文章编号：1005-0906(2022)04-0016-06 DOI: 10.13597/j.cnki.maize.science.20220403

双向轮回选择为核心的玉米育种体系构建

赵东波[1],管培燕[2],王春雨[1],朱冠雄[1],高建胜[1],崔慧妮[1],
郭建军[1],郭智慧[1],孙季平[1],郭良海[1]
(1.德州市农业科学研究院,山东 德州 253015；2.德州学院,山东 德州 253023)

摘 要：玉米是我国第一大粮食作物,玉米生产取得的巨大成就与品种改良密切相关,种质的合理利用,杂种优势群和杂优模式的应用起到了关键作用。本文根据国内形成的玉米选系理论,结合选系实践经验,提出双向轮回选育体系,其核心在于“双向”和“轮回”,把二环系选育、动态基因池选育、双单倍体育种、回交转育、分子辅助育种以及转基因检测和功能基因的开发等玉米选育方法有机结合。构建玉米群体双向轮回选育体系,有利于促进玉米育种工作的系统化和流程化。

关键词：玉米育种;二环系选育;基因池选育;双向轮回选择;分子辅助育种
中图分类号：S513.035.1 **文献标识码**：A

Construction of Maize Breeding System Based on Two-way Recurrent Selection

ZHAO Dong-bo[1], GUAN Pei-yan[2], WANG Chun-yu[1], ZHU Guan-xiong[1], GAO Jian-sheng[1], CUI Hui-ni[1], GUO Jian-jun[1], GUO Zhi-hui[1], SUN Ji-ping[1], GUO Liang-hai[1]
(1. *Dezhou Academy of Agricultural Sciences*, *Dezhou* 253015;
2. *Dezhou University*, *Dezhou* 253023, China)

Abstract: Maize is the first major food crop in China. The great achievements in maize production are closely related to the improvement of its varieties, and the rational utilization of germplasm, especially the application of heterotic groups and heterotic patterns. The basic theory and certain practical methods in selection were discussed, and proposed a two-way recurrent breeding system. The core of this breeding system is “two-way” and “recurrent”. It deeply combines the breeding methods of second cycle inbred, dynamic gene pool selection, double haploid breeding, backcross breeding, molecular marker-assisted breeding, and transgenic detection and functional gene development. The establishment of bidirectional cycle breeding system for maize population will be beneficial to promote the systematization and process of maize breeding.

Key words: Maize breeding; Second cycle inbred; Gene pool selection; Two-way recurrent selection; Molecular marker-assisted breeding

玉米,禾本科玉蜀黍属,一年生C_4草本,具有很高的产量潜力,原产于中南美洲,热带作物,现如今世界各地皆有栽培,我国玉米主要产区是东北和黄淮海[1~3]。自2011年起玉米成为全球第一大作物,也是我国第一大粮食作物[4]。2020年全国粮食总产量66 949万t,其中玉米产量达26 067万t。全国玉米平均产量2001年4 698.44 kg/hm^2,2019年达到6 316.70 kg/hm^2(数据来自国家统计局,https://data.stats.gov.cn/),保持平均每年85.17 kg/hm^{2}的增产速度。玉米生产取得巨大成就与品种改良利用密切相关,种质的合理利用,尤其是杂种优势群和杂优模式

录用日期：2021-07-20
基金项目：财政部和农业农村部“国家现代农业产业技术体系项目”(CARS-02-56)、山东省现代农业产业技术体系玉米创新团队项目(SDAIT-02-19)、山东省青年自然科学基金项目(ZR201910210399)
作者简介：赵东波(1988-),山东东明人,硕士,从事玉米栽培及遗传育种研究工作。Tel:17853498800
E-mail:dongbzhao@126.com
孙季平和郭良海为本文通讯作者。
E-mail:dzsnkydb@163.com E-mail:sdqzglh@126.com
致 谢：感谢安徽隆平高科种业有限公司和齐河金宽玉米研究所同事给予的帮助。

的应用起到关键作用。本文结合当前我国玉米育种现状,提出了具有“双向”和“轮回”育种思维、“模块化”和“网络化”育种特色的双向轮回选择为核心的玉米育种理论体系,加强两群双向轮回育种思维,提高玉米育种效率,避免测试的盲目性,降低测试成本,促进玉米育种的系统化、流程化。

1　我国玉米育种现状

玉米育种本质在于选育优良自交系、选配优良杂交组合。2015年,中玉金标记公司对我国玉米主产区近3 000份生产一线的玉米种质资源进行遗传分析,结果表明,大致分为PH6WC类、PH4CV类、郑58类和昌7-2类共4个改良类群。我国玉米育种的现状主要是对商业种的自交系改良或进行二环系选育[5]。随着分子标记技术的发展,产生了性状关联筛选(TAS)、分子标记辅助选择育种(MAS)、分子标记辅助的回交育种(MABC)、分子标记辅助的轮回选择(MARS)等一系列分子辅助育种技术[6,7],常规的二环系选育、群体改良、轮回选育、基因池选育、双单倍体选育、回交转育等选育方法和技术出现了新的形式。近几年CRISPR-Cas9基因编辑的发展,使DNA的精准改造成为现实,转基因玉米的选育也已经被提上日程。

2　双向轮回选择为核心的玉米育种体系

双向轮回选择的核心在于“双向”和“轮回”,其贯穿于选育的每个环节,形成了双向轮回选育、动态基因池选育、单倍体选系、回交转育、分子辅助育种以及转基因研究等模块。各模块具有一定独立性,适用于不同的育种需求,完成特定的选育工作;又以“双向”和“轮回”为核心,各模块有机结合,相互交融,可以制定跨模块育种方案,共同形成“模块化”“网络化”的双向轮回选择为核心的玉米育种体系(图1)。

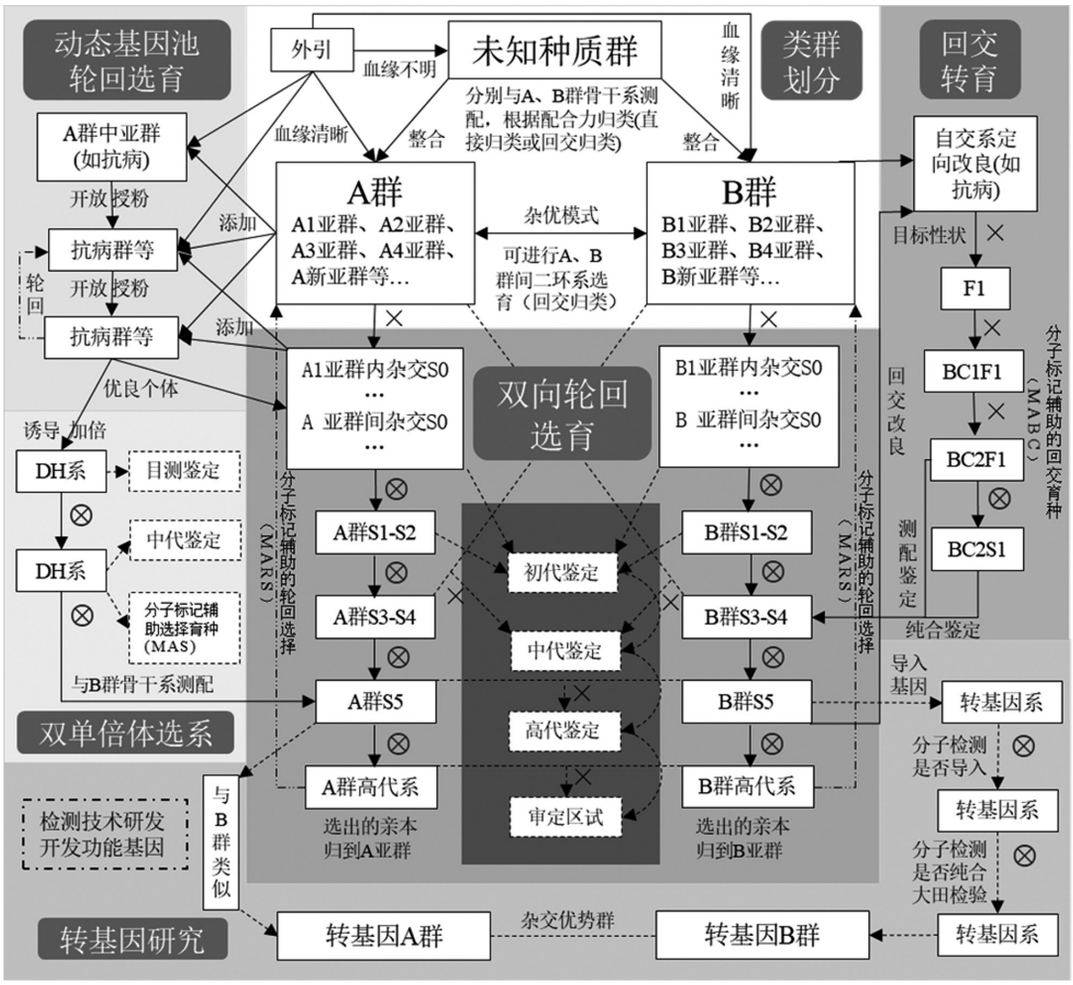

图1　双向轮回选择为核心的玉米育种体系

Fig.1　Maize breeding system based on two-way recurrent selection

2.1 玉米类群划分和杂优模式

在不同生态区其杂优模式不完全相同，且在不断发展和变化，原有的优势群也会不断改良和完善，新的杂优模式也会陆续在生产上被利用[8,9]。此时，就不可避免地需要适时调整玉米杂种优势群划分和组配新的杂优模式；“二群论”，可以把纷繁复杂的育种方法简单化、流程化。双向轮回选择为核心的玉米育种体系采用二群论(多亚群)。

具体方法：以表型聚类为主，分子标记聚类为辅，根据材料实际情况，把“血缘”特征明显的材料划分为两大类群，可以是瑞德群和非瑞德群，或SS群和NSS群等。为了表述方便称为A群和B群，杂优模式为A群×B群。对于“血缘”特征不明显的种质材料，无法直接归类到A群和B群的自交系，用分子标记辅助类群划分，根据聚类结果确定测配骨干系，测配计算一般配合力。与A、B群配合力差别比较大的自交系，归类到配合力低的亚群；与A、B群配合力差别不大且小于A群与B群之间的配合力，采用回交归类。与A群自交系回交1～2次，选出新自交系归为A群亚类；与B群自交系回交1～2次，选出新自交系归为B群亚类。

对于新外引的自交系，同上述方法，“血缘”清晰采取表型聚类；“血缘”不明采取分子标记结合一般配合力，精准聚类。

2.2 双向轮回选育

“双向轮回选育”是群体轮回选育的一种形式，对两个杂种优势群同步轮回改良。“一轮”是指从S_0到S_5或更高代系，包含完整的群内改系或二环系选育。两群互为测验种进行配合力测定，始终保持或扩大两群间遗传距离，逐步增加各杂种优势群内育成自交系有益基因频率，保持杂种优势群内遗传多样性，促进两个杂种优势群同步改良[10]，即“双向”；S_5重新参与下一轮群内改系，即“轮回”。群内骨干系，逐渐被轮回过程中产生的特点鲜明的新品种亲本替代，实现骨干系的进化、升级，并对骨干系材料进行高通量分子标记分析，调整新骨干系的亚类群划分，使得骨干系更具有代表性、世代性。

具体方法：群内改系，包含亚群内杂交和群内亚群间杂交，产生A群和B群的S_0世代。

S_1～S_2世代，初代鉴定，穗行密植，目测淘汰为主，不做测配试验。

S_3～S_4世代，中代鉴定，直接淘汰田间表现不良的穗行。其中，S_3中代鉴定，A群S_3世代同B群骨干系(作为父本)做部分半双列杂交试验，测配数量庞大时，可以用A群S_3世代交替同B群骨干系杂交。S_3对应的杂交种测试建议采用间比法或增广试验设计，淘汰杂交种性状和产量表现不良的对应亲本。根据S_3中代鉴定结果，以一般配合力高的B亚群骨干系为主，作为A群S_4世代的测配骨干系。S_4中代鉴定，A群S_4世代同选出的B群骨干系(作为父本)做半双列杂交试验。S_4对应的杂交种测试建议采用间比法或不完全随机区组，淘汰杂交种性状和产量表现不良的对应亲本。

中代鉴定，测试待选株系配合力的同时，也在选择其杂交优势骨干系，以确定其最优的杂交优势亚群，为高代鉴定的精准测配做准备。

S_5世代，高代鉴定，直接淘汰田间表现不良的穗行。根据中代鉴定结果，选取B群具有最优杂优模式亚群血缘的S_5个体作为测验种(如BX亚群S_5)。A亚群S_5×BX亚群S_5，做不完全双列杂交试验；也可以根据所测试的S_5的雌穗、雄穗以及株高等特征，减少测配组合数，选出性状和产量表现优良的组合。S_5对应的杂交种试验建议采用间比法或随机完全区组试验设计。

S_6世代，根据S_5世代高代鉴定结果，对于最优异组合直接进入区试，同时持续自交，纯化自交系；对于表现优异的组合，再进行一次高代鉴定。S_6及更高世代的自交系，作高通量分子标记，精准聚类，划分到具体亚类或新亚类，同时设计下轮改良方案。每次轮回，都可能产生优良株系和组合，实现短期育种目标。多次轮回选择可以实现多优良性状的聚合和持续改良，实现中长期育种目标。

双向轮回选育同穿梭育种结合，不同世代交替在北方多点鉴定和海南纯化选系，促进基因与环境的充分互作，加快选系速度。如华皖617(国审玉20176060)，母本H811513是利用自交系济522与自交系L811(自交系L811：美国杂交种H513自交选育)杂交，经连续自交6代定向选育而成；父本H996是利用美国杂交种先玉335为基础材料，经过连续6代自交定向选育而成[11]。华皖616(辽审玉2013023)，母本H239自交系是利用自交系H639的变异株为基础材料，经过连续8代自交选育而成，其中自交系H639，来源于郑58与齐319杂交选育而成；父本H6M自交系是以美国玉米杂交种先玉335为基础材料，经过6代连续自交定向选育而成[12]。

2.3 动态基因池轮回选育与双单倍体育种结合

创新自交系种质，就需要获得新的基因位点或新的基因组合。动态基因池轮回选育，是对基因池轮回选育的改良。首先建立尽可能广泛化的具有目标导向的“窄基”种质群体[13～15]，在隔离条件下，个体

随机交配，基因充分交流。经多生态区种植，如类原产地、适宜生态区、非适宜生态区等，进行充分的基因与环境互作，并根据改良目的增加需要的种植密度、人工接“种”、风洞试验、耐高温、低温等特定条件，加大淘汰不利基因个体的力度，加速有利基因聚合速度，使基因池向目标性状定向遗传漂变。为了弥补轮回选择过程中基因池基因多样性迅速降低的缺点，需动态渗入目标优良基因。动态基因池轮回选育策略，适合改良多基因控制的数量性状或多优良质量性状的聚合，尤其基因紧密连锁的重新组合，是实现中长期育种目标的一种有效方法。但优良株系自交纯化过程比群内杂交选系稳定慢，为加快选育过程可与双单倍体(DH)育种结合。

DH育种，是指利用孤雌生殖诱导系，诱导花粉产生单倍体子粒，然后使用秋水仙素或结合渗透剂DMSO等，使其染色体组加倍获得纯合二倍体的一种育种方法。双单倍体育种技术，对于基因型高度杂合的株系能快速纯合。目前，市场上已有单倍体选育自交系组配的商业种。如鲁糯14、中农大169、京单38、鲁单818、吉单441、太平洋891、桂单1125、先玉1331、吉单407、五谷738、增玉153、华西829等(中国种业大数据平台，http://202.127.42.47:6010/SD-Site/Home/Index)。

具体方法：组建基因池(如抗病)，从A群(或B群)选出抗一种及以上玉米常见病的自交系材料，根据目标特征选入基因池。按照轮回选育思路，每轮选出100穗，每穗30粒，混合密植播种，可以人工接“种”，淘汰易感个体，隔离区自由授粉或混粉人工授粉。轮回过程中，把双向轮回选育出的同类群新抗病自交系、或外引近缘自交系、或近缘群内改良杂交种加入基因池。基因池可以多地种植，每个种植区群体大小维持在3 000株左右，即避免群体过大，又可以实现充分的基因交流和基因环境互作。

经3～4轮选育后，每轮选出的100穗，每穗取20～30粒，进行DH育种。待成长为单株，与适合的诱导系杂交，产生带R1-nj标记的子粒，通过子粒胚乳糊粉层和胚芽部位颜色筛选单倍体子粒[16,17]。DH系1代建议采用侵芽法使其加倍，然后育苗移栽，淘汰性状差或异常高大的株系。DH系2代结合分子标记初步确定杂优模式，同双向轮回选育中S_5世代进行高代鉴定。基因池轮回过程中选出的优良单株也可以逐代自交纯化，同双向轮回选育中S_0世代进行初代鉴定，这样基因环境互作更充分，但纯合速度慢。

进行选系纯化的同时，每个基因池保持3 000株的群体规模进行下轮基因池选育，在轮回时代中持续选出符合预期的优良单株，选育自交系。每轮产生的优良单株进行株系纯化，进入双向轮回选育；同时，把新引进或双向轮回选育产生的优良自交系(或近缘改系杂交种)加入基因池，实现基因池基因多样性的动态稳定。

2.4　回交转育

回交转育改良技术，以能提供某种优良性状基因(或基因群)的自交系作为供体，通过杂交定向改良轮回亲本，经多次回交，回交后代不断增加轮回亲本的遗传比重，使某种优良性状有利基因(或基因群)的自交系转育到轮回亲本，达到轮回亲本定向改良的目的[18]。回交转育时，如果供体与轮回亲本“血缘”较近，回交1～2代即可进行自交选系，纯化速度快[19]。回交转育适用于表现优良的自交系个别性状定向改良，是实现短期育种目标的一种重要方法[20]。若A群S_5世代自交系或某骨干系存在个别性状需要改良。如自交系A1株型高易倒伏，A群有含致矮基因的自交系AK1。A1×AK1，然后用A1回交，保持A1具有AK1的致矮性状，并逐步恢复A1的其他性状。一般回交1～2次，每轮进行MABC筛选，同时进行大田检验，尽可能避免假阳性。由于轮回亲本和供体遗传距离近，自交系稳定快。改良达到预期目标的株系，直接并入双向轮回选育S_4或S_5世代。

双回交转育，指杂优模式的双亲本同时进行回交转育，以期改良需要纯合才能表现出优良性状的杂交种，或实现两个优良性状聚合，同时保持双亲的一般配合力和特殊配合力，实现对杂交种的更新换代。如A1进行致矮性状株型改良时，对A1杂优模式的另一亲本同时进行抗茎腐病改良或其他性状改良。改良后的双亲本基本保持了原有的遗传背景，其杂优模式基本不变，并入双向轮回选育S_4或S_5世代，组配的工作量非常小。

类群并不是一成不变的，通过回交转育，可以实现基因跨类群聚合。如轮回亲本和供体分属A群和B群，需要多回交1～2次。如果待改良的目的基因是纯隐性才表现优良性状，回交结束后，再自交进行纯合鉴定。

2.5　转基因研究

全球转基因作物种植面积不断增加，2017年达到1.851亿hm^2，其中，转基因玉米种植面积位列第3位[21]。从2019～2021年，我国已有转基因玉米获得在北方春玉米区、黄淮海夏玉米区、南方玉米区、西南玉米区、西北玉米区等生产应用的安全证书(数据来自中华人民共和国农业农村部，农业转基因生物

安全证书批准清单，http://www.moa.gov.cn/ztzl/zjyqwgz/spxx/)。玉米转基因研究需要严格遵循《农业转基因生物安全管理条例》规定。

转基因技术的核心是功能基因的开发和利用。功能基因的开发，前期投入大，研发周期长，技术发展快、要求高，可以与高校、科研院所等联合研究。功能基因的利用，主要是常规种的转基因化。双向轮回选育中S_5世代，优良杂交种的亲本子粒进行转基因，如耐除草剂、抗虫、提高赖氨酸含量等功能基因的转入。对转基因植株进行分子检测，转基因成功转入的单株自交，并进行大田检验和纯合检测。当常规育种通过区试时，对应的转基因品种也已育成，其对应亲本分别归类到转基因类群库的A群和B群。对于单基因控制的性状，尤其该基因缺失时表型优良，可以通过CRISPR-Cas9实现定点敲除，改良自交系。

3 展 望

3.1 模块化、网络化的育种体系

双向轮回选择为核心的玉米育种体系，是一种“模块化”育种，团队内按模块安排育种工作，尽可能让“数据说话”，减少人为因素的影响；也是一种“网络化”育种，根据需求，选取适当的技术，跨模块调整育种方案。目前，大型商业化育种公司多采用类似该体系的育种模式。“二群论”是杂优模式群的最简模式，易于商业育种种质管理。小型的育种团队也可以借鉴该体系的育种思路，尤其多团队合作，“模块化”育种将是一种有效的协作手段。

3.2 市场需求在哪里，育种方向就在哪里

目前，我国以耐高氮肥的玉米品种为主，为了追求高产，在贫瘠土地长期采用高肥水耕作模式，容易造成环境污染[22]。在自然条件下，适应贫瘠土地的中高产品种引起关注[23]。随着经济发展“工价”上涨，粗放管理的“一炮轰”施肥模式品种数量最近几年又呈现逐年增加趋势。耐贫瘠品种和“懒汉”品种的选育，不失为追求经济收益的有效手段。玉米育种的多抗、稳产、高产、适应机收以及特殊品质等多育种方向，归根到底是适应市场需求、增加种植户经济收益。了解育种技术发展的同时，更应该关注“客户”需求、把握市场。市场需求在哪里，育种方向就在哪里。

3.3 分子标记辅助育种和常规育种，两条腿走路

伴随计算机应用软件的开发，其分子检测技术已逐步实现程序化，分子标记技术可以迅速、准确地鉴定和检测玉米自交系或杂交种的纯度以及预测杂交组合产量及其主要性状[24]。分子标记辅助育种成本偏高，缺少基因环境互作，且对数量性状略显不足。传统育种的“经验论”具有一定的盲目性，待测自交系增加，测试数会指数增长。通过分子生物技术的有效预测，实现常规育种的精准测试已势在必行。因此，肯定和利用分子技术成果的同时，加强与传统育种的深度融合，实现“两条腿走路”，势必迎来育种工作的新一轮革命[25]。

参考文献：

[1] 杨秀燕，蔡 毅，傅 杰，等．玉米及其近缘种大刍草的核型研究[J]．中国农业科学，2011，44(7)：1307-1314．
Yang X Y, Cai Y, Fu J, et al. Karyotypes of maize and its relatives-teosinte[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(7): 1307-1314. (in Chinese)

[2] 姚国旗，曹 冰，单 娟，等．玉米南方锈病抗性新种质的筛选[J]．山东农业科学，2014，46(7)：112-116．
Yao G Q, Cao B, Shan J, et al. Screening of new maize germplasms resistant to southern rust[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2014, 46(7): 112-116. (in Chinese)

[3] 孙致陆．我国三大主粮单产水平的时空演进与地区收敛[J]．华南农业大学学报(社会科学版)，2017，16(3)：12-26．
Sun Z L. Spatial temporal evolution and regional convergence of the yields of China's three major grains[J]. Journal of South China Agricultural University(Social Science Edition), 2017, 16(3): 12-26. (in Chinese)

[4] 赵久然，王荣焕．中国玉米生产发展历程、存在问题及对策[J]．中国农业科技导报，2013，15(3)：1-6．
Zhao J R, Wang R H. Development process, problem and countermeasure of maize production in China[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2013, 15(3):1-6. (in Chinese)

[5] 赵久然，李春辉，宋 伟，等．基于SNP芯片揭示中国玉米育种种质的遗传多样性与群体遗传结构[J]．中国农业科学，2018，51(4)：626-644．
Zhao J R, Li C H, Song W, et al. Genetic diversity and population structure of important Chinese maize breeding germplasm revealed by SNP- Chips[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2018, 51(4): 626-644. (in Chinese)

[6] 赵久然，王 帅，李 明，等．玉米育种行业创新现状与发展趋势[J]．植物遗传资源学报，2018，19(3)：435-446．
Zhao J R, Wang S, Li M, et al. Current status and perspective of maize breeding[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2018, 19(3): 435-446. (in Chinese)

[7] 唐 军，王文强，黄春琼，等．玉米育种技术研究进展[J]．热带农业科学，2017，37(5)：42-50．
Tang J, Wang W Q, Huang C Q, et al. Research advances in breeding of maize[J]. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2017, 37(5): 42-50. (in Chinese)

[8] 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 south-

west China[J]. Journal of Maize Sciences, 2020, 28(1): 1-8. (in Chinese)

[9] 王元东,赵久然,张华生,等 . 玉米宜粒收品种的选育及种质创新策略[J] . 分子植物育种,2020,18(10):3455-3460 .
Wang Y D, Zhao J R, Zhang H S, et al. Strategies of maize breeding and germplasm development for mechanical harvesting grain[J]. Molecular Plant Breeding, 2020, 18(10): 3455-3460. (in Chinese)

[10] 才 卓,徐国良,郭 琦,等 . 基于自然加倍为主体的DH双轮回选择玉米育种技术体系的构思[J] . 玉米科学,2018,26(1):1-7 .
Cai Z, Xu G L, Guo Q, et al. Conception of new maize breeding system based on spontaneous doubling capabilities integrated into recurrent selection scheme[J]. Journal of Maize Sciences, 2018, 26(1): 1-7. (in Chinese)

[11] 韩坤龙,步蕴法,黄发领,等 . 玉米新品种华皖617选育及高产栽培技术[J] . 安徽农学通报,2018,24(7):35-36 .
Han K L, Bu Y F, Huang F L, et al. Breeding and high yield cultivation techniques of maize variety HW617[J]. Anhui Agricultural Sciences Bulletin, 2018, 24(7): 35-36. (in Chinese)

[12] 王家保,韩坤龙,聂桂霞,等 . 玉米新品种华皖616的选育及其特征特性[J] . 安徽农业科学,2015,43(21):51-52 .
Wang J B, Han K L, Nie G X, et al. Breeding and characteristics of maize variety HW616[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2015, 43(21): 51-52. (in Chinese)

[13] 李芦江,陈文生,兰 海,等 . 不同轮回选择方法对玉米窄基群体遗传多样性的影响[J] . 核农学报,2015,29(1):21-28 .
Li L J, Chen W S, Lan H, et al. Effect of different recurrent selection methods on the genetic diversity of a narrow base maize population[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2015, 29(1): 21-28. (in Chinese)

[14] 李芦江,兰 海,潘光堂,等 . 不同轮回选择方法对玉米窄基群体的改良效果[J] . 作物学报,2014,40(11):1895-1904 .
Li L J, Lan H, Pan G T, et al. Effect of different recurrent selection methods on a narrow base maize population[J]. Acta Agronomica Sinica, 2014, 40(11): 1895-1904. (in Chinese)

[15] 苏 俊,闫淑琴 . 玉米窄基因群体的构建与利用[J] . 黑龙江农业科学,2010(1):11-13 .
Su J, Yan S Q. Construction and application of maize population with narrow genes[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2010(1): 11-13. (in Chinese)

[16] 姜 昱,王玉民,王中伟,等 . 我国玉米单倍体育种技术研究进展[J] . 玉米科学,2008,16(6):48-51,57 .
Jiang Y, Wang Y M, Wang Z W, et al. The advances at haploid breeding of maize in China[J]. Journal of Maize Sciences, 2008, 16(6): 48-51,57. (in Chinese)

[17] 赵 延,董树亭,张锁良,等 . 玉米单倍体育种技术研究与应用进展[J] . 玉米科学,2007,15(5):60-64 .
Zhao Y M, Dong S T, Zhang S L, et al. Development in the research and application of technology of haploid breeding in maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2007, 15(5): 60-64. (in Chinese)

[18] 王义发,沈雪芳,张 壁,等 . 紧凑型耐密植糯玉米育种技术研究[J] . 上海农业学报,2011,27(4):94-97 .
Wang Y F, Shen X F, Zhang B, et al. Advance in breeding compact type waxy corn tolerant to close planting[J]. Acta Agriculture Shanghai, 2011, 27(4): 94-97. (in Chinese)

[19] 吴洪恺,陆作楣,史开兵 . 杂交粳稻同质恢复系选育方法研究[J] . 杂交水稻,2008,23(6):7-10,30 .
Wu H K, Lu Z M, Shi K B. Studies on breeding methods of iso-cytoplasmic restorer lines in japonica hybrid rice[J]. Hybrid Rice, 2008, 23(6): 7-10, 30. (in Chinese)

[20] 王 振,高树仁,王 霞,等 . 玉米不育系回交转育群体背景选择效果的研究[J] . 玉米科学,2018,26(2):23-29 .
Wang Z, Gao S R, Wang X, et al. Effect of backcross breeding of maize male sterile line on population background selection[J]. Journal of Maize Sciences, 2018, 26(2): 23-29. (in Chinese)

[21] 鲜一丹,任振涛,沈文静,等 . 转基因双抗除草剂玉米对田间节肢动物群落多样性的影响[J] . 中央民族大学学报(自然科学版),2020,29(2):5-12 .
Xian Y D, Ren Z T, Shen W J, et al. Effects of transgenic herbicide-tolerance maize on biodiversity of arthropod communities in the fields[J]. Journal of Minzu University of China(Natural Sciences Edition), 2020, 29(2): 5-12. (in Chinese)

[22] 庞津雯,王钰皓,刘 畅,等 . 不同施肥量对旱作沟垄集雨种植农田土壤水分及玉米产量的影响[J] . 植物营养与肥料学报,2021,27(5):826-836 .
Pang J W, Wang Y H, Liu C, et al. Effects of fertilization on soil moisture and maize yield in rainfed farmland with ridge mulching-furrow planting system[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2021, 27(5): 826-836. (in Chinese)

[23] 陈雨生,王 平,王克响,等 . 我国海水稻产业发展的战略选择[J] . 中国海洋大学学报(社会科学版),2018(1):50-54 .
Chen Y S, Wang P, Wang K X, et al. The strategic choice of sea rice industry development in China[J]. Periodical of Ocean University of China(Social Science Edition), 2018(1): 50-54. (in Chinese)

[24] 郝怀庆,刘丽丽,姚 远,等 . 分子模块设计育种技术在玉米育种中的应用及前景展望[J] . 中国科学院院刊,2018,33(9):923-931 .
Hao H Q, Liu L L, Yao Y, et al. Application and prospect of molecular module-based crop design technology in maize breeding[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2018, 33(9): 923-931. (in Chinese)

[25] 武阳春,杜金洹,郭 琦,等 . 玉米"单倍体+轮回选择"技术在育种中的应用探析[J] . 东北农业科学,2022,47(1):17-21 .
Wu Y C, Du J H, Guo Q, et al. Study on the application of "haploid technology + recurrent selection" in maize breeding[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2022,47(1):17-21. (in Chinese)

(责任编辑:朴红梅)