

网络出版时间:2024-05-11

网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/61.1359.S.20240509.1044.020

矮败小麦在新品种培育和种质创新中的应用进展

赵丽娟, 宋维富, 杨雪峰, 刘东军, 仇林, 宋庆杰, 张春利, 辛文利

(黑龙江省农业科学院作物资源研究所, 黑龙江哈尔滨 150086)

摘要: 矮败小麦是显性核不育基因(*Ms2*)和显性矮秆基因(*Rht-D1c*)紧密连锁、具有表型遗传标记的特异种质,是群体改良和相关遗传研究的理想工具。利用其构建的育种技术体系在小麦育种实践中不断发展、创新和完善。该技术结合单倍体育种和分子标记辅助选择等手段,可快速培育具有目标性状的导入系,实现多个目标基因在优良遗传背景下的聚合和定向构建轮回选择群体,加快小麦重要性状的改良速度,对选育有突破性性状的新品种及创制遗传背景丰富的优良育种材料有重要价值。

关键词: 矮败小麦; 轮回选择; 育种技术; 分子标记

中图分类号: S512.1; S330

文献标识码: A

文章编号: 1009-1041(2025)02-0188-06

Progress in the Application of Dwarf Male-Sterile Wheat in Cultivation of New Varieties and Germplasm Innovation

ZHAO Lijuan, SONG Weifu, YANG Xuefeng, LIU Dongjun,
QIU Lin, SONG Qingjie, ZHANG Chunli, XIN Wenli

(Crop Resources Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086, China)

Abstract: Dwarf male-sterile wheat is a specific germplasm with phenotypic genetic markers closely linked to the dominant nuclear sterile gene (*Ms2*) and dominant dwarf gene (*Rht-D1c*), and is an ideal tool for population improvement and related genetic research. The breeding technology system constructed by dwarf male-sterile wheat is continuously developed, innovated and improved in wheat breeding practice. This technology, combined with haploid breeding and molecular marker assisted selection, can quickly cultivate introgression lines with target traits, achieve the aggregation of multiple target genes in a favorable genetic background, and orientingly construct a recurrent selection population, so as to accelerate the improvement speed of important wheat traits. It is of great value for breeding new varieties with breakthrough traits and creating excellent breeding materials with various genetic backgrounds.

Keywords: Dwarf male-sterile wheat; Breeding technology; Recurrent selection; Molecular marker-assisted selection

近年来,由于种质资源匮乏,小麦遗传基础日趋狭窄,导致小麦品种普遍存在同质化的问题,小麦育种已经进入到一个“瓶颈”期,很难培育出有突破性的新品种。其主要原因包括资源没有得到

充分的利用、传统育种方法的局限性等。小麦诸多的产量、抗逆、抗病等性状均属于多基因调控的数量遗传性状,传统杂交育种方法充分利用了基因的互补效应,但很难实现基因的累加效应及打

收稿日期:2024-01-11 修回日期:2024-03-02

基金项目:黑龙江省自然科学基金联合引导项目(LH2023C093);黑龙江省现代农业产业技术小麦协同创新推广体系项目;国家重点研发计划项目(2022YFD1200903);国家小麦产业技术体系春麦品种改良岗位科学家项目(CARS-03-12)

第一作者 E-mail: zlj-110@163.com(赵丽娟)

通讯作者 E-mail: zclwheat@126.com(张春利); xinwenli1966@163.com(辛文利)

破不利的连锁关系,而这些微效基因群往往是高产和稳产极其重要的遗传基础^[1-2]。因此,小麦育种的新技术和新方法成为小麦科研人员努力的新方向。轮回选择能使亲本的遗传基因实现自由的交流与重组,进而通过利用质量性状的分离重组和多基因调控的加性效应,既获得优异重组体,又创造了超亲优势,从而在拓展和创新小麦种质的同时丰富了其遗传基础^[3]。

矮败小麦的问世使该方法能够在小麦育种中得以实施和应用。矮败小麦含有连锁遗传的太古显性核不育基因和显性矮秆基因,因而雌性败育彻底、不育性稳定且具矮秆表型遗传标记,其异交后代始终分离出一半矮秆不育株和一半高秆可育株。它弥补了太古核不育小麦在育种应用中的缺点,同时继承其优点,最适合用于小麦轮回选择育种。经多年研究与实践,构建了行之有效的矮败小麦育种技术体系,并结合现代生物技术的飞速发展而不断改进与完善,培育出一批批优异新品种和种质,为突破小麦种质资源匮乏的“瓶颈”提供了新的解决策略。本文将从矮败小麦创制和技术体系、关键技术要点、应用研究进展等方面进行论述,以期为在育种中更好地研究和应用矮败小麦提供参考。

1 矮败小麦创制

矮败小麦属于太古核不育小麦,且具有显性矮秆基因标记。太古核不育小麦是 1972 年发现的一种雄性不育材料,其不育性由显性基因控制,最初显性不育基因符号是 *Tal*^[4],后国际登记为 *Ms2*^[5]。*Ms2* 基因主要是在花粉母细胞形成前后表达,雄性败育完全,基本无花粉^[6]。刘秉华等^[7]将其定位于 4D 染色体短臂,与着丝点距离为 31.16 cM。其异交后代雄性可育株和雄性不育株的分离比始终是 1:1,没有完全的保持系和恢复系,很难在杂种优势生产中利用^[8]。太古核不育小麦的育性在发育早期阶段难以分辨,且轮选群体株高渐升,使其在轮回选择育种中也不能被更好地应用。寻找或者创制标记性状,以便提早对目标性状实施选择是解决问题的一个思路^[6]。Izumi^[9]将矮变 1 号小麦的显性矮秆基因 *Rht-D1c* 也定位于 4D 染色体短臂。刘秉华意识到同位于 4DS 上的 *Ms2* 基因与 *Rht-D1c* 基因可能存在连锁关系。由此进行了一系列试验,以矮变 1 号 (*Rht10Rht10*) 为父本,与核不育的中国春 (*Ms2ms2*) 杂交, F_1 代

均为矮株,验证矮秆表型由显性基因控制;利用双隐亲本高秆可育的中国春 (*rht10rht10 ms2ms2*) 对 F_1 代矮秆不育株进行测交,后代只有矮秆可育和高秆不育两种亲本表型,未出现重组表型,说明育性和株高基因连锁遗传,且连锁紧密。继续用矮变 1 号作为标记基因的供体,通过扩大测交群体以及细胞遗传学检测,最终筛选出 1 株 *Ms2* 与 *Rht-D1c* 基因紧密连锁的材料,且两连锁基因的交换率仅有 0.18%^[10-11],其异交后代群体中高秆可育株和矮秆雄性不育株的比例总是 1:1,并将其命名为“矮败小麦”。

矮败小麦同时具有矮变 1 号和太古核不育小麦的优点,即降秆作用强、雄性败育完全、异交结实率高、不育性稳定等。应用时在拔节期即可识别雄蕊育性,省时省工,同时克服轮选群体株高渐升的不足^[8]。在矮败小麦群体中,矮秆不育株异交和高秆可育株自交同时进行,即异花及自花授粉同步进行,既能促进基因的交流重组,也可加快基因的纯合稳定,是小麦进行轮回选择育种的理想工具^[12]。矮败小麦还可进行聚合杂交、复合杂交、阶梯杂交、远缘杂交等,有利于优良基因的重组和累加,为创造小麦新种质提供新方法^[13-16]。

2 矮败小麦技术体系

刘秉华等^[10,17-18]依据轮回选择的原理、方法及矮败小麦的特点,构建了矮败小麦育种技术体系。其主体技术:(1)构建育种目标明确的矮败小麦基础群体;(2)轮回选择技术即群体内的矮秆不育株及要导入群体的花粉源都要进行选择,使优良基因频率不断提高,群体内矮秆不育株异交,实现了优良基因的交流及重组,反复选择和异交使群体得到不断的改良与优化;(3)由此建立了类型丰富的矮败小麦改良群体,每一个改良群体都是一个优良的基因库,可持续选育出符合育种目标的新品种(系)。因此,此技术平台发展成熟后可服务于各生态区及不同的小麦育种目标^[19]。

随后,矮败小麦育种技术体系在育种实践中不断被创新发展。例如,孙苏阳等^[20]应用冬春杂交、轮回选择、穿梭育种方法建立矮败小麦冬春轮回选择育种体系;王伟伟等^[21]通过盐碱圃和优良圃的交互选择创新出矮败小麦双向交替轮回选择育种体系。随着小麦单倍体育种和分子生物学研究的快速发展,科研人员从理论到实践逐步将单倍体育种和分子育种技术引入到矮败小麦育种技

术体系中。赵海滨和刘莹结合单倍体育种技术,对优良矮败小麦后代进行花培,使基因快速纯合,大大缩短了育种年限,一般可提前 4 代得到稳定新品系^[22-24]。科研人员利用分子标记等现代分子育种技术,有效克服了矮败小麦育种对复杂农艺性状选择的盲目性,加快小麦品质、抗旱、抗病等重要性状的改良速度,起到事半功倍的效果^[14,25-29]。周阳等利用改进的矮败小麦技术体系进行抗赤霉育种取得显著效果,其改进体系包括创制矮败小麦目标骨干亲本及构建其大规模有限回交群体,同时结合分子标记辅助选择、单倍体育种、异地加代技术等^[29]。随着矮败小麦育种技术体系的不断完善,其在水麦育种中的作用将越来越重要。

3 矮败小麦育种关键技术要点

3.1 基础群体组建

带有目标性状的优良品种(系)15 个左右作为父本,分别同矮败株进行杂交,并分别给对应 F_1 的矮败株进行 1 次回交,将回交种子按比例混合,构成轮回选择基础群体。组群的各亲本应各具特点,性状互补,欲实现的目标性状的亲本可多 2~3 个,适当提高其比例^[30],亲本类型要紧扣育种目标,并及时加以调整。

3.2 构建轮回选择群体

在基础群体内,可育株与不育株经过 1~2 轮自由授粉及互交,将矮败株种子混成轮回选择群体。

3.3 矮败花粉源的选择和控制

通过控制授粉,将优异种质持续不断地引进群体,优异种质主要包括新的高产源、优质源、抗源及综合农艺性状优良的稳定材料。每轮引进优异种质的遗传比例一般占群体的 10%~20%,随着轮选世代的累加,经鉴定目标性状优良的高代品系和优异可育株也成为引入种质的重要组成部分。开花前及时淘汰轮选群体中表现不佳的可育株,每轮按群体 5%~10% 的比例进行淘汰,以此来提高优良基因型的频率,同时已改良的群体要尽量避免不良基因进入^[12,14]。

3.4 矮秆不育株的选择

优选综合性状好的矮败株作母本。对矮秆不育株要分期多次选择。分别在抽穗、开花、灌浆及收获的各个时期对株型、抗病性、丰产性、成熟期及籽粒等指标进行选择淘汰。收获的矮秆不育株

多在 60%~80% 之间,每个矮败不育株上一般收获 2 个穗子。尽可能优选株高较低的矮秆不育株,淘汰株高较高的不育株^[30]。

3.5 花粉供体与矮秆不育株的杂交

包括群体内不育株和可育株的互交重组及矮秆不育株的定向杂交。通过轮回群体内不育株和可育株的互交与杂交,实现群体内基因的充分交换和重组,进而使重组体频率不断地提高。

3.6 轮回选择与其他方法的结合

首先是轮选和常规育种的结合。轮回选择群体中的可育株相当于低世代杂种材料,可直接进入常规育种选种圃,采用生态系谱法,进行可育株后代的选择^[23]。为缩短育种年限,以优良品种为父本,优良的矮败株为母本,进行定向授粉,可适当回交 1 或 2 次,对后代可育株进行选择,此法较易选出优良后代^[31]。其次,将单倍体育种技术、分子标记技术与矮败小麦育种技术相结合,可加快后代材料的纯合稳定,并定向聚合和跟踪目标基因,进一步提高育种效率。

4 矮败小麦的应用进展

矮败小麦育种技术创建之初,多家育种单位相继开展了矮败小麦的协作攻关,期间构建矮败小麦轮选群体 200 余个,审定新品种 40 多个^[32]。轮选 987 是利用此技术选育的第 1 个国审品种,其具有高产、稳产、广适及综合抗性好等优点^[33-35]。安徽省农科院构建了 4 个优质、抗赤霉相关的矮败轮选群体,先后育成皖麦系列和轮选 22 等多个小麦新品种^[36-39]。新疆自治区农科院构建 6 个矮败轮选群体,并选育出强筋品系 05/7214 和丰产品系 04/2127 及一些多花、大穗、早熟的种质材料^[40]。山西省农科院向矮败小麦导入了小偃麦血缘,育成了矮秆、优质等特色小麦新品种晋偃 301-11、晋春 14 及高产、抗倒的育种材料^[41]。福建省农科院利用矮败小麦进行多年的抗赤霉病育种实践,选育出 7 份抗性超过苏麦 3 的新品系及 30 余个抗性接近的新品系^[1]。江苏淮阴农业科学研究所利用冬春轮回选择的方法,先后育成淮麦 25^[42]、淮麦 27、淮麦 32^[43] 等小麦新品种。这些小麦新品种在中国各小麦主产区大面积推广应用,显著提升了中国小麦的生产水平。黑龙江省农科院 1991 年引入矮败小麦并对其进行本土化的改良,构建了高产、优质和抗病等 5 个轮选群体,培育出强筋小麦新品种并获得一批综

合性状较好的品系及特异的中间材料^[23]。

近年来,矮败小麦在新品种选育和种质创新中取得显著成效,培育了一大批优异的新品种和新种质。例如,2016年山西省农科院选育的中筋品种晋太114,具有优质、高产、抗冻、抗病、抗热等特点^[44];2018年河南省安阳市农科院选育的高产、抗倒、抗病、抗旱的中筋小麦新品种安麦1241^[45];2020年甘肃省农科院利用矮败技术选育出的优质节水春小麦陇春41^[46];2020年尉氏矮败小麦育种开发中心选育出的轮选1658,是高产稳产的中筋小麦新品种^[47];2021年新乡县视察种业公司选育出中筋小麦品种视察168^[48];2018—2021年淮阴农科所等选育出淮麦40^[49]、淮麦47、淮麦51等系列品种;2022年中国农业科学院培育的轮选20^[29]是结合分子标记技术选育出的中抗赤霉病新品种;2021—2023年上蔡县创新农业科学技术研发中心选育出轮选121、轮选122、轮选125、轮选130、轮选186、轮选188、轮选88、轮选禧麦1号等系列品种;2022—2023年黑龙江农科院克山分院选育出春小麦新品种克春151185、克春161727和优质高产的中强筋新品种克春151350^[50]。本课题组利用已建立的各类轮回选择群体,筛选出一批性状优异新材料,用于强筋春小麦品种选育。其中,利用矮败小麦技术结合单倍体育种技术选育出优异品系龙麦64,利用矮败小麦技术结合生态系谱法和分子标记技术选育出强筋小麦新品种龙麦91和中强筋小麦新品种龙麦87。龙麦87同时含有优质亚基5+10和优异淀粉特性的 $Wx-B1b$ 基因,是面包面条兼用型的小麦新品种。

5 总结和展望

矮败小麦育种技术历经30余年,截至2009年共选育出国审或省审品种42个^[32]。据中国种子协会官网品种审定数据统计,自2009年以来,培育出国审品种13个,省审品种84个,利用矮败小麦选育的第一个国审品种轮选987作为骨干亲本选育的小麦新品种24个,矮败小麦育种技术为培育不同生态区不同育种目标的优异新品种和新种质发挥了重要作用。

小麦育种家一直在努力探索通过矮败小麦来利用其杂种优势,2017年 $Ms2$ 基因的克隆是实现小麦杂交制种的重大突破,为制种提供了直接工具,同时可转育到其他作物用于杂种优势育

种^[51]。对于 $Ms2$ 雄性不育基因表现机理的深入研究将为更好地利用这个中国特有的基因资源提供理论依据。矮败小麦育种实践表明,矮败小麦育种技术在多基因聚合及综合性状改良方面具有明显优势,尤其是改良与产量、抗性等相关的数量性状,改良过程要注意矮败小麦材料转育的时效性,不能落后于优良品种培育,进而助力超高产育种^[29]。利用矮败小麦在复合杂交、轮回选择等育种过程中,由于后代群体遗传背景丰富,其后代性状分离时间长,稳定较慢。通过与单倍体育种技术结合,可大大提高育种效率。随着小麦诸多重要性状基因/QTL完成定位、克隆及分子标记开发等研究,小麦育种即将走进精准分子设计育种时代^[29]。矮败小麦育种技术要与不断涌现的新技术和新方法有机融合,进一步创新和发展,不断提升中国小麦育种水平。

参考文献:

- [1]张绍南,叶定生,张秋英,等.采用太谷核不育小麦轮回选择法提高小麦品种抗赤霉病性的研究[J].福建省农学院学报,1995,10(2):1.
ZHANG S N, YE D S, ZHANG Q Y, *et al.* Improvement of resistance to head blight of wheat by recurrent selection with Taigu nucleus sterile line [J]. *Journal of Fujian Academy of Agricultural Sciences*, 1995, 10(2): 1.
- [2]陈三乐,杜运科,任雅琴,等.试论超高产小麦选育的思路和途径[J].农业科技通讯,2011(6):108.
CHEN S L, DU Y K, REN Y Q, *et al.* A preliminary discussion on thinking and approaches for selection and breeding of super high yielding wheat [J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2011(6): 108.
- [3]刘秉华.小麦轮回选择的基本环节[J].麦类作物学报,1993,13(2):35.
LIU B H. Basic links of wheat recurrent selection [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 1993, 13(2): 35.
- [4]邓景扬,高忠丽.小麦显性雄性不育基因的发现与利用:太谷不育小麦鉴定总结[J].作物学报,1980,6(2):85.
DENG J Y, GAO Z L. The use of a dominant male-sterile gene in wheat breeding [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1980, 6(2): 85.
- [5]LIU B H, DENG J Y. A dominant gene for male sterility in wheat [J]. *Plant Breeding*, 1986, 97(3): 204.
- [6]赵春芝,赵春慧,苗雨,等.矮败小麦的遗传特点及其利用价值[J].中国种业,2008(10):18.
ZHAO C Z, ZHAO C H, MIAO Y, *et al.* Genetic characteristics and utilization value of dwarf male-sterile wheat [J]. *China Seed Industry*, 2008(10): 18.
- [7]刘秉华,邓景扬.小麦显性雄性不育单基因 Tal 的染色体组定位及端体分析[J].中国科学(B辑),1986,16(2):157.
LIU B H, DENG J Y. Chromosome mapping and telomeric analysis of Tal , a dominant male sterile gene in wheat [J]. *Science in China (Ser. B)*, 1986, 16(2): 157.
- [8]刘秉华,王山荪,杨丽.小麦核不育的遗传研究和雄性不育遗传模式的建立[J].中国农业科学,1999,32(2):18.

- LIU B H, WANG S H, YANG L. Genetic studies on wheat genic male sterility and inheritance mode of male sterility in plant [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1999, 32(2): 18.
- [9] IZUMI N, SAWADA S, SASAKUMA T. Genetic analysis of dwarfness in *Triticum aestivum* L. cv. "Ai-bian 1" [J]. *Seiken Ziho*, 1983, 31: 38.
- [10] 刘秉华, 杨丽. "矮败"小麦的选育及利用前景[J]. 科学通报, 1991, 36(4): 306.
LIU B H, YANG L. Breeding and utilization prospect of dwarf-abortive wheat [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1991, 36(4): 306.
- [11] 刘秉华, 杨丽. 小麦 *Rht10* 基因与 *Ms2* 基因关系的遗传分析[J]. 遗传, 1988, 10(4): 1.
LIU B H, YANG L. Genetic analysis of the relation between genes *Rht10* and *Ms2* in common wheat [J]. *Hereditas*, 1988, 10(4): 1.
- [12] 刘秉华, 杨丽, 王山荪, 等. 矮败小麦群体改良的方法与技术[J]. 作物学报, 2002, 28(1): 69.
LIU B H, YANG L, WANG S H, et al. The method and technique of population improvement using dwarf male-sterile wheat [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2002, 28(1): 69.
- [13] 李前荣, 唐健, 吴立国, 等. 宁夏矮败小麦的利用研究[J]. 宁夏农林科技, 2012, 53(7): 7.
LI Q R, TANG J, WU L G, et al. Utilization of dwarf male-sterile wheat and advance in its breeding in Ningxia [J]. *Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology*, 2012, 53(7): 7.
- [14] 刘宏伟, 刘秉华, 周阳, 等. 矮败小麦育种技术研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2013, 15(1): 25.
LIU H W, LIU B H, ZHOU Y, et al. Progress in dwarf male-sterile wheat breeding technology system [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2013, 15(1): 25.
- [15] 李强, 李筠, 任立凯, 等. 矮败轮回选择工具创新小麦种质资源的应用研究[J]. 黑龙江农业科学, 2012(9): 7.
LI Q, LI J, REN L K, et al. Utilization and study of the germplasm resources innovation with DSW in recurrent selection [J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2012(9): 7.
- [16] 黄晓荣, 甘斌杰, 夏孝群. 矮败小麦研究进展及其在安徽的应用[J]. 种子, 2012, 31(12): 42.
HUANG X R, GAN B J, XIA X Q. Review on dwarf male sterile wheat research and its application in Anhui Province [J]. *Seed*, 2012, 31(12): 42.
- [17] 刘秉华, 杨丽, 王山荪, 等. 矮败小麦群体改良的方法与技术[J]. 作物学报, 2002, 28(1): 69.
LIU B H, YANG L, WANG S H, et al. The method and technique of population improvement using dwarf male-sterile wheat [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2002, 28(1): 69.
- [18] 杨丽, 王山荪, 刘秉华. 利用矮败小麦建立高效育种技术新体系[J]. 中国农业科技导报, 2004, 6(5): 8.
YANG L, WANG S H, LIU B H. Building excellence breeding technology and system using dwarfing sterile wheat [J]. *Review of Agricultural Science and Technology*, 2004, 6(5): 8.
- [19] 刘秉华, 杨丽, 王山荪. 矮败小麦的研究进展[J]. 安徽农业科学, 1997, 23(2): 90.
LIU B H, YANG L, WANG S H. Research progress of dwarf male-sterile wheat [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 1997, 23(2): 90.
- [20] 孙苏阳, 王永军, 李海军, 等. 小麦冬春轮回选择育种方法研究进展[J]. 中国农学通报, 2013, 29(36): 15.
SUN S Y, WANG Y J, LI H J, et al. Research progress of winter-spring recurrent selection wheat breeding method [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2013, 29(36): 15.
- [21] 王伟伟, 于亮, 钮力亚, 等. 矮败小麦轮回双向交替选择育种技术研究[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(11): 15.
WANG W W, YU L, NIU L Y, et al. Dwarf male-sterile wheat cycle of two-way alternate selective breeding technology research [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2017, 45(11): 15.
- [22] 赵海滨. 小麦与玉米杂交诱导矮败小麦产生单倍体的研究[J]. 黑龙江农业科学, 2010(5): 19.
ZHAO H B. Studies on using dwarfing-sterile wheat to create haploid induced by wheat × maize crosses [J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2010(5): 19.
- [23] 赵海滨, 肖志敏, 辛文利, 等. 黑龙江省矮败小麦利用与研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 2008(4): 118.
ZHAO H B, XIAO Z M, XIN W L, et al. Uses and progress of studies on dwarfing-sterile wheat [J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2008(4): 118.
- [24] 刘莹, 赵翠荣, 王立峰, 等. 矮败小麦高效育种技术平台的研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(23): 13986.
LIU Y, ZHAO C R, WANG L F, et al. High-efficient breeding technology platform of dwarf male-sterile wheat [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2011, 39(23): 13986.
- [25] 吴哲, 侯立白, 李运朝, 等. 矮败小麦育种技术体系研究进展[J]. 河北农业科学, 2009, 13(3): 71.
WU Z, HOU L B, LI Y C, et al. Research progress of dwarfing-sterile wheat breeding technology system [J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2009, 13(3): 71.
- [26] 陈令恩, 闵东红, 张小红, 等. 矮败小麦轮回选择群体品质性状的分子改良[J]. 西北植物学报, 2010, 30(9): 1749.
CHEN L E, MIN D H, ZHANG X H, et al. Molecular genetic improvement of qualitative traits via recurrent selection populations of dwarf male-sterile wheat [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2010, 30(9): 1749.
- [27] 王文静, 张增民, 张萌琪, 等. 利用分子跟踪检测和滚动回交创制转基因矮败小麦抗旱新种质[J]. 西北农业学报, 2018, 27(10): 1423.
WANG W J, ZHANG Z M, ZHANG M Q, et al. Innovation of novel wheat germplasm with drought resistance genes through molecular marker tracking and rolling convergent backcross in the dwarf male-sterile wheat system [J]. *Acta Agronomicae Boreali-occidentalis Sinica*, 2018, 27(10): 1423.
- [28] 王伟, 陈琛, 叶春雷, 等. 花药培养与麦谷蛋白亚基分子标记结合选育小麦新品种的研究[J]. 麦类作物学报, 2019, 39(3): 277.
WANG W, CHEN C, YE C L, et al. Studies on wheat breeding by combination of anther culture and glutenin-subunit molecular marker techniques [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2019, 39(3): 277.
- [29] 周阳, 张宏军, 王晨阳, 等. 矮败小麦技术体系在黄淮冬麦区南片抗赤霉病育种中的应用[J]. 作物学报, 2022, 48(11): 2683.
ZHOU Y, ZHANG H J, WANG C Y, et al. Application of dwarf-male-sterile wheat in breeding program for Fusarium head blight resistance in Southern Yellow-Huai Rivers Valley winter wheat region [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2022, 48(11): 2683.
- [30] 刘秉华, 杨丽. 矮败小麦及其在矮化育种中的应用[J]. 中国

- 农业科学,1994,27(5):17.
LIU B H, YANG L. Dwarfing-sterile wheat and its use in breeding for dwarfness [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1994,27(5):17.
- [31]张新忠,黄天荣,吴新元,等.矮败小麦轮回选择的关键技术问题探讨[J].新疆农业科学,2007(S1):182.
ZHANG X Z, HUANG T R, WU X Y, *et al.* Discussion on key technical problems of recurrent selections of dwarf male-sterile wheat [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2007(S1):182.
- [32]刘秉华,翟虎渠,杨丽.矮败小麦及其高效育种方法的创建与应用[J].植物遗传资源学报,2011,12(1):168.
LIU B H, ZHAI H Q, YANG L. The dwarfing-sterile wheat, as well as the establishment and application of high-efficiency breeding methods [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2011,12(1):168.
- [33]杨丽,王山荭,刘秉华.小麦新品种轮选 987 的选育及性状表现[J].作物杂志,2003(3):53.
YANG L, WANG S H, LIU B H. Breeding and character performance of a new wheat variety Lunxuan 987 [J]. *Crops*, 2003(3):53.
- [34]杨丽,刘宏伟,孟繁华,等.小麦品种轮选 518 的选育及其特点[J].作物杂志,2009(1):106.
YANG L, LIU H W, MENG F H, *et al.* Breeding and characteristics of wheat variety Lunxuan 518 [J]. *Crops*, 2009(1):106.
- [35]杨兆生,闫素红,刘秉华,等.超高产小麦新品种中育 12 号[J].农业科技通讯,2009(10):100.
YANG Z S, YAN S H, LIU B H, *et al.* The super-high-yielding new wheat variety Zhongyu 12 [J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2009(10):100.
- [36]甘斌杰,杨赞林,余增亮,等.离子束诱变小麦新品种皖麦 42 号的特征特性和栽培技术[J].中国农学通报,2003,19(5):25.
GAN B J, YANG Z L, YU Z L, *et al.* The Biological character and cultivation technique of wheat Wanmai 42 bred by N⁺ ion beam implantation [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2003,19(5):25.
- [37]杨赞林,甘斌杰,余增亮,等.皖麦 43 生物学特性和栽培技术[J].安徽农业科学,2001,29(5):587.
YANG Z L, GAN B J, YU Z L, *et al.* Study on the biological character, and cultivation technique of wheat variety Wanmai 43 [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2001, 29(5):587.
- [38]甘斌杰,余增亮,汪建来,等.抗赤霉病小麦新品种皖 9926 的选育与利用[J].安徽农业科学,2004,32(5):890.
GAN B J, YU Z L, WANG J L, *et al.* Wan 9926: Breeding for resistance to Fusarium head blight [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2004,32(5):890.
- [39]甘斌杰,黄晓荣,夏孝群.抗赤霉病小麦新品种轮选 22 的选育及性状表现[J].安徽农业科学,2012,40(36):17512.
GAN B J, HUANG X R, XIA X Q. Breeding and characteristics performance of Lunxuan 22, A new variety of wheat (*Triticum aestivum* L.) with high resistance to *Fusarium* head blight [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2012,40(36):17512.
- [40]吴新元,张新忠,黄天荣,等.矮败小麦研究进展及其在新疆的应用[J].新疆农业科学,2007,44(5):672.
WU X Y, ZHANG X Z, HUANG T R, *et al.* The advance of studying on dwarf male-sterile wheat and situation of applying it in Xinjiang [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2007, 44(5):672.
- [41]郭凤琴,郭庆瑞.矮败小麦与小偃麦亚远缘杂交育种研究通报[J].陕西农业科学,2002,48(6):1.
GUO F Q, GUO Q R. Report on the subdistant crossing breeding between intersubspecies dwarfing sterile wheat and trititrigia [J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2002,48(6):1.
- [42]孙苏阳,李海军,王永军,等.高产广适多抗小麦主推品种淮麦 25 的特征特性及高产栽培技术[J].江苏农业科学,2013,41(4):92.
SUN S Y, LI H J, WANG Y J, *et al.* Characteristics and high-yield cultivation techniques of Huaimai 25, a main wheat variety with high yield, wide adaptability and multi-resistance [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2013, 41(4):92.
- [43]孙苏阳,李海军,王永军,等.高产小麦新品种淮麦 32 的选育及栽培技术[J].江苏农业科学,2013,41(5):83.
SUN S Y, LI H J, WANG Y J, *et al.* Breeding and cultivation techniques of a new wheat variety Huaimai 32 with high yield [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2013,41(5):83.
- [44]张立生,温辉芹,程天灵,等.优质高产小麦新品种晋太 114 的选育[J].种子,2017,36(7):114.
ZHANG L S, WEN H Q, CHENG T L, *et al.* Breeding of new winter wheat variety Jintai 114 with good quality and high yield [J]. *Seed*, 2017,36(7):114.
- [45]宋志均,杨春玲,关力,等.高产小麦新品种安麦 1241 及栽培技术[J].中国种业,2018(10):89.
SONG Z J, YANG C L, GUAN L, *et al.* A new wheat variety Anmai 1241 with high yield and its cultivation techniques [J]. *China Seed Industry*, 2018(10):89.
- [46]柳娜,杨文雄,王世红,等.节水优质春小麦新品种——陇春 41 号[J].麦类作物学报,2022,42(3):封 3.
LIU N, YANG W X, WANG S H, *et al.* A new water-saving and high-quality spring wheat variety Longchun 41 [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2022,42(3):Cover 3.
- [47]张明响,方聪燕,买春艳,等.高产稳产小麦新品种轮选 1658 的选育及其栽培技术[J].中国种业,2020(10):71.
ZHANG M X, FANG C Y, MAI C Y, *et al.* Breeding and cultivation techniques of a new wheat variety Lunxuan 1658 with high and stable yield [J]. *China Seed Industry*, 2020(10):71.
- [48]张明响,方聪燕,买春艳,等.小麦新品种视察 168 的选育[J].中国种业,2021(10):85.
ZHANG M X, FANG C Y, MAI C Y, *et al.* Breeding of a new wheat variety Shicha 168 [J]. *China Seed Industry*, 2021(10):85.
- [49]王健.淮麦 40 小麦高产规律及配套栽培技术[J].种子科技,2021,39(22):47.
WANG J. High-yield law and supporting cultivation techniques of wheat Huaimai 40 [J]. *Seed Science & Technology*, 2021,39(22):47.
- [50]车京玉,孙万友,邵立刚,等.优质高产多抗春小麦新品种克春 151350 的选育及关键栽培技术[J].农业科技通讯,2023(2):182.
CHE J Y, SUN W Y, SHAO L G, *et al.* Breeding and key cultivation techniques of a new spring wheat variety Kechun 151350 with high quality, high yield and multi-resistance [J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2023(2):182.
- [51]XIA C, ZHANG L, ZOU C, *et al.* A TRIM insertion in the promoter of *Ms2* causes male sterility in wheat [J]. *Nature Communications*, 2017,8:15407.