

文章编号: 1003-8701(2002)05-0008-06

# 玉米外来种质研究和利用及其进展<sup>\*</sup>

檀国庆, 刘兴斌, 王玉贞, 吴凤新

(吉林省农科院玉米所, 吉林 公主岭 136100)

**摘 要:** 综述了热带和亚热带外来种质在育种中的重要性及其在温带表现特点, 国内外热带和亚热带种质的研究进展情况, 外来种质的鉴定与评价方法, 如何利用外来种质进行温带玉米种质基础的扩增、改良和创新方法。

**关键词:** 玉米; 外来种质; 鉴定评价; 改良利用

**中图分类号:** S513.02

**文献标识码:** A

外来种质是指那些不适应本地生态条件生长的玉米材料。主要包括热带和亚热带种质等, 这类材料又称非适应型。热带和亚热带外来种质具有丰富的遗传多样性, 是玉米育种的重要材料。外来种质的研究利用, 已引起国内外玉米育种的关注。

## 1 外来种质的重要作用及热带和亚热带种质特点

玉米起源于墨西哥、秘鲁、危地马拉等拉丁美洲的热带和亚热带地区。复杂的自然条件形成多样性的玉米种质。来自热带和亚热带的外来种质是玉米育种的重要材料。

### 1.1 热带和亚热带种质在育种中的作用

#### 1.1.1 玉米起源中心具有世界上绝大多数的玉米种族和高度的遗传多样性

利用外来种质可以增加遗传多样性, 预防不可预测的生物和环境灾害。近年来, 由于玉米育种遗传基础的狭窄, 南方的热带病害灰斑病和拟眼斑病在北方发生并流行, 温带主要“四大”种质都不抗。

#### 1.1.2 多样性玉米种质具有特殊性状的优良基因

如抗病、抗虫、抗逆性和优良品质等有利基因有些是温带种质不具备的。Bretting 报道, 从热带种质中选育抗玉米小斑病、锈病、灰斑病和粒腐病的抗病衍生系, 抗性水平超过美国玉米带种质的抗性。含有外来种质的杂交种 78599 具有抗拟眼斑病、灰斑病的基因, 成为主要抗源。研究表明, 玉米对丝黑穗抗病基因有多个位点(Lübberted 等, 1999), 吉 1037 对玉米丝黑穗病抗性超过 Mo17, 可能抗病基因来自 Suwan 1。热带和亚热带玉米长期处于低纬度短日照的地区, 在不同的海拔高度, 经过长期的自然和人工选择, 形成了各种各样丰富的遗传多样性, 具有许多温带种质所不具备的优良性状, 如耐旱性、耐湿性、生长旺盛、根系发

**收稿日期:** 2002-05-21

**作者简介:** 檀国庆(1956-), 男, 吉林省伊通人, 吉林省农科院玉米所研究员, 硕士, 主要从事玉米群体改良和玉米育种研究。

<sup>\*</sup> 吉林省作物学会第七届理事会推荐优秀论文。

达、抗倒伏、抗病虫害强、保绿度好等。由于长期的自然选择,墨西哥玉米具有抗旱等优良性状。Abel 等(1995)报道,秘鲁种质中 11 份含有抗欧洲玉米螟基因,抗性与丁布含量无关,说明抗性基因与美国玉米带种质抗虫基因是完全不同的。

### 1.1.3 增加产量的遗传变异和杂种优势的有利基因

热带与温带种质有很强的杂种优势,如 Tuxpeno 与温带 B73, ETO 与 B73 和 Oh43 有较高的配合力。含有热带种质的 78599 与 BSSS、塘四平头、旅大红骨子都具有很高的配合力。热带种质之间也具有较高的配合力和杂种优势, Tuxpeno  $\times$  ETO 成为公认的杂种优势模式。吉 1037 的穗长超过 Mo17, 并且遗传力很高, 吉单 342 穗长突出, 不受环境影响。

## 1.2 外来种质在温带的表现特点

### 1.2.1 低纬度外来种质具有光周期和温度敏感性

由于对光周期和温度的敏感性, 给外来种质的鉴定和利用增加了难度, 尤其是在寒温带。吉林省农科院玉米所从 1981 年开始, 先后从国内外引进热带和亚热带外来玉米种质 257 份。经过多年观察, 外来种质在吉林省的表现具有如下特点: 高度增加, 有些敏感材料比短日照条件增加 1 倍以上, 主要是叶片数的增加, 节间增加相对较小; 由于光周期的敏感, 营养生长期偏长, 根系发达, 开花延迟, 贪青晚熟; 表现青枝绿叶, 多不发生叶病等病害, 抗病和避病难以明确, 多数热带材料不抗玉米丝黑穗病; 由于光周期的敏感性, 产量性状不能充分表达。这些特点无疑增加了外来种质在高纬度北方研究和利用的难度。

### 1.2.2 自身产量偏低和组合农艺性状差等缺点

多数热带种质没有经过遗传改良和选择, 综合农艺性状与温带比较相对较差, 需要采用合适的方法, 进行长期的轮回改良与选择。热导群体多数综合农艺性状表现不如温带群体, 成功几率相对较低。吉林省农科院玉米所曾利用 Suwan 1、CIMMYT 群体组建很多热导群体, 育成的自交系目前在生产应用的只有 2 个, 育成的一些中间材料在育种中还需进一步改良。

## 2 对外来种质的研究进展

### 2.1 国外研究进展

70 年代, 美国玉米的种质基础是很狭窄的, 大多数美国的商业玉米杂交种基本是 Lancaster  $\times$  Reid's Yellow Dent 模式。美国开始意识到使用多样性的玉米种质, 试图扩大美国玉米的种质基础。美国先锋公司的 W. Brown 在 40~50 年代就开始对加勒比海地区种质进行改良。北卡罗来纳大学 Thompson 在 60 年代就开始研究利用拉丁美洲的玉米种质。将墨西哥的品种 Tuxpeno 和热带种质导入美国主要种质, 以提高现有种质的抗病性和子粒品质等性状。Hallauer 在 1963 年开始, 对南美洲哥伦比亚的玉米复合种 ETO 进行 6 轮早熟性混合选择, 使 ETO 适应温带的自然条件, 改良后的群体定名为 BS16。1971 年以来, 陆续对加勒比海复合种 Antigua、泰国 Suwan 1、墨西哥群体 Tuxpeno 等进行了适应性混合选择。改良后的群体再导入温带玉米种质中去。热带种质经过多年的研究, 美国的大种子公司利用拉丁美洲种质, 选育出商业玉米杂交种, 已经用于生产。如美国先锋公司的含有外来种质的玉米杂交种 87001、78599 等在生产上表现突出, 在我国试种均表现茎叶青绿, 保绿度好, 活秆成熟, 秆强不倒, 抗叶斑病和茎腐病, 明显优于美国玉米带种质和我国常规种质选育的杂交种, 已在我国玉米育种上广泛应用。美国和世界各国都致力于热带和亚热带种质的利用, 美国先锋公司出巨资用于美国玉米种质扩增、改良和创新项目(GEM)。

## 2.2 国内研究进展

我国在 80 年代初开始了热带和亚热带种质的导入利用研究。从墨西哥、泰国等引入热带和亚热带材料,采用温带材料与热带材料杂交,合成含有热带种质的群体,对外来种质进行适应性改良。在“九五”期间,农业部 948 玉米种质扩增、改良和创新项目,加强外来种质资源的引进、项目合成半外来种质群体发放全国育种单位,在全国进行热带群体纬度逐步推进法驯化与改良。我国经过多年的研究,外来种质利用取得了可喜的成绩。

### 2.2.1 热带种质直接利用

在我国南方亚热带地区,80 年代中期开展了直接利用热带材料组配杂交种或选育自交系。四川直接利用 Suwan 1 选育出 S37, S1611 自交系,生产上直接利用墨白群体,并用墨白 94 选育出自交系 81565,该组合已在生产上应用。广西农科院利用来自墨西哥的墨黄 9 为亲本育成顶交种,并从墨黄 9 中选育 M9 自交系在生产上应用。中国农科院吴景锋 1978 年开始利用也门热带种质,1983 年育成自交系也铁 19 和也铁 21。

### 2.2.2 热带种质渐渗导入研究

在我国温带地区,热带和亚热带种质难以直接利用。因此,在温热种质互导方面做了大量研究工作,育成一批含有热带种质的自交系,其杂交种表现突出。中国农科院利用也门矮玉米与温带种质 Oh43、矮金 525 等组成的含 50%热带种质群体,1985 年育成中 74-106。在吉林省利用中 74-106 育成四单 136 杂交种并应用于生产。中国农业大学利用含有 50%热带种质群体(黄小 162 $\times$ 自 330/O2 $\times$ Tuxpeno),育成黄 C 自交系,利用黄 C 育成抗性好、适应性广的杂交种农大 108。四川农业大学进一步利用 S37,育成了含有 50%热带种质的自交系 48-2,并育成了川单 9、10、11、19、20 杂交种。北京市农科院育成含有 25%的热带种质的京 404,选自黄早 4 $\times$ Tuxpeno $\times$ 黄早 4。吉林省农科院从 1985 年开始对外来种质利用研究,通过 Mo17<sup>2</sup> $\times$ Suwan 1 将热带种质导入温带骨干系 Mo17,1992 年育成含有 25%热带种质的吉 1037,丰产性、抗病性、保绿度和配合力好于 Mo17。其杂交种吉单 507 和吉单 342 正在吉林省推广应用。育成含有热带种质的粮饲兼用的吉单 4011,产量高,抗病性强,保绿度好。国内各育种单位利用热带种质导入方法,育成中 7490、BT1、太系 131、沈 219、CM1、CM2、CM5、8501、8502 等含有外来种质的自交系。中国农业大学、山东农科院、河南农业大学、丹东农科院等利用含有外来种质的国外杂交种选育出优良自交系 P138、齐 319、农大 178 等自交系,育成农大 178、农大 3138、鲁单 50 等抗性优良的杂交种,正在生产中发挥作用。

### 2.2.3 基础研究

在基础研究方面做了很多工作,张世煌(1995)采用控制双亲混合选择法,改良引自 CIMMYT 的两个优质蛋白玉米基因库(Pool 33 和 Pool 34)在北方温带长日照条件下的适应性。选择目标性状是早抽花丝。经过 4 轮选择,两个基因库抽丝期平均每轮提早 4.4 d 和 4.5 d,每轮平均公顷子粒产量分别增加 627 kg 和 622.5 kg。吉林省农科院玉米所采用大群体混合选择法,对热带群体 Suwan 1 和 Suwan 2 进行 3 轮适应性选择,改良后的群体 RK I 和 RK II 在吉林省基本正常成熟,株高和穗位降低了,抗病性强。利用 Suwan 1 等 9 份热带和亚热带种质与 14 份温带种质组成复合种吉林库 I,采用改良穗行法和 S<sub>2</sub> 轮回选择,以产量、缩短抽丝期和降低株高为目标,进行 5 轮选择,该复合种穗长,产量高,抗病性强,在吉林省能正常成熟。利用抗旱热带种质 Tuxpeno 与温带抗旱自交系 Mo17、杂 C546 组建了含有 50%热带种质抗旱群体“吉综 F”,采用 S<sub>1</sub> 轮回选择方法,完成 2 轮选择。在干旱条件下,吉综 F 抗旱性突出,对优良抗旱后代同时进行自交系选育。

### 3 外来种质的鉴定与评价

国内外大量研究表明,要先对引进的众多外来种质进行鉴定评价,筛选出有价值的材料再进行利用。由于温带长日照条件下,热带和亚热带种质基因型的表达受到温光反应敏感制约,熟期偏晚的不能开花和成熟,难以取得理想的鉴定结果。首先要根据目标要求采用合适方法,选择或创造合适的鉴定条件,对引入的外来种质进行鉴定和筛选,以明确其具有抗病虫、抗旱等优良性状、配合力表现及杂种优势类群等,对鉴定出的有价值材料进行导入温带种质或温和驯化改良,使之适应温带。目前外来种质鉴定所采用的方法有三种。

#### 3.1 在中性日照条件下对外来种质进行产量和其它性状鉴定及筛选

玉米是起源于低纬度地区,属短日照作物,外来种质在中性日照条件基本能正常开花成熟,可以对产量和抗病性等农艺性状进行鉴定和评价。Goodman(1983)从代表拉丁美洲 250 个族 1 500 份材料中选择一套 400 份材料,用美国中西部和南部杂交种、热带和半热带商业杂交种为对照,在佛罗里达和得克萨斯秋季中性日照条件进行产量试验。试验设在满足材料生长的低海拔和中低海拔的优良条件下。表现突出的大多数是被育种家广泛应用的,如 Cuban Flint、Tusons、Tuxpeno 等,有些在热带玉米育种家不被看好的材料,产量表现极其优良,抗病性强。从中筛选出 40 份最好的材料,采用回交方法,进行光周期转换,使之变成光反应不敏感适应型。下一步用 Stiff Stalk 和 Lancaster 进行配合力测定。冯芬芬等(1977)对从 CIMMYT 引入的材料在低纬度南宁和高纬度公主岭进行鉴定评价,鉴定出的优良材料在群体改良中应用。

#### 3.2 在原产地对外来种质进行鉴定和评价

世界最大的种质资源鉴定评价项目即美洲的拉丁美洲玉米项目(LAMP),是将搜集到的 12 000 多份玉米种质资源放到美国等 12 个拉丁美洲国家进行鉴定并繁殖种子。经过初步筛选,从中选出 20%优良种质资源进一步鉴定评价;地区之间相互交换筛选优异种质资源;在隔离区将筛选的优异种质作母本,选择美国温带种质和当地种质的测验种作父本,配制测交组合;生态条件相同地区互相交换测交组合,进行产量、品质附加值和其它抗性鉴定及配合力测定,明确杂种优势类型。筛选优良的用含有 25%和 50%外来种质的导入群体,进行改良后用于育种计划。

#### 3.3 对外来种质与温带适应性种质的测交组合在温带进行鉴定和评价

明确外来种质的配合力及其杂种优势类型和间接明确是否具有抗病、抗虫和高产基因。美国种质创新项目在 12 个国家对外来种质的测交组合进行多点联合鉴定,间接明确外来种质具有的优良抗性及高附加值品质性状。冯芬芬(1977)对从 CIMMYT 引入 142 份外来种质在亚热带低海拔南宁和温带公主岭进行鉴定筛选,初步筛选出 20 份优良材料。接着用我国四大类种群质的代表系 Mo17(或 Oh43)、B73(或 A632)、黄早四和丹 340 进行测交,明确配合力、杂种优势类型并进行分群。对测交组合进行鉴定和评价,进一步鉴定热带材料,取得一些进展。一些热带和亚热带材料本身在温带不能正常成熟,热带材料与温带自交系杂交组合可以在温带正常生长、发育和成熟。通过杂交组合  $F_1$  及  $F_2$  的人工接种鉴定抗病虫性,筛选所需要的抗源材料和配合力高的材料,进行改良后在育种中利用。如果筛选抗某种病害的外来种质,可以用感病自交系作测验种。

鉴定评价外来种质的上述方法可以结合应用,或应用其中某种方法,根据鉴定条件和目标确定。

## 4 外来种质的改良和利用研究

### 4.1 外来种质导入温带适应种质

可以采用杂交和回交的方法。一次杂交方法,将热带和亚热带外来种质导入温带,构成半外来种质群体,即外来种质和温带种质各占 50%。在此基础上,用温带(或外来种质)进行回交,组成含有不同比例的热导群体。外来种质的最佳比例因所用材料和目标差异,结果不尽一致。外来种质的比例是 12.5%、25%、50%、75%或 100%,国内外做了大量研究。认为至少要用适应性亲本或群体回交一次(Lambert 和 Leng, 1965; Lawrence 等, 1975; Cox 等, 1984),适应性亲本回交可以增加基础群体的产量等性状的平均数和克服外来种质的适应性差的弊病。Albrecht (1987)研究含有不同比例(0、25%、50%和 100%)的外来种质的群体,回交一次( $BCF_2$ )含有 25%外来种质的群体子粒产量遗传方差最大,预测产量进展最大;含有 50%外来种质的群体( $F_2$ )产量、收获子粒含水量、茎秆品质、抗茎腐病等的遗传方差较大。Hallauer (1977)认为,含有 50%的热带种质群体选择效果最好。我国多数研究结果表明,热带种质导入温带骨干材料(或骨干系),外来种质比例 50%或 25%,都取得了较好效果。吉林省农科院玉米所 1987 年研究热带种质 Suwan 1 导入,认为外来种质占 50%熟期偏晚,25%熟期合适。吉 1037、京 404、太系 113 等含有 25%,BT1、黄 C、中 74-106、48-2 含有 50%热带种质。温带种质是经过多年的选育,不良基因经过自交都已经淘汰,聚集众多优良产量和农艺性状基因,可以弥补外来种质的不足。要求对外来种质的遗传背景、产量、抗性性状了解比较清楚,具有所要求的目标性状和基因,以减少盲目性。

### 4.2 热带和亚热带外来种质的适应性选择和改良

在鉴定筛选的优良热带和亚热带种质的基础上,对所选用的材料进行几轮(3~5)的适应性选择,当热带材料适应温带后,就可以应用到育种计划中。对仍不能适应当地条件的种质要继续进行几轮改良,直至适应当地生态条件为止。适应性选择有以下 3 种方法:

#### 4.2.1 早开花大群体混合选择法

有些研究证明,混合选择法是改良外来种质适应性的有效方法,在开花吐丝期严格选择,一年一轮,3~4 年效果较好,要求选择群体要有足够的植株数, Hallauer 每年一个材料种植  $0.2 \text{ hm}^2$ ,保证有足够的遗传变异供选择。

#### 4.2.2 纬度逐步推进法

此法是某些热带玉米种质引到温带时,经过中间地带过渡,在过渡条件下,通过基因重组,产生适应过渡条件的个体,在大群体中按适于温带的性状进行选择,改变热带种质在温带的不适应性,再逐步引到高纬度地区,继续进行选择。可能获得基本适应温带地区具有热带种质的群体或自交系。吴景锋采用此方法利用北也门热带种质 Tihama 育成适于温带的也铁 19、也铁 21 自交系。

#### 4.2.3 温光反应回交转换法

Goodman 利用 Mo44 为光反应不敏感的供体,外来材料为轮回亲本,通过回交进行日照中性转换,使外来种质适应温带。

### 4.3 利用热带和亚热带杂交种选育含有外来种质的自交系

美国北卡罗来纳大学 Goodman (1985)报道,从热带和亚热带的玉米杂交种中选出的适应温带的自交系,利用美国种质为测验种,在测交组合中表现优于 50%、75%或更多比例的外来种质群体(如 Blanco Cristalino-1, Blanco Subtropical, Mic-ETO, Amarillo Cristalino-1, Amarillo

Bajio, Ibadan A)选出的自交系。外来种质多数是没有经过改良,具有某些优异性状基因,同时也具有很多不良性状基因,选出的自交系在育种水平较高的地区,难以直接应用。国内的成功经验也证明了这一论点。中国农业大学、山东省农科院、河南农大、吉林省农科院等单位利用具有外来种质的杂交种选育出 P138、齐 319、87-1、8501、8502 等优良自交系。河南农科院利用泰国的杂交种 8085 选育成自交系 8085,在杂交种中应用。这些自交系具有外来种质的抗病和抗倒性,保绿度好,配合力高,在生产上应用效果很好。利用热带和亚热带具有外来种质的杂交种进行自交系选育是利用外来种质的途径之一,时间短,见效快。利用外来种质育成的自交系具有温带种质不具有的抗病虫害性和适应性等优异性状,也可以作为中间材料利用选育二环系,在生产上应用。但是,热带或含有外来种质的杂交种的遗传组成不清楚,有的比较复杂,利用杂交种选育的自交系,杂种优势或特殊配合力可能要降低或难以组配优势大的杂交组合。这些自交系可与国内血缘的自交系进行杂交,筛选强优势组合。

## 5 对外来种质研究与利用的建议

### 5.1 加强热带和亚热带种质资源的搜集、鉴定与评价

了解掌握 CIMMYT 的研究进展和动向,有目的的从南美和国内搜集外来种质资源,包括南美商业用杂交种。

### 5.2 加强基础研究投入和合作

外来种质利用是长期育种目标,具有突破性。但育种周期长、难度大、成功几率低,加强单位间的合作,同时政府应加强投入。

### 5.3 根据不同的种质改良目标 and 需求,选择合适的群体改良方法

只要能够达到目的,方法尽量简便实用。要改良农艺性状,采用  $S_1$  轮回选择效果好;相互轮回选择可同时改良杂种优势模式的两个群体,但工作量大。

### 5.4 组建半外来种质群体,导入温带骨干系

目标是提高温带自交系的抗病(虫)性、抗逆性、配合力等,用骨干系回交方法效果好,时间短。

## 参考文献:

- [1] 李新海,李明顺,等. 热带、亚热带玉米种质的研究与利用[J]. 中国农业科学,2000,33(增刊):20—26.
- [2] 刘兴武,檀国庆,等. 玉米复合种——吉林库1 轮回选择效果分析[J]. 中国农业科学,2000,33(增刊):87—92.
- [3] 孙伯陶. 外来种质导入在早熟玉米育种中应用研究[J]. 中国农业科学,2000,33(增刊):57—61.
- [4] 刘兴武,檀国庆,等. 玉米优良种质的筛选和利用[J]. 玉米科学,1998,3.
- [5] 冯芬芬,董海合,等. CIMMYT 玉米自交系与群体鉴定初报[C]. 玉米研究专辑,吉林省农科院,1998.
- [6] 李维岳,等. 吉林玉米[M]. 长春:吉林科技出版社,2000.118—126.
- [7] 刘纪麟. 玉米育种学[M]. 第2版. 北京:中国农业出版社,2001.
- [8] 董海合,李凤华,等. 吉林省利用热带亚热带玉米种质概况[J]. 作物杂志,1998(增刊):60—62.
- [9] Hallauer A R. 玉米轮回选择的理论和实践[M]. 北京:农业出版社,1989.
- [10] Goodman M M, et al. US maize germplasm: origins, limitations and alternatives. Proceedings of the Global Maize Germplasm Workshop. 1988, 130—138.
- [11] Dudley J W. Theory for identification and use of exotic germplasm in maize breeding programs. Maydica. XXIX, 391—407.
- [12] Edmeades G O, Bolanos J, et al. Selection improves drought tolerance in tropical maize population: I. Grains in biomass, grain yield, and harvest index. Crop Sci., 1999, 39: 1306—1315.
- [13] Hallauer A R and Miranda Fo J B. Quantitative genetics in maize breeding. Iowa State Univ., Ames, 1981.