

基因编辑技术对主要农作物抗逆性改良的研究进展与前景展望

王玉凤

阿拉善左旗农牧业综合行政执法大队 内蒙古 阿拉善盟 750306

摘 要： 随着全球气候变化的加剧，农作物面临着越来越多的逆境胁迫，如干旱、洪涝、盐碱、高温和病虫害等，严重影响了农作物的产量和质量。基因编辑技术作为一种新兴的精准基因工程手段，为主要农作物抗逆性改良提供了新的策略和途径。本文综述了基因编辑技术在主要农作物抗逆性改良方面的研究进展，包括对干旱、盐碱、温度胁迫以及病虫害抗性的改良，并对其应用前景进行了展望，同时也讨论了基因编辑技术面临的挑战与应对措施，旨在为提高农作物抗逆性、保障全球粮食安全提供理论依据与技术参考。

关 键 词： 基因编辑技术；农作物；抗逆性改良；研究进展；前景展望

Research progress and prospect of gene editing technology for improving stress resistance of major crops

Wang Yufeng

Alashan left banner agriculture and animal husbandry comprehensive administrative law enforcement brigade,
Nei Mongol, Alxa League, 750306

Abstract： With the intensification of global climate change, crops are facing more and more adverse stresses, such as drought, flood, salinity, high temperature and pests and diseases, which seriously affect the yield and quality of crops. As a new precision genetic engineering method, gene editing technology provides a new strategy and approach for the improvement of stress resistance of major crops. This paper reviews the research progress of gene editing technology in the improvement of stress resistance of major crops, including drought, saline-alkali, temperature stress and pest resistance, and prospects its application prospects. At the same time, the challenges faced by gene editing technology and countermeasures are also discussed. The aim is to provide theoretical basis and technical reference for improving crop stress resistance and ensuring global food security.

Keywords： gene editing technology; Crops; Improved stress resistance; Research progress; prospect

引言

农作物在生长发育过程中不可避免地会遭受各种逆境胁迫，这些逆境胁迫是导致全球农作物减产的主要原因之一。传统的育种方法在改良农作物抗逆性方面虽然取得了一定的成效，但存在育种周期长、效率低以及可利用的遗传资源有限等局限性。基因编辑技术的出现为农作物抗逆性改良带来了新的曙光，它能够精确地对农作物基因组进行定点修饰，快速、高效地创制具有优良抗逆性状的新品种。

一、基因编辑技术概述

（一）基因编辑技术原理

基因编辑技术主要基于特定的核酸内切酶，如锌指核酸酶（ZFNs）、类转录激活因子样效应物核酸酶（TALENs）和成簇的规律间隔的短回文重复序列及其相关系统（CRISPR/Cas）等。这些核酸内切酶能够识别并切割特定的 DNA 序列，在细胞内引发 DNA 损伤修复机制。通过非同源末端连接（NHEJ）或同源定向修复（HDR）途径，实现对目标基因的敲除、插入或替换等精确

编辑操作^[1]。

（二）主要基因编辑技术特点比较

1. ZFNs

锌指核酸酶（ZFNs）作为早期的基因编辑技术先驱，其特异性表现出色，能够精准地作用于特定的 DNA 序列。然而，其设计过程涉及复杂的蛋白质工程，需要针对每个靶点精心设计和构建独特的锌指结构，这不仅耗费大量的时间和精力，还需要专业的技术知识。而且，由于其结构和作用机制的局限性，对于不同的基因靶点，可能难以找到合适的锌指组合来实现高效编辑，导致

作者简介：姓名：王玉凤 性别：女 民族：汉族 出生日期：1974.12.20 籍贯：内蒙古阿拉善左旗，职务/职称：高级农艺师 学历：本科 研究方向：农业技术

其在大规模、多样化的基因编辑应用场景中受到限制，成本也居高不下，逐渐被后续更便捷高效的技术所补充替代。

2. TALENs

类转录激活因子样效应物核酸酶（TALENs）在基因编辑领域展现出独特的优势。其特异性强，能够精准识别并切割目标 DNA 序列，大大降低了脱靶风险。与 ZFNs 相比，TALENs 的设计和构建流程相对简化，它基于特定的氨基酸序列与 DNA 碱基的对应关系来设计识别模块，具有一定的规律性。但尽管如此，整个过程依然较为繁琐，需要细致地组装多个模块，且对实验技术和条件要求较高。这使得在大规模、高通量的基因编辑项目中，TALENs 的应用难以迅速铺开，在效率和便捷性上仍有待进一步突破与提升。

3. CRISPR/Cas

CRISPR/Cas 系统革新了基因编辑领域。其操作流程简便，仅需设计短的引导 RNA（gRNA）即可引导 Cas 蛋白定位切割目标 DNA，极大降低了技术门槛。成本方面，相较于传统编辑技术大幅降低，普通实验室也能开展相关研究。编辑效率颇高，能精准实现基因敲除、插入等操作。尤为突出的是可借助多条 gRNA 同时对多个基因编辑，还方便构建文库进行高通量筛选。这些优势使其在农作物基因编辑中广泛应用，有力推动了农作物抗逆性改良、产量品质提升等研究进展，主导地位日益凸显。

二、基因编辑技术在主要农作物抗逆性改良中的应用

（一）干旱胁迫抗性改良

1. 调控水分吸收与运输相关基因

例如，通过基因编辑技术敲除或修饰某些水通道蛋白基因^[9]，可以调节农作物根系对水分的吸收效率。在水稻中，对特定水通道蛋白基因的编辑，使水稻在干旱条件下能够更有效地吸收土壤中的水分，维持细胞的膨压，从而提高其抗旱性。

2. 调控渗透调节物质合成基因

一些基因参与渗透调节物质如脯氨酸、甜菜碱等的合成。编辑这些基因能够促进农作物在干旱环境下积累更多的渗透调节物质，降低细胞的渗透势，增强保水能力。在小麦中，对甜菜碱合成相关基因的编辑，提高了小麦叶片中甜菜碱的含量，显著增强了小麦对干旱胁迫的耐受性。

（二）盐碱胁迫抗性改良

1. 离子转运相关基因编辑

盐碱胁迫主要涉及到细胞内 Na^+ 、 K^+ 等离子的平衡失调。通过基因编辑技术调控 Na^+ 转运蛋白基因，如在棉花中，对 Na^+ / H^+ 逆向转运蛋白基因进行编辑，增强了棉花根系对 Na^+ 的外排能力，减少了 Na^+ 在细胞内的积累，同时提高了 K^+ 的吸收和运输，维持了细胞内的离子平衡，提高了棉花对盐碱地的适应性^[8]。

2. 抗氧化相关基因调控

盐碱胁迫会导致农作物细胞内产生大量活性氧（ROS），引发氧化损伤。编辑抗氧化酶基因，如超氧化物歧化酶（SOD）、过氧化物酶（POD）等基因，可以增强农作物细胞内的抗氧化能力，清除 ROS，减轻氧化损伤。在玉米中，对 SOD 基因的编辑使

玉米在盐碱环境下能够更好地维持细胞的氧化还原平衡，提高了玉米的耐盐碱性^[2]。

（三）温度胁迫抗性改良

1. 冷胁迫抗性改良

对于一些喜温作物如水稻、玉米等，低温是限制其生长和产量的重要因素。通过基因编辑技术调节冷响应基因，如 CBF 转录因子家族基因。在水稻中，对 CBF 基因的编辑，增强了水稻对低温的感知和信号转导能力，诱导一系列冷响应基因的表达，包括编码抗冻蛋白、渗透调节物质合成酶等基因，提高了水稻的抗寒性，减少了低温对水稻生长发育和产量的影响。

2. 热胁迫抗性改良

随着全球气候变暖，高温胁迫对农作物的危害日益严重^[7]。编辑热激蛋白（HSP）基因是提高农作物耐热性的一种有效策略。在大豆中，对特定 HSP 基因的编辑，使其在高温条件下能够更高效地发挥分子伴侣功能，帮助其他蛋白质正确折叠和稳定，维持细胞内蛋白质组的稳态，从而提高大豆的耐热性，保证大豆在高温季节的正常生长和发育。

（四）病虫害抗性改良

1. 抗性改良

针对害虫对农作物的侵害，基因编辑技术可以用于编辑与抗虫相关的基因。例如，在棉花中，对棉酚合成相关基因进行编辑，提高棉酚含量，棉酚是一种天然的抗虫物质，能够有效抵御棉铃虫等害虫的侵害。此外，还可以通过编辑一些与昆虫识别或信号传导相关的基因，干扰害虫的取食行为或生长发育。如在玉米中，对某些与昆虫嗅觉相关的基因进行编辑，使玉米对玉米螟等害虫的吸引力降低，减少害虫的危害。

2. 抗病性改良

对于农作物病害，基因编辑技术可用于编辑抗病相关基因。如在小麦中，对与白粉病抗性相关的基因进行编辑，增强了小麦对白粉病菌的识别和防御反应。通过编辑植物的免疫受体基因或参与植物防御信号通路的基因，如 NPR1 基因等，能够激活植物的先天免疫反应，提高农作物对多种病害的抵抗力，包括真菌病害、细菌病害和病毒病害等。

三、基因编辑农作物的安全性评估与监管

（一）安全性评估

1. 脱靶效应评估

基因编辑过程中可能会发生脱靶现象，即核酸内切酶对非目标序列进行切割，导致基因组其他位置的意外修饰。这可能会影响农作物的其他性状或产生潜在的安全风险。目前，多种检测脱靶效应的方法已经被开发，如全基因组测序、靶向扩增子测序等，通过这些方法对基因编辑农作物进行脱靶检测，评估其安全性。

2. 环境安全性评估

基因编辑农作物在环境中的释放可能会对生态系统产生影响。例如，其花粉传播可能会导致基因漂移，使野生近缘种获得编辑后的基因，从而改变野生种群的遗传结构和生态适应性。因

此，需要对基因编辑农作物的花粉活力、传播距离、与野生近缘种的杂交亲和性等进行研究，评估其对生态环境的潜在影响。

3. 食用安全性评估

主要关注基因编辑是否会导致农作物产生新的过敏原、毒素或改变营养成分等。通过对基因编辑农作物的蛋白质组学、代谢组学等分析，以及动物喂养试验等，确定其食用安全性。

（二）监管现状与挑战

1. 不同国家和地区的监管政策差异较大

一些国家如美国对基因编辑农作物的监管相对宽松，将某些基因编辑农作物视为传统育种作物进行管理；而欧盟则较为严格，将基因编辑农作物纳入转基因生物监管框架。这种政策差异给基因编辑农作物的国际推广和贸易带来了挑战^[9]。

2. 监管技术标准有待完善

目前对于基因编辑农作物安全性评估的技术标准还在不断发展和完善过程中。例如，对于脱靶效应检测的阈值设定、环境风险评估的具体指标等还需要进一步明确和统一，以确保监管的科学性和有效性。

四、基因编辑技术在农作物抗逆性改良中的前景展望

（一）多基因编辑与性状聚合

多基因编辑与性状聚合为农作物抗逆改良开辟了广阔前景^[6]。随着技术发展，可同时多个抗逆相关基因精准操作^[10]。例如，在干旱与盐碱常伴生的地区，同时编辑调控水分吸收、离子转运及抗氧化相关基因，培育出兼具抗旱与耐盐碱特性的作物品种。将抗虫与抗病基因整合，使作物能抵御多种病虫害侵袭。通过多基因编辑技术，有望突破单基因改良的局限，培育出集多种抗逆性状于一身的超级作物。这不仅能增强作物在复杂恶劣环境中的生存能力，还可减少因环境变化导致的产量损失，提高农业生产的稳定性与可持续性，满足全球人口增长对粮食数量与质量的双重需求^[6]，推动农业向高效、智能、绿色方向发展。

（二）基因编辑与传统育种技术的结合

基因编辑与传统育种技术的结合，为农作物抗逆育种带来了新契机。传统育种如杂交育种可汇聚不同亲本优良基因，诱变育种能创造大量随机突变，构建起丰富的遗传变异库。而基因编辑技术则能在这一基础上，针对特定目标基因进行精细修改。例如，先通过杂交获得具有部分抗逆性的中间材料，再借助基因编辑精准优化抗逆相关基因表达。这种协同模式，既利用了传统育种的广适性与基因资源丰富性，又发挥了基因编辑的精确性与高效性，极大缩短了育种周期，有力推动了农作物抗逆新品种的快速选育与推广应用。

（三）智能基因编辑技术的开发

智能基因编辑技术的开发是未来农业科技的一个极具潜力的方向。随着传感器技术、大数据分析以及人工智能算法的不断进步，有望构建出一套精准感知农作物生长环境变化的智能系统。当该系统检测到干旱信号时，如土壤湿度持续下降，能迅速指令基因编辑机制聚焦于抗旱相关基因，通过调节其编辑强度，精准调控如渗透调节物质合成基因的表达水平，增强作物保水能力。

而一旦病虫害来袭，系统可依据病虫害特异性分子标记或其引发的植物免疫反应信号，及时启动抗病虫基因编辑，激活植物免疫防御通路相关基因。这种智能化调控将赋予农作物主动适应环境变化的能力，减少逆境对作物生长发育的不利影响，从而保障农作物产量稳定，开启农业智能化抗逆新时代。

（四）拓展基因编辑技术在新型农作物品种培育中的应用

拓展基因编辑技术在新型农作物品种培育中的应用具有深远意义。在药用农作物方面，许多传统药用植物有效成分含量低、提取困难^[4]。利用基因编辑技术可精准调控相关合成酶基因或转运蛋白基因，显著提高如人参中人参皂苷、青蒿中青蒿素等有效成分的含量与纯度，提升药用价值。对于特色农作物，基因编辑能突破地域限制。比如培育出可在高海拔寒冷地区种植的热带水果品种，或在盐碱地生长的花卉品种等。这不仅丰富了人们的食物与观赏选择，满足个性化消费需求，还能带动特色农业、医药农业等新兴产业发展。使农业不再局限于传统模式，而是向高附加值、多功能化方向转型，为全球农业产业结构优化升级注入新活力，促进农业与其他产业深度融合与协同发展。

五、结论

基因编辑技术在主要农作物抗逆性改良方面已经取得了显著的研究进展，为提高农作物的抗逆能力、保障全球粮食安全提供了强有力的技术手段。通过对干旱、盐碱、温度胁迫以及病虫害抗性等多方面的改良研究，展示了基因编辑技术在农作物育种中的巨大潜力。然而，基因编辑农作物的安全性评估与监管仍然是需要重视的问题，不同国家和地区的政策差异和监管技术标准的完善是当前面临的挑战。展望未来，多基因编辑、与传统育种技术结合、智能基因编辑技术开发以及在新型农作物品种培育中的应用等将是基因编辑技术在农作物抗逆性改良领域的重要发展方向。随着技术的不断进步和完善，基因编辑技术有望在农业领域发挥更加重要的作用，推动农业可持续发展，实现全球粮食安全和农业生态环境的和谐共生。

参考文献：

- [1] 逯焕焕. 生物技术在现代农作物种植方面的应用 [J]. 农村实用技术, 2024, (06): 72-74.
- [2] 王征旭, 曹俊霞, 王友亮. 基因编辑技术在军事医学领域的潜在应用 [J]. 解放军医学院学报, 2023, 44 (11): 1187-1193.
- [3] 邹婉依, 负桂玲, 宋敏. 全球基因编辑育种创新价值链现状与启示 [J]. 中国农业大学学报, 2023, 28 (09): 12-23.
- [4] 李红杰, 贾亚男, 张彦军, 等. 国内外转基因与基因编辑作物监管现状 [J]. 中国农业大学学报, 2023, 28 (09): 1-11.
- [5] 小麦盐与物理损伤胁迫下果胶光谱反演模型 [J]. 朴兆佳; 于海业; 张郡赫; 周海根; 刘爽; 孔丽娟; 党敬民. 光谱学与光谱分析, 2022(09)
- [6] 盐胁迫对“太行”白羊草生长与生理特性的影响 [J]. 刘文静; 杨志青; 李钰莹; 高守典; 张新荣. 草业科学, 2023(10)
- [7] 数字绿色金融赋能草原畜牧业转型升级. 王强. 北方经济, 2024(02)
- [8] 乡村振兴战略背景下新质生产力引领的农业技术创新与应用. 刘文喆; 韩馨. 南方农业, 2024(24)
- [9] 农业技术创新在农业可持续发展中的作用. 程光辉; 窦洪涛. 新农民, 2024(05)
- [10] 浅谈农业技术创新与生态环境保护. 代京男; 程智卉; 薛世杰. 农村科学实验, 2024(09)