文章编号：1005-0906(2011)03-0047-04

加拿大玉米群体与我国主要玉米种质杂种优势关系分析

王振华[1],赵英男[2],孙广全[3],张 林[1],邸 宏[1]
(1.东北农业大学,哈尔滨 150030；2.黑龙江垦丰种业有限公司,哈尔滨 150088；
3.黑龙江省农业科学院作物育种研究所,哈尔滨 150086)

摘 要：将 20 个加拿大早熟玉米群体与 4 个我国主要种质类群的代表自交系按照 NCⅡ设计组配 80 个测交组合,2006、2007 年进行田间鉴定试验，研究引进群体与我国主要种质类群的杂种优势关系。结果表明,EP1、EP9、EP14、EP15、EP16 和 EP17 群体单株产量等综合性状一般配合力效应表现较好;EP1、EP8 和 EP19 群体属于塘四平头群,EP12、EP14、EP15 和 EP22 属于 Reid 群,EP17、EP20、EP21 和 EP23 属于 Lancaster 群,EP3、EP6、EP7、EP9、EP10、EP11、EP13、EP16 和 EP18 属于旅大红骨群;加拿大早熟玉米群体与旅大红骨类群的杂种优势最强。

关键词：玉米;加拿大种质;国内种质;杂种优势
中图分类号：S513.024 **文献标识码**：A

Heterosis Analysis Between Canadian Maize Populations and Chinese Maize Elite Germplasm

WANG Zhen-hua[1], ZHAO Ying-nan[2], SUN Guang-quan[3], ZHANG Lin[1], DI Hong[1]
(1. *Northeast Agricultural University, Harbin* 150030; 2. *Heilongjiang Ken Feng Seed Co., Ltd, Harbin* 150088;
3. *Institute of Breeding, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin* 150086, China)

Abstract: Twenty early-maturing Canadian maize populations were crossed with 4 elite Chinese inbred lines to produce 80 combinations by NCII design. These hybrids were tested to study heterosis analysis between import populations and Chinese main populations in Harbin during 2006 and 2007. The results showed that EP1, EP9, EP14, EP15 and EP17 showed the better general combining ability effect in comprehensive traits; EP1, EP8 and EP19 were belonging to Sipingtou group; EP12, EP14, EP15 and EP22 belonging to PA group; EP17, EP20, EP21and EP23 belonging to Lancaster group; and EP3, EP6, EP7, EP9, EP10, EP11, EP13, EP16 and EP18 belonging to Ludahonggu group. The heterosis between early-maturing Canadian maize populations and Luda red group was showed the strongest.

Key words: Maize; Canadian germplasms; Domestic germplasms; Heterosis

玉米种质基础狭窄已成为长期制约玉米生产发展的瓶颈[1]。我国玉米育种工作者对国内种质资源进行了大量研究，认为玉米杂交种面临着亲本较少和骨干系集中等问题,其中早熟玉米种质缺乏尤为突出[2~4]。引进、鉴定和利用外来早熟种质,拓宽我国早熟玉米种质基础，对提高玉米育种效率具有重要意义[5]。美国玉米带的生态条件与我国北方春玉米区相近，美国玉米种质在我国早熟玉米区具有重要的利用价值，如自交系 Mo17 和杂交种先玉 335 等都发挥了重要作用。Troyer 等[6]报道,在美国,瑞德黄马牙 (包括 BSSS)、Minnesota 13、Lancaster Sure Crop、西北马齿、Leaming 这 5 个古老的 OPV 占玉米杂交种遗传基础的 85%，其主要杂种优势模式为 Reid × non-Reid。加拿大玉米种质资源大部分来源于美国,加拿大早熟玉米产区与我国黑龙江省生态条件相近,其种质资源兼具抗丝黑穗病等优点[7],因此加拿

收稿日期：2010-05-24
基金项目：“十一五”引进国际先进农业科学技术重大合作项目(2006-G3)、国家“十一五”支撑计划(2006BAD01A03)、国际合作项目专项资金(2007DFA31010)
作者简介：王振华(1965-),男,黑龙江海伦人,教授,博士,主要从事玉米遗传育种。Tel:0451-55190021
E-mail:zhenhuawang_2006@163.com

大玉米种质对拓宽我国玉米种质具有重要价值。利用外引种质应在农艺性状评价基础上研究其与国内主要类群的杂种优势关系,进而明确改良途径。借助数量遗传学方法，采用产量特殊配合力是研究种质杂种优势关系的有效手段[8~10]。本研究引进的20个加拿大玉米群体具有早熟和抗玉米丝黑穗病等优点，但其配合力表现及与国内种质间的杂种优势关系研究较少。本文在研究加拿大早熟玉米群体性状配合力表现的基础上，分析其与我国主要种质的杂种优势关系，进而提出利用加拿大群体拓宽我国早熟玉米种质基础的策略。

1 材料与方法

20个加拿大早熟玉米群体由中国农业科学院作物科学研究所引入，群体的相关信息见参考文献[7]。2005年以20个供试群体为父本、4个测验种为母本,采用NCⅡ遗传交配设计,配制80个杂交组合。分别于2006年和2007年在黑龙江省哈尔滨市东北农业大学实验实习基地对这些杂交组合进行田间鉴定。试验采用分组随机区组设计，按测验种分成4组,3次重复,3行区,行长6 m,行距70 cm,株距30 cm,每穴单株保苗。成熟期选取每小区中间10株进行收获和考种,田间管理同一般大田。

以小区均值为单位，利用Excel 2003和DPS 7.05软件，按不同性状将2年数据进行联合方差分析。按郭平仲所述方法估算一般配合力(GCA)和特殊配合力(SCA)效应值[11]。根据平均优势值对20个加拿大早熟玉米群体进行杂种优势分析，并根据SCA效应值划分杂种优势群，进一步分析供试群体的杂种优势利用途径。平均杂种优势:$H_1=(F_1-X_1)/X_1\times 100\%$,$X_1$为所有杂交组合产量的平均值。

2 结果与分析

2.1 玉米产量及相关性状联合方差分析

8个性状联合方差分析结果列于表1。从表1可见，组合间各性状差异均达到了极显著水平，说明20个群体与测验种组配的杂交组合间存在真实差异年份间各性状差异也达到极显著水平，说明年际间气候等的差异严重影响植物的生长发育，除出籽率外其他7个性状年份与组合间互作效应同样达到极显著水平。配合力联合方差显示,加拿大群体除穗粗和出籽率GCA效应差异显著外，其余各性状的GCA方差均达到极显著水平,说明供试加拿大群体在各个性状上都有明显的差异；测交组合各个性状SCA方差均达到极显著水平。

表1 供试群体产量及相关性状联合方差分析结果

Table 1 Results of varance analysis of the tested populations on yield and related traits

变异来源 Variation source	穗 长 Ear length	秃尖长 Barren ear tip	穗 粗 Ear diameter	穗行数 Ear rows	行粒数 Kernels per row	百粒重 100-grain weight	出籽率 Shelling percentage	单株产量 Yield per plant
年份间	284.44**	3 336.65**	561.65**	335.61**	399.40**	10.70**	10.14**	782.89**
组合间	10.04**	3.33**	4.23**	28.72**	6.28**	2.48**	1.65**	16.95**
年份×组合	1.79**	2.47**	1.44**	2.78**	2.12**	2.43**	1.03	8.01**
测验种 GCA	52.42**	22.79**	90.96**	412.91**	29.08**	29.08*	39.47**	21.44**
群体 GCA	3.16**	2.35**	1.96*	5.84**	2.13**	2.13**	1.82*	2.22**
组合 SCA	4.84**	2.01**	2.12**	1.74**	3.81**	3.81**	2.36**	3.06**

注:*、** 分别表示在0.05、0.01水平上显著。

Note: * and ** mean significant at 0.05 and 0.01 probability level, respectively.

2.2 加拿大群体一般配合力效应分析

由表2可以看出,单株产量GCA效应表现为正效应的有9个群体,其中EP14单株产量GCA效应最高,EP8的GCA效应最小。进一步分析可知,单株产量GCA效应较大的群体,其多数产量构成因素的GCA效应表现较好，如群体EP1、EP9、EP15、EP17等。个别群体配合力效应表现不同,如EP10单株产量GCA效应表现较小，而产量构成因子仅穗粗GCA效应表现很小，其余相关性状的GCA效应都表现都很大;EP21单株产量GCA效应值较大,而7个产量构成因子中仅有穗粗和百粒重的GCA效应值较大。

综合分析发现，单株产量及构成因子综合性状GCA效应表现较大的群体为EP1、EP14，其次为EP9、EP15、EP16和EP17，这些群体总体表现为单株产量、穗长、穗粗、行粒数和百粒重GCA效应为正值,且多数群体出籽率GCA效应也较大,表现出较高的利用潜力。

表 2　供试群体 8 个产量相关性状 GCA 效应值

Table 2　GCA effect value of 8 characters related with yield of the tested population

代 号 Code	单株产量 Yield per plant	穗 长 Ear length	秃尖长 Barren ear tip	穗 粗 Ear diameter	穗行数 Ear rows	行粒数 Kernels per row	百粒重 100-grain weight	出籽率 Grain setting ratio
EP1	3.16	4.47	-15.47	1.61	-3.95	5.39	1.68	-0.19
EP3	0.90	0.24	-4.12	-1.61	-3.78	-0.79	3.24	2.46
EP6	-0.14	0.06	-1.60	-0.64	-3.19	-1.99	-2.69	-0.90
EP7	0.43	6.63	5.46	-4.95	1.21	3.56	-0.99	0.31
EP8	-4.55	3.01	13.07	1.87	4.58	-0.01	4.81	-1.09
EP9	0.79	1.72	19.39	2.47	1.35	-1.21	3.62	0.77
EP10	-0.27	1.22	-1.41	-1.91	3.77	5.06	0.90	2.20
EP11	-0.86	-3.08	-7.68	0.90	2.49	-0.08	-1.55	1.00
EP12	-1.42	-1.86	5.95	0.78	0.05	-6.06	1.58	-0.15
EP13	-2.80	1.36	2.39	-0.48	-2.40	2.28	-1.41	-0.06
EP14	4.77	-0.78	-4.36	3.64	2.01	0.32	3.62	-0.74
EP15	4.46	0.88	3.86	0.12	1.61	0.97	4.30	-0.34
EP16	0.91	1.84	0.24	1.99	-0.95	-0.83	-1.97	1.24
EP17	4.71	3.29	6.87	3.36	0.27	3.59	3.50	-2.61
EP18	-2.23	-0.70	-4.79	-1.53	4.24	4.75	-16.80	-3.05
EP19	-2.28	-2.32	-11.18	1.25	1.94	2.35	-4.67	0.55
EP20	-3.83	-1.75	7.98	-2.19	-0.15	-1.17	-3.05	0.48
EP21	3.20	-2.54	3.56	2.47	-2.60	-5.45	1.56	-0.05
EP22	-3.70	-5.62	-6.88	-1.75	-2.97	-4.65	-0.75	-0.26
EP23	-1.25	-6.08	-11.30	-5.41	-3.55	-6.05	5.08	0.42

2.3　单株产量特殊配合力效应分析

表 3　杂交组合单株产量 SCA 效应

Table 3　SCA effect value on yield per plant

代 号 Code	黄早四 Huangzaosi	掖 478 Ye 478	Mo17	丹 340 Dan 340
EP1	-3.92	-1.52	0.21	5.22
EP3	-1.19	2.17	1.40	-2.38
EP6	2.95	-2.64	2.46	-2.76
EP7	-1.23	5.53	1.56	-5.86
EP8	-7.98	5.56	2.22	0.20
EP9	7.38	-2.85	0.68	-5.21
EP10	-0.53	1.35	1.98	-2.81
EP11	3.06	-1.28	-0.14	-1.64
EP12	1.25	3.06	-10.92	6.61
EP13	2.57	0.90	-1.33	-2.14
EP14	-2.93	0.18	-3.02	5.77
EP15	-2.16	-0.94	-3.21	6.32
EP16	1.10	1.10	6.40	-8.60
EP17	-2.33	-2.51	-0.93	5.77
EP18	2.99	-0.36	3.00	-5.63
EP19	-4.63	2.51	5.03	-2.91
EP20	-1.28	-1.65	4.22	-1.28
EP21	-2.45	-8.76	-1.51	12.72
EP22	4.55	4.23	-7.34	-1.43
EP23	4.77	-4.07	-0.74	0.03

由表 3 可以看出，单株产量 SCA 效应表现较大的组合有丹 340 × EP21、黄早四 × EP9、丹 340 × EP12、Mo17 × EP16、丹 340 × EP15、丹 340 × EP14、丹 340 × EP17、掖 478 × EP8、掖 478 × EP7 和丹 340 × EP1，其 SCA 效应值分别为 12.72、7.38、6.61、6.40、6.32、5.77、5.77、5.56、5.53 和 5.22。

2.4　杂种优势类群划分

以所配组合单株产量特殊配合力效应值为依据进行分类，选择数值最小的 SCA 作为划分类群的依据，即某群体与某测验种产量特殊配合力最小则属于这个测验种所代表的种质群。20 个供试群体分别被划入 4 个杂种优势类群(表 4)。

表 4　20 个加拿大早熟玉米群体的杂种优势类群

Table 4　Heterotic groups of 20 Canadian maize populations

杂种优势群 Heterotic group	测验种 Tester	代 号 Code
塘四平头	黄早四	EP1、EP8、EP19
Reid	掖 478	EP12、EP14、EP15 、EP22
Lancaster	Mo17	EP17、EP20、EP21 、EP23
旅大红骨	丹 340	EP3、EP6、EP7、EP9、EP10、EP11、EP13、EP16 、EP18

2.5 杂交组合单株产量的平均杂种优势分析

表5 80个杂交组合的平均优势值

Table 5 The average heterosis value of 80 crosses %

代号 Code	黄早四 Huangzaosi	Mo17	掖478 Ye 478	丹340 Dan 340
EP1	−1.35	1.99	1.15	10.85
EP3	−0.88	3.42	0.07	0.99
EP6	2.22	−2.44	0.10	−0.42
EP7	−1.39	6.31	−0.23	−2.95
EP8	−13.13	1.36	−4.55	−1.88
EP9	7.58	−1.72	−0.76	−1.95
EP10	−1.39	1.43	−0.50	−0.60
EP11	1.61	−1.80	−3.22	−0.02
EP12	−0.77	1.98	−14.57	7.67
EP13	−0.82	−1.55	−6.35	−2.46
EP14	1.25	5.29	−0.47	13.01
EP15	1.70	3.87	−0.97	13.26
EP16	1.41	2.35	5.08	−5.21
EP17	1.79	2.55	1.56	12.95
EP18	0.16	−2.25	−1.45	−5.39
EP19	−7.50	0.58	0.53	−2.71
EP20	−5.71	−5.14	−1.84	−2.64
EP21	0.16	−5.22	−0.52	18.40
EP22	0.25	0.87	−13.27	−2.66
EP23	2.93	−4.98	−4.21	1.26

由表5可以看出,37个杂交组合的平均杂种优势为正值,其中黄早四的测交组合有11个,平均优势值为1.91%;Mo17的测交组合有12个,平均优势值为2.67%;掖478的测交组合有6个,平均优势值为1.42%;丹340的测交组合有8个,平均优势值为9.79%,说明被测群体与丹340所代表的旅大红骨类群的杂种优势最强,依次为Mo17所代表的Lancaster种质、黄早四所代表的塘四平头和掖478所代表的Reid种质。EP17与4个代表系所组配的杂交组合平均优势值均为正值,EP1、EP3、EP14、EP15、EP16与3个代表系所组配的杂交组合平均优势值均为正值,因此这些种质在我国早熟玉米育种中具有较好的利用价值;EP13、EP20与4个代表系所组配的杂交组合平均优势值均为负值,说明该群体与我国主要种质很难组配出强优势杂交组合。

按照平均优势表现,排在前10位的组合中丹340与加拿大群体配制的组合占60%,进一步说明旅大红骨类群与该批群体间有较强的杂种优势。前10位的组合均是由来自不同杂种优势类群的材料配制,产量潜力较高,同时也证明了本研究划分杂种优势类群的可靠性。加拿大群体在我国早熟玉米区的主要杂种优势利用途径有旅大红骨群×EP21、EP15、EP14、EP17、EP1、EP12;塘四平头群×EP9;Lancaster群×EP7、EP14;Reid群×EP16等。

表6 单株产量表现前10位的杂交组合

Table 6 Top 10 crosses on yield per plant

组合 Combination	单株产量(g) Yield per plant	平均优势值 Average heterosis value	杂种优势利用途径 Heterosis pattern
丹340×EP21	178.39	18.40	旅大红骨群×EP21
丹340×EP15	170.64	13.26	旅大红骨群×EP15
丹340×EP14	170.27	13.01	旅大红骨群×EP14
丹340×EP17	170.18	12.95	旅大红骨群×EP17
丹340×EP1	167.02	10.85	旅大红骨群×EP1
丹340×EP12	162.22	7.67	旅大红骨群×EP12
黄早四×EP9	162.09	7.58	塘四平头群×EP9
Mo17×EP7	160.17	6.31	Lancaster群×EP7
Mo17×EP14	158.65	5.29	Lancaster群×EP14
掖478×EP16	158.33	5.08	Reid群×EP16

3 结论与讨论

研究表明,EP1、EP9、EP14、EP15、EP16和EP17群体单株产量等综合性状GCA效应表现较好。20个加拿大群体分别被划入4个国内主要类群,EP1、EP8、EP19属于塘四平头群;EP12、EP14、EP15、EP22属于PA群;EP17、EP20、EP21、EP23属于Lancaster群;EP3、EP6、EP7、EP9、EP10、EP11、EP13、EP16、EP18属于旅大红骨群。加拿大早熟玉米群体与丹340所代表的旅大红骨类群杂种优势最强,对于拓宽我国早熟玉米的杂种优势利用途径具有重要价值。

从供试群体的遗传组成看,20个加拿大群体含有不同的血缘关系,既有美国BSSS和Lancaster改良早熟后代,如EP10、EP11、EP19、EP20;也有加拿大本土早熟群体后代EP14、EP15,说明这些材料遗传基础广泛,而且在引入我国之前已经进行了多轮改良。前期鉴定表明[12],这些加拿大群体在黑龙江省表现出极早熟、雌雄开花间隔短等特征,而且大部分群体的株高适中、穗位高较低,同时接种鉴定发现50%表现为抗病或中抗,11个感病群体的发病率均小于21%,表明供试群体对于选育早熟、矮秆、抗倒伏和抗玉米丝黑穗病新品种具有重要价值。

GCA效应分析表明,20个群体中EP1、EP9、EP14、EP15、EP16和EP17单株产量及构成因子综合性状GCA效应表现优良,具体表现为单株产量、穗长、穗粗、行粒数和百粒重GCA效应(下转第55页)

(上接第 50 页)均为正值,且多数群体出籽率 GCA 效应也较高,表现出较高的利用潜力,这与孙广全关于 10 个加拿大群体与黑龙江省部分早熟自交系杂种优势关系研究结果基本一致[12]。本研究将 20 个加拿大玉米群体分别划入我国 4 个主要种质类群，其划分结果与群体自身的系谱关系基本一致。但也将系谱中隶属于不同杂种优势群的 EP14 与 EP15 划分到同一类群,需要进一步分析。

从杂种优势分析来看，被测群体与丹 340 所代表的旅大红骨类群杂种优势最强，与 Mo17 所代表的 Lancaster 种质、黄早四所代表的塘四平头和掖 478 所代表的 Reid 种质优势相对较弱。10 个强优势组合均是由不同杂种优势类群的种质配制，表现最优异的前 6 个组合是由丹 340 与加拿大群体配制，进一步说明旅大红骨种质与加拿大群体间有较强的杂种优势。EP17 与 4 个代表系所组配的杂交组合平均优势值均为正值,EP1、EP3、EP14、EP15、EP16 与 3 个代表系所组配的杂交组合平均优势值均为正值,因此这些种质在我国早熟玉米杂种优势利用中具有较好的利用价值,能够较容易形成高产杂交组合。

参考文献:

[1] Darzah L L, Zuber M S. Uited states farm maize germplasm base and commercial breeding strategies[J]. Crop Science, 1986, 26: 1109-1114.

[2] 王懿波,王振华,王永普,等 . 中国玉米主要种质杂交优势利用模式研究[J] . 中国农业科学,1997,30(4):16-24 .

[3] 彭泽斌,刘新芝,傅骏骅,等 . 玉米自交系杂种优势类群与杂种优势模式构建的初步研究[J] . 作物学报,1998,24(6):711-716 .

[4] 史桂荣 . 黑龙江省玉米杂种优势利用与创新现状分析[J] . 中国农学通报,2002,18(4):106-107 .

[5] Rouse J R,Hinze L L,Lamkey K R. Selection History and Developments from the BSSS and BSCB1 maize populations[M]. Hallaner International Symposinm on Plant Breeding, CIMMYT.2003.

[6] Troyer A F. Background of U.S. hybrid corn II: breeding, climate, and food[J]. Crop Science, 2004, (44)2: 370-381.

[7] 王　霞,李新海,李明顺,等 . 二十个加拿大玉米群体性状表现及对丝黑穗病抗性的评价[J] . 作物杂志,2009(1):20-22 .

[8] Menkir A, Kling J G, Badu-Apraku B, et al. Molecular marker-based genetic diversity assessment of Striga-resistant maize inbred lines[J]. TAG Theoretical and Applied Genetics, 2005, 110(6): 1145-1153.

[9] Vasal S K, Srinivasan G, Beck D L, et al. Heterosis and combining ability of CIMMYT's tropical and temperate early-maturity maize germplasm[J]. Crop Sci., 1992, 32: 884 890.

[10] 李新海,袁力行,李晓辉,等 . 利用 SSR 标记划分 70 份我国玉米自交系的杂种优势群[J] . 中国农业科学,2003,36(6):622-627 .

[11] 郭平仲 . 数量遗传分析[M] . 北京:首都师范大学出版社,1993 .

[12] 孙广全,王振华,王　霞,等 . 加拿大早熟玉米群体与黑龙江省早熟自交系杂种优势关系的研究[J] . 作物杂志,2007(3):61-62 .

(责任编辑:朴红梅)