

# 我国玉米资源研究现状及发展展望

赵璞<sup>1</sup> 温之雨<sup>1</sup> 董文琦<sup>1</sup> 朱彦辉<sup>2</sup> 马春红<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>河北省农林科学院遗传生理研究所/河北省植物转基因中心,石家庄 050051; <sup>2</sup>石家庄市农林科学研究院,石家庄 050041)

**摘要:**从玉米种质资源扩增、外来玉米种质资源改良和利用等方面综述了我国玉米种质资源研究现状,指出玉米种质资源狭窄的危害及扩增种质资源的重要意义,并对未来玉米种质资源研究的发展提出建议。

**关键词:**玉米;种质资源;发展策略

玉米育种的关键在于种质资源,以美国为例,随着种质利用率每增加1个百分点,其玉米平均产量增益约10kg/hm<sup>2</sup>[1]。由于缺乏适应性广、抗逆性强、品质优良的玉米种质资源,我国玉米育种研究受到了巨大的限制。目前生产上所用玉米杂交种的骨干亲本自交系主要集中在P群、兰卡斯特、瑞德黄马牙、旅大红骨和塘四平头等几大杂种优势群。骨干自交系的重复利用导致的问题已经出现,例如抗病性下降、稳产能力差等,若不突破现有杂优模式,新的突破性杂交种选育将非常困难[2]。为玉米育种提供丰富的遗传基础,引进、驯化和改良种质资源,已成为加速我国玉米育种进程的重要组成部分。

## 1 我国玉米种质资源现状

我国玉米种质基础相对狭窄,少数几个常用的玉米骨干自交系被频繁使用。含有黄早四、自330和Mo17等3个自交系血缘的杂交种在1992年占全国60%以上的种植面积,到1994年骨干自交系黄早四、自330、Mo17、掖478、丹340和E28所占比例已经上升至86.3%。长期应用少数骨干自交系导致了种质遗传基础匮乏单一,必然会造成其品种退化、抗逆性降低,从而削弱农业系统抵御自然灾害的能力。玉米锈病、弯孢菌叶斑病分别在1998年和2000年在我国黄淮海夏玉米区流行,并对玉米生产造成了较大经济损失。骨干自交系也有因为使用年限长而出现的退化迹象。例如Mo17的矮花叶病和穗腐病,黄早四的小斑病和褐斑病均日趋严重。长

期应用少数骨干自交系的另一个问题是所培育的杂交种亲缘相近。单一的遗传背景限制了优良基因的和利用,减缓了我国玉米育种的进程[3]。

为了扩增我国的玉米种质资源,20世纪80年代我国引进了美国3382等Reid血缘的玉米资源,并成功选育出沈5003、铁7922等优良自交系,经过改良后相继获得了掖478、A801、铁8814、铁9206、丹9046等优良自交系。80年代后期美国先锋公司选育的玉米杂交种78599引入中国,其具有配合力高、商品品质优良、适应性广、综合农艺性状好、高抗叶斑病和抗倒伏的特点,被广泛应用,为我国玉米发展作出了很大贡献。

尽管美国玉米种质资源的引入加快了我国玉米育种的进程,但种质资源利用率仍是我国育种需要解决的问题。科研人员对全国玉米新品种区域试验、预备试验西南组和四川省玉米新品种区域试验各参试组合亲本所属杂种优势类群的分析发现:75.5%的组合都与78599、Y7865等杂交种有密切亲缘关系。说明我国育种工作重复状况较为严重,玉米遗传背景单一。因此,引进广泛的优秀玉米种质资源,加强我国玉米种质资源的创新已成为促进我国玉米育种工作发展的重要基础[4]。

## 2 玉米种质的引进、改良与利用

玉米育种扩增是基础,改良是关键,创新是目标[5]。玉米育种和生产发展的基础是种质资源的利用,包括资源的引进、改良和创新。扩展种质资源的方法有2点:一是玉米种质资源的引进,二是现有种质资源的改良。

**2.1 玉米种质的引进** 我国外来玉米种质引进主要分为3种类型:一是由热带、亚热带种质经温带驯

基金项目:国家重点研发计划专项(2017YFD0300400);科技部科技伙伴计划资助(KY201402017);河北省科技计划项目(17396301D);河北省农林科学院创新工程项目(2019-4-1B-5)

通信作者:马春红

化后选育的温带自交系、杂交种或群体材料;二是引入热带、亚热带低纬度地区未完全驯化适应温带种植的自交系、杂交种或群体材料;三是由各国以及国际玉米小麦改良中心(CIMMYT)引进野生近缘属种<sup>[3]</sup>。我国利用率较高的美国玉米种质具有适应性强、抗病性强、配合力高等优点,长期以来对我国玉米育种和生产产生了巨大的影响<sup>[6-8]</sup>。美国先锋公司选育的78599杂交种引入我国后,我国育种家选育了齐319、178、丹599、K22等一系列优良自交系和改良系,因其遗传背景相近,又称为P群种质类群,成为我国核心种质类群之一<sup>[6]</sup>。2004年先锋公司的先玉335通过审定,并在东北平原播区、黄淮海夏播区等地广泛种植,育种家通过筛选其二环系的方式进行育种研究并获得了登海605等优良品种<sup>[9]</sup>。李登海从美国商业玉米品种中选育出优良自交系掖107,用美国杂交种选育了自交系8112和5003,并培育出骨干自交系掖478<sup>[9]</sup>。

荣廷昭<sup>[10]</sup>认为,热带、亚热带玉米种质具有抗病性强、耐旱、抗倒、茎秆柔韧、植株根系发达等优良品质,可较大范围改善温带玉米的农艺性状。国内外均已有将热带、亚热带种质血缘引入温带玉米的先例,形成新的杂优模式,极大地改善了玉米抗性、品质和产量,在玉米育种及生产上发挥着重要作用。热带玉米种质因其与温带地区地理隔离,具有与温带种质不同的遗传变异特性,基因多态性强,控制相同优良性状的基因位点差异大,可作为增加温带玉米种质的遗传变异的优良基因来源,从而改进温带玉米种质的农艺性状<sup>[11]</sup>。前人研究表明,来自泰国的Suwan种质具有遗传基础广泛、抗病耐旱性强的特点,其与温带种质特别是温带马齿种间有较强的杂种优势,温带马齿×Suwan种质是玉米育种可选的杂优模式之一<sup>[12]</sup>。事实证明,外来种质资源的引入、改良与改造可有效创造新的遗传变异和新种质,从而选育出具有高适应性、高配合力、高抗病性的自交系,已成为育成新的高产、高抗、优质玉米杂交种的一条有效途径。

我国利用热带、亚热带玉米种质资源开展育种研究较晚。20世纪60-70年代开始引入外来玉米种质资源,分别从国际玉米小麦改良中心(CIMMYT)、东南亚、非洲等地区引入Tuxpeno、Suwan系列等热带、亚热带玉米种质,组建了一系列温带复合群体,

经创新改良后选育了一批优良自交系和群体<sup>[13]</sup>。例如云南农业大学选育的黄C,河南农业大学选育的87-1,河南农科院育成的苏2、泰8085,安阳农业科学研究所选育的昌7-2,贵州农业科学院选育的3012,沈阳农科院选育的沈118、沈218、沈219,吉林农业科学院选育的8501,山西农业科学院选育的太系113等自交系都含有热带、亚热带种质血缘,很多自交系已成为我国玉米育种的骨干自交系;四川农业大学选育的优良自交系S37,其组配的雅玉2号在西南山区大面积推广<sup>[14]</sup>。2个亚热带群体Pool33 QPM和Pool34 QPM经过中国农业科学院作物所采用控制双亲的混合选择法开展群体改良,有效地提高了其对温带长日照条件的适应性,并大幅提高了自身产量<sup>[11,15]</sup>。后又应用混合选择法改良CIMMYT群体,使StayGreen、Pob43、Pob21等群体基本适应了我国南方及河南等地区的生态环境。

**2.2 玉米种质资源的改良** 根据杂种优势群和杂种优势模式的原理进行玉米种质的扩增、改良和创新,提高育种效率,才能避免资源浪费<sup>[16]</sup>。利用热带、亚热带玉米种质的最终目的是利用其杂种优势。根据玉米种质资源的遗传背景差异,可将他们分成不同的杂种优势类群。以美国为例,其商业玉米育种中几大杂种优势群包括BSSS、Iodent、Lancaster、OH07、OH43等。不同杂种优势群间具有较高特殊配合力,有较强的基因互作效应,相互配对产生强优势杂交种配对模式即为杂优模式。根据杂优模式,美国商业育种简化种质资源分类,主要以BSSS群为母本群,其余类群如OH43、OH07、Iodent、Lancaster等均归为父本群。为使外来热带种质适应温带长日照条件,需采用适当的方法进行群体改良或构建复合种质。增加种质基础和杂种优势模式可以大大提高我国玉米育种效率。陈泽辉等<sup>[17]</sup>通过研究Suwan与我国四大骨干玉米自交系的配合力和杂种优势,发现Suwan群体选系有较好的一般配合力,与四大骨干自交系有较高的特殊配合力和较强的杂种优势。

玉米群体改良是通过对基础群体进行周期性的改进和提高,逐渐提高群体中有利等位基因的频率,以改进群体的表现,从而创造和改良玉米育种的基础材料<sup>[11]</sup>。群体改良主要是改良群体的遗传基础,具有增加群体中有利等位基因的频率,提高外来

种质的适应性的特点。国内外玉米研究实践证明,广泛搜集与鉴定种质资源,利用轮回选择法进行玉米种质改良研究,是增加优异基因重组,拓宽种质遗传基础,提高种质材料利用水平和杂交优势潜力行之有效的方法<sup>[18]</sup>。

群体改良方法总体分为群体内改良和群体间改良两大类<sup>[19]</sup>。近年来,群体改良技术得到了进一步发展,其趋势是由群体内改良过渡到群体间改良。CIMMYT、美国、印度、津巴布韦等均逐渐由群体内改良转向群体间轮回选择方面的研究<sup>[11]</sup>。群体改良最成功的典范是美国对 BSSS 群体的改良,其遗传基础以 Reid 系统的自交系为主。1939 年合成综合种,进行了 7 轮半同胞轮回选择和 6 轮 S2 轮回选择,并从不同轮次群体中分别育成了 B14、B37、B73、B84 等一批优良自交系。目前美国使用的很多自交系均有 BSSS 血统<sup>[20]</sup>。由于该综合种的遗传基础丰富,杂种优势群清楚,起点较高,与另一个杂种优势群 Lancaster 相对应,构成杂种优势模式,为以后的改良与利用奠定了坚实的基础。

由于玉米原产美洲热带短日照环境,引种到温带地区,因为其有很强的光周期反应,会导致散粉期和抽丝期间隔长、晚熟、雌穗难以形成或结籽量少的情况,因此很难直接利用热带玉米种质选育出温带适应性良好的玉米杂交种。正因如此,引进的热带、亚热带种质首先要进行初步鉴定,有针对性地筛选出具有目的性状的材料。鉴定不仅包括观察分析引进种质的农艺性状和适应性,还要观察其杂交后代的表现<sup>[21]</sup>。赵福成等<sup>[22]</sup>筛选美国引进的特用玉米种质群体,后得到 16 份适应浙江气候条件的甜玉米或糯玉米。孟剑等<sup>[23]</sup>通过对引进的美国 GEM 材料进行了接种条件下的抗病性鉴定,并结合抗病材料的多年重复验证,筛选出一批新的抗病种质资源。这些新材料的深入研究和广泛应用,对拓宽我国玉米青枯病、丝黑穗病抗性遗传基础,增加种质资源遗传多样性具有重要利用价值。陈泽辉等<sup>[17]</sup>、张庆娜<sup>[24]</sup>通过田间鉴定,对引进的热带、亚热带玉米种质进行了系统的配合力和杂种优势分析,丰富了有效利用热带、亚热带玉米种质的理论依据。分子标记辅助育种技术与传统育种手段的结合也提高了热带、亚热带玉米种质的定向选择效率。

我国拥有热带、亚热带和温带 3 种气候类型,

这使得我国育种工作者可以在引进热带、亚热带玉米种质资源后,首先在我国西南部如云南、广西、四川、贵州等地区种植并驯化,保留其优势性状并逐步向北方地区过渡。将热带、亚热带玉米血缘导入温带种质中,可以采用单交、三交、回交和复合杂交等多种方法。同时,热带、亚热带玉米种质导入的比例对新种质农艺性状的改良也有着直接作用。前人研究表明,若温带种质所占比例较大,则改良的效果不明显;如果热带、亚热带种质所占比例较大,则后期的组配工作困难<sup>[13]</sup>。当热带、亚热带种质占 25%~50% 时,育种效果较显著。陈彦惠等<sup>[25]</sup>对散粉期、株高等光周期敏感的相关性进行了研究,采用 6 个世代平均值分析得出,含有 25% 热带成分的敏感性状最弱,其 BC1 利用价值较大。刘治先等<sup>[26]</sup>将热带、亚热带玉米种质按 25%~75% 不等的比例导入温带育种材料中,结果表明,导入 50% 热带、亚热带血缘的种质表现较好,利用潜力大。除了直接将热带、亚热带玉米种质导入温带种质,还可以采用桥梁亲本过渡的方式。高增玉等<sup>[27]</sup>利用光不敏感材料作为桥梁亲本将热带玉米种质优良基因导入温带种质,发现相对于直接将热带种质与温带种质杂交,可提高温带与热带种质的生殖亲和性,与单纯回交相比,能够创造和保留更多的有利变异,大大提高导入和选择效果。

### 3 未来发展建议

**3.1 外源种质资源的引入与改良** 引入外源新种质并加以改良仍是玉米种质资源扩增的主要方式。引进热带、亚热带种质并对其进行农艺性状鉴定,改良光敏周期,提高其在温带的适应性,是拓宽我国玉米种质的一条重要途径。热带、亚热带玉米种质改良可以通过以下途径:全面鉴定,混合选择法,热带、亚热带种质与温带种质的互导,构建温热复合群体,进行相互轮回选择等<sup>[21]</sup>。通过杂交、轮回选择等育种手段融合遗传背景差异大的热带、亚热带玉米种质与温带玉米种质基因可以增强温带玉米抗逆性、抗病性,获得优良的农艺性状,同时还可创制新种质,丰富我国玉米种质资源基础,缓解我国玉米种质资源日趋狭窄的趋势。苏义臣等<sup>[28]</sup>研究发现温热组合材料有一定的增产潜力,但在光敏感性等方面仍存在一定缺陷,需针对不同组合的特点进一步改良。

**3.2 加强抗性和适应性改良研究** 我国大部分

玉米品种在小面积试验条件下每  $\text{hm}^2$  产量均可达到 10500~12000kg,而在大面积推广中却很难达到如此高的产量水平,其原因除栽培措施不到位外,主要是品种本身的抗性和适应性所致<sup>[2]</sup>。在一定的栽培耕作制度下,挖掘品种产量潜力,提高品种抗性的重要手段是育种。吸取国外先进的选系方法、组合筛选等方面的育种经验有利于提高我国玉米育种水平。美国所采用的高密度育种策略不仅提高品种耐密性进而增加了产量,还有利于抗性基因选择,非常值得学习和借鉴。我国玉米种质类群并没有明确划分,而美国商业育种过程中对于父本群和母本群的划分经验值得借鉴<sup>[29]</sup>。此外,由于水资源短缺状况日益严重,干旱已成为玉米产量的重大威胁之一。加强玉米抗旱基因的挖掘、引进和利用研究,培育出节水抗旱的新玉米种质可以适应不良环境需求。

**3.3 生物技术加速育种研究进程** SSR 和 SNP 等分子标记辅助选择方法可以加速玉米优良性状如高抗、高产、品质性状的定位和筛选。转基因技术通过挖掘玉米优良基因,提高其抗性、产量潜力,已成为一项重要的技术手段。美国最早在 1996 年开始种植转基因玉米,主要涉及抗虫和抗除草剂两种类型,目前已开始由单基因转入变化为多基因叠加,使转基因玉米品种不论在营养品质、产量还是抗逆性上都更具竞争力,在美国的种植面积也呈逐年上升趋势并取得了显著的经济和生态效益<sup>[2]</sup>。我国目前转基因研究相对比较落后,因此进一步加强不同玉米品种间的转基因研究,特别是在抗逆、抗病、抗虫和优质等性状的转基因研究将是今后我国玉米育种的研究重点。

#### 参考文献

- [1] 石雷. 美国商业玉米种质对我国玉米育种的影响. 北京农业, 2007 (9): 10-13
- [2] 赵久然, 王荣焕. 美国玉米持续增产的因素及其对我国的启示. 玉米科学, 2009, 17 (5): 156-159, 163
- [3] 王国胜, 陈举林, 侯玮, 孙洪波, 李平海, 宗燕. 我国玉米种质资源的研究现状及存在问题. 安徽农学通报, 2010, 6 (23): 77-79
- [4] 叶雨盛, 孙甲, 郝楠, 李哲. 我国玉米种质资源创新的现状. 种子, 2008, 10 (27): 76-78
- [5] 李明顺, 张世煌, 李新海, 潘光堂, 白丽, 彭泽斌. 根据产量特殊配合力分析玉米自交系杂种优势群. 中国农业科学, 2002, 35 (6): 600-605
- [6] 张仁和, 夏建刚, 薛吉全, 师公贤. 美国玉米种质 78599 的利用与改良. 中国农学通报, 2004, 6 (20): 128-130

- [7] 陈刚, 陈丽, 高洪敏, 景希强, 李思列. 丹玉自交系的创造及在我国玉米育种和种子生产中的作用. 中国农业科学, 2000, 33 (S): 99-104
- [8] 高翔, 陈泽辉, 祝云芳. 我国玉米育种中美国改良 Reid 和 78599 种质的作用及其再利用. 西南农业学报, 2003, 16 (3): 98-101
- [9] 杨宗利, 李和平, 李积铭. 美国玉米种质在我国的改良利用情况及建议——以黄淮海夏玉米区为例. 安徽农业科学 2016, 44 (3): 35-36
- [10] 荣廷昭. 西南生态区玉米育种. 北京: 中国农业出版社, 2003: 53
- [11] 李新海, 傅骏骅, 张世煌, 袁力行, 李明顺. 利用 SSR 标记研究玉米自交系的遗传变异. 中国农业科学, 2000, 33 (2): 1-9
- [12] 祝云芳, 陈泽辉, 高翔. 外来玉米种质资源在贵州的利用潜力. 种子, 2003 (4): 67-68
- [13] 赵立强, 姚文华, 番兴明. 热带亚热带玉米种质在我国利用研究. 安徽农业科学, 2013, 41 (11): 4761-4763
- [14] 荣廷昭, 潘光堂, 黄玉碧, 唐祈林. 热带玉米种质在温带玉米育种中的应用. 作物杂志, 1998 (S1): 12-14
- [15] 彭泽斌, 张世煌, 刘新芝. 我国玉米种质的改良创新与利用. 玉米科学, 1997, 5 (2): 5-8
- [16] 邹小云, 宋宇, 贺浩华, 傅军如. 作物杂种优势群与杂种优势模式研究进展. 种子, 2004, 23 (6): 44-47
- [17] 陈泽辉, 高翔, 祝云芳. Suwan 与我国四大玉米种质的配合力和杂种优势分析. 玉米科学, 2005, 13 (1): 5-9
- [18] 于翠红. 玉米种质资源研究利用与创新方向. 河北农业科学, 2008, 12 (5): 71-73
- [19] 王秀凤, 景希强, 曹祖波, 丰光, 卢秉生, 景小鹏, 姚永祥. PN78599 种质的改良和利用. 中国种业, 2011 (5): 17-19
- [20] 彭泽斌, 张世煌. 玉米群体改良的问题与对策. 中国农业科学, 2000, 33 (S1): 27-33
- [21] 刘代惠, 李钟, 蒲全波, 罗阳春, 郑祖平. 热带、亚热带玉米种质的改良利用. 玉米科学, 2009, 17 (2): 53-55
- [22] 赵福成, 谭禾平, 卢德生, 韩海亮, 包斐, 王桂跃. 美国特用玉米种质的引进与鉴定. 浙江农业科学, 2011 (3): 565-568
- [23] 孟剑, 裴二芹, 宋艳春, 石云素, 李永祥. 引进美国 GEM 材料的抗玉米青枯病和丝黑穗病种质资源筛选鉴定. 植物遗传资源学报, 2015, 16 (5): 1098-1102
- [24] 张庆娜. 改良后部分 CIMMYT 种质的配合力及杂种优势分析. 黑龙江农业科学, 2013 (4): 10-13
- [25] 陈彦惠, 张向前, 常胜合, 吴连成, 吴建宇, 席章营. 热带玉米光周期敏感相关性状的遗传分析. 中国农业科学, 2003, 36 (3): 248-253
- [26] 刘治先, 贾世峰, 郭庆法, 汪黎明, 孟照东. 热带亚热带玉米种质的导入和改良创新研究. 作物品种资源, 1999, 1 (3): 6-8
- [27] 高增玉, 武玉华, 和剑涵, 王江浩, 陈希勇. 利用桥梁亲本导入玉米热带种质优良基因的研究. 河北农业科学, 2013, 17 (4): 53-55, 58
- [28] 苏义臣, 苏桂华, 金明华. CIMMYT 热带玉米种质在温带地区的改良利用. 河南农业科学, 2013, 42 (7): 14-18
- [29] 孙琦, 李文才, 于彦丽, 赵勐, 李文兰, 孟昭东. 美国商业玉米种质来源及系谱分析. 玉米科学, 2016, 24 (1): 8-13

(收稿日期: 2019-07-14)