

基因编辑赋能植物育种: 推动作物改良与农业高质量发展

王克剑

中国农业科学院中国水稻研究所, 水稻生物育种全国重点实验室, 杭州 310006

E-mail: wangkejian@caas.cn

Gene editing-driven plant breeding: advancing crop innovation and sustainable agriculture

Kejian Wang

State Key Laboratory of Rice Biology and Breeding, China National Rice Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310006, China

E-mail: wangkejian@caas.cn

doi: [10.1360/CSB-2025-0681](https://doi.org/10.1360/CSB-2025-0681)



王克剑

中国水稻研究所研究员、副所长。主要从事水稻无融合生殖和基因编辑研究。

人类探索遗传规律已逾一个半世纪, 从孟德尔定律到DNA双螺旋结构的发现, 从基因重组到基因组学, 这些突破持续革新着生命科学。然而, 面对气候变化、人口增长与耕地资源减少的严峻挑战, 传统遗传改良技术已难以满足现代农业需求, 亟待更精准高效的遗传操作革命——这直接催生了基因编辑技术^[1]。其出现不仅延续了百年遗传学研究的辉煌传统, 更以“分子剪刀”的精准特性开启了作物育种的新纪元。

基因编辑技术的发展呈现出清晰的迭代路径: 从早期的锌指核酸酶(zinc-finger nuclease, ZFN)、转录激活因子样效应物核酸酶(transcription activator-like effector nuclease, TALEN)技术, 到革命性的CRISPR-Cas9系统, 再到更精准的碱基编辑(base editing, BE)和引导编辑(prime editing, PE)技术, 实现了从“随机切割”到“精准修饰”的技术跨越^[2]。其中, CRISPR/Cas系统凭借设计简便、靶向精准、操作高效和成本优势, 迅速成为全球研究焦点。2020年诺贝尔化学奖的授予, 不仅肯定了其革命性价值, 更标志着该技术正式跻身主流生物技术领域。

在作物育种领域, 基因编辑技术展现出两大核心优势: 其一, 其精准靶向特性实现了从“随机筛选”到“定向设计”的育种模式革新; 其二, 其高效率特性可将传统育种周期缩短80%以上。特别值得关注的是, 该技术仅对作物内源基因修饰(不引入外源DNA), 使其在监管审批和公众认可方面具有显著优势。然而, 该技术的应用仍存在脱靶效应和基因驱动等潜在风险, 目前科研人员正通过优化编辑工具和完善检测技术来提升其安全性。

CRISPR/Cas基因编辑技术正引领全球作物育种研究热潮。数据显示, 近五年相关论文年增长率超30%, 在增产提质、抗逆改良等领域展现出显著优势^[3]。美

引用格式: 王克剑. 基因编辑赋能植物育种: 推动作物改良与农业高质量发展. 科学通报, 2025, 70: 2397–2399

Wang K. Gene editing-driven plant breeding: advancing crop innovation and sustainable agriculture (in Chinese). Chin Sci Bull, 2025, 70: 2397–2399, doi: [10.1360/CSB-2025-0681](https://doi.org/10.1360/CSB-2025-0681)

国、欧盟、中国等主要经济体已建立差异化监管体系,其中部分国家对非转基因编辑作物实行与传统品种等同的管理政策,大幅推进了产业化进程。我国将基因组编辑列为“十四五”生物育种重点方向,在国家科技计划支持下,我国科学家在新型编辑工具(如Cas12i/j微型酶、CyDENT碱基编辑系统)和育种应用(广谱抗白粉病小麦)等方面取得突破性进展^[4-7],确立了国际领先地位。本专辑汇集了国内活跃在科研一线的专家学者,收录了15篇前沿研究,既包括植物基因编辑技术的优化及育种应用的原创论文,也涵盖对领域内关键科学问题和重大进展的深度综述。

基因编辑技术正经历着从CRISPR/Cas9到BE,再到PE的快速迭代升级过程。这一技术演进不仅显著提升了基因编辑的精准度和安全性,更为作物遗传改良开辟了全新路径。本专辑重点聚焦当前精准编辑技术领域的最新研究进展。钦鹏团队系统梳理了BE技术的发展历程,重点探讨了表达载体优化、核心元件改造等关键技术创新,并详细阐述了这些技术在蛋白质定向进化和顺式调控元件精确编辑中的突破性应用。同时,研究也客观分析了当前BE技术存在的编辑范围受限、潜在脱靶效应等技术瓶颈^[8]。许蓉芳、魏鹏程团队^[9]和关跃峰团队^[10]深入解析了PE技术的发展脉络,全面介绍了在向导RNA设计策略、效应蛋白工程化改造等方面取得的重要突破。此外,本专辑还收录了戴华鑫和潘荣辉团队^[11]关于被子植物细胞器基因编辑技术的综述,该技术的持续优化将为植物基础研究和精准育种提供更多可能。值得注意的是,PE技术已在抗病育种、蛋白质标记等实际应用中展现出巨大潜力,为未来精准分子育种提供了创新性技术方案。作为新一代精准编辑技术,PE必将在作物育种领域发挥关键作用。然而,目前该技术在某些基因组位点仍存在编辑效率偏低的问题。本专辑收录了两项创新性解决方案:王克剑团队^[12]通过采用逆转录酶Tf1 (*Schizosaccharomyces pombe* Tf1 retrotransposon),结合优化的nCas9变体,成功开发出高效的ePE2-6ce系统;饶玉春团队^[13]则建立了基于水稻愈伤组织的早期检测体系,将效率评估周期缩短至15天,为研究效率的提升提供了新思路。

基因编辑技术在作物育种领域的创新应用正展现出前所未有的潜力。目前,该技术已成功创制出大量具有产量提升、品质改良和抗逆性增强等优良性状的种质资源^[14]。本专辑收录的研究成果充分展现了该领域的前沿突破:黄勇和杨致荣团队采用CRISPR/Cas9技术对谷子减数分裂关键基因*OMISSION OF SECOND DIVISION 1 (OSD1)*进行精准编辑,成功创制出多倍体谷子新种质。该材料不仅表现出显著的果实增大效应和产量提升潜力,同时为解析谷子倍性调控的分子机制提供了理想研究材料^[15]。李根英团队^[16]则聚焦小麦品质改良,通过特异性敲除*Puroindoline*基因(包括*Pina*和*Pinb*两个亚型),成功将小麦籽粒硬度指数提升2个等级,这项突破性研究为小麦品质的分子设计育种提供了全新的技术方案。值得关注的是,基因编辑技术的有效应用离不开配套技术体系的支撑。陈乐天 and 谢先荣团队在专刊中系统评述了基因编辑设计与分析辅助工具的最新进展,包括sgRNA设计算法优化、脱靶效应预测模型改进等关键技术突破。这些工具的持续创新将大幅提升基因编辑的精确性和效率,为作物遗传改良研究提供强有力的技术支撑^[17]。

基因编辑技术正以前所未有的创新活力推动现代农业变革,在作物遗传改良领域展现出全方位的突破性应用,同时为加速作物遗传变异的产生和引入遗传多样性提供了新的途径^[18]。本专辑系统梳理了该技术在主要作物改良中的最新研究进展:在主粮作物领域,张昌泉、周勇团队^[19]和隋毅团队^[20]全面总结了基因编辑技术在水稻育种中的革命性应用。研究表明,该技术不仅能精准调控产量、品质和抗逆性等关键农艺性状,更创新性地开发出从头驯化、多性状协同改良等突破性育种策略。这些成果不仅深化了我们对作物遗传调控机制的认识,更为保障国家粮食安全提供了关键技术支撑。经济作物方面,聂新辉、李建、金双侠团队^[21]系统总结了棉花基因编辑育种的全技术链条,涵盖递送系统开发、编辑体系优化到实际育种应用的全过程。尽管我国棉花基因编辑育种与主要粮食作物相比仍存在差距,但快速发展的技术体系正推动棉花分子设计育种迈向新高度。在木本和药用植物研究领域,基因编辑技术正迎头赶上。张进团队^[22]深入评估了该技术在木本植物生长发育和抗性调控中的应用潜力;时敏和开国银团队^[23]则探索了通过基因编辑调控药用植物次生代谢物合成的技术路径,为提升药用价值提供了新思路。特别值得关注的是,谢卡斌和李国田团队^[24]针对植物抗性与产量的权衡难题,系统总结了基因编辑技术在抗病育种中的创新策略。这些策略通过精准调控抗病相关基因,在不影响产量的前提下显著提升作物抗性,为抗病育种开辟了新途径。

本专辑虽未能涵盖所有重要进展,但已充分展现了我国在基因编辑领域的蓬勃发展。纵观全球,基因编辑技术正经历着全方位的突破——新型编辑工具持续涌现、递送系统日臻完善、育种应用体系日趋成熟,相关基础研究和安全评估也取得长足进步。展望未来,这项突破性技术必将推动育种模式创新,为现代农业发展注入强劲动力。

致谢 感谢国家自然科学基金(32188102, 32025028)资助。

参考文献

- Chen K, Wang Y, Zhang R, et al. CRISPR/Cas genome editing and precision plant breeding in agriculture. *Annu Rev Plant Biol*, 2019, 70: 667–697
- Molla K A, Sretenovic S, Bansal K C, et al. Precise plant genome editing using base editors and prime editors. *Nat Plants*, 2021, 7: 1166–1187
- Gao C. Genome engineering for crop improvement and future agriculture. *Cell*, 2021, 184: 1621–1635
- Duan Z, Liang Y, Sun J, et al. An engineered Cas12i nuclease that is an efficient genome editing tool in animals and plants. *Innovation*, 2024, 5: 100564
- Wang Y, Qi T, Liu J, et al. A highly specific CRISPR-Cas12j nuclease enables allele-specific genome editing. *Sci Adv*, 2023, 9: eabo6405
- Hu J, Sun Y, Li B, et al. Strand-preferred base editing of organellar and nuclear genomes using CyDENT. *Nat Biotechnol*, 2024, 42: 936–945
- Li S, Lin D, Zhang Y, et al. Genome-edited powdery mildew resistance in wheat without growth penalties. *Nature*, 2022, 602: 455–460
- Zhong Z, Qin P. Research advances on precise plant genome base replacement and its applications based on CRISPR-Cas system (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2025, 70: 2400–2413 [仲昭辉, 钦鹏. 植物CRISPR-Cas基因组碱基精准替换技术发展现状及其应用. 科学通报, 2025, 70: 2400–2413]
- Zhou S, Li F, Li J, et al. Plant genome precise editing technology-prime editing (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2025, 70: 2414–2422 [周苏淮, 李芳, 李娟, 等. 植物基因组精准编辑技术——引导编辑. 科学通报, 2025, 70: 2414–2422]
- Peng C, Bai M, Guan Y. Recent advance of prime editing in plants (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2025, 70: 2423–2437 [彭春燕, 柏梦焱, 关跃峰. 植物引导编辑技术的研究进展. 科学通报, 2025, 70: 2423–2437]
- Zhu Y, Tai L, Zhang J, et al. Development and application of organelle gene editing technology in angiosperms (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2025, 70: 2438–2448 [朱仪方, 台莉, 张剑锋, 等. 被子植物细胞器基因编辑技术的开发与应用. 科学通报, 2025, 70: 2438–2448]
- Hou B, Chen L, Lu H, et al. Establishment of a novel prime editing system by introducing the reverse transcriptase Tfl combined with high-temperature treatment in rice (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2025, 70: 2558–2569 [侯兵兵, 陈俐克, 鲁宏伟, 等. 通过引入逆转录酶Tfl结合高温处理建立新型水稻引导编辑系统. 科学通报, 2025, 70: 2558–2569]
- Yang Q, Meng X, Wang C, et al. Evaluating prime editing efficiency through rice callus transformation (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2025, 70: 2570–2578 [杨茜, 孟祥兵, 王春, 等. 利用水稻转化愈伤组织评估引导编辑效率. 科学通报, 2025, 70: 2570–2578]
- Cardi T, Murovec J, Bakhsh A, et al. CRISPR/Cas-mediated plant genome editing: outstanding challenges a decade after implementation. *Trends Plant Sci*, 2023, 28: 1144–1165
- Liang Y, Shen H, Hu F, et al. Generating polyploid millet through CRISPR/Cas9-mediated editing of the *SiOSD1* gene (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2025, 70: 2579–2587 [梁雨晴, 申慧敏, 胡风越, 等. 利用CRISPR/Cas9编辑*SiOSD1*基因创制多倍体谷子. 科学通报, 2025, 70: 2579–2587]
- Zhang S, Gao J, Yang L, et al. Improving wheat grain hardness by knock out of *pina* and *pinb* (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2025, 70: 2588–2600 [张淑娟, 高洁, 杨路遥, 等. 敲除*pina*和*pinb*基因提高小麦籽粒硬度. 科学通报, 2025, 70: 2588–2600]
- Li F, Zhang R, Zhao Z, et al. Research advances in gene editing design and analysis tools (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2025, 70: 2449–2467 [李福权, 张瑞祥, 赵哲, 等. 基因编辑设计和分析辅助工具的研究进展. 科学通报, 2025, 70: 2449–2467]
- Zou J, Huang Y, Gao C, et al. Unlocking crop diversity: enhancing variations through genome editing. *Sci Bull*, 2024, 69: 281–284
- Tan W, Liang S, Gu X, et al. Application and prospects of genome-editing technology for improvement of grain yield and quality in rice (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2025, 70: 2468–2482 [谭文琛, 梁帅南, 顾雪琪, 等. 基因组编辑技术在水稻产量和品质改良中的应用及展望. 科学通报, 2025, 70: 2468–2482]
- Li K, Wu C, Sui Y. Research progress of CRISPR/Cas gene editing technology in rice breeding (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2025, 70: 2483–2494 [李可, 吴传银, 隋毅. CRISPR/Cas基因编辑技术在水稻育种中的研究进展. 科学通报, 2025, 70: 2483–2494]
- Yang G, Wang G, Yu L, et al. Progress and prospect of genome editing tools development and molecular breeding in cotton (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2025, 70: 2495–2508 [杨光琴, 王冠英, 余露, 等. 棉花基因编辑工具开发及分子育种进展与展望. 科学通报, 2025, 70: 2495–2508]
- Yuan X, Yao F, An Y, et al. Application of CRISPR/Cas genome editing in woody plant trait improvement (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2025, 70: 2509–2525 [袁雪宁, 姚凤鸽, 安轶, 等. CRISPR/Cas基因组编辑在木本植物性状改良中的应用. 科学通报, 2025, 70: 2509–2525]
- Zhu R, Xu Y, Shi M, et al. Application and prospect of CRISPR/Cas9 technology in medicinal plants (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2025, 70: 2526–2541 [朱瑞艳, 许莹, 时敏, 等. CRISPR/Cas9技术在药用植物中的应用与展望. 科学通报, 2025, 70: 2526–2541]
- Han X, Li S, Xie K, et al. Genome editing for disease resistance in crops (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2025, 70: 2542–2557 [韩欣雨, 李淑敏, 谢卡斌, 等. 基因编辑技术在作物抗病中的应用. 科学通报, 2025, 70: 2542–2557]