

文献紹介

2023年3月
バイオテック情報普及会

高度な栽培化：作物育種におけるゲノム編集の精度性の利用

文献情報

論文名： **Advanced domestication: harnessing the precision of gene editing in crop breeding**

著者： *Wendy J. Lyzenga, Curtis J. Pozniak and Sateesh Kagale*

ジャーナル： *Plant Biotechnology Journal (2021), pp. 1–11*

[https:// doi: 10.1111/pbi.13576](https://doi.org/10.1111/pbi.13576)

概要

人口増加により、食用作物、飼料、バイオ燃料、バイオマテリアルの需要が高まっている一方で、気候変動が生育環境に影響を及ぼしている。厳しい生育条件に耐える作物品種の効率的な開発が急務となっている。植物育種は世界の食糧安全保障に不可欠であり、近代技術の恩恵を受けているものの、貴重な遺伝的多様性の減少やリンケージドラッグの問題、複雑な形質に対して複数の望ましい対立遺伝子を組み合わせる効果的な方法の欠如によって制約を受けたままである。CRISPR/Cas 技術は、その高い精度、設計の容易さ、多重化能力、低コストにより、農業の変革を約束する。我々は、栽培化を進め、様々な用途や生育環境に適した近交系作物品種を改良するための作物育種に CRISPR/Cas ベースのゲノム編集技術を組み入れることについて議論した。望ましい対立遺伝子変異の固定、新規対立遺伝子の生成、有害な遺伝的連鎖の解消、エリート系統への望ましい遺伝子座の導入のための CRISPR/Cas ベースのゲノム編集の利用について強調した。

CRISPR/Cas によるゲノム編集

CRISPR/Cas を用いたゲノム編集は、他のゲノム編集ツール (TALENs や ZFN) と比較して、高精度、設計の容易さ、低コストで標的配列の改変を可能にする。CRISPR/Cas は、特異性、精度、オフターゲット効果、編集能力、標的生物における使いやすさなどに大きな進歩が見られる。SpCas9 ニッカーゼとして知られる SpCas9 変種は特異性を高め、より小型の Cas 変種はウイルスベクターを用いて植物細胞へ CRISPR/Cas システムを送り込むことを可能にした。塩基編集 (Base Editing) は、C→T (G→A) または A→G (T→C) へ変換を可能にし、最近の CRISPR プライム編集は、ヒト細胞株や、イネや小麦のプロトプラストにおいて、ゲノムの狙った位置で挿入、欠失、点変異を含む広範囲の編集が達成されている。

作物改良のためのゲノム編集技術と植物育種

作物遺伝資源における遺伝的変異は、栽培環境や高収量性を目的とした栽培化とそのための選抜によって形成されてきた。その結果、コムギの *Q* 対立遺伝子、トウモロコシの *teosinte branched 1*、トマトの *fruit size fw2.2*などは、栽培化を介して固定化されてきた。しかし、有用な遺伝子でありながら固定されていない場合、複数の世代を通じて選択する必要があるが、失われる可能性もある。育種の過程で有用遺伝子のなかに望ましくない遺伝子が残ることがあるが、ゲノム編集により有用遺伝子に改変することで、育種プロセスの早い段階で、それら有用遺伝子を固定できる可能性がある。

作物育種において、収量の増加、収量の安定、種子の品質向上は、最も複雑でありながら重要な目標である。これらに関連する遺伝子でゲノム編集・改変のターゲットになり得る遺伝子として、イネの *grain weight 2 (GW2)*、穀物の硬度は *puroindoline-a* 及び *puroindoline-b (PIN)* 遺伝子、コムギのタンパク質含量は *NAC* 転写因子である *TaNAM- B1* 遺伝子などがある。油糧種子において *FAD2* および *FAD3* は高オレイン酸のために標的とされ改変されている。コムギやオオムギでは、*Mildew resistance locus o (Mlo)* 遺伝子の改変により頑健な病害抵抗性が付与されている。

遺伝子変異の導入や近縁種からの新たな栽培化

現在の栽培品種の多くで遺伝的多様性が低下しているとされる。そこで、在来種や野生品種から導入することも考えられるが、時間や人的資源等を大量に消費する可能性がある。*CRISPR/Cas* ベースのゲノム編集は、作物の遺伝資源内またはエリート系統内で新規かつ優れた対立遺伝子を生成するためのツールと利用できる。また、トマトの *CLAVATA (SICLV3)* で果実サイズが改変できたように、シス制御要素 (*CRE*) の改変も可能にする可能性が示されている。

野生種や希少作物には、栽培作物には見られない新たな遺伝的変異や望ましい形質を見出すことができる。新たな栽培化のために、トマト近縁野生種 *Solanum pimpinellifolium* において、栽培化に重要な役割を持つ 6 つの遺伝子座を同時に編集し、果実数、サイズ、形状、栄養成分、植物構造などが改変された。*CRISPR/Cas* ベースのゲノム編集が家畜化を促進し、希少作物や野生近縁種の価値と利用を高めることができることが示されている。

CRISPR による特定ゲノム領域での組換え促進

減数分裂による組換えは、対立遺伝子の入れ替えを可能にし、新しい対立遺伝子の組み合わせを生み出すため、植物育種において基礎的な役割を担っている。しかし、減数分裂による組換えは染色体に沿って均一に起こるわけではなく、望ましくない遺伝子座が望ましい遺伝子座とともに連鎖して遺伝 (*リンケージドラック*) する場合である。もし、*CRISPR/Cas* によるゲノム編集によって特定のゲノム位置で相同組換えを促進することができれば、育

種家に有益な遺伝子座の導入のための正確なツールを提供することができる。CRISPR/Cas ゲノム編集は、特定のゲノム領域を標的とし、二本鎖 DNA 切断を生成する能力があるため、特定の遺伝子座での組換えを促進するために使用され始めている。

結論

栽培化と植物育種により、地域の生育条件に適応した高収量の作物品種が生み出されてきた。しかし、気候変動、生物学的ストレス要因の変化、耕作地の減少、より持続的で正確な農法への要求など、人類は農業に関わる多くの課題に直面している。CRISPR/Cas を用いたゲノム編集は、従来の導入育種の制約を受けずに、自然発生的な対立遺伝子変異を作り出すことができる手段を提供する。加えて、新しい望ましい遺伝的変種を生み出し、選択的育種によって失われた対立遺伝子多様性の一部を打ち消すことができる。また、CRISPR/Cas によって減数分裂の組換えを制御することで、遺伝的対立遺伝子シャッフリングを操作し、より望ましい対立遺伝子の組み合わせを持つ植物を生産できる可能性もある。一方、ゲノム編集生物の規制の枠組みは、この技術の利用に影響を与えつつも、ゲノム編集は、機能的な遺伝子特性評価と応用的な植物育種を融合させるエキサイティングな機会を提供する。