

黄欧系玉米育种应用探索与分析

王元东^{1,2}, 赵久然², 付修义², 张华生², 陈传永², 吴珊珊²,
张春原², 张雪原², 陈明¹, 陈绍江¹

(¹ 中国农业大学国家玉米改良中心, 北京 100193; ² 北京市农林科学院玉米研究中心 / 玉米 DNA 指纹及分子
育种北京市重点实验室, 北京 100097)

摘要: 优良种质资源的创制是优良品种选育的重要基础, 目前我国宜机械化粒收的玉米育种材料较为缺乏, 将国外优良早熟种质导入中国骨干种质有助于创制宜机械化粒收新种质。本研究以欧洲早熟种质与中国黄旅种质杂交后代选育的 258 份黄欧系与测验种京 MC01 和郑 58 组配的测交组合为材料, 在春夏播玉米鉴定试验中, 通过对测交组合产量和收获时籽粒含水量表现分析, 探讨遗传改良效果。结果表明: (1) 黄欧系与京 MC01 测交组合在收获时籽粒含水量和产量方面表现优于郑 58; (2) 不同遗传背景黄欧系与京 MC01 的测交组合表现差异较大: 在春播和夏播玉米区, 黄早四和京 2416 类黄欧系收获时籽粒含水量较低, 产量较高, 昌 7-2 类黄欧系籽粒含水量较高, 但产量突出; (3) 导入不同比例欧洲早熟种质黄欧系的测配效果存在明显差异, 导入 25% 比例的黄欧系目标性状表现较好, 测交组合在保持较高产量水平情况下, 呈现出早熟、籽粒脱水速度快等宜机械化粒收性状。研究结果将为玉米主产区特别是夏播区新型宜机械化粒收育种材料的创制及应用提供可鉴思路及实践路径。

关键词: 玉米; 黄欧系; 产量; 籽粒含水量; 机械化粒收

Exploration and Analysis on the Test Crosses Performances of Huanglv-European Lines in Maize Breeding

WANG Yuan-dong^{1,2}, ZHAO Jiu-ran², FU Xiu-yi², ZHANG Hua-sheng², CHEN Chuan-yong², WU Shan-shan²,
ZHANG Chun-yuan², ZHANG Xue-yuan², CHEN Ming¹, CHEN Shao-jiang¹

(¹ National Maize Improvement Center of China, China Agricultural University, Beijing 100193; ² Maize Research Center,
Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences/Beijing Key Laboratory of Maize DNA Fingerprinting
and Molecular Breeding, Beijing 100097)

Abstract: Elite germplasm resources is the important foundation for the breeding of maize elite hybrid, and germplasm suitable for mechanical grain-harvesting is an urgent need in China. It is an important way to solve the problem by introducing European early maturity germplasm in domestic germplasm to develop Huanglv-European (HE) lines. In this study, the 258 HE lines were crossed with the tester lines Jing MC01 and Zheng 58 to evaluate the yield and grain moisture performances of the hybrids. The results indicated that: (1) the hybrids of Jing MC01 had lower grain moisture and higher grain yield as compared with the tester Zheng 58; (2) the Huanglv-European lines with different domestic background had much different performances in test crosses, Huangzaosi and Jing2416 derived lines had lower grain moisture and higher yield in both spring and summer maize, while

收稿日期: 2019-10-15 修回日期: 2019-11-03 网络出版日期: 2019-12-19

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20191015001>

第一作者研究方向为玉米遗传育种, E-mail: wyuandong@126.com

通信作者: 陈绍江, 研究方向为玉米遗传育种, E-mail: chen368@126.com

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFD0101204); 北京市农林科学院杰出科学家培育专项 (JKZX201902); 北京市百千万人才工程 (2018A31); 现代农业产业技术体系专项资金 (CARS-02-11)

Foundation project: National Key R&D Program Projects (2016YFD0101204), Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences Outstanding Scientist Cultivation Program (JKZX201902), Beijing Talents Project (2018A31), Special Funds for National Modern Agricultural Industry Technology System (CARS-02-11)

the lines from Chang7-2 showed higher moisture and yield;(3) The hybrid from the HE lines with the percentage of 25% early maturity donors performed better in the target traits. Thus, the conclusion is that it would be an effective way to develop elite HE lines by backcrossing once with the domestic lines in practical breeding.

Key words: maize; Huanglv-European lines; yield; grain moisture; mechanical grain-harvesting

玉米是商业化育种程度最高的大田作物之一,为加快品种选育,育种材料优良基因的挖掘与利用多集中于少数几个骨干自交系^[1],因而在育种实践中多以二环系和回交选系方法进行新系创制,此虽有利于优良基因的迅速累积,但也使育种材料及其品种的遗传基础日趋狭窄,在生产上具有潜在风险,因此拓宽玉米种质的遗传基础对优良杂交种的选育与生产安全具有重要意义。为拓宽玉米带育种种质基础,美国启动了 GEM 计划,其目的是通过不同类型外来种质的系统导入,促进育种种质的创新改良,以期改善品质,提高抗逆性和产量水平^[2-3]。国际玉米小麦改良中心(CIMMYT)一直组织实施全球种质资源种质评价、改良和创新计划,在挖掘利用优良种质资源的同时,也注重对逆境如干旱、贫瘠、高温、低温和各种病虫害的抗性资源的发掘和利用^[4]。我国育种实践表明,利用国外优良种质导入中国地方种质是快速实现种质创新和利用的重要途径,地方种质具有较强的适应性,而国外种质资源具有较好的抗性和丰产性以及宜机械化收获等性状^[5-6]。黄改群和旅群(简称黄旅群)种质是我国重要的地方种质,在黄淮海夏玉米区和东

华北中晚熟春玉米区具有较强的生态适应性,但其籽粒脱水一般较慢,难以适应玉米机械化生产快速发展的需求,限制了黄旅群种质的进一步利用。而欧洲种质具有早熟耐密及后期籽粒脱水较快等特点,相关品种也对中国的生态条件表现出良好的适应性。因此,本研究旨在通过对欧洲早熟种质与黄旅群种质杂交后代选系的测配评价与分析,探索中国骨干种质在机械化粒收相关性状上的改良方法及效果,为相关种质的挖掘创新及育种应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

利用王元东等^[7]构建的黄欧系(HE lines, Huanglv-European lines)群体,从中选取 258 份黄欧系为母本,以来源于瑞德群的郑 58 和 X 群的京 MC01 自交系为测验种,于 2017 年冬季在海南省三亚市南滨农场北京市农林科学院南繁育种基地进行测配,分别获得 258 个测交组合。根据黄欧系来源,将 S3 代相同来源的后代系测交组合进行合并,得到 148 个 S3 代品系的测交组合。具体黄欧系材料及数量统计见表 1。

表 1 258 份黄欧系材料及数量统计
Table 1 Subgroups and numbers of the 258 Huanglv-European lines

黄欧系类型 Subgroup	导入比例 Introgression percentage				数量 No.	合并后数量 Classified No.
	25% UM	50% UM	25% UF	50% UF		
B289 类 B289 subgroup	14	11	32	0	57	32
S122 类 S122 subgroup	3	4	14	5	26	15
昌 7-2 类 Chang7-2 subgroup	3	4	54	1	62	27
丹 340 类 Dan340 subgroup	14	4	6	3	27	15
黄早四类 Huangzaosi subgroup	4	5	3	3	15	14
京 2416 类 Jing2416 subgroup	8	4	7	3	22	15
京 92 类 Jing92 subgroup	25	8	2	2	37	22
四 -287 类 Si-287 subgroup	3	0	7	2	12	8
总计 Total	74	40	125	19	258	148

UM 和 UF 分别代表欧洲早熟材料的母本和父本。下同
UM and UF represent female and male parent of European early-maturing material, respectively. The same as below

1.2 试验设计

2018 年将获得的测交组合分别进行春播和夏播鉴定试验。春播设在辽宁铁岭(代表东北生态

区),种植密度 67500 株/hm²,播种和收获日期分别为 5 月 6 日和 10 月 3 日;夏播设在河南新乡(代表黄淮海生态区),种植密度 75000 株/hm²,播种和收

获日期分别为 6 月 10 日和 10 月 5 日。试验统一以杂交种郑单 958 为对照,京农科 728 为辅助对照。每个试验点均采用随机区组设计,2 次重复,单行区,行长 5 m,行距 0.6 m,过道 1 m,试验田间管理同当地大田玉米生产。

1.3 性状调查

依据《玉米种质资源描述规范和数据标准》^[8]对测交组合的生育期、收获时籽粒含水量和小区产量 3 个性状进行调查,每个重复调查中间的 10 株。为观察各个测交组合成熟后的站秆性和籽粒脱水速率的差异,对每个试验点均采用延迟收获,收获时籽粒含水量利用谷物测水仪在田间直接脱粒测定。

1.4 统计分析

利用 Excel 2016 对观测性状进行方差分析,并与对照郑单 958 进行比较及显著性检验。本研究中的产量数据均为 14% 籽粒含水量折算后的每 hm^2 单位产量。

2 结果与分析

2.1 黄欧系与京 MC01 和郑 58 测交组合表现

对合并后的 148 个黄欧系品系测交组合进行统计发现(表 2),在夏播,与京 MC01 的测交组合籽粒平均含水量为 16.28%,比对照郑单 958 低 3.81 个百分点;产量超过郑单 958 有 28 个(详见 <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20191015001>,附表 1),其中 B289 类黄欧系 6 个, S122 类 1 个,昌 7-2 类 6 个,丹 340 类 1 个,黄早四类 3 个,京 2416 类 5 个,京 92 类 3 个,四 -287 类 3 个,旅群衍生系入选测交组合数显著少于黄改群。在春播,与京 MC01 的测交组合籽粒平均含水量为 23.06%,比对照郑单 958 低 6.87 个百分点;产量高于郑单 958 的有 37 个(附表 1),其中 B289 类黄欧系有 4 个测交组合, S122 类有 8 个,昌 7-2 类有 6 个,丹 340 类有 10 个,黄早四类有 3 个,京 2416 类有 2 个,京 92 类有 3 个,四 -287 类有 1 个,旅群衍生系入选测交组合数显著多于黄改群。

郑 58 的测交组合在夏播中平均含水量为 18.34%,比对照郑单 958 低 1.75 个百分点,产量高于郑单 958 的有 25 个(附表 1);在春播中平均含水量为 28.70%,比对照郑单 958 低 1.23 个百分点;产量高于郑单 958 的有 13 个(附表 1),入选组合均为黄改群的黄欧衍生系,其中 B289 类 3 个,昌 7-2 类 7 个,京 2416 类 2 个,京 92 类 1 个。

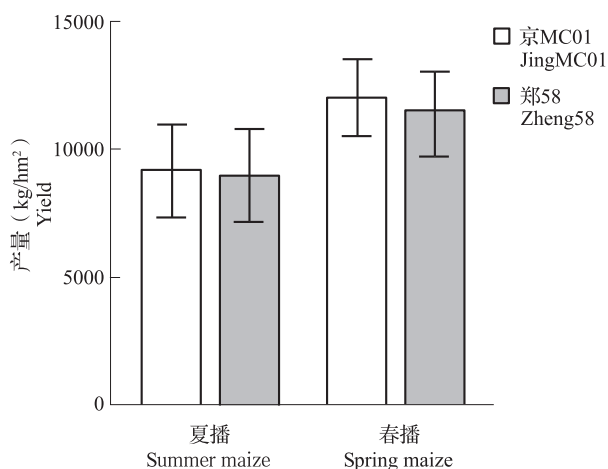
从测验种角度上分析,黄欧系与郑 58 的测交组合在春夏播玉米中收获时籽粒含水量分别为

18.34%、28.70%,均高于其与京 MC01 的测交组合;产量分别为 8988.45 kg/hm^2 、 11397.75 kg/hm^2 ,均低于京 MC01 的测交组合(表 2、图 1)。因此,郑 58 不宜直接用于机械粒收玉米新品种组配。京 MC01 与黄欧系组配具有较大的育种应用潜力,部分测交组合收获时籽粒含水量甚至低于籽粒脱水较快且大面积推广的对照杂交种京农科 728,而产量则高于京农科 728。

表 2 黄欧系测交组合在春夏播玉米收获时籽粒平均含水量统计

Table 2 Mean grain moisture content of test crosses of HE lines in spring and summer maize

测交种 Tester	含水量(%) Moisture content	
	夏播 Summer maize	春播 Spring maize
京 MC01 Jing MC01	16.28	23.06
郑 58 Zheng 58	18.34	28.70
郑单 958 Zhengdan 958	20.09	29.93



数值用均值 $\pm$ 标准差

Data are shown as means $\pm$ SD

图 1 黄欧系不同测验种测交组合产量统计

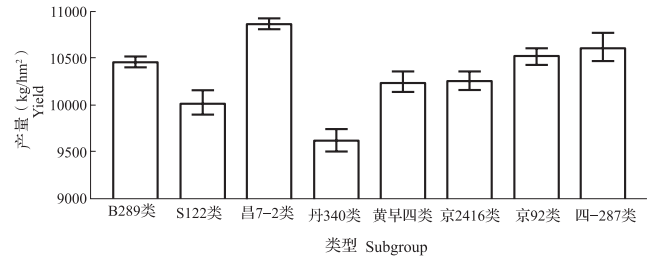
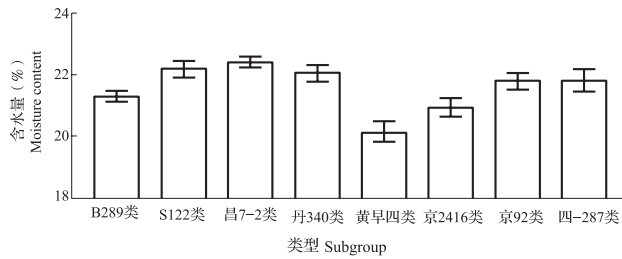
Fig.1 The yield of test crosses

2.2 不同遗传背景黄欧系测交组合表现

从黄欧系角度分析,在春夏播玉米中(图 2),其与京 MC01 和郑 58 的测交组合收获时籽粒含水量的高低顺序为:昌 7-2 类 > S122 类 > 丹 340 类 > 京 92 类 > 四 -287 类 > B289 类 > 京 2416 类 > 黄早四类,黄早四类黄欧系测交组合的籽粒含水量最低,为 20.13%;昌 7-2 类最高,为 22.42%。测交组合产量的高低顺序为:昌 7-2 类 > 四 -287 类 > 京 92 类 > B289 类 > 京 2416 类 > 黄早四类 > S122 类 > 丹 340 类,昌 7-2 类的测交组合的产量最高,为

10883.7 kg/hm²。综合来看,收获时籽粒含水量较低,且产量较高的有四-287和B289类黄欧系测交

组合,昌7-2类产量水平较高,同时收获时籽粒含水量也较高。



数值用均值 ± 标准误。下同

Data are shown as means ± SE. The same as below

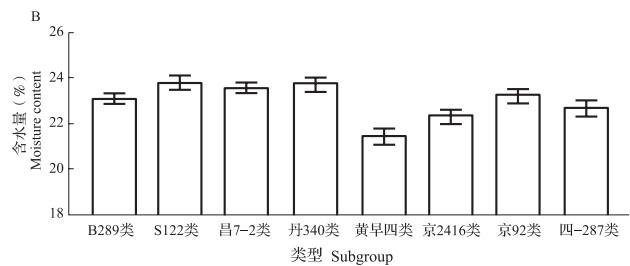
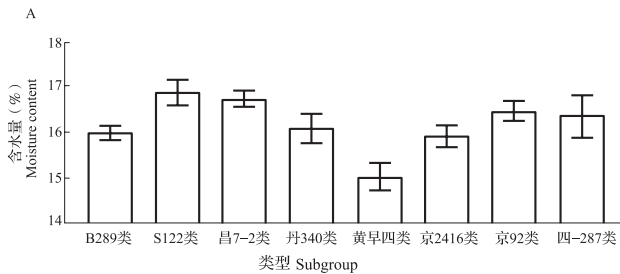
图2 不同黄欧系测交组合收获时平均籽粒含水量和产量(合并测验种)

Fig. 2 Mean grain moisture content and yield of different combinations (combining testers)

在夏播,分析黄欧系与京MC01测交组合在收获时籽粒含水量方面高低顺序为:S122类>昌7-2类>京92类>四-287类>丹340类>B289类>京2416类>黄早四类(图3);在产量方面高低顺序为:京2416类>四-287类>黄早四类>昌7-2类>京92类>B289类>丹340类>S122类(图4)。黄改系黄早四、京2416和B289类的黄欧系测交组合籽粒含水量较低,产量较高,尤其是黄早四和京2416类黄欧系表现突出。黄改系昌7-2类黄欧系测交组合籽粒含水量较高,但是产量水平较高;旅群丹340和S122类黄欧系测交组合在夏播

玉米中含水量较高,产量较低。上述结果表明,黄改系衍生的黄欧系在未来黄淮海夏播玉米机械化粒收品种选育上有较大潜力,兼之黄改系种质在该区具有较好的适应性,如耐高温热害等,因此适宜用作宜机收品种选育的基础材料。

在春播,黄欧系与京MC01测交组合收获时籽粒含水量高低顺序为:S122类>丹340类>昌7-2类>京92类>B289类>四-287类>京2416类>黄早四类(图3);在产量上的高低顺序为:S122类>四-287类>丹340类>昌7-2类>黄早四类>京92类>京2416类>B289类(图4)。黄早四、



A: 夏播; B: 春播。下同

A: summer maize, B: spring maize. The same as below

图3 不同黄欧系与京MC01测交组合在春夏播玉米收获时籽粒含水量

Fig. 3 Grain moisture content on harvesting of various combinations derived from different HE lines and Jing MC01 in spring and summer maize

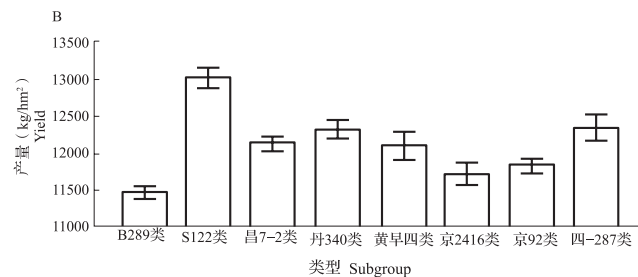
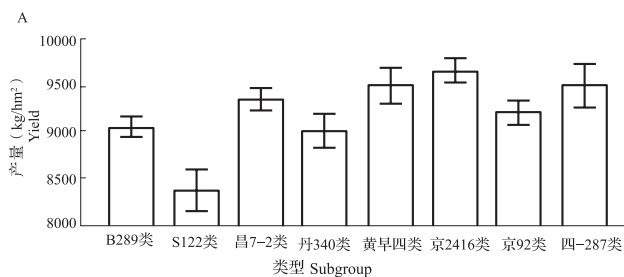


图4 不同黄欧系与京MC01测交组合产量在春夏播表现

Fig. 4 Yield of various combinations derived from different HE lines and Jing MC01 in spring and summer maize

京 2416 类黄欧系测交组合的籽粒含水量较低,产量水平中等;四 287 类黄欧系测交组合籽粒含水量较低,产量表现较好;S122、丹 340 和昌 7-2 类黄欧系测交组合籽粒含水量高,产量也较高,说明所测各类黄欧系在东华北春播玉米中均具有组配机收品种的潜力。旅群自交系丹 340 类和 S122 类由于自身生育期偏晚,籽粒脱水速度慢,该类黄欧系测交组合籽粒含水量普遍较高,但是产量较高,需加强自身籽粒脱水速率等性状的改良,同时选准测配方向及适合的测验种。

综上所述,黄早四和京 2416 类黄欧系测交组合在春夏播玉米收获时籽粒含水量均较低,产量在黄淮海夏播玉米中表现突出,在东华北春播玉米中表现中等,在用作机械化粒收品种选育材料上均具有较高育种潜力和价值;昌 7-2 类黄欧系测交组合在春夏播玉米收获时籽粒含水量均较高,但产量也较高,需要在自身籽粒脱水速率快等性状上加强选择,也具有一定育种潜力和价值。旅群自交系丹 340 和

S122 类黄欧系测交组合在黄淮海夏播玉米区籽粒含水量较高,产量低,不适合用作该地区机收育种材料;在东华北春播玉米区籽粒含水量高,但是产量水平较高,因此加强对籽粒脱水速率等相关性状的选择,有利于充分发挥其潜在的育种潜力。黄旅群自交系京 92 类黄欧系总体上看,在 2 个生态区籽粒含水量较高,产量水平一般,不适合作为宜机械化粒收品种选育的重点材料。

2.3 导入不同比例欧洲早熟种质黄欧系测交组合表现

导入不同类型不同比例所产生的黄欧系对测交组合收获时籽粒含水量有较大影响(表 3、图 5)。分析表明,导入 50% 比例的 UM 和 UF 早熟种质的黄欧系在收获时的籽粒含水量均低于导入 25% 比例。相同导入比例下,UM 类黄欧系的测交组合籽粒含水量低于 UF 类。UF 种质属于欧洲早熟硬粒种质,在改良黄欧系早熟性上优于 UM,但从测交组合籽粒含水量看,UM 效果更好。

表 3 导入不同比例欧洲早熟种质黄欧系测交组合籽粒含水量表现

Table 3 Moisture content of test crosses derived from HE lines with different percentage of European early-maturing maize decent introgression

导入比例 Introduction percentage	测验种 Tester	夏播含水量(%) Grain moisture content in summer maize	春播含水量(%) Grain moisture content in spring maize	测验种 Tester	夏播含水量(%) Grain moisture content in summer maize	春播含水量(%) Grain moisture content in spring maize
25%UF	京 MC01	16.79	23.44	郑 58	19.03	28.98
25%UM	京 MC01	16.06	23.16	郑 58	17.91	28.90
50%UF	京 MC01	16.47	22.61	郑 58	17.89	27.98
50%UM	京 MC01	15.01	21.81	郑 58	16.91	27.96

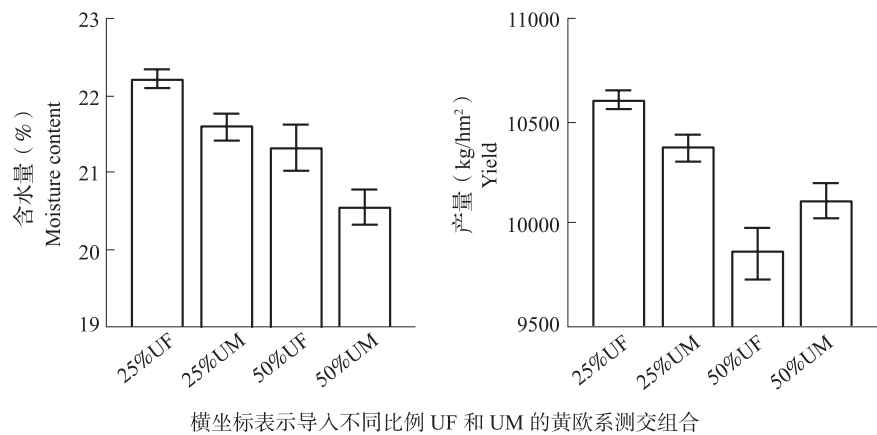
从产量方面来看,除在春播玉米中,导入 25% 和 50% UM 的黄欧系与郑 58 测验种产量基本持平外,导入 25% UM 和 25% UF 黄欧系测交组合产量均高于其相应的 50% 导入比例(表 4)。在相同比

例下,综合 2 个测验种看,导入 25% UF 的黄欧系测交组合产量略高于 25% UM;导入 50% UM 的黄欧系测交组合则高于 50% UF(图 5),说明导入 UM 的黄欧系具有较高配合力和产量潜力。

表 4 导入不同比例欧洲早熟种质黄欧系测交组合产量表现

Table 4 Yield for test crosses derived from HE lines with different percentage of European early-maturing maize decent introgression

导入比例 Introduction percentage	测验种 Tester	夏播产量(kg/hm ²) Yield in summer maize	春播产量(kg/hm ²) Yield in sping maize	测验种 Tester	夏播产量(kg/hm ²) Yield in summer maize	春播产量(kg/hm ²) Yield in sping maize
25% UF	京 MC01	9245.68	12177.37	郑 58	9300.54	11564.59
25% UM	京 MC01	9480.22	11946.69	郑 58	8835.25	11213.80
50% UF	京 MC01	8732.64	11693.28	郑 58	7911.10	10940.67
50% UM	京 MC01	8638.87	11876.32	郑 58	8550.54	11268.24



横坐标表示导入不同比例 UF 和 UM 的黄欧系测交组合
X-coordinate indicates the test crosses with different percentage of UF and UM introgression

图 5 导入不同比例欧洲早熟种质黄欧系测交组合收获时的籽粒含水量和产量(合并测验种)

Fig. 5 Grain moisture content and yield of test crosses derived from HE lines with different percentage of European early-maturing maize decent introgression (combining testers)

2.4 黄欧系测交组合表现突出组合主要农艺性状

根据产量和籽粒含水量的试验结果,在夏播玉米中以比对照增产 8% 以上作为入选标准,共筛选出较为突出的测交组合 10 个(表 5)。入选组合的平均产量为 11113.35 kg/hm²,比郑单 958 增产

10.88%; 籽粒含水量平均 16.05%,比对照郑单 958 低 4.04 个百分点;平均生育期 94.1 d,比郑单 958 缩短 4.8 d。从入选组合的黄欧系系谱材料来源上看,均是导入 25% 比例的黄欧系,其中 25% UM 黄欧系有 6 个,25% UF 黄欧系有 4 个,可见在黄淮海夏

表 5 黄欧系与京 MC01 测验种测交组合在夏播表现突出组合主要农艺性状

Table 5 Agronomic traits for elite combinations derived from HE lines and Jing MC01 in summer maize

材料来源		导入比例	籽粒含水量(%)	产量(kg/hm ²)	比对照增产(%) ^a	生育期(d)
Material		Introduction percentage	Grain moisture content	Yield	Yield-increase ^a	Growth period
京 2416 ² M-7-2-1-2	Jing2416 ² M-7-2-1-2	25% UM	15.61**	11854.50*	18.27	90.0
京 2416 ² M-1-1-1-1	Jing2416 ² M-1-1-1-1	25% UM	15.00**	11356.95	13.31	89.5
B289 ² M-1-4-2-1		25% UM	16.19*	11310.90	12.85	94.5
黄早四 ² F-7-1-1-1	Huangzaosi ² F-7-1-1-1	25% UF	15.68**	11171.85	11.46	95.0
B289 ² F-5-1-2-2		25% UF	16.69*	11023.80	9.98	93.5
昌 7-2 ² F-4b-2-4-2	Chang 7-2 ² F-4b-2-4-2	25% UF	16.88*	10966.95	9.42	97.5
京 92 ² M-7-1-1-1	Jing92 ² M-7-1-1-1	25% UM	16.91*	10884.30	8.59	94.0
昌 7-2 ² F-4-2-1-2	Chang 7-2 ² F-4-2-1-2	25% UF	14.74**	10869.15	8.44	95.0
丹 340 ² M-3-2-1	Dan 340 ² M-3-2-1	25% UM	16.89*	10851.00	8.26	98.0
四 -287 ² M-2-2-1-2	Si-287 ² M-2-2-1-2	25% UM	15.90**	10844.40	8.19	94.0
平均	Average		16.05	11113.35	10.88	94.1
郑单 958(CK)	Zhengdan 958		20.09	10023.15		98.9
京农科 728(CK)	Jingnongke 728		15.60	9776.55		93.1
LSD 0.05			2.98	1674.30		
LSD 0.01			3.91	2200.35		

* 和 ** 表示与对照郑单 958 相比, LSD 分别大于 LSD 0.05 和 LSD 0.01, ^a: 与郑单 958 对比。下同

* and ** indicate LSD>LSD0.05 and LSD>LSD0.01 , respectively. ^a : Compared with Zhengdan 958. The same as below

播玉米生态区,由于气候复杂多变,干旱高温热害以及大风强对流等灾害天气频发,导入欧洲早熟种质比例不应过大,25% 比例较为理想。黄改系京 2416 类黄欧系有 2 个,均是导入 25% UM,位列前 2 位; B289 类有 2 个入选,分别是 25% UM 和 25% UF 类黄欧系; 昌 7-2 类有 2 个入选,均是 25% UF 类; 黄早四、京 92、丹 340 和四 -287 类黄欧系各有 1 个组合入选,除黄早四类是导入 25% UF 外,其余均是导入 25% UM 类。京 2416²M-7-2-1-2/ 京 MC01 测交组合产量位列第一,收获时籽粒含水量低于对照郑单 958 且差异极显著,与副对照京农科 728 持平,产量上比郑单 958 增产 18.27%,比京农科 728 增产 21.25%,均差异显著; 生育期比对照郑单 958 早熟 8.9 d,比京农科 728 早熟 3.1 d; 昌 7-2²F-4-2-1-2/ 京 MC01 组合籽粒收获时含水量最低,仅 14.74%,产量 10869.15 kg/hm²,比对照郑单 958 增产 8.44%,兼具高产和籽粒脱水速度快的特点。入选的 10 个组合产量较高,籽粒含水量较低,比郑单 958 和京农科

728 表现优良,说明利用欧洲早熟材料对黄改类自交系进行改良具有较高的育种价值。

在春播玉米中以比对照增产 10% 以上作为入选标准筛选出 15 个组合(表 6),入选组合籽粒含水量平均 24.01%,显著低于对照郑单 958; 产量平均 14615.85 kg/hm²,比郑单 958 增产 14.26%,达到极显著水平,生育期比郑单 958 平均缩短 8.8 d。从入选组合的黄欧系系谱材料来源上看,有 3 个黄欧系是导入 50% 的比例,其余 12 个均是导入 25% 比例,其中 25%UF 种质的有 9 个,25%UM 种质的有 3 个,说明在东北春播玉米区导入比例亦以 25% 为宜,但可根据基础材料情况调整导入比例。黄改群自交系昌 7-2 类黄欧系有 4 个入选,均是导入欧洲早熟硬粒种质 UF 类,其中昌 7-2²F-7-1-3-3/ 京 MC01 测交组合产量位列春播玉米试验所有 258 个组合第 1 位,籽粒收获时含水量 23.84%,比郑单 958 低 6.09%,产量 15636.30 kg/hm²,比郑单 958 增产 22.24%,均达到极显著水平; 生育期比郑单 958

表 6 黄欧系与京 MC01 测验种测交组合在春播表现突出组合主要农艺性状
Table 6 Agronomic traits for elite combinations derived from HE lines and Jing MC01 in spring maize

材料来源 Material	导入比例 Introduction percentage	籽粒含水量(%) Grain moisture content	产量(kg/hm ²) Yield	比对照增产(%) ^a Yield-increase	生育期(d) Growth period
昌 7-2 ² F-7-1-3-3 Chang 7-2 ² F-7-1-3-3	25% UF	23.84**	15636.30**	22.24	131.5
S122 ² F-2-1-1-2	25% UF	26.05**	15590.70*	21.88	128.5
S122 ² F-4-2-2-6	25% UF	25.09**	15177.30**	18.65	131.5
昌 7-2 ² F-3 补 -1-1-1 Chang 7-2 ² F-3 bu-1-1-1	25% UF	25.14**	14739.90**	15.23	128.0
S122 ² F-4-2-2-3	25% UF	25.05**	14693.40**	14.87	132.0
京 2416F-6-1-1-1 Jing 2416F-6-1-1-1	50% UF	23.21**	14542.35**	13.69	128.5
黄早四 ² M-3-1-1-2 Huangzaosi ² M-3-1-1-2	25% UM	22.63**	14502.75**	13.38	129.5
S122 ² F-5-1-1-1	25% UF	23.83**	14467.65**	13.10	123.5
昌 7-2F-6-1-1-1 Chang 7-2F-6-1-1-1	50% UF	22.00**	14406.00**	12.62	127.5
B289 ² M-3-1-1-2	25% UM	24.33**	14370.90**	12.35	126.0
S122 ² F-2-1-1-5	25% UF	24.15**	14334.90**	12.07	127.5
黄早四 ² F-7-1-1-1 Huangzaosi ² F-7-1-1-1	25% UF	21.49**	14316.60**	11.92	128.5
昌 7-2 ² F-3 补 -1-1-2 Chang 7-2 ² F-3Bu-1-1-2	25% UF	27.32**	14250.60*	11.41	125.5
B289 ² M-1-4-1-1	25% UM	24.11**	14137.50*	10.52	127.0
S122M-4-1-1-1	50% UM	21.93**	14071.80*	10.01	128.0
平均 Average		24.01	14615.85	14.26	128.2
郑单 958(CK) Zhengdan 958		29.93	12791.40		137.0
京农科 728(CK) Jingnongke 728		21.57	12353.70		126.2
LSD 0.05		2.94	1144.50		
LSD 0.01		3.86	1504.05		

提早 5.5 d,说明该组合籽粒灌浆速度快,成熟早;测交组合昌 7-2²F-3 补 -1-1-1/京 MC01 和昌 7-2²F-3 补 -1-1-2/京 MC01 均是来源于同一系谱的姊妹系组合,两者同时入选,说明该系配合力突出。旅群 S122 类黄欧系入选个数最多,达到 6 个,其中导入 25%UF 类黄欧系占 5 个,导入 50%UM 类的黄欧系 1 个,总体来说该类黄欧系在东北春播玉米表现突出。S122²F-5-1-1-1/京 MC01 和 S122M-4-1-1-1/京 MC01 测交组合籽粒含水量较低,尤其是后者含水量接近副对照京农科 728,比对照郑单 958 降低了 8 个百分点,目标性状得到明显改良。测交组合 S122²F-2-1-1-2/京 MC01 和 S122²F-2-1-1-5/京 MC01 均是来源于同一系谱的姊妹系组合,两者同时入选,说明该系配合力突出。在育种实践中应加大 S122 类黄欧系在东北宜机械化粒收品种选育的应用和研究,以进一步发掘该系的育种潜力和价值。黄早四类黄欧系入选 2 个测交组合,分别是导入 25%UM 和 25%UF 类,2 个测交组合在籽粒含水量上表现理想,其中黄早四²F-7-1-1-1/京 MC01 含水量收获时只有 21.49%,低于副对照京农科 728。B289 类有 2 个人选,均是导入 25%UM 类,两个测交组合在籽粒含水量上表现适中,均为 24%左右。京 2416 类有 1 个人选,籽粒含水量较低。综上分析,黄旅群自交系中,在东北春播玉米应着重利用父本类欧洲早熟硬粒种质,加强 S122、昌 7-2、B289 及黄早四的改良创新。

值得注意的是测交组合黄早四²F-7-1-1-1/京 MC01 在春夏播玉米中均表现突出,收获时籽粒含水量比对照大幅降低,早熟性好,田间综合农艺性状优良,说明该品系适应性好,配合力高,综合农艺性状优良,在宜机械化粒收品种选育方面潜力和价值较大。

3 讨论

3.1 测验种选择对黄欧系测交组合机械化粒收相关性状的影响

导入欧洲早熟种质的黄欧系在自身机械粒收性状上比原来黄旅群自交系有所提高改善,表现出早熟、籽粒含水量低等优良性状^[7],但其与不同测验种的测交组合则差异较大,黄欧系与改良瑞德群代表系郑 58 测配,其测交组合在机械粒收相关性状上的表现较差,多数组合的籽粒含水量没有显著降低,产量也比郑单 958 低;而与 X 群代表系京 MC01 测配,其测交组合在机械粒收相关性状上表现优良,一些测交组合的籽粒含水量较低,产量

也高于郑单 958。因此这些改良创新的黄欧系需要选准测配方向和测验种,才能发挥其优良特性。郑 58 于 20 世纪末育成,当时中国玉米生产以人工收获为主,以高产为首要目标,没有对宜于机械化粒收的相关性状进行针对性选择和改良,籽粒脱水速度较慢^[9],用该类型测验种进行测配,黄欧系相关目标性状难以充分表现,筛选出优良组合的几率较低。京 MC01 是 21 世纪以新型种质育成的自交系^[10],具有配合力高、脱水速度快及早熟耐密等优良性状,其与黄欧系测配,能使双亲优良性状叠加聚合,从而有利于选育出更加适合机械化粒收玉米新品种。

3.2 不同遗传背景黄欧系测交组合机械粒收相关性状的表现

前人分析认为可利用欧洲早熟种质改良我国瑞德和兰卡斯特种质,以提高其适应机械化作业特性^[11]。尚无与黄旅群种质改良利用相关研究。黄旅群种质是中国重要的地方种质,在黄淮海夏玉米和东北春玉米区具有较强的生态适应性,但难以适应玉米机械化生产需求。本研究通过系统研究表明,黄欧系在机械化粒收的育种中具有一定应用潜力,其中黄早四和京 2416 类黄欧系测交组合在春夏播玉米均表现出较低的籽粒含水量,且具有较高的产量水平;昌 7-2 类黄欧系测交组合在收获时具有较高的产量和籽粒含水量。在实践中,该类黄欧系可强化籽粒含水量等关键机械粒收性状的选择,充分利用昌 7-2 所具有的产量配合力高、适应性广、耐高温热害和抗病性强的优势。S122 类黄欧系测交组合收获时籽粒含水量在春夏播玉米上表现不同,在夏播区籽粒含水量较高、产量较低,不宜用于该区宜机收品种选育的基础材料;而在春播区收获时籽粒含水量高,产量水平也较为突出,表明该类黄欧系在春播玉米区具有较高的育种潜力和改良价值。B289、京 92 和丹 340 衍生黄欧系从总体上看不适合作为机收育种重点材料。

3.3 欧洲早熟种质导入比例对黄欧系测交组合的影响

前人研究表明,将外来种质导入本地种质,是拓宽种质遗传基础,选育优良自交系的重要途径,而导入的比例则对遗传改良效果具有显著影响。Dudley^[12]认为,当适应性强的本地种质拥有更多优良等位基因性状时,与外来种质杂交后应该继续与本地种质回交一次或一次以上,也就是外来种质的导入比例控制在 25% 以内。Goodman^[13]研究认为,可以通过系谱法将热带种质导入温带种质并获得具有优

良性状的新种质,并有效拓宽种质遗传基础,基于短期目标和商业化目的,往往通过多次回交只导入一小部分外来种质,来达到快速选育适合推广利用的新产品。Selig 等^[14]认为利用外来种质改良本地优秀种质时,只要外来有利等位基因性状在后代群体中出现,导入的比例越少越好。本研究发现,回交一次,导入 25% 欧洲早熟种质的黄欧系具有较好的表现,明显优于 50% 的比例;而导入比例越大,虽可显著改进宜机械化粒收相关性状表现,但是产量配合力下降;因此为了实现丰产性和粒收相关性状之间的协调和平衡,建议回交一次以导入 25% 的比例较为适宜。

3.4 不同玉米生态区杂交组配模式选择

根据黄欧系与京 MC01 和郑 58 测交组合的综合表现,可以看出,昌 7-2、黄早四、B289 和京 2416 后代衍生的黄欧系与京 MC01 类自交系组配可考虑作为春夏播玉米区杂交种组配的优选模式。而 S122 自交系较为适于东华北春播区,其衍生的黄欧系与京 MC01 测配表现较好,具有一定的应用价值。因此,本研究以欧洲早熟种质改良中国骨干种质所进行的探索取得了较有价值的结果,所创制的黄欧系经过进一步的试验,将有望筛选出产量和籽粒脱水性能兼顾的早熟宜机收品种,从而为主要玉米产区特别是亟待实现机械化粒收突破的夏播玉米区的新品种选育提供了新的可鉴思路及实践路径。

参考文献

- [1] 张世煌. 玉米种质创新和商业育种策略. 玉米科学, 2006, 14(4): 1-3, 6
Zhang S H. Germplasm development and commercial maize breeding strategy. Journal of Maize Sciences, 2006, 14(4): 1-3, 6
- [2] 杨克诚. 21 世纪种质资源创新与利用的思考 // 全国农业技术推广服务中心. 中国玉米品种科技论坛论文集. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007: 49-52
Yang K C. Thoughts on the innovation and utilization of germplasm resources in the 21st Century // National Agro-Tech Extension and Service Center. Paper collection of china corn variety science and technology forum. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2007: 49-52
- [3] 黎裕, 王天宇. 玉米种质创新——进展与展望. 玉米科学, 2017, 25(3): 11-18
Li Y, Wang T Y. Germplasm enhancement in maize: Advances and prospects. Journal of Maize Sciences, 2017, 25(3): 11-18
- [4] 张世煌, 彭泽斌, 李新海. 玉米杂种优势与种质扩增、改良和创新. 中国农业科学, 2000, 33(S): 34-39
Zhang S H, Peng Z B, Li X H. Heterosis and germplasm enhancement, improvement and development of maize. Scientia Agricultura Sinica, 2000, 33(S): 34-39
- [5] 李永祥, 石云素, 宋燕春, 黎裕, 王天宇. 中国玉米品种改良及其种质基础分析. 中国农业科技导报, 2013, 15(3): 30-35
Li Y X, Shi Y S, Song Y C, Li Y, Wang T Y. Improvement of maize hybrids and the analysis of basal germplasm in China. Journal of Agricultural Science and Technology, 2013, 15(3): 30-35
- [6] 李春辉, 王天宇, 黎裕. 基于地方品种的种质创新: 现状及展望. 植物遗传资源学报, 2019, 20(6): 1372-1379
Li C H, Wang T Y, Li Y. Germplasm innovation of landraces: Current status and future prospect. Journal of Plant Genetic Resource, 2019, 20(6): 1372-1379
- [7] 王元东, 赵久然, 张华生, 陈传永, 吴珊珊, 张春原, 刘新香, 郭成恩, 陈明, 陈绍江. “黄欧”系列玉米自交系宜机械粒收特征特性研究. 植物遗传资源学报, 2019, 20(6): 1554-1565
Wang Y D, Zhao J R, Zhang H S, Chen C Y, Wu S S, Zhang C Y, Liu X X, Guo C E, Chen M, Chen S J. Characteristics of the “Huanglv-European Germplasm” maize inbred lines for mechanical grain harvesting. Journal of Plant Genetic Resources, 2019, 20(6): 1554-1565
- [8] 石云素, 黎裕, 王天宇, 宋燕春. 玉米种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2006: 10-51
Shi Y S, Li Y, Wang T Y, Song Y C. Description and data standard for maize (*Zea mays* L.). Beijing: China Agriculture Press, 2006: 10-51
- [9] 李凤海, 郭佳丽, 于涛, 史振声. 不同熟期玉米杂交种及其亲本子粒脱水速率的比较研究. 玉米科学, 2012, 20(6): 17-20, 24
Li F H, Guo J L, Yu T, Shi Z S. Comparative study on dehydration rate of kernel among maize hybrids and parents with different maturity periods. Journal of Maize Sciences, 2012, 20(6): 17-20, 24
- [10] 段民孝, 赵久然, 李云伏, 王元东, 邢锦丰, 张华生, 刘新香, 刘春阁, 张雪原, 张春原. 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. 农学学报, 2015, 5(2): 10-14
Duan M X, Zhao J R, Li Y F, Wang Y D, Xing J F, Zhang H S, Liu X X, Li C G, Zhang X Y, Zhang C Y. Study on the breeding and supporting technology of new maize variety ‘Jingnongke 728’. Journal of Agriculture, 2015, 5(2): 10-14
- [11] 张丰屹, 唐娟, 雍洪军, 李明顺, 张德贵, 苏治军, 齐建双, 李新海, 高聚林. 欧洲重要玉米群体特征及其利用途径分析. 植物遗传资源学报, 2018, 19(4): 807-814
Zhang F Y, Tang J, Yong H J, Li M S, Zhang D G, Su Z J, Qi J S, Li X H, Gao J L. Characterization and potential utilization of important european maize populations. Journal of Plant Genetic Resources, 2018, 19(4): 807-814
- [12] Dudley J W. Theory for transfer of alleles. Crop Science, 1982, 22: 631-637
- [13] Goodman M M. Exotic maize germplasm: status, prospects, and remedies. Iowa State Journal of Research, 1985, 59: 497-527
- [14] Selig L, Lambert R J, Rocheford T R, Silva W J. RFLP and cluster analysis of introgression of exotic germplasm into U.S. maize inbreds. Maydica, 1999, 44: 85-92