1074 had greater breeding potential, S273×Mian723 could be one important heterosis pattern on maize breeding research in future.

**Key words** Maize; Inbred lines; GCA; SCA

玉米是世界范围内杂种优势利用最为广泛的作物, 现阶段常规玉米育种的主要手段就是通过使用遗传背景不同的玉米自交系组配单交种, 进而在产量、抗病性、抗逆性等方面获取杂种优势, 以此满足人类农业生产的需要。配合力是评判玉米自交系是否具有利用价值的重要标准<sup>[1]</sup>, 大多数优良玉米自交系具有较高的一般配合力和清晰的遗传背景, 在进行杂交种组配时容易获得较高的特殊配合力, 因此提升了育成优良玉米杂交种的概率。近年来, 绵阳市农业科学研究院相继选育出玉米自交系绵 714、绵 723, 以此为亲本相继育成了绵单 581、绵单 118、绵单 1256 等多个省审、国审玉米新品种, 目前已成为四川省玉米育种的核心自交系, 应用前景广阔。为了更好地改良、利用这些核心自交系, 绵阳市农业科学研究院通过国家玉米产业技术体系等科研项目从各地引进了 18 份遗传背景不同的玉米种质, 拟通过遗传交配设计探明绵 714、绵 723 及外引自交系的配合力情况, 以此拓宽种质基础, 丰富绵 714、绵 723 的利用模式, 提升育种效率。前人开展了大量有关不同来源、类型、血缘种质的配合力研究。苟才明等<sup>[2]</sup>对 17 个地方玉米种质选系的配合力进行了研究, 发现筠连红玉米等地方种质一般配合力高, 且与旅大红骨、PA 等我国主要杂种优势群的特殊配合力高, 具有较好的利用价值。李娟等<sup>[3]</sup>对美国先锋杂交种选系的配合力进行了分析, 结果显示先锋杂交种选系与其亲缘关系较远的热带种质 Suwan、Tuxpeno 等进行组配, 较易选育出优良玉米组合。叶雨盛等<sup>[4]</sup>对美国玉米种质改良自交系的配合力进行了研究, 认为从国外引进高水平的种质材料仍然是拓宽玉米

种质的重要手段, 部分美国种质改良系具有较好的抗病性与抗逆性。沈建华等<sup>[5]</sup>对 T32、S273 等 7 个在西南地区应用广泛的 Suwan 自交系配合力开展了研究, 认为 Suwan 种质×Reid 种质、Suwan 种质×旅大红种质、Suwan 种质×地方种质是西南地区玉米育种的主要杂优模式。目前对绵 714、绵 723 等核心自交系的配合力研究及杂种优势模式的研究较少, 限制了绵 714、绵 723 在四川及西南地区玉米育种工作中的应用。鉴于此, 笔者采用不完全双列杂交设计, 探明玉米自交系绵 714、绵 723 及其他外引种质在产量、农艺性状方面的一般配合力与特殊配合力, 研究不同系间的杂种优势模式情况, 为未来玉米自交系的改良及玉米新品种的选育工作提供指导。

## 1 材料与方法

**1.1 试验材料** 供试材料为近年来绵阳市农业科学研究院自育及通过国家玉米产业技术体系等科研项目引进的 18 份玉米自交系, 分别为 ZYDH381-1、辽鉴-2、21209、D599、78599-211、冀丰 52-3、TD-1、渝 9537、S273、奥利 23M、CH435、SD-7、G131、SCML103、1074、绵 609、绵 715、P44。分别以代表热带、温带及 PB 种质的绵 714、绵 723 和 18599 为测验种。

**1.2 试验方法** 2013 年冬以 3 个测验种为父本, 18 个外引自交系为母本, 按照不完全双列杂交设计配制 54 个杂交组合; 2014 年春在绵阳市农业科学研究院松垭试验基地开展田间试验, 采用随机区组设计, 3 次重复, 双行区, 每行 14 株, 密度 54 000 株/hm<sup>2</sup>, 田间管理同大田生产, 每小区取中间 20 株调查株高、穗位高、穗长、秃尖长、穗行数、行粒数、百粒重、出籽率、单株产量等性状获取资料。

## 2 结果与分析

**2.1 基因型差异显著检验** 对 54 个杂交组合的 7 个农艺、经济性状进行方差分析, 结果见表 1。从表 1 可以看出, 株

**基金项目** 四川省科技计划项目(17GJHZ0004); 四川省“十三五”玉米育种攻关(2016NYZ029)。

**作者简介** 张华(1982—), 男, 四川江油人, 高级农艺师, 博士, 从事玉米遗传育种。

**收稿日期** 2018-04-10

高、穗位高等7个农艺、经济性状均达极显著水平,表明7个性状在各杂交组合间存在真实的遗传差异,因此可以进行配合力分析。

表1 7个性状方差分析结果

Table1 Variance analysis results of 7 characters

性状 Traits	自由度 df	平方和 SS	均方 MS	F值 F value
单株产量 Yield per plant	53	129 817.2	2 449.381 5	15.5110**
穗粗 Ear diameter	53	7.881 4	0.148 7	8.350 3**
穗长 Ear length	53	575.242 2	10.853 6	23.110 0**
秃尖长 Sterile length	53	114.580 3	2.161 9	23.779 6**
穗行数 Rows per ear	53	278.745 3	5.259 3	20.786 7**
行粒数 Kernels per ear	53	2 720.013 9	51.321 0	23.429 4**
出籽率 Shelling percentage	53	0.073 8	0.001 3	23.284 4**

注: \*表示在0.05水平上差异显著; \*\*表示在0.01水平上差异极显著

Note: \* indicated significant differences at 0.05 level; \*\* indicated extremely significant differences at 0.01 level

2.2 配合力方差分析 对18个外引进自交系与3个测验种组合的54个组合的8个差异显著性状进行配合力分析,结果见表2。从表2可以看出,3个测验种及18个不同种质

自交系的一般配合力(GCA)及特殊配合力(SCA)差异均达极显著水平,因此可以对一般配合力及特殊配合力效应值进行估算。

### 2.3 一般配合力分析

2.3.1 被测系一般配合力分析。根据不完全双列杂交模型计算GCA的相对效应值,计算结果见表3。从表3可以看出,同一性状各亲本间以及同一亲本各性状间的一般配合力(GCA)存在明显差异,说明不同亲本在同一性状及不同性状在同一亲本上的加性效应大小不同。单株产量GCA效应较高的亲本有渝9573、1074、绵609,均达正向极显著水平,说明这些自交系具有较高的丰产潜力,可能组培出高产组合。进一步对上述自交系其余性状进行分析,得出自交系渝9573的穗长、穗行数、行粒数的效应值均呈正向极显著,秃尖长呈负向极显著,说明该系的综合经济性状较好。自交系1074也具有较好的综合经济性状,穗粗、穗行数、行粒数的效应值均呈正向极显著,秃尖长呈负向极显著。自交系绵609的穗粗、穗行数效应值为负向或未达正向显著,说明该系组配的杂交种可能存在穗行数偏少的问题。综上所述,自交系系渝9573及1074具有较好的利用潜力。

表2 7个性状一般配合力(GCA)与特殊配合力(SCA)方差分析结果

Table 2 Variance analysis results of GCA and SCA of 7 characters

变异来源 Source of variation	单株产量 Yield per plant	穗粗 Ear diameter	穗长 Ear length	秃尖 Sterile length	穗行数 Rows per ear	行粒数 Kernels per ear	出籽率 Shelling percentage
P1	6.802**	1.768**	21.216**	33.413**	1.800**	5.264**	21.760**
P2	2.267**	2.503**	3.958**	4.462**	8.317**	3.336**	4.228**
P1×P2	9.542**	5.525**	8.521**	7.133**	6.154**	12.265**	8.259**

注:P1表示测验种,P2表示被测系,P1×P2表示杂交组合;\*表示在0.05水平上差异显著;\*\*表示在0.01的水平上差异极显著

Note: P1 indicated tester, P2 indicated tested lines, P1×P2 indicated cross combination; \* indicated significant differences at 0.05 level; \*\* indicated extremely significant differences at 0.01 level

表3 18个外引自交系主要经济性状的GCA相对效应值比较

Table 3 Comparison of GCA relative effect sizes of main economic traits for 18 introduced inbred lines

自交系 Inbred lines	单株产量 Yield per plant	穗粗 Ear diameter	穗长 Ear length	秃尖 Sterile length	穗行数 Rows per ear	行粒数 Kernels per ear	出籽率 Shelling percentage
ZYDH381-1	9.52**	3.06**	1.60**	2.38**	2.62**	-2.88	1.54**
辽鉴-2 Liaojian-2	8.73**	-0.39**	5.46**	23.97**	-4.39**	4.73**	-0.65**
21209	2.15	0.61**	-4.03**	-15.96**	5.63**	-1.05	2.15**
D599	-18.86**	-1.84**	-7.89**	45.70**	0.47	-13.15**	-3.92**
78599-211	-2.60	-2.76**	-4.11**	-33.78**	0.86	-1.29	0.24**
冀丰 52-3 Jifeng 52-3	-24.31**	-2.41**	-15.89**	-18.49**	-3.48**	-20.08**	-1.56**
TD-1	-5.57**	-2.02**	3.99**	30.41**	4.20**	3.74*	1.54**
渝 9537 Yu 9537	20.96**	3.88**	9.36**	-47.57**	14.04**	18.57**	0.50**
S273	1.42	-1.37**	1.01**	34.96**	-6.37**	-3.85*	-1.38**
奥利 23M Aoli 23M	-2.75	4.71**	-1.52**	13.89**	0.18	-12.96**	-2.40**
CH435	-4.93*	-4.99**	1.12**	-40.48**	-15.06**	7.93**	0.48**
SD-7	-9.92**	-2.23**	-2.58**	41.21**	0.49	-10.65**	-0.66**
G131	9.08**	4.20**	13.78**	26.51**	2.51**	9.93**	1.96**
SCML103	-12.05**	2.02**	-11.56**	-41.13**	-4.58**	-0.39	1.94**
1074	15.29**	5.94**	1.80**	-13.23**	13.74**	8.98**	1.40**
绵 609 Mian 609	10.25**	-0.02	1.17**	-25.65**	0.75	10.41**	0.65**
绵 715 Mian 715	-3.26	-3.04**	-4.50**	-30.14**	-4.43**	-5.47**	0.28**
P44	6.85**	-3.36**	12.76**	47.39**	-7.20**	7.49**	-2.11**
LSD0.05	4.41	0.03	0.19	0.09	0.99	2.91	0.16
LSD0.01	5.49	0.04	0.26	0.13	1.37	3.86	0.21

注: \*表示在0.05水平上差异显著; \*\*表示在0.01水平上差异极显著

Note: \* indicated significant differences at 0.05 level; \*\* indicated extremely significant differences at 0.01 level

**2.3.2 测验种一般配合力分析。**3 个测验种的一般配合力效应值见表 4。由表 4 可知,3 个测验种中,绵 714 的单株产量、穗长、行粒数、出籽率 GCA 效应值均为正向,部分性状达正向极显著,秃尖性状达负向极显著,表明该自交系综合经济性状较好,缺点是凸尖偏长。绵 723 的单株产量、穗行数、行粒数、出籽率 GCA 效应值均为正值,部分性状达极显著,秃尖性状达负向极显著,但该自交系的穗长效应值为负向极

显著,育种利用时需注意对穗长的选择。自交系 18599 的单株产量、穗长、穗行数、行粒数、出籽率 GCA 效应值均达负向极显著。综上所述,该研究使用的测验种 18599 与 18 个外引自交系的杂种优势偏低,而绵 714、绵 723 与被测系具有较大的利用潜势,可在对 18 个外引自交系的改良、组配等育种工作中进行使用。

表 4 3 个测验种主要经济性状的 GCA 相对效应值

Table 4 GCA effort of economic traits for 3 testers

自交系 Inbred lines	单株产量 Yield per plant	穗粗 Ear diameter	穗长 Ear length	秃尖 Sterile length	穗行数 Rows per ear	行粒数 Kernels per ear	出籽率 Shelling percentage
714	5.45	-1.05**	7.87**	42.82**	-0.01**	1.30*	0.59**
723	4.17	-0.10*	-1.41**	-21.80**	1.34**	4.35**	1.22**
18599	-9.57*	1.16**	-6.46**	-21.01**	-1.33**	-5.66**	-1.81**
LSD0.05	8.78	0.09	0.46	0.22	0.34	1.03	0.02
LSD0.01	11.62	0.13	0.63	0.29	0.45	1.37	0.03

注: \* 表示在 0.05 水平上差异显著; \*\* 表示在 0.01 水平上差异极显著

Note: \* indicated significant differences at 0.05 level; \*\* indicated extremely significant differences at 0.01 level

**2.4 特殊配合力分析** 根据不完全双列杂交组合模型估算 54 个组合的 SCA 相对效应值,并按各性状 SCA 效应正向、负向进行归类,结果见表 5。从表 5 可知,各性状效应值为正向和负向的杂交组合数相当,但正向和负向效应值变幅较大。变幅最大的性状为秃尖,为-50.92~58.33,变幅最小的性状为出籽率,为-2.16~2.48。7 个 SCA 效应值为正向或负向的性状中,单株产量、穗长 SCA 效应值最大的为 723-S273,穗粗效应值最大的是 18599-G131,穗行数 SCA 效应值最大的是 723-1074,行粒数 SCA 效应值最大的是 723-715,出籽

率 SCA 效应值最大的是 18599-1074,凸尖负向效应值最大的为 723-SD7。效应值最大的组合中(凸尖为负向效应值最大),测验种 723 出现了 5 次,18599 出现了 2 次,被测系中 S273、SD7 各出现了 2 次。结合一般配合力分析结果可以看出,针对同一性状,大多数 SCA 高的组合至少有一个亲本具有较高的 GCA,但也有个别组合双亲 GCA 较高,但 SCA 表现却很低。因此,在玉米育种工作实践中,GCA 与 SCA 都非常重要,要组配综合性状优良的玉米杂交组合,双亲之一应当具有较高的 GCA,并在此基础上结合 SCA 进行选择、组配。

表 5 不同性状 SCA 效应值归类分析

Table 5 Classification analysis of SCA effects of different characters

性状 Traits	正向组合数 Positively significant hybrids	负向组合数 Negatively significant hybrids	效应值变幅 Range of SCA effects	正向效应值最大的组合 Hybrids with max positive SCA effects	负向效应值最大的组合 Hybrids with max negative SCA effects
单株产量 Yield per plant	29	25	-28.69~24.79	723-S273	723-SCML203
穗粗 Ear diameter	24	30	-5.64~7.89	18599-G131	723-SCML203
穗长 Ear length	30	24	-13.23~11.91	723-S273	714-S273
凸尖 Sterile length	26	28	-50.92~58.33	714-SD7	723-SD7
穗行数 Rows per ea	26	28	-8.28~11.92	723-1074	714-1074
行粒数 Kernels per ear	28	26	-14.52~12.42	723-715	723-SCML203
出籽率 Shelling percentage	29	25	-2.16~2.48	18599-1074	714-奥利 23M

**2.5 性状遗传参数分析** 根据不完全双列杂交模型,计算主要性状的遗传参数,结果见表 5。由表 5 可知,穗长、凸尖、穗行数、出籽率 4 个性状的加性方差大于非加性方差,表明这些性状主要受加性基因控制,非加性基因的作用较小。杂交种选配过程中,要选择穗长、凸尖、穗行数、出籽率性状优良的亲本,才能更好地发挥基因的加性作用。单株产量、穗粗、行粒数 3 个性状的非加性方差大于加性方差,表明这些性状受非加性基因作用更大,在杂交种组配过程中对特殊配合力的利用更为重要。从表 5 还可以看出,穗长、穗行数、凸尖、出籽率的广义遗传力和狭义遗传力都较高,且加性效应

大于显性效应,受环境影响较小,在自交系选择过程中可进行早代选择;单株产量、穗粗、行粒数的广义遗传力较高,但狭义遗传力偏低,且显性效应大于加性效应,不宜在自交培育过程中对 3 个性状进行过早选择。

### 3 讨论

配合力是评价玉米自交系优劣的重要指标,优良自交系必然具有较高的一般配合力。当前玉米育种实践中主要采用选育二环系的方法培育自交系,运用具有较高一般配合力的自交系构建选系基础材料进行选系,能够显著提高新育成自交系的一般配合力水平<sup>[6]</sup>。该研究显示,被测系中单株产

量 GCA 表现最突出的是自交系渝 9573、1074, 绵 609, 且穗长、穗行数、行粒数等构成产量因子的 GCA 表现均较好。测验种中单株产量 GCA 表现较好的是自交系绵 714 与绵 723, 其中绵 723 的穗行数、行粒数、出籽率 GCA 效应值也均为正值, 说明上述自交系均具有较大的育种利用潜力, 能够在单

株产量、穗长等产量性状方面提供有益的遗传增益, 可以作为组建育种基础材料的种质资源。但上述自交系也存在部分缺点, 例如自交系绵 723 的穗长偏短, 绵 609 的穗粗偏细, 因此均需要导入含有互补基因的种质进行改良。

表 6 主要性状的遗传参数比较

Table 6 Comparison of the genetic parameters of main characters

性状 Traits	加性方差 Additive variance	非加性方差 Non-additive variance	环境方差 Environmental variance	广义遗传力 Heritability in broad sense//%	狭义遗传力 Heritability in narrow sense//%
单株产量 Yield per plant	212.223 0	449.636 1	157.912 3	83.91	38.11
穗粗 Ear diameter	0.016 4	0.026 9	0.017 8	71.51	28.54
穗长 Ear length	1.315 6	1.177 6	0.469 6	89.47	63.08
凸尖 Sterile length	0.249 5	0.185 9	0.090 9	90.07	69.77
穗行数 Rows per ear	1.266 1	0.434 7	0.253 0	87.20	65.21
行粒数 Kernels per row	6.973 4	8.225 4	2.190 5	88.77	46.63
出籽率 Shelling percentage	0.000 2	0.000 1	0.000 1	89.54	64.22

能否组配出高产优质杂交种的关键在于双亲是否具有较高的特殊配合力, 而来源于不同杂种优势群的自交系往往具有较高的特殊配合力, 组配优良杂交组合的概率较高。我国西南地区常见的杂种优势群有 Lancaster、Reid、四平头、热带种质等, 西南地区推广的大多数杂交种都是在热带种质与 Reid、Lancaster、旅大红骨之间组配, 温带自交系×热带自交系是西南地区杂种优势利用的主要模式。该研究结果显示, 自交系绵 723 与 S273 的单株产量 SCA 效应值最高; 自交系绵 723 是典型的温带自交系, 含有 Reid 血缘; 自交系 S237 含有 SUWAN 种质血缘, 是典型的热带种质自交系, 研究结果进一步印证了温带自交系×热带自交系是西南地区最常见的高产组配模式。综上所述, 育种工作者在自交系培育及杂交种组配过程中, 应对自交系的一般配合力、特殊配合力以及血缘关系进行综合考虑, 从而提升育种效率<sup>[7-9]</sup>。

#### 4 结论

一般配合力分析结果表明, 自交系渝 9573、1074 在单株产量、穗长、穗行数、行粒数等产量性状上表现出较好的一般配合力, 在自交系的改良、高产杂交种选配等育种工作中具有一定的利用潜力, 是较好的基础育种材料; 特殊配合力分

析结果表明, 测验种绵 723 与 S273 具有较强的杂种优势, 可作为高产杂交种的组配模式。下一步育种工作中可针对 2 个自交系进行定向改良, 如改良 S273 秃尖过长、穗行数偏少的缺点, 为下一轮优良玉米新品种选育提供种质基础。

#### 参考文献

- [1] 祝学刚, 杨昌河, 陈坤. 16 个玉米自交系主要农艺性状配合力分析[J]. 贵州农业科学, 2012, 40(1): 1-4.
- [2] 苟才明, 黄宁, 余世权, 等. 17 个玉米地方种质选系的杂优类群分析[J]. 核农学报, 2015, 29(5): 821-829.
- [3] 李娟, 陈泽辉, 祝云芳, 等. 美国先锋玉米杂交种选系的配合力[J]. 贵州农业科学, 2011, 39(9): 5-8.
- [4] 叶雨盛, 李月明, 郝楠, 等. 美国玉米种质改良系主要数量性状配合力分析[J]. 西北农业学报, 2011, 20(6): 69-73.
- [5] 沈建华, 任洪, 徐如宏, 等. Suwan 种质玉米自交系的配合力分析[J]. 贵州农业科学, 2012, 40(4): 14-16.
- [6] 高瑞景, 李泾孝, 张仁和, 等. 两种密度系谱法选择玉米自交系的一般配合力分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(6): 56-60.
- [7] 陈发波, 杨克诚, 荣廷昭, 等. 西南及四川区试玉米组合主要性状分析及育种对策探讨[J]. 玉米科学, 2007, 15(4): 41-45.
- [8] 番兴明, 谭静, 杨峻芸. 热带、亚热带外来玉米种质的利用[J]. 西南农业学报, 2000, 13(1): 107-111.
- [9] 秦燕, 任伟, 杨克诚. 2 个玉米人工合成群体 S<sub>2</sub> 主要性状的配合力分析[J]. 华北农学报, 2007, 22(2): 34-38.

## 科技论文写作规范——数字

公历世纪、年代、年、月、日、时刻和各种计数和计量, 均用阿拉伯数字。年份不能简写, 如 1990 年不能写成 90 年, 文中避免出现“去年”“今年”等写法。小于 1 的小数点前的零不能省略, 如 0.245 6 不能写成 .245 6。小数点前或后超过 4 位数(含 4 位数), 从小数点向左右每 3 位空半格, 不用“,”隔开。如 18 072.235 71。尾数多的数字(5 位以上)和小数点后位数多的小数, 宜采用  $\times 10^n$  ( $n$  为正负整数) 的写法。数字应正确地写出有效数字, 任何一个数字, 只允许最后一位存在误差。