

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2012.01141



我国西南地区玉米育种面临的挑战及相应对策探讨

潘光堂 杨克诚

四川农业大学玉米研究所 / 农业部西南玉米生物学与遗传育种重点实验室, 四川雅安 625014

摘 要: 在剖析西南地区发展玉米产业面临挑战的基础上, 反思了西南地区玉米杂交育种存在的主要差距, 并根据国内外玉米杂交育种发展趋势和我们的实践, 从育种层面提出了应采取的对策措施。在育种目标上, 重点是抗病与抗虫、耐旱与耐瘠、适合全程机械化生产和耕作制度改革, 以及拓展利用营养体优势新型“饲草玉米”。在种质创新上, 应明确杂优类群、简化杂优模式, 系统开展基础种质评价与分析, 合成与改良育种用群体, 创制育种特异新材料。在突破性自交系选育上, 应注重特异新基因的发掘与利用, 把产量 GCA 作为重要选择标准, 把自交衰退慢的株系作为主要选择对象, 自交、姊妹交或混粉交替进行, 提高优良基因型频率; 加大选系的鉴定力度, 并测定产量。在育种方法上, 应增加种植密度, 加大选择压力, 实施南北穿梭育种, 加快我国南方玉米种子生产基地建设, 同时加快高新技术在玉米育种上的应用。

关键词: 玉米; 西南地区; 育种目标; 种质资源; 杂优类群; 突破性自交系; 育种方法

Facing toward Challenges and Corresponding Strategies for Maize Breeding in Southwestern Region of China

PAN Guang-Tang and YANG Ke-Cheng

Maize Research Institute, Sichuan Agricultural University / Key Laboratory of Crop Genetic Resources and Improvement, Ministry of Education, Ya'an 625014, China

Abstract: This article is based on the analysis of facing challenges of maize industry development in the southwest of China to find the major gap affecting southwestern maize breeding outcome, and propose appropriate strategies and ways according to the development of domestic and abroad maize hybrid breeding trends and our physical practice. Breeding objectives should be focused on enhancing disease resistance and pest-resistance, drought-tolerance and tolerance to poor soil fertility, and being available to fit complete mechanization of production and cultivate management system reform, as well as promoting the breeding and utilization of new “forage maize” crop with good vegetative superiority. Germplasm enhancement should clearly define heterotic group where it belongs to, simplify heterotic pattern, systematically develop basic germplasm evaluation and analysis, synthesize and improve breeding population, and create new specific breeding materials. Breakthrough inbred line breeding, should be focused on the exploration and utilization of specific new genes, using GCA of yield as an important selection criteria, selecting those plant lines with slower inbreeding depression as the primary selection object alternatively, using selfing, sister mating, or mixed pollen mating, increasing frequency of good genes and genotypes, and increasing the power for selection and identification with yield test. Improved breeding methods include increasing plant density, increasing selection pressure, implementation of the North-South shuttle breeding, speeding up the construction of maize seed production base in southern China, at the same time speeding up the application of high and new technology in corn breeding.

Keywords: Maize; Southwestern Region of China; Breeding objective; Germplasm; Heterosis pattern; Breakthrough inbred lines; Breeding method

西南山地玉米生态区是我国三大玉米主产区之一, 包括四川盆地玉米区、云贵高原玉米区、湘西和鄂西山地玉米区、陕南和陇南山地丘陵玉米区;

全区玉米种植面积 500 万公顷左右, 约占全国玉米生产面积的 1/5^[1]。该区地形地貌十分复杂, 山地丘陵和高原土地总面积占 90% 以上, 从海拔 250 m 河

本研究由国家现代农业产业技术体系建设项目(CARS-02-07)和四川省“十二五”玉米育种攻关项目资助。

第一作者联系方式: E-mail: pangt@sicau.edu.cn, Tel: 0835-2882714

Received(收稿日期): 2011-10-12; Accepted(接受日期): 2012-04-23; Published online(网络出版日期): 2012-05-11.

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20120511.1808.024.html>

谷平坝直至 2 500 m 的高山均有玉米种植。生态条件区域差异很大,垂直分布明显,农业立体性强。生产条件较差,旱土坡地,地块零碎,土壤瘠薄,雨养农业,旱涝灾害频繁;玉米生长季节高温多湿,阴雨寡照,病虫害(大斑病、小斑病、纹枯病、灰斑病、青枯病、穗粒腐病、丝黑穗病、玉米螟、蚜虫等)种类多,并常常流行成灾,严重影响玉米产量和品质^[2];全区平均单产低于全国平均水平,2004—2008 年,该区内四川省、云南省和贵州省的玉米年平均单产分别为 4 646.3、3 866.9 和 4 960.4 kg hm⁻²,分别比全国平均单产低 12.2%、26.9%和 8.1%^[3]。近年来,随着西南地区养殖业和玉米加工业的快速发展,对玉米的需求进一步增加,据不完全统计,每年玉米缺口在 1 000 万吨以上^[4-8],如何加快该区玉米产业的发展已成为玉米育种者和生产者共同关注的问题^[8-13]。本文试图探讨新形势下西南玉米产业发展所面临的挑战和育种对策,以供同行参考。

1 玉米育种发展面临的挑战

1.1 玉米生长季节气候变化异常

陈超等^[14]对四川盆地从 1961 年至 2007 年气候变化特征的研究表明,该地气温呈上升趋势,降水呈减少趋势,1995 年后,开始显著升温,1990 年后,降水显著下降。近年来,西南地区干旱日趋严重,旱涝交替频繁,气温变化无常,继 2006 年重庆、2007 年重庆、四川大范围发生严重干旱后,2010 年云南、贵州、广西又发生百年不遇特大旱灾和继后的洪涝灾害,给粮食生产,尤其是玉米生产带来严重影响和巨大损失。西南地区的气候异常还表现在玉米播种期的温度异常,时高时低,极不稳定。如 2011 年四川 4 月 20 日前,日均温度比常年同期低 3~5℃,农令时节至少推迟了半个月以上,然而在 4 月 20 日后,日均温度又比常年同期偏高 3~5℃。气候的异常变化,严重影响了玉米播种、发芽出苗和正常生长发育。干旱和气候异常已成为制约该区玉米高产稳产的主要非生物胁迫因素^[2,13]。

1.2 从事农业生产劳动力日益缺乏

随着产业结构的调整和城市化进程的加快,从事农业生产的劳动力越来越少,这既是我国农业生产的现实,也是社会经济发展进步的必然。统计表明,2006 年,四川省外出劳动力 1 285 万人,其中 16 岁至 40 岁的青壮年达 1 072 万人,占总数的 83.5%;2010 年末,四川省农村劳动力转移就业达到 2 000

万人以上,青壮年仍是外出劳动力的主力军。大量文化教育程度较高的青壮年劳动力的输出,导致农村劳动力年龄老化趋势明显,劳动力素质降低。统计表明,2000 年四川农村 45 岁以上的劳动力占 26.8%,2009 年 51 岁以上的就已经占总数的 35.7%,中老年劳动力比重有所上升,不少地方由于劳动力供给不足,耕地撂荒现象日益严重,直接影响农业生产的发展^[15]。玉米生产劳动力日益缺乏的现实更加严峻,如何加快玉米机械化进程已成为必然的发展趋势^[16]。

1.3 玉米种植面积不可能持续增加

虽然近年来我国玉米播种面积有所扩大,但不可能持续依靠增加播种面积来提高总产。一方面由于工业化和城镇化水平的提高,以及交通建设、水电建设和农民外出务工造成的撂荒等,耕地面积总体上刚性减少的态势不可逆转,统计表明,2006—2009 年间,四川省耕地面积减少了 10.73 万公顷^[17];另一方面,今后玉米生产全程机械化的实施,还会使该区部分不能适应机械化生产的陡坡地不得不退出玉米生产,加上退耕还林还草,在耕地面积总体上刚性减少的态势下,不可能持续依靠增加播种面积来提高总产^[18]。如何提高玉米单产,已成为今后该区玉米育种和栽培必须解决的重大问题。

1.4 农业经济增长方式正发生巨大转变

目前,我国农业的粗放型增长方式特征仍然十分明显,西南山地玉米区的情况更为突出。经济全球化背景下的粮食安全问题,科学发展观下的农业可持续发展问题,现代化进程中工农协调发展问题,都要求我国农业增长方式从传统的粗放型向主要依靠效率提高的集约型转变。这就要求促进资源的节约和综合利用,提高生产效率;同时控制和减少农业灾害的影响,实现玉米生产可持续发展,实现产品优质化、布局区域化、生产集约化、经营产业化,全面提高农产品质量安全水平和市场竞争能力^[19]。因此,环境友好、低碳高效型玉米品种的选育和推广已成为必然。

1.5 国际玉米种业集团进入我国带来的激烈竞争

众所周知,从 20 世纪 80 年代开始,以美国杜邦公司先锋种业为代表的国际种业集团先后进入我国,并且随着我国改革开放的深入,特别是我国玉米种业市场的成熟,美国孟山都和法国利马格兰等公司都已经把中国作为他们海外拓展的主要市场,且取

得了不菲的业绩。先锋公司每年从中国赚取数以亿计的利润。泰国正大从20世纪80年代开始,除把西南作为东南亚玉米杂交一代种的生产基地外,已开始在西南建立多个育种基地,研发适合西南山地玉米生态区所需要的杂交种,先后审定推广了正大619等适合广西、云南、贵州等喀斯特地貌区域种植的杂交种,多年来一直占据着该区域的主要市场^[20]。近年来,先锋、孟山都和先正达公司也先后在西南设立研发中心,或参股合资办公司,或建立实验站。国外种业集团雄厚的资金实力,丰富的种质资源,创新的育种理念,先进的技术装备,科学的推广体系,完善的管理制度,严格的质量控制,给我们带来了严峻的挑战,为确保种业安全这一国家战略,迫使我们必须奋起学习和努力应对^[21]。

2 西南玉米育种存在的主要差距

2.1 育种目标和产品质量的差距

在西南地区,由于多年来推广和利用高秆、大穗型品种,育种家在种质资源改良、创新和利用方面比较重视玉米的抗病性和丰产性而忽视抗逆性的深入研究。很多育种单位多年来都以高秆、大穗为主要育种目标,过份强调品种的高产,造成育成品种抗倒性、耐密性和抗逆性较差,适应性不强。据不完全统计,推广杂交种以来西南各省区审定或认定杂交种超过600个,但仅少数在生产上推广应用^[3]。这些品种多数在较高密度或逆境下表现出空秆、秃尖、倒伏、病害严重等,适应性和稳产性差,同时,自交系选育过程中主要注重配合力,而对农艺性状,特别是自身产量和种子质量注重不够,致使育成品种繁殖、制种产量偏低,种子色彩、均匀度、饱满度、发芽势和田间出苗率等与市场需求存在较大的差距,市场竞争力不强。而国外公司育成优良杂交种,除具有常规的优质、高产、抗病、抗逆特性外,还具备种子耐加工损伤,栽培管理简约、适宜高速精量机械播种、机械去雄和产品适宜机械收获等优点^[12,22-23],迪卡公司育成的迪卡系列和正大公司育成的正大系列在西南地区占有较大的推广面积^[20]。因此,今后西南地区应调整育种目标和主攻方向。

2.2 种质资源研究相对落后

种质资源是育种的基础。美国历来重视种质资源研究,拥有庞大的公益性研究机构从事大规模、程序化、数据化、永久性的种质改良、创新和利用,支撑种子企业的技术和产品创新研发。先锋虽占有

全球玉米种质资源的60%,但仍很重视种质的继续收集与创新^[22]。我国及世界许多国家都存在玉米种质资源基础狭窄的问题,大量的研究表明,西南地区玉米育种存在遗传基础狭窄问题,多数组合与Y78698和Y78599等美国杂交种有关,种质基础狭窄已成为当前玉米育种工作中不容回避的问题,成为限制玉米育种水平进一步提高的主要制约因素,特别是优质、抗逆、高配合力和适应性广的新种质匮乏,已成为影响玉米商业育种进一步发展的“瓶颈”^[9-10,12,24]。这就客观地要求我们把研究重点放在种质扩增、改良和创新上。在种质管理方面,国外公司把玉米种质划分成母本(SS)和父本(NSS)2个群,所有种质资源,均根据与测验种的杂种优势反应而分入两个群,这简化了种质资源管理^[22]。西南地区的玉米育种工作者根据育种实践,提出了一些不同的杂种优势模式,长期以来指导育种,取得了一些成绩^[2,25],但复杂的杂种优势群和杂种优势模式难以从本质上阐明玉米杂种优势育种理论和玉米种质材料评价与使用的规律性,也难以用来指导种质扩增、改良和创新研究,尤其是在正确评价和合理使用多样性种质资源时容易陷入混乱。因此,结合西南玉米育种实际,简化杂优模式是种质扩增、改良和创新的客观需求。

2.3 新品种选育技术相对落后

高密度育种是美国先锋公司的成功经验,包括自交系的早代高密度筛选和对杂交种的高密度筛选。在20世纪70年代末,先锋公司选育二环系的早代种植密度是157 500株 hm^{-2} ,2006年是195 000株 hm^{-2} ^[22],而目前西南地区多数育种单位早代材料的种植密度为60 000株 hm^{-2} 左右,这导致我们的育成品种在抗逆性上与国外公司育成品种间存在较大差距。

此外,育种的新技术、新方法,如分子标记辅助育种、双单倍体育种和转基因育种等,都已经在国外公司广泛应用^[22]。目前,我国在这些技术方法上的研究多数还停留在实验室阶段,应用这些新技术选育玉米自交系和杂交种方面还存在很大的差距。

3 育种应采取的对策措施

3.1 调整育种目标,确定主攻方向

根据西南地区生态特点、生产条件及玉米产业发展需求,我们认为今后该区玉米育种目标调整及主攻方向主要加强以下几个方面的工作。

3.1.1 抗病与抗虫 本区玉米生长季节气候高温多湿、阴雨寡照,病虫害(大斑病、小斑病、纹枯病、灰斑病、青枯病、穗粒腐病、丝黑穗病、玉米螟、蚜虫等)种类多,易流行成灾,是影响玉米高产稳产和粮食安全的第一生物胁迫因素^[1]。培育抗病抗虫玉米品种是本区今后玉米育种的主攻方向之一。

3.1.2 耐旱与耐瘠 干旱是影响西南山地玉米区玉米高产稳产的第一非生物胁迫因素^[2]。从生物学角度讲,要求玉米完全抗旱是不可能的,应把耐旱品种选育列为本区今后育种工作的重点。西南地区种植玉米的旱坡地土壤瘠薄,土壤有机质含量低,保水保肥能力差,有效磷钾供给缺乏,是制约玉米产量提高的重要因素^[12]。选育氮磷钾高效利用的杂交种是本区玉米育种工作的又一重点。

3.1.3 适合全程机械化生产 从目前及今后农村劳动力状况看,提高玉米机械化种植水平已成必然的发展趋势。因此,在今后的育种工作中,选育适宜机械化种植的玉米新品种也是需要重点解决的问题。研究表明,一个适合机械化种植的玉米品种要求杂交种一代能适度耐密植,植株半紧凑,株高、穗位高整齐一致,同期成熟,茎秆坚韧,抗病抗倒,灌浆脱水快,同时种子粒大适中、圆粒、均匀、饱满、发芽势强、发芽率高、苗势旺^[12,17]。更加强调新品种的种子质量是今后玉米育种的发展趋势。

3.1.4 适应耕作制度改革 目前西南地区玉米间套种植的耕作方式显然不适应玉米机械化种植发展的要求,夏播地区宜改目前的间套种植为净作种植,改春播为夏播可能是今后西南地区玉米种植制度改革的发展方向。因此,应把选育早熟、苗期耐高温高湿、生育后期耐高温逼熟、适宜夏播的高产新品种增列为西南杂交玉米育种新的研究方向^[12]。

3.1.5 拓展饲草玉米育种新方向 西南地区无霜期长、热量资源丰富,但阴雨寡照,部分地区虽不太适合玉米籽粒的生产,但很适宜玉米茎叶生长;同时在农区发展草食动物存在着饲料严重不足和与粮争地、与畜争粮的矛盾。因此,从因地制宜和农业产业结构调整的需求来看,利用玉米作为种子生产载体与四倍体多年生大刍草杂交,选育多分蘖、生长快、一年刈割多次、光周期钝感、多季多年持续高产、冬季耐低温、主要利用营养体优势的多年生“饲草玉米”新品种应是今后西南地区玉米育种的重要创新途径^[12,26]。

3.2 改良创新育种种质

3.2.1 明确杂优类群、简化杂优模式 国内外的研究表明,了解玉米杂优类群和杂优模式有助于减少玉米杂交育种的盲目性,而玉米杂种优势类群的划分具有经济性、地区性、主观性和变化性4个基本特性^[18-19]。因此,创新西南玉米种质时,必须根据西南山地玉米区育种用种质的现状、杂交育种的实际需要和生态生产特点,确定所需杂优类群,构建所需杂优模式。西南地区的玉米育种工作者根据育种实践,将西南地区育种用的玉米种质划分为Reid、Non-Reid群体及热带种质类群,其杂优模式为Reid群×Non-Reid群、Reid群×热带种质群和Non-Reid群×热带种质群^[2,27]。在此杂优模式的基础上,据我们的经验,还可将其简化为“温带种质自交系×热带(或亚热带)种质自交系”;同时在实际组配中,注重采用“自育系×外引系(包括国外系和我国北方选育的自交系)”的方式,有利于提高育种效率^[2-3,28]。

3.2.2 应开展的主要工作 种质资源改良与创新应开展的主要工作包括以下3个方面。

(1) 玉米基础种质评价与分析:综合采用常规方法与现代育种技术,多年多点、生物非生物胁迫条件对外引和国内主要种质材料进行鉴定与评价,重点研究群体农艺性状及配合力表现、遗传多样性、杂优类群和遗传组成等,探明群体育种潜势,筛选抗病、耐旱、耐瘠、耐密、养分高效、自身产量高、配合力强的新种质,重点筛选耐旱耐瘠、耐适度密植和抗区域主要病害的种质材料^[2-3,29]。

(2) 育种用群体合成与改良:根据西南玉米产区的生态、生产条件和玉米产业的发展需要,遵循该区所用种质杂优类群及杂交种组配模式,在国内外玉米种质鉴定的基础上,按杂优类群选择自身性状优良、配合力高且彼此又有一定差异的材料,合成群体;在对群体遗传育种潜势评价的基础上,针对群体存在的问题,确定好选择目标性状和选择强度,并利用适当的轮回选择方法进行改良;在群体改良过程中,应定期研究群体改良进展,及时调整改良方案和添加目标性状基因;在利用人工合成改良群体选系前,应根据群体遗传特性和自交后代配合力表现,采取相应的选系策略和方法^[30-31]。

(3) 特异育种材料创新:针对危害西南山地玉米区的主要病虫害和非生物逆境,以及玉米耕作制度改革和发展玉米生产全程机械化的需要,采用转基因工程育种技术和远缘杂交育种方法,利用近缘

种属的抗旱、耐瘠、抗病、优质等优良基因,发掘异源种属中的抗虫、抗逆等特异基因资源,创制玉米杂交育种用特异新种质^[1,23-24]。

3.3 突破性自交系的选育

优良自交系的选育是杂交种选育的基础和关键,没有突破性的自交系,就不会有突破性的杂交种。突破性自交系的选育,首先是突破性种质的创制,尤其是要注重特异新基因的发掘与利用;其次,选育过程中,要把产量一般配合力(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;第三,将单倍体育种技术、分子标记辅助选择技术和转基因等高新技术与传统育种技术相结合;第四,加大选系的鉴定力度,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。

3.4 改进育种方法

3.4.1 增加种植密度,加大选择压力 在西南地区,由于多年来选育和推广高秆大穗型品种,导致多数品种在稍高密度和逆境下表现出空秆、秃尖、倒伏和病害加重,稳产性差;同时,随着该区耕作制度的改革,增加种植密度不可逆转。因此,通过选育和推广耐密品种、增加大田种植密度提高玉米单产是西南区玉米育种的发展方向。密植育种法可以淘汰那些对微环境敏感的基因型,鉴定出材料的抗倒伏能力、抗病能力和结实特性,如空秆率、果穗的整齐度和结实率等,提高品种的适应性和稳产能力^[32-33]。结合西南地区生态特点、现有种质资源情况及育种实践,我们认为目前选系早代(S1~S3代)种植密度以75 000株 hm^{-2} 左右为宜,以后逐步增加到更高密度;组合初选时,种植密度应在现基础上增加至57 000~63 000株 hm^{-2} 。

3.4.2 完善玉米育种体系,实施南北穿梭育种

以新疆、甘肃为代表的我国西北一些地区,具有玉米杂交制种的十分优越的光温水条件,是我国杂交玉米制种最理想的地区。然而,我国西南地区自育自交系,常因其具有较强的光周期反应,不能用做母本在我国西北地区制种。显然,培育既适应西南平丘、河谷地区玉米生态生产条件种植,又能在我国西北地区杂交制种的优良品种是今后该区玉米杂交育种的一个新趋势^[34]。因此,采用南北穿梭育种方式,在一定程度上钝化西南地区自育自交系

的光周期特性,是我国西南地区杂交玉米商业化育种的重要技术路线。

3.4.3 加快我国玉米南方种子生产基地建设,满足西南特殊生态条件所需杂交种的繁育与制种 育种和生产的实践表明,适应西南山地的玉米优良杂交种,其亲本双方或一方均含有一定比例的热带种质血缘,或一方纯粹为热带种质选系,这些组合的亲本自交系难以通过南北穿梭育种方法钝化其光周期特性,这使得不能利用我国西北地区制种基地繁殖亲本和配制杂交一代种。因此,充分利用我国四川西昌和云南西双版纳等地的光温水和土地潜力等有利条件,加快建设我国南方玉米种子生产基地建设,解决西南特殊生态条件所需和生产所需杂交种的繁育与制种,也应作为该区玉米育种发展的战略问题来考虑。

3.4.4 加快育种新技术的开发与应用 育种新技术、新方法如转基因技术、分子标记辅助育种和单倍体育种等都已经先在先锋和孟山都等公司广泛应用。我国在研究和应用这些新技术选育玉米自交系和杂交种方面还存在很大的差距^[35-40]。我国的玉米转基因育种存在的主要问题是克隆技术不完善、具有自主知识产权的基因很少和缺乏规模化的高效遗传转化技术,这些是今后工作中需要重点解决的问题;我国的分子标记辅助育种虽然已经取得了很大的进展,但很少有报道育成的品系或品种,绝大多数研究仍停留在标记鉴定、定位和作图上,今后研究的重点应该放在发展廉价、准确、高通量的分子检测技术和功能分子标记开发上;目前,国内很多育种单位在开展单倍体诱导选系研究,并已初步建立较完善的育种体系,今后还需要进一步改进和完善亲本选择、诱导系选择和单倍体加倍等技术环节。

References

- [1] Liu J-L(刘继麟). Maize Breeding (玉米育种学), 2nd edn. Beijing: China Agriculture Press, 2002 (in Chinese)
- [2] Rong T-Z(荣廷昭), Li W-C(李晚忱), Yang K-C(杨克诚), Zhang B(张彪), Zhang S-K(张述宽), Tang H-J(唐洪军), Fan X-M(番兴明). Maize Breeding of Southwest Ecological Regions in China (西南生态区玉米育种). Beijing: China Agriculture Press, 2003. pp 262-264 (in Chinese)
- [3] Wang L-M(汪黎明), Wang Q-D(王庆东), Meng Z-D(孟昭东). The Varieties and the Pedigree of Maize in China (中国玉米品种及其系谱). Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers, 2010. pp 467-602 (in Chinese)

- [4] Pan G-T(潘光堂), Rong T-Z(荣廷昭). The inquiry on the tactics of developing maize hybrid in the southwest of China. In: Chinese Association of Agricultural Science Societies (中国农学会). 21st Century Prospect for China's Maize Hybrid Development—The International Symposium for China's Maize Genetic and Breeding. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000. pp 123–126 (in Chinese with English abstract)
- [5] Qin Y(秦勇). The corn demand gap in Chongqing reaches 100 million tons. *Stockbreeding Market* (畜牧市场), 2004, (4): 14 (in Chinese)
- [6] Yu Z-G(余志刚). The status and potential of production and strategy of sustainable development in maize in Guizhou. *Serv Agric Technol* (农技服务), 2007, 14(2): 114–116 (in Chinese)
- [7] Kong F-Y(孔祥林), Yan F-Y(闫飞燕). The status and consideration on development of production in maize in Guangxi. *China Seed Ind* (中国种业), 2008, (1): 12–14 (in Chinese)
- [8] Zhang B(张彪), Chen J(陈洁), Tang H-T(唐海涛), He W-Z(何文铸). Consideration on maize breeding of ground-breaking high-yield varieties in the southwest. *J Maize Sci* (玉米科学), 2010, 18(3): 68–70 (in Chinese with English abstract)
- [9] Rong T-Z(荣廷昭), Li W-C(李晚忱), Pan G-T(潘光堂). Suggestion on development of science and technology in maize genetic and breeding at the beginning of 21st century. *J Maize Sci* (玉米科学), 2003, 11(special issue): 42–53 (in Chinese with English abstract)
- [10] Chen W-J(陈文俊). Utilization status and countermeasure of maize production and heterosis in southwest china. *J Maize Sci* (玉米科学), 2005, 13(suppl): 5–6 (in Chinese with English abstract)
- [11] Du S-K(杜世凯). Discussion on the maize breeding in the main-tain area in southwest China. *China Seed Ind* (中国种业), 2007, (10): 44–45 (in Chinese)
- [12] Yang K-C(杨克诚), Xiang K(向葵), Pan G-T(潘光堂), Rong T-Z(荣廷昭). Characteristics of new maize varieties in southwest region and selection of main extending maize varieties. *J Maize Sci* (玉米科学), 2010, 18(1): 146–148 (in Chinese with English abstract)
- [13] Huo S-P(霍世平), Zhang X-D(张兴端), Xiang Z-F(向振凡), Zhang J(张建), Yan Q-J(晏庆九), Yu Z-J(余志江), Zhang F-K(张芳魁). Maize cross breeding in Chongqing. *Crops* (作物杂志), 2011, (1): 109–112 (in Chinese)
- [14] Chen C(陈超), Pang Y-M(庞艳梅), Zhang Y-F(张玉芳). On the characteristics of climate change in Sichuan basin in the recent 50 years. *J Southwest Univ* (Nat Sci Edn)(西南大学学报: 自然科学版), 2010, 32(9): 115–120 (in Chinese)
- [15] Sichuan Province Bureau (四川省统计局). Study on the Transport and Employment Characteristic of the Labor Force in Country in Sichuan Province (四川农村劳动力转移与就业特点研究), 2006 [2009-03-27]. http://www.sc.gov.cn/zwgk/zwtd/bmdt/200903/t20090327_649436.shtml (in Chinese)
- [16] Chang Z-Z(长子中). The pain of the shortage of labor in rural area. *Western Forum* (西部论丛), 2009, (1): 20–21 (in Chinese)
- [17] NBSC(国家统计局). China Statistic Yearbook—2006 (中国统计年鉴 2006). Beijing: China Statistical Publishing House, 2007 (in Chinese)
- [18] Sichuan Province Bureau (四川省统计局). Sichuan Province Statistics—2010 (四川统计年鉴 2010). <http://www.sc.stats.gov.cn/sctj/>
- [19] Lu Y(卢艳), Cui Y-P(崔燕平). A study on the temporal-spatial changes and its influencing factors of China's arable land during 1986–2007. *J Xinyang Teachers Coll* (Nat Sci Edn)(信阳师范学院学报: 自然科学版), 2010, 23(2): 245–249 (in Chinese with English abstract)
- [20] Yan F-Y(闫飞燕), Xie T-L(谢太理). Discussion on the maize breeding objective in Guangxi based on Zhengda 619. *Chin Univ Technol Transfer* (中国高校科技与产业化: 学术版), 2006, (suppl-1): 318–319
- [21] Bai X-R(白雪瑞), Su Z(苏智). Affecting factors of transforming modes of agricultural growth. *J Northwest Agric Univ* (Soc Sci Edn) (东北农业大学学报: 社会科学版), 2007, 5(1): 31–33 (in Chinese with English abstract)
- [22] Zhang S-H(张世煌), Xu W-P(徐伟平), Li M-S(李明顺), Li X-H(李新海), Xu J-S(徐家舜). Challenge and opportunity in maize breeding program. *J Maize Sci* (玉米科学), 2008, 16(6): 1–5 (in Chinese with English abstract)
- [23] Zhang R-C(张仁春), Yang H-F(杨华峰). The mechanized operation demands the combination of farm machinery and character of agronomical. *Mod Agric Equipment* (现代农业设备), 2010, (7): 60–61 (in Chinese)
- [24] Chen F-B(陈发波), Yang K-C(杨克诚), Pan G-T(潘光堂), Rong T-Z(荣廷昭). Analysis of the diversity of maize hybrid in regional test of Sichuan and southwest China. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2007, 33(6): 991–998 (in Chinese with English abstract)
- [25] Yao W-H(姚文华), Tan J(谭静), Chen H-M(陈红梅), Xu C-X(徐春霞), Fan X-M(番兴明). The advances of studying on maize heterotic group. *J Maize Sci* (玉米科学), 2006, 14(5): 30–34 (in Chinese with English abstract)
- [26] Rong T-Z(荣廷昭), Tang Q-L(唐祈林). Breeding and utilization of SAUMZ1, a new forage maize variety with good quality and

- higher yield. *Guizhou Agric Sci* (贵州农业科学), 2007, 35(1): 7–9 (in Chinese with English abstract)
- [27] Duan Z-L(段智利), Yao W-H(姚文华), Huang Y-X(黄云霄), Wang Y-F(汪燕芬), Luo L-M(罗黎明), Xu C-X(徐春霞), Chen H-M(陈红梅), Tan J(谭静), Fan X-M(番兴明). Heterotic grouping of maize inbred lines by combining ability and molecule markers. *Mol Plant Breed* (分子植物育种), 2008, 6(5): 921–928 (in Chinese with English abstract)
- [28] Rong T-Z(荣廷昭), Pan G-T(潘光堂), Huang Y-B(黄玉碧), Tang Q-L(唐祈林). The utilization of tropical germplasm in the maize breeding of temperate zone. *Crops* (作物杂志), 1998, (suppl): 11–14 (in Chinese)
- [29] Ren W(任伟), Zhang C-C(张长春), Yan K(严康), Yang X-D(杨旭东). Discussion on maize germplasm resources innovation in our country. *J Maize Sci* (玉米科学), 2010, 18(5): 39–41 (in Chinese with English abstract)
- [30] Fan X-M(番兴明), Tan J(谭静), Zhang S-H(张世煌), Li M-S(李明顺), Huang Y-X(黄云霄), Yang J-Y(杨峻云), Peng Z-B(彭泽斌), Li X-H(李新海). Heterotic Grouping for 25 tropical maize inbreds and 4 temperate maize inbreds by SSR markers. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2003, 29(6): 835–840 (in Chinese with English abstract)
- [31] Li L-J(李芦江), Yang K-C(杨克诚), Pan G-T(潘光堂), Rong T-Z(荣廷昭). The improvements and utilizations of synthetic maize population. *J Maize Sci* (玉米科学), 2011, 19(1): 1–7 (in Chinese with English abstract)
- [32] Wang Y-D(王元东), Duan M-X(段民孝), Xing J-F(邢锦丰), Zhao J-R(张雪原). Studying on elite inbred lines breeding in maize by selecting in high density under different ecological conditions. *J Maize Sci* (玉米科学), 2009, 17(3): 55–59 (in Chinese with English abstract)
- [33] Dai J-R(戴景瑞), E L-Z(鄂立柱). Scientific and technological innovation of maize breeding in China. *J Maize Sci* (玉米科学), 2010, 18(1): 1–5 (in Chinese with English abstract)
- [34] Su Q-Y(苏琴英), Liu W-F(刘万福). Discussion on the key problem of ex situ corn seeds production. *China Seed Ind* (中国种业), 2003, (6): 14 (in Chinese)
- [35] Yin X-J(尹祥佳), Weng J-F(翁建峰), Xie C-X(谢传晓), Hao Z-F(郝转芳), Wang H-L(王汉宁), Zhang S-H(张世煌), Li X-H(李新海). The maize genetic transformation technology, current status and applications. *Crops* (作物杂志), 2010, (6): 7–15 (in Chinese with English abstract)
- [36] Yu H-B(于海波), Zhang L(张玲). Study on the maize genetic transformation technology. *J Maize Sci* (玉米科学), 2011, 19(5): 64–67 (in Chinese with English abstract)
- [37] Xu Y-B, Crouch J H. Marker-assisted in plant breeding: from publication to practice. *Crop Sci*, 2008, 48: 391–407
- [38] Wang Y-J(王益军), Sun P(孙萍), Deng D-X(邓德祥), Bian Y-L(卞云龙). Association analysis and breeding by molecular design in maize. *J Maize Sci* (玉米科学), 2010, 18(5): 9–13 (in Chinese with English abstract)
- [39] Li L(黎亮), Li H-C(李浩川), Xu X-W(徐小炜), Chen S-J(陈绍江). Research progress of haploid doubling technology on maize. *J Maize Sci* (玉米科学), 2010, 18(1): 12–14 (in Chinese with English abstract)
- [40] Du H-W(杜何为), Dai J-R(戴景瑞), Li J-S(李建生). Study proceeding in haploid breeding of maize. *J Maize Sci* (玉米科学), 2010, 18(6): 1–7 (in Chinese with English abstract)