

「自然界で生じている様々なゲノムの変化」について

著者： 遠藤真咲（農研機構）

文献： 農業及び園芸 / 養賢堂 [編] 99 (9), 780-788, 2024-09

要約

植物の進化と栽培化の過程で経験してきた多様なゲノム変化を体系的に整理し、それらが農業形質や品種改良に与えた影響を明らかにしている。DNA 損傷の修復機構から転座・逆位・水平伝播・倍数化に至るまでの現象を俯瞰し、自然界に存在する遺伝的多様性を踏まえて、CRISPR/Cas9 等のゲノム編集技術などを活用して自然界では起こり得なかった精密な DNA 改変が現実のものとなりつつあるとしている。

1. はじめに

植物は地球上に現れてから数十億年の間に様々な生育環境への適応を繰り返し、多様な進化を遂げてきた。19 世紀以降に遺伝法則が明らかになり交配育種による品種改良が進められ、その後、遺伝子組換え技術や 2010 年代に入りゲノム編集技術が登場したことにより、食料増産や気候変動への対応など、将来におけるニーズに合った作物を開発するため、自然界では成し得なかった新たな遺伝子構成や遺伝子の作り替えも可能になった。

2. ゲノムに変化をもたらす諸要因

ゲノムに変化をもたらす主要因は、植物が温度変化、紫外線、病原菌感染、塩ストレスなどの環境要因に晒されることにより活性酸素を発生させ、それにより DNA 損傷を引き起こし、DNA 修復過程でのミスが突然変異を誘発するとしている。シロイヌナズナでは自殖 30 世代で塩基置換や小規模な塩基の挿入・欠失が蓄積するが、塩ストレスや高温環境下では変異率が上昇することが報告されている。組織培養もまた変異誘発の要因であり、DNA メチル化低下に伴ってトランスポゾンの活性が高まり、イネでは Tos17 や mPing といった転移因子が増加する。これは体細胞レベルでの動的なゲノム可塑性を実証する事例である。

3. 植物ゲノム中に見いだされる様々な変化と農業形質

実際に農業形質に影響を与えたゲノム変異の多様な事例が豊富に紹介されている。

1) 同一遺伝子内に生じる塩基置換と除草剤耐性

特定遺伝子内の複数塩基置換による除草剤耐性の獲得として、イネの **ALS** 遺伝子における二点変異は、組織培養を通じ長期選抜圧下で蓄積し、高濃度のビスピリパックナトリウム塩に耐性を示した。この現象は、ゲノム編集技術で同様の変異を導入したイネが強い除草剤耐性を有することも確認されている。自然界でも、マレーシアのオヒシバでは **EPSPS** 遺伝子中の二点変異によってグリホサート高耐性となったが類似の現象が見られていた。

2) トランスポゾン

トランスポゾン転移による変異として、ブドウ品種「イタリア」では **VvMybA1** 遺伝子のプロモーター領域にレトロトランスポゾンが挿入されることで黄色果皮が生じ、挿入が抜けた「ルビー・オクヤマ」では赤色果皮が再出現する例が示されている。これに限らず、トランスポゾンは遺伝子発現量や形態形成を変化させる進化的推進力と位置づけられている。

3) 遺伝子重複

遺伝子重複の例として、ダイズや雑草ハウキギやアオゲイトウ、イネが紹介されている。ダイズの線虫抵抗性遺伝子群が **rhg1-b** 座位で約 10 回直列重複していることにより発現量が増大して抵抗性を獲得したことや、雑草ハウキギやアオゲイトウでは **EPSPS** 遺伝子のコピー数増加や環状 DNA による多重複製を通じて除草剤耐性が進化したことが例示される。イネの **Pb1** 遺伝子は進化の過程で 60kb の重複により新たなプロモーターを獲得し、穂いもち病抵抗性を発現するようになった。

4) 逆位、転座による変異

逆位と転座は、植物種の進化的多様化や交雑障壁形成に重要である。トマトでは栽培化過程で生じた染色体逆位が節数や形質変異に影響したことが知られ、逆位領域では相同組換えが起こらないため、雑種不稔や育種的制約の原因となる一方、エリート系統の形質固定に寄与する。このような構造的ゲノム変化は、形質多様化と種分化の両面に関わる二面性をもつとしている。

5) 遺伝子重複

さらに大きな変化として水平遺伝子伝播が論じられている。サツマイモノム中にはアグロバクテリウム由来の **T-DNA** が自然に組み込まれていることが知られ、自然界における「天然の遺伝子組換え」の痕跡とされる。また寄生植物ストライガやハマウツボでは宿主植物からの遺伝子取り込みが生じており、これは寄生関係に伴う細胞間接触で RNA や DNA が移行した結果と推定される。最も興味深い例は、コムギ近縁のチノピラム属が真菌 *Epichloë aotearoae* 由来の **Fhb7** 遺伝子を取り込み、赤カビ病抵抗性を獲得した事例である。**Fhb7** はグルタチオン S-トランスフェラーゼ(**GST**)をコードし、活性酸素とカビ毒を解毒する酵素として働く。この事例は、異種生物間の遺伝子水平移動が作

物改良の可能性を拡張することを示唆している。

6) 染色体倍加

染色体倍加は、植物進化のもう一つの大きな軸として論じられる。倍数化によって植物体や果実の大型化が生じ、ジャガイモ・サツマイモ・ピーナツ・コーヒーなどに見られる自然選抜の結果として重要である。倍数体は、コルヒチン処理によって人為的にも誘導可能であり、三倍体系種（種なしスイカやビワなど）の作出に応用されている。染色体倍加は形態の変化に加え、適応的進化を推進する重要なゲノムスケールのイベントである。

まとめ

ゲノムの安定性と変化性の両立が生物進化の根本原理であると結論づける。遺伝情報の正確な継承は生存の基本である一方で、偶発的または選択的なゲノム変化が新規形質や適応進化を生み出してきたとまとめている。本稿は、分子レベルから染色体・ゲノムスケールに至る植物進化の全体像を、農業応用の視点から統合的に示した包括的論考であり、自然界のゲノム変化を再現的に利用することが短期間で高機能作物を創出する鍵であることを科学的に裏付けている。

なお、遺伝子組換え技術やゲノム編集技術により遺伝子などを改変することに対する懸念もあるが、そもそも植物はダイナミックに遺伝子を変化させていることと、「自然界のゲノム変化の理解こそ、効率的かつ合理的な品種改良の鍵となる」を理解してほしいという考えが、本稿にはあると思われる。