

DOI: 10.19462/j.cnki.zgzy.20231212008

# 基于穗部和籽粒相关性状的玉米杂种优势利用和研究

魏 锋<sup>1</sup> 卫晓轶<sup>1</sup> 史大坤<sup>1</sup> 李方杰<sup>1</sup> 郑秋道<sup>1</sup> 高宏伟<sup>2</sup> 张根峰<sup>2</sup>( <sup>1</sup>新乡市农业科学院,河南新乡 453002; <sup>2</sup>河南宝景农业科技有限公司,新乡 453003 )

**摘要:**为了更好地利用玉米杂种优势,以国审玉米品种伟育 618 及其双亲为试验材料,对穗部性状和籽粒性状进行调查,计算各性状的遗传力和遗传效应,同时计算 F<sub>1</sub> 杂种优势指数、相对杂种优势、中亲优势和超亲优势。结果表明,轴粗、穗行数、穗粗的遗传力较高,行粒数、穗长的遗传力较低;从遗传效应来看,除粒厚外,其余穗部性状和籽粒性状均表现为超显性效应,说明在选育穗部性状及籽粒性状等优良的杂交种时,更应该对双亲的轴粗、穗行数、穗粗等遗传力高的性状进行选择。除考虑父母本的穗部性状和籽粒性状外,还要考虑双亲间的杂种优势。对各性状间的杂种优势进行比较,穗重和穗粒重的中亲优势和超亲优势均高于其他性状,穗部性状杂种优势的平均值大于籽粒性状,因此,在玉米杂交种的选育过程中,穗重和穗粒重也是重要的选择依据。对遗传效应和杂种优势的分析表明,与籽粒性状相比,对玉米穗部性状的选择相对来说更为重要。

**关键词:**玉米;穗部性状;籽粒性状;杂种优势

## Utilization and Study of Heterosis Based on Ear and Kernel Related Traits in Maize

WEI Feng<sup>1</sup>, WEI Xiaoyi<sup>1</sup>, SHI Dakun<sup>1</sup>, LI Fangjie<sup>1</sup>, ZHENG Qiudao<sup>1</sup>, GAO Hongwei<sup>2</sup>, ZHANG Genfeng<sup>2</sup>( <sup>1</sup>Xinxiang Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453002, Henan;<sup>2</sup>Henan Baojing Agricultural Technology Co., Ltd., Xinxiang 453003, Henan )

玉米作为我国第一大粮食作物,在国民经济中占有举足轻重的地位。目前,产量仍为玉米的主要育种目标<sup>[1-2]</sup>,其穗部性状与产量密切相关,因此了解穗部性状的遗传规律有助于育种实践<sup>[3]</sup>。玉米的百粒重与产量呈直接正相关<sup>[4]</sup>,穗长、穗粗和穗

行数可通过影响穗粒数而影响产量<sup>[5]</sup>。成雪峰等<sup>[6]</sup>的研究显示,穗部性状与产量关联度由大到小的次序为千粒重、穗行数、穗粗、行粒数和穗长。楚爱香等<sup>[7]</sup>的研究结果表明,穗行数对产量贡献最大,穗长、穗粗、百粒重等与单株产量呈极显著相关。

玉米是生产上利用杂种优势的典型农作物,玉米的杂种优势主要表现在杂交种的生长势、抗逆性、

基金项目:河南省重大科技专项(221100110300)

通信作者:卫晓轶

40 (10): 27-30

[6] 邢瑶,梅菊芬,储睿文,艾仄宜,徐德良,唐锁海,杨亦扬. 江苏省茶树品种现状及发展思考. 中国种业, 2023 (1): 22-26

[7] 宛晓春. 茶叶生物化学. 北京: 中国农业出版社, 2003

[8] 段小凤,唐茜,郭雅丹,汪婷,郭湘,刘汉章,刘宏. 中茶 108、中茶 302 和中茶 102 的绿茶适制性及制茶品质. 食品科学, 2014, 35(7): 33-37

[9] 李春维,罗昊,郑作芸,江巍,蒋春艳,苏秋芹. 7 个茶树品种(系)的绿茶适制性及茶叶品质分析. 福建茶叶, 2023, 45 (2): 11-13

[10] 龚成云,王春光,王芹,赵云青,黄友谊,刘亚楠. 兴山县 8 个茶树品种的绿茶适制性研究. 中国茶叶加工, 2020 (3): 35-39

[11] 谢文钢,陈玮,谭礼强,杨洋,唐茜. 茶树品种峨眉问春和川茶 2 号新梢主要生化成分分析. 浙江农业学报, 2021, 33 (9): 1592-1601

( 收稿日期: 2023-12-05 )

产量、果穗籽粒等方面<sup>[8-9]</sup>。杂种优势的利用为玉米种质的遗传改良和创新奠定了理论基础,是玉米增产和品质改良的重要方式<sup>[10-11]</sup>。本研究通过对玉米穗部性状、籽粒性状的杂种优势进行分析,从遗传角度上探讨了玉米杂交种 $F_1$ 与双亲的内在关系,为杂种优势的深入利用提供依据,为选育出穗部性状及籽粒性状优良的玉米杂交种提供理论参考。

## 1 材料与方法

**1.1 试验材料** 以国审玉米品种伟育618及其父母本WY97-134和伟程313为供试材料,伟育618为河南宝景农业科技有限公司选育的玉米品种,2018年通过国家审定,审定编号:国审玉20180290。伟育618的母本WY97-134是以迪卡M9×昌7-2为基础材料,父本伟程313是以先玉335×郑58为基础材料,均利用玉米单倍体诱导系诱导出纯系后,结合大田农艺性状和配合力测定选育而成(图1)。

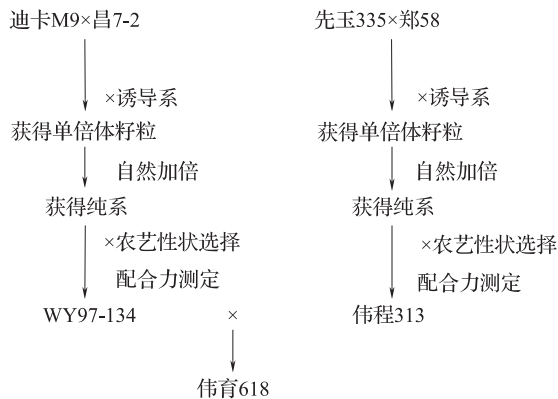


图1 玉米杂交种伟育618系谱图

**1.2 试验设计** 供试材料于2023年6月17日种植在新乡市农业科学院辉县试验基地,6月21日出苗,10月9日收获。种植密度为67500株/hm<sup>2</sup>,采用随机区组设计,3次重复,行距0.6m,4行区,行长4m,小区面积9.6m<sup>2</sup>。田间管理同常规大田生产。

**1.3 调查项目** 成熟期收获小区中间2行进行脱

粒测产,测定穗重(kg)、籽粒含水量(%),穗粒重(kg),折算出水分为14%的穗粒重为最终穗粒重。选取有代表性的10个果穗测量穗部性状,包括穗长(cm)、穗粗(cm)、穗行数、行粒数、轴粗(cm)。每个果穗选取中部有代表性的5颗籽粒,测量粒长(mm)、粒宽(mm)、粒厚(mm)。

**1.4 数据分析** 对 $F_1$ 与双亲进行方差分析,计算遗传力及遗传效应。遗传力的计算公式如下。

$$\text{遗传力}(\%) = \frac{V_G}{V_G + V_E} \quad (1)$$

其中, $V_G$ :遗传方差; $V_E$ :环境方差。

计算遗传效应。通过 $F_1$ 与双亲的表型值计算出单位点上的加性效应(A)和显性效应(D),D/A的比率反映了单位点上的遗传效应,D/A的比率<1、=1和>1时分别表示部分显性(PD)、显性(D)和超显性(OD)<sup>[12]</sup>。

计算 $F_1$ 各性状的 $F_1$ 杂种优势指数、相对杂种优势、中亲优势和超亲优势<sup>[13-14]</sup>,公式如下。

$$F_1 \text{ 杂种优势指数}(\%) = \frac{F_1}{P} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{相对杂种优势}(\%) = \frac{F_1 - P}{F_1} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{中亲优势}(\%) = \frac{F_1 - P}{P_1} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{超亲优势}(\%) = \frac{F_1 - P_{\text{高}}}{P_{\text{高}}} \times 100 \quad (5)$$

式中的 $P$ 为中亲值,即 $(P_1 + P_2)/2$ , $P_{\text{高}}$ 为高亲值。数据处理均采用SPSS 17.0软件进行。

## 2 结果与分析

**2.1 玉米生育期的气候影响** 2023年6-9月的平均气温、降雨量、日照时数见表1。从表中可以看出,6-9月平均气温及日照时数均高于历年,说明当年玉米品种受高温热害的影响程度更大。6月份降雨

表1 2023年6-9月份气象资料

| 月份 | 平均气温(℃) |      |     | 降雨量(mm) |       |       | 日照时数(h) |       |      |
|----|---------|------|-----|---------|-------|-------|---------|-------|------|
|    | 当年      | 历年   | 相差  | 当年      | 历年    | 相差    | 当年      | 历年    | 相差   |
| 6  | 27.4    | 26.3 | 1.1 | 11.3    | 65.2  | -53.9 | 221.9   | 209.2 | 12.7 |
| 7  | 28.9    | 27.6 | 1.3 | 304.8   | 162.8 | 142.0 | 197.5   | 180.6 | 16.9 |
| 8  | 26.8    | 26.4 | 0.4 | 152.5   | 122.2 | 30.3  | 236.0   | 182.5 | 53.5 |
| 9  | 23.1    | 21.6 | 1.5 | 87.4    | 61.5  | 25.9  | 175.1   | 165.9 | 9.2  |

量比历年减少 53.9mm,说明玉米在苗期受到干旱影响。当年 7-9 月份的降雨量均高于历年降雨量,尤其是当年 7 月份降雨量比历年多 142mm,此时玉米正处于营养生长期,过多的降雨量会导致玉米营养生长过快,从而增加倒伏发生的可能性。8-9 月份降雨量略高于历年,此时玉米处于生殖生长的开花期到灌浆期,若降雨量过多会导致病害风险的增加。由于玉米杂交种伟育 618 具有耐高温、抗病性强、抗倒伏等特点,2023 年 6-9 月的气候条件未对伟育 618 造成较大的影响,试验结果准确可靠。

**2.2 杂交种与双亲各性状的遗传效应分析** 对  $F_1$  与双亲的穗部性状、籽粒性状等进行方差分析及遗传效应分析,结果见表 2。从  $F_1$  与双亲之间的方差分析结果可以看出, $F_1$  与双亲之间的穗长、穗粗、行粒数、轴粗、穗重、穗粒重差异均达极显著或显著水平。 $F_1$  与双亲之间的穗行数、粒长、粒宽、粒厚差异均不显著。

表 2  $F_1$  与双亲各性状的遗传效应

| 性状  | F 值                   | 遗传力 (%) | 遗传效应 |
|-----|-----------------------|---------|------|
| 穗长  | 8.647 <sup>*</sup>    | 33.76   | OD   |
| 穗粗  | 24.684 <sup>**</sup>  | 84.37   | OD   |
| 穗行数 | 4.000                 | 86.19   | OD   |
| 行粒数 | 6.112 <sup>*</sup>    | 18.37   | OD   |
| 轴粗  | 17.075 <sup>**</sup>  | 86.59   | OD   |
| 粒长  | 3.584                 | 70.17   | OD   |
| 粒宽  | 3.991                 | 74.12   | OD   |
| 粒厚  | 2.444                 | 71.88   | PD   |
| 穗重  | 464.539 <sup>**</sup> | 78.14   | OD   |
| 穗粒重 | 203.270 <sup>**</sup> | 72.66   | OD   |

\*\*、\* 分别表示在 0.01、0.05 水平达到极显著、显著差异,下同

穗部性状、籽粒性状及产量的遗传力结果表明,轴粗的遗传力最高,达 86.59%,穗行数和穗粗的遗传力也较高,分别为 86.19% 和 84.37%,行粒数的遗传力最低(18.37%),其次为穗长(33.76%)。因此,针对玉米穗部性状和籽粒性状,在玉米新品种的选育过程中应该对双亲的轴粗、穗行数、穗粗等遗传力高的性状进行选择。

从遗传效应来看,除粒厚表现为部分显性效应(PD)外,其余穗部性状和籽粒性状均表现为超显性效应(OD),说明除了要考虑双亲的加性效应,还要考虑双亲的显性效应,即双亲之间的杂种优势,才能选育出穗部性状与籽粒性状优良的杂交种。

**2.3  $F_1$  穗部性状及籽粒性状的相关性分析** 表 3 为穗部性状及籽粒性状的相关性分析结果。从表中可以看出,穗长、穗粗、粒长均与穗重呈显著或极显著正相关,相关系数分别为 0.883、0.954、0.717;穗长、穗粗、行粒数、粒长均与穗粒重呈显著或极显著正相关,相关系数分别为 0.886、0.924、0.725、0.735;轴粗与穗重、穗粒重均呈极显著负相关,相关系数分别为 -0.830 和 -0.817;穗粗与轴粗、粒长均呈显著或极显著正相关,相关系数分别为 0.777 和 0.643;穗重与穗粒重、穗长与行粒数、粒宽与粒厚呈极显著正相关。说明这些穗部性状和籽粒性状之间存在不同程度的相关性,均可以用于下一步杂种优势分析。

**2.4 穗部性状及籽粒性状的杂种优势分析** 穗部性状及籽粒性状的杂种优势分析结果见表 4,从表中可以看出, $F_1$  杂种优势指数介于 97.8%~158.6%,相对杂种优势介于 -2.3%~36.9%,中亲优势介于 -2.2%~58.6%,超亲优势介于 -10.7%~39.9%,说明  $F_1$  不同穗部性状及籽粒性状的杂种优势不同。

表 3  $F_1$  穗部性状及籽粒性状的相关性分析

| 性状  | 穗长                  | 穗粗                  | 穗行数    | 行粒数                 | 轴粗                   | 粒长                 | 粒宽                  | 粒厚    | 穗重                  |
|-----|---------------------|---------------------|--------|---------------------|----------------------|--------------------|---------------------|-------|---------------------|
| 穗粗  | 0.473               |                     |        |                     |                      |                    |                     |       |                     |
| 穗行数 | -0.363              | 0.577               |        |                     |                      |                    |                     |       |                     |
| 行粒数 | 0.906 <sup>**</sup> | 0.547               | -0.176 |                     |                      |                    |                     |       |                     |
| 轴粗  | 0.452               | 0.777 <sup>**</sup> | -0.620 | 0.174               |                      |                    |                     |       |                     |
| 粒长  | 0.647 <sup>*</sup>  | 0.643 <sup>*</sup>  | -0.314 | 0.304               | 0.628                |                    |                     |       |                     |
| 粒宽  | 0.143               | 0.241               | 0.453  | -0.523              | 0.512                | 0.013              |                     |       |                     |
| 粒厚  | -0.149              | 0.034               | -0.419 | -0.556              | 0.085                | -0.129             | 0.772 <sup>**</sup> |       |                     |
| 穗重  | 0.883 <sup>**</sup> | 0.954 <sup>**</sup> | 0.654  | 0.499               | -0.830 <sup>**</sup> | 0.717 <sup>*</sup> | 0.296               | 0.010 |                     |
| 穗粒重 | 0.886 <sup>**</sup> | 0.924 <sup>**</sup> | -0.647 | 0.725 <sup>**</sup> | -0.817 <sup>**</sup> | 0.735 <sup>*</sup> | 0.332               | 0.006 | 0.993 <sup>**</sup> |

表4 F<sub>1</sub> 各性状的杂种优势

| 性状      | F <sub>1</sub> 杂种优势指数(%) | 相对杂种优势(%) | 中亲优势(%) | 超亲优势(%) |
|---------|--------------------------|-----------|---------|---------|
| 穗长      | 125.3                    | 20.2      | 25.3    | 15.6    |
| 穗粗      | 115.1                    | 13.1      | 15.1    | 9.8     |
| 穗行数     | 97.8                     | -2.3      | -2.2    | -8.3    |
| 行粒数     | 106.4                    | 6.0       | 6.4     | -10.7   |
| 轴粗      | 110.8                    | 9.7       | 10.8    | 9.2     |
| 穗重      | 158.6                    | 36.9      | 58.6    | 38.8    |
| 穗粒重     | 155.5                    | 35.7      | 55.5    | 39.9    |
| 穗部性状平均值 | 124.2                    | 17.0      | 24.2    | 13.5    |
| 粒长      | 111.6                    | 10.4      | 11.6    | 11.4    |
| 粒宽      | 119.3                    | 16.2      | 19.3    | 8.2     |
| 粒厚      | 112.2                    | 10.9      | 12.2    | -2.4    |
| 籽粒性状平均值 | 114.4                    | 12.5      | 14.4    | 5.7     |

所有性状的杂种优势比较,穗行数的中亲优势和超亲优势均较低,且均为负向杂种优势,表明穗行数的杂种优势较小。行粒数、轴粗、粒厚的中亲优势和超亲优势也相对较低,表明行粒数、轴粗、粒厚的杂种优势也相对较小。穗重和穗粒重的中亲优势(58.6%、55.5%)和超亲优势(38.8%、39.9%)均高于其他性状,表明穗重和穗粒重的杂种优势最大。

穗部性状和籽粒性状的杂种优势比较,穗部各性状的F<sub>1</sub>杂种优势指数、相对杂种优势、中亲优势和超亲优势的平均值均高于籽粒各性状杂种优势平均值,说明穗部性状杂种优势的平均值大于籽粒性状。

### 3 讨论与结论

**3.1 玉米遗传种质的利用** 迪卡 M9 是利用美国种质资源,结合中国的生态和生产条件选育的新一代玉米杂交种,2005 年通过山东省农作物品种审定委员会审定,该品种表现出早熟、高产、抗倒性强、结实性好、品质优良等突出特点<sup>[15]</sup>。先玉 335 是以 PH6WC 为母本、PH4CV 为父本组配而成的玉米杂交种。自 2005 年引入中国种子市场以来,在我国大面积推广种植,成为西北、东北、华北、黄淮区域的主栽品种,目前仍为我国大面积推广应用的玉米品种之一。该品种的突出优点是早熟、灌浆及脱水快、抗旱且产量高、适应性广<sup>[16]</sup>。郑单 958 是以郑 58 为母本、昌 7-2 为父本组配而成的玉米杂交种。从 2001 年品种审定之日起,种植面积逐年攀升,一直位居全国所有玉米品种的榜首,截至目前,仍是我

国推广应用面积最大的玉米品种之一,该品种具有适应性广、综合抗性好、耐密、高产等优点<sup>[17]</sup>。伟育 618 的选育,融合了迪卡 M9、先玉 335、郑单 958 3 个品种的优点。伟育 618 具有高产、耐密、耐高温、抗南方锈病、抗倒伏等特点,目前正在生产上大面积推广应用。

**3.2 杂种优势模式的利用和创新** 彭泽斌等<sup>[18]</sup>将 15 个玉米自交系分为 5 个亚群,即唐四平头、旅大红骨、Reid、P 群和 Lancaster。王懿波等<sup>[19]</sup>将我国玉米种质分为改良 Reid、Lancaster (Mo17 和自 330 2 个亚群)、唐四平头、旅大红骨和其他(外杂选、综合品种选、Suwan 和低纬度种质 4 个亚群),共 5 个杂种优势群 9 个亚群。张世煌<sup>[20]</sup>认为我国常用玉米自交系大致分成 6 个类群,合并成 3 个群,即 A 群(Reid、BSSS、PA)、D 群(旅大红骨、唐四平头)和 B 群(Lancaster、ETO、PB)。刘春晓等<sup>[21]</sup>将 144 份玉米自交系划分为 2 大类 5 个亚群,第 1 类为国外种质,包括 PB;第 2 类主要为国内种质,归类为 4 个杂种优势类群,分别为 Lancaster、Reid、改良 Reid、唐四平头。王元东等<sup>[22]</sup>提出 X 系新种质是将众多优良产量基因累积到一起的一系列优良美国杂交种,对我国的 Reid 种质和 Lancaster 种质将是一个有益的补充,用 X 系新种质和郑 58 等国内 Reid 群优良玉米自交系改良后选系,再与国内黄改种质自交系杂交,从而可以组配出适合黄淮海主产区的强优势玉米组合。本研究的供试材料玉米杂交种伟育 618,其母本是由迪卡 M9 × 昌 7-2 为基础

材料选系而成,父本是由先玉335×郑58选系而成,所利用的主体杂种优势模式仍为唐四平头×改良Reid,但同时又在母本、父本中分别加入不同的美国种质,使选育出的自交系不仅能合理利用美国新种质的优良加性基因,如籽粒后期脱水速率快、理想株型等特点,还可以在此遗传基础上加入具有矮秆、耐密、抗性好、广适性好的有利基因,再利用杂种优势模式,与唐四平头类群杂交,从而选育出强优势玉米杂交种,这与王元东等<sup>[22]</sup>提出的观点是一致的。

**3.3 利用玉米杂种优势指导品种选育** 本研究结果显示,穗行数的杂种优势较小,行粒数、轴粗、粒厚的杂种优势也相对较小,穗重和穗粒重的杂种优势最大,因此,在玉米杂交种的选育过程中,针对穗部性状和籽粒性状的筛选,更应该以杂种优势较大的性状,如穗重和穗粒重为选择依据。由于各穗部性状杂种优势的平均值大于籽粒性状平均值,因此,相比较而言,对穗部性状的选择更为重要,能提高育种效率,使育种目标更具有方向性。本研究仅采用一个玉米品种伟育618进行穗部性状和籽粒性状的杂种优势研究,下一步应采用生产上大面积推广应用的多个玉米杂交种对杂种优势进行全方位的深入探讨,从而更好地用来指导玉米育种实践。

**3.4 结论** 针对玉米穗部性状和籽粒性状,杂交种F<sub>1</sub>与双亲的遗传力结果显示,轴粗、穗行数、穗粗的遗传力较高,行粒数、穗长的遗传力较低。从遗传效应来看,除粒厚外,其余穗部性状和籽粒性状均表现为超显性效应。因此,在玉米新品种选育过程中,更应该对双亲的轴粗、穗行数、穗粗等遗传力高的性状进行选择。同时,既要考虑父母本的穗部性状和籽粒性状,还要考虑双亲之间的杂种优势,才能选育出穗部性状及籽粒性状优良的杂交种。

穗部性状及籽粒性状的杂种优势分析结果显示,穗重和穗粒重的中亲优势和超亲优势最高,说明穗重和穗粒重的杂种优势最大。穗部各性状的F<sub>1</sub>杂种优势指数、相对杂种优势、中亲优势和超亲优势的平均值均高于籽粒各性状杂种优势平均值,说明穗部性状杂种优势的平均值大于籽粒性状。

#### 参考文献

[1] Qin X L, Feng F, Li Y J, Xu S T, Siddique K H M, Liao Y C. Maize yield improvements in China: Past trends and future directions. *Plant*

*Breeding*, 2016, 135 (2): 166-176

- [2] 刁西洲, 王红武, 胡小娇, 刘志芳, 吴宇锦, 李宏杰, 赵同凯, 许丹萍, 黄长玲. 玉米穗部性状遗传和杂种优势分析. *作物杂志*, 2015 (4): 36-40
- [3] 张丽, 董树亭, 刘存辉, 王空军, 张吉旺, 刘鹏. 玉米籽粒容重与产量和品质的相关分析. *中国农业科学*, 2007, 40 (2): 405-411
- [4] 王敏, 徐萍, 刘新江, 张正斌, 杨引福. 黄淮海地区夏玉米农艺性状与产量的通径分析. *中国生态农业学报*, 2011, 19 (5): 1229-1236
- [5] 彭勃, 王阳, 李永祥, 刘成, 张岩, 刘志斋, 谭巍巍, 王迪, 孙宝成, 石云素, 宋燕春, 王天宇, 黎裕. 玉米籽粒产量与产量构成因子的关系及条件 QTL 分析. *作物学报*, 2010, 36 (10): 1624-1633
- [6] 成雪峰, 李建奇, 张风云. 夏玉米产量与产量性状的灰色关联分析. *种子*, 2007 (12): 60-62
- [7] 楚爱香, 张要战, 楚现周. 玉米主要农艺性状对单株产量的影响分析. *玉米科学*, 2001, 9 (S1): 19-21
- [8] 苏新宏, 夏宗良, 李潮海. 玉米杂交当代优势研究进展. *玉米科学*, 2008, 16 (1): 44-46
- [9] 王延波, 张喜华, 刘志新. 玉米优异抗源的引进与创新利用研究. *玉米科学*, 2011, 19 (3): 39-42
- [10] 吴仲贤. 杂种优势的遗传力理论及其对全球农业的意义. *遗传学报*, 2003, 30 (3): 193-200
- [11] 李浩川, 刘宗华, 王琳, 汤继华, 胡彦民, 谭晓军. 杂交当代玉米子粒蛋白质含量的正反效应及杂种优势分析. *河南农业大学学报*, 2007, 41 (1): 1-4, 11
- [12] Tang J H, Yan J B, Ma X Q, Teng W T, Wu W R, Dai J R, Dhillon B S, Melchinger A E, Li J S. Dissection of the genetic basis of heterosis in an elite maize hybrid by QTL mapping in an immortalized F<sub>2</sub> population. *Theoretical and Applied Genetics*, 2010, 120 (2): 333-340
- [13] 钟源, 赵小强, 李文丽, 张丹, 周文期. 不同播深环境下玉米耐深播性状杂种优势及遗传效应解析. *核农学报*, 2021, 35 (3): 556-566
- [14] 余学杰, 文景茹, 柯永培, 蔡林, 许秀兰, 石海春. 玉米苗期抗旱性杂种优势表现研究. *玉米科学*, 2021, 29 (5): 35-40
- [15] 中种迪卡种子有限公司. 玉米新品种 M9. *作物杂志*, 2007 (1): 72
- [16] 姚勇. 先玉 335 在中国大面积成功推广的启示. *种子世界*, 2014 (4): 11-12
- [17] 佟屏亚. 横亘 20 年郑单 958 依然市场唱主角. *种子科技*, 2020, 38 (21): 1-2
- [18] 彭泽斌, 刘新芝. 我国玉米杂交育种现状的评析. *作物杂志*, 1998 (S1): 1-5
- [19] 王懿波, 王振华, 王永普, 张新, 陆利行. 中国玉米主要种质杂种优势群的划分及其改良利用. *华北农学报*, 1998, 13 (1): 74-80
- [20] 张世煌. 论杂种优势利用的循环育种策略. *作物杂志*, 2006 (6): 1-3
- [21] 刘春晓, 李会海, 马兰, 董瑞, 刘强, 何春梅, 关海英, 刘铁山, 汪黎明. 利用 SSR 标记划分 144 份玉米自交系的杂种优势群. *山东农业科学*, 2018, 50 (9): 1-6
- [22] 王元东, 段民孝, 邢锦丰, 王继东, 张春原, 杨国航, 赵久然. X 系新种质利用的技术途径与策略探讨. *作物杂志*, 2008 (1): 1-3

(收稿日期: 2023-12-12)