

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2012.00215

## 轮回选择对豫综 5 号玉米群体产量性状配合力的改良效果

库丽霞<sup>1</sup> 孟庆雷<sup>1</sup> 侯本军<sup>2</sup> 李家富<sup>3</sup> 刘海静<sup>1</sup> 陈彦惠<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>河南农业大学农学院 / 国家重点实验室培育基地, 河南郑州 450002; <sup>2</sup>海南省农业科学院粮食作物研究所, 海南海口 571100; <sup>3</sup>济源市农业科学研究所, 河南济源 454652

**摘要:** 玉米群体遗传基础广泛、遗传变异丰富, 是培育优良玉米自交系的源泉。玉米群体的改良研究对玉米种质资源创新、优良自交系选育具有重要的指导意义。本研究采用 NC II 遗传选配设计, 以豫综 5 号 5 个轮次改良群体为父本, 以黄早四、丹 340、中综 5 号、齐 319、掖 478、Mo17 为测验种配制成 30 个测交组合, 通过一年两点的产量性状及其配合力评价试验, 研究轮回选择对豫综 5 号群体的改良效果。结果表明, 轮回选择对群体单株产量的改良是有效的, 群体与各测验种间的杂交后代产量平均每轮提高 3.57%。半姊妹轮回选择和相互半姊妹轮回选择在改良群体产量一般配合力方面, 均得到显著提高, 呈逐轮上升的趋势; 采用半姊妹轮回选择对豫综 5 号群体 3 轮的选择后, C<sub>3</sub> 群体与 C<sub>0</sub> 相比, 一般配合力效应值从 -11.63 增长到 5.57, 差异极显著; 经 1 轮相互半姊妹轮回选择后, 群体的一般配合力效应值从 C<sub>3</sub> 的 5.57 增加到 C<sub>4</sub> 的 9.75。豫综 5 号改良群体与黄早四的特殊配合力得到一定的提高, 逐轮朝着 Reid×唐四平头杂优模式水平提高的方向稳定发展。

**关键词:** 玉米; 群体; 轮回选择; 配合力

## Improvement Efficiency of Recurrent Selection for the Combining Ability of Yield Trait in Maize Population Yuzong 5

KU Li-Xia<sup>1</sup>, MENG Qing-Lei<sup>1</sup>, HOU Ben-Jun<sup>2</sup>, LI Jia-Fu<sup>3</sup>, LIU Hai-Jing<sup>1</sup>, and CHEN Yan-Hui<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> College of Agronomy, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; <sup>2</sup> Institute of Grain Crops, Hainan Academy of Agricultural Sciences, Haikou 571100, China; <sup>3</sup> Jiyuan Academy of Agricultural Sciences, Jiyuan 454652, China

**Abstract:** Maize population has the extensive hereditary basis and rich hereditary variation, and therefore is the source of good inbred lines cultivated. Improvement of maize population is important to create new germplasm and breed excellent inbred lines. In this study, 30 testcrossing combinations that Huangzaosi, Dan 340, Zhong Syn 5, Qi 319, Ye 478, and Mo17 crossed with five cycle improved populations according to NC II design were evaluated in two environments. The results showed that the recurrent selection method gained a good result for yield per plant of the population and the gain of hybrid grain yields of testcross combinations between improved populations per cycle and testing cultivars increased by 10%. Both half-sib recurrent selection (HS-RS) and half-sib reciprocal recurrent selection (HS-RRS) were good methods for improving the general combining ability (GCA) of grain yield in the populations and the GCA was improved in very cycle for the populations. After improvement of three cycles for Yuzong 5 by HS-RS, the GCA increased from -11.63 to 5.57 with highly significant probability difference at the level by C<sub>3</sub> comparing with C<sub>0</sub>. After improvement of one cycle for Yuzong 5 by HS-RRS, the GCA increased from 5.57 to 9.75 by C<sub>4</sub> comparing with C<sub>3</sub>. The analysis of special combining ability (SCA) showed that the SCA of improved Yuzong 5 × Huangzaosi had certain enhancement, indicating that improvement of Yuzong 5 developed steadily toward the heterotic pattern of Reid×SiPT.

**Keywords:** Maize; Population; Recurrent selection; Combining ability

玉米种质基础狭窄是进一步提高我国玉米育种水平的主要限制因素, 解决这一问题的根本途径是种质扩增、改良和创新, 利用轮回选择开展群体改良则是一个重要的方法<sup>[1]</sup>。轮回选择通过有目标的

选择—杂交重组—再选择—再杂交重组循环, 可以在群体中不断积聚有利基因, 淘汰不利基因, 打破基因间连锁, 增大重组机会, 改变群体内遗传结构和基因互作关系, 有效提高群体优良基因和基因型

本研究由国家高技术研究发展计划(863 计划)重大专项(2006AA100103)和河南省重大公益性项目资助。

\* 通讯作者(Corresponding author): 陈彦惠, E-mail: chy989@sohu.com

Received(收稿日期): 2011-07-08; Accepted(接受日期): 2011-10-12; Published online(网络出版日期): 2011-12-01.

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20111201.0921.007.html>

频率,保持群体内一定的遗传变异,最终为选育优良自交系和杂交种源源不断地提供优异的育种素材<sup>[2]</sup>。Hallauer等<sup>[3]</sup>对以往的轮回选择研究做过详细的综述,国内外研究表明,轮回选择可以提高玉米群体的一般配合力和特殊配合力以及改良群体本身产量等农艺性状。轮回选择方法虽然很多,但以产量配合力为主要目标的半姊妹和相互半姊妹轮回选择方法应用最为广泛<sup>[1]</sup>。美国IOWA大学从1939年开始利用BSSS等群体和从1949年开始利用BSSS和BSCBI,分别进行半姊妹和相互半姊妹轮回选择,经历15轮以上的改良,从不同轮次改良群体中选出了B14、B37、B73、B84、B85等优良自交系,BSSS群体在美国优良种质资源利用和玉米生产中发挥了重要作用<sup>[4]</sup>。国内陈彦惠等<sup>[5]</sup>对2个玉米群体2轮半姊妹轮回选择结果表明,群体产量和配合力均得到提高,平均每轮提高6.1%和8.9%。刘新芝等<sup>[6]</sup>用半姊妹轮回选择法对中综2号进行3轮改良后发现,群体产量平均每轮增益为7.4%;一般配合力从 $C_0$ 的-10.08增长到 $C_3$ 的15.92。彭泽斌等<sup>[7]</sup>采用半姊妹轮回选择对中综4号进行4轮改良后,改良群体与测验种间杂交组合产量平均每轮提高6.0%,杂种优势平均每轮提高6.9%。彭泽斌等<sup>[8]</sup>采用半姊妹相互轮回选择对中综3号和中综4号群体完成了2轮改良。结果表明,改良群体与各测验种间的测交组合产量和杂种优势均逐轮提高,根据中综4号改良群体与6个测验种间杂交组合产量及杂种优势的比较研究,认为中综4号与黄早四、丹340之间为强优势利用模式对。

现代玉米育种的核心是杂种优势利用,通过轮回选择提高杂种优势利用的水平和效率时,改良的群体必须配合力高、农艺性状好,并具有明确的杂种优势类群和利用模式。豫综5号群体是1990年河南农业大学用16个美国种质来源的自交系组配而成,然后根据国外系×国内系的杂种优势模式,选用能代表国内主要种质的自交系和群体作为测验种进行了3轮半姊妹轮回选择和1轮相互半姊妹轮回选择。研究和育种实践表明,该群体具有较高利用价值。新疆农业科学院、四川农业大学和河南农业大学等单位先后从豫综5号不同改良群体中选育出了新自534、新自588、豫537、豫82等优良自交系,育成了通过审定的多个玉米新品种如新玉34、新玉39、新玉41、豫单2001、豫单2002、豫单998等。本研究是在前期对豫综5号改良群体本身产量改良效

果评价<sup>[9]</sup>的基础上,利用不同改良群体与黄早四、丹340、齐319、掖478、Mo17和中综5号之间的测交组合,通过一年两点的产量配合力评价试验,从群体配合力的角度,研究轮回选择对豫综5号群体的改良效果,以期为今后群体改良研究和该群体的进一步改良和利用提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 基础材料组建及改良过程

豫综5号基础群体是河南农业大学1990年以16个美国种质来源的自交系组配而成。它们是掖478、掖8112、沈5003、美3184、沈5005、郑32、铁7922、掖107、27-263、许05、Mo17、齐302、齐35、豫杂3号、豫杂16、豫UMU。1991年起,以产量配合力为主要目标,兼顾主要农艺性状选择,用具有我国塘四平头血缘的黄早四和旅大红骨血缘的丹340组成单交组合作为测验种,采用半姊妹轮回选择的方法2001年完成了对豫综5号群体的3轮选择,获得 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 群体。在第一轮选择中,第1季从种植约2000个单株豫综5号基础群体中,选出200多个优良单株套袋自交,同时与相邻种植测验种(黄早四×丹340)的6~8个单株杂交获得测交种,并一对一编号,第2季在2个地点对测交种进行产量比较试验,根据测交种产量比较结果,选出产量配合力较高、自交单株综合农艺性状优良的对应自交果穗30个,选择强度为15%,第3季种植自交果穗穗行,采用一母多父的授粉的方法获得豫综5号 $C_1$ 群体。在第2轮和第3轮选择中,自交测交单株分别为198和203,合成新一轮群体的选择强度分别为15.2%和14.8%。2002年以产量配合力为主要目标,将豫综5号 $C_3$ 群体与黄金群体(由国内改良的金皇后综合种和12个塘四平头血缘自交系组成)作为一对改良群体开始相互半姊妹轮回选择,从种植均为4000个单株的豫综5号和黄金群群体中分别选择200个优良单株套袋自交,同时在对对应测验种群体中随机选择4~6个单株雌穗杂交,收获时2个群体分别获得182个和180个自交果穗及其对应测交种。2003年夏在河南郑州和新郑两个地点对测交种进行产量比较试验,根据测交种产量比较结果,选择了豫综5号产量配合力较高、单株综合农艺性状优良的对应自交果穗25个,选择强度为13.7%,2004年种植25个自交果穗穗行,采用一母多父授粉的方法获得豫综5号 $C_4$ 群体。

为了消除种子长期储存、生活力下降等因素所带来的误差, 2005年冬在海南三亚种植豫综5号C<sub>0</sub>、C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub>群体, 采用混合授粉(每个群体至少300株父本和100株母本)繁殖各轮群体种子。为了分析评价豫综5号改良群体与代表我国主要杂优类群种质之间的遗传关系和改良效果, 选用5个自交系和1个群体作为测验种与不同轮次群体杂交。在6个测验种中, 中综5号是中国农业科学院由16个黄早四改良系合成的群体, 黄早四和中综5号代表塘四平头种质, 丹340代表旅大红骨种质, 掖478、Mo17和齐319分别代表Reid、Lancaster和P群种质。在繁殖各轮群体的同时, 以豫综5号C<sub>0</sub>、C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>、C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub>群体为父本, 以测验种作为母本, 按NC II遗传交配设计, 配制了30个测交组合。配制测交组合时, 做父本的每个群体至少选100株花粉混合后, 授在至少10株的母本自交系雌穗上, 收获后每个测交组合果穗混合脱粒用于本试验。

## 1.2 测交组合产量比较试验

2006年夏季在郑州河南农业大学科教园区和济源市农业科学研究所两个地点, 将30个群体测交组合和对照种浚单18共31个材料进行产量比较试验。采用完全随机区组设计, 3次重复, 2行区, 行长4 m, 行距0.65 m, 株距0.25 m。收获后室内考种, 调查穗长、行粒数、穗行数、穗粗、百粒重和单株产量等产量性状。以小区均数为单位统计分析数据, 利用DPSS 7.05软件进行联合方差分析和显著性检验, 以小区为单位按照郭平仲、高之仁介绍的NC II遗传交配设计方法进行配合力方差分析、一般配合力和特殊配合力效应估算以及显著性检验<sup>[10]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 测交组合改良效果分析

2.1.1 方差分析 郑州和济源2点30个测交组合各性状联合方差分析结果(表略)表明, 30个测交组合间单株产量、穗长、行粒数、穗粗、穗行数和百粒重的差异均达到极显著水平, 说明不同测交组合在这些性状上均存在着本质的遗传差异; 地点间在穗长、穗粗、穗行数和百粒重上的差异均达到极显著水平, 测交组合与地点间的互作在穗长和穗行数上的差异达到了显著水平, 说明这些性状的表现同时受环境及基因型与环境互作的影响。

2.1.2 测交组合产量分析 豫综5号群体在3轮半姊妹轮回选择过程中所用的原始测验种是黄早四

×丹340, 在1轮的相互半姊妹轮回选择中所用的原始测验种是含有国内地方种质塘四平头与金皇后的“黄金”群体。由表1可见, 以黄早四、丹340和中综5号为遗传背景评价群体改良效果时, 豫综5号群体经过4轮改良后, 随着选择轮次的增加, 黄早四、丹340和中综5号与各轮群体测交组合的单株产量均逐轮提高, 改良群体C<sub>4</sub>与C<sub>0</sub>的差异均极显著, 获得增益分别为24.79、24.55和21.39 g, 平均每轮增益分别为4.00%、4.53%和3.65%。进一步分析发现, 经3轮半姊妹轮回选择改良后, 改良群体C<sub>3</sub>测交组合与C<sub>0</sub>测交组合间差异均极显著, 获得增益分别为18.78、15.42和17.67 g, 平均每轮增益分别为4.04%、3.79%和4.02%; 经过1轮相互半姊妹轮回选择改良后, 改良群体测交组合C<sub>4</sub>与C<sub>3</sub>相比均有所提高, 获得增益分别为6.01 g (3.46%)、9.13 g (6.04%)和3.72 g (2.26%), 丹340测交组合间差异显著, 黄早四和中综5号测交组合间差异不显著。上述结果说明, 半姊妹轮回选择和相互半姊妹轮回选择对群体单株产量的改良是有效的。

从6个测验种与群体组合单株产量平均值比较中可以看出, 平均值由高到低的测验种分别是黄早四、齐319、中综5号、丹340、Mo17和掖478。具体到30个组合中, 产量最高的前3个组合分别为黄早四×C<sub>4</sub>、黄早四×C<sub>3</sub>和齐319×C<sub>3</sub>, 黄早四做测验种占2个组合, 而产量最低的3个组合分别为Mo17×C<sub>0</sub>、掖478×C<sub>0</sub>和掖478×C<sub>1</sub>, 掖478做测验种占2个组合。这说明豫综5号高轮次改良群体与黄早四的杂种优势最大, 豫综5号低轮次群体与掖478的杂种优势最小。再从测验种与群体组合平均产量的各轮变化来看, 黄早四、丹340和中综5号的组合从C<sub>0</sub>到C<sub>4</sub>呈逐轮稳定增加的趋势; 而另外3个测验种的各轮组合与C<sub>0</sub>相比虽然都有一定提高, 但各轮次间不是逐轮稳步提高, 而有一定波动。例如, 掖478与C<sub>3</sub>、C<sub>4</sub>组合低于C<sub>2</sub>, Mo17与C<sub>2</sub>组合低于C<sub>1</sub>, 齐319与C<sub>1</sub>组合低于C<sub>0</sub>、C<sub>4</sub>组合低于C<sub>3</sub>。这说明在鉴定群体改良效果中, 掖478、Mo17、齐319与黄早四、丹340和中综5号表现趋势并非完全一致, 即国外种质与国内种质鉴定评价群体内优良基因位点的效果存在一定差异。在轮回选择过程中用黄早四、丹340和黄金群体做测验种, 对群体每轮的改良朝着国内种质×国外种质杂种优势模式水平提高的方向稳定发展, 尤其是逐轮向着Reid×唐四平头杂种优势模式水平提高的方向发展。

表 1 豫综 5 号各轮改良群体测交组合 2 点平均单株产量  
Table 1 Average single plant yield of the crosses in different improved populations of Yuzong 5 in the two locations (g)

轮次 Cycle	黄早四 Huangzaosi	丹 340 Dan 340	中综 5 号 Zhong Syn 5	齐 319 Qi 319	掖 478 Ye 478	Mo17
C <sub>0</sub>	155.01	135.53	146.66	159.36	126.10	123.51
C <sub>1</sub>	159.48	148.12	151.06	147.76	128.72	139.96
C <sub>2</sub>	169.86	149.84	153.01	166.29	137.71	137.95
C <sub>3</sub>	173.79	150.95	164.33	171.58	132.33	146.37
C <sub>4</sub>	179.80	160.08	168.05	166.24	135.27	154.98
Mean	167.59	148.90	156.62	162.25	132.03	140.55
LSD <sub>0.05</sub>	8.48	8.48	8.48	8.48	8.48	8.48
LSD <sub>0.01</sub>	11.21	11.21	11.21	11.21	11.21	11.21
C <sub>4</sub> 增益 C <sub>4</sub> ΔG (g)	24.79	24.55	21.39	6.88	9.17	31.47
每轮增益 ΔG per cycle (%)	4.00	4.53	3.65	1.08	1.81	6.37

对照浚单 18 单株产量为 193.24 g。Yield per plant of Xundan 18 (CK) is 193.24 g.

2.1.3 测交组合产量性状分析 在两种轮回选择过程中,均以产量配合力为主要目标,从改良群体测交组合产量性状的变化中可以评价间接选择的效果,为进一步改良提供依据。由表 2 可以看出,黄早四与群体组合逐轮间除穗粗保持不变、穗行数略有下降外,穗长、行粒数、百粒重随着轮次的增加均有所提高,说明在以产量配合力为主要目标的轮回选择中,随着产量的提高,群体测交组合的穗长、行粒数、百粒重等产量性状也得到了一定提高。丹 340 与群体组合穗粗、穗行数随着轮数的增加均略有提高,但穗长、行粒数和百粒重略有降低。中综 5 号与群体组合穗长、行粒数随着轮数的增加均略有提高,但穗粗、穗行数和百粒重稍有减少。齐 319 与群体组合逐轮间只有百粒重随着轮数的增加均有所提高,而其他 4 个性状都是从 C<sub>0</sub>到 C<sub>3</sub>略有增加,而 C<sub>3</sub>到 C<sub>4</sub>稍有减少。Mo17 与群体组合穗长、百粒重、穗粗、穗行数随着轮数的增加均有所提高,但行粒数略有降低。掖 478 与群体组合穗长、百粒重随着轮数的增加均略有提高,而穗行数显著降低,行粒数和穗粗变化不大。

2.2 群体配合力分析

2.2.1 群体配合力方差分析 郑州、济源两点不同改良群体单株产量配合力的方差分析结果(表 3)表明,父本间、母本间一般配合力和父×母间特殊配合力差异均达到极显著水平,说明不同轮次群体之间、测验种间的一般配合力及改良群体与测验种间特殊配合力存在着本质的差异。进一步分析发现,测验种间、改良群体间一般配合力方差显著大于特

殊配合力方差,测验种间的遗传变异(一般配合力方差)占总遗传变异的 66.07%,不同轮次群体间的遗传变异(一般配合力方差)占 24.12%,父母本一般配合力总方差合计占 90.19%,而测验种与不同轮次群体间互作的遗传变异仅占 9.81%。这些结果说明,不同测验种间的遗传变异大于不同轮次群体间遗传变异,更大于测验种与不同轮次群体间的互作变异。

2.2.2 配合力效应分析 在本试验的总遗传变异中,不同基因型间一般配合力变异占主导地位。由表 4 可以看出, C<sub>0</sub>、 C<sub>1</sub>、 C<sub>2</sub>、 C<sub>3</sub>和 C<sub>4</sub>的一般配合力效应呈逐轮增加的趋势, C<sub>4</sub>与 C<sub>0</sub>、 C<sub>3</sub>与 C<sub>0</sub>间的差异达到极显著水平, C<sub>4</sub>与 C<sub>3</sub>间的差异达到显著水平。可见豫综 5 号群体经过 3 轮半姊妹轮回选择和一轮相互半姊妹轮回选择改良,单株产量的一般配合力均得到显著的提高。说明对群体内优良加性基因的选择是有效的,群体内获得的遗传增益可以稳定遗传下去。

母本测验种的一般配合力效应由高到低依次为黄早四、齐 319、中综 5 号、丹 340、Mo17、掖 478,且它们之间的差异达到极显著水平。这进一步反映了豫综 5 号群体与代表国内主要杂优种质类群之间在一般配合力上的差异。

在本试验的总遗传变异中,不同测验种与不同轮次群体间特殊配合力的变异占次要地位。从表 4 特殊配合力效应来看,黄早四与各轮群体间, C<sub>3</sub>与 C<sub>0</sub>相比有一定提高, C<sub>4</sub>与 C<sub>0</sub>和 C<sub>3</sub>相比也有一定提高,说明用半姊妹轮回选择和相互半姊妹轮回选择的方法对豫综 5 号改良后,豫综 5 号与黄早四之间

表 2 豫综 5 号各轮群体测交组合 2 点穗部产量性状平均值

Table 2 Average values of yield traits of the crosses in different improved populations of Yuzong 5 in the two locations

组合 Cross	穗长 Ear length (cm)	行粒数 Kernel per row	穗行数 Row per ear	穗粗 Ear diameter (cm)	百粒重 100-kernel weight (g)
黄早四×C <sub>0</sub> Huangzaosi×C <sub>0</sub>	16.52	34.25	14.80	4.81	28.03
黄早四×C <sub>1</sub> Huangzaosi×C <sub>1</sub>	17.57	33.65	15.25	5.02	29.68
黄早四×C <sub>2</sub> Huangzaosi×C <sub>2</sub>	17.17	34.15	14.52	4.96	28.38
黄早四×C <sub>3</sub> Huangzaosi×C <sub>3</sub>	17.07	35.23	14.20	4.82	29.95
黄早四×C <sub>4</sub> Huangzaosi×C <sub>4</sub>	17.33	34.53	14.38	4.81	30.46
丹 340×C <sub>0</sub> D340×C <sub>0</sub>	18.87	36.43	16.99	5.09	26.96
丹 340×C <sub>1</sub> D340×C <sub>1</sub>	19.05	37.35	17.05	5.27	28.51
丹 340×C <sub>2</sub> D340×C <sub>2</sub>	19.16	34.29	17.83	5.47	26.80
丹 340×C <sub>3</sub> D340×C <sub>3</sub>	19.96	34.72	17.66	5.34	28.82
丹 340×C <sub>4</sub> D340×C <sub>4</sub>	18.35	35.58	17.65	5.35	26.79
中综 5 号×C <sub>0</sub> Zhong Syn 5×C <sub>0</sub>	17.21	32.58	14.73	4.97	30.04
中综 5 号×C <sub>1</sub> Zhong Syn 5×C <sub>1</sub>	17.91	35.95	14.07	4.90	29.88
中综 5 号×C <sub>2</sub> Zhong Syn 5×C <sub>2</sub>	18.21	35.4	16.10	5.13	28.11
中综 5 号×C <sub>3</sub> Zhong Syn 5×C <sub>3</sub>	17.93	34.32	15.12	5.01	30.23
中综 5 号×C <sub>4</sub> Zhong Syn 5×C <sub>4</sub>	18.10	36.37	14.52	4.83	29.85
齐 319×C <sub>0</sub> Qi 319×C <sub>0</sub>	18.83	33.14	14.43	4.99	30.82
齐 319×C <sub>1</sub> Qi 319×C <sub>1</sub>	17.69	31.01	13.90	5.03	32.04
齐 319×C <sub>2</sub> Qi 319×C <sub>2</sub>	19.35	35.25	15.19	5.17	30.61
齐 319×C <sub>3</sub> Qi 319×C <sub>3</sub>	19.53	36.23	14.80	5.14	31.33
齐 319×C <sub>4</sub> Qi 319×C <sub>4</sub>	19.08	35.26	14.01	4.96	33.25
掖 478×C <sub>0</sub> Ye 478×C <sub>0</sub>	18.31	37.54	14.53	4.57	27.21
掖 478×C <sub>1</sub> Ye 478×C <sub>1</sub>	18.32	34.21	13.02	4.71	28.86
掖 478×C <sub>2</sub> Ye 478×C <sub>2</sub>	18.05	34.55	14.61	4.80	27.84
掖 478×C <sub>3</sub> Ye 478×C <sub>3</sub>	18.64	34.82	13.53	4.79	30.70
掖 478×C <sub>4</sub> Ye 478×C <sub>4</sub>	18.94	36.11	12.61	4.58	28.28
Mo17×C <sub>0</sub>	19.01	38.02	12.48	4.21	27.87
Mo17×C <sub>1</sub>	18.58	34.70	14.47	4.88	32.07
Mo17×C <sub>2</sub>	19.08	34.76	14.08	4.86	31.58
Mo17×C <sub>3</sub>	19.77	36.99	13.21	4.57	27.93
Mo17×C <sub>4</sub>	19.85	35.23	13.41	4.68	30.04
浚单 18 Xundan 18	16.88	37.67	15.32	5.05	31.45
LSD <sub>0.05</sub>	1.10	2.64	1.27	0.26	3.30
LSD <sub>0.01</sub>	1.46	3.48	1.68	0.34	4.36

表 3 群体配合力方差分析

Table 3 Variance analysis of combining ability in the populations

变异来源 Source of variation	df	SS	MS	F
区组 Replication	5	626.25	125.25	2.22
父本 Male	4	10432.25	2608.06	46.26**
母本 Female	5	28580.25	5716.05	101.39**
父×母 Male×female	20	4246.00	212.30	3.77**
误差 Error	145	8174.25	56.37	1.00

\* 表示 5%显著水平差异; \*\* 表示 1%显著水平差异。

\* Significantly different at 5% level; \*\* Significantly different at 1% level.

表 4 改良群体配合力效应  
Table 4 Combining ability effect of the populations

测验种 Tester	C <sub>0</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	GCAf
黄早四 Huangzaosi	-0.95	-2.97	0.82	0.64	2.47	16.60
齐 319 Qi 319	8.74	-9.35	2.59	3.76	-5.75	11.26
中综 5 号 Zhong Syn 5	1.67	-0.42	-5.07	2.14	1.69	5.63
丹 340 Dan 340	-1.75	4.36	-0.52	-3.52	1.43	-2.09
Mo17	-12.42	5.55	-2.05	2.25	6.68	-12.44
掖 478 Ye 478	5.70	1.84	4.23	-5.26	-6.50	-18.96
GCAm	-11.63	-5.14	1.46	5.57	9.75	

GCAf 代表母本的一般配合力; GCAm 代表父本的一般配合力。  
 $LSD_{0.05}[(G_i - G_j)f] = 3.80$ ,  $LSD_{0.01}[(G_i - G_j)f] = 5.00$ ;  $LSD_{0.05}[(G_i - G_j)m] = 3.47$ ,  $LSD_{0.01}[(G_i - G_j)m] = 4.57$ ;  $LSD_{0.05}(S_{ik} - S_{il}) = 7.91$ ,  $LSD_{0.01}(S_{ik} - S_{il}) = 9.11$ ;  $LSD_{0.05}(S_{kj} - S_{lj}) = 8.01$ ,  $LSD_{0.01}(S_{kj} - S_{lj}) = 10.12$ ;  $LSD_{0.05}(S_{ij} - S_{kl}) = 8.51$ ,  $LSD_{0.01}(S_{ij} - S_{kl}) = 11.20$ .  
GCAf: general combining ability of femal parent; GCAm: general combining ability of mal parent.

的特殊配合力有所提高。但与黄早四测验种相反, 掖 478 与各轮群体间的特殊配合力逐轮降低, C<sub>3</sub> 与 C<sub>0</sub> 和 C<sub>4</sub> 与 C<sub>0</sub> 的差异均达到极显著水平。

从表 4 其他测验种与群体特殊配合力效应来看, 其变化并没有突出的特点, 不是随着轮次的增加而提高或降低。中综 5 号、丹 340 与群体特殊配合力效应在不同轮次中的差异均未达到显著水平; 齐 319、Mo17 与群体特殊配合力效应在不同轮次中的差异虽然达到显著或极显著水平, 但各轮次间不是逐轮稳步提高或降低, 而是呈现一定的波动或跳跃。例如, 齐 319 与各轮群体间的特殊配合力效应是 C<sub>0</sub>>C<sub>3</sub>>C<sub>2</sub>>C<sub>4</sub>>C<sub>1</sub>, 而 Mo17 则是 C<sub>4</sub>>C<sub>1</sub>>C<sub>3</sub>>C<sub>2</sub>>C<sub>0</sub>。

3 讨论

3.1 轮回选择法可以有效地提高豫综 5 号群体的配合力

育种实践证明, 轮回选择是群体改良和种质创新最常用和有效的方法, 是育种工作中不可缺少的一部分。育种者已经认识到种质贫乏和遗传基础狭窄严重地制约着育种和生产持续发展, 而且也将成为生物技术等新技术有效应用的重要限制因素<sup>[11]</sup>。因此, 开展轮回选择, 群体改良、种质扩增和创新, 对拓展种质基础, 提高杂种优势利用水平具有重大意义, 而且势必成为取得育种突破性进展的物质、材料和方法基础。Eberhart 等<sup>[12]</sup>曾用半姊妹轮回选择对依阿华坚秆综合种 BSSS 进行了 7 个周期的改良, 群体本身产量每周期增益为 1.24%; BSSS(HT)Cn×Iowa13 测交产量也呈线性增长, 每周期增益为 2.6%。刘新芝等<sup>[6]</sup>采用半姊妹轮回选择对中综 2 号进行了 3 轮选择后, 群体本身产量平均每轮增加 7.4%, 群体一

般配合力效应值从-10.08 增长到 15.92。本课题组对豫综 5 号不同轮次改良群体本身产量及穗部性状的改良效果评价研究结果表明, 随着改良轮次的增加, 豫综 5 号群体本身单株产量逐轮提高, 平均每轮提高 6.36%。其中, 半姊妹轮回选择改良的 3 轮群体平均每轮提高 6.30%, 相互半姊妹轮回选择的改良群体提高 5.51%<sup>[9]</sup>。本研究表明, 以代表国内种质的黄早四、丹 340 和中综 5 号为遗传背景评价群体改良效果时, 豫综 5 号群体经过 4 轮改良后, 随着选择轮次的增加, 黄早四、丹 340 和中综 5 号与各轮群体测交组合的单株产量均逐轮提高, 改良群体 C<sub>4</sub> 与 C<sub>0</sub> 的差异均达到显著水平, 平均每轮增益分别为 4.0%、4.53%和 3.65%。从一般配合力角度评价改良效果时, 群体也呈逐轮提高的趋势, C<sub>3</sub> 与 C<sub>0</sub> 和 C<sub>4</sub> 与 C<sub>3</sub> 间的差异均达到显著水平, 说明采用半姊妹轮回选择和相互半姊妹轮回选择对豫综 5 号群体的一般配合力和与国内种质的测交组合产量的改良是有效的, 而且主要是改良提高了群体的一般配合力, 提高了群体内加性优良基因的频率。这些结果与前人半姊妹轮回选择和相互半姊妹轮回选择结果基本一致<sup>[6-8]</sup>。

在本试验中, 虽然不同测验种与不同轮次群体间单株产量特殊配合力方差只占总遗传方差的 9.18%, 但黄早四与各轮群体间特殊配合力仍呈逐轮提高的趋势, 而掖 478 与各轮群体间的特殊配合力则呈逐轮降低的趋势。其他 4 个测验种中综 5 号、丹 340、齐 319、Mo17 与群体特殊配合力效应在不同轮次间不是逐轮稳步提高或降低, 而呈一定波动或跳跃。在用黄早四和丹 340 的 F<sub>1</sub> 做测验种进行半姊妹轮回选择的过程中, 显然提高了群体与黄早四之间的特殊配合力, 但并未明显提高群体与丹 340 之间的特

殊配合力, 这可能是由于豫综5号与黄早四之间的遗传特性更适应于黄淮海地区, 在利用测验种对群体内不同基因位点进行环境评价和选择过程中, 改变了群体内原来的基因频率和遗传结构, 导致改良群体与黄早四间的遗传差异进一步扩大, 而与掖478间的遗传差异进一步缩小, 因此, 群体选择向着更有利于提高群体与黄早四间特殊配合力的方向发展。

### 3.2 关于豫综5号群体进一步改良利用的探讨

群体改良的目的是提高群体优良基因和基因型频率, 保持群体内一定的遗传变异, 为选育优良自交系和杂交种源源不断地提供优异的育种素材<sup>[11-12]</sup>。为使群体改良与杂交种选育紧密衔接, 必须明确改良群体的杂种优势类群和模式。豫综5号群体从合成到开始改良就利用了国内系×国外系的杂优模式, 它是由16个美国种质来源的自交系组成, 血缘系谱清晰, 在改良过程中选用国内2大种质代表黄早四和丹340的F<sub>1</sub>作为测验种, 目标是创建一个适应中国生态环境的美国种质特色的杂优类群。

本研究利用代表我国主要杂优类群的黄早四、中综5号(唐四平头)、丹340(旅大红骨)、齐319(P群)、掖478(Reid)、Mo17(Lancaster)为测验种, 不仅可以评价豫综5号的改良效果, 而且也可以分析豫综5号改良群体与我国主要杂优类群之间的遗传差异, 探索豫综5号群体杂种优势利用的模式。结果显示, 测验种与豫综5号群体测交组合单株产量及其配合力由高到低依次为黄早四、齐319、中综5号、丹340、Mo17和掖478, 高轮次改良群体与黄早四的杂种优势最大, 豫综5号低轮次群体与掖478的杂种优势最小, 豫综5号改良群体×唐四平头类群组合无论在单株产量还是配合力方面, 均优于它与其他杂优类群种质之间形成的组合; 说明在轮回选择过程中群体的改良逐轮朝着 Reid×唐四平头杂种优势模式水平提高的方向发展, 虽然豫综5号群体是由Reid和Lancaster两部分组成, 但经过改良后其遗传结构可能更偏向于Reid种质, 而略远离Lancaster种质。豫综5号×唐四平头类群这一杂优模式与目前人们普遍认为Reid与唐四平头是中国黄淮海玉米主产区的最优杂优模式<sup>[13]</sup>基本一致。但结果又显示, 豫综5号群体与齐319组合的产量和配合力也较高, 说明它们之间具有一定的遗传差异和杂种优势。Reid与P群体的杂优模式在育种实践上也得到一定的印证, 如鲁单50和豫单998等均是采用该模式选育和大面积推广应用的杂交种。因此, 在利用豫综5号作为育种素材所选育的优良自交系, 应注意与唐四平头杂

优类群来源的自交系组配, 有望产生优良杂交种。同时也可能与P群来源的自交系组配选育优良杂交种。在对该群体继续进行轮回选择改良过程中, 仍需要向着豫综5号×唐四平头类群这一杂优模式选择的方向稳步提高。

本研究以往对豫综5号改良群体自身产量性状和测交组合产量等性状的研究表明, 群体表现出穗粒较长、行粒数较多、百粒重较高等优点<sup>[9]</sup>, 在育种上具有较高的潜在利用价值。新疆农业科学院、四川农业大学、河南农业大学等单位已从改良群体中选育出多个审定新品种的亲本自交系。但也应该注意到, 该群体还存在着穗粒较细、穗行数较少、秃尖较长、前期发育较慢的不足<sup>[9]</sup>, 需要在今后改良中保持优良性状的基础上, 有计划地导入优良基因, 拓宽群体的遗传变异, 利用轮回选择, 聚合重要农艺性状的优良基因, 实现对不利性状的改良和提高。

## 4 结论

轮回选择对群体单株产量的改良是有效的; 半姊妹轮回选择和相互半姊妹轮回选择在改良群体产量一般配合力方面, 均呈逐轮上升的趋势; 豫综5号改良群体与黄早四的特殊配合力得到一定的提高, 逐轮朝着 Reid×唐四平头杂优模式水平提高的方向稳定发展。

## References

- [1] Chen Y-H(陈彦惠). Corn Genetic Breeding (玉米遗传育种学). Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 1996. pp 216-221 (in Chinese)
- [2] Zhang T-Z(张天真). The Crop Breeding (作物育种学总论). Beijing: China Agricultural Press, 2003. pp 221-234 (in Chinese)
- [3] Hallauer A R, Miranda J B. Quantitative Genetics in Maize Breeding, 2nd edn. Ames: Iowa State University Press, 1988. pp 577-648
- [4] Xie J-X(谢俊贤). The situation and prospection of recurrent selection in maize. *Rain Fed Crops* (作物杂粮). 2001, 21(2): 1-4 (in Chinese with English abstract)
- [5] Chen Y-H(陈彦惠), Wang M-H(汪茂华). Studies on recurrent selection for specific combining ability in two maize populations. *Acta Agron Sin* (作物学报), 1988, 14(3): 221-225 (in Chinese with English abstract)
- [6] Liu X-Z(刘新芝), Peng Z-B(彭泽斌). Study on improvement effects of population (Zhongzong 2) of half-sib recurrent selection. *Acta Agron Sin* (作物学报), 1994, 20(6): 670-676 (in Chinese with English abstract)
- [7] Peng Z-B(彭泽斌), Tian Z-G(田志国), Liu X-Z(刘新芝). Im-

- provement efficiency of modified s1-hs alternant recurrent selection in maize population ZZ4. *Sci Agric Sin* (中国农业科学), 2004, 37(11): 1598–1603 (in Chinese with English abstract)
- [8] Peng Z-B(彭泽斌), Tian Z-G(田志国), Liu X-Z(刘新芝). Studies on the application of modified HS reciprocal recurrent selection in maize population improvement. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2004, 30(12): 1204–1209 (in Chinese with English abstract)
- [9] Yang S(杨爽), Ku L-X(库丽霞), Meng Q-L(孟庆雷), Hou B-J(侯本军), Li J-F(李家富), Zhang J(张君), Chen Y-H(陈彦惠). Improvement effect on the grain yield in maize population Yu Syn5 by recurrent selection. *J Henan Agric Univ* (河南农业大学学报), 2010, 44(1): 1–6 (in Chinese with English abstract)
- [10] Guo P-Z(郭平仲). Quantitative Genetics (数量遗传学). Beijing: Beijing Normal College Press, 1987 (in Chinese)
- [11] Qi Y-X(漆映雪), Zou X-Y(邹小云). Situation of recurrent selection applied in crops breeding. *Acta Agric Jiangxi* (江西农业科学), 2008, 20(6): 14–17 (in Chinese with English abstract)
- [12] Eberhart S A, Seme D, Hallauer A R. Reciprocal recurrent selection in the BSSS and BSCB1 maize populations and Half-Sib selection in BSSS1. *Crop Sci*, 1973, 13: 451–456 (in Chinese with English abstract)
- [13] Sun J-H(孙敬华). The maize heterotic pattern and improvement of core collection in Yellow Huai Hai. *China Seeds* (中国种业) 2007, (7): 15–17 (in Chinese with English abstract)

## 会议消息

### 作物杂种优势利用国际学术大会

为了更好地总结作物杂种优势研究与利用的成果与经验,由中国工程院、国家外国专家局和陕西省人民政府主办,西北农林科技大学承办的“作物杂种优势利用国际学术大会”将于 2012 年 8 月 20–22 日在陕西西安召开。

会议宗旨:积极促进作物杂种优势利用领域国际间的学术交流与合作,着力推动作物杂种优势利用科学技术在全球的发展,全面推进作物杂种优势利用产业化进程,为全世界粮食安全和农产品有效供给做出新的更大的贡献。

会议主题:开创作物杂种优势利用新时代。会议议题分为三个方面:作物杂种优势机理与基础研究,作物杂交种选育理论与技术,杂种作物亲本繁殖与杂交种生产的理论与技术。会议将邀请国内外著名专家作大会报告,并设有高端论坛和分组专题报告与墙报展示。

会议主席:袁隆平院士

网站: <http://icuhc.nwsuaf.edu.cn>; E-mail: [icuhc2012@gmail.com](mailto:icuhc2012@gmail.com)

联系人:郭东伟;电话:029-87082942(O); 18792737659(Mobile)

热诚欢迎各位同仁莅临本次盛会。

作物杂种优势利用国际学术大会组委会  
2011 年 12 月 16 日