

文章编号: 1005-0906(2010)05-0001-08

我国玉米育种种质基础与骨干亲本的形成

黎 裕, 王天宇

(中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081)

摘要: 在回顾我国玉米育种种质来源(国内地方品种、国外自交系和国外杂交种及群体)的基础上, 提出我国主要温带自交系可划分为 6 个群, 即塘四平头群、兰卡斯特群、类兰卡斯特群、PA 群、PB 群和 PC 群, 玉米的骨干亲本包括丹 340、黄早四、自 330、Mo17 和掖 478 等。对我国玉米种质资源和骨干亲本研究提出了研究方向和重点工作。

关键词: 玉米; 种质基础; 骨干亲本

中图分类号: S513.024

文献标识码: A

Germplasm Base of Maize Breeding in China and Formation of Foundation Parents

LI Yu, WANG Tian-yu

(Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on retrospective review on germplasm sources of maize breeding in China, i.e. local landraces, overseas inbred lines, overseas hybrids and populations, it was suggested that a major of temperate inbred in China could be divided into six groups, that was, Tangsipingtou, Lancaster, Lancaster-like, PA, PB and PC. The foundation parents used in maize breeding included Dan 340, Huangzaosi, Zi330, Mo17 and Ye478 etc. In this paper, directions and priorities of research on germplasm resources and foundation parents were also proposed.

Key words: Maize; Germplasm base; Foundation parents

1 我国玉米育种的种质基础

1.1 我国玉米育种的种质来源

1.1.1 国内地方品种

从上世纪 60 年代开始, 我国玉米育种工作者就开始从国内地方品种中选育自交系, 至 80 年代后, 这种情况逐渐减少, 但目前 in 西南地区还常有利用的报道。据不完全统计, 我国从地方品种中直接选育的自交系至少在 100 个以上, 其中最为著名的是丹 340 和黄早四(王永普等, 2003)。源于金皇后和四平头的自交系矮金 525 和塘四平头的育成, 选育了我国第一代优良单交种新单 1 号和白单 4 号; 源于获

嘉白马牙的自交系获白在第一代单交种的培育中发挥了重要作用; 从地方品种旅大红骨中选育而成的自交系旅 28 和旅 9 宽组配了一些在生产上大面积应用的杂交种; 从贵州地方品种交麻二黄早中选育出优良自交系交 51, 组配的杂交种已超过 29 个; 从衡白多穗中选育出糯玉米自交系衡白 522, 利用其组配了 4 个糯玉米杂交种在生产上推广应用; 从邻水大督选育出的自交系 21-ES 获 2001 年四川省科技进步一等奖。

目前, 在我国一些地区还继续种植玉米地方品种, 尤其是在云南、贵州和广西的一些边远山区, 地方品种由于其良好的抗逆性和特殊品质仍为农民青睐。在 20 世纪末云南玉米种植面积的 17% 左右是地方品种, 目前有所减少。我国北方地区地方品种仅有少量种植, 如 2008 年在内蒙古种植来自河北的地方品种“东陵白”(又名白马牙)达 10.7 万 hm^2 , 用作青贮玉米。但总体来看, 从地方品种中选育自交系的研究近年来已大为减少。

1.1.2 国外引进自交系

收稿日期: 2010-02-28

基金项目: “973”项目(2006CB101700)、国家科技支撑项目(2006BAD13B03)

作者简介: 黎 裕(1966-), 男, 四川人, 研究员, 博士, 研究方向为基于基因组学的种质资源研究。Tel: 010-62131196

E-mail: yuli@mail.caas.net.cn

从上世纪 70 年代开始,我国从国外特别是美国引进了大量自交系,但在我国育种和生产上发挥了重要作用的自交系并不多,其中最为著名的自交系是 Mo17。用于基因组测序的著名自交系 B73 选自衣阿华坚秆群体(BSSS),但由于抗病性差,在我国没有得到广泛应用,仅在新疆有生产价值,B73 与 Mo17 组配的杂交种 SC-704 已在新疆种植 20 多年,种植面积一直名列前茅。

1.1.3 国外引进的杂交种和群体

从上世纪 70 年代开始,我国从国外引进了大量杂交种(尽管有的编号不同,但可能是同一个杂交种),并采用选育二环系的方法培育了大量自交系,在我国玉米育种和生产中发挥了巨大作用,其中最为著名的杂交种是 3147、3382 和 78599 等。利用 3147 培育出著名自交系沈 5003,利用 3382 培育出 U8112 和铁 7922。据不完全统计,沈 5003 衍生自交系至少 30 个,组配杂交种至少 24 个;铁 7922 衍生自交系至少 18 个,组配杂交种至少 23 个。沈 5003 与 U8112 杂交后选育出掖 478,与铁 7922 杂交选育出铁 C8605-2 和丹 9046。铁 C8605-2 衍生自交系 16 个,组配杂交种 14 个;丹 9046 衍生自交系至少 30 个,组配杂交种至少 10 个以上。此外,来源于美国杂交种 6JK111 的优良自交系沈 137 抗多种病害,组配的杂交种 33 个,但衍生的自交系不多。

利用杂交种 78599 选育的齐 319、丹 988 等优良自交系,形成了近年来我国独特的杂种优势群——P 群(赵久然,1999)。利用齐 319 组配的杂交种在 10 个以上,其中,杂交种鲁单 981 获 2009 年国家科技进步二等奖;利用丹 988 组配了 7 个杂交种,利用其衍生系组配了至少 5 个杂交种。从杂种优势利用模式来看,这类种质与 A 系列种质(包括 BSSS、瑞得、旅大红骨、自 330、Tuxpeno 等)易形成优良杂交种,而与 B 系列种质(包括兰卡斯特、Suwan、ETO 等)不易形成强杂种优势,因此,来自 78599 的这类种质可称为 PB 群种质,而从其他美国杂交种衍生出来的另外一部分自交系(如沈 5003 和掖 478)则称为 PA 群种质(高翔等,2004)。PB 群种质与塘四平头种质也有强杂种优势。

在热带和亚热带地区,利用引进的群体 Suwan(苏湾)、ETO 和 Tuxpeno(墨白 1 号)培育出大量自交系,如 M9 等。

1.2 我国玉米育种的种质基础

20 世纪 70 年代末,我国玉米育种中应用的种质主要是金皇后、获白、塘四平头、旅大红骨、兰卡斯

特 5 大系统(吴景锋,1983)。进入 80 年代以后,金皇后和获白系统逐渐减少,瑞得黄马牙系统逐年上升。到 80 年代末,我国生产上大面积使用的玉米杂交种的种质基础是塘四平头、旅大红骨、兰卡斯特和瑞得黄马牙(曾三省,1990)。王懿波(1998)在分析 1978 ~ 1994 年玉米杂交种的系谱后,认为 90 年代改良瑞得种质应用还在上升,而兰卡斯特种质应用逐步减少。把我国玉米育种种质分为 5 大杂种优势群 9 个亚群,即改良瑞得、兰卡斯特(包括 Mo17 和自 330)、旅大红骨、塘四平头和其他种质 5 类(包括 Suwan、外杂选、综合种选、其他低纬度种质)。赵久然(1999)提出,利用美国先锋杂交种 78599 培育的一系列自交系与国内 5 大种质类群遗传距离较远,并且均有强杂种优势,这类种质可称为 P 群,后来又被称为 PB 群(高翔等,2004)。滕文涛等(2004)分析了 1992 ~ 2001 年我国玉米杂种优势群的变化情形,发现在 20 世纪 90 年代初期主要杂种优势群是兰卡斯特、瑞得、塘四平头、自 330 和 E28;在 21 世纪初,主要杂种优势群为瑞得、温热 I(P 群)、自 330、塘四平头和兰卡斯特。孟义江等(2006)提出,我国玉米育种种质的杂种优势群划分过细,可划分为外引优势群、优势群和热带优势群。总的来看,我国玉米育种种质主要有 6 类,即旅大红骨种质、塘四平头种质、兰卡斯特种质、瑞得黄马牙种质、P 群种质和热带亚热带种质。

1.2.1 旅大红骨种质

旅大红骨种质育成的著名自交系主要包括旅 28、旅 9、旅 9 宽、丹 337、E28、丹 340、丹黄 02、丹 598 和丹 99 长等。这些自交系于 20 世纪 90 年代在玉米生产上发挥了重要作用,用这些自交系分别与改良 Reid 自交系、Mo17 群自交系组配的杂交种占审定品种的 17.5%和 17.8%(赵文媛等,2009)。E28 于 2001 年获得辽宁省科技进步一等奖,用其组配的杂交种丹玉 13 在 1989 年获得国家科技进步一等奖,在 90 年代初期的种植面积连续多年名列全国首位。丹 598 获 2007 年农业部神农中华农业科技一等奖,组配的杂交种有 47 个通过审定,其中 7 个通过国审,组配的杂交种东单 60 连续 6 年的种植面积位居全国前 10 名。

旅大红骨种质衍生出了大量自交系,除丹 340 外,E28、旅 9 宽、丹 598 和丹 360 分别衍生 6、8、18 个自交系,并且在生产上得到广泛利用。

1.2.2 塘四平头种质

利用塘四平头种质培育的著名自交系是黄早

四,由于黄早四具有配合力高、适应性广等优点,在我国玉米育种中应用十分广泛。各地育种家利用黄早四衍生出许多新的自交系,并且在生产上得到广泛应用。

昌 7-2 是塘四平头种质培育出的代表性自交系,也属黄早四衍生系。昌 7-2 继承了黄早四配合力高和雄穗发达等优点,并且抗多种病害,抗逆性强,适应性广。利用昌 7-2 配制杂交种 10 个以上,与掖 478 组配杂交种豫玉 23,与掖 478 的衍生系郑 58 组配杂交种郑单 958,郑单 958 自 2004 年以来种植面积一直名列全国第 1 位。吉 853 具有配合力高、综合农艺性状好和适应性广等优点,组配的玉米杂交种约 30 个。

1.2.3 兰卡斯特种质

我国兰卡斯特种质主要来自 Mo17、Oh43、C103、A619Ht 和 Va35 这 5 个自交系,前两者的衍生系占 77.1%(郑大浩等,2002)。Mo17 在我国玉米育种和生产中占有极其重要的地位。利用 C103 培育了 20 个衍生自交系,在生产中发挥了一定作用。兰卡斯特种质除在东北还有利用外,其他地区的应用范围已很少。

1.2.4 瑞得黄马牙种质

从 20 世纪 50 年代开始,我国引进了一批瑞得种质如 M14、W24、W59E、B73 等,并用于双交种和三交种的组配。后来利用美国引进的一批杂交种如 XL80、3147、U8 和 3382 等,育成了掖 107、U8112、掖 478、铁 7922、沈 5003 等优良自交系,组配的杂交种在我国玉米生产上发挥了巨大作用。多年来,这类种质一直被称为瑞得或改良瑞得种质(高翔等,2005)。含瑞得血缘的原武 02 获国家技术发明三等奖;利用瑞得种质组配的杂交种也曾多次获奖,四单 8 号获国家技术发明二等奖,沈单 7 号获国家科技进步二等奖,豫玉 11 获国家科技进步三等奖,掖单 12 获国家科技进步三等奖。

1.2.5 P 群种质

P 群种质是从先锋杂交种 P78599 或相似杂交种培育出来的自交系(赵久然,1999),又被称为温热种质(滕文涛等,2004),这些自交系包括 178、P138、87001、齐 319、丹 598、丹 599、掖 107 等。18-599 和 08-641 获 2008 年国家技术发明二等奖。据统计,利用这些自交系组配的优良杂交种 60 余个,其中利用 178 组配的杂交种农大 108 获 2002 年国家科技进步一等奖;利用豫自 78-1 组配的杂交种豫玉 22 获 2004 年国家科技进步二等奖;利用齐 319 组配的

杂交种鲁单 981 获 2009 年国家科技进步二等奖;利用约 83%的血缘来自 P 群种质的自交系 K10 组配的杂交种龙单 13 于 2004 年获国家科技进步二等奖。

1.2.6 热带亚热带种质

我国从 20 世纪 70 年代开始,从国外引进了大量热带亚热带种质。其中较为著名的包括 Tuxpeno、Suwan、ETO、墨白玉米和墨黄 9 号(Amarillo Dento-2)等。墨白玉米(墨白 1 号和墨白 94,即 Tuxpeno 1 和 Tuxpeno 1 P.B.C15)直接在南方推广 141.4 万 hm^2 以上;Suwan 1 和墨黄 9 号均直接推广 100 万 hm^2 以上。利用这些种质培育了几百个自交系,从 Suwan 1 号种质育成的 S37 及其衍生系 48-2 获 1995 年国家技术发明二等奖。同时,组配了一批适合南方玉米区的杂交种,对我国玉米育种和生产产生了一定影响,其中雅玉 2 号曾获四川省科技进步一等奖(高翔等,2005)。此外,我国还通过对热带亚热带玉米种质进行了群体适应性改良,培育了一些在北方部分地区也能利用的自交系。带有墨白种质血缘的自交系黄 C 是农大 108 的亲本,农大 108 获得 2002 年国家科技进步一等奖,其种植面积从 1999 年以来一直在我国名列前茅。

1.3 我国玉米育种种质基础的分子评价与种质划分

滕文涛等(2004)利用 SSR 标记对 84 份玉米自交系进行分析,将其划分为 7 个杂种优势群,包括瑞得群、兰卡斯特新群、自 330 群、塘四平头群、温热 I 群、E28 群、其他群。该研究把来源于国外杂交种和热带种质的一些自交系聚在了一起,称为温热 I 群,在传统种质划分研究中称为 P 群(赵久然等,1999)。

Li 等(2002)、Yu 等(2007)和 Wang 等(2008)对我国主要玉米自交系进行了遗传多样性和群体结构分析,认为我国主要玉米自交系可分为改良瑞得群、兰卡斯特新群、塘四平头群、P 群和混合群。Xie 等(2007)利用 SSR 标记对 187 份自交系进行亲缘关系分析,认为可将其分为 6 个类群,即 PA、BSSS(含瑞得)、PB、兰卡斯特新群、旅大红骨、塘四平头。PA 含有大量热带亚热带血缘的自交系,其中较为著名的是沈 5003、K10;BSSS 即传统的改良瑞得群,掖 478 和 U8112 与 BSSS 分别有 82%和 95%的血缘关系,其他较为著名的自交系还包括铁 7922;PB 即传统的 P 群,包括农大 178、齐 319、P138 等;旅大红骨群包括 Oh43、综 31、丹 340 等

Lu 等(2009)用 1536 个 SNP 标记对 282 份我国玉米自交系进行了分子评价,得到的结论与 Xie 等

(2007) 基本相同, 聚类分析把这些种质划分成 6 个群: 四平头群(SPT)包括黄早四、昌 7-2、K12、吉 853、H21、四 444、双 105、Q1261、掖 107、黄野四 3、西 502、Lx9801、武 109、交 51 等,基本上与系谱有对应关系; 兰卡斯特群(Lancaster)包括 Mo17、4F1、吉 842、吉 846、海 1134、K10 等; 旅大红骨群(LRC)包括丹 340、丹 9046、自 330、四 446、A619、综 3、综 31、48-2、E28、旅 28、DH02、郑 22、郑 58 等; PA 群包括沈 5003、黄 C、中黄 64、铁 7922、C8605、U8112、掖 478 等; PB 群包括丹 598、178、P136、中自 01、P138、沈 137、许 05、丹 599、齐 319 等; BSSS 群包括 B73、郑 32、南 21-3、N28、东 237 等。

除热带亚热带自交系外, 我国温带自交系主要划分为塘四平头群、兰卡斯特群、类兰卡斯特群、PA 群、PB 群和 PC 群。其中, 类兰卡斯特群包括传统意义上的自 330 亚群和旅大红骨群, PC 倾向 BSSS, PA 倾向瑞得。相对 PC 来说, PA 和 PB 关系更近些。塘四平头群与其他 5 个群关系均相对较远, 在我国玉米育种中仍将发挥重要作用。

2 我国典型的玉米骨干亲本

庄巧生(2003)提出, 骨干亲本是指那些在杂交育种中起着骨干作用、衍生的推广品种数目较多、对生产贡献较大的育种材料。刘旭(2009)认为, 农作物骨

干亲本除本身具备优良性状外, 还具有高配合力的特点, 易与其他亲本杂交育成优良品种。在各种作物的育种中均广泛存在骨干亲本现象。骨干亲本有 3 个特点: 综合性状优良、一般配合力高、适应性广, 这类亲本又可称为“基础骨干亲本”; 还有一类可称为“供体骨干亲本”, 它们在育种中主要利用其独特的性状。

本文把衍生自交系 20 个以上、组配的杂交种(通过审定)30 个以上的玉米自交系称为骨干亲本。按照该标准, 中国玉米的骨干亲本包括丹 340、黄早四、自 330、Mo17、掖 478。如把这个标准略微放宽, 则可包括铁 7922、沈 5003、U8112、铁 C8605-2、丹 9046 等。

2.1 丹 340

利用丹 340 衍生的自交系 60 个以上, 组配的杂交种 47 个, 其中 8 个通过国审(赵文媛等, 2009)。该自交系 2000 年获得辽宁省科技进步一等奖, 利用其组配的杂交种掖单 13 获 2003 年国家科技进步一等奖, 在全国三分之二的玉米带都有种植。

丹 340 具有果穗粗、穗行数多、叶片宽大、雄穗发达、抗倒伏、配合力高、生育期适中等特点。抗玉米茎腐病、瘤黑粉病, 中抗弯孢菌叶斑病, 不抗丝黑穗病、纹枯病、普通锈病、灰斑病。衍生自交系重点解决抗病、抗倒伏能力差的问题。

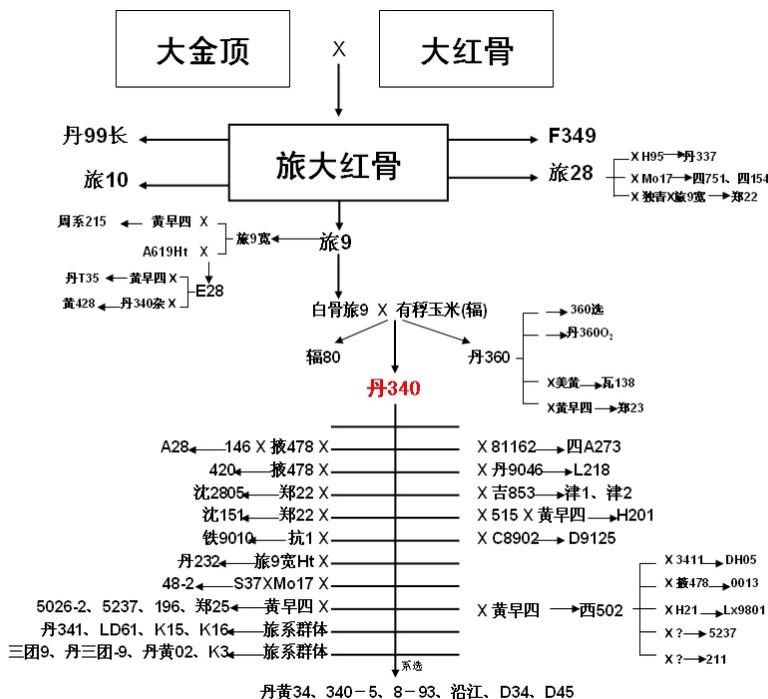


图 1 骨干亲本丹 340 及其衍生自交系的系谱

Fig. 1 Pedigree of foundation parents Dan340 and derived inbred lines

2.2 黄早四

黄早四衍生自交系至少 70 个,组配的杂交种至少 81 个,推广面积 4 000 万 hm^2 以上。该自交系的育成开创了我国紧凑型玉米育种和生产的新局面,2001 年获国家科技进步一等奖。利用其组配的杂交种烟单 14 获 1987 年国家科技进步二等奖;利用其衍生系昌 7-2 组配的杂交种郑单 958 获 2007 年国家科技进步一等奖;衍生系 Lx9801 组配的杂交种鲁单 981 获 2009 年国家科技进步二等奖。

黄早四配合力高,抗大斑病和矮花叶病毒病,穗部综合性状好,叶片上冲,株型紧凑,花粉量大,灌浆速度快,生育期适中,结实性好,适应性广。黄早四携

带有矮花叶病毒病抗性基因 *mdml(t)*、禾谷镰刀菌抗性基因 *Rfg*(赵峰等,2008)。黄早四具有抗倒性差、保绿性差、商品性差(子粒为黄白粒)等缺点,感弯孢菌叶斑病、丝黑穗病、青枯病、灰斑病、普通锈病、纹枯病,因此影响其利用。黄早四改良系在保持黄早四优点的前提下,重点解决抗病、抗倒伏能力和子粒色泽问题。黄早四衍生系 K12 配合力高、抗逆性强、适应性广,利用其组配了至少 10 个杂交种;昌 7-2 配合力高、抗病性好、抗逆性强,利用其组配了至少 11 个杂交种;444 抗多种病虫害、配合力高,利用其组配了 10 多个杂交种。



图 2 骨干亲本黄早四及其衍生自交系的系谱

Fig.2 Pedigree of foundation parents Huangzaosi and derived inbred lines

2.3 自 330

自 330 是从 Oh43 × 克利 67 中选出的二环系。自 330 衍生自交系至少 25 个,组配杂交种 67 个。自 330 自交系 1982 年获国家技术发明一等奖,利用其组配的杂交种丹玉 6 号获 1982 年科学大会奖;中单 2 号获 1984 年国家技术发明一等奖。农大 108 的亲本之一黄 C 也有自 330 的血缘。自 330 及其衍生系的应用在 20 世纪 80 年代达到高峰,此后逐年下降,近年来在育种中已很少利用。

自 330 光合作用强,抗茎腐病和普通锈病,中抗瘤黑粉病和丝黑穗病,不抗灰斑病、弯孢菌叶斑病、纹枯病。

2.4 Mo17

自 Mo17 于 1973 年引进以来,在我国玉米育种和生产上发挥了巨大作用。Mo17 衍生自交系 55 个,组配杂交种至少 98 个。在 20 世纪 90 年代推广面积在 67 万 hm^2 以上的杂交种中,就有 5 个(丹玉 13、中单 2 号、四单 19、烟单 14、本玉 9 号)是以 Mo17 为亲本组配的,其中,中单 2 号获 1984 年国家发明二等奖;烟单 14 获 1987 年国家科技进步二等奖;丹玉 13 获 1989 年国家科技进步一等奖;四单 8 号获国家技术发明二等奖。

Mo17 配合力高,抗倒性强,高抗大、小斑病,中抗青枯病和弯孢菌叶斑病,特别是抗丝黑穗病性好,

长穗大粒,繁殖系数高,因此在我国玉米育种中得到了广泛应用,目前东北地区多个杂交种有 Mo17 血缘。但 Mo17 感矮花叶病毒病、灰斑病、粒腐病。其衍

生系重点解决抗逆性问题。Mo17 衍生系合 344 配合力高,利用其组配了至少 9 个杂交种。

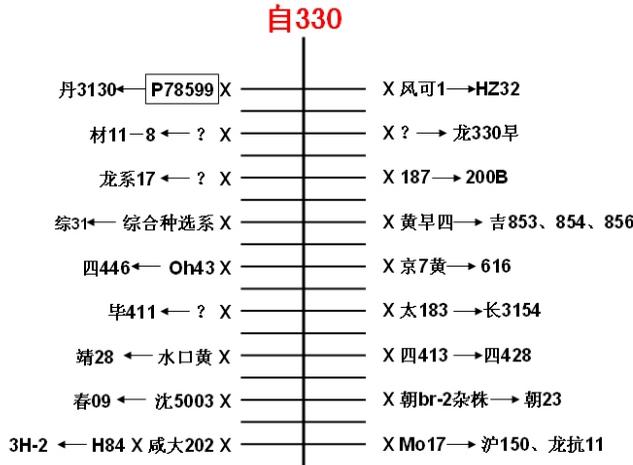


图3 骨干亲本自330及其衍生自交系的系谱

Fig.3 Pedigree of foundation parents 320 and derived inbred lines

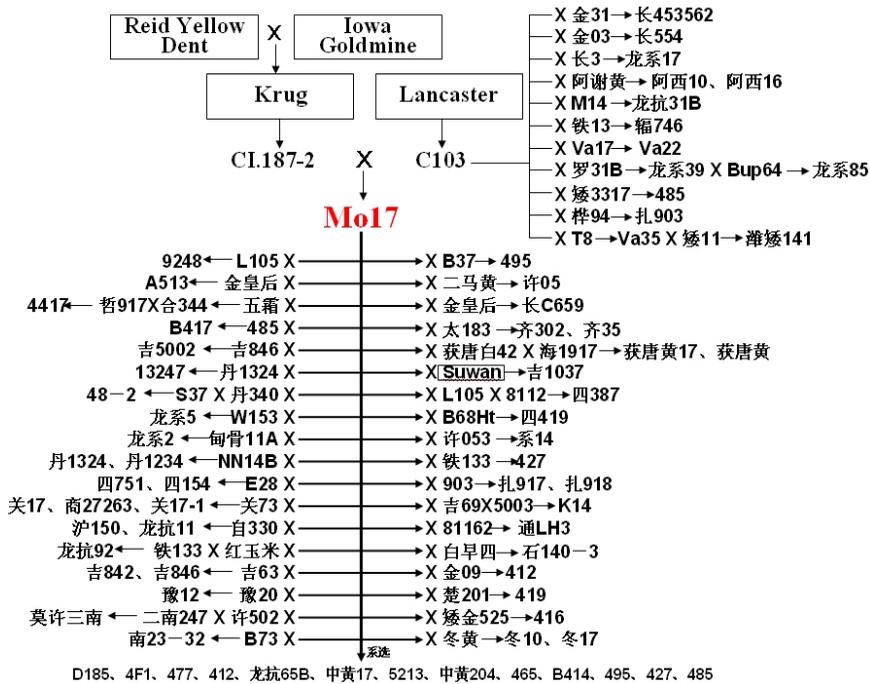


图4 骨干亲本 Mo17 及其衍生自交系的系谱

Fig.4 Pedigree of foundation parents Mo17 and derived inbred lines

2.5 掖 478

掖 478 衍生自交系至少 30 个, 组配杂交种 58 个。该自交系 2006 年获国家科技进步二等奖, 利用其组配的杂交种掖单 13 获 2003 年国家科技进步一等奖; 利用其衍生系郑 58 组配的杂交种郑单 958 获 2007 年国家科技进步一等奖; 掖单 12 获国家科技进步三等奖。

掖 478 配合力高, 繁殖产量高, 株型紧凑, 叶片上冲, 适于密植, 植株矮, 穗位低, 茎秆坚硬, 抗倒性强; 高抗大、小斑病、丝黑穗病和青枯病, 抗矮花叶病毒病和粗缩病, 中抗普通锈病, 对其他一些病害(如弯孢菌叶斑病、纹枯病、锈病、灰斑病等)抗性较弱。该自交系产量高, 适应性广。衍生自交系重要解决其抗病性问题。

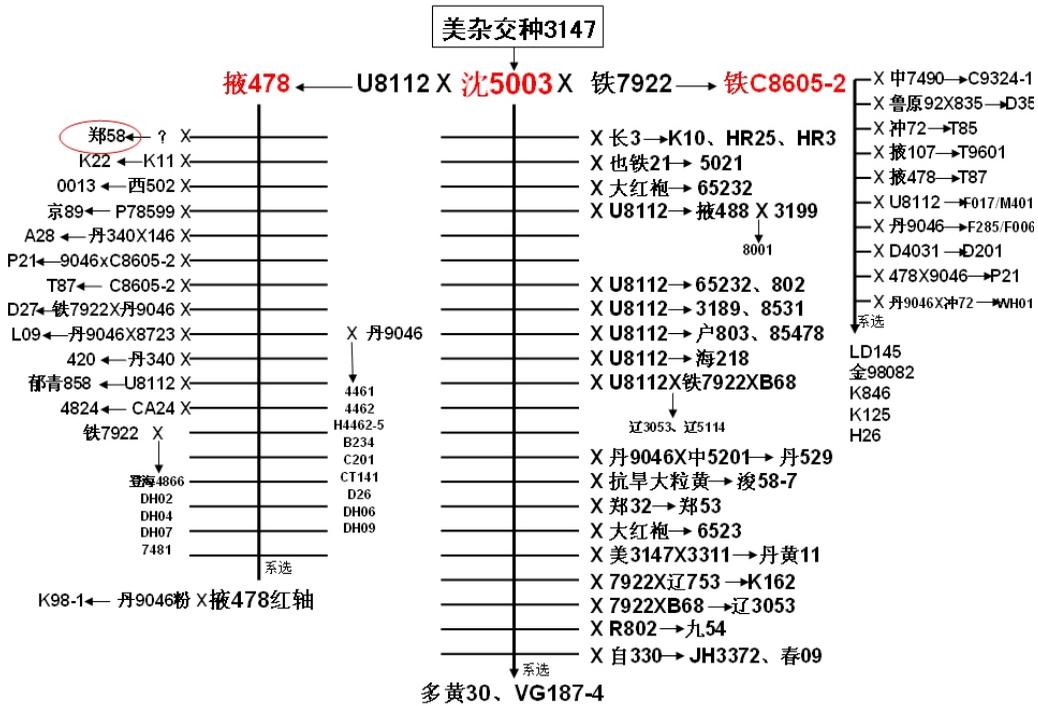


图 5 骨干亲本掖 478 及其衍生自交系的系谱

Fig.5 Pedigree of foundation parents Ye478 and derived inbred lines

2.6 其他

U8112、铁 7922、沈 5003、铁 C8605-2、丹 9046 衍生多个自交系。U8112 衍生自交系至少 20 个,组

配杂交种至少 53 个。U8112 获国家技术发明四等奖,利用其组配的杂交种豫玉 11 获国家科技进步三等奖。U8112 不抗灰斑病、弯孢菌叶斑病。

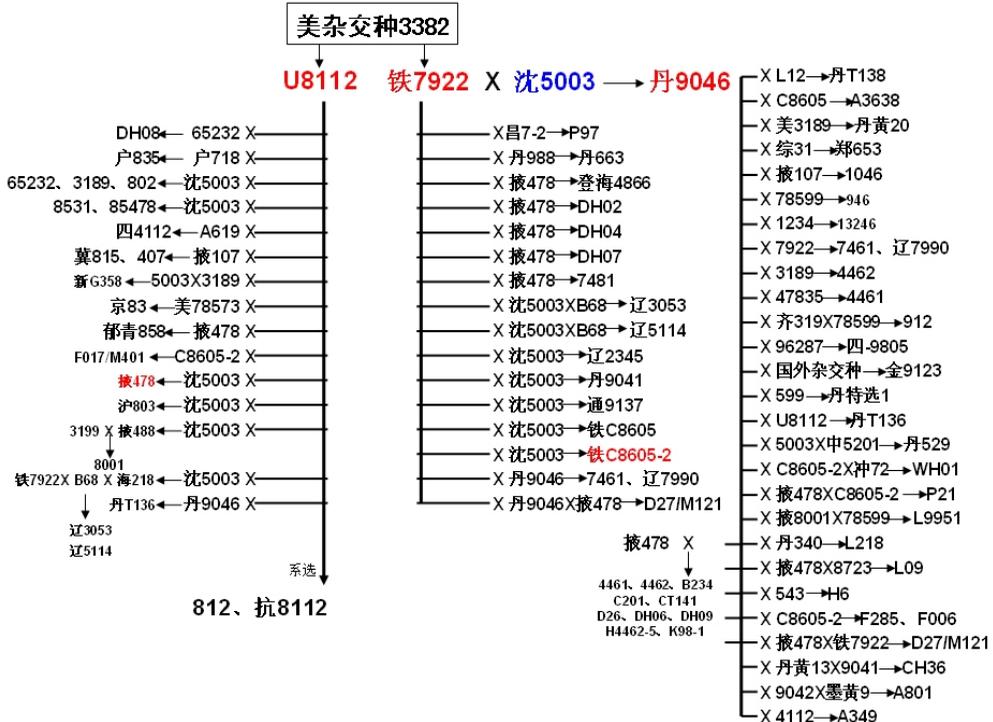


图 6 骨干亲本 U8112 及其衍生自交系的系谱

Fig.6 Pedigree of foundation parents U8112 and derived inbred lines

3 展 望

3.1 种质资源研究

从种植面积上讲,玉米已成为我国第一大作物,并且单产也在逐年提高。但我国玉米育种的种质基础还是相对狭窄。1980~2004年美国先锋公司培育的玉米杂交种可追溯到82个基础材料(Smith, 2007)。因此,我国玉米种质资源研究需要在做好基础性工作(包括广泛从国外引进种质资源、繁种入库和分发)的基础上,加大力度做好种质资源的精准鉴定工作,包括对重要农艺性状特别是抗性的鉴定评价,对核心种质资源进行深入的分子评价,从中挖掘新基因和有益等位基因,并充分利用基因组学的研究成果,应用分子标记辅助创新和分子设计等新理论和新技术,培育出适合未来育种目标的新材料。

3.2 骨干亲本研究

近年来,国际上对作物育种中使用的骨干亲本进行了一些研究,重点是阐明骨干亲本的表型特征和基因型特征。在玉米上,已对黄早四、自330、Mo17、丹340等骨干亲本及其衍生自交系进行了表型特征和基因型特征的初步研究,并对其控制重要性状的基因组区段及其表达进行了探讨。今后将针对骨干亲本的系谱、表型、基因组区段、基因和等位基因功能、互作效应等开展系统研究,系统揭示骨干亲本的表型与基因型特征、骨干作用、优良基因及其等位变异的遗传与作用机理,创立骨干亲本的早期预测模型和人工创造或改良骨干亲本途径的新理论和新方法。

参考文献:

- [1] Li Y, Du J, Wang T, et al. Genetic diversity and relationships among Chinese maize inbred lines revealed by SSR markers[J]. *Maydica*, 2002, 47: 93-101.
- [2] Lu Y, Yan J, Guimaraes C T, et al. Molecular characterization of global maize breeding germplasm based on genome-wide single nucleotide polymorphisms[J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2009, 120: 93-115.
- [3] Russell J R, Ellis R P, Thomas W T B, et al. A retrospective analysis of spring barley germplasm development from 'foundation genotypes' to currently successful cultivars[J]. *Molecular Breeding*, 2000, 6: 553-568.
- [4] Smith S. Pedigree background changes in U.S. hybrid maize between 1980 and 2004[J]. *Crop Sci.*, 2007, 47: 1914-1926.
- [5] Wang R, Yu Y, Zhao J, et al. Population structure and linkage disequilibrium of a mini core set of maize inbred lines in China[J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2008, 117: 1141-1153.
- [6] Xie C, Zhang S, Li M, et al. Inferring genome ancestry and estimating molecular relatedness among 187 Chinese maize inbred lines[J]. *Journal of Genetics and Genomics*, 2007, 34(8): 738-748.
- [7] Yu Y, Wang R, Shi Y, et al. Genetic diversity and structure of the core collection for maize inbred lines in China[J]. *Maydica*, 2007, 52: 181-194.
- [8] 高翔,陈泽辉,祝云芳,等.美国 Reid 种质在中国玉米育种和生产中的作用[J]. *中国农学通报*, 2005, 21(1): 120-123.
- [9] 高翔,罗仕文,彭忠华,等.浅析 Tuxpeno 和 Suwan 等(亚)热带种质在中国玉米育种中的作用[J]. *玉米科学*, 2005, 13(4): 40-43.
- [10] 高翔,王进,彭忠华,等.国外玉米种质 P78599 的杂种优势利用模式初探[J]. *作物杂志*, 2004(6): 46-50.
- [11] 黄益勤,李建生.利用 RFLP 标记划分 45 份玉米自交系杂种优势群的研究[J]. *中国农业科学*, 2001, 34(3): 244-250.
- [12] 李艳天,丁朝瑞,张宏伟,等.玉米“自 330”的血缘与系谱分析[J]. *玉米科学*, 2002, 10(3): 39-40.
- [13] 孟义江,高进军.中国玉米优势群划分和利用研究[J]. *玉米科学*, 2006, 14(1): 16-17.
- [14] 滕文涛,曹靖生,陈彦惠,等.十年来中国玉米杂种优势群及其模式变化的分析[J]. *中国农业科学*, 2004, 37(12): 1804-1811.
- [15] 王懿波,王振华,陆利行,等.中国玉米种质基础、杂种优势群划分与杂优模式研究[J]. *玉米科学*, 1998, 6(1): 9-13.
- [16] 王懿波,王振华,王永普,等.中国玉米主要种质的改良与杂优模式的利用[J]. *玉米科学*, 1999, 7(1): 1-8.
- [17] 王永普,刘继平,姜鸿勋.我国玉米地方种质资源在育种中的应用[J]. *中国种业*, 2003(10): 15-16.
- [18] 吴景锋.我国主要玉米杂交种种质基础评述[J]. *中国农业科学*, 1983(2): 1-8.
- [19] 曾三省.中国玉米杂交种的种质基础[J]. *中国农业科学*, 1990, 23(4): 1-9.
- [20] 张洋,张喜华.玉米 78599 种质的杂优模式及其改良利用[J]. *玉米科学*, 2008, 16(3): 37-40.
- [21] 赵峰,孟祥兵,李卫华,等.玉米骨干亲本黄早四抗病基因遗传传递规律的初步研究[J]. *玉米科学*, 2008, 16(6): 15-18.
- [22] 赵久然.应用 RAPD 分子标记技术对我国玉米自交系进行类群划分[J]. *华北农学报*, 1999, 14(1): 32-37.
- [23] 赵文媛,刘日尊,刘旭.丹玉旅系在我国玉米生产上的应用前景[J]. *玉米科学*, 2009, 17(6): 24-26.
- [24] 郑大浩,李艳茹,金锋学,等.中国玉米 Lancaster 杂种优势群自交系的系谱、种质基础分析[J]. *中国农业科学*, 2002, 35(7): 750-757.

(责任编辑:姜媛媛)