

热带玉米 Tuxpeno 种质形成、改良及育种潜势分析

郭向阳, 王安贵, 吴 迅, 祝云芳, 刘鹏飞, 李秀诗, 陈泽辉

(贵州省农业科学院旱粮研究所/贵州省旱粮研究所, 贵阳 550006)

摘 要: 我国玉米种质资源狭窄和杂种优势单一, 严重制约着我国玉米育种和生产的发展, 发掘优异种质, 获得突破性育种材料是选育优良品种的基础与前提, 热带、亚热带玉米种质的引入、改良和应用对促进我国玉米育种与生产发展起到重要作用。本文综述热带玉米 Tuxpeno 种质形成、改良以及演化进程。采用群体改良方法对玉米 Tuxpeno-Reid 种质进行 4 次轮回选择, 构建温热人工合成 Tuxpeno-Reid 1 号(简称墨瑞 1 号)C0、C1、C2 和 C3 群体, 回顾玉米 Tuxpeno 种质在我国玉米育种与生产中的应用, 为有效地利用热带玉米 Tuxpeno 种质提供技术支撑, 并进一步拓宽与丰富我国现有种质基础。

关键词: 玉米; 遗传改良; 杂种优势; Tuxpeno

中图分类号: S513.035.1

文献标识码: A

Analysis of Development, Improvement and Breeding Potential for Tropical Maize Germplasm Tuxpeno

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

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

Abstract: The narrow germplasm resources and the single heterosis mode seriously restrict the development of Chinese maize breeding and production. Exploring germplasm, especially elite materials is the basis and premise of breeding high-yield varieties. And the introduction, improvement and application of tropical and subtropical maize germplasm, promote the development of maize breeding and play an important role in maize production. This article summarizes the development and improvement process of tropical germplasm Tuxpeno. Meanwhile, based on population improvement method, we performed four cycles of recurrent selection on Tuxpeno-Reid germplasm, and constructed Tuxpeno-Reid 1 populations of C0, C1, C2 and C3. In addition, we reviewed the history of Tuxpeno germplasm used in maize breeding and production of China. The purpose of this study is to provide technical support for the effective utilization of Tuxpeno germplasm of tropical maize and to further enrich the germplasm in China.

Key words: Maize; Genetic improvement; Heterosis; Tuxpeno

玉米是我国第一大粮食作物, 对保障国家粮食安全、促进畜牧业发展、满足工业原料需求等方面具有举足轻重作用^[1]。玉米产量增产引领和支撑我国现代玉米产业发展, 是国家玉米产业体系科学进步的根本任务, 玉米育种目标由高产向绿色、安全等转

变。近年来, 人口增加、社会生产力发展、农业结构合理调整, 需求与之相适应的品种, 为增加农民收入和提高国际竞争力, 必须不断提高育种水平和生产效率。

玉米种质资源狭窄和杂种优势单一, 严重制约着我国玉米育种和生产的发展, 发掘优异种质, 获得突破性育种材料是选育优良品种的基础与前提。我国不是玉米的起源地和多样性中心, 不断引进国外自交系, 建立杂种优势利用新模式, 创建玉米群体及杂交种等加以改良应用十分重要^[2-4], 尤其是热带、亚热带玉米种质资源引入和利用, 以具有丰富遗传多样性、抗性强、配合力好等优点, 但常伴随着感光性强, 营养体繁茂等缺点限制了其有效的利用^[5-7]。利用其特异有利基因改良和拓宽温带现有狭窄的玉米

录用日期: 2018-07-30

基金项目: 黔农科院自主创新科研专项字[2014]006号、黔科合支撑[2016]2605号、黔科合支撑[2016]2549号、黔科合支撑[2017]2507号

作者简介: 郭向阳(1982-), 河南滑县人, 博士, 副研究员, 主要从事玉米遗传育种研究。E-mail: xyguo0372@163.com

陈泽辉为本文通讯作者。Tel: 0851-83760096

E-mail: chenzh907@sina.com

种质遗传基础,对扩增我国现有种质资源和丰富遗传多样性具有重要作用,同时,是我国玉米杂种优势模式提供最有效的选择途径之一。国内外关于热带玉米Tuxpeno种质的遗传学研究和育种实践例子较多^[8,9],尤其在我国西南玉米区发挥着巨大作用。自1970年代,中国农业科学院从国际玉米小麦改良中心(CIMMYT)引进墨白(Tuxpeno)玉米群体,对我国南方玉米育种和生产起到了较大的作用^[10]。

前人从常规选育、群体改良和分子生物学对热带玉米Tuxpeno种质做了大量研究工作。随着商业化育种进程的加快,热带玉米Tuxpeno群体基因“碎片化”严重与小生态区域性明显。近年来,对Tuxpeno种质的利用受局限。本文综述热带玉米Tuxpeno群体形成、改良以及演变历史;同时,采用群体改良方法对Tuxpeno-Reid种质进行4次轮回选择,构建温带人工合成群体墨瑞1号C0、C1和C3群体,并结合种质改良选育出高配、多抗、紫秆与适应性强的自交系ZH6218,为有效合理地利用热带玉米Tuxpeno种质提供理论依据,并为进一步拓宽与丰富我国现有狭窄的种质基础提供技术支撑。

1 Tuxpeno种质形成、改良及演化进程

1.1 热带玉米Tuxpeno种质形成

美国玉米带马齿型品种来源于北方硬粒型和南方马齿型种质的重复杂交^[11](图1)。北方硬粒型种质的起源不清楚,有关南方马齿型种质的起源说法是推测出来的。Brown和Anderson^[12]详细描述了大量北方硬粒玉米种族,其特点是子粒硬质、行数少、果穗圆柱形、早熟,对玉米带马齿型品种的形成有贡献。北方硬粒型种质来源于美国西南部的墨西哥Harinoso的Ocho玉米族^[13,14]和危地马拉高原San

Marcenô和Serrano种族。Paterniani E和Goodman^[15]认为这些推测都有错误的地方,关于南方马齿型玉米种族原始祖先的报道证据更多,而另一半证据是关于玉米带马齿型种族的起源。Wellhausen等指出了南方马齿型种质起源于几个墨西哥玉米种族。Brown和Anderson研究了南方马齿型种质并确实来源于特定的墨西哥品种。相关研究表明^[16],许多南方马齿型品种与墨西哥中部的马齿型品种有关系,而且与之简单对应的北方品种目前仍然存在于墨西哥。关于墨西哥玉米种族是否参与南方马齿型玉米种族的起源还没有一致定论,但其中Tuxpeno玉米种族的参与还是能够确定的。南方马齿型种质的性状表现构成了玉米带马齿型种质的特征,表现在穗行数多、果穗尖细、子粒软质、子粒尖^[12]以及多穗性和抗病基因频率高等特征。

每个地方种质都经过长期的进化而形成特定基因型的群体,他们在生理上适应特殊的生态环境。不同地方种质的遗传特征被长年累月的组合,以便产生一些更容易生存和繁殖的基因型。Wellhausen等的试验表明,地方种质Harinoso Flexible与Teocintle杂交形成新的地方种质Olotillo,地方种质Harinoso的Guatemala与Teocintle杂交形成新的地方种质Tepecintle,最后地方种质Olotillo与Teocintle杂交形成新的地方种质Tuxpeno。Tuxpeno是繁殖率较高的种质之一,也是当前墨西哥的理想地方种质,是美国南方马齿型种质资源的来源。南方马齿型和北方硬粒型杂交形成玉米带马齿型地方种质,杂交之后还需要群体内互交和选择以形成新的地方种质。不同地方种质之间的杂交是更高级种质资源形成的重要因素。

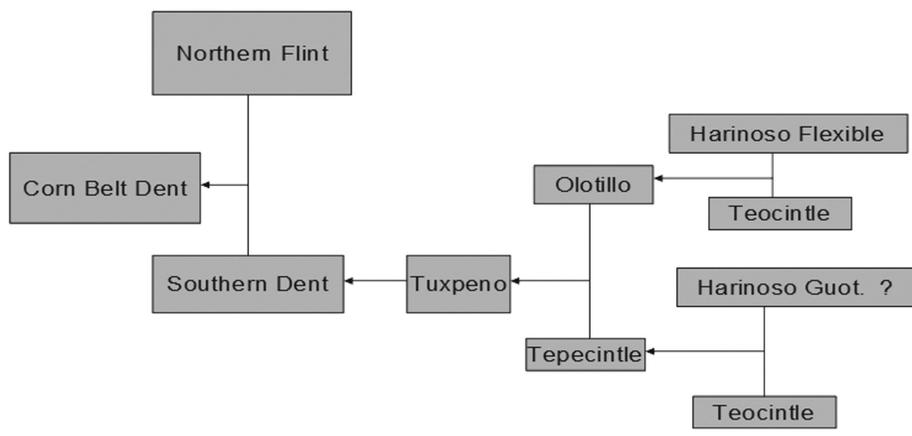


图1 美国玉米带马齿型种质可能的来源

Fig.1 Possible sources of dent germplasm in USA

1.2 热带玉米 Tuxpeno 种质的特征特性

Tuxpeno 种族是世界玉米主要的一个种族。同时,主要囊括 Tuxpeno1、Tuxpeno1 P.B.C₁₅、Tuxpeno1QPM 等群体,种质组成复杂,包括白粒和黄粒,具有抗旱、耐瘠和耐涝能力较强,茎秆坚韧,抗斑病、锈病等优点;缺点是晚熟,株高和穗位高都偏高,根系不发达,感甘蔗花叶病。在热带、亚热带玉米育种与生产中,发挥着巨大的作用。Tuxpeno 种质与 ETO 或 Suwan 种质构成了热带地区玉米杂交种的主要杂种优势模式。古巴硬粒、热带沿海硬粒和 ETO 属硬粒型复合种质,有很好的抗病性和良好的产量潜力。Hallauer 提出了美国新的杂种优势模式 BSSS-Tuxpeno×nonBSSS-nonTuxpeno,由此可见,美国已经成功地运用 Tuxpeno 种质扩增了 BSSS 种质,还显示了杂种优势群和杂种优势模式是人为的、可以改变的属性。Tuxpeno1 是哥伦比亚半马齿复合种,优点是高产,根系发达,抗斑病、抗旱、抗倒性强,适应性广;缺点是易感蚜虫,在不良环境条件下常出现怪苞(俗称小稔)。Tuxpeno1 P.B.C₁₅ 是 CIMMYT 采用轮回选择法,从 Tuxpeno1 群体中选择稍矮植株相互杂交,经过由 C₀~C₁₅ 的连续选择后,获得株高由 2.3 m 降低到 1.8 m 的中矮秆群体。该群体高产、抗斑病、抗旱、抗倒伏性强、植株整齐度高。Tuxpeno1QPM 是 CIMMYT 采用在普通玉米群体中导入 O2 基因,在 O2 基因的背景下选择和积累硬质胚乳修饰基因的方法培育而成。该群体的特性特点与 Tuxpeno1 无多大差别。Tuxpeno 种质具有很高的产量潜力,但植株和穗位高偏高,生育期也偏长,所以在高产栽培条件下很难发挥它的高产特性,亟待进行改良。

1.3 热带玉米 Tuxpeno 种质利用现状

外来种质和适应性种质杂交形成的群体被用于选择改良, Hallauer A. R.^[17] 直接在 ETO 复合群体、Antigua 复合群体、Tuxpeno 复合群体、Suwan-1 和 Tuson 复合群体中进行早熟性选择,经过 6~8 轮针对早熟性的表型选择,100% 的热带群体已经适应温带的环境。三轮有序的混合选择可以让美国玉米带温带群体适应北达科他州的环境^[18],而且 5~6 轮的选择可以让高原热带群体适应相同的环境。开始的选择通常注重适应性、成熟期和较低的株高,针对适应性采用混合选择是有效的^[17-21]。BSTL 通过先将 Lancaster Surecrop 与 Tuxpeno 杂交,然后与 Lancaster Surecrop 回交而成;BS16、BS2、BSTL 和 Krug Hi I 综合种的外来种质相对比例分别为 100%、50%、25% 和 0,这 4 个并行的选择项目的目标之一是确定不同比例的外来种质在连续数轮的选择中对遗传增

益和变异性的影响。初步结果没有显示这 4 个群体出现了任何显著差异^[22],但关键的比较只有在额外的数轮选择之后才可用。Whitehead 等^[23] 在爱荷华进行了一个广泛的项目,旨在整合选定的 CIMMYT 优良种质与美国玉米带优良种质。在配制杂交组合时,考虑了相应区域内的杂种优势群:亚热带、热带-BSSS×Tuxpeno 和 non-BSSS×non-Tuxpeno。在墨西哥进行了与温带群体的杂交和回交,后续又在美国玉米带测试回交后代及其测交组合。基于回交与测交试验,选定回交后代相互交配形成 4 个群体:两个亚热带×美国玉米带群体 BSSS×Tuxpeno(BS35) 和 non-BSSS×non-Tuxpeno(BS36),两个热带×美国玉米带群体 BSSS×Tuxpeno(BS37) 和 non-BSSS×non-Tuxpeno(BS38)^[24]。与经表型选择适应温带环境的种质源(100% 热带血缘)比较,无法用现有数据来确定由 Whitehead 等^[23] 开发的种质(含 25% 热带血缘)是否有任何优点或缺点。

墨白玉米是墨白 1 号(Tuxpeno1)和墨白 94(Tuxpeno1P.B.C₁₅)的统称,是中国农业科学院李竞雄教授于 1978 年从 CIMMYT 引进的 76 份材料中鉴定筛选出来的改良群体,历年累计种植面积在 66.7 万 hm² 以上的该类群体或杂交种有 Tuxpenol、Suwan1、墨黄 9、恩单 2 号、川单 9 号和桂顶 1 号等。其中,Tuxpenol 历年累计推广面积在 141.4 万 hm² 以上,主推区为云南、广西、四川、重庆、贵州和新疆等;墨黄 9 号(Amarillo Dentado)是 1977 年从 CIMMYT 引进 76 份材料,1978 年鉴定筛选,经多次轮回选择,是个很有利用价值的育种材料,其在西南山区历年累计推广面积也在 100 万 hm² 以上。

2 Tuxpeno-Reid 种质形成、改良与利用

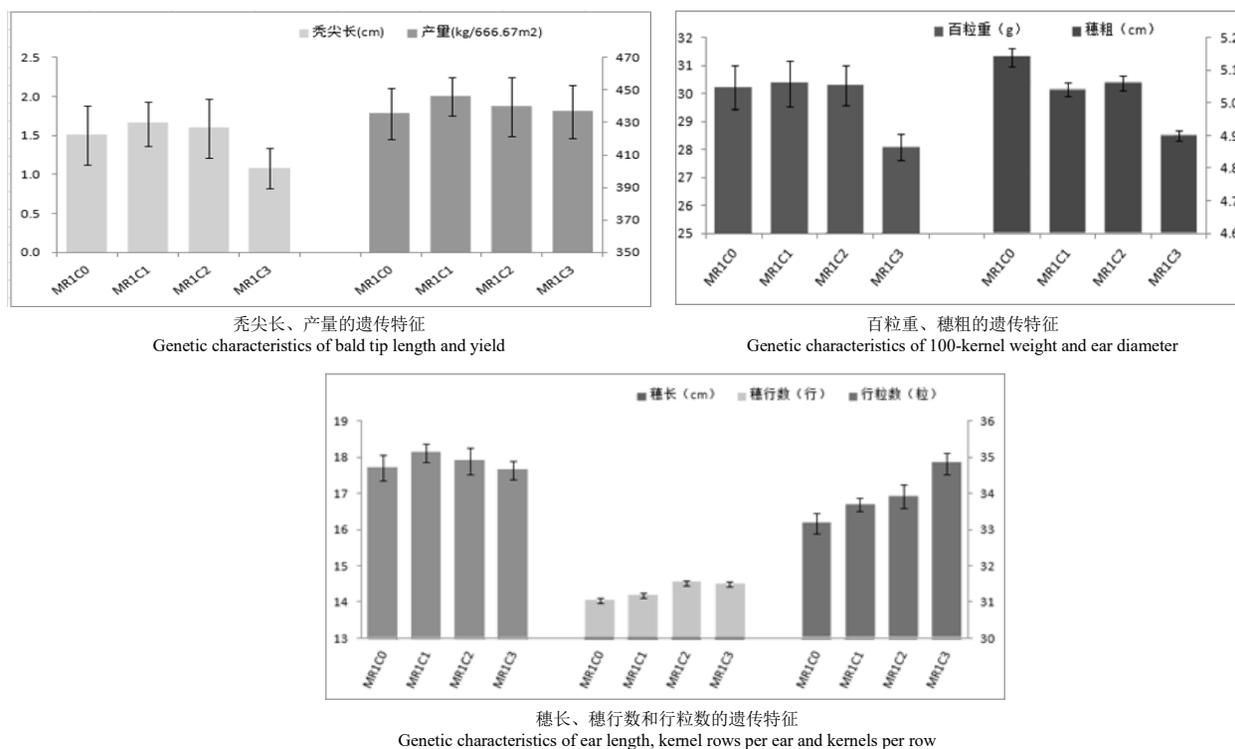
2.1 人工构建 Tuxpeno-Reid 群体

2009 年春,贵州省旱粮研究所利用玉米 Tuxpeno 种质选育的自交系 405、94-90、449 和 81565 这 5 个和测验种掖 478、铁 7922、黄 C、郑 58 和 B73,采用不完全双列杂交组配成 14 个单交种作母本、以黄 C×81565 单交种作父本,在隔离区内进行制种,收获时,种子混合脱粒,定名墨瑞 1 号 C0(Tuxpeno-Reid1 号 C0,简称 MR1C0)。经过 8 年的种质群体改良,已经形成了墨瑞 1 号 C0(Tuxpeno-Reid1 号 C0)、墨瑞 1 号 C1(Tuxpeno-Reid1 号 C1)、墨瑞 1 号 C2 和墨瑞 1 号 C3(Tuxpeno-Reid1 号 C3)群体^[25,26]。

2016 年,贵州省旱粮研究所利用人工合成的墨瑞 1 号 C0(MR1C0)、墨瑞 1 号 C1(MR1C1)、墨瑞 1 号 C2(MR1C2)和墨瑞 1 号 C3(MR1C3)的 4 个群体,将墨

瑞群体分别在贵州贵阳(26.33°N,106.64°E)、贵州大方(26.98°N,105.66°E)和云南罗平(24.78°N,104°E)3个地点进行田间鉴定^[26]。产量相关性状选择效应表明(图2),经过3轮半同胞相互轮回选择后,从秃尖长和产量性状选择效应中表明,墨瑞1号群体的秃尖长随着改良世代的增加呈现出显著的降低趋势,其中,墨瑞1号群体的秃尖长也从C0的1.5 cm降低到了C3的1.08 cm,平均减少了0.42 cm。从产量结果可以看出,随着改良世代的增加,墨瑞1号群体不同改良世代间产量变化未达到显著水平。进一步说

明玉米 Tuxpeno-Reid 群体改良过程中有利基因累加缓慢,正好与当前育种实践中对 Tuxpeno 种质利用趋少现状吻合。随着改良世代的增加,墨瑞1号群体的穗行数、行粒数呈现显著的增长趋势,但穗长并没有呈现出显著差异。从百粒重、穗粗性状数据分析,墨瑞1号群体的百粒重、穗粗随着改良世代的增加均呈现出显著的降低趋势,墨瑞1号改良群体的百粒重、穗粗也从C0的30.22 g、5.14 cm降低到了C3的28.09 g、4.9 cm。



秃尖长、产量的遗传特征
Genetic characteristics of bald tip length and yield

百粒重、穗粗的遗传特征
Genetic characteristics of 100-kernel weight and ear diameter

穗长、穗行数和行粒数的遗传特征
Genetic characteristics of ear length, kernel rows per ear and kernels per row

图2 产量相关性状的选择效应

Fig.2 The selection effect of yield-related traits

2.2 Tuxpeno 种质的衍生群体及选育自交系

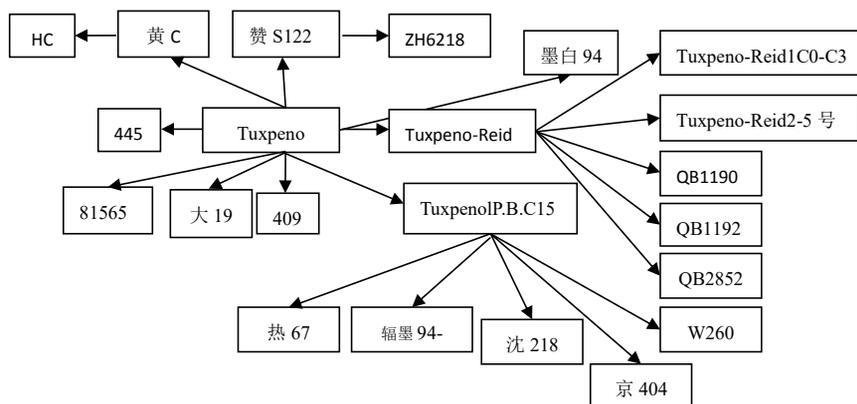


图3 Tuxpeno 种质衍生群体及自交系谱

Fig.3 The population and pedigree derived from Tuxpeno germplasm

玉米Tuxpeno种质是热带地区重要的种质资源之一,该群体种质具有较强的抗大、小斑病,耐湿性、低温等能力较强等优点。在我国南方高海拔山区(贵州西部、四川山区、云南低海拔)发挥着独特的作用。Tuxpeno种质衍生出6个群体,自2008年,贵州省旱粮研究所采用半同胞轮回选择法对Tuxpeno-Reid群体改良发现,随着改良世代的增加,墨瑞1号群体不同改良世代间产量变化未达显著水平。Tuxpeno种质直接或间接选育出15个自交系,但这些系应用与推广具有明显的区域性。黄C是北京农业大学许启凤教授于1973年利用南斯拉夫引进的高赖氨酸种质(Opaque-2,简称O2系),分别与早熟自交系黄小162及晚熟自交系自330杂交,各连续回交4代后杂交,得到F₁代后再连续自交5代,并组配出农大108。2013年,贵州省旱粮研究所利用Tuxpeno种质选育出了高配、多抗、紫秆与适应性强的自交系ZH6218,该系与Suwan种质衍生系杂种优势强,组配的多个杂交种正在参加国家(省级)试验,已申请国家植物新品种保护(图3)。

2.3 Tuxpeno种质的杂种优势模式利用

陈泽辉等用贵州地方种质(B群)与Tuxpeno种质杂交进行研究,初步认定为B群×Tuxpeno种质可作为贵州玉米杂种优势利用的一个适宜模式。陈彦惠等^[26]对我国热带×温带组合间的80个杂交组合的试验分析,提出自330×墨白963(POP21)、墨黄9号×黄早四、墨黄9号×旅9模式。云南农业科学院从CIMMYT引进的自交系SSE232作父本,与Mo17杂交育成了云南省第一个推广面积超过10万亩的自育种莫A,用该自交系还育成了莫三、路单一号等一批杂交种,同时还广泛应用于群体改良。用热带低地种质SC122作母本,选育成通单2号、宣黄单2号等杂交种,现已成为乌蒙山区的主推品种。结合前人研究与育种实践,自2008年,陈泽辉等提出玉米强杂种优势组型:Tuxpeno-Reid×Suwan-Lancaster,采用半同胞轮回选择法对两个群体进行了3次轮回选择,分别构建了C0、C1、C2和C3群体,选育出一批优良玉米自交系ZH6218、HC、QB446等;同时,选育出优良玉米杂交种金玉838、友玉109、百隆玉958等。该杂种优势模式为我国现有种质资源扩增提供有力支撑,同时,更丰富了我国玉米杂种优势模式利用。

2.4 Tuxpeno种质及其衍生群体在玉米育种中的应用

热带玉米Tuxpeno种质是西南地区重要的种质资源,前人从基础种质、群体改良和分子生物学角度进行大量研究工作。自20世纪80年代,贵州省毕节

地区农科所直接从TuxpenoIP.B.C15群体中选育出了优良玉米自交系449、405,用自交系449参与育成的多个玉米杂交种,均表现高产、抗病、质优,已被贵州及西南多家育种单位引用。贵州农学院等多家育种单位,用449作为亲本分别育成了贵毕201、贵毕301、织金1号、黑白×446等多个杂交种。贵州黔西县农业局直接从TuxpenoIP.B.C15群体中分离选育了大013、大19两个玉米自交系,并育成了黔西2号、黔西4号两个杂交种,黔西4号应用面积达26.67万hm²左右。四川绵阳地区农科所用TuxpenoIP.B.C15群体与金03×获白的F₁植株杂交后,选育出了二环系81565,并育成了绵单1号。广西用TuxpenoIP.B.C15作父本、南校8号作母本,育成了南顶1号,表现高产稳产、抗病抗倒、适应性强。广西玉米研究所从墨白94×白158中选出辐墨94-158;从墨黄9号群体中选育出墨黄9、墨白9、辐墨9。山西省农业科学院育成的太系113(墨西哥O2×温带种质/温带种质)。北京市农林科学院育成京404(黄早四×墨白02/黄早四)。毕节地区农科所通过轮回改良选择,育成了具有高产优质的墨白玉米自交系W260。“九五”期间对墨白选系进一步的改良创新,育成新自交系216,组配杂交种毕单13。80年代初,沈阳市农科所引入TuxpenoIP.B.C15,并用白鹤43与其杂交,再与白鹤43回交育成了白变系沈218,导入Tuxpeno种质育成的自交系沈218,其抗旱性和抗病性明显高于白鹤13。陕西农科院用当地的适应种质武202、单137与TuxpenoIP.B.C11杂交后,进行选系,得到一批抗病性明显提高、株型较紧凑的自交系。

3 结论与讨论

随着商业化育种的加快,育种工作者集中在模仿育种和杂交种选二环系上,导致当前玉米种质主要集中在极个别核心自交系上,玉米杂优模式趋于单一化,原因一是育种工作者一般采取短、平、快育种方法,直接从杂交种上分离二环系,造成种质基础混乱,类群难以区分,杂优模式模糊不清;二是种质来源不明,血缘混乱,凭经验育种选择出的自交系自身农艺性状很好,但找不到合适的组配模式,造成大量的人力、物力和财力等等浪费;三是玉米种质群体改良周期长、效率低、物力财力消耗大等原因。

随着我国玉米种质基础的狭窄,育种家也开始越来越多的利用热带、亚热带种质选育和改良温带种质。目前,很多温带地区的玉米育种项目都开展了对热带、亚热带种质的改良和利用研究,试图将热

带、亚热带种质中的有利基因导入温带种质中,期望在较大程度上改变玉米的适应性和农艺性状。在种质改良前提下,过去利用外来玉米种质的效果和进展不大的原因是在育种方案中忽视了鉴定和筛选适当的原始材料,正确地选择材料是利用外来种质成败的关键。

群体改良的最终目的是通过增加有利基因的频率来提高群体的配合力。一般配合力反映的是遗传效应的加性效应部分,群体与测交系的特殊配合力反映的是显性效应部分。在实践中把群体改良与自交系和杂交种选育相结合的策略提供了新的数学方法,可以在对群体进行改良过程中,依照常用的轮回选择法对每个群体进行改良,有针对性地选择测配单株,减少工作量,加快对群体的利用速度并提高群体单株选择效率。因此,一方面要不断地改良和创新玉米种质,拓宽种质的遗传基础;另一方面还要充分利用改良的玉米种质,深入发掘其遗传潜力,选育优良的自交系和杂交种。

参考文献:

- [1] 王荣焕,徐田军,赵久然,等.不同类型玉米品种籽粒灌浆和脱水特性研究[A]. 2017年中国作物学会学术年会摘要集[C]. 北京:中国作物学会,2017.
- [2] 石雷.引入美国种质对我国玉米育种的影响[J].玉米科学,2007,15(2):1-4.
Shi L. The impacts of US germplasm on maize breeding efforts in china[J]. Journal of Maize Sciences, 2007, 15(2): 1-4. (in Chinese)
- [3] 李海明,胡瑞法,张世煌.外来种质对中国玉米生产的遗传贡献[J].中国农业科学,2005,38(11):2189-2197.
Li H M, Hu R F, Zhang S H. Genetic contribution of exotic germplasm to Chinese corn production[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(11): 2189-2197. (in Chinese)
- [4] 张世煌.玉米种质创新和商业育种策略[J].玉米科学,2006,14(4):1-3.
Zhang S H. Germplasm development and commercial maize breeding strategy[J]. Journal of Maize Sciences, 2006, 14(4): 1-3. (in Chinese)
- [5] 郭向阳,陈泽辉,胡兴,等.热带玉米Suwan群体的遗传特性及育种潜势[J].玉米科学,2016,24(4):41-45.
Guo X Y, Chen Z H, Hu X, et al. Genetic characteristics and breeding potential of the good tropical maize Suwan groups[J]. Journal of Maize Sciences, 2016, 24(4): 41-45. (in Chinese)
- [6] 陈泽辉,祝云芳,王安贵,等.玉米Tuxpeno-Reid和Suwan-lancaster合成群体相互轮回选择效果及杂种优势研究[J].玉米科学,2013,21(4):1-5,10.
Chen Z H, Zhu Y F, Wang A G, et al. Two maize populations of Tuxpeno-Reid and Suwan-Lancaster by reciprocal recurrent selection and the heterosis[J]. Journal of Maize Sciences, 2013, 21(4): 1-5, 10. (in Chinese)
- [7] 郭向阳,陈泽辉,祝云芳,等.玉米Tuxpeno种质特点及在我国玉米育种中的利用[J].贵州农业科学,2010,38(1):4-6.
Guo X Y, Chen Z H, Zhu Y F, et al. Characteristics of tuxpeno germplasm and utilization in maize breeding in China[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2010, 38(1): 4-6. (in Chinese)
- [8] 张志国. Tuxpeno种质在玉米育种中的利用[J].作物杂志,1994(3):20-21.
Zhang Z G. Utilization of Tuxpeno germplasm in corn breeding[J]. Crops, 1994(3): 20-21. (in Chinese)
- [9] 陈泽辉.玉米Tuxpeno种族的配合力研究[J].贵州农业科学,1992(3):15-18.
Chen Z H. Study on compatibility of Tuxpeno race in corn[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 1992(3): 15-18. (in Chinese)
- [10] 郭向阳.玉米Tuxpeno种质遗传研究[D].贵州大学,2010.
- [11] Wellhausen E J, Roberts L M E, Hernandez X, et al. Races of Maize in Mexico. Bussey Inst[M]. Harvard University Press, Cambridge, 1952.
- [12] Brown W L, Anderson E. The southern dent corns[J]. Ann. Mo. Gard., 1948, 35: 255-268.
- [13] Galinat W C, Gunnerson J H. Spread of eight-rowed maize from the prehistoric Southwest[J]. Bot. Mus. Leaf., Harvard University, 1963, 20: 117, 60.
- [14] Mangelsdorf P C, Smith C E. New archaeological evidence on evolution of maize[J]. Bot. Mus. Leaflets, Harvard University, 1949, 13: 213-247.
- [15] Paterniani E, Goodman M M. Races of maize in Brazil and adjacent areas[M]. International Maize and Wheat Improvement Center, 1977.
- [16] Goodman M M, Brown W L. Races of corn[J]. In Corn and Corn Improvement, 1988: 33-79.
- [17] Hallauer A R. Conversion of tropical germplasm for temperate area use. III[J]. Corn Breed. Sch., 1999, 35: 20-36.
- [18] Carena M J. Increasing the genetic diversity of northern U.S. maize hybrids: Integrating pre-breeding with cultivar development[M]. Conventional and Molecular Breeding of Field and Vegetable Crops. Novi Sad, Serbia, 2008.
- [19] Hallauer A R, Sears J H. Integrating exotic germplasm into corn belt breeding programs[J]. Crop Sci., 1972, 12: 203-206.
- [20] Troyer A F, Brown W L. Selection for early flowering in corn[J]. Crop Sci., 1972, 12: 301-304.
- [21] Hallauer A R, Carena M J. Maize breeding[J]. Handbook of Plant Breeding, 2009, 3-98.
- [22] Hallauer A R. Potential of exotic germplasm for maize improvement [J]. International Maize Symposium, 229-247.
- [23] Whitehead F C, Caton H G, Hallauer A R, et al. Cordova. Incorporation of elite subtropical and tropical maize germplasm into elite temperate germplasm[J]. Maydica, 2006, 51: 43-56.
- [24] Hallauer A R. Registration of BS35, BS36, BS37, and BS38 maize germplasm[J]. Crop Sci., 2005, 45: 2132-2134.
- [25] 赵丽,陈泽辉,祝云芳,等.六个温热玉米群体的人工合成及特征特性[J].贵州农业科学,2012,40(12):5-6.
Zhao L, Chen Z H, Zhu Y F. Syntheses and characteristic of six thermothermal corn groups[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2012, 40(12): 5-6. (in Chinese)
- [26] 李秀诗.基于产量相关性状解析Suwan种质改良的遗传基础[D].贵州大学,2018.

(责任编辑:朴红梅)