

四川农业大学玉米生态育种的历史与实践

潘光堂, 杨克诚, 高世斌

(四川农业大学玉米研究所/西南作物基因资源发掘与利用国家重点实验室, 成都 温江 611130)

摘要: 四川农业大学玉米遗传育种研究团队自 20 世纪 90 年代以来, 提出在西南玉米新品种选育中, 以重视和充分利用基因型与环境(G×E)互作为核心, 以育种目标多元化、品种布局区域化、品种推广集团化为内涵的“一核三化”生态育种思路, 设计并制定了相应的育种技术路线, 集成创新了定向高效育种技术体系。本文以过去 40 年所选育的不同杂优类群骨干自交系及其适宜不同生态区域玉米生产需要的优势杂交种为案例, 系统回顾与总结“适时调整或制定西南玉米区不同生态区域育种目标; 引进不同生态区域育种所需优良种质, 发掘特异优良基因; 集成创新技术路线, 高效定向培育骨干自交系, 选育西南特定生态区域强优势新品种; 打造与推广西南特定生态区域强优势玉米新品种群, 推动四川及西南玉米产量的不断提高与产业的持续发展”的发展历程与成功实践。

关键词: 玉米; 四川盆地; 西南区; 生态育种; 新时期生态育种

中图分类号: S513.035.1

文献标识码: A

History and Practice of Maize Ecological Breeding in Sichuan Agricultural University

PAN Guang-tang, YANG Ke-cheng, GAO Shi-bin

(Key Laboratory for the Exploration and Utilization of Genetic Resources of Crops in Southwest China/ Maize Research Institute, Sichuan Agricultural University, Wenjiang 611130, China)

Abstract: Since the 1990s, the research team of sichuan agricultural university on maize genetic and breeding has designed and practiced an effective breeding technology system, including ecologically complicated conditions, and diverse production models or styles. The system includes one core and three operations: full use of Genetics × Environment(G×E) effects as the core, and operations suitable to different ecological regions with different breeding emphases or objectives, different variety layout maximizing environmental effects, and accordingly different groups of varieties for extensional practice. This paper systematically review and summarize the work in the past 40 years on highly heterotic hybrids bred with different backbone inbred parental lines maximizing heterosis in in different ecological regions in the southwest maize region, including timely adjustment or formulation of breeding targets for different ecological regions; introduction of elite breeding germplasm and exploration of specific genes best for different ecological regions; adaptation of innovative breeding routes orientally using backbone inbred lines for selecting new varieties with maximum advantages specifically for ecological regions; formation of variety groups with maximum heterosis specifically for ecological regions; and adjustment of extensional practice for continuous improvement of maize yield and sustainable development of production in Sichuan basin and southwest China.

Key words: Maize; Sichuan basin; Southwest China; Ecological breeding; Modern ecological breeding

由作物遗传育种理论得知^[1-3], 作物品种的表现型(P)是其基因型(G)、环境效应(E)与基因型与环境互

作效应(G×E)共同构成, 即 $P=G+E+G\times E$ 。美国等作物育种生产先进国家的实践已经证明, 要选育和推广一个高产玉米新品种, 除尽可能增大 G 效应外, 同时还必须尽最大限度利用(G×E)效应。作物生态育种是以最大限度利用(G×E)效应为理论基础, 在育种过程中始终以目标地区主要(或限制性)环境因子为条件进行育种鉴定与品种评选, 育成的新品种将成为最适应该生态区域种植的生态型品种。通俗地

录用日期: 2023-01-09

基金项目: 国家玉米产业技术体系(CARS-02)、四川省科技支撑计划(2016NYZ029、2021YFFZ0017)

作者简介: 潘光堂(1956-), 教授, 主要研究方向为玉米遗传育种学。

Tel: 13608269331 E-mail: pangt@sicau.edu.cn

讲,作物生态育种即是人们常说的“因地因时制宜选育和推广最适宜的新品种”。具体而言,“因地制宜”,即选育与推广特定生态区域急需的优良新品种;“因时制宜”,即选育与推广国民经济不同阶段产业发展急需的优良新品种。因此,从某种意义上说,作物遗传育种的历史就是一部作物生态育种史。本文通过系统地回顾四川农业大学玉米遗传育种研究自20世纪80年代以来生态育种的发展历程,总结其在四川及西南玉米生态育种中的经验,探讨西南玉米生态育种在可预见的将来的发展趋势。

1 四川及西南玉米育种必须走生态育种之路

西南山地玉米区是我国最复杂玉米生态区。西南山地玉米区地形地貌复杂,气候类型复杂多样,区域气候特色鲜明,立体气候十分明显,致使生态区域多种多样。依据宏观生态与生产特点可大致划分为河谷浅丘、深丘低山、高山高原和热带玉米等玉米生态区域(又称为“生态亚区”)。

四川盆地玉米区是西南玉米区的一个缩影。该区玉米生态区域间差异迥异、特征特点明显。根据主要气候因子,一般将其划分为平坝丘陵(低于海拔800 m)玉米区和山地玉米区、以阿坝州为主的高寒早熟玉米区和凉山州为主的安宁干热河谷玉米区。依据其播种时间可划分为春玉米与夏玉米区,依据其季节性干旱发生情况还可以划分为川东伏旱区与川中夏旱区,依据其玉米生长期气温特点还可划分为川东北高温区与川西南多雨高湿区,依据土壤类型可划分为冲积土和紫色大土玉米区。

西南玉米区是我国的第3大玉米主产区,受其特殊的生态与生产条件限制,玉米单产比全国平均

水平低大约450 kg/hm²,品质也较差^[4]。四川盆地玉米区的生产水平虽高于西南平均水平,但与全国玉米生产先进地区仍有相当大的差距。西南玉米区饲料、酿酒等产业发达,对玉米原料需求巨大,现年平均年缺口在1 000万t以上。选育与推广持续增产稳产的新品种是该地区玉米育种的永恒主题。

2 四川农业大学玉米生态育种的历史与实践

以美国为代表的世界玉米育种与生产的先进国家的实践表明,随着玉米品种生产水平的提高,选育与推广适应范围相对狭窄的特定生态区域的高产稳产新品种是发展的必然。根据作物生态育种理论和美国玉米生产实践,要进一步有效提高特定生态区域玉米生产水平,在其新品种选育中,应始终以特定(或狭窄)生态区域主要(或限制性)环境因子为条件进行鉴定测试与品种评选,通过最大限度利用(G×E)效应,从而使育成的玉米新品种能够成为适应特定生态区域种植、产量更高更稳的品种。从玉米遗传理论与美国等玉米育种实践的角度,四川农业大学玉米育种与生产推广的历史,就是一部以重视与利用基因型与环境互作效应(G×E)的历史,不同历史阶段与不同地区因其重视程度与内涵有所不同^[5-10]。

2.1 发展思路演变与技术路线构建

2.1.1 总体思路的确立与完善

以杨允奎教授为代表的我国西南玉米杂交育种的老一代专家,自始至终一直十分重视玉米“生态型”育种,选育并推广了一系列分别适应四川盆周丘陵与山区种植的优良杂交种,推动了该区域玉米生产的进步。以荣廷昭院士为首的四川农业大学玉米

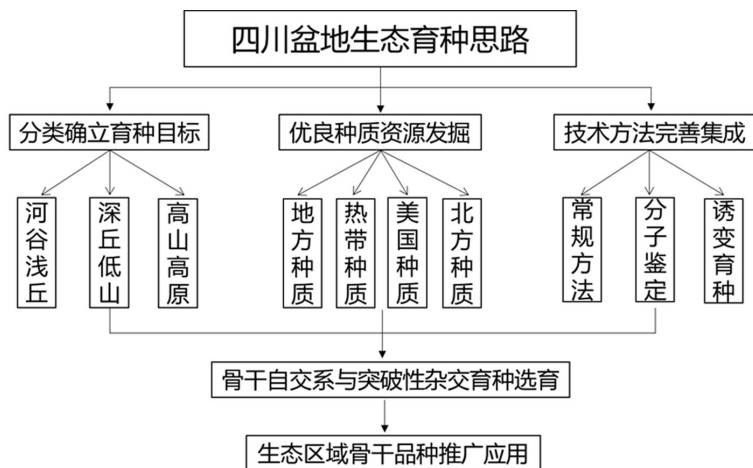


图1 四川盆地生态育种总体思路

Fig.1 The ecological breeding ideas in the Sichuan basin

遗传育种研究团队自20世纪90年代初以来,总结西南玉米区、特别是自身玉米育种的成功经验与失败教训,针对普通粒用玉米育种,于20世纪末逐步确立并完善了以“充分重视和利用(G×E)互作效应为核心”和以“育种目标多元化、品种布局区域化、品种推广集团化”为内涵的“一核三化”四川及西南“玉米生态育种”的思路(图1),引领了四川及西南玉米育种中的发展方向。

2.1.2 技术路线的构建与实施

经过逐步完善与优化,于21世纪初设计并制定

了“以培育稳产高产优质新品种为目标,以重要目标性状优异种质发掘创新为突破口,以优良自交系选育为核心,适时有效应用生物技术,不断完善集成创新育种方法,打造和推广特定生态区域优势品种,坚持同一区域多品种搭配推广策略与农技推广体系紧密结合的推广模式,降低生产风险,持续提高区域玉米产量与商品性,推动该区玉米生产水平的持续提高与产业的可持续发展”的育种技术路线,明确了四川及西南玉米生态育种的路径与举措(图2)。

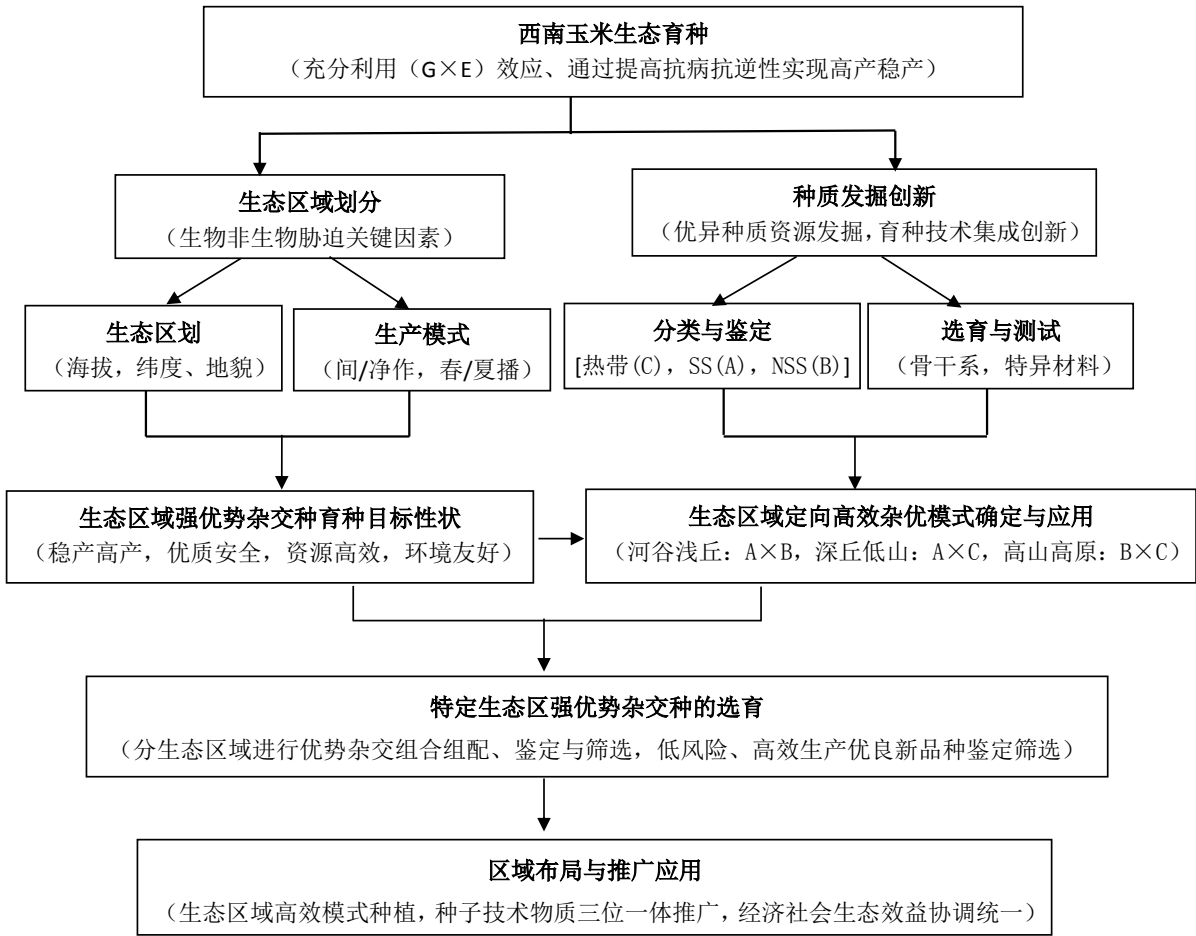


图2 西南山地玉米区现代生态育种技术路线

Fig.2 The modern ecological breeding technology route in the maize area in southwest China

2.1.3 种质资源的引进与特异基因的发掘

种质资源是育种的基础。过去40余年,根据目标生态区域玉米育种的现实需求与育种技术的实际进步,不断收集、引进种质资源,鉴定、筛选育种种质,发掘、创新基因资源。

特定生态区域育种种质的引进。先后收集、引进、保存上千份种质资源。根据西南玉米区不同生态区域的育种目标以及不同玉米种质资源的优良特性,重点发掘地方种质、热带种质、美国种质、北方种

质等4大类优良种质资源,以满足该区特定生态区域育种的需要。

目标性状优异种质的鉴定与发掘。采用常规和分子鉴定技术等方法,先后发掘与创制出高产(大穗)高配、抗病(大小斑病、纹枯病、穗粒腐病、灰斑病)抗逆(耐旱耐荫湿)、资源高效(耐低磷)、优质(高容重、高赖氨酸、高蛋白、高淀粉)安全(铅、镉、砷低累积)、转基因工程育种优良受体、玉米雄性不育等重要目标性状优异种质和基因资源共计上百份,其中包括

优良热带种质群体 Suwan-1、四川地方种质群体“邻水大督督”、优良热带种质自交系 ZNC442 等;利用杂交、回交、远缘杂交、群体改良方法及包括太空诱变、突变体诱变技术,创造了一大批新的种质材料和基因资源,为西南玉米区不同生态区域的遗传育种奠定了坚实的材料基础。

西南种质遗传多样性的分子标记鉴定。自 20 世纪 90 年代以来,先后利用 AFLP、SSR、SNP 等分子技术开展系列研究,通过多年与较系统研究,构建了集玉米自交系群体结构分析、杂种优势群划分、全基因组分子标记开发方法及其数据库为核心的西南分子标记育种技术体系,系统开展了热带种质杂优类群与特异基因利用研究,定位了耐纹枯病、穗粒腐病、灰斑病和重金属铅、镉低累积重要 QTL,对高产与品质、耐旱、磷高效及铅低累积性状相关基因开展了功能研究,较系统探索了西南生态玉米育种重要

目标性状的遗传效应及其分子机理。

2.1.4 技术体系的集成与创新

过去 40 余年,通过追踪和学习国内外玉米遗传育种的成功经验,结合本区玉米生产与产业发展的实际需求,坚持以成功的常规和经典育种技术为主,常规遗传育种方法与现代分子生物学技术紧密结合,不断集成、完善和创新育种技术体系(表 1),为高效培育西南玉米不同生态区域育种迫切需求的亲本自交系提供了技术与方法。

配合力早期测定。玉米产量配合力是玉米优良自交系最重要的性状。遗传育种理论与实践已经证明,玉米产量性状的配合力是可遗传的,基本株的表现在很大程度上决定了其后代的表现。20 世纪 80 年代初,率先将国外认为是探测作物基因上位性效应的最佳遗传交配设计“三重测交设计”(Triple Test Cross,简称 TTC)应用于玉米遗传育种研究,结果发

表 1 不同发展阶段玉米育种技术体系的集成与创新
Table 1 Integration and innovation of maize breeding systems at different stages of development

技术领域 Technical field	1980s-1990s	2000s-2010s
主要育种资源	地方种质,北方种质,热带种质,美国种质,合成的育种用小群体	合成的 Reid、Non-Reid 和热带种质群体,美国种质,北方种质,热带种质
配合力测定方式	早期:三重测交,少数骨干系测交 晚期:多个(组)骨干系与自育系不完全双列杂交	早期:少数不同杂优类群骨干系测交,育种群体采用三重测交 晚期:分杂优类群,多个(组)骨干系与自育系不完全双列杂交
新技术的应用	孤雌生殖,花药培养,太空诱变,雄性不育,单倍体育种	分子标记(RAPD, SSR, SNP 等)的利用,太空诱变,雄性不育,转基因技术
自交后代鉴定与选择	早期:对地方、热带种质,混合授粉 1-2 代后自交;在四川和云南根据自交衰退程度、产量 GCA、产量及产量性状、抗病抗倒等抗性和综合农艺性状优良进行单株选择 晚期:自交与同穗行优株互交或优株混份交替进行;以 GCA 和 SCA、产量、抗性、果穗均匀度、ASI、秃尖等以及综合农艺性状优良进行穗行选择 代表性自交系:48-2, S37, 18-599, 08-641, 21-ES	继续应用前一阶段实践证明行之有效的鉴定选择技术体系,抗病耐旱抗倒性作为一票否决权,注重磷、氮高效和铅、镉低富积安全特性、宜机收特性的选择 高密度鉴定与选择,在不同自交的早期与晚期、四川与云南,依据育种种质的特性采用不同高密度进行鉴定与选择 南北穿梭鉴定与选择,自交早期在四川和北京等高纬度地区进行 1-2 世代的鉴定与选择 代表性自交系: SCML202(RP128), SCML203(RP125), SCML0849, Y1027
优良杂交组合组配方式	温带×热带,马齿型×硬粒型,自育系×外引系(北方系、美国系)	Reid(SS)×Non-Reid(NSS)(平丘、河谷); Reid(SS)×热带(地方)种质(深丘、低山); Non-Reid(SS)×热带(地方)种质(高山、高原)
优良杂交组合鉴定与选择	杂交组合二行区鉴定,初选优良组合 3 行区 2 次重复鉴定,复选优秀组合 3 行区 3 次重复目标区域多点鉴定 代表性杂交种:川单 9 号、川单 13、川单 14、川单 21、川单 23、川单 27	杂交组合单行区高密度鉴定,初选优良组合二行区目标区域高密度鉴定,复选优秀组合 3 行区 3 次重复目标区域多点强胁迫鉴定 代表性杂交种:川单 189、川单 418、金荣 1 号、川单 99、川单 706

现,利用TTC遗传交配设计是对玉米育种群体基本株配合力早代测定的最高效的方法,它既可较准确测定种质群体基本株的一般配合力(GCA)和特殊配合力(SCA)效应,还可确定其杂优类群,实现了被改良群体优良基本株的鉴定、群体改良方案的确定与优良自交系、杂交种选育的同步进行,可大大提高玉米育种效率。采用该方法成功选育了获1996年国家技术发明二等奖的西南玉米育种骨干自交系S37。其后研究还发现,在自交选育的S3~S5世代中,采用多组测验种测定优良株系的配合力,有助于及早并准确测定中选株系的一般配合力(GCA),获2008年国家技术发明二等奖西南玉米育种第四轮骨干系18-599和08-641选育就是一个很好的例证。其后选育的优良自交系21-ES、SCML202、SCML203、SCML0849也应用了该方法。采用性状配合力测定技术体系,有助于实现优良自交系的定向培育,并提高了选择优系的准确性,缩短了选育优良自交系与优势杂交种的时间。

高密度种植鉴定。以美国为代表的玉米育种先进国家的成功经验说明,密植育种法可以淘汰那些对微环境敏感的基因型,成功鉴定出种质材料的抗倒抗病能力、空秆率、果穗的整齐度和结实率等特性,即通过适度的高密度种植鉴定,可有效提高品种的适应性和稳产能力。经过数十年的系统研究与育种实践,结合西南地区生态特点、现有种质资源情况及生产急需的新品种,当前在四川盆地的玉米育种中宜采用的密度,自交系选育宜为67 500~90 000株/hm²,杂交组合鉴定宜为57 000~67 500株/hm²;在云南可采用的密度,自交系选育宜为90 000~120 000株/hm²,杂交组合鉴定宜为67 500~75 000株/hm²。近十多年育种实践证明成效明显,荣玉1210、川单99选育就是其中的一个典型事例。

南北穿梭育种。培育既适应西南河谷、浅丘、低山等生态生产条件种植,又能在我国新疆、甘肃等西北地区杂交制种的优良品种,是该区域玉米优良杂交种选育的一个必然趋势。西南区自育自交系,常因其具有较强的光周期反应,基本不能用做母本在我国西北地区制种,严重制约了杂交种子的优质高效生产。采用南北穿梭育种方法是克服西南区自育自交系光周期反应的最有效方法。依据玉米由南向北驯化的历史,特别是根据“优质、抗逆玉米种质的引进、评价、改良与创新”项目的研究结果,从2007年开始与中国农科院作科所合作,将选系S1种质材料分成两份,一份于交由作科所春季在北京种植优选、冬天在海南加代和鉴定选择,第二年返回四川继

续鉴定选择,现已选育出包括SCML0849等多个综合性状优良、光周期钝感的优良自交系,利用SCML0849已培育出川单99、荣玉98、荣玉1608等多个优良杂交种,它们均可在包括新疆、甘肃在内的西北地区高产制种。

杂优类群划分与杂优模式构建。杂优类群划分与杂优类群构建可有助于减少其育种盲目性,同时变完全双列杂交为部分双列杂交,从而大大提高育种效率。对玉米杂种优势类群划分及其杂优模型的研究与育种应用起始20世纪80年代,其后借鉴国内外最新研究进展,特别是根据西南地区玉米育种的成功实践,形成了符合实际和系统的理论与技术体系。首先,21世纪初提出,在玉米杂优类群划分时,应遵循经济性、主观性、地区性、变化性原则,通过30多年的研究,对西南玉米种质“三群”杂优类群的划分及其“三角形”优势杂交组合组配模式进行了持续完善和发展;其次,必须坚持以产量特殊配合力(SCA)作为杂优类群划分的根本标准,以产量和产量性状SCA为主要指标,以美国两大杂优群及其衍生群体、热带种质自交系S37为主要测验种,直接确定被测群体的杂优类群及构建杂优模式;第三,可采用以SSR、SNP标记为技术手段,结合系谱法与表型性状,早期、高效划分被测群体的杂优类群;最后,宜选用与被改良群体杂优类群对应群体的骨干自交系为测验种,采用循环育种策略,同时改良群体SCA和GCA,还有助于扩大群体间遗传距离。采用以上法定向高效培育出SCML0849和Y1027(Reid群)、SCML7272和Y0921(Non-Reid群)、LX7531(Trop群)等优良自交系。

2.2 育种实践与实际成效

2.2.1 西南玉米区不同生态区域育种目标的制定—育种目标多元化

因地因时确定育种目标,即育种目标多元化是应对西南玉米区复杂生态条件高效玉米生产与产业可持续发展的必然选择。根据西南不同生态区域玉米生产的限制因素以及不同年代玉米生产及产业发展的迫切需求,就普通粒用玉米新杂交种的选育,先后科学制定了不同区域和不同年代的玉米育种目标及优先顺序(表2)。实践证明是较为符合西南玉米生产与产业发展的实际需求的,选育的新品种大多在生产上广泛推广。

2.2.2 选育西南特定生态区域强优势新品种—品种布局区域化

西南地区生态环境复杂多样,河谷丘陵、山区、高原生态区域玉米生产条件迥然不同,显然很难选

育、推广能适应本区所有生态区域的优良杂交种。针对特定生态区强优势品种的高效选育,是确保该

区玉米持续稳产高产的前提,更为品种布局区域化提供有力保障。

表2 西南不同年代不同生态区域育种目标及其优先顺序

Table 2 The breeding objectives and priorities for different ecological regions in different years in southwest China

生态区域 Ecological region	1980s-1990s	2000s-2010s	2020s 以后 After 2020s
河谷浅丘区	产量:高产,大穗高产 品质:高容重 抗病:抗大小斑病,茎腐病,纹枯病等 抗逆:耐旱	产量:稳产高产,大穗高产 品质:高容重、高淀粉 抗病:抗穗粒腐病,纹枯病、大斑病等 抗逆:耐旱,耐瘠	产量:稳产高产,密植高产 抗病:抗穗粒腐病,纹枯病,大斑病 抗逆:耐密,耐旱,耐瘠,耐高温 品质:多元专用 宜机:早熟,抗倒,脱水快 安全:镉砷等低积累
深丘低山区	产量:高产稳产 抗病:抗丝黑穗病,纹枯病,大斑病 抗逆:耐瘠 品质:高蛋白质或高赖氨酸,容重高	产量:稳产高产,大穗高产 抗病:抗穗粒腐病,纹枯病,大斑病 品质:高蛋白质或高赖氨酸,容重高 抗逆:耐旱,耐阴湿	产量:稳产高产,中穗高产 抗病:抗穗粒腐病,纹枯病,大斑病,灰斑病 抗逆:耐密,耐旱,耐瘠,耐阴湿 品质:多元专用 安全:铅砷等低积累
高山高原区	产量:大穗,单株高产 抗病:抗丝黑穗病,纹枯病,大小斑病 抗逆:耐瘠 品质:高蛋白质或高赖氨酸、容重高	产量:稳产高产,耐密高产 抗病:抗穗粒腐病,灰斑病、大斑病等 抗逆:耐瘠,耐旱(或耐阴湿) 品质:高蛋白质或高赖氨酸、容重高	产量:稳产高产,耐密高产 抗病:抗穗粒腐病,灰斑病,纹枯病,大斑病等 抗逆:耐瘠,耐旱(或耐阴湿) 品质:多元专用 宜机:耐密抗倒,熟期适中,脱水快 安全:铅砷等低积累

培育特定生态区域育种骨干自交系。优良亲本自交系的培育是玉米生态育种的核心,培育自交系的效率取决于其选育技术。首先,多种途径(人工合成新种质及利用优良地方、热带和美国种质等)创新育种资源,常规育种方法与现代分子生物学结合培育玉米育种骨干自交系;其次,选系时把产量一般配合力(GCA)作为重要选择标准,以自交衰退慢的株系为主要选择对象,将优株自交、姊妹交或多株混粉交替进行,打破有利基因与不利基因连锁,提高优良基因及优良基因型频率,降低自交衰退程度,大大改善自交选系的生活力;第三,采用多种方法(杂交、回交、分子标记、航天诱变等),将单倍体育种技术、分子标记辅助选择技术等高新技术与传统育种技术相结合,提高自交纯化和与鉴定选择的精确度与准确度;最后,重点开展多年多点、高密度、强生物非生物胁迫条件的鉴定及产量测定,加大选系鉴定力度。通过以上集成创新的自交系选育技术体系,近40年来成功培育了组配出两个以上通过审定杂交种的“三高”自交系近20个(表3),其中Reid群骨干自交系有48-2(第一轮)、SCML202和SCML203(第三轮)、

SCML0849(第四轮),Non-Reid群骨干系有18-599和08-641(第二轮)、Y1027(第四轮),Trop群骨干系有S37(第一轮)和21-ES(第三轮)。

构建“特定生态区域优势杂交组合”高效组配模式。通过对20世纪80年代以来西南大面积推广杂交种的亲本的统计分析,西南山地玉米区主要使用的种质有Reid种质、Lancaster种质、自330种质、热带(地方)种质等,经系统研究和不断总结与优化,提出将西南玉米种质划分为A(Reid群,SS,代表系掖478)、B(Non-Reid群,NSS,代表系18-599)和C(Trop,热带-地方种质群,代表系S37、21-ES)等3个类群。通过总结西南育种单位的成功实践,发现A×B组配的杂交种适宜平坝(河谷)或浅丘区(川单13),A×C组配的杂交种适宜深丘或低山区(川单14),B×C组配的杂交种适宜高山高原区(川单29)。在此基础上,还可将上述杂优模式进一步简化为“温带种质×热带(亚热带或地方)种质”和“自育系×外引系(北方系或国外系)”的高效组配方式。这种将西南玉米种质划分3个类群及其“三角形”杂优组配模式,育种实践证明行之有效,已为西南广大玉米育种工作

者所公认。

特定生态区域强优势组合的鉴定与筛选。根据作物G×E互作原理,总结形成了“按特定生态区域要求进行组合组配、分生态区域初步鉴定筛选、再将优势组合在特定生态区域进行多点多年精细鉴定筛选”三级鉴定筛选体系。首先,采用“三角形”优势杂交组合组配方式,可在四川雅安或云南西双版纳进行组合组配。对于A×B和A×C方式组配的新组合,先在四川雅安进行高密度(目标生态区域区试密度+12 000株/hm²)初级鉴定与筛选,入选组合次年在四

川仁寿、内江和宜宾等进行一年或以上鉴定筛选;对于A×C和B×C方式组配的组合,先在云南西双版纳进行高密度(目标生态区域区试密度+12 000株/hm²)鉴定与筛选,入选组合次年在云南武定、广西等地进行一年或以上鉴定筛选;其后,优选杂交新组合在目标生态区域再进行一年以上多点强胁迫鉴定筛选,中选优良组合择优才参加目标地区的区试。川单99、金荣1号、川单308、荣玉1410、SAU1402、创世90等近年来多个优良杂交种的育成均证明该技术是行之有效的。

表3 育成的不同杂优类群优良自交系及其组配适应不同生态亚区的优势杂交种
Table 3 The excellent inbred lines from different heterotic patterns and superior hybrids adapted to different ecological sub-regions bred our group

生态区域 Ecological region	A群(Reid)	B群(Non-Reid)	C群(Trop)
平坝(河谷) 或浅丘区	川单418(RP128×金黄96B) (川审,2006,平丘组;国审,2007) 川单189(RP125×SCML1950) (川审,2009,平丘组;国审,2010) 金荣1号(RP125×Y1027) (川审,2017,平丘组)	川单9号(48-2×5003) (川审,1992;国审,1995) 川单13(478×18-599) (川审,1997,平丘组) 金荣1号(RP125×Y1027) (川审,2017,平丘组) 荃玉9号(Y3052×18-599) (国审,2011)	
深丘低山区	川单99(SCML0849×ZNC442) (川审2020,山区组;国审2022) 荣玉1210(RP128×LH8012) (国审,2015;渝审,2015) 中单901(RP125×CA211) (川审,2014,山区组) 川单828(08-641×RP128) (渝审,2007)	川单14(08-641×21-ES) (川审,1998,山区组;国审,1999) 川单15(48-2×156) (川审,1998,山区组;黔审,2000) 遵玉8号(18-599×L9665) (国审,2005) 川单706(Y1027×ZNC442) (川审,2021,山区组)	川单14(08-641×21-ES) (国审,1999) 雅玉2号(7922×S37) (川审,1993,山区组;国审,1995) 川单23(7922×A318) (川审,2001,山区组;国审,2003) 正红311(K236×21-ES) (川审,2006;渝引,2009;鄂审,2010)
高山或高原区	川单99(SCML0849×ZNC442) (滇审,2019,桂审,2020) 靖玉2号(RP128×J40602) (国审,2017,热带亚热带组)	川单15(48-2×156) (川审,1999,山区组) 春喜11(J401×18-599) (国审,2006)	川单23(7922×A318) (国审,2003) 川单29(SAM3001×SAM1001) (川审2004,山区组,国审,2005,武陵山区组) 正红311(K236×21-ES) (黔引,2006;滇特审,2010)

2.2.3 打造西南“特定区域强优势玉米新品种群”-品种推广集团化

在西南玉米区特定生态区域注重同时推广各具特点与特色的多个优良杂交种,充分利用特定区域环境与基因型的正向互作效应,可有效地降低区域玉米生产的风险性和提高其稳产性。

不同生态区域强优势新品种集团化推广。以培育的系列分属不同杂优类群的高配抗病抗逆的骨干

自交系为亲本,采用西南玉米育种“特定区域强优势组合”高效组配模式,1990s~2020s,共育成了适宜不同生态区域生产需要、稳产高产优良品种50个以上。不同年代新品种的推广应用中,坚持实行特定生态区“多品种搭配、以集团推广”的策略,在河谷浅丘高产区,选育并推广了川单9号、川单13、川单21、川单418、川单189等;在深丘低山区,选育并推广了川单12、川单14、川单23、川单428、川单99等;在高

山高原区选育并推广了川单 15、川单 29、川单 99 等,推动了四川及西南玉米生产持续不断的提高。

降低推广风险与延长品种推广年限。坚持以生产和市场需求为导向,采用“农科教政、产学研企”密切合作方式,根据西南各生态区域实际,坚持多种方式、多年多点试验示范,科学确定育成品种的最适种植区域,研发配套高效栽培技术,种子、农技、物资三位一体配套推广。采用该技术体系,川单 14 已推广 20 余年,川单 15 也已推广 15 年以上。不仅有效地降低了推广风险,更为重要的是极大地延长了品种推广年限,实现了大面积均衡增产与稳产。

3 新时期西南玉米生态育种的发展展望

新时期四川盆地及西南山地玉米区生态育种的发展态势,是要更加重视与充分利用($G \times E$)效应。依据西南玉米育种的生态分区域特征与玉米生产和产业发展迫切需要,不断更科学更精准细分生态亚区,明确特定生态区域影响玉米高产稳产、优质安全的环境因子,制定该区域的具体育种目标;通过品种的培育,使育成新品种最大限度利用特定(或狭小一致)目标区域作物玉米与产业发展的所有环境因子,从而实现玉米生产的“稳产高产、资源高效、环境友好、优质安全”。即在特定生态区域中,选育和推广以提高玉米品种对该区域生物和非生物环境限制因素的抗性为育种目标的特定区域适应型品种(低风险品种)。分段结合西南玉米区的国民经济发展需求、玉米产业发展趋势,育种目标需求变化、育种技术体系创新等多个维度,在可预见的将来,四川农业大学的玉米育种必须也应该坚持,以“育种目标产业化、品种类型多元化、品种鉴定特异化、品种布局区域化、品种推广集团化、品种栽培模式化”为主要内涵的发展理念;以“稳产高产、资源高效、环境友好、优质安全、易制种、宜机收”为特征的“低风险、高效安全新杂交种”为育种目标;实施以“提高新品种的抗病抗逆特性和耐密性为路径,优良特异育种资源的精细发掘与精准鉴定为前提,适应不同生态区域育种急需的不同杂优类群优良骨干自交系特别是热带种质类群优良自交系的高效定向培育为关键,新杂交组合在特定生态区域多年多点生物与非生物胁迫鉴定选择为重点,以选育和推广特定生态区域资源高效利用、环境友好和玉米生产可持续发展的稳产高产高效新品种为保证”的育种技术体系;建立

以多年多点、高密度、强逆境胁迫条件下杂交组合鉴定(一年两点)、优良组合初级鉴定(二年多点)和高级鉴定(多年多点)为核心的杂交组合“三级鉴定”体系;科企政结合,通过特定生态区域优势品种的精细鉴定与高强度筛选,打造特定生态区域强优势品种;坚定不移推行不同生态区域“品种集团化”推广策略,确保四川及西南玉米产量不断提高,推动玉米生产与产业持续健康发展。

参考文献:

- [1] 荣廷昭,等.数量遗传学[M].北京:中国科学技术出版社,2003.
- [2] 刘纪麟.玉米育种学[M].北京:中国农业出版社(第二版),2000.
- [3] 荣廷昭,等.西南生态区玉米育种[M].北京:中国农业出版社,2003:18-36,84-95,107-126,134-151,187-214,260-264.
- [4] 农业部种植业管理司.中国玉米品质区划及产业布局[M].北京,中国农业出版社,2004,pp:321-361.
- [5] 潘光堂,杨克诚,高世斌.发展西南玉米现代生态育种之我见[J].作物学报,2022,48(10):2247-2434.
Pan G T, Yang K C, Gao S B. Insights on developing modern corn ecological breeding in southwest China[J]. Acta Agronomica Sinica, 2022, 48(7): 2247-2434. (in Chinese)
- [6] 潘光堂,杨克诚.我国西南玉米育种面临的挑战及相应对策探讨[J].作物学报,2012,38(7):1141-1147.
Pan G T, Yang K C. Facing to challenges and corresponding strategies for maize breeding in southwestern region of China[J]. Acta Agronomica Sinica, 2012, 38(7): 1141-1147. (in Chinese)
- [7] 潘光堂,杨克诚,李晚忱,等.我国西南玉米杂种优势群及其杂优模式研究与应用的回顾[J].玉米科学,2020,28(1):1-8.
Pan G T, Yang K C, Li W C, et al. A review of the research and application of heterotic groups and patterns of maize breeding in southwest China[J]. Journal of Maize Sciences, 2020, 28(1): 1-8. (in Chinese)
- [8] 荣廷昭,李晚忱,潘光堂,等.新世纪初发展我国玉米遗传育种技术的思考[J].玉米科学,2003,11(专刊):42-53.
Rong T Z, Li W C, Pan G T. Suggestion on development of science and technology in maize genetics and breeding at the beginning of 21st century[J]. Journal of Maize Sciences, 2003, 11(S2): 42-53. (in Chinese)
- [9] 杨克诚,苟才明,荣廷昭,等.西南地区玉米育种现状及发展对策[J].玉米科学,2008,16(3):8-11.
Yang K C, Gou C M, Rong T Z, et al. Discussion present situation of maize breeding and countermeasure in southwest region[J]. Journal of Maize Sciences, 2008, 16(3): 8-11. (in Chinese)
- [10] 李高科,潘光堂.西南玉米种质利用现状及研究进展[J].玉米科学,2005,21(2):3-7.
Li G K, Pan G T. The utilization present situation and study advances of the germplasm in southwest maize zone[J]. Journal of Maize Sciences, 2005, 13(2): 3-7. (in Chinese)

(责任编辑:栾天宇)