

# 40份外引玉米自交系在我国东北地区的育种利用潜力分析

苏越, 雍洪军, 张德贵, 韩洁楠, 李明顺

(中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081)

**摘要:** 以40份美国解密玉米自交系为被测系, 以郑58、昌7-2、四144和四287为测验种, 采用NC II遗传交配设计组配160个杂交组合, 2018和2019年分别在内蒙古通辽和赤峰、黑龙江齐齐哈尔、吉林公主岭进行田间不完全区组试验, 分析产量性状表现、产量构成和产量性状配合力效应。结果表明, 40份美国自交系中LH214、PHPR5、LIBC4、PHBA6、PHR58和PHWG5产量一般配合力较高, 其中LIBC4与PHBA6两个自交系产量一般配合力高, 且收获时子粒含水量一般配合力为负效应值, 是东北地区较好的适宜机收种质供体。依据产量特殊配合力, 40份自交系分为两个类群, SS群20份, NSS群20份。LH209×四-144、LH214×四-144、PHR55×昌7-2、PHPR5×四-287、MQ305×昌7-2、PHW30×郑58、LH215×郑58这7个杂交组合杂种优势较高, 可作为重点利用组合。

**关键词:** 玉米; 自交系; 配合力; 杂种优势群

**中图分类号:** S513.032

**文献标识码:** A

## Analysis on the Breeding Utilization Potential of 40 External Introduced Maize Inbred Lines in Northeast China

SU Yue, YONG Hong-jun, ZHANG De-gui, HAN Jie-nan, LI Ming-shun

(Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** In this experiment, 40 American decrypted maize inbred lines were evaluated using Zheng 58, Chang 7-2, Si-144 and Si-287 as the testers, and 160 hybrid combinations were matched by NC II genetic mating design. In 2018 and 2019, field incomplete block group experiments were conducted in Tongliao and Chifeng cities of Inner Mongolia Autonomous Region, Qiqihar City of Heilongjiang Province, and Gongzhuling City of Jilin Province, respectively, to analyze the yield trait performance, yield composition and yield trait combining ability effect. The results showed that among the 40 American inbred lines, LH214, PHPR5, LIBC4, PHBA6, PHR58 and PHWG5 had higher general combining ability of yield, among which LIBC4 and PHBA6 had higher general combining ability of yield, and the general combining ability of grain moisture content at harvest was negative effect value, which was a better germplasm donor suitable for mechanical harvesting in Northeast China. Based on the special combining ability of yield, 40 inbred lines were divided into two groups, 20 in the SS group and 20 in the NSS group. The seven hybrid combinations LH209×4-144, LH214×4-144, PHR55×Chang 7-2, PHPR5×4-287, MQ305×Chang 7-2, PHW30×Zheng 58, and LH215×Zheng 58 had high heterosis and could be used as key combinations.

**Key words:** Maize; Inbred line; Combining ability; Heterosis group

玉米(*Zea mays* L.)作为一种重要的粮食和经济作物, 在世界范围内具有广泛的应用前景和极高的

经济价值<sup>[1]</sup>。除了生态环境复杂多样外, 种质资源狭窄是制约玉米增产的重要因素<sup>[2-3]</sup>, 尤其是对我国东北地区育种影响很大, 限制了培育优质、抗逆、耐密、子粒脱水快、早熟、适应机械化玉米新品种的培育。要解决这一问题, 急需采取一系列有效措施。首先, 加强玉米种质资源的引进、保护和利用, 如通过收集、引进、保存和研究利用不同类型的种质资源<sup>[4-8]</sup>, 扩大种质资源库的规模和多样性, 提高玉米

录用日期: 2024-11-17

基金项目: 国家玉米产业技术体系(CARS-02-01)

作者简介: 苏越(1998-), 女, 吉林白城人, 硕士, 主要从事玉米遗传育种研究。Tel: 18045373627

E-mail: 736052980@qq.com

李明顺为本文通信作者。E-mail: limingshun@caas.cn

育种的效率和成功率<sup>[9]</sup>;其次,加强育种技术的研究和应用,采用现代生物技术手段与传统育种手段相结合的办法,培育出适应不同环境条件和需求的优质玉米新种质<sup>[10-13]</sup>。

利用美国玉米种质针对性改良中国玉米种质,可有效拓展中国玉米种质基础,提高中国玉米种质资源多样性<sup>[14]</sup>。从20世纪70年代开始,中国开始从美国引进大量的自交系、杂交种和群体,通过对引进的外来种质进行改良,拓宽了中国种质资源,提高了中国育种效率<sup>[15-16]</sup>。自2012年起,中国农业科学院作物科学研究所(国家玉米产业技术体系)开始系统引进美国最新解禁的自交系材料。本试验所采用的材料为2012年所引进160份玉米自交系中比较有代表性的东北区第4试验组的40份材料。美国普通玉米生产一直为子粒直收的全程机械化方式,其种质具有良好的抗倒、早熟、脱水快等宜机收特性<sup>[17-19]</sup>,这些自交系经过系统的改良后,已经在我国东北地区的育种研究中发挥了一定作用<sup>[20-21]</sup>。选育出的自交系被应用于育种和生产中,大大丰富和促进了我国东华北区早熟、耐机收方面的玉米育种研究种质基础。

杂种优势群是指在自然选择和人工选择作用下,经过多次重组和种质互渗后形成的遗传基础广泛、遗传变异丰富、有利基因频率较高、有较高的一

般配合力(GCA)、农艺性状优良的育种群体<sup>[22]</sup>。在作物杂交种选育过程中,通过将分属于不同杂种优势群的亲本进行组配,可以有效提高强优势杂交种的组配几率<sup>[23-24]</sup>。因此,合理准确地划分作物的杂种优势群,并明确其利用模式,可以为杂交组合的合理组配和高效利用提供理论指导<sup>[25]</sup>。利用杂种优势现象已成为提高植物产量、品质和抗性等的有效措施,在遗传育种方面起着重要作用<sup>[26]</sup>。在育种过程中遵循杂优模式的前提下,选择杂种优势最强的杂交组合并提高组合的抗逆性是提高产量的重要措施<sup>[27]</sup>。

本研究采用NCII遗传交配设计方法<sup>[28-29]</sup>,以国内大面积推广的杂交种郑单958和吉单27的4个亲本为测验种,以东北地区第4试验组的40份美国解密玉米自交系为被测系组配160个杂交组合为试验材料,在东北地区进行2年4点试验,评价40份美国自交系在产量和产量构成性状方面的杂种优势和配合力效应,为进一步的种质改良和创新提供可靠的数据支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

40份美国解禁自交系及系谱信息(表1)。郑58、昌7-2、四144和四287为测验种。

表1 40份美国解禁玉米自交系名称及类群

Table 1 Names and groups of 40 unbanned maize inbred lines in the United States

自交系名称 Name of inbred lines	类群 Group	系谱 Pedigree
PHM81	IODENT	PHG72×PHG68/NS
PHN66	SS	PHG53/PHG21)×B1332K1X/SS
PHR55	LAN	PH005×PHG84/NS
PHR58	LAN	PH383×PHG16/NS
PHW30	IODENT	PHG42×PHV15/NA
29MIBZ2	IODENT	(B87 X line from PH3901)×line from PH3901/NS
MBUB	LAN	LH38(A61 9.L120)×MANS(4A 5.AUM)/NS
LH215	LAN	R177(Population)×Mo17C2 /NS
LH209	SS	LH74×LH119/SS
3IBZ2	IODENT	IBC2/ZZZ38(P3981×P3990)/NSS
F118	SS	B73×T220/SS
LIBC 4	IODENT	MBNS×H3901/NS
83IBI3	IODENT	IBC2(PVP#8700198)×IBI2/NS
LH214	LAN	LH123Ht×LH51/NS
911	IODENT	ph3737/should be NP911
912	IODENT	PH3737/should be NP912
LH222	SS	CM174×LH74(2)×LH82, as Female, SS
ICI 193	IODENT	BAAJ×P3732/NA

续表1 Continued 1

自交系名称 Name of inbred lines	类群 Group	系谱 Pedigree
ICI 441	SS	BEAD×P3377/NA
ICI 740	SS	BEAD×P3377/NA
ICI 893	SS	80-1327-4×B73/SS
CS405	SS	B73×K81/SS
MQ305	IODENT	PH3901×CB59G/NS
NQ508	IODENT	Certificate abanded/NA
OQ101	LAN	P3906×ND246/NA
OQ403	IODENT	P3901×K81-336/NS
OS602	IODENT	P3901×CM105/NS
PHBA6	LAN	PHZ51 X PHG47 specifically PHZ51/PHG47)×A111K311K41XX/NS
PHGG7	LAN	PHT64/PHG49)×A014311221/NS
PHP85	SS	PHK29×PHW52 specifically PHK29/PHW52×521112135X/SS
PHPR5	SS	PHK76×PHW52 specifically PHK76/PHW52×A6333K252/SS
PHR30	LAN	PHFM5×PHG47 specifically PHFM5/PHG47)×A4K1232K3X/NS
PHT73	LAN	PHK05/PHG68)×922312241X/male NSS
PHV53	LAN	PHB89×PHDT2 specifically PHB89/PHDT2)NX4122211334/SS
PHVA9	SS	PHK29×PHGP8 specifically PHK29/PHGP8)×A212131/SS
PHWG5	LAN	PH814×PHG16 specifically PH814/PHG16)×73151411K21/female SS
CS608	SS	(Oh514×B68Ht)×CD1/SS
904	IODENT	Pioneer 3737/should be NP 904
ML606	LAN	Certificate Abandoned/NA
ZS01250	LAN	NA

## 1.2 试验设计

按照 NC II 遗传交配设计,以 40 份美国玉米自交系为母本,4 份测验种为父本,按 2:4 的父:母本比例隔离区种植,组配 160 个杂交组合。由于美国自交系生育期普遍较早,父本提前种植 5~10 d,母本每个材料种 4 行,设置 4 个隔离区在海南测配。

2018 和 2019 年在东北地区设置 4 个试验点,按照不完全区组( $\alpha$ -lattice)设计进行田间测试。其中,试验组 1(2018 年):在吉林省通辽市、黑龙江省齐齐哈尔市;试验组 2(2019 年):在吉林省公主岭市、内蒙古赤峰市。每个试验点共 165 个参试组合(品种),包括 160 个组合(40×4=160);5 个对照品种郑单 958、吉单 27、先玉 335、农华 101、良玉 99,小区 5 m 行长,2 行区,3 次重复,种植密度是 67 500 株/hm<sup>2</sup>。

## 1.3 测定指标与测定方法

重点考查穗长、穗粗、穗行数、行粒数、百粒重、出籽率、含水量、产量等。

(1)穗长(cm):小区内随机取 10 穗,测量穗基部到穗间的长度;

(2)穗粗(cm):小区内随机取 10 穗,测量穗中部宽度;

(3)穗行数(行):小区内随机取 10 穗测量子粒行数;

(4)行粒数(粒):小区内随机取 10 穗,每穗选取较整齐的一行测量子粒数;

(5)百粒重(g):测两次 100 个子粒重量,测值误差不超过 0.2 g;

(6)含水量(%):使用水分测定仪测其收获时含水量;

(7)出籽率(%):小区产量/干重;

(8)产量(kg/hm<sup>2</sup>):风干后脱粒,测量小区子粒折合 14%水分重量。

## 1.4 数据统计分析

### 1.4.1 配合力分析

利用 Falconer 和 Mackay 模型估算一般配合力(General combining ability, GCA)和特殊配合力(Specific combining ability, SCA)效应<sup>[30]</sup>。

其模型为:  $Y_{ijk} = \mu + m_i + f_j + (m \times f)_{ij} + e_{ijk}$ , 其中,  $Y_{ijk}$  为亲本  $i$  和  $j$  后代第  $k$  个观测值;  $\mu$  为总体均值;  $m_i$  为第  $i$  个父本效应;  $f_j$  为第  $j$  个母本效应;  $(m \times f)_{ij}$  为互作效应;  $e_{ijk}$  为误差项。将测交组合分解为被测系、测验种和被测系与测验种互作部分,其中,被测系、测验种方差

对应一般配合力方差,被测系与测验种互作方差对应特殊配合力方差。

#### 1.4.2 联合方差分析

利用SAS软件的Proc Mixed和Proc GLM程序,首先对每个环境的各性状进行单点方差分析,然后进行多个环境联合方差分析,并且进行计算校正,年份、环境、区组为随机变量,品种为固定变量。

#### 1.4.3 对照优势分析

本试验采用Microsoft Excel 2007进行表型性状对照优势分析。

对照优势计算公式如下:  $HS=(F_1-CK)/CK \times 100\%$ ,式中, $F_1$ 为杂交组合产量; $CK$ 为对照品种的平均值。以吉单27、先玉335为熟期对照,筛选每个环境下产量优于对照的组合。

#### 1.4.4 相关性分析

本试验通过SPSS进行相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 主要农艺性状联合方差分析

对160个测交组合的穗长、穗粗、穗行数、行粒数、百粒重、出籽率、含水量、产量8个性状进行联合方差分析(表2)。表2结果表明,不同基因型之间的产量性状差异极显著,表明组合材料遗传基础丰富;8个性状在4个地点间均达差异极显著水平,说明地点间的环境因素对产量性状表现影响较大。本试验所选取的环境生态条件差异较大,可以很好地满足多环境试验的需要;地点与基因型间互作8个性状均达差异极显著水平,表明受地理环境因素和基因型互作影响较大。

表2 东北区4个不同地点下主要农艺性状联合方差分析

Table 2 Joint variance analysis of main agronomic characters in 4 different sites in Northeast China

变异来源 Source of variation	自由度 DF	穗长 Ear length	穗粗 Ear diameter	穗行数 Rows per ear	行粒数 Kernels per row	百粒重 100-kernel weight	出籽率 Kernel rate	含水量 Water content	产量 Yield
环境	3	736.77**	2 571.13**	199.06**	83.34**	370.10**	6 023.49**	14 163.80**	477.12**
重复	8	8.09**	8.69**	2.64**	4.61**	6.08**	4.42**	21.26**	7.87**
基因型	159	7.37**	14.03**	17.02**	6.26**	11.33**	21.51**	15.23**	11.03**
基因型×地点	477	3.82**	4.56**	6.78**	3.62**	9.05**	15.98**	6.64**	4.46**
被测系	39	11.31**	28.62**	34.81**	12.73**	26.6**	40.91**	33.36**	25.21**
被测系×地点	117	4.31**	6.16**	9.64**	5.32**	23.01**	18.49**	13.88**	4.88**
测验种	3	83.01**	187.17**	222.5**	43.45**	130.00**	102.98**	219.65**	81.78**
测验种×地点	9	19.61**	28.71**	54.72**	13.67**	38.96**	108.87**	61.41**	63.78**
测验种×被测系	117	4.12**	4.73**	5.82**	3.15**	3.22**	12.96**	3.95**	4.48**
测验种×被测系×地点	351	3.26**	3.41**	4.59**	2.79**	3.63**	12.77**	2.83**	2.82**

注:\*表明在 $\alpha=0.05$ 水平下达显著水平;\*\*表明在 $\alpha=0.01$ 水平下达显著水平。下表同。

Note: \* indicates significance at the  $\alpha=0.05$  level; \*\* indicates significance at the  $\alpha=0.01$  level. The same below.

此外,通过分析被测系8个性状的一般配合力(GCA)方差,发现40份美国玉米自交系的主要农艺性状的GCA效应存在极显著差异;对于产量性状,其特殊配合力(SCA)方差也达极显著水平,表明40份美国玉米自交系的产量性状SCA效应存在极显著差异。

### 2.2 美国解禁自交系在东北环境下的一般配合力分析

由表3可以看出,有27个自交系的产量GCA效应为正效应,其中,LH214、PHPR5、LIBC4、PHBA6、PHR58、PHWG5这6个自交系的产量GCA效应值较高,表明这些自交系的利用潜力较大,可作为优良供体改良我国种质,拓宽我国种质基础。分析其产量

构成因子,PHR58、911、LIBC4、PHWG5、LH222、PHR55这6个自交系的穗长GCA效应值较高;PHP58、MBUB、PHR55、F118、ICI893、ICI740等自交系的穗粗GCA效应值较高;PHR55、904、MBUB、PHBA6、911、PHN66等自交系的穗行数GCA效应值较高;PHR58、PHWG5、LIBC4、LH214、PHBA6、MQ305等自交系的行粒数GCA效应值较高。综合产量构成因子的GCA效应值来看,PHR58、LIBC4、PHWG5这3个自交系穗长多粒,PHR55自交系穗粗且行粒数多。其中,PHGG7和PHP85穗长于行粒数呈负效应,不利于选育产量较高品种。在百粒重方面,PHP85、PHPR5、CS608、ML606、PHWG5、PHV53等自交系的GCA效应值较高,其改良后代出现大子粒

表3 东北环境下测验种与被测系的一般配合力效应值

Table 3 Effect of GCA between tester and inbred lines under Northeast environmental conditions

自交系名称 Name of inbred lines	穗长 Ear length	穗粗 Ear diameter	穗行数 Rows per ear	行粒数 Kernels per row	百粒重 100-kernel weight	出籽率 Kernel rate	含水量 Water content	产量 Yield
昌7-2	-0.59	0.07	0.59	0.15	-0.35	0.56	0.90	671.10
四-144	0.08	-0.13	-0.15	0.79	-1.23	0.45	-0.68	-269.17
四-287	0.19	-0.02	-0.25	-0.33	0.69	0.05	-1.42	-628.80
郑58	0.32	0.08	-0.20	-0.61	0.89	-1.06	1.20	226.86
PHM81	0.09	-0.08	0.21	-1.06	-2.90	-0.02	-1.67	-1 742.38
PHN66	-0.06	-0.03	0.48	-0.74	-1.59	0.71	-0.29	158.46
PHR55	0.49	0.19	1.36	0.93	-1.90	-2.50	1.87	795.68
PHR58	0.93	0.06	-0.56	2.40	0.05	-2.27	0.69	1 004.33
PHW30	0.29	0.02	0.10	0.69	-0.83	1.50	0.18	566.41
29MIBZ2	0.21	-0.05	-0.03	-0.05	-1.66	1.52	-1.08	497.49
MBUB	-0.83	0.26	0.81	-0.75	-0.19	-1.77	2.52	818.98
LH215	-0.17	-0.02	-0.82	0.79	0.85	-0.63	1.68	518.17
LH209	-0.11	0.03	0.27	-1.39	-0.54	-0.37	1.54	858.70
3IBZ2	0.40	-0.07	0.01	-0.86	-1.13	-1.62	-1.94	-1 538.66
F118	-0.37	0.16	0.41	-0.57	0.34	-2.07	2.76	82.66
LIBC 4	0.69	-0.06	-0.14	1.43	-1.39	2.37	-0.31	1 234.90
83IBI3	-0.08	-0.04	0.02	-0.84	-0.51	1.97	-0.77	226.80
LH214	0.31	0.10	0.31	1.30	0.50	-0.63	1.95	1 553.64
911	0.89	-0.04	0.59	1.14	-1.12	1.89	-0.62	304.15
912	-0.38	0.06	0.10	-1.47	-0.04	0.40	-0.85	104.83
LH222	0.54	-0.14	-0.45	0.37	-0.51	0.21	-1.30	-771.55
ICI 193	-0.27	-0.04	-0.76	-0.71	0.50	-0.83	-0.12	706.99
ICI 441	-0.07	0.11	0.20	-0.91	-0.32	-1.30	0.59	326.07
ICI 740	0.03	0.13	0.15	-0.85	-0.02	-2.88	1.03	-186.06
ICI 893	-0.33	0.15	0.27	0.40	-0.46	-0.49	1.61	-204.52
CS405	-0.22	-0.02	0.26	0.44	-1.99	1.55	-0.29	714.05
MQ305	0.35	-0.06	-0.35	1.15	0.03	-0.18	-0.58	322.12
NQ508	0.43	-0.13	-0.87	-1.03	0.14	-0.73	-0.18	249.65
OQ101	-0.25	-0.33	-0.69	1.11	-1.11	0.18	-2.20	-2 206.67
OQ403	-0.16	-0.13	-0.47	0.12	-0.95	2.63	-2.08	-1 099.30
OS602	0.36	-0.15	-0.64	0.62	0.77	0.61	-1.62	-350.62
PHBA6	0.05	0.01	0.68	1.29	-1.17	0.59	-0.68	1 216.05
PHGG7	-1.33	-0.08	0.07	-1.96	0.68	1.75	-2.69	-1 752.56
PHP85	-0.50	0.28	0.11	-1.31	3.65	-1.48	2.11	85.12
PHPR5	0.27	0.06	0.15	-1.29	3.19	0.12	1.59	1 250.45
PHR30	0.33	-0.14	-0.14	0.27	1.13	1.95	-0.73	-56.54
PHT73	-0.21	-0.11	-0.54	-0.91	-0.08	0.55	-2.62	-1 738.12
PHV53	0.48	0.03	-0.47	1.09	1.38	-1.25	1.65	359.22
PHVA9	-0.39	-0.01	0.35	0.80	0.57	-0.65	1.41	674.03
PHWG5	0.58	0.09	-0.37	1.64	1.83	-1.63	2.39	956.96
CS608	-0.47	0.04	-0.05	-1.02	2.42	0.15	0.41	-703.14
904	-0.53	-0.14	0.84	-0.16	-1.08	1.55	-1.87	-98.45
ML606	-0.57	-0.02	-0.46	0.35	2.14	-1.08	0.12	-1 148.68
ZS01250	-0.39	0.09	0.05	-0.48	1.32	2.19	-1.61	-1 988.63

品种可能性较高。在出籽率方面, OQ403、LIBC4、ZSO1250、83IBI3、PHR30、911等自交系的GCA效应值较高, 可选育出粒深芯细的品种优良供体材料。在含水量方面, PHGG7、PHT73、OQ101、OQ403、3IBZ2、904等自交系的GCA效应值较低, 可选育出适合机收且脱水速率高的品种。这些非产量性状表现良好的自交系可以作为特异性状供体, 利用回交方式有针对性地改良我国现有自交系。

综合分析测验种的产量构成因子及其GCA效应值, 40个美国解禁自交系与昌7-2组配效果较好, 可以有效提升产量构成因子表现。这些自交系的GCA效应值大部分为正值, 并且效应值较高。在脱水速率方面, 美国自交系与四-287组配可以有效提高脱水速率, 更有利于子粒机收。

综上所述, 自交系LIBC4和PHBA6在收获时的含水量GCA效应表现为负效应, 说明他们能够提高产量并改善产量构成因子表现, 而且还有降低收获时含水量的作用。相比之下, 自交系PHV53在改良产量构成因子和提高产量方面表现出更强的优势。因此, 这些自交系可以作为良好的供体用于改良我国现有自交系, 具有较大的育种利用潜力。

### 2.3 美国解禁自交系在东北环境下的产量特殊配合力分析

通过对160个玉米杂交组合各农艺性状的SCA相对效应值进行分析, 发现同一组合不同性状间、同一性状不同组合间的SCA相对效应值存在较明显差异。其中, 对产量SCA效应值进行总结, 各组合单株产量SCA相对效应值的变幅为-1 681.56~2 167.65, 排名前8位的杂交组合依次为PHT73×四-144、CS405×昌7-2、LH209×四-144、PHN66×昌7-2、ICI893×昌7-2、PHVA9×郑58、911×郑58和PHV53×郑58。

在4个测验种中, 郑58和四144为我国种质A(SS)群代表测验种, 昌7-2和四287是黄改系, 为B(NSS)群的代表测验种。利用产量性状SCA效应值对供试材料进行类群划分。

对40份自交系进行类群划分, 可分为两个类群。第一类群有20份自交系, 分别为PHN66、PHW30、MBUB、LH215、3IBZ2、LIBC、83IBI3、LH214、LH222、ICI193、ICI441、ICI893、CS405、NQ508、OQ403、OS602、PHP85、PHPR5、CS608和ML606, 该类群偏向于SS群; 第二类群有20份自交

表4 东北环境下产量特殊配合力效应值

Table 4 Effect of yield SCA Northeast environmental conditions

自交系 Inbred line	类群 Group	昌7-2 Chang 7-2	四-144 Si-144	四-287 Si-287	郑58 Zheng 58	自交系 Inbred line	类群 Group	昌7-2 Chang 7-2	四-144 Si-144	四-287 Si-287	郑58 Zheng 58
PHM81	B	247.84	379.26	-982.27	355.17	ICI893	A	1 351.39	-524.08	766.25	-1 593.56
PHN66	A	1 429.68	-478.58	-871.29	-79.81	CS405	A	1 555.81	-1 187.09	-397.53	28.82
PHR55	B	196.77	-163.42	-525.67	492.32	MQ305	B	488.28	1 139.77	-929.52	-698.52
PHR58	B	-777.09	-688.53	581.71	883.90	NQ508	A	879.00	-1 681.56	1 002.64	-200.07
PHW30	A	13.61	-742.50	84.16	644.72	OQ101	B	410.60	1 163.67	-886.13	-688.13
29MIBZ2	B	-125.69	68.63	-515.34	572.39	OQ403	A	690.60	-826.49	513.04	-377.15
MBUB	A	425.54	818.43	48.75	-1 292.71	OS602	A	-193.17	-451.98	392.42	252.73
LH215	A	-221.91	-661.19	267.93	615.18	PHBA6	B	-773.79	9.19	388.98	375.62
LH209	B	598.12	1 466.08	-612.05	-1 452.15	PHGG7	B	-943.83	1 547.60	-746.91	143.14
3IBZ2	A	1 325.25	-1 271.02	-246.92	192.68	PHP85	A	-0.69	891.03	143.27	-1 033.61
F118	B	-1 194.25	-408.02	996.20	606.06	PHPR5	A	-932.76	-236.09	976.48	192.37
LIBC4	A	545.69	-993.09	727.61	-280.21	PHR30	B	-199.31	-243.06	3.51	438.85
83IBI3	A	622.30	-69.80	-373.70	-178.79	PHT73	B	-1 045.11	2 167.65	-650.52	-472.02
LH214	A	-114.05	675.82	631.18	-1 192.96	PHV53	B	-616.31	-155.20	-241.39	1 012.89
911	B	-1 196.52	353.12	-249.10	1 092.50	PHVA9	B	-846.06	-378.65	71.93	1 152.78
912	B	-232.85	574.91	-948.60	606.54	PHWG5	B	-1 151.40	381.36	581.18	188.86
LH222	A	-162.89	-872.28	590.58	444.59	CS608	A	354.02	-53.00	47.82	-348.84
ICI193	A	-378.37	176.02	777.46	-575.11	904	B	-13.01	-169.98	-194.95	377.93
ICI441	A	379.86	255.29	168.50	-803.65	ML606	A	406.62	480.79	-175.90	-711.52
ICI740	B	-527.49	-435.65	93.42	869.73	ZSO1250	B	-274.45	142.66	-307.25	439.05

系,分别为 PHM81、PHR55、PHR58、29MIBZ2、LH209、F118、911、912、ICI740、MQ305、OQ101、PHBA6、PHGG7、PHR30、PHT73、PHV53、PHVA9、PHWG5、904和ZSO1250,该类群偏向于NSS群。

#### 2.4 美国解禁自交系在东北环境下的杂种优势分析

对组配的160个组合的杂种优势进行对照优势分析,160个杂交组合的单株产量平均对照优势相对CK1(郑单958)优势在-47.92%~0.38%,相对CK2(郑单27)优势在-46.07%~3.94%,相对CK3(先玉335)优势在-46.40%~3.32%,相对CK4(农华101)优势在-49.59%~-2.83%,相对CK5(良玉99)优势在-36.77%~16.08。以相对CK5(良玉99)优势为例,排在前30位的组合中与参试的4个测验种所组配的组合出现的次数,昌7-2(13次)、四-144(3次)、四-287(3次)、郑58(11次),其中,测验种昌7-2与四-144出现次数最多,对美国自交系来说为优异测验种。在

这30个组合中根据其产量特殊配合力分析,绝大多数组合中两个亲本属于不同的杂种优势群,即强优势组合大多来源于杂种优势群间如CS405×昌7-2、LIBC4×昌7-2、PHN66×昌7-2、LH209×昌7-2、LH214×昌7-2、LH209×四-144、LH214×四-144等,其中有7个组合为相同杂种优势群的优良组合,如LH209×四-144、LH214×四-144、PHR55×昌7-2、PHPR5×四-287、MQ305×昌7-2、PHW30×郑58、LH215×郑58,可以用这样的组合对杂种优势群自交系进行改良,作为选系基础群体。

通过控制对照对不同地点间的杂种优势进行相关性分析(表5),各点相关性均不高,最高的只能达到中度相关,通辽与齐齐哈尔,相关系数为0.459。上述结果表明,玉米杂交种在东北地区对环境的反应差异大,东北地区环境变量对杂种优势表现有很大影响。

表5 控制对照情况下地点与杂种优势相关性

Table 5 Correlation between location and heterosis under CK control

地点 Location	通辽 Tongliao	齐齐哈尔 Qiqihaer	公主岭 Gongzhuling	赤峰 Chifeng
通辽	1	0.459**	-0.039	0.204**
齐齐哈尔	0.459**	1	-0.019	0.159**
公主岭	-0.039	-0.019	1	0.013
赤峰	0.204**	0.159**	0.013	1

### 3 结论与讨论

我国玉米种质基础狭窄,引进外来优良玉米种质一直是我国玉米育种的重点研究内容。20世纪80年代中后期至90年代初期,我国生产上主推品种的骨干亲本大多来自美国,其中最为著名的自交系为Mo17<sup>[31]</sup>。引自国际玉米小麦改良中心CIMMYT的热带和亚热带玉米种质来自南美洲玉米起源中心,具有较强的光周期敏感性,除我国西南地区以外难以直接利用。引自其他国家和地区的玉米种质资源还相对较少。随着当前农业生产方式的变革,玉米种质创新的目标已发展为适合机械化粒收、抗倒、脱水快等,此类种质我国相对缺乏。系统地引进、分析、评价和改良美国解禁自交系可有效提高我国种质的宜机收性,为提高我国玉米生产机械化水平奠定种质和信息基础。

一般配合力是可以遗传的部分,也是体现亲本利用价值高低的重要指标。通过对自交系GCA分

析,按照同一类群性状互补原则,可以构建优质群体,获得具有优良性状的后代<sup>[32]</sup>。本研究筛选出LH214、PHPR5、LIBC4、PHBA6、PHR58和PHWG5等产量一般配合力较高的自交系,其中,LH214自交系产量与穗部性状GCA表现良好,说明这些自交系利用潜力较大。LIBC4、PHBA6两个自交系不仅产量一般配合力高,同时收获时含水量GCA为负效应值,其他效应均表现良好,由此表明,利用他们作为种质资源改良我国种质获得高产宜机收优良新自交系的几率较大。

构建选系基础群体是选系的关键,也是循环育种过程最重要的步骤。为了增强预见性,减少盲目性,应选择杂种优势群或亚群内拥有一定遗传差异的优良自交系,具有表型性状互补,基础群体农艺性状表现优良等特点<sup>[33]</sup>。本研究通过对40份美国玉米自交系的GCA效应分析,筛选出表现较好的LH209×四-144、LH214×四-144、PHR55×昌7-2、PHPR5×四-287、MQ305×昌7-2、PHW30×郑58、

LH215×郑58共7个组合,组合这些组合的美国解禁自交系可作为改良我国玉米种质的选系供体,继续提高其产量潜力。试验表明,玉米自交系在东北不同地区对环境的反应不同,东北区环境变量对杂种优势表现有一定影响,所以在进行种质改良时,要在不同区域下针对目标性状选择最适宜种质进行改良。

种质创新是一个漫长的过程。引进外源种质是丰富遗传多样性的重要手段,由于各地环境不同,其在育种中的直接应用受到一定限制,需要长时间改良才能得到很好利用。对于外引材料的利用,只有自身农艺性状信息和基因型数据远远不够,更需明确其配合力和杂种优势类群。本研究中40份材料根据其基因型和系谱数据可划分为SS群(12份自交系)、NSS群(17份自交系)和NA群(11份自交系)。该划分仅能表明自交系的基因型差异,还需投入到生产中进行实验鉴定。在东北地区的气候条件下对40个美国自交系进行配合力分析,在测验种固定的情况下进行杂种优势群划分,得到在特定环境下的优良群体,其中A群(SS群)有20份自交系,B群(NSS群)有20份自交系。这些自交系可用东北地区的种质改良,也可以将这些自交系加入我国A、B群种质中,提升我国玉米种质的遗传多样性。

#### 参考文献:

- [1] 李少昆,赵久然,董树亭,等.中国玉米栽培研究进展与展望[J].中国农业科学,2017,50(11):1941-1959.  
LI S K, ZHAO J R, DONG S T, et al. Research progress and prospects of corn cultivation in China[J]. Chinese Journal of Agricultural Sciences, 2017, 50(11): 1941-1959. (in Chinese)
- [2] 赵璞,温之雨,董文琦,等.我国玉米资源研究现状及发展展望[J].中国种业,2019(10):8-11.  
ZHAO P, WEN Z Y, DONG W Q, et al. Research status and development prospects of corn resources in China[J]. China Seed Industry, 2019(10): 8-11. (in Chinese)
- [3] TIAN J, WANG C, XIA L J, et al. Teosinte ligule allele narrows plant architecture and enhances high-density maize yields[J]. Science, 2019, 365(6454): 658-664.
- [4] 谭华,黄开健,韦国能,等.外引优质蛋白玉米自交系利用潜力解析[J].广西农业科学,2001(4):177-179.  
TAN H, HUANG K J, WEI G N, et al. Evaluation on the utilization potential of imported high-quality protein corn inbred lines[J]. Guangxi Agricultural Sciences, 2001(4):177-179. (in Chinese)
- [5] 韦国能.外来玉米种质资源在广西的利用潜力[J].作物杂志,1998(增刊):33-36.  
WEI G N. Utilization potential of foreign maize germplasm resources in Guangxi[J]. Crops, 1998(S): 33-36. (in Chinese)
- [6] 李丹.国外引进玉米种质资源的改良和利用[J].作物品种资源,1993(增刊):78.  
LI D. Improvement and utilization of corn germplasm resources introduced from abroad[J]. Crop Variety Resources, 1993(S): 78. (in Chinese)
- [7] 陈天渊,卢森权,李彦青,等. CIMMYT玉米种质资源的引进鉴定与利用研究[J].南方农业学报,2010,41(7):633-636.  
CHEN T Y, LU S Q, LI Y Q, et al. CIMMYT maize germplasm resources introduction, identification and utilisation[J]. Journal of Southern Agriculture, 2010, 41(7): 633-636. (in Chinese)
- [8] 罗仕文,杨远平,梁黔云,等.墨白种质在黔西北地区的应用与改良[J].作物杂志,2016,32(2):39-42.  
LUO S W, YANG Y P, LIANG Q Y, et al. Application and improvement of black white germplasm in northwestern Guizhou[J]. Crops, 2016, 32(2): 39-42. (in Chinese)
- [9] 张前进,王振华,张新,等.玉米种质资源的创新与利用[J].河南农业科学,2006(4):28-31.  
ZHANG Q J, WANG Z H, ZHANG X, et al. Innovation and utilization of corn germplasm resources[J]. Henan Agricultural Sciences, 2006(4): 28-31. (in Chinese)
- [10] 曹士亮,王成波.生物技术在玉米育种中应用的现状和展望[J].黑龙江农业科学,2008(3):14-17.  
CAO S L, WANG C B. Current status and prospects of biotechnology application in corn breeding[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2008(3): 14-17. (in Chinese)
- [11] 王鹤桦,刘金海.玉米育种技术研究进展[J].种业导刊,2019(2):18-20.  
WANG H H, LIU J H. Research progress in corn breeding technology[J]. Journal of Seed Industry Guide, 2019(2): 18-20. (in Chinese)
- [12] WANG B B, LIN Z H, LI X, et al. Genome-wide selection and genetic improvement during modern maize breeding[J]. Nature Genetics, 2020, 52(6): 565-571.
- [13] 林敏.玉米生物育种基础研究与关键技术[J].中国生物工程杂志,2021,41(12):1-3.  
LIN M. Basic research and key technologies of corn biological breeding[J]. China Biotechnology Journal, 2021, 41(12): 1-3. (in Chinese)
- [14] 刘剑,孙继颖,高聚林,等.16份美国玉米自交系配合力鉴定及利用潜力分析[J].北方农业学报,2017,45(6):1-10.  
LIU J, SUN J Y, GAO J L, et al. Combining ability identification and utilization potential analysis of 16 American maize inbred lines[J]. Journal of Northern Agriculture, 2017, 45(6): 1-10. (in Chinese)
- [15] 黎裕,王天宇.玉米种质创新——进展与展望[J].玉米科学,2017,25(3):11-18.  
LI Y, WANG T Y. Maize germplasm innovation—progress and prospect[J]. Journal of Maize Sciences, 2017, 25(3): 11-18. (in Chinese)
- [16] 孙琦,李文才,于彦丽,等.美国商业玉米种质来源及系谱分析[J].玉米科学,2016,24(1):8-13.  
SUN Q, LI W C, YU Y L, et al. Germplasm source and pedigree analysis of American commercial maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2016, 24(1): 8-13. (in Chinese)
- [17] 段民孝,赵久然,李云伏,等.高产早熟耐密抗倒伏宜机收玉米新品种‘京农科728’的选育与配套技术研究[J].农学学报,

- 2015, 5(2): 10-14.
- DUAN M X, ZHAO J R, LI Y F, et al. Study on the breeding and supporting technologies of a new high-yield, early-maturing, dense-tolerant, lodging-resistant maize variety 'Jingnongke 728' suitable for mechanized harvesting[J]. *Journal of Agriculture*, 2015, 5(2):10-14. (in Chinese)
- [18] 郭庆辰, 张义荣, 康浩冉, 等. 美国玉米种质的引进、选系及组配模式探讨[J]. *分子植物育种*, 2016, 14(11):3262-3272.
- GUO Q C, ZHANG Y R, KANG H R, et al. Discussion on the introduction, selection and combination mode of American maize germplasm[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2016, 14(11): 3262-3272. (in Chinese)
- [19] 鲁俊田, 曲江波, 刘中杰, 等. 欧洲种质改良旅大红骨宜机收性状配合力分析及杂种优势利用[J]. *种子*, 2022, 41(6):117-121.
- LU J T, QU J B, LIU Z J, et al. Analysis on combining ability of mechanically harvestable traits of European germplasm improvement and utilization of heterosis[J]. *Seed*, 2022, 41(6): 117-121. (in Chinese)
- [20] 刘庆宇, 张春阳, 张嘉月, 等. 20份早熟欧美血缘玉米自交系利用潜力分析[J]. *玉米科学*, 2024, 32(2):47-53.
- LIU Q Y, ZHANG C Y, ZHANG J Y, et al. Analysis on the utilization potential of 20 early-maturing European and American maize inbred lines[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2024, 32(2): 47-53. (in Chinese)
- [21] 雍洪军, 王建军, 张德贵, 等. 美洲、美洲地区主要玉米群体特征及其利用途径分析[J]. *遗传*, 2013, 35(6):703-713.
- YONG H J, WANG J J, ZHANG D G, et al. America. Analysis of the characteristics of the main maize populations in the Americas and their utilization pathways[J]. *Heredity*, 2013, 35(6): 703-713. (in Chinese)
- [22] 王稼苜, 任帅, 丁强, 等. 我国玉米杂种优势群的利用、划分与演变[J]. *中国种业*, 2019(12): 13-17.
- WANG J M, REN S, DING Q, et al. Utilization, division and evolution of maize heterosis groups in China[J]. *China Seed Industry*, 2019(12): 13-17. (in Chinese)
- [23] 曾三省. 中国玉米杂交种的种质基础[J]. *中国农业科学*, 1990, 23(4):1-9.
- ZENG S X. Germplasm basis of maize hybrids in China[J]. *Chinese Journal of Agricultural Sciences*, 1990, 23(4): 1-9. (in Chinese)
- [24] LI C H, GUAN H H, JING X, et al. Genomic insights into historical improvement of heterotic groups during modern hybrid maize breeding[J]. *Nature Plants*, 2022, 8(7): 750-763.
- [25] 吴铮, 闫昊, 曹士亮, 等. 主要作物杂种优势群及利用模式研究进展[J/OL]. *分子植物育种*, 2023: 1-9 [2023-03-06]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20220729.1410.012.html>.
- [26] 刘增兵, 姜景彬, 杨欢欢, 等. 植物杂种优势的研究进展[J]. *分子植物育种*, 2019, 17(12):4127-4134.
- LIU Z B, JIANG J B, YANG H H, et al. Research progress of plant heterosis[J]. *Molecular Plant Breeding*, 2019, 17(12): 4127-4134. (in Chinese)
- [27] 张前进, 鲁晓民, 李明顺, 等. 12份外引玉米种质主要农艺性状的配合力及杂种优势分析[J]. *玉米科学*, 2020, 28(6):8-17.
- ZHANG Q J, LU X M, LI M S, et al. Analysis of combining ability and heterosis of main agronomic characters of 12 introduced maize germplasm[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2020, 28(6): 8-17. (in Chinese)
- [28] COMSTOCK R E, ROBINSON H F. The components of genetic variance in populations of biparental progenies and their use in estimating the average degree of dominance[J]. *Biometrics*, 1948, 4(4): 254-266.
- [29] COMSTOCK R E, ROBINSON H F. Estimation of average dominance of genes[M]. *Heterosis*. Iowa State University Press, Ames, IA, 1952, 494-516.
- [30] FALCONER D S. Introduction to quantitative genetics[M]. Pearson Education India, 1996.
- [31] 杨培珠, 钟国祥, 谢虹, 等. 玉米种质资源的背景与利用现状[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(5):25-28.
- YANG P Z, ZHONG G X, XIE H, et al. Background and utilization status of maize germplasm resources[J]. *China Agronomy Bulletin*, 2011, 27(5): 25-28. (in Chinese)
- [32] 高旭东, 周旭梅, 高洪敏, 等. 欧洲玉米种质BRC选系主要农艺性状的配合力及杂种优势分析[J]. *玉米科学*, 2015, 23(3):28-33.
- GAO X D, ZHOU X M, GAO H M, et al. Combining ability and heterosis analysis of main agronomic characters of European maize germplasm BRC[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2015, 23(3): 28-33. (in Chinese)
- [33] 陈彦惠, 武安柱, 吴连成, 等. “金皇后”等八个玉米群体产量配合力分析[J]. *玉米科学*, 2002(4):10-12.
- CHEN Y H, WU A Z, WU L C, et al. Analysis of yield combining ability of eight maize populations including "Golden Queen"[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2002(4): 10-12. (in Chinese)

(责任编辑: 朴红梅)