

玉米 Reid-Lan. 渗入 Tuxpeño 种质的育种潜力分析

王安贵, 郭向阳, 吴 迅, 刘鹏飞, 祝云芳, 陈泽辉

(贵州省农业科学院旱粮研究所, 贵阳 550006)

摘要: 为进一步加大 Tuxpeño 种质在育种中的利用, 发挥 Reid-Lan. 种质的遗传优势, 本研究在 Reid-Lan. 渗入 Tuxpeño 形成新种质群体 (RLT) 选系的基础上, 选取 1 个 Reid-Lan. 种质代表自交系和 6 个 RLT 种质选系为被测系, 5 个不同类群代表系为测验种, 采用 NCII 遗传交配设计获得的 35 个杂交组合为材料, 在贵州省贵阳和德江对不同组合的产量性状进行鉴定, 结合 6 万个 Maize SNP50 基因芯片对所涉及到的 12 个自交系进行遗传评价。结果表明, RLT 种质选系 QB2539 的产量一般配合力 (GCA) 最高为 7.28, 高于 Reid-Lan. 选系 QB662。遗传距离 (GD) 分析结果显示, QB662 与 QR273 的 GD 值为 0.3689; 而 Tuxpeño 代表性种质 S122 与 QR273 的 GD 值为 0.3554; QB2539 与 QR273 的 GD 提高到 0.3732。35 个组合中, 产量排前 3 位的是 RLT 种质选系与 Suwan 种质组配的组合, 其中 QB2539 × QR273 产量最高, 较对照黔单 16 增产 29.66%。这些研究结果初步揭示了 Reid-Lan. 渗入 Tuxpeño 形成的新种质 RLT 在育种中具有广泛的应用潜力, 将为下一步的种源创新提供新的改良方法和材料支撑。

关键词: 玉米; Reid-Lan. 种质; Tuxpeño 种质; 育种潜力; 杂种优势

Analysis of Breeding Potential of Maize Germplasm Derived from Tuxpeño with Introgression of Reid-Lan.

WANG An-gui, GUO Xiang-yang, WU Xun, LIU Peng-fei, ZHU Yun-fang, CHEN Ze-hui

(Institute of Upland Grain Crops, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006)

Abstract: One inbred of maize Reid-Lan., and 6 inbreds of maize RLT (Reid-Lan. × Tuxpeño) were selected for testing, with 5 representative inbreds derived from 5 different subgroups as testers. 35 hybrids obtained from crossing the 12 inbreds by using the NCII genetic mating design and grown in Guiyang and Dejiang of Guizhou province were evaluated for their yield-related traits, and the 12 inbreds were evaluated by using the gene chip Maize SNP50 containing 60000 SNPs, in order to enhance the utilization potential of Tuxpeño and to take advantage of the genetic prepotency of Reid-Lan. germplasm in breeding. The results showed that the inbred QB2539 derived from RLT had the highest GCA of 7.28, which was higher than that of QB662 derived from Reid-Lan.. The genetic distance (GD) value between Reid-Lan. germplasm inbred QB662 and QR273 was 0.3689, and the GD value between Tuxpeño germplasm inbred S122 and QR273 was 0.3554, whereas the GD value between RLT germplasm inbred QB2539 and QR273 was 0.3732. Hybrids from the combination of RLT and Suwan germplasm were the top three among all the 35 combinations in regard to yield, among which QB2539 × QR273 had the highest yield, with a 29.66% increase over the CK of Qian dan 16. These results revealed the potential of RLT germplasm for wide use in maize breeding, and would provide some new improved methods and material support for maize germplasm innovation.

Key words: *Zea mays* L.; Reid-Lan. germplasm; Tuxpeño germplasm; breeding potential; heterosis

收稿日期: 2021-02-20 修回日期: 2021-03-05 网络出版日期: 2021-03-24

URL: <http://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20210220001>

第一作者研究方向为玉米遗传育种, E-mail: wanganguil23@163.com

通信作者: 陈泽辉, 研究方向为玉米遗传育种, E-mail: Chenzh907@sina.com

基金项目: 贵州省自然科学基金 [黔科合基础 (2020) 1Z019]; 贵州省高层次创新型人才项目 [黔科合平台人才 (2018) 5629]

Foundation projects: The Guizhou Natural Science Foundation [Qiankehe Foundation (2020) 1Z019], The High-level Project of Innovative Talents in Guizhou Province [Qiankehe Talent Platform (2018) 5629]

西南山区是我国的重要玉米产区之一^[1],其复杂的生态条件是制约玉米产量稳定提高的关键因素。良好的玉米种质资源是选育优异自交系的基础,而优异自交系是选育优良杂交种的前提。能否育出优良杂交种,关键取决于自交系的配合力^[2]。以 Reid 和 Lancaster (Lan.) 为代表的温带种质表现出株型较紧凑,产量性状配合力高,籽粒脱水快,出籽率高,生育期适中,耐密性好,抗倒伏能力强,是选育高产优质玉米品种的可靠种质资源^[3]。而来自热带的 Tuxpeño 种质具有抗旱、耐瘠和耐涝等能力较强的优势^[4],茎秆坚韧,抗斑病、锈病,持绿性好,但熟期偏晚,温光反应较强,对西南地区的复杂生态环境具有良好的适应性,是西南特别是乌蒙山区培育优良玉米新品种不可或缺或短缺的种质资源。冯志前等^[5]对 12 份美国玉米自交系的配合力评价结果表明 PHPR5、MBST 等 7 份自交系产量 GCA 效应表现优良。姜龙等^[6]选用 16 份自选玉米自交系组配 60 个杂交组合,对主要农艺性状进行配合力分析,得出 M103 和 M106 有较大的利用价值。姜龙等^[7]基于 5 份先锋玉米种质改良系和旅大红骨自交系组配的 25 个玉米杂交组合的配合力的研究结果显示,先锋种质改良系 × 旅大红骨组配模式较国内 Reid × 旅大红骨组配模式的耐密性更强,有较大的应用潜力。李娟等^[8]以 Reid-Lan. 种质选系为材料,初步揭示了一种 Reid-Lan. × Suwan 种质的杂种优势模式。莫润秀等^[9]以 20 个 CIMMYT 耐低氮玉米自交系为材料,研究了不同性状的配合力变异情况,结果表明桂 A10341 是最理想的玉米亲本材料。Tuxpeño 是玉米的一个重要种族,具有很高的产量潜力;但植株偏高、生育期长,在改良时应考虑株高和生育期^[10]。为了充分利用温、热带玉米种质资源在主要农艺性状上的互补性,特别是含有丰富优良遗传基因的热带玉米种质资源,在改良与扩增育种资源中发挥着重要的作用^[11]。姚文华等^[12]以温热种质改良群体为基础材料,育出 L8 等 4 份改良系,在育种中被广泛应用。梁燕等^[13]以 9 份北方温带选系和 8 份含热带、亚热带种质的南方选系,组配 72 个温热杂交种,研究结果显示,将热带、亚热带玉米种质利用于温带玉米遗传改良及育种时,应注重相关性状的加性基因效应的利用。陈彦惠等^[14]利用温热杂交组合为材料,分析了产量、一般配合力和特殊配合力的差异,在此基础上总结出温带亚群与热(亚)带亚群的最佳杂优组合模式。郭向阳等^[4]阐述热带玉米 Tuxpeño 种质形成、改良以及演化进程,为进一步利用 Tuxpeño 种质提供了思路。王安贵等^[3]2011 年在美国先锋玉米

种质在西南地区的利用途径探讨中,提出用美国先锋种质与 Tuxpeño 种质改良的观点。陈泽辉等^[15]、Chen 等^[16]提出构建温热人工合成 Tuxpeño-Reid 1 号 9 (简称墨瑞 1 号),采用相互轮回选择法对其进行改良,获得墨瑞 1 号 C1、C2 和 C3,为进一步拓宽与丰富我国现有种质基础提供很好的支撑。

贵州省农业科学院旱粮研究所利用群间选系组配法,从 Reid-Lan. 种质中选育出配合力较高的优良自交系,再用两群双向选择法,通过向 Reid-Lan. 种质渗入 Tuxpeño 血缘构建新类型种质 Reid-Lan.-Tuxpeño (简称 RLT),在此基础上进行改良选系,培育出一批囊括 Reid、Lan. 种质和 Tuxpeño 种质资源优点即产量性状配合力高、抗病性强、籽粒脱水快、出籽率高、且株型较为紧凑的优良自交系,并在育种实践中被大面积应用^[17-19]。然而,目前针对玉米 Reid-Lan. 改良 Tuxpeño 血缘种质选系的遗传潜力研究鲜见报道。本研究从 RLT 种质中选择具有代表性的 6 份改良自交系、1 份改良前的 Reid-Lan. 种质自交系为被测系,与 5 个代表不同类群的自交系作测验系,采用 NCII 设计组配成 35 个组合,分析其配合力;同时利用 SNP 分子标记研究分析种质改良前后的遗传多样性,明确其杂种优势利用方向,从而有效评估 RLT 种质资源的育种潜力,以期选育出强优势杂交种为生产应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料及来源

依据李娟等^[8]杂种优势利用模式,选取贵州省农业科学院旱粮研究所选育的 RLT 种质具有代表性的自交系 QB2532、QB2539、QB2580、QB2852、QB2565、QB2635 和 Reid-Lan. 种质自交系 QB662 作为被测系,用代表不同类群的自交系 QR273 (Suwan)、QB2218 (Suwan)、双 M9 (墨黄)、18599 (PB 群)、5311 (地方种质) 作为测验种 (表 1)。按照 NC II 遗传交配设计,于 2017 年冬天在海南省三亚市崖州区组配 35 个杂交组合。表 1 中墨瑞 1 号 C0 (MR1C0)^[3, 15-16]是利用 Reid 种质与 Tuxpeño 种质杂交后,进行 4 次遗传平衡后形成;E 群是宣白单 2 号 (赞 S122 × 木 4)、昭白单 1 号 (墨 40-7 × 丹 1512)、鲁三 3 (108/717 × 612) 号 F₁ 混合脱粒后,经过两次混合授粉形成的白粒小群体;其中,赞 S122、墨 40-7 和 612 均选自 Tuxpeño 种质;QB932 来自郑 58 × 449,其中 449 选自 Tuxpeño;QB1009、

QB1018、QB948、QB1013 来自先玉 222 (Reid-Lan.); QB1064 来自先玉 508 (Reid-Lan.); QB576 来自 Suwan 种质 T32 × QB48; 赞 S122 来自赞比亚, 属 Tuxpeño 种质。

表 1 不同自交系的系谱信息

Table 1 The pedigrees of different inbreds

自交系 Inbred	来源 Source	类群 Subgroup
QB2532	QB932-1 × QB1009	RLT
QB2539	QB662 × 墨瑞 1 号 C0	RLT
QB2580	QB1018 × E 群	RLT
QB2852	QB1064 × 赞 S122	RLT
QB2565	QB1013 × E 群	RLT
QB2635	QB948 × E 群	RLT
QB662	先玉 508	Reid-Lan.
QR273	Suwan1C11	Suwan
QB2218	QB576 × QR273	Suwan
5311	晴隆五穗白	贵州地方种质
双 M9 Shuang M9	墨黄 9 号	Pop.28, 来源于 Amarillo Dentado
18599	78599	PB 群

1.2 田间试验

2018 年春天在贵州铜仁德江(海拔 810 m)和贵州贵阳(海拔 1100 m)两点分别对 35 个杂交组合进行田间鉴定,以黔单 16 为对照。采用部份平衡格子方设计(PBLD),2 行区,行长 2.5 m,走道 0.50 m,行距 0.70 m,株距 0.25 m,每行 11 株,3 次重复。田间管理与大田生产一致。

1.3 基因型鉴定

2017 年冬,在海南省三亚市九所镇贵州南繁基地对本研究涉及到的标记在玉米大喇叭口期,取 17 份自交系的幼嫩叶片,利用改良 CTAB 法提取基因组 DNA。采用 Illumina 公司开发的 Maize SNP50 芯片对所取样本进行基因型鉴定,该芯片包括 56110 个 SNP 标记。参照 Illumina 公司提供的操作指南检测基因型。其中 DNA 提取和基因型鉴定工作均委托北京康普森生物科技有限公司完成。

1.4 表型鉴定

表型评价参照石云素^[20]的方法,在灌浆期,每行从第 2 株开始连续选取 5 株,分别调查株高、穗位高;收获后室内随机抽选 10 个果穗考查穗行数、穗粗、行粒数、穗长、秃尖长、籽粒含水量,计算小区产量等主要农艺性状。

1.5 数据统计分析

采用 SAS 9.2 进行方差分析,Excel 2007 进行配合力和主成分分析,配合力参照陈泽辉^[21]、孔繁玲^[22]介绍的方法计算。

2 结果与分析

2.1 杂交组间性状与其配合力的方差分析

2.1.1 主要农艺性状方差分析 两点间各性状的联合方差分析显示,重复间 9 个性状均未达到显著水平;除穗粗外,其他性状与基因型 × 环境之间均达到显著($P < 0.05$)水平以上(表 2)。基因型、环境与 9 个性状之间均达到极显著水平($P < 0.01$),说明各性状在地点间差异明显,杂交组合之间各性状均存在较大的遗传差异,可进一步作配合力方差分析。

2.1.2 配合力方差分析 被测系的一般配合力方差分析结果显示,各性状的一般配合力方差均达到显著水平($P < 0.05$)以上,且一般配合力方差均大于特殊配合力方差,说明 RLT 自交系之间差异相对较大(表 2)。5 个测验种各性状的一般配合力方差均达极显著水平($P < 0.01$),且一般配合力方差均大于特殊配合力方差,表明测验种的一般配合力差异也较大。在被测系与测验种的特殊配合力方差分析中,除行粒数、籽粒含水量、秃尖长未达到显著水平外,其余性状的特殊配合力方差均达到显著差异($P < 0.05$)以上。综上所述,7 个被测系与 5 个测验种的一般配合力、特殊配合力存在真实的遗传差异。一般配合力方差均大于特殊配合力方差,说明各个性状在杂交组合的遗传效应中以加性效应为主。

2.2 小区产量的一般配合力

7 个被测系的小区产量一般配合力效应值变化范围为 -13.42~7.28,说明 RLT 自交系间存在丰富的产量加性遗传差异(表 3)。其中,选自 QB662 × 墨瑞 1 号 C0 的 RLT 自交系 QB2539 的一般配合力效应值最高(7.28),高于一般配合力效应值达 6.96 的 RL 自交系 QB662, QB662 本身就是一般配合力较高的自交系^[8]。在作为测验种的 5 个自交系中,选自 Suwan 种质的 2 个系 QR273 和 QB2218 的一般配合力值分别排第 1 和第 2 位,并且 QR273 与 QB2218 的一般配合力效应值差异达到极显著水平。选自贵州地方品种晴隆五穗白的自交系 5311 的一般配合力效应值最低,为 -27.73(表 3)。

表 2 不同性状及其配合力的方差分析

Table 2 ANOVA of different traits and combining ability

项目 Item	小区产量 Plot yield	穗长 Ear length	穗粗 Ear diameter	穗行数 Ear row number	行粒数 Grains per row	秃尖长 Length of bald ear top	籽粒含水量 Grain moisture content	株高 Plant height	穗位高 Ear height
重复 Repetition	0.63	0.50	1.39	0.12	0.24	1.13	4.40	0.33	0.52
基因型 Genotype	3.23**	8.12**	10.08**	5.18**	19.61**	4.96**	2.72**	4.08**	2.80**
环境 Environment	22.39**	55.72**	5.53*	22.40**	15.58**	28.73**	45.43**	49.01**	220.19**
环境 × 基因型 Environment × Genotype	8.51**	4.32**	1.00	2.03**	1.68*	2.71**	1.84*	2.50**	2.05**
P1	58.75**	13.60**	31.24**	19.12**	15.77**	16.92**	10.11**	20.18**	10.92**
P2	10.46**	6.41**	13.02**	24.66**	13.87**	6.01**	2.83*	3.49**	2.51**
P12	1.64*	1.89**	1.62*	2.23**	0.84	1.05	0.91	1.68*	1.94**

P1: 测验种的 GCA 效应方差; P2: 被测系的 GCA 效应方差; P12: 被测系和测验种间的 SCA 效应方差; 表中 * 和 ** 分别表示各处理间在 0.05 和 0.01 水平上差异显著; 下同

P1: Variance of the GCA effect of the tester inbreds, P2: Variance of the GCA effect of the tested inbreds, P12: Variance of the SCA effect between the tested and the tester inbreds, * and ** indicate significance at 0.05 and 0.01 levels, respectively, the same as below

表 3 小区产量一般配合力和特殊配合力效应值

Table 3 The effect values of GCA and SCA for plot yield

母本 Female	父本 Male					
	QR273	QB2218	5311	双 M9 Shuang M9	18599	GCA(P1)
QB2532	-1.85	-2.99	3.40	-0.26	2.31	2.76
QB2539	1.40	3.17	-3.10	-2.86	-0.79	7.28
QB2580	-0.40	0.44	-7.07	4.12	0.63	-12.57
QB2852	-7.50	-1.29	14.17	-5.20	0.67	3.15
QB2565	0.82	6.24	-10.42	2.21	-3.55	1.55
QB2635	-4.04	0.55	4.09	-0.64	0.92	-13.42
QB662	8.64	-6.85	-6.99	1.93	-1.06	6.96
GCA(P2)	16.24	10.39	-27.73	-10.91	0.56	

LSD 0.05: GCA (P1)=0.46, GCA (P2)=0.54, SCA (P12)=1.21; LSD 0.01: GCA (P1)=0.60, GCA (P2)=0.71, SCA (P12)=1.59。GCA (P1) 为测验种的一般配合力效应值, GCA (P2) 为被测系的一般配合力效应值, SCA (P12) 为特殊配合力效应值。LSD 0.05 表示在 0.05 水平上最小差数法检验的临界值; LSD 0.01 表示在 0.01 水平上最小差数法检验的临界值

LSD 0.05: GCA (P1)=0.46, GCA (P2)=0.54, SCA (P12)=1.21, LSD 0.01: GCA (P1)=0.60, GCA (P2)=0.71, SCA (P12)=1.59。GCA (P1) meant relative effect values of GCA on the test inbred lines, GCA (P2) meant relative effect values of GCA on the tested inbred lines, SCA (P12) meant relative effect values of SCA. LSD 0.05 means critical value of least-significant difference at 0.05 level, LSD 0.01 meant critical value of least-significant difference at 0.01 level

2.3 小区产量特殊配合力

35 个杂交组合的小区产量特殊配合力效应值变化范围在 -10.42~14.17, 特殊配合力效应值为正值的有 17 个, 其中前 3 位的组合依次是 QB2852 × 5311、QB662 × QR273、QB2565 × QB2218, 其特殊配合力效应值依次为 14.17、8.64、6.24; 表现为负效应值的有 18 个 (表 3)。特殊配合力效应值的多重比较结果显示, 除 QB2532 × QR273 与 QB2532 × QB2218、

QB2580 × QR273 与 QB2580 × QB2218、QB2580 × 18599 等 15 个组合差异不显著外 (两两组合之差 < 1.21), 其余组合差异均达极显著水平。

2.4 杂种优势

两点联合产量较对照单 16 增产的组合有 30 个, 增产 10% 以上的有 25 个组合, 增产 20% 以上的组合有 11 个, 其中, QB2539 × QR273 产量最高超 29.66%, 产量排前 3 位的均为 RLT 种质选系与

Suwan 种质组配的组合(表 4), 育成的 6 个 RLT 自交系组配的组合有 26 个较对照黔单 16 增产。进一步以 Reid-Lan. 系 QB662 组配的平均产量 9585.84 kg/hm² 为参考对照(表 5), 有 20 个超过参考对照, 分别与每个测验种组配组合的平均产量超过参考对照有 4 个, QB2852、QB2539、QB2565、QB2580、QB2532、QB2635 组配的平均产量增减产率分别为 10.97%、6.91%、2.44%、1.01%、-1.18%、-5.11%。说明用 RLT 系组配的组合在产量方面有着很大的优势(表 5)。说明被测自交系与测验种自交系间有较大的差异, 使其

杂交后能够产生较强的杂种优势。这与参试杂交种来自于不同杂种优势类群的实际相符合。在小区产量 GCA 分析中, QB2539 在被测系中 GCA 最高, QR273 为 GCA 最高的测验种自交系, 用这两个自交系组配的组合, 在 35 个杂交组合中产量最高。Tuxpeño × Suwan 是热带地区的重要杂种优势模式^[23], 从以上结果可看出在 Tuxpeño 中加入了 Reid-Lan. 种质后形成的 RLT 种质, 与 Suwan 种质组配仍有很强的杂种优势, 即 RLT 种质 × Suwan 种质可作为一对新的杂种优势利用模式。

表 4 杂交种组合产量情况比较

Table 4 The comparison of yield for hybrids

组合 Combination	产量 (kg/hm ²) Yield	产量对照优势 (%) Yield relative heterosis
QB2539 × QR273	11094.15	29.66
QB2539 × QB2218	11076.75	29.46
QB2852 × QR273	11036.55	28.99
QB662 × QR273	10931.34	27.76
QB2852 × 18599	10840.50	26.70
QB2852 × QB2218	10772.10	25.90
QB2565 × QR273	10756.65	25.72
QB2580 × QB2218	10755.90	25.71
QB2852 × 5311	10674.75	24.76
QB2565 × QB2218	10606.65	23.96
QB2580 × QR273	10536.90	23.15
QB2580 × 18599	10199.25	19.20
QB2532 × QB2218	10169.70	18.86
QB662 × 18599	10157.70	18.72
QB2532 × 18599	10111.05	18.17
QB2539 × 18599	10109.25	18.15
QB2565 × 18599	10107.45	18.13
QB2852 × 双 M9 QB2852 × Shuang M9	9862.65	15.27
QB2532 × QR273	9796.20	14.49
QB2635 × QB2218	9767.10	14.15
QB2539 × 双 M9 QB2539 × Shuang M9	9706.20	13.44
QB2635 × 18599	9666.30	12.97
QB662 × QB2218	9586.20	12.04
QB2635 × QR273	9552.15	11.64
QB2580 × 双 M9 QB2580 × Shuang M9	9451.50	10.46
QB2565 × 双 M9 QB2565 × Shuang M9	9411.45	9.99
QB662 × 双 M9 QB662 × Shuang M9	9261.90	8.25
QB2539 × 5311	9253.50	8.15
QB2532 × 双 M9 QB2532 × Shuang M9	9058.50	5.87
QB2635 × 双 M9 QB2635 × Shuang M9	8587.05	0.36
黔单 16(CK) Qiandan 16(CK)	8556.30	—

表 5 不同组合平均产量比较

Table 5 The comparison of average yield between hybrid pairs

(kg/hm²)

自交系 Inbred	QB2532	QB2539	QB2580	QB2852	QB2565	QB2635	QB662
QR273	9796.20	11094.15	10536.90	11036.55	10756.65	9552.15	10931.34
QB2218	10169.70	11076.75	10755.90	10772.10	10606.65	9767.10	9586.20
5311	8228.85	9253.50	7470.30	10674.75	8215.20	7907.10	7992.15
双 M9 Shuang M9	9058.50	9706.20	9451.50	9862.65	9411.45	8587.05	9261.90
18599	10111.05	10109.25	10199.25	10840.50	10107.45	9666.30	10157.70
平均产量 Average yield	9472.80	10248.00	9682.80	10637.25	9819.45	9095.85	9585.84
比对照优势 ± (%) Relative heterosis	-1.18	6.91	1.01	10.97	2.44	-5.11	

2.5 RLT 种质选育的自交系遗传聚类分析

利用包含 6 万个 SNP 标记对改良前后的种质与代表其他类群自交系共 17 份材料进行主成分分析,结果显示,17 份材料可以分为 5 类(图 1)。第 I 类为 RLT 自交系 QB2852、QB2539、QB2565、QB2580、QB2532、QB2635;第 II 类为 Reid-Lan. 自交系 QB662、QB1013、QB1018、QB1064;第 III 类为含 Tuxpeño 血缘种质墨瑞 1C0、赞 S122;第 IV 类为 Suwan 种质 QB2218、QR273;第 V 类为其他种质 18599、5311、双 M9;聚类结果与这些材料的系谱基本一致(图 1)。

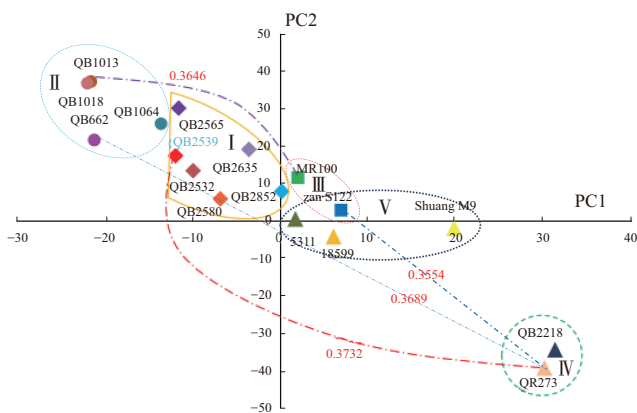


图 1 17 个自交系的主成分分析图

Fig.1 The PCA plots of 17 inbreds

分析结果显示, QB662 与 QR273 的遗传距离 (GD) 为 0.3689, 赞 S122 与 QR273 的 GD 为 0.3554, MR100 与 QB1013 的 GD 为 0.3646, 经过改良选育的 QB2539 与 QR273 的 GD 为 0.3732(图 1)。GD 的变化表明, 改良后两群间的 GD 提高了, 说明在

Reid-Lan. 加入热带 Tuxpeño 血缘种质, 可以增加有效遗传距离, 提高含 Tuxpeño 血缘种质与 Suwan 类种质组配出强优势杂交组合的可能性。

3 讨论

3.1 RLT 类种质育成高配合力自交系

利用群间选系法^[17-18]育成一批配合力较高的 Reid-Lan. 种质自交系, 再用两群双向选择法^[19], 与遗传多样性丰富的热带 Tuxpeño 血缘种质相互融合选育新的自交系, 通过分析其配合力, 在 RLT 种质中选育出配合力高的自交系。本研究 6 个 RLT 种质选系的 GCA 为正效应值的有 4 个 QB2852、QB2539、QB2532、QB2565, GCA 效应值最高的是来自 QB662 × 墨瑞 1 号 C0 基础种质材料, 其选系 QB2539 的 GCA 效应值为最高 (7.28), QB662 为 6.96, 2014 年李娟等^[8]研究结果显示 QB662 的 GCA 在 Reid-Lan. 系中比较高, 在此基础上加入 Tuxpeño 形成的 RLT 类种质可继续提高 GCA, 育成的 GCA 高的自交系, 如 QB2539, 可在今后育种中作为重点亲本利用。

3.2 RLT 类种质较改良前增加了遗传距离

图 1 显示, RLT 种质选系独立为一类, MR100 与 QB1013 的遗传距离 (GD) 为 0.3646, 赞 S122 与 QR273 的 GD 为 0.3554, 在经过遗传差异大的两类种质改良选育的 QB2539 与 QR273 的 GD 为 0.3732, 改良后两群间的 GD 提高了。这与 2020 年王安贵等^[19]以 QB506 与 Suwan 种质的 T32 等为两群, 经用两群双向选择法后, 改良选育的 QB1577、QB1545 与 QB446 的 GD 分别为 0.3812 和 0.3978 的

结果一致。说明在温带 Reid-Lan. 加入热带 Tuxpeño 血缘种质, 可以提高有效遗传距离, 组配出优势强的杂交组合。

3.3 RLT 类种质选育的自交系在育种中利用潜力较大

前人研究显示, 一个具有较高 GCA 效应值的自交系是获得高产杂交种重要基础^[24-26], 而热(亚)带血缘与温带玉米种质相互改良后, 选育出优良杂交种的概率大大增加^[11], 温热比例应根据自身育种目标和育种思路而定^[27]。本研究 35 个组合产量超过对照黔单 16 的组合有 30 个, 产量排名前 3 位的均为 RLT 种质选系与 Suwan 种质组配的组合, 其中 QB2539 × QR273 产量最高超过对照 29.66%。进一步以 Reid-Lan. 系 QB662 组配的平均产量 9585.84 kg/hm² 为参考对照, 6 个改良系分别与每个测验种杂交有 QB2852、QB2539、QB2565、QB2580 组配的平均产量超平均参考对照, 这 4 个改良系分别用配合力较高的自交系 QB1064、QB662、QB1013、QB1018 加入 Tuxpeño 种质后育成的, 其中 QB1064 组配的审定品种有友玉 8 号、北玉 1264; QB662 组配的卓玉 2 号通过国家审定; QB1013 组配审定的品种有金玉 579、金玉 318、山玉 12 等; QB1018 组配审定的品种有金玉 838、金玉 2208 等。改良系 QB2565 与 QB2218 杂交育成审定品种有百隆玉 908, 在本研究中其 SCA 效应值排第 3 位, 产量排第 10 位, 较黔单 16 增产 23.96%, 较参考对照增产 10.13%, 另外还组配育成友玉 1812。而 QB948 和 QB1009 没有优势组合, 分别改良选育出的新自交系 QB2532、QB2635 的配合力均为负效应值, 其杂种优势也为负向值, 从系谱分析到实践是一致的。由此可见, 利用在生产上应用配合力较高的 Reid-Lan. 系, 形成的 RLT 种质选育自交系, 可有效提高育种潜力。

4 结论

玉米高配合力 Reid-Lan. 血缘渗入 Tuxpeño 种质, 形成新的 RLT 种质, 在此基础上选育出自交系产量 GCA 效应值较 Reid-Lan. 选系高。表现出较大的育种利用潜力。进一步增加了材料之间的遗传距离, 如 QB2539 与 QR273 的 GD 为 0.3732, 较改良前高。35 个组合中, 产量为前 3 位的是 RLT 种质选系与 Suwan 种质组配的组合, 其中 QB2539 × QR273 产量最高, 较黔单 16 增产 29.66%, 其中 QB2565 与 Suwan 种质组配育成的百隆玉 908、友玉 1812 等已

经通过贵州省审定, 目前在生产上被大面积推广应用。因此, RLT 种质可作玉米育种的重要资源, 在现代玉米育种中广泛应用。

参考文献

- [1] 郭向阳, 陈泽辉, 祝云芳, 王安贵, 胡兴, 兰琴英. 贵州省玉米种质和杂种优势模式的演化. 种子, 2015, 34(5): 75-79
Guo X Y, Chen Z H, Zhu Y F, Wang A G, Hu X, Lan Q Y. The evolution of maize germplasm and heterosis model in Guizhou. Seed, 2015, 34(5): 75-79
- [2] 周小辉, 岳尧海, 赵万庆, 金明华. 温热种质改良玉米自交系主要农艺性状配合力分析. 杂粮作物, 2009, 29(5): 299-302
Zhou X H, Yue Y H, Zhao W Q, Jin M H. Analysis on combining ability of main agronomic characters in improved maize inbred lines from temperature zone maize germplasm. Rain Fed Crops, 2009, 29(5): 299-302
- [3] 王安贵, 陈泽辉, 祝云芳, 郭向阳, 郭成, 李娟. 美国先锋玉米种质在西南地区的利用途径探讨. 种子, 2011, 30(8): 74-75
Wang A G, Chen Z H, Zhu Y F, Guo X Y, Wu C, Li J. Discussion on American pioneer maize germplasm's utilization in Southwest. Seed, 2011, 30(8): 74-75
- [4] 郭向阳, 王安贵, 吴迅, 祝云芳, 刘鹏飞, 李秀诗, 陈泽辉. 热带玉米 Tuxpeño 种质形成、改良及育种潜势分析. 玉米科学, 2019, 27(2): 10-15
Guo X Y, Wang A G, Wu X, Zhu Y F, Liu P F, Li X S, Chen Z H. Analysis of development, improvement and breeding potential for tropical maize germplasm Tuxpeño. Journal of Maize Sciences, 2019, 27(2): 10-15
- [5] 冯志前, 王博新, 徐淑兔, 郝引川, 张兴华, 薛吉全. 12 份美国玉米自交系配合力评价. 玉米科学, 2020, 28(2): 11-17, 24
Feng Z Q, Wang B X, Xu S T, Hao Y C, Zhang X H, Xue J Q. Evaluation of the combining ability on 12 American maize inbred lines. Journal of Maize Sciences, 2020, 28(2): 11-17, 24
- [6] 姜龙, 陈殿元, 周岚, 于海燕, 高华洋, 徐辉, 覃冠锋, 马凯. 玉米自选系配合力的分析. 种子, 2019, 38(1): 72-75
Jiang L, Chen D Y, Zhou L, Yu H Y, Gao H Y, Xu H, Qin G F, Ma K. Analysis of combining ability of optional maize inbred lines. Seed, 2019, 38(1): 72-75
- [7] 姜龙, 牟琪, 陈殿元, 马雪, 孙博, 范馨木, 孟云凤. 先锋玉米种质改良系的配合力分析. 种子, 2019, 38(5): 120-123
Jiang L, Mou Q, Chen D Y, Ma X, Sun B, Fan X M, Meng Y F. Combining ability analysis of improved pioneer maize germplasm improvement lines. Seed, 2019, 38(5): 120-123
- [8] 李娟, 陈泽辉, 王安贵, 祝云芳, 郭向阳, 王达强, 赵丽, 胡兴. 美国先锋玉米杂交种选系的杂种优势利用模式. 西南农业学报, 2014, 27(2): 485-490
Li J, Chen Z H, Wang A G, Zhu Y F, Guo X Y, Wang D Q, Zhao L, Hu X. Heterosis utilization patterns of pioneer hybrids lines in maize. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2014, 27(2): 485-490
- [9] 莫润秀, 黄开健, 黄爱花, 韦新兴, 贺囡囡, 邹成林, 郑德波, 谭华, 翟瑞宁. 20 个 CIMMYT 耐低氮玉米自交系主要性状的配合力分析. 西南农业学报, 2019, 32(12): 2732-2739

- Mo R X, Huang K J, Huang A H, Wei X X, He N N, Zou C L, Zheng D B, Tan H, Zhai R N. Analysis on combining ability of main agronomic traits of 20 low nitrogen tolerance maize inbred lines from CIMMYT. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 32(12): 2732-2739
- [10] 陈泽辉. 玉米 Tuxpeño 种族的配合力研究, 贵州农业科学, 1992(3): 15-18
Chen Z H. Study on combining ability of maize race Tuxpeño. *Guizhou Agricultural Sciences*, 1992(3): 15-18
- [11] 潘兴明, 谭静, 杨峻芸, 刘峰, 黄必华, 黄云霄. 外来热带、亚热带玉米自交系与温带玉米自交系产量配合力分析及其遗传关系的研究. *中国农业科学*, 2002, 5(7): 743-749
Fan X M, Tan J, Yang J Y, Liu F, Huang B H, Huang Y X. Study on yield combining ability and genetic relationship between exotic tropical, subtropical maize inbreds and domestic temperate inbreds. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 5(7): 743-749
- [12] 姚文华, 黄云霄, 蒋傅燕, 陈秀华, 汪燕芬, 罗黎明, 张培高, 尹兴福, 何羊涛. 温带玉米种质改良系配合力分析及杂种优势群划分. *西南农业学报*, 2019, 32(4): 706-712
Yao W H, Huang Y X, Jiang F Y, Chen X H, Wang Y F, Luo L M, Zhang P G, Yin X F, He Y T. Studies on combining ability and heterotic grouping of improved temperate-tropical inbred lines. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 32(4): 706-712
- [13] 梁燕, 高世斌, 谭景峰, 李建, 张志明, 潘光堂. 玉米温热杂交种光周期敏感相关性状的遗传模型研究. *中国农业科学*, 2008, 41(10): 3326-3335
Liang Y, Gao S B, Tan D F, Li J, Zhang Z M, Pan G T. Study on the genetic models of traits related to the photoperiod sensitive phenomenon of the temperate \times tropical crosses in maize. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(10): 3326-3335
- [14] 陈彦惠, 王利明, 戴景瑞. 热带、亚热带自交系与中国温带玉米杂交种的研究. *中国农业大学学报*, 2000, 5(26): 557-564
Chen Y H, Wang L M, Dai J R. Studies on the heterotic patterns between tropical subtropical and Chinese temperate germplasms in maize. *Journal of China Agricultural University*, 2000, 5(26): 557-564
- [15] 陈泽辉, 祝云芳, 王安贵, 郭向阳, 赵丽, 胡兴. 玉米 Tuxpeño-Reid 和 Suwan-Lancaster 合成群体相互轮回选择效果及杂种优势研究. *玉米科学*, 2013, 21(4): 1-5, 10
Chen Z H, Zhu Y F, Wang A G, Guo X Y, Zhao L, Hu X. Two maize populations of Tuxpeño-Reid and Suwan-Lancaster by reciprocal recurrent selection and the heterosis. *Journal of Maize Sciences*, 2013, 21(4): 1-5, 10
- [16] Chen Z H, Zhu Y F, Wang A G, Guo X Y, Wu X, Liu P F. Effects of reciprocal recurrent selection on grain yield in two tropical-temperate maize synthetic populations Tuxpeño-Reid and Suwan-Lancaster. *American Journal of Plant Sciences*, 2019, 10: 298-308
- [17] 陈泽辉, 吴迅, 祝云芳, 王安贵, 郭向阳, 刘鹏飞. 杂种优势的数量遗传学理论及其在玉米育种中的应用. *玉米科学*, 2020, 28(5): 1-7
Chen Z H, Wu X, Zhu Y F, Wang A G, Guo X Y, Liu P F. Quantitative genetics theory of heterosis and related application in maize breeding. *Journal of Maize Sciences*, 2020, 28(5): 1-7
- [18] 王安贵, 陈泽辉, 祝云芳, 郭向阳, 吴迅, 刘鹏飞. 优良玉米自交系 QB506 的选育与应用. *种子*, 2020, 39(7): 142-146
Wang A G, Chen Z H, Zhu Y F, Guo X Y, Wu X, Liu P F. Breeding and application of excellent corn inbred line 'QB506'. *Seed*, 2020, 39(7): 142-146
- [19] 王安贵, 陈泽辉, 吴迅, 祝云芳, 郭向阳, 刘鹏飞. 两群双向选择方法及其在玉米育种中应用与实践. *贵州农业科学*, 2020, 48(12): 1-4
Wang A G, Chen Z H, Wu X, Zhu Y F, Guo X Y, Liu P F. Application and practice of the bidirectional selection and crossing method between two groups during maize breeding. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2020, 48(12): 1-4
- [20] 石云素. 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
Shi Y S. Description standard and data standard of maize germplasm resources. Beijing: China Agriculture Press, 2006
- [21] 陈泽辉. 群体与数量遗传学. 第1版. 贵阳: 贵州科技出版社, 2009: 299-310
Chen Z H. Population and quantitative genetics. First Edition. Guiyang: Guizhou Science and Technology Press, 2009: 299-310
- [22] 孔繁玲. 植物数量遗传学. 第1版. 北京: 中国农业大学出版社, 2006: 271-284
Kong F L. Plant quantitative genetics. First Edition. Beijing: China Agricultural University Press, 2006: 271-284
- [23] 中国农业科学院作物栽培育种研究所. 玉米轮回选择的理论与实践. 第1版. 北京: 农业出版社, 1988: 125-135
Institute of Crop Cultivation and Breeding, Chinese Academy of Agricultural Sciences. Theory and practice of recurrent selection in maize. First Edition. Beijing: Agricultural Publishing House, 1988: 125-135
- [24] 陈洪梅, 汪燕芬, 姚文华, 罗黎明, 李佳莉, 徐春霞, 潘兴明, 郭华春. 导入热带种质的温带玉米自交系的利用潜力. *作物学报*, 2011, 37(10): 1785-1793
Chen H M, Wang Y F, Yao W H, Luo L M, Li J L, Xu C X, Fan X M, Guo H C. Utilization potential of the temperate maize inbreds integrated with tropical germplasms. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(10): 1785-1793
- [25] Fan X M, Zhang Y M, Yao W H, Chen H M, Tan J, Xu C X, Han X L, Luo L M, Kang M S. Classifying maize inbred lines into heterotic groups using a factorial mating design. *Agronomy Journal*, 2009, 101(1): 106-112
- [26] 孙成韬, 陈洪梅, 谭静, 徐春霞, 李学智, 黄必华, 潘兴明. 25个优良温带玉米自交系与4个热带玉米自交系农艺性状的配合力研究. *玉米科学*, 2007, 15(3): 36-41
Sun C T, Chen H M, Tan J, Xu C X, Li X Z, Huang B H, Fan X M. Studies on combining ability of agronomic characteristics between temperate and tropical maize inbred lines. *Journal of Maize Sciences*, 2007, 15(3): 36-41
- [27] 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 Lines” maize inbred lines for mechanical grain harvesting. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2019, 20(6): 1554-1565