

美国商业玉米种质来源及系谱分析

孙琦, 李文才, 于彦丽, 赵勤, 李文兰, 孟昭东

(山东省农业科学院玉米研究所/小麦玉米国家工程实验室/农业部黄淮海北部玉米生物学与遗传育种重点实验室, 济南 250100)

摘要: 搜集和整理美国开放授粉品种、自交系选育及杂种优势群的形成系谱图, 根据 1980~2008 年解密的美商商业玉米自交系种质来源, 绘制美国商业玉米种质系谱图。系谱分析表明, 美国商业玉米的种质基础几乎全部来自于开放授粉品种。开放授粉品种瑞德黄马牙中选育形成 Iodent 类群种质与衣阿华坚秆综合种(BSSS); leaming corn 选育形成商业种质 OH07 类群; Lancaster sure crop 选育形成 Lancaster 种质类群; Minnesota13、Lancaster sure crop、瑞德黄马牙共同选育形成 OH43 种质类群自交系。美国商业玉米的种质自交系分为母本群和父本群, 母本群包括 BSSS 种质自交系以及融入阿根廷 Amargo 血缘的新种质; 父本群包括 Iodent、Lancaster、OH07、OH43、商业杂交种选系 5 大类。

关键词: 玉米; 种质; 来源; 系谱

中图分类号: S513.024

文献标识码: A

Pedigree Analysis on Maize Germplasm Origination of Commercial Breeding

SUN Qi, LI Wen-cai, YU Yan-li, ZHAO Meng, LI Wen-lan, MENG Zhao-dong

(Maize Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, National Engineering Laboratory of Wheat and Maize, State Key Laboratory of the Ministry of Agriculture on Corn Biological and Genetic Breeding in the Northern of Huang Huai Plain, Jinan 250100, China)

Abstract: The pedigree evolution map from OPVs to inbred lines and heterosis population was collected and analyzed. Modern commercial maize germplasm pedigree map was made through analysis on origination of inbred lines whose patent expired. The result of pedigree analysis indicated that germplasm base of commercial maize breeding was from OPVs. The Iodent and BSSS germplasm were bred from OPV variety Reid Yellow Dent, OH07 germplasm was derived from Leaming maize; Lancaster germplasm formed from OPV Lancaster sure crop; Oh43 germplasm was selected from Minnesota13, Lancaster sure crop and Reid Yellow Dent. The inbred lines of commercial breeding were divided into female group and male group. The female group included two types: One was BSSS germplasm. Another was new BSSS germplasm integrated Amargo strain. Male group included five populations of Iodent, Lancaster, OH07, OH43 and inbred lines from commercial hybrids.

Key words: Maize; Germplasm; Origination; Pedigree

美国玉米育种处于全球领先地位, 拥有丰富的种质资源, 美国种质利用率每增加一个百分点, 玉米平均产量增益约 10 kg/hm²。利用和创新美国种质是拓宽我国种质资源, 提高育种效率的重要途径, 引

进和利用外来优良种质是我国近代玉米育种的重要途径之一。我国近代引入美国玉米杂交种经历了 3 个过程, 形成了 PA 与 PB 两大玉米杂种优势群。

近年来, 随着美国先锋种业与孟山都公司进入国内市场, 育成了先玉 335、DK517 等优良品种, 这些品种具有耐密植、后期脱水快、出籽率高、抗逆性强等优点。随着推广面积逐渐增加, 审定品种的数量也在迅速增加, 对我国玉米育种和生产产生了巨大的冲击, 同时, 也为利用最新外来种质资源创造了条件。明晰美国玉米种质基础及其现有美国种质自

收稿日期: 2015-08-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(31401457)、山东省农业产业技术体系(SDAIT-01-022-04)、泰山学者种业人才计划

作者简介: 孙琦(1978-), 女, 博士, 研究方向为玉米遗传育种。

E-mail: 15069169013@sina.cn

孟昭东为本文通讯作者。

交系的系谱来源会相应提高我国玉米杂种优势利用的水平,也可为适宜机收等玉米种质的选育提供重要资源。

美国玉米品种经历了开放授粉品种、双交种、单交种阶段,玉米种质也是从开放授粉群体到公益性单位选育的自交系,再到商业化育种中保护的自交系。因此美国的玉米种质分为公益性单位选育的种质与商业化育种中应用的玉米种质。Troyer等从玉米的种族、开放授粉品种到自交系的选育方面介绍了美国公益单位玉米种质资源的历史演变^[2~4]。姚杰等对这些内容进行了翻译整理,并介绍了在中国的应用状况^[5,6]。Mickel等根据1980~2004年间保护的玉米自交系中305个解密自交系信息,分析了美国商业玉米的种质基础^[7];2008年利用亲缘系数分析了1995~2001年47个玉米杂交种的种质基础^[8]。Mickel等分析了1984~2008年间玉米自交系遗传基础的变化^[9]。张世煌在Mickel研究的基础上,进一步对美国玉米种质母本群、父本群的遗传组成进行汇总与整理,母本群包含BSSS和Maize Amargo种质,BSSS种质以B73、B37、B14为代表,Amargo以PHG39为代表;父本群包括Lancaster种质,以Mo17

与LH51为代表,OH43种质以PHG47为代表,LH82种质来自Minn13,Iodent种质以PH207为代表,OH07种质以PH595为代表,LH123种质来源于OH43/Lancaster^[10]。

本文根据Troyer等介绍的美国杂交玉米的遗传基础和姚杰等整理的美国当代玉米种质的演变等资料进行进一步的梳理,绘制美国开放授粉品种到自交系选育及杂种优势群的形成系谱图。根据1980~2008年解密的美商商业玉米自交系种质来源绘制美国商业玉米种质系谱图,将商业玉米的种质基础与开放授粉品种进行衔接。

1 美国开放授粉玉米品种—杂种优势群的形成

美国早期的开放授粉品种包括北方硬粒与南方马齿两种类型,1916年品种数量最高达到1 000个左右,后来广泛适应和流行并保持下来的品种包括瑞德黄马牙、Lancaster sure crop、Minnesota13、Leaming等几种类型。这些品种经过选育形成了后来美国商业玉米育种中的几大杂种优势群,如BSSS、Iodent、Lancaster、OH07和OH43等。

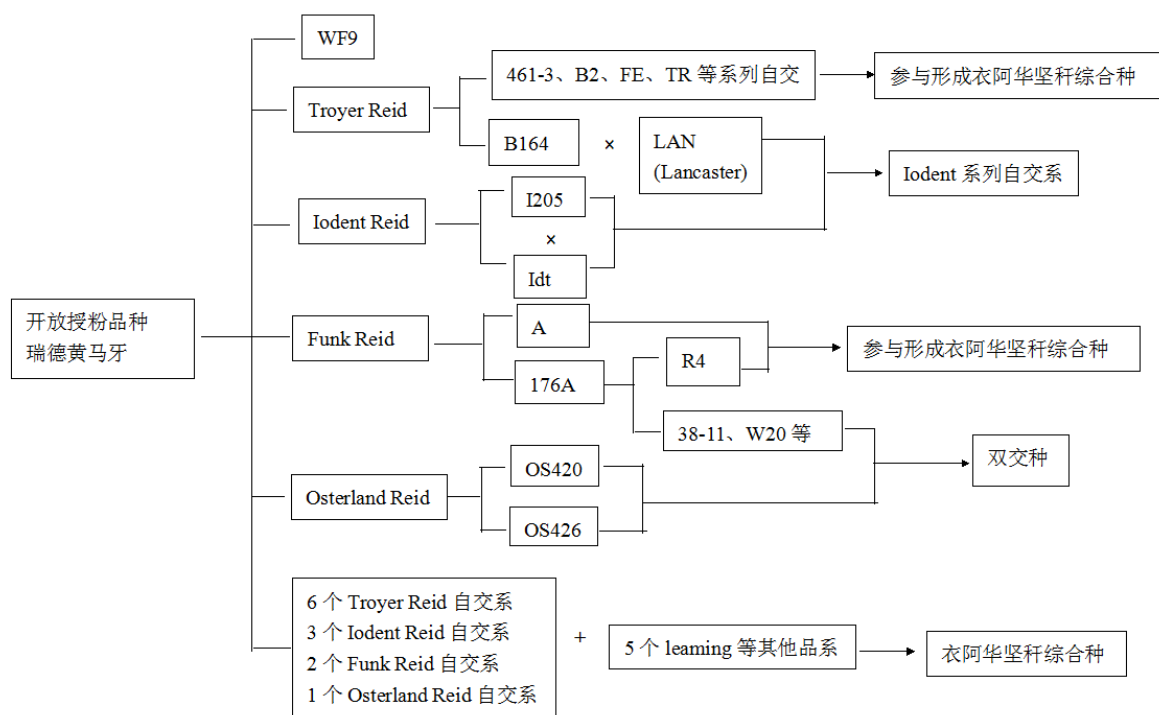


图1 美国开放授粉品种瑞德黄马牙选育自交系及其Iodent、衣阿华坚秆综合种(BSSS)的形成

Fig.1 OPV Reid Yellow Dent selection inbred lines, with Iodent and BSSS population formed

开放授粉品种瑞德黄马牙是Robert和James Reid培育的。在目前的美国商业玉米种质中,瑞德黄马牙占50%。从图1可以看出,从瑞德黄马牙中

直接选出Troyer Reid、Funk Reid、Iodent Reid、Osterland Reid等品系。从这些品系中选育了一系列自交系,最终选育形成了Iodent类群种质与衣阿华坚秆

综合种(BSSS)。Iodent种质的形成,从Iodent Reid品种中选育的自交系I205、Idt,以(I205×Idt)为轮回亲本,(B164×LAN)为非轮回亲本,经过多代轮回选择,选育了一系列的Iodent自交系。因此,瑞德黄马牙并不是仅仅衍生出美国的母本群自交系,也衍生出父本群的Iodent种质。

BSSS是由15个自交系加上5个品种合成的综合种,其中6个来源于TroyerReid,包括B164、461-3、TR(图1),占30%;3个来源于IodentReid,占15%;2个来源于Funk Reid,占10%;Black、Krug、Osterland和WaldenReid各有1个;5个品种包括Illinois Two Ear (ChesterLeaming)、IllinoisHighYield (来源于一个不能辨别的品种)、Illinois Low Ear(Leaming)、EichenbergerClarage和KansasSunflower。

从图1可以看出,从Troyer Reid品系中选育了B164、461-3、TR等系列自交系,从Funk Reid中选育的A与R4参与了衣阿华坚秆综合种的形成。瑞德黄马牙除了选育出Iodent与BSSS群自交系,还直接选育出了自交系WF9、38-11、W20、OS420、OS426等,这些自交系形成了美国早期的玉米双交种。

Lancaster Sure Crop是由一个淡紫色小细穗半硬粒品种中选育而成,优点是早熟和耐旱,是自交系C103的亲本,后来逐步形成了以Mo17为代表的Lancaster种质。David Richey进一步培育出Richey Lancaster品种,从中选育的自交系OH40B参与了OH43系列自交系的形成。Minnesota13,黄色马齿型,早熟且高产,明尼苏达州和威斯康星州最早一批杂交种的亲本自交系是从Minnesota13中选育的,Minnesota13也是选育二环系的早熟资源,选育的自交系WM13参与了自交系OH43的形成;选育的自交系W531R,形成了核心自交系LH82,该自交系后来成为美国商业玉米种质背景中一类重要的种质类群。Leaming corn是第一个被广泛种植的开放授粉品种,性状特点为早熟和高产。Leaming玉米作为亲本形成了自交系Oh07,后来又逐渐衍生为商业玉米种质基础的一个主要类群。Chester从Leaming品种中选择早熟果穗,培育出Chester Leaming品种,Chester Leaming选育的部分品系参与了衣阿华坚秆综合种(BSSS)的形成(图2)。

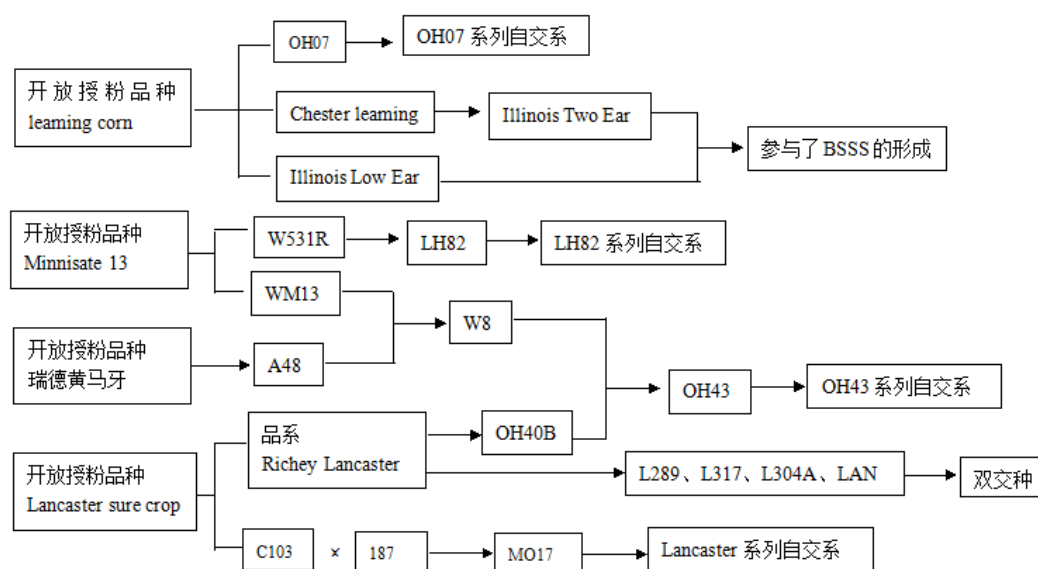


图2 美国开放授粉品种Leaming maize、Minnesota13、Lancaster sure crop选育自交系及其OH07、OH43、Lancaster等种质的形成

Fig.2 OPV Leaming maize, Minnesota13 and Lancaster sure crop selection inbred lines, with OH07, OH43 and Lancaster population formed

2 美国商业玉米种质基础系谱

美国的玉米育种由开放授粉品种选育玉米自交系的过程是由公益性单位完成的,当时的种质资源信息是公开的。但随着种子公司的兴起与发展,玉米育种由公益性单位过渡到种子公

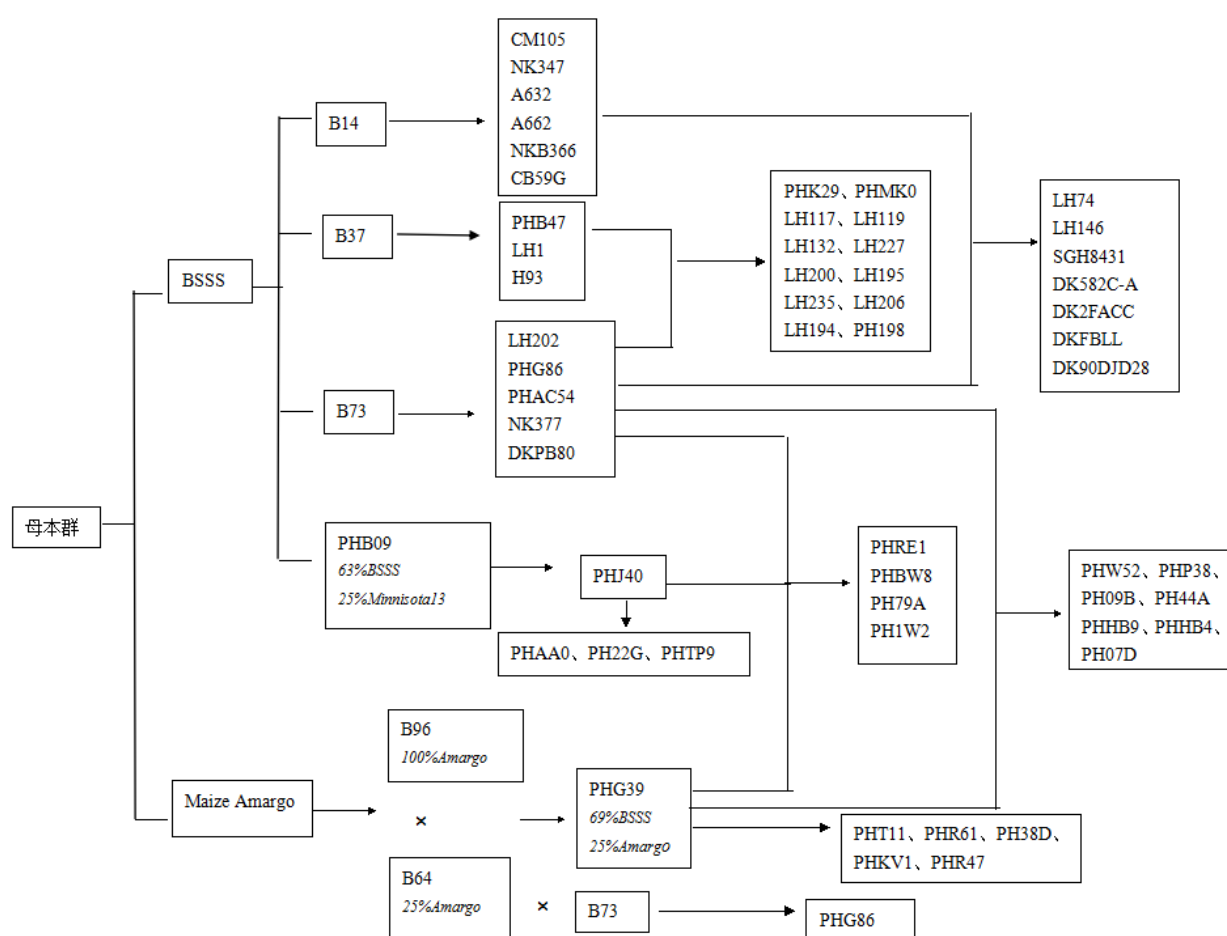
司,商业玉米育种时代。选育的自交系与杂交种申请了新品种保护,资源信息不再共享,系谱关系不清晰。鉴于此,根据Mickle、石雷等对美国重要解密自交系信息的整理,整理绘制了美国商业玉米种质系谱图。

2.1 母本群自交系种质基础系谱分析

图3为母本群自交系的种质系谱图,母本群自

交系包括两类,一是BSSS群自交系,以B37、B14、B73为代表,这3个自交系各自形成了衍生系,其中,B73形成的衍生系最多,在所有的衍生系中由公益性单位选育的自交系占的比例较大,如衣阿华大学的A632、A634,康奈尔大学的CB59G等,其余为公司选育的自交系,这个时间段正处于体现了美国玉米育种由公益性单位向种子公司的转移过程;B73与B14相互改良形成了新的亚群,包括LH74、DKFACC等;B37与B73相互改良形成了新的亚群,以LH系列自交系为主;除此以外还有BSSS选育的自交系PHB09,形成衍生系PHJ40是先锋公司的核心种质,在育种上大量应用。二是在BSSS种质中加

入阿根廷热带种质 Amargo,形成的新种质类群以PHG39为代表,PHG39与B73相互杂交形成了很多衍生系,包括PHW52、PH09B等;PHG39、PHJ40、B73相互杂交形成了部分衍生系。从图3可以看出,先锋公司的母本群自交系以B73与PHG39作为种质基础,形成了多个衍生系,在这些衍生系中,PHP38与PHHB9被重点利用,作为亲本之一选育了多个二环系。孟山都迪卡公司的母本群自交系以B73、B14等衍生系为主,DK2FACC、DKFBLL、DK90DJD28自交系形成了母本群的核心种质。Holden公司的母本群自交系以B73、B37的衍生系为主。



注:PH为先锋种业公司;LH为孟山都旗下的Holden Foundation公司;DK为孟山都种业公司;NK、SG为先正达种业公司。下同。

Note: PH, Pioneer Hi-Bred international; LH, Holden Foundation Seeds; DK, Delkab Genetics; NK, SG, Syngenta. The same below.

图3 美国解密自交系母本群种质系谱分析

Fig.3 Pedigree analysis on expired inbred lines of female group

2.2 父本群自交系种质系谱分析

在美国商业玉米育种中锁定BSSS种质为母本群以后,其余的种质类群都划为NSS种质类群。NSS种质依据系谱来源可分为OH43、Lancaster、OH07、Iodent、商业杂交种选系5大类。来自开放授

粉品种瑞德黄马牙的Iodent类群自交系PHG3RZ1和PHG3BD2杂交选育的自交系PH207成为该类群的核心种质,选育了多个衍生系,其中,与类群内部的自交系杂交选育的自交系较多,其余的还有与BSSS、OH07的自交系组配选育了新的衍生系;

OH07 自交系来自开放授粉品种 Leaming corn, 其衍生系 PH595 为该类群的代表性自交系, 形成大量的改良系, 目前, OH07 群的自交系不再是单纯的 leaming corn 的遗传基础, 融入了其他类群的种质, 包括 Iodent、Lancaster 等(图 4); OH43 自交系的形成是基

于 Minnisota13、瑞德黄马牙、Lancaster 等遗传基础, 因此, 该类群自交系的形成也是包含这些类群的种质基础; OH43 与 Iodent 为基础形成的自交系 PHG47 成为 OH43 类群的代表性自交系。

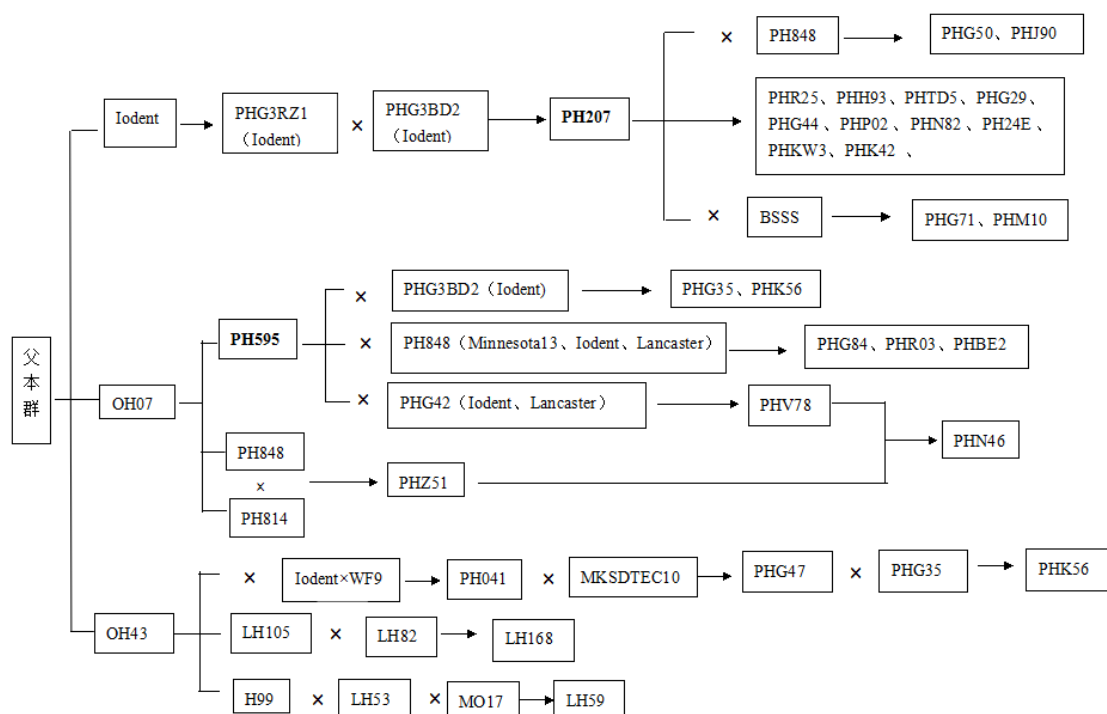


图4 美国解密自交系父本群中 Iodent、OH07 与 OH43 种质系谱分析

Fig.4 Pedigree analysis on Iodent, Oh07 and Oh43 population from expired inbred lines of male group in the U.S.

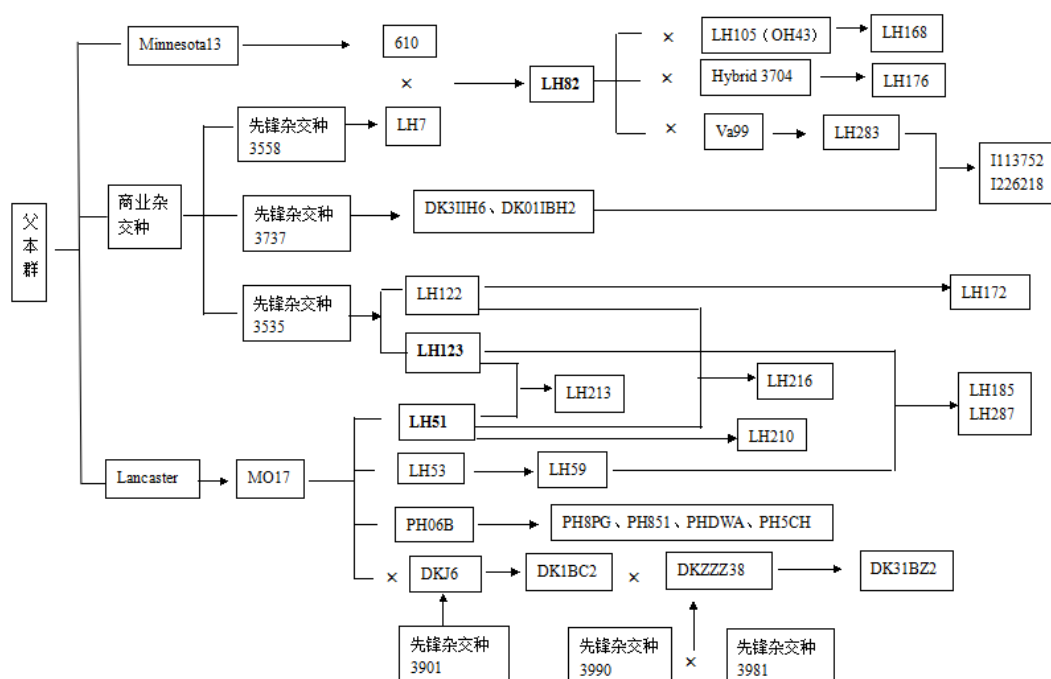


图5 美国解密自交系父本群中商业杂交种选系与 Lancaster 种质系谱分析

Fig.5 Pedigree analysis on inbred lines from commercial hybrids and Lancaster population from expired inbred lines of male group in the U.S.

从图5可以看出,Lancaster群自交系Mo17形成多个衍生系,其中,代表性自交系为LH51、LH53、PH06B、DK1BC2,LH51、LH53与先锋杂交种3535选系杂交形成了多个衍生系。早期的优良商业玉米杂交种也被用于自交系的选系中,并选育了大量的优良自交系。选育自交系较多的杂交种包括先锋3558、3737和3535,先锋杂交种3737主要是被孟山都公司用来选系,形成了大量的DK系列自交系;先锋杂交种3535选育了LH122、LH123优良自交系,这两个自交系与Lancaster自交系LH51杂交形成了LH216、LH187等自交系。因此,现在的NSS自交系大多数来源于5个重要的骨干自交系LH82、LH123、PH207、PH595和Mo17。

从图4、图5可以看出,先锋公司的NSS自交系主要包括Iodent类群代表性自交系PH207的衍生系;OH07类群代表性自交系PH595的衍生系;Lancaster类群Mo17的衍生系PH06B也产生了一些衍生自交系。孟山都公司的NSS自交系最早以Lancaster类群Mo17衍生系为主,后来逐渐被先锋杂交种3737选系所代替。孟山都旗下的Hoden公司的NSS自交系包括先锋杂交种3558与Minnesota13选系LH82及其衍生系;先锋杂交种3535选系LH122与LH123及其衍生系;Lancaster群LH51、LH53及其衍生系为主。

3 结论与讨论

美国商业玉米的种质基础几乎全部来自于开放授粉品种。开放授粉品种瑞德黄马牙中选育形成了Iodent类群种质与衣阿华坚秆综合种(BSSS);开放授粉品种leaming corn选育形成了商业种质OH07类群;Lancaster sure crop选育形成了Lancaster种质类群;Minnesota13、Lancaster sure crop、瑞德黄马牙共同选育形成了OH43种质类群自交系。美国商业玉米的种质基础分为母本群和父本群,母本群包括两类,一是BSSS种质自交系,以B73、B37、B14为代表;二是在BSSS种质中融入阿根廷Amargo血缘的新种质,以PHG39为代表。父本群包括OH43、Lancaster、OH07、Iodent、商业杂交种选系5大类,Iodent类群主要是PH207的衍生系为主;Lancaster群是以Mo17的衍生系,其中LH51为代表性自交系;OH07以PH595的衍生系为主;OH43代表性自交系为PHG47;商业玉米杂交种包括先锋杂交种3558、3737、3535,选育形成了以LH82、LH123为代表的优良自交系。

纵观美国玉米育种的发展过程,是立足于本地种质,即开放授粉品种的基础上形成了玉米育种上的几大类种质。在商业玉米种质中,除了BSSS种质中融入了部分阿根廷热带种质Amargo以外,其余的都是完全来源于开放授粉品种。随着大量国外种质的引进,这些种质如何与国内种质融合,是玉米育种者需要思考的问题。从美国玉米育种的历史可以看出,美国玉米种质的类群也是比较多而复杂的,给育种带来不必要的麻烦。因此,在商业育种中,为了简化种质资源的分类,以BSSS群为核心,划为母本群,其余类群的自交系均归为父本群。对于我国的玉米种质类群的多而杂,种质类群的划分方法也是复杂多样的,因此,也亟须简化杂种优势群。参考美国商业育种杂种优势群的划分,国内的玉米种质如何划分为两个群,应该以哪一类种质为核心,是玉米育种者在育种实践中需要思考的问题。

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[J]. 北京农业, 2007(9): 10-13.
Shi L. Effect of U.S. commercial maize germplasm on Chinese maize breeding[J]. Beijing Agronomy, 2007(9): 10-13. (in Chinese)
- [2] Troyer A F. Background of U.S. hybrid corn[J]. Crop Sci., 1999, 39: 601-626.
- [3] Troyer A F. Background of U.S. hybrid corn II: breeding, climate, and food[J]. Crop Sci., 2004, 44: 370-380
- [4] Troyer A F. Champaign county, illinois and the origin of hybrid corn [J]. PBR1, 2004, 24: 42-59
- [5] 姚 杰, 李新海. 美国当代玉米种质资源的历史演变 I. 种族与品种[J]. 作物杂志, 2007(3): 4-9.
Yao J, Li X H. History evolution of U.S. contemporary maize germplasm I. race and variety[J]. Crops, 2007(3): 4-9. (in Chinese)
- [6] 姚 杰, 黎 裕. 美国当代玉米种质资源的历史演变 II. 自交系[J]. 作物杂志, 2007(4): 1-6.
Yao J, Li Y. History evolution of U.S. contemporary maize germplasm II. inbred lines[J]. Crops, 2007(4): 1-6. (in Chinese)
- [7] Mickel M A, Dudley J W. Evolution of north American dent corn from public to propriety germplasm[J]. Crop Science, 2006, 46(3): 1193-1205.
- [8] Mickel M A. Genetic diversity and improvement of contemporary proprietary north American dent corn[J]. Crop Science, 2008, 48: 1686-1695.
- [9] Mickel M A. Genetic composition of contemporary U.S. commercial dent corn germplasm[J]. Crop science, 2011, 51: 592-599.
- [10] 石 雷. 现代美国马齿型玉米商业育种的种质基础[J]. 玉米科学, 2011, 19(5): 1-5.
Shi L. Germplasm base of contemporary U.S. Dent maize in commercial breeding[J]. Journal of Maize Sciences, 2011, 19(5): 1-5. (in Chinese)

(责任编辑: 朴红梅)