

研究ニュース

パンコムギの冠水ストレス応答に影響を与えるコムギ・エギロプス属 細胞質の遺伝的多様性

2018. 11. 02

植物生命科学科

植物生命科学科の竹中祥太郎助手、山本涼平助手と中村千春特任教授の研究グループは、特定の核ゲノムと種々の細胞質ゲノムを組み合わせた核細胞質雑種システムを用いて、環境ストレスのひとつとして注目を集める冠水ストレスがパンコムギの種子発芽と幼苗生育に与える影響を調査し、この重要な環境適応形質に見られる核ゲノムと細胞質ゲノムの遺伝的多様性を明らかにしました。さらに耐性システムと感受性システムの比較から、冠水ストレスによる生育阻害が活性酸素除去機構の主要酵素であるスーパーオキシドディスムターゼ (SOD) の顕著な活性上昇を伴うことを見出し、冠水ストレスに晒されたパンコムギの幼苗は強い酸化ストレスの影響下にある可能性を示唆しました。これは、近縁野生種の細胞質ゲノムがパンコムギの冠水ストレス応答に与える影響を初めて実証した研究成果です。

以上の研究成果は、10月23日付（日本時間）で受理され、11月2日に国際学術誌「Scientific Reports」（オンライン）に掲載されました。

研究のポイント

- ・試験管検定法による形質評価に基づき、パンコムギの冠水ストレス応答に近縁エギロプス属由来の異種細胞質ゲノムが関与することを明らかにした。
- ・形質値の変動係数で評価した細胞質置換に起因すると見られる多様性は核ゲノム関与のそののほぼ6割にも及ぶことを明らかにした。
- ・冠水ストレスによる生育阻害が顕著な感受性システムの幼苗では活性酸素の主要な除去酵素である SOD の大幅な活性上昇が認められ、幼苗の生育阻害は冠水ストレスによる酸化還元バランスの乱れに起因することが示唆された。
- ・パンコムギの冠水ストレス耐性の向上に近縁エギロプス属の異種細胞質ゲノムが寄与する可能性が示された。

研究の背景

世界の3大穀物の一つであるコムギは、近縁のエギロプス属（ヤギムギ属）野生

種との自然交雑、染色体倍化とゲノム統合を経て進化した異質倍数性を特徴とする植物種であるとともに、核ゲノムと細胞質ゲノムの系譜と両者の共進化が明らかにされた植物種でもある。コムギでは、細胞質ゲノムに特徴的な母性遺伝様式（図1）を利用した連続戻し交配により育成された近縁野生種のもつ細胞質でコムギの細胞質を置換した核細胞質雑種系統（図2）が細胞質ゲノムの遺伝的多様性ととも核細胞質ゲノム間の相互作用を解析するための貴重な遺伝資源として活用されてきた。特にパンコムギでは、46系統の異種細胞質と12系統の核を組み合わせた552系統もの核細胞質雑種が育成され、細胞質ゲノムの多様性ととも細胞ゲノムがパンコムギの種々の形質に与える効果を解析するための有力な遺伝実験材料として利用されてきた。

図1 細胞質ゲノムの伝達は一向方で母性的
核ゲノムの伝達は二方向で両性的

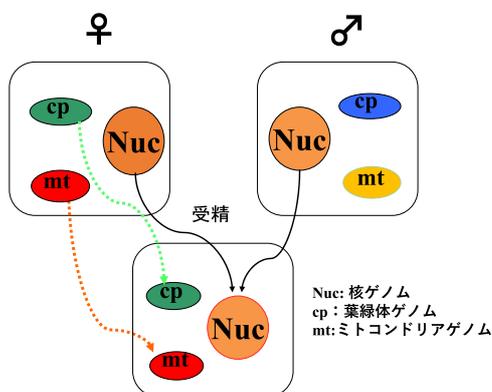
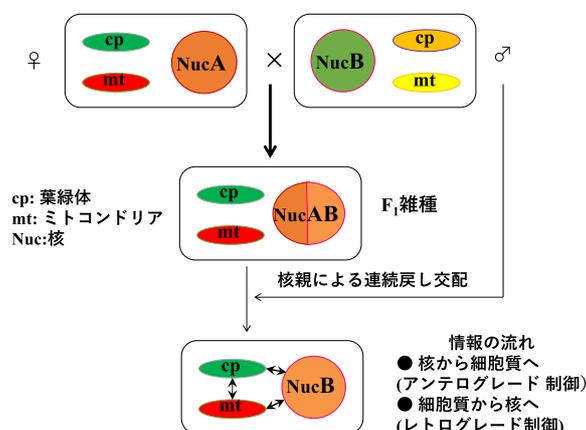


図2 核細胞質雑種（NC雑種）の育成法



独自のゲノムをもつ細胞質オルガネラ（葉緑体とミトコンドリア）は、光合成と呼吸という植物細胞の基幹的エネルギー代謝に加えてアミノ酸や脂質代謝等を担う重要な機能発現の場である。細胞質オルガネラは、進化上の相互依存関係を反映して、植物細胞内で核ゲノムとの情報交換を通じた共同により、種々の代謝経路が関与する細胞全体の恒常性維持に重要な役割を果たしている。特に近年、酵母、マウスや植物でも、ストレス下でミトコンドリアが発するシグナル分子が核遺伝子の転写を制御するレトログレード制御（図2）の一端が明らかになりつつある。

近年、気候変動と地球温暖化による環境変化が農業生産に深刻な影響を及ぼしている。半乾燥地帯で生まれ適応進化したコムギは過剰な水分によるストレスに感受性で、洪水に伴う冠水や湛水などによるコムギの減収は世界で年間15-20%にも達し、特に米麦の輪作が盛んなアジア地域で著しい被害が報告されている。そこで我々はパンコムギの冠水ストレス応答に着目し、農業上重要なこの環

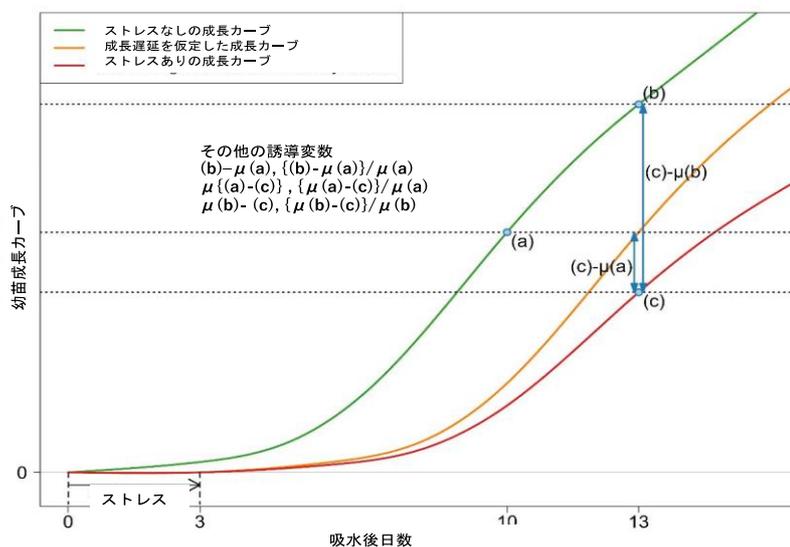
境適応形質に与える細胞ゲノムの効果と役割を明らかにし、核ゲノムの効果と比較する目的で、一連の核細胞質雑種系統をパンコムギ系統とともに供試し研究を開始した。

研究の内容

パンコムギと近縁野生種エギロプス属の持つ細胞質ゲノムを標準パンコムギ品種チャイニーズ・スプリング (CS) の核ゲノムと組み合わせた 37 系統の核細胞質雑種を用いて、種子発芽と幼苗成長に与える冠水ストレスの効果を、イネで開発した試験管検定法を用いて調査した。種々のパイロット実験の後に、発芽の阻害が認められない一方で幼苗の生育を阻害する実験条件を設定し、この条件下で生物検定を実施して、冠水ストレス応答に与える細胞質ゲノムの効果を調査した。同時に、核親を含む 12 のパンコムギ系統群を用いて、細胞質ゲノムの効果を核ゲノムの効果と比較した。

試験管を用いたストレス処理あるいは無処理の条件下で吸水・育苗したパンコムギ幼苗の子葉（あるいは第 1 葉）の長さを 3 つの変数として測定し（図 3）、これらをもとに導いた 6 つの変数を加えた合計 9 変数で幼苗生育を評価した。

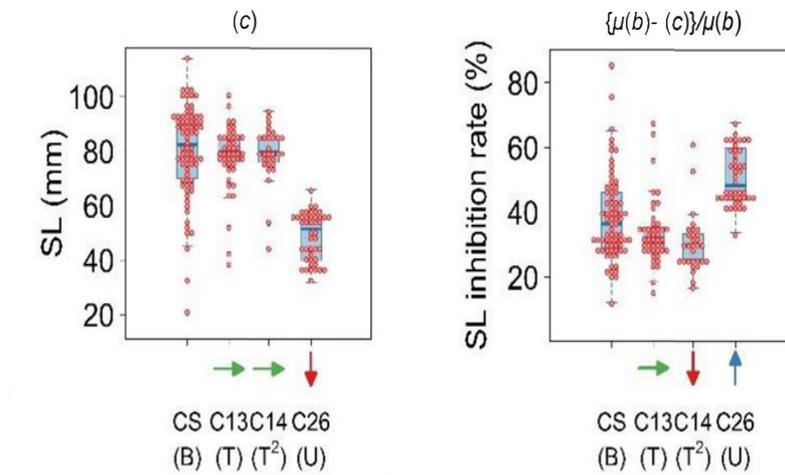
図 3 生物検定の枠組み



生物検定の結果（図 4；ここでは 2 変数のみの解析結果を示す）、異種細胞質ゲノムに大きな遺伝的多様性が認められ、さらに、特に *Aegilops mutica* の T² 型細胞質を含む複数の細胞質で置換した核細胞質雑種系統では冠水ストレスによる生育阻害が有意に減少することを明らかにし、これらの細胞質がパンコムギの冠水ストレス耐性の向上に寄与する可能性を示唆した。一方、特に U および

U' 細胞質をもつ核細胞質雑種系統では冠水ストレスに対する感受性が他細胞質を持つ系統に比べてより高まった。

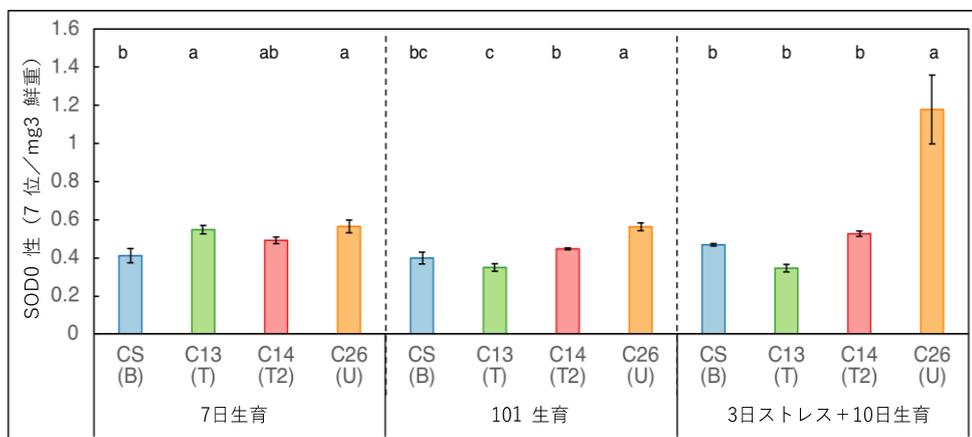
図4 冠水条件下での生育量と生育阻害率



冠水ストレス応答で見られた細胞質ゲノムと核ゲノムの多様性を夫々の集団の平均形質値から求めた変動係数に基づき比較したところ、前者は後者の60%にも及ぶことが示され、細胞質ゲノムの多様性が核ゲノムのそれと比べて予想以上に大きいことが判明した。

続いて、冠水ストレスと活性酸素の関係を調査するために、活性酸素の主要な除去酵素である SOD の活性を耐性レベルの異なる系統間で比較したところ、感受性系統の C26 (U 型細胞質) で核親 CS (B) と耐性系統の C13 (T)、C14 (T²) と比べて顕著な活性上昇が認められた (図5)。この結果から、冠水ストレスによる生育阻害は高レベルの活性酸素の蓄積に起因することが示唆された。

図5 SOD活性の系統間比較



以上、本研究の結果は、コムギの冠水ストレス応答に与える異種細胞質ゲノムの効果を実証した先駆的な研究成果である。同時に、本研究は核細胞質雑種系統が農業上重要な環境適応形質の一つである冠水ストレス応答の制御に関わる核細胞質ゲノム間相互作用の分子メカニズムの解明を目指す更なる研究のための有用な実験材料となりうる可能性を指摘した点で重要である。

今後の展開

- ・コムギの冠水ストレス応答に見られる核ゲノムと細胞質ゲノムの多様性の原因と両ゲノム間の相互作用を制御する分子機構を明らかにする。
- ・冠水ストレス応答を含む環境適応形質に与える核細胞質ヘテロシスの農業利用の可能性を探る。

用語解説

・エギロプス属（ヤギムギ属）：コムギの近縁属で、23の野生種と多くの垂種から構成される。マカロニコムギやパンコムギなどの栽培種は、これら近縁野生種との自然交配と人為選抜によって約1万年から9千年前に成立した。

・核細胞質雑種：近縁野生種を母親にコムギを父親にして得た雑種第1代に父親コムギの花粉を何世代も連続的に戻し交配することで作成した雑種。パンコムギでは、エギロプス属など近縁野生種の細胞質ゲノムを網羅して育成された552系統もの核細胞質雑種が作成され、貴重な実験系統として利用されてきた。

・核細胞質ヘテロシス：核ゲノムと細胞質ゲノムの相互作用に基づく雑種強勢。雑種強勢は一般に雑種が両親より優れていることを云うが、核ゲノムに基づくそれとは異なり、核細胞質間に雑種強勢は遺伝的な固定が可能である。

・活性酸素：酸素分子がより反応性の高い化合物（スーパーオキシド、ヒドロキシラジカル、過酸化水素、一重項酸素）に変化したもので、細胞内のミトコンドリアや葉緑体を含む様々な器官で発生する。反応性の高い活性酸素は生体にとって有用であるとともに有害であることが知られている。

酸化還元バランス：生体における酸化還元状態の平衡を云う。好気性生物は酸素を使って酸化還元反応（レドックス反応）を制御しつつエネルギーを生産しているが、この制御が効かないと過剰に生じた活性酸素により細胞が酸化ストレスに晒される。

・SOD（スーパーオキシドディスムターゼ）：細胞内で発生した活性酸素を除去する主要な酵素のひとつ。植物では、様々なストレスが引き金となって活性酸素が発生し蓄積するミトコンドリアや葉緑体などに存在する。

謝辞

本研究は、龍谷大学「食と農の総合研究所」研究プロジェクトから部分的な援助を受けて実施された。ここに感謝を表する。

論文情報

・タイトル

“Genetic diversity of submergence stress response in cytoplasm of the *Triticum-Aegilops* complex”

・著者

Shotaro Takenaka, Ryohei Yamamoto and Chiharu Nakamura*

(* corresponding author)

・掲載誌

Scientific Reports (online)

www.nature.com/articles/s41598-018-34682-3

関連リンク

www.agr.ryukoku.ac.jp/teacher/nakamura.html