

玉米传统育种的区域实践、挑战与创新路径

——以张掖市玉米制种产业为例

任强^{1,2} 雷金宏¹ 吴治强^{1,2} 李炜田¹ 蔡振辉¹ 马璐¹ 朱文²

(¹甘肃中垦玉种业有限公司,张掖 734000;²甘肃亚盛种业集团种子研究院有限公司,兰州 730000)

摘要:围绕玉米传统育种的核心价值,结合张掖市作为我国“玉米制种黄金走廊”的区域特色,系统梳理传统育种的发展历程与现状,深入剖析其在气候变化、粮食需求增长、资源约束等背景下的突出挑战。重点融入张掖市玉米制种产业的实践基础与发展需求,创新性提出针对性的未来发展方向与创新路径,包括依托张掖生态优势构建“传统育种+区域特色”技术体系、挖掘适配河西走廊气候的遗传资源、打造制种专用型品种育种模式等前瞻性内容。通过整合现代生物技术与区域制种实践,强化地方种质资源保护利用、构建市场化定制化育种策略,为玉米传统育种突破技术瓶颈、提升区域产业竞争力提供新思路,同时为张掖市玉米制种产业的高质量可持续发展提供理论支撑与实践参考。

关键词:玉米;传统育种;张掖市;玉米制种;遗传资源;技术创新;区域适配

Regional Practices, Challenges and Innovative Pathways in Traditional Maize Breeding: A Case of Maize Seed Production Industry in Zhangye City

REN Qiang^{1,2}, LEI Jinhong¹, WU Zhiqiang^{1,2}, LI Weitian¹, CAI Zhenhui¹, MA Lu¹, ZHU Wen²

(¹Gansu Zhongkenyu Seed Industry Co., Ltd., Zhangye 734000, Gansu;

²Gansu Yasheng Seed Industry Group Seed Research Institute Co., Ltd., Lanzhou 730000)

玉米是全球核心粮食作物与我国关键经济作物,玉米产业的稳定发展直接关系到国家粮食安全、饲料供给与工业原料保障^[1]。我国玉米产量与种植面积稳居世界首位,而张掖市凭借河西走廊独特的光照充足、昼夜温差大、干旱少雨、隔离条件好等生态优势,已成为全国最大的玉米制种基地,常年制种面积稳定在 6.67 万 hm² (100 万亩)以上^[2],生产的玉米种子占全国大田玉米用种量的 40% 以上,是名副其实的“中国玉米制种之乡”。张掖市玉米制种产业不仅是当地农业支柱,已从规模扩张转向质量提升与创新驱动的新阶段,更是保障国家玉米用种安

全的战略核心区。

玉米传统育种技术历经数千年发展,在张掖地区的制种实践中形成了鲜明的区域特色,培育出一系列适配当地气候与制种需求的优良品种^[3]。然而,面对全球气候变化加剧(如张掖地区近年出现的极端高温、春季干旱频发)、粮食需求刚性增长、病虫害跨境传播(如草地贪夜蛾对制种田的威胁)以及现代生物技术的冲击,张掖市玉米传统育种既面临共性挑战,更存在区域特有的产业痛点,如制种品种同质化严重、专用型品种匮乏、传统育种与制种流程衔接不紧密等。

现有研究多聚焦玉米传统育种的通用理论与技术,缺乏结合特定制种核心区的针对性探讨。本

基金项目:2024 年度甘州区区级科技计划项目(GZ2024JS22)

通信作者:雷金宏

文立足张掖市玉米制种产业的实践基础与战略定位,在梳理传统育种现状与共性挑战的基础上,重点补充区域适配性的前瞻性内容,优化论述逻辑,避免重复前人泛化研究,突出“传统育种技术+张掖制种特色”的创新融合,以期为玉米传统育种的区域化发展与张掖制种产业的提质升级提供新视角。

1 玉米传统育种的发展历程、核心贡献与张掖区域实践

1.1 玉米传统育种的发展历程及核心贡献

玉米传统育种起源于野生玉米的驯化选择,历经早期自然变异筛选、遗传学理论指导下的系统化发展,形成了以选择育种、杂交育种为核心,群体改良、轮回选择等为补充的技术体系^[4]。20世纪初杂交育种技术的规模化应用,推动了玉米产量实现跨越式提升,成为现代农业的重要里程碑^[5]。长期以来,传统育种通过表型选择与多代选育,在产量提升、品质改善、抗逆性增强等方面取得显著成就,为全球粮食安全奠定了坚实基础。

1.2 张掖市玉米传统育种的区域特色实践

张掖市玉米制种产业的发展与传统育种技术的区域化应用深度绑定。自20世纪70年代起,当地育种工作者结合河西走廊的生态特点,通过传统育种技术培育出一批耐干旱、耐盐碱、抗倒伏、适应性强的玉米自交系与杂交种,如早期的“张单”系列品种,成为张掖制种产业崛起的核心支撑^[6]。

在选择育种方面,张掖育种者针对当地春季干旱、夏季短时强降雨、秋季早霜等气候特征,长期在制种田筛选抗旱发芽率高、耐湿抗病、早熟丰产的单株,逐步培育出适配当地制种流程的优良亲本材料;在杂交育种方面,依托张掖良好的制种隔离条件,构建了完善的自交系选育与杂交组合配制体系,形成了“本地选系+异地鉴定+张掖制种”的特色模式,培育的玉米种子因纯度高、发芽率高、耐储藏等优势畅销全国。

近年来,张掖市传统育种技术进一步发展,逐步融入群体改良、轮回选择等方法,重点优化玉米品种的制种特性,如降低母本株高、提高母本结实率、缩短花期相遇时间差等,提升制种产量与效率,形成了区别于其他玉米产区的“育种—制种”一体化特色。目前,已建成多个标准化制种基地,形成从亲本

繁育、杂交制种到加工包装的全产业链条,为传统育种向现代化、集约化转型提供了产业基础。

2 玉米传统育种的现状与张掖制种产业的核心价值

2.1 传统育种的核心方法与应用现状

传统育种仍以选择育种、杂交育种为主要技术手段,在全球玉米育种中占据重要地位^[7]。选择育种通过自然变异筛选累积有利基因,杂交育种利用杂种优势实现优良性状组合,二者具有成本低、适应性强、品种稳定性好等优势,尤其适合资源有限地区与规模化制种场景^[8]。目前,我国玉米主栽品种中,仍有60%以上通过传统育种技术培育或改良而来,在保障玉米生产稳定性方面发挥着不可替代的作用。

2.2 张掖市玉米制种产业的核心地位与育种需求

张掖市作为全国玉米制种核心区,其制种产业的健康发展对国家玉米用种安全具有战略意义。当前,张掖市玉米制种面积稳定,制种品种涵盖大田玉米、青贮玉米、鲜食玉米等多个类型,但也存在明显的育种短板:一是制种品种同质化严重,缺乏针对制种效率、机械化作业、绿色生产的专用型品种;二是传统育种与现代制种技术衔接不足,对制种过程中的农艺性状(如母本散粉性、父本花粉量、籽粒脱水速度)改良不够聚焦;三是适配张掖气候变迁的抗逆品种培育滞后,应对春季干旱、夏季极端高温的品种储备不足。这些问题既制约了张掖制种产业的提质增效,也反映出传统育种在区域化、专用化方向上的发展潜力。因此,强化张掖区域特色的传统育种创新,不仅能破解当地产业痛点,更能为全国制种核心区的育种发展提供示范。

2.3 张掖制种产业中传统育种的独特价值

在张掖制种产业中,传统育种技术具有不可替代的优势:一是传统育种培育的品种适应性强,能够更好地适配张掖干旱半干旱的气候与沙壤土质地,在制种过程中表现出稳定的产量与品质;二是传统育种技术成本相对较低,符合张掖市规模化制种的产业需求,便于在中小型制种企业与合作社中推广应用;三是传统育种培育的品种契合当前市场需求,增强了张掖常规种的市场竞争力。同时,张掖丰富的制种实践为传统育种提供了天然的“试验场”,大

量的田间数据与选育经验,为传统育种技术的优化与创新提供了坚实的实践基础。

3 玉米传统育种面临的共性挑战与张掖区域特有问题

3.1 共性挑战

3.1.1 气候变化的全域影响 全球气温升高对玉米生长的关键花期产生直接威胁,高温会加速花粉活性衰减,显著提升花期不育风险,导致授粉成功率和结实率下降。同时,降水分布不均问题加剧,极端干旱与洪涝灾害频发:干旱导致玉米根系吸水不足、灌浆受阻,洪涝造成土壤缺氧、根系腐烂,对玉米产量与品质造成严重威胁^[9]。当前极端天气事件频发且强度攀升,常规种抗逆性基于过往气候条件选育,已难以适配多变的气候环境,其抗逆能力面临严峻考验,给玉米规模化种植带来较高生产风险。

3.1.2 粮食需求增长与多元用途压力 全球人口增长叠加畜牧业规模化发展、工业应用拓展,对玉米产量与品质提出更高要求。市场既需要具备广适性的高产稳产品种保障基础供给,也亟需高蛋白(饲料专用)、高淀粉(工业加工专用)等专用型品种匹配细分需求。但传统育种依赖田间杂交筛选,存在周期长、效率低、精准度差等固有缺陷,难以跟上市场快速变化的节奏。这种供需适配的滞后性,导致种植户增产不增收、企业资源错配等问题,凸显了传统育种难以满足当前多元需求的短板。

3.1.3 遗传资源约束与生物技术冲击 长期以来,玉米种植过度集中于少数主栽品种,造成种植群体遗传背景高度趋同,遗传多样性持续衰减,显著制约了传统育种的创新潜力。传统育种依赖不同基因型材料杂交重组创造变异,遗传资源匮乏使得优异基因可利用性下降,极大限制了突破性性状选育。与此同时,分子标记辅助育种、基因编辑等现代生物技术凭借精准定位目标基因、定向改良性状、大幅缩短育种周期的优势快速发展,对传统育种形成了冲击^[10],传统育种面临技术升级的迫切需求。

3.1.4 病虫害防控的严峻形势 玉米大斑病、小斑病等真菌病害及玉米螟、草地贪夜蛾等害虫的变异与蔓延态势加剧,给抗病虫品种培育带来更大挑战。其中,草地贪夜蛾作为入侵物种适应性强、繁殖快且易产生抗药性,暴发时易致玉米绝收;真菌病

害也易因环境变化突破原有抗性。这对玉米品种的广谱抗性、持久抗性提出更高要求,而面临着抗病虫基因挖掘难度大、多基因聚合技术不成熟等巨大挑战,进一步制约了相关育种进展^[11]。

3.2 张掖区域特有问题

3.2.1 气候变迁的区域适配压力 张掖市近年出现春季干旱持续时间延长、夏季极端高温天数增多、秋季早霜提前到来的现象。这种区域性气候变迁对玉米制种影响深远,春季干旱导致玉米出苗不齐、幼苗长势衰弱,夏季极端高温易引发花期不育、灌浆不足,秋季早霜则会冻伤未成熟籽粒。部分玉米品种抗逆性指标未针对张掖这种区域性气候异常进行定向改良,在抗旱、耐热、抗早衰等方面的表现难以完全适配,导致制种产量波动加大,制种农户的收益稳定性受到严重影响。

3.2.2 制种专用型品种供给不足 张掖作为我国重要的玉米制种基地,当前主导的制种品种多聚焦于大田生产性状,如高产、抗病等,却忽视了制种环节的关键特异性需求。制种过程中,父母本花期同步性直接决定授粉效率,籽粒脱水速度影响收获时机与仓储安全,适宜机械化收获特性关系制种成本控制,耐储藏性则保障种子后续发芽率。由于现有品种在这些制种关键性状上改良滞后,导致制种过程中人工调控花期成本高、机械收获损耗大、仓储过程易霉变,整体制种效率偏低、成本居高不下,难以适应规模化、机械化制种的发展趋势。

3.2.3 区域遗传资源挖掘不充分 张掖及河西走廊独特的地理与气候条件,孕育了丰富的玉米地方品种和野生近缘植物资源,如张掖本地的“老玉米”品种,这些资源经过长期自然选择,沉淀了独特的抗旱、耐盐碱、抗极端温差等优异抗逆性状,是玉米育种的宝贵基因库。但目前对其保护与利用工作存在明显短板,未能充分转化为推动当地玉米育种创新的核心动力。

3.2.4 育种与制种产业衔接不畅 传统育种与制种企业的需求脱节,育种目标聚焦于品种在大田种植中的产量、品质等生产性状,对制种企业的实际生产需求考量不足。制种企业核心需求在于降低制种风险、提高制种效益,现有不少育成品种虽在大田生产中表现优异,却存在制种时父母本花期协调难度大、易倒伏、不匹配机械化制种等问题,导致制

种难度增加、成本攀升。这种供需脱节使得这类品种难以在张掖实现规模化推广,制约了当地制种产业的高质量发展。

4 玉米传统育种的未来发展方向——聚焦张掖制种产业的创新路径

4.1 构建“传统育种+现代生物技术+区域适配”的融合体系

4.1.1 分子标记辅助育种的区域化应用 针对张掖春季干旱、夏季高温的气候特点及规模化制种核心需求,需优先筛选与抗旱、耐热、父母本花期同步性、籽粒脱水速度等关键性状紧密连锁的分子标记。将这些区域特异性分子标记系统融入传统育种的早代选育过程,可突破传统育种依赖表型筛选的局限,实现目标性状的早期精准鉴定与筛选,有效剔除不良单株,大幅减少后续田间试验工作量,缩短育种周期,提高适配张掖气候与制种需求的品种培育效率^[12]。例如,通过靶向标记辅助选择,快速筛选出抗旱性强、花期稳定且籽粒脱水快的玉米自交系,为配制适配张掖制种条件的优质杂交种提供核心亲本,显著提升品种培育效率与区域适配度。

4.1.2 基因编辑技术赋能传统育种目标优化 充分借鉴基因编辑技术对目标基因精准定位与功能解析的优势,聚焦张掖制种关键性状,系统开展抗旱基因、耐热基因、籽粒脱水相关基因等的功能验证与作用机制研究,明确核心基因的调控路径与表达特征。基于这些精准的基因功能信息,在传统育种中针对性优化亲本选择策略,优先选用携带优异核心基因的亲本材料,并科学设计杂交组合配制方案,实现对制种专用性状的定向改良。该技术融合模式既保留了传统育种广适性强、品种稳定性好的优势,又通过精准基因导向提升了育种针对性,可高效培育出适配张掖气候条件与规模化制种需求的优良品种。

4.2 挖掘张掖区域特色遗传资源,拓宽育种基础

4.2.1 玉米野生近缘种与地方品种的系统保护与利用 在张掖及河西走廊全域开展玉米野生近缘种专项普查,重点收集假蜀黍、大刍草等资源,摸清资源分布、种群数量及生存状况,建立包含种质实物、基因信息的区域特色遗传资源库,配套完善低温储藏、繁殖更新等长效保护机制。同时,对张掖本地

“老玉米”等地方品种进行提纯复壮,通过多代定向筛选剔除不良性状,保留其抗旱、耐盐碱、抗极端温差等核心优势。在此基础上,利用传统杂交、回交转育等技术,将挖掘出的优良基因精准导入现代高产优质自交系,培育出兼具高产优质与区域强适应性的制种专用亲本材料^[13]。

4.2.2 构建张掖制种专用核心种质库 基于张掖的生态条件及规模化机械化制种的产业需求,系统性整合国内外高产、优质玉米种质资源与本地特色遗传资源。采用群体改良、轮回选择等经典传统育种方法,对整合资源进行多代定向改良,重点强化抗旱、耐热、父母本花期同步性好、籽粒脱水快等关键特性。同时,结合田间多点鉴定试验,筛选出适配张掖制种流程的优异种质材料,构建分层分类的核心种质库。重点强化抗旱、耐热、制种性状优良等特性,为后续育种提供丰富的遗传材料^[14]。从源头拓宽育种创新空间,夯实当地玉米制种产业的育种基础。

4.3 打造张掖制种专用型品种育种模式

4.3.1 制种效率导向的育种目标革新 聚焦张掖规模化、机械化制种需求,打破传统以大田生产性状为核心的育种思路,将“制种友好型”性状明确纳入育种核心目标体系。重点聚焦父母本花期同步性、母本结实率、籽粒脱水速度、株型结构及耐储藏性等关键制种性状:花期同步性高可降低人工调控成本,提高授粉效率;籽粒脱水快能缩短收获周期、减少仓储霉变风险;株型紧凑则适配密植模式与机械化去雄、收获操作。通过传统育种的多代定向筛选与鉴定,培育出制种环节成本低、生产效率高、灾害风险小的专用型玉米品种。

4.3.2 气候适配型品种培育 针对张掖春季干旱、夏季高温、秋季早霜等气候特征,开展针对性育种:一是定向培育抗旱、发芽率高、苗期耐旱性强的品种,通过强化根系保水能力与苗期水分利用效率,保障春季干旱环境下的出苗齐整度与幼苗长势;二是系统筛选耐高温、花期耐热性优异的种质材料,提升花粉在高温环境下的活性,减少极端高温对授粉过程的抑制,降低花期不育风险;三是培育早熟且不早衰的品种,规避秋季早霜对未成熟籽粒的冻伤,确保制种产量稳定与种子品质达标,全面提升品种对区域气候的适配能力。

4.3.3 多元用途的定制化育种 结合张掖制种产业的多元化发展需求,开展定制化育种:针对本地蓬勃发展的饲料产业,定向培育高蛋白、高能量的饲料玉米制种品种,提升饲料转化效率,匹配规模化畜牧业需求;针对鲜食市场消费升级趋势,聚焦口感风味、营养成分与外观形态,培育甜糯型、彩色型等口感好、营养丰富、外观优良的鲜食玉米制种品种;针对工业加工领域,培育高淀粉、高纤维的专用玉米制种品种,适配淀粉加工、生物燃料等工业场景。通过定制化育种丰富制种品种体系,拓宽张掖制种产业的市场空间。

4.4 推进可持续发展育种,契合张掖绿色制种需求

响应国家绿色农业发展战略,结合张掖“绿水青山就是金山银山”的实践要求,将绿色可持续发展理念全面融入玉米育种全过程,开展绿色可持续性育种^[15]。重点通过传统杂交、多代筛选等育种技术,定向培育节水、节肥、抗病虫害性强的玉米品种:节水品种可提升水分利用效率,适配张掖干旱少雨的水资源禀赋;节肥品种能减少化肥施用,降低土壤污染风险;高抗病虫害品种可减少农药投入,减轻对河西走廊脆弱生态环境的压力。

5 玉米传统育种的未来创新空间——以张掖为核心的多维拓展

5.1 强化政策支持与市场引导,赋能张掖制种育种创新

5.1.1 区域化政策精准扶持 建议甘肃省及张掖市出台专项政策,加大对玉米传统育种的科研投入,重点支持张掖区域特色遗传资源挖掘、制种专用型品种培育、传统育种与现代技术融合等项目;建立张掖玉米制种品种保护专项制度,对适配当地制种需求的创新品种给予补贴与奖励,保护育种者权益,激励育种创新。

5.1.2 构建“育种—制种—市场”联动机制 以张掖国家玉米制种基地为核心,建立育种单位、制种企业、种植合作社、下游企业(饲料、食品、工业)的联动机制,形成“市场需求→制种需求→育种目标”的传导链条,确保传统育种方向与市场需求、制种实践紧密衔接,提高育种成果的转化率。

5.1.3 强化知识产权保护 完善玉米品种知

识产权保护体系,针对张掖制种产业的特点,建立品种权侵权快速查处机制,保护育种企业与科研单位的创新成果,吸引更多社会资本投入到张掖玉米传统育种领域。

5.2 建立多学科协作的区域育种体系

5.2.1 跨学科技术融合 整合农艺学、遗传学、生物技术、气象学、植物病理学等多学科资源,针对张掖制种育种需求,开展协同创新:农艺学家优化制种栽培模式,为育种提供目标导向;遗传学家聚焦区域特色性状的基因定位,为传统育种提供理论支撑;气象学家提供张掖中长期气候预测,指导育种目标调整;植物病理学家监测当地病虫害流行趋势,助力抗病虫育种。

5.2.2 产学研深度合作 以甘肃中垦玉种业、甘肃亚盛种业集团有限责任公司等本地龙头企业为核心,联合甘肃农业大学、甘肃省农业科学院等科研院校,建立“企业+高校+科研院所”的育种创新联盟,共享种质资源、育种技术与制种实践数据,攻克张掖制种育种中的关键技术难题,加速新品种的培育与推广。

5.3 培育区域特色育种人才队伍

5.3.1 跨学科复合型人才培养 针对张掖制种育种核心需求,培养既掌握传统育种技术,又熟悉现代生物技术、区域气候特征、制种产业流程的复合型人才。通过高校开设定制化课程,传授区域适配育种知识,进行定向培养,企业在职培训强化实操技能,科研项目提供实践平台历练等方式,全面提升育种人员区域适配性育种能力。

5.3.2 强化基层育种与制种人才培养 重视张掖本地基层育种与制种技术人员的培养,补齐基层技术短板。通过技术下乡、集中培训、现场指导等方式,提升其对传统育种技术的应用能力与对制种过程中品种性状的识别能力,构建“科研专家+基层技术人员+制种农户”的人才梯队,为传统育种的区域化实践提供坚实支撑。

5.4 深化国际合作与区域协同,拓宽张掖育种视野

5.4.1 遗传资源与技术交流 依托“一带一路”倡议,加强与“丝绸之路经济带”沿线国家和地区的玉米育种合作,针对性引进适配干旱环境的优异玉米种质资源与先进育种技术,结合张掖本土特

色资源开展融合创新,丰富育种基因库。同时推动本地抗旱、耐盐碱特色制种品种出口,拓展国际市场,提升产业国际影响力。

5.4.2 国内区域协同育种 打破地域限制,加强张掖与其他玉米制种核心区(如新疆、宁夏)的协同合作,共享育种经验、种质资源与技术成果。针对西北干旱半干旱地区春季干旱、夏季高温等共性气候特征,联合培育广适性强、制种性能优良的玉米品种,提升区域整体育种效率,增强我国西北制种核心区的综合竞争力。

6 结论

玉米传统育种作为保障粮食安全与农业可持续发展的核心技术,在全球农业生产中具有不可替代的地位。张掖市作为我国玉米制种核心区,其产业实践为传统育种的区域化创新提供了独特场景与重要机遇,应立足资源禀赋与产业基础,率先构建“传统技术为根基、现代科技为引擎、产业需求为导向”的育种创新体系,打造具有全国影响力的“张掖模式”。面对共性挑战与区域特有问题,玉米传统育种需以区域需求为导向,通过“技术融合、资源挖掘、品种定制、产业协同”四大路径实现创新突破。通过强化种质资源保护与利用、推动精准化与智能化育种、构建多学科协同平台、完善政策支持与人才培养体系,张掖市有望成为我国玉米种业创新的示范区与辐射源。

未来,通过整合传统育种经验与现代生物技术优势,聚焦张掖制种产业的核心需求,挖掘区域特色遗传资源,培育制种专用型、气候适配型、绿色可持续型玉米品种,构建多学科协作、产学研联动、市场为导向的育种体系,不仅能推动玉米传统育种技术的迭代升级,更能赋能张掖市玉米制种产业实现高质量发展,为保障国家玉米用种安全、促进区域农业现代化提供持续动力。国际合作与人才培养将为这一进程注入重要活力,推动玉米传统育种在区域化、

专用化、绿色化方向上实现新的突破。

参考文献

- [1] 黎茵. 种业创新与国家粮食安全——我国种业资源优势及“卡脖子”技术攻关. 北京交通大学学报:社会科学版,2021,20(3):108-114
- [2] 孔东升,吴尧,王林. 制种玉米全程机械化存在的问题及对策建议——以甘肃省张掖市为例. 中国种业,2024(8):32-38
- [3] 乔伟,吴玉杰,黄学超,王钰. 深度对话种业专家. 张掖日报,2025-05-07(001)
- [4] 胡江,钱前. 作物生物育种科技发展的现状及展望. 中国基础科学,2022,24(6):1-8
- [5] 张强,赵振宇,李平华. 基因编辑技术在玉米中的研究进展. 植物学报,2024,59(6):978-998
- [6] 宋自仁. 高产优质玉米新杂交种张单379的选育. 玉米科学,2006(S1):80,85
- [7] 曹士亮,张学才,张建国,扈光辉,于滔,曹靖生,杨耿斌,李文跃,马雪娜. 全基因组选择技术在玉米育种中的应用. 玉米科学,2025,33(6):1-9
- [8] 李春辉,李志勇,杨扬,张如养,肖森林,苏爱国,王夏青,赵衍鑫,王帅,孙轩,宋伟,赵久然. 我国玉米品种更新换代、杂优模式变迁及功能基因组研究进展. 科学通报,2026,71(3):756-770
- [9] 张道磊,甘雨军,乐亮,普莉. 玉米产量性状的表现遗传调控机制和育种应用. 生物技术通报,2023,39(8):31-42
- [10] 张小伟,刘江娜,刘伟,张爱萍,白云凤. 玉米CRISPR/Cas基因编辑研究进展和前景. 分子植物育种. <https://link.cnki.net/urlid/46.1068.S.20231116.1137.012>
- [11] 严显文. 玉米大斑病、小斑病与玉米螟抗性的QTNs及其环境互作检测与候选基因挖掘. 武汉:华中农业大学,2024
- [12] 王欣,徐一亿,徐扬,徐辰武. 作物全基因组选择育种技术研究进展. 生物技术通报,2024,40(3):1-13
- [13] 李春辉,王天宇,黎裕. 基于地方品种的种质创新:现状及展望. 植物遗传资源学报,2019,20(6):1372-1379
- [14] 王晖,丁保朋,李成贤,任泉如,周海,赵均良,胡海飞. 作物泛基因组研究进展与展望. 中国农业科学,2025,58(11):2045-2061
- [15] 刘鹏,雷金宏,王博. 张掖市制种玉米产业发展中的挑战与路径优化——基于粮食安全与政策视角的分析. 中国种业,2025(3):29-32

(收稿日期:2025-12-12)