

欧洲重要玉米群体特征及其利用途径分析

张丰屹^{1,2}, 唐娟^{2,3}, 雍洪军², 李明顺², 张德贵², 苏治军¹, 齐建双⁴, 李新海², 高聚林¹

(¹ 内蒙古农业大学, 呼和浩特 010019; ² 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081; ³ 四川农业大学农学院, 成都 611130;

⁴ 河南省农业科学院粮食作物研究所, 郑州 450002)

摘要: 欧洲本土玉米种质多属硬粒型, 具有较强的早熟性和抗逆性, 导入欧洲优良玉米种质是拓宽我国适宜机械化种质基础的有效途径。通过整合分析欧洲西南、东南和北部玉米种质的配合力及杂种优势研究结果, 发现有应用潜力的 23 个优良玉米群体, 包括 10 个西班牙群体、6 个法国群体、2 个葡萄牙群体和 5 个瑞士群体。建议在适应性改良的基础上, 将群体 Enano Norteño/Vasco、EVS22 与我国 A 群种质, 群体 Ain、Alegia、Bade、Berrobi、Lazcano、Tuy 与我国 B 群种质构建复合群体, 开展改良, 拓宽我国玉米种质类群的遗传基础。

关键词: 欧洲玉米种质; 产量配合力; 杂种优势

Characterization and Potential Utilization of Important European Maize Populations

ZHANG Feng-yi^{1,2}, TANG Juan^{2,3}, YONG Hong-jun², LI Ming-shun²,
ZHANG De-gui², SU Zhi-jun¹, QI Jian-shuang⁴, LI Xin-hai², GAO Ju-lin¹

(¹ Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019; ² Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; ³ College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130;

⁴ Cereal Crop Research Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002)

Abstract: Most of the European maize (*Zea mays* L.) germplasm are earliness, density-tolerance and lodging resistance. Introgression of elite traits from European maize germplasm might be an effective strategy to broaden the genetic base of Chinese germplasm. By analyzing and summarizing general combining ability effects and heterosis responses among maize populations from the southwest, southeast and northern Europe, 23 elite maize populations were identified, including ten Spain populations, six French populations, two Swiss populations, and five Portugal populations. Based on adaptation improvement and heterosis responses, we suggest that Enano Norteño/Vasco, and EVS22 could be introgressed into Chinese heterotic group A, and Ain, Alegia, Bade, Berrobi, Lazcano, and Tuy introgressed into Chinese heterotic group B to form and improve semi-exotic populations or pools, respectively, in order to broaden the Chinese maize germplasm base.

Key words: European maize germplasm; combining ability for grain yield; heterosis

玉米(*Zea mays* L.)起源于中南美洲, 15 世纪末、16 世纪初分别传入欧洲和亚洲, 在世界上形成了美国、欧洲和中国三大玉米带^[1]。中国玉米带随着种质改良和演化, 逐渐形成了以 A 群(BSSS 种质和 PA 种质)、B 群(Lancaster 种质和 PB 种质)和 D 群(唐四平

头和旅大红骨种质)等类群为主的种质基础^[2-4]。

近年来, 随着我国玉米生产和产业发展, 选育耐密、抗倒、抗逆、宜机收的品种成为主要育种方向。目前, 利用我国唐四平头和旅大红骨选系组配的杂交种具有耐密性差、抗倒能力弱、脱水速率慢等缺

收稿日期: 2017-11-17 修回日期: 2017-12-10 网络出版日期: 2018-04-04

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20180404.1050.002.html>

基金项目: 国家科技支撑计划(2014BAD01B09); 国家玉米产业技术体系(CARS-02-02); 河南省科技开放合作项目(172106000040)

第一作者研究方向为作物栽培学与耕作学。E-mail: 782892180@qq.com

通信作者: 高聚林, 研究方向为作物栽培学与耕作学。E-mail: nmgaolun@163.com

李新海, 研究方向为玉米遗传改良与种质创新。E-mail: lixinhai@caas.cn

点,不能满足种植密度增加、机械化作业等需求。同时,育种单位主要利用 A 群和 B 群中少数优良自交系开展循环选系,导致其遗传基础逐步狭窄^[5]。因此,鉴定和利用外来优良种质改良我国本土化种质,有效增加种质类群内遗传变异,选育耐密、抗倒、适宜机械化作业的自交系和杂交种,是我国育种工作者亟待解决的问题。

欧洲玉米带由于地理位置特殊,玉米种质主要以欧洲硬粒和美国马齿为主,大多具有早熟、耐密、抗倒等适宜机械化特点^[6-7]。自 20 世纪 70 年代以来,我国育种家开始重视欧洲玉米种质的引进和利用。1973 年,重庆三峡农业科学研究院从前南斯拉夫引进了 21 份杂交种,筛选出 BC8241Ht 种质,已选育出 8 个自交系,并组配出 17 个杂交种^[8-11];2006 年,丹东农业科学院从西班牙引进 10 份早熟耐密 BRC 基础种质,选育出 5 个农艺性状优良的早熟、耐密玉米自交系^[12]。近些年,德国 KWS 种业公司培育的德美亚和垦沃系列杂交种在我国黑龙江省乃至东北区的大面积推广,推进了欧洲玉米种质在我国玉米育种中的应用。因此,引进、鉴定和利用欧洲种质,对逐渐拓宽我国适宜机械化玉米育种的种质基础具有重要作用。目前,我国玉米育种主要利用的欧洲种质大部分来自杂交种选系,缺乏对欧洲基础种质的整体认识。为此,本文系统整理和分析了 1991-2011 年有关欧洲玉米种质配合力及杂种优势效应的文献^[13-34],依据早期活力,籽粒含水量、抽丝期、产量等性状一般配合力(GCA, General combining abilityxx)效应评价群体适应性及产量潜力,利用特殊配合力(SCA, Specific combining ability)、超亲优势或中亲杂种优势效应值,评价群体之间的杂种优势关系,筛选和提出部分有应用潜力的欧洲种

质及其在我国玉米种质改良和创新利用途径,以期拓展我国玉米种质基础提供参考。

1 欧洲主要玉米群体特征分析

1.1 西班牙玉米群体特征

1.1.1 西班牙主要玉米群体及配合力效应 西班牙玉米种质遗传变异丰富,主要类型有北方品种、南方品种、湿热品种和干旱品种。其中,西班牙玉米主产区利用的玉米群体包括 Tuy、Viana、Lazcano、Basto/Rastrojero、Rastrojero、Enano levantino/Hembrilla、Oroso、Ribadumia、Tolosa、Tremesino^[13-14];西班牙北部和南部的合成群体有 EPS6、EPS7^[15];西班牙北部潮湿和东南部干旱地区地方品种有 Gallego(GA)、Gallego × Hembrilla norteño(GA/HN)、Norteño(NO)、Norteño largo(NL)、Basto × Enano levantino(BA/EL)、Fino(FI)、Tremesino(TR)^[16];适应潮湿、春季冷害和早熟环境的群体包括 Alegia、Azkoitia、Berrobi、Enano Norteño/Vasco、EVS20、EVS22、Getaria、Hembrilla Norteño/Vasco、Lazcano、Vasco、Enanolevantino/Hembrilla(ELBE)、Gallego(GA)、Norteno(NO)、Rastrojero(RA)、Tremesino(TR)^[17-18]。

通过分析部分西班牙玉米群体主要农艺性状配合力效应值(表 1),发现 Alegia、Berrobi、Enano Norteño/Vasco、EVS22、Getaria、Lazcano、Puenteareas、Rojo de Tolosa、Santiago 等群体产量 GCA 呈现正向效应;Alegia、Enano Norteño/Vasco、EVS22、Getaria、Puenteareas、Santiago 等群体早期活力 GCA 表现正向效应;Alegia、Berrobi、Enano Norteño/Vasco、Lazcano、Puenteareas 等群体籽粒含水量 GCA 表现为负向效应;Berrobi、Enano Norteño/Vasco、Lazcano、Rojo de Tolosa 等群体抽丝期 GCA 呈现负向效应。

表 1 西班牙玉米群体主要农艺性状一般配合力(GCA)效应值

Table 1 The general combining ability(GCA) effect value of main agronomic characters of Spanish maize populations

| 群体 Population | 种质基础 Germplasm basis | 籽粒产量 Grain yield | 早期活力 Early vigor | 籽粒含水量 Grain moisture | 抽丝期 Silking stage | 鉴定地点 Identification site |
|---------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------------|
| Alegia | 巴斯克地区品种 | 0.69 | 0.08 | -0.07 | 0.76 | 西班牙东北部 ^[18] |
| Berrobi | 巴斯克地区品种 | 0.19 | -0.27 | -0.18 | -0.80 | |
| Enano Norteño/Vasco | 西班牙北部原始品种 | 0.24 | 0.33 | -0.51 | -0.43 | |
| EVS22 | 阿斯图里亚斯品种 | 0.51 | 0.20 | 1.81 | 0.76 | |
| Getaria | 巴斯克地区品种 | 0.02 | 0.08 | 0.30 | 2.76 | |
| Lazcano | 巴斯克地区品种 | 0.87 | -0.30 | -1.32 | -0.93 | 西班牙西北部 ^[19] |
| Puenteareas | 西班牙西北部品种,硬粒 | 1.20 | 2.50 | -9.00 | 2.10 | |
| Rojo de Tolosa | 西班牙西北部品种,硬粒 | 0.30 | -1.20 | 4.00 | -0.10 | |
| Santiago | 西班牙西北部品种,硬粒 | 0.50 | 1.80 | 13.00 | 2.10 | |

通过分析部分西班牙玉米群体的农艺性状表现(表2),发现 Tuy、Rebordanes(F) C2、Arangal、Lazcano、Guernika、Santiago(F) C2、Guetaria、Rastrojero(RA)、Enano levantino、Basto/Rastrojero(BR)、Enano 等群体产量、早期活力值较高; Tuy、Arangal、Rebor-

danes(F) C2、Guernika、Guetaria、Ezs1、Santiago(F) C2、Lazcano 等群体籽粒含水量低; ESP6、ESP7、Lazcano、Santiago(F) C2、Tuy、Guernika、Rastrojero(RA)、Rebordanes(F) C2 等群体抽丝较早。SG1、ESP6、ESP7、Ezs1 等群体早期活力尚不明确。

表2 西班牙玉米群体主要农艺性状表现

Table 2 The main agronomic traits of Spanish maize population

| 群体 Population | 种质基础 Germplasm basis | 籽粒产量 (t/hm ²) Grain yield | 早期活力 (1-9) Early vigor | 籽粒含水量 (g/kg) Grain moisture | 抽丝期 (d) Silking stage | 鉴定地点 Identification site |
|----------------------|--------------------------------|---|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| Arangal | 黄色籽粒 | 4.2 | 6.7 | 216 | 76 | 西班牙西北部 ^[20] |
| Guetaria | 硬粒型,黄色籽粒 | 3.8 | 5.3 | 245 | 78 | |
| Rebordanes(F) C2 | 硬粒型,白色籽粒 | 4.4 | 6.9 | 208 | 75 | |
| Santiago(F) C2 | 硬粒型,黄色籽粒 | 3.4 | 5.6 | 190 | 72 | |
| Guernika | 硬粒型,黄色籽粒 | 3.8 | 5.8 | 217 | 74 | |
| SG1 | 10个西班牙和2个法国品种合成 | 1.4 | — | 255 | 69 | 西班牙西北部 ^[15,21] |
| ESP6 | 欧洲早期人工合成品种 | 4.6 | — | 281 | 62 | |
| ESP7 | 由西班牙北部潮湿地区品种和 西班牙南部干旱地区品种合成 | 5.1 | — | 284 | 66 | |
| Ezs1 | 由4个不同地区的原始 西班牙开放授粉品种合成 | 3.6 | — | 230 | 79 | 西班牙东北部 ^[22] |
| Tuy | 西班牙西北部品种,硬粒型 | 5.8 | 7.1 | 273 | 73 | 西班牙西北、东部和 |
| Basto/Rastrojero(BR) | 西班牙安达卢西亚地区品种 | 5.0 | 4.4 | 205 | 68 | 法国东南、西南部 ^[20,23-24] |
| Lazcano | 巴斯克地区品种 | 5.9 | 6.2 | 252 | 66 | |
| Enano levantino | 加西利亚地区品种,黄色籽粒 | 5.9 | 4.9 | 283 | 70 | 西班牙西北、东部、 |
| Rastrojero(RA) | 加西利亚地区品种,黄色籽粒 | 6.0 | 5.1 | 320 | 74 | 东南及西南部 ^[23-25] |

综上所述,从配合力效应值看,群体 Lazcano 除早期活力 GCA 效应值较低外,籽粒产量、籽粒含水量、抽丝期等 GCA 均表现优良;群体 Enano Norteño/Vasco 籽粒产量、早期活力、籽粒含水量、抽丝期等 GCA 均表现优良;从农艺性状表现看,Rebordanes(F) C2、Santiago(F) C2、Guernika 等3个群体早期活力强、籽粒含水量低且抽丝期较短;群体 Tuy 和 Lazcano 产量较高,早期活力强、籽粒含水量低且抽丝较早,可引进并用于早熟、收获时含水量低的育种。

1.1.2 西班牙主要玉米群体的杂种优势关系 西班牙玉米杂种优势利用模式组合主要有:西班牙北部×西班牙南部、西班牙北部×美国马齿、西班牙南部×美国马齿^[17]、Andaluz×BS13、西班牙潮湿区×法国南部、西班牙干燥区×西班牙潮湿区^[6]。Revilla等^[23]在2000-2001年于西班牙西北部 Pontevedra 和西班牙东部 Zaragoza、法国东南部 Mauguio 和法国西

南 Saint Martin de Hinx 等4个环境对6个西班牙地方品种进行了完全双列杂交,通过分析其产量杂种优势(图1、图2),发现年份对6个西班牙群体杂种优势影响很大,Tuy 群体在4个环境下,两年间表现出了完全相反的杂种优势;Basto/Rastrojero 群体表现最为稳定,在 Pontevedra、Zaragoza、Saint Martin de Hinx 等3个环境下两年间杂种优势均为较高正值,说明该群体与其余群体亲缘关系较远。Ruiz de Galarreta 等^[18]发现在西班牙东北部环境下,杂种优势较高的组合是 CM105×Lazcano(9.0 t/hm²)、CM105×Berrobi(8.1 t/hm²)和 W64A×Lazcano(7.8 t/hm²)。

通过比较分析2000年、2001年产量特殊配合力(表3)可以发现,Lazcano、Viana、Ain、Enano levantino/Hembrilla、Tuy 等群体遗传关系较近;Basto/Rastrojero、Rastrojero 等群体遗传关系较近;Lacaune、Esterre、Millette du Lauragais、Millette Montagne Noire 等群体遗传关系相近。

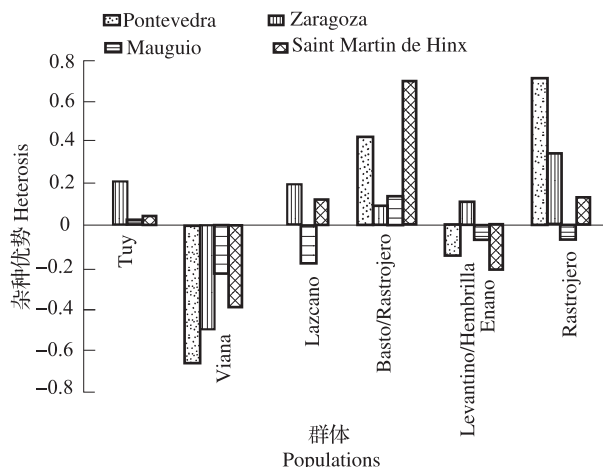


图1 2000年西班牙和法国4个环境下
西班牙玉米群体产量杂种优势分析^[23]

Fig.1 Yield heterosis of Spain maize populations in four environments respectively in Spain and France in 2000^[23]

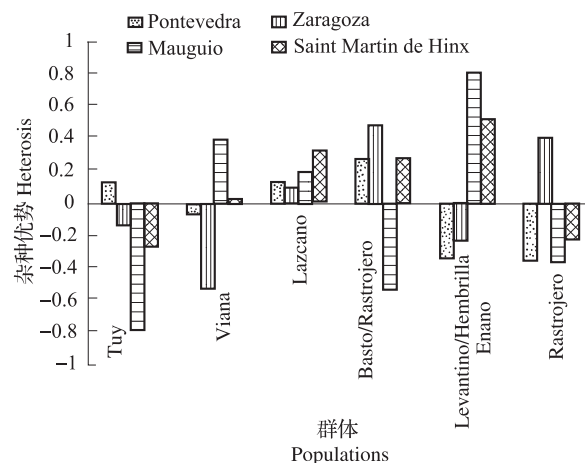


图2 2001年西班牙和法国4个环境下
西班牙玉米群体产量杂种优势分析^[23]

Fig.2 Yield heterosis of Spain maize populations in four environments respectively in Spain and France in 2001^[23]

表3 2000年(右上角)、2001年(左下角)西班牙和法国3个环境(Zaragoza、Mauguio、Saint Martin de Hinx)下玉米群体间产量特殊配合力效应^[23]

Table 3 Specific combining abilities of yield for a diallel cross of twelve maize populations evaluated during 2000 and 2001 in Spain and France(Zaragoza、Mauguio、Saint Martin de Hinx)^[23]

| 群体 Population | Tuy | Viana | Lazcano | BR | Rastrojero | EH | Bade | Lacaune | Esterre | Ain | ML | MMN |
|------------------|-------|-------|---------|-------|------------|-------|-------|---------|---------|-------|-------|-------|
| Tuy | | -0.20 | 0.08 | -0.59 | 0.12 | -0.02 | -0.04 | -0.02 | -0.21 | 0.40 | 0.31 | 0.18 |
| Viana | -0.48 | | -0.26 | -0.21 | 0.15 | 0.18 | 0.16 | -0.28 | -0.07 | -0.07 | 0.33 | 0.27 |
| Lazcano | 0.06 | -0.49 | | -0.44 | -0.10 | -0.23 | 0.00 | 0.31 | -0.36 | -0.33 | 1.16 | 0.19 |
| BR | -0.06 | 0.24 | 0.56 | | -0.22 | 0.07 | 0.02 | 0.47 | 0.41 | 0.19 | 0.43 | 0.33 |
| Rastrojero | 0.32 | 0.70 | 0.09 | -1.35 | | -0.57 | 0.18 | 0.57 | 0.25 | 0.19 | -0.60 | 0.05 |
| EH | 0.08 | 0.60 | -0.08 | -0.73 | -0.70 | | 0.34 | 0.32 | 0.15 | 0.25 | -0.01 | 0.00 |
| Bade | -0.78 | -0.53 | -0.21 | 0.38 | 0.00 | 0.58 | | -0.17 | 0.01 | -0.66 | -0.20 | 0.37 |
| Lacaune | 0.60 | -0.18 | 0.00 | 0.97 | 0.31 | 0.13 | -0.05 | | -0.28 | -0.10 | -0.46 | -0.36 |
| Esterre | 0.17 | -0.19 | 0.36 | -0.25 | 0.04 | -0.16 | 0.22 | -0.65 | | 0.07 | -0.15 | -0.22 |
| Ain | -0.01 | -0.37 | -0.58 | 0.94 | 0.17 | 0.39 | -0.36 | -0.20 | -0.14 | | 0.02 | 0.03 |
| ML | 0.45 | 0.40 | 0.09 | -0.66 | 0.60 | -0.06 | 0.08 | -0.71 | 0.08 | 0.13 | | -1.04 |
| MMN | -0.35 | 0.31 | 0.21 | -0.05 | -0.18 | -0.06 | 0.67 | -0.24 | 0.07 | 0.02 | -0.63 | |

BR; Basto/Rastrojero, EH; Enano levantino/Hembrilla, ML; Millette du Lauragais, MMN; Millette Montagne Noire, the same as below

Ruiz de Galarreta 等^[18]以 B93 (兰卡斯特种质)、CM105 (瑞德黄马牙群体种质)、EP42 (西班牙硬粒型种质)、W64A (瑞德黄马牙种质) 为测验种, 分析了西班牙北部 10 个群体的杂种优势关系 (图 3), 发现在西班牙东北部环境下, B93 × Alegia、B93 × Azkoitia、B93 × Berrobi、B93 × Lazcano、CM105 × Alegia、CM105 × Azkoitia、CM105 × Enano Norteño/Vasco、CM105 × EZS22、CM105 × Hembrilla Norteño/Vasco、CM105 × Vasco、EP42 × Berrobi、EP42 ×

EZS22、EP42 × Getaria、W64A × Azkoitia、W64A × Berrobi、W64A × Enano Norteño/Vasco、W64A × EZS20、W64A × EZS22、W64A × Getaria、W64A × Hembrilla Norteño/Vasco、W64A × Vasco 特殊配合力较低。综上所述, 群体 Azkoitia、Enano Norteño/Vasco、EZS20、EZS22、Hembrilla Norteño/Vasco、Vasco 与瑞德黄马牙种质关系较近; Alegia、Berrobi、Lazcano 与 Lancaster 种质关系相近; Getaria 与西班牙硬粒型种质关系相近。

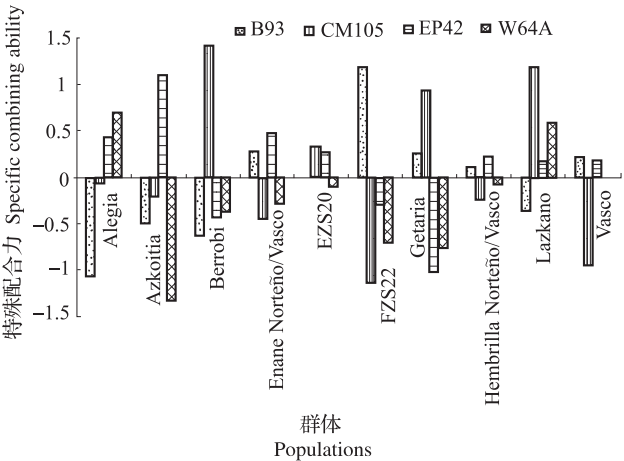


图3 西班牙环境下主要玉米群体产量特殊配合力分析^[18]

Fig.3 Specific combining ability of main Spanish maize populations in Spanish environment^[18]

1.2 法国玉米群体特征

1.2.1 法国主要玉米群体及配合力效应 法国玉米主要分布在北部、东北部、巴黎中部、中部中西和中东部、南部地区。Revilla 等^[23-24]在西班牙西北部

表4 法国玉米群体主要农艺性状表现^[20,23-24]

Table 4 The main agronomic traits of French maize populations^[20,23-24]

| 群体 Population | 种质基础 Germplasm basis | 产量 GCA Yield GCA | 早期活力 Early vigor (1-9) | 籽粒含水量 (g/kg) Grain moisture | 抽丝期 (d) Silking stage |
|------------------|--------------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| Ain | 法国东南部,罗讷-阿尔卑斯地方品种 | 0.50 | 4.0 | 239 | 65 |
| Bade | 法国东北部,阿尔萨斯地方品种 | 0.16 | 5.3 | 205 | 63 |
| Estarvielle | 地方品种,硬粒型,黄色籽粒 | - | 5.5 | 194 | 62 |
| Esterre | 法国西南部比利牛斯山脉中部地区地方品种 | 0.08 | 5.1 | 222 | 61 |
| Lacaune | 法国西南部比利牛斯山脉中部地区地方品种 | 0.49 | 6.2 | 252 | 61 |
| ML | 法国南部地中海沿岸,朗格多克和鲁西荣地区地方品种 | 0.29 | 5.7 | 288 | 72 |
| MMN | 法国南部地中海沿岸,朗格多克和鲁西荣地区地方品种 | 0.41 | 6.0 | 280 | 72 |

1.2.2 法国主要玉米群体的杂种优势关系 群体 Ain 来源于法国东南部,与西班牙群体 Basto/Rastrojero 杂种优势较强;通过同工酶法鉴定出群体 Bade 与 Esterre 亲缘关系较近,通过 RFLP 分析发现 Bad 与 MMN、ML 和 Lacaune 亲缘关系较近。Esterre、Lacaune、ML 和 MMN 等群体来源于法国南部^[23],但通过 RFLP 标记分析,Esterre 属于法国西南类群,Lacaune、ML、MMN 属于法国东北部类群^[26]。目前,法国地中海种质大多被划分到西班牙干旱类群和其他杂合类群,潜在的杂种优势利用模式有:西班牙干旱群体×西班牙潮湿群体、西班牙潮湿群体×法国

Pontevedra、西班牙东部 Zaragoza、法国东南部 Mauguio 和法国西南 Saint Martin de Hinx 等 4 个环境下鉴定了法国群体 Ain、Bade、Esterre、Lacaune、ML、MMN 的农艺性状表现(表 4),发现群体 Ain、Bade 及 Esterre 产量 GCA 表现为正向效应(0.5、0.16、0.08),其中群体 Bade、Esterre 抽丝早、籽粒含水量低且早期活力表现较好;群体 Lacaune、ML、MMN 早期活力表现好(6.2、5.7、6.0),产量 GCA 也较高(0.49、0.29、0.41),但籽粒含水量较高(252 g/kg、288 g/kg、280 g/kg),ML、MMN 抽丝较晚(72 d)。Rodriguez 等^[20]在西班牙西北部鉴定法国地方群体 Estarvielle(表 4),收获时籽粒含水量最低(194 g/kg),抽丝较早(62 d),但早期活力表现一般。综合分析法国玉米群体产量 GCA、早期活力、抽丝期和收获时籽粒含水量等性状,发现群体 Bade 和 Esterre 抽丝早、籽粒含水量低且早期活力表现较好。群体 Ain 产量 GCA 高;群体 Estarvielle 籽粒含水量低,抽丝较早;群体 Lacaune、ML 和 MMN 产量 GCA 与早期活力均较高。

北部群体^[23]。通过分析 6 个法国地方品种的杂种优势(图 4、图 5),发现在西班牙西北部 Pontevedra、西班牙东部 Zaragoza、法国东南部 Mauguio 和法国西南 Saint Martin de Hinx 环境下,群体 Ain 与其他群体的产量杂种优势表现最强;群体 Lacaune 在 Saint Martin de Hinx 地区与其他群体的杂种优势较高;群体 MMN 在 Pontevedra 和 Saint Martin de Hinx 地区与其他群体表现出较强的杂种优势,但在 Mauguio 地区两年间杂种优势效应完全相反,且效应值均较高。

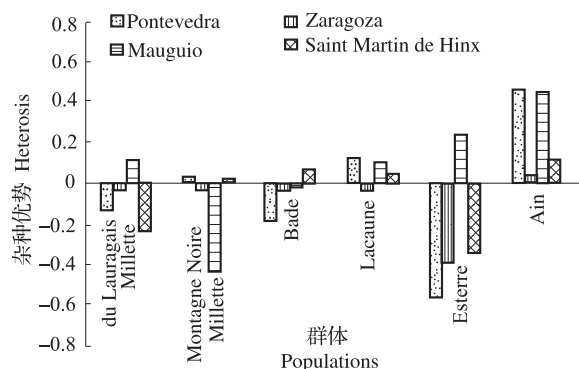


图4 2000年西班牙和法国4个环境下
法国玉米群体产量杂种优势分析^[23]

Fig. 4 Yield heterosis of French maize populations in four environments respectively in Spain and France in 2000^[23]

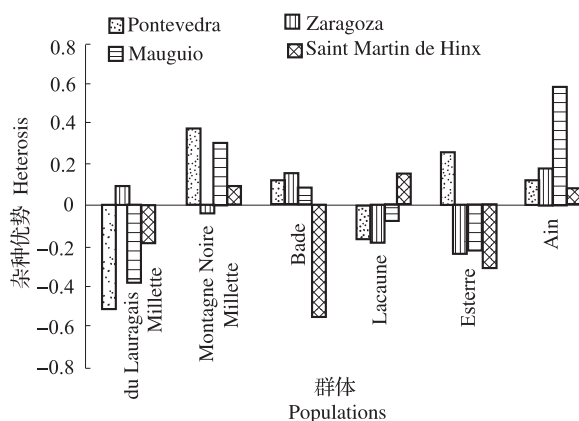


图5 2001年西班牙和法国4个环境下
法国玉米群体产量杂种优势分析^[23]

Fig. 5 Yield heterosis of French maize populations in four environments respectively in Spain and France in 2001^[23]

表5 瑞士主要玉米群体聚类特点分析^[31]

Table 5 Cluster analysis of major Swiss maize populations^[31]

| 聚类分析 | 群体 | 地理来源 |
|------------------|--|---------------------|
| Cluster analysis | Population | Geographical origin |
| 第1类 | 025VS | 瑞士南部瓦莱州地区 |
| 第2类 | Magister, 425TM, 127D, 023VS, 134PR | 瑞士南部 |
| 第3类 | GMS, 089LV, 125PV, 073TM, 075TM | 瑞士南部 |
| 第4类 | 007PR, 179RV, 151RV, 174RV | 瑞士东北部莱茵河谷和后莱茵河流域 |
| 第5类 | 055LV, 059LV, 018RV, 103RV, 176RV, 198TM | 瑞士东北部的林特山谷与莱茵河谷地区 |

表中群体代码均由变量的最后3位数字加起源区域构成;

The group codes in the table are composed of the last three digits of the variable and the origin region. PR: Posterior Rhine, LV: Linth valley, PV: Poschiavo valley, RV: Rhine valley, TM: Tessin and Mesolcino, VS: Valais, D: Germany

产量较高(6.1 t/hm²),但其收获时籽粒含水量也较高(311 g/kg),抽丝较晚(75 d);葡萄牙群体 Baiao 和 Viseu 早期活力较强(分别为5.9和6.4),收获时籽粒含水量较低(分别为197 g/kg和206 g/kg),抽丝较早(分别为69 d和72 d),但产量较低;意大利

1.3 瑞士玉米群体特征

硬粒型玉米种质在瑞士具有百年栽培历史,遗传多样性丰富^[27-30]。但由于硬粒型种质传入欧洲的时间和地点不同,导致种质的遗传背景有一定差异^[27]。Tobias 等^[31]和 Roland 等^[32]认为瑞士群体主要包括南部 TM、PV、AR 和 VS 类群;北部 PR、RV 与 LV 类群。其中 TM、PV 类群种质与 Magister 杂交种的遗传背景相近,与 Magister 相比, PV 和 TM 类群的叶面积大、根系多,更具耐寒性;AR 和 VS 类群种质叶面积较小、根系少,早期生长较弱,不利于低温生长;瑞士北部 PR、RV 与 LV 类群种质叶面积较大、根系较短、地上部/地下部比值高。综上所述,南部 TM、PV 类群和北部 PR、RV、LV 类群更具耐寒性。

结合分子标记技术和种质地理来源特点, Tobias 等^[31]利用个体聚类方法,将21份瑞士玉米种质划分为5个类群(表5)。其中第1类为瑞士南部群体 025VS;第2类群为欧洲北部硬粒群体,包括瑞士典型的硬粒×马齿杂交种 Magister、425TM 与德国 127D 群体;第3类群体包括南部山谷种质 TM、皮斯亚沃河谷种质 PV 和墨西哥硬粒×马齿群体杂交种 GMS;后两个类群包括剩余的 PR、RV 和 LV 材料。从地理来源来看,除 198TM 外,群体 LV、PR、RV 在来源分布上无显著差异,大多玉米种质群体来自莱茵河谷和林特山谷^[32]。

1.4 欧洲其他国家玉米群体主要性状表现

葡萄牙玉米群体源自早期欧洲硬粒群体^[20]。在西班牙环境条件下(表6)^[17-18],葡萄牙群体 Amarelo

玉米群体 Spin 籽粒含水量较低(217 g/kg),抽丝较晚,但早期活力弱且产量低。Rodriguez 等^[20]通过研究叶色、早期活力、出苗率、出苗天数、成活率等性状表现,发现葡萄牙群体 Viseu 和西班牙群体 Arangel 表现出较强的耐寒性,群体 Baiao 和西班牙群体

表 6 其他欧洲国家玉米群体主要农艺性状表现

Table 6 The major agronomic traits of maize population in some European countries

| 群体 Population | 种质基础 Germplasm basis | 籽粒产量 (t/hm ²) Grain yield | 早期活力 Early vigor (1-9) | 籽粒含水量 (g/kg) Grain moisture | 抽丝期 (d) Silking stage | 鉴定地点 Identification site |
|------------------|-------------------------|---|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Amarelo | 葡萄牙当地品种,硬粒型,黄色籽粒 | 6.1 | — | 311 | 75 | 西班牙西北部 ^[17] |
| Baiao | 葡萄牙当地品种,硬粒型,黄色籽粒 | 3.6 | 5.9 | 197 | 69 | 西班牙西北部 ^[18] |
| Viseu | 葡萄牙当地品种,硬粒型,黄色籽粒 | 3.5 | 6.4 | 206 | 72 | 西班牙西北部 ^[18] |
| Spin | 意大利当地品种 | 3.0 | 4.5 | 217 | 75 | 西班牙西北部 ^[18] |

Arangal 具有较好的农艺性状。Revilla 等^[33] 鉴定了 404 份欧洲玉米群体的耐寒性,认为某些不具耐寒性的种质能在寒冷地区生长,是因其生长周期短,可以避开寒冷时期种植。

2 欧洲主要玉米群体在我国玉米育种利用途径分析

由于我国黑龙江、吉林、内蒙古、新疆等北方地区年平均气温低,生长季节短,玉米生长后期常常遭遇低温冷害,致使晚熟品种灌浆速度缓慢,籽粒含水量高,机械收获困难,产量和品质受到严重影响。目前我国生产应用的早熟玉米种质遗传基础狭窄、育

种贡献率低,难以满足早熟玉米生产需求^[34]。欧洲玉米种质具有典型的早熟性、抗逆性^[6-7]。引进和利用欧洲种质,对我国早熟、宜机收玉米育种具有重要意义。

通过分析欧洲玉米群体自身农艺性状和配合力表现^[13-33],共发现 23 个具有应用潜力的优良玉米群体(表 7)。建议利用具有较强耐寒性的优良群体改良我国北方春玉米区玉米种质,提高其耐寒能力;利用具有早期活力强、收获时籽粒含水量低、抽丝早等特点的优良群体改良我国黄淮海区、北方玉米区的玉米种质,提高其适应机械化作业特性。

表 7 欧洲国家 23 份优良玉米群体

Table 7 Twenty-three elite maize populations from Europe

| 群体 Population | 特点 Trait | 国家 Country |
|---------------------|---|---------------|
| Puenteareas | 产量 GCA、早期活力 GCA 高。 | 西班牙 |
| Lazcano | 产量 GCA 高,抽丝期 GCA 负效应较高。 | 西班牙 |
| Alegia | 产量 GCA 高,早期活力 GCA 较高,籽粒含水量 GCA 负效应较高。 | 西班牙 |
| EZS22 | 产量 GCA 高,早期活力 GCA 较高。 | 西班牙 |
| Santiago | 产量 GCA 较高,早期活力 GCA 高。 | 西班牙 |
| Rojo de Tolosa | 产量 GCA 较高,抽丝期 GCA 具有较高的负效应。 | 西班牙 |
| Enano Norteño/Vasco | 产量 GCA、早期活力 GCA 较高;籽粒含水量、抽丝期 GCA 负效应较高。 | 西班牙 |
| Berrobi | 产量 GCA 较高;籽粒含水量、抽丝期 GCA 负效应较高。 | 西班牙 |
| Getaria | 产量 GCA、早期活力 GCA 较高。 | 西班牙 |
| Tuy | 产量较高、早期活力强;籽粒含水量较低、抽丝较早。 | 西班牙 |
| Ain | 产量 GCA 较高。 | 法国 |
| Bade | 产量 GCA 较高,抽丝早、籽粒含水量低且早期活力较强。 | 法国 |
| Esterre | 产量 GCA 较高,抽丝早、籽粒含水量低且早期活力较强。 | 法国 |
| Lacaune | 产量 GCA 较高,早期活力强。 | 法国 |
| ML | 产量 GCA 较高,早期活力强。 | 法国 |
| MMN | 产量 GCA 较高,早期活力强。 | 法国 |
| TM 类群 | 叶面积大、根系多,耐寒性好。 | 瑞士 |
| PV 类群 | 叶面积大、根系多,耐寒性好。 | 瑞士 |
| PR 类群 | 叶面积较大、根系较短,地上部/地下部比值高,耐寒性较好。 | 瑞士 |
| RV 类群 | 叶面积较大、根系较短,地上部/地下部比值高,耐寒性较好。 | 瑞士 |
| LV 类群 | 叶面积较大、根系较短,地上部/地下部比值高,耐寒性较好。 | 瑞士 |
| Viseu | 早期活力强,收获时籽粒含水量低,抽丝较早,耐寒性较好。 | 葡萄牙 |
| Baiao | 早期活力强,收获时籽粒含水量低,抽丝较早。 | 葡萄牙 |

通过产量特殊配合力和杂种优势数据分析,群体 Enano Norteño/Vasco、EVS22 与瑞德黄马牙种质关系较近;Ain、Alegia、Bade、Berrobi、Lazcano、Tuy 与 Lancaster 种质关系相近;Getaria 与西班牙硬粒型种质关系相近。因此,为扩展我国早熟玉米种质基础,遵循杂种优势群理,建议采用群体 Enano Norteño/Vasco、EVS22 改良我国 A 群种质,Ain、Alegia、Bade、Berrobi、Lazcano、Tuy 改良我国 B 群种质。

参考文献

- [1] 刘纪麟. 玉米育种学. 北京: 中国农业出版社, 2002: 15-21
- [2] 李新海, 袁力行, 李晓辉, 张世煌, 李明顺, 李文华. 利用 SSR 标记划分 70 份我国玉米自交系的杂种优势群. 中国农业科学, 2003, 36(6): 622-627
- [3] 袁力行, 傅骏骅, 张世煌, 刘新芝, 彭泽斌, 李新海, Warburton M, Khairallah M. 利用 RFLP 和 SSR 标记划分玉米自交系杂种优势群的研究. 作物学报, 2001, 27(2): 149-156
- [4] Zhang S H. Maize Germplasm Enhancement, Improvement, and Development. In: Srinivasan G, Zaidi P H, Prasanna B M, Gonzalez F, Lesnick K. Proceedings of the 8th Asian Regional Maize Workshop. Bangkok, Thailand. 5-8 August. Mexico D. F., Mexico: CIMMYT, 2002: 554-560
- [5] 雍洪军, 王建军, 张德贵, 张晓聪, 李明顺, 白丽, 张世煌, 李新海. 美洲地区主要玉米群体特征及其利用途径分析. 遗传, 2013, 35(6): 703-713
- [6] Frei O M. Changes in Yield Physiology of Corn as a Result of Breeding in Northern Europe. Maydica, 2000, 45: 173-183
- [7] Malvar R A, Revilla P, Butron A, Gouesnard B, Boyat A, Soengas P, Alvarez A, Ordas A. Performance of crosses among french and Spanish maize populations across environments. Crop Science, 2005, 45: 1052-1057
- [8] 霍仕平, 张兴端, 向振凡, 晏庆九, 张健, 余志江, 张芳魁, 彭方明, 熊闻霞. 南斯拉夫玉米种质 BC8241Ht 的改良效果评价. 玉米科学, 2006, 14(2): 1-3
- [9] 霍仕平, 张兴端, 向振凡, 晏庆九, 张健, 余志江, 张芳魁, 彭方明, 熊闻霞. 欧洲玉米种质 BC8241Ht 改良系主要经济性状的配合力分析. 玉米科学, 2006, 14(1): 40-42
- [10] 霍仕平, 晏庆九, 张兴端, 余志江, 张健, 向振凡, 张芳魁, 陈克富. 欧洲玉米种质 BC8241Ht 衍生系及其杂交种的系谱分析. 玉米科学, 2007, 15(4): 18-21
- [11] 晏庆九, 霍仕平, 张兴端, 张正圣, 向振凡, 张芳魁, 张健, 余志江, 刘大军, 郑凤敏, 王永娟. 欧洲玉米种质 BC8241 Ht 衍生系的 SRAP 多态性与亲缘关系分析. 玉米科学, 2008, 16(5): 16-19
- [12] 高旭东, 周旭梅, 高洪敏, 丰光, 景希强. 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. 玉米科学, 2015, 23(3): 28-33
- [13] Sanchez-Monge E. Razas de maiz en España. Madrid: Publicaciones del Ministerio de Agricultura, 1962
- [14] Revilla P, Malvar R A, Cartea M E, Ordas A. Identifying open-pollinated populations of field corn as sources of cold tolerance for improving sweet corn. Euphytica, 1998, 101: 239-247
- [15] Vales M I, Malvar R A, Revilla P, Ordás A. Recurrent selection for grain yield in two Spanish maize synthetic population. Crop Science, 2001, 41: 15-19
- [16] Soengas P, Ordás B, Malvar R A, Revilla P, Ordás A. Combining abilities and heterosis for adaptation in flint maize populations. Crop Science, 2006, 46: 2666-2669
- [17] Ordás A. Heterosis in crosses between American and Spanish populations of maize. Crop Science, 1991, 31(4): 931-935
- [18] Ruiz de Galarreta J I. Breeding potential of early-maturing flint maize germplasm adapted to temperate conditions. Spanish Journal of Agricultural Research, 2010, 8(1): 74-81
- [19] Rodriguez V M, Butron A, Sandoya G, Ordás A, Revilla P. Combining maize base germplasm for cold tolerance breeding. Crop Science, 2007, 47: 1467-1474
- [20] Rodriguez V M, Romay M C, Ordás A, Revilla P. Evaluation of European maize (*Zea mays* L.) germplasm under cold conditions. Genetic Resources and Crop Evolution, 2010, 57: 329-335
- [21] Moreno-Gonzalez J, Ramos-Gourcy F, Losada E. Breeding potential of European flint and earliness-selected U. S. corn belt dent maize populations. Crop Science, 1997, 37: 1475-1481
- [22] Ruiz de Galarreta J I, Álvarez A. Six cycles of S1 recurrent selection in two Spanish maize synthetics. Spanish Journal of Agricultural Research, 2007, 5(2): 193-198
- [23] Revilla P, Boyat A, Álvarez A, Gouesnard B, Soengas P, Ordás A, Malvar R A. Heterotic patterns among French and Spanish maize populations. Maydica, 2006, 51: 525-535
- [24] Revilla P, Boyat A, Álvarez A, Gouesnard B, Ordás B, Rodriguez V M, Ordás A, Malvar R A. Contribution of autochthonous maize populations for adaptation to European conditions. Euphytica, 2006, 152: 275-282
- [25] Soengas P, Ordás B, Malvar R A, Revilla P, Ordás A. Heterotic patterns among flint maize populations. Crop Science, 2003, 43: 844-849
- [26] Gauthier P, Gouesnard B, Dallard J, Redaelli R, Rebourg C, Charcosset A, Boyat A. RFLP diversity and relationships among traditional European maize populations. Theoretische und angewandte Genetik, 2002, 105(1): 91-99
- [27] Rebourg C, Chastanet M, Gouesnard B, Welcker C, Dubreuil P, Charcosset A. Maize introduction into Europe: The history reviewed in the light of molecular data. Theoretical and Applied Genetics, 2003, 106: 895-903
- [28] Camus-Kulandaivelu L, Veyrieras J B, Madur D, Combes V, Farmann M, Barraud S, Dubreuil P, Gouesnard B, Manicard D, Charcosset A. Maize adaptation to temperate climate: relationship between population structure and polymorphism in the *Dwarf8* gene. Genetics, 2006, 172(4): 2449-2463
- [29] Dubreuil P, Warburton M, Chastanet M, Hoisington D, Charcosset A. More on the introduction of temperate maize into Europe: large-scale bulk SSR genotyping and new historical elements. Maydica, 2006, 51: 281-291
- [30] Brandolini A G. European races of maize. Proceedings Annual Corn Sorghum Research Conference, 1969, 24: 36-48
- [31] Tobias W, Eschholz, Roland Peter, Peter Stamp and Andreas Hund. Genetic diversity of Swiss maize (*Zea mays* L. ssp. *mays*) assessed with individuals and bulks on agarose gels. Genetic Resources and Crop Evolution, 2008, 55(7): 971-983
- [32] Roland P, Tobias W, Peter S, Markus L. Early growth of flint maize landraces under cool conditions. Crop Science, 2009, 49: 169-178
- [33] Revilla P, Soengas P, Cartea M E, Malvar R A, Ordás A. Isozyme variability among European maize populations and the introduction of maize in Europe. Maydica, 2003, 48: 141-152
- [34] 王巍, 刘兴焱, 谭福忠, 杨耿斌, 杨广东, 刘启丰. 高纬度地区极早熟玉米育种的现状与育种策略. 作物杂志, 2005(2): 57-58