

研究報告書

「核ゲノム-オルガネラゲノムの協調的改変による植物のエネルギー代謝系の至適化」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 2015年12月~2019年3月

研究者: 大西 孝幸

1. 研究のねらい

植物のエネルギー同化を担う“光合成”とエネルギー生産を担う“呼吸”において、それぞれ“葉緑体”と“ミトコンドリア”という細胞内小器官(オルガネラ)が重要な役割を果たすことが知られている。これらの生命活動は、核ゲノムとオルガネラゲノムにコードされている複数の遺伝子群が協調的に働くことで制御されている。植物が新しい生育環境に適応するためには、核ゲノムにコードされた因子とオルガネラゲノムにコードされた因子が調和を保ちつつ変化し、光合成や呼吸といった生命活動を新たな環境条件に至適化する必要がある。しかしながら、植物育種の歴史を振り返ると、核ゲノムの適応のみを目標とすることがほとんどであり、オルガネラゲノムの適応に関する試みはほとんど成されていない。

本研究は、イネのオルガネラゲノムのナチュラルバリエーションに着目し、細胞質置換系統のフィールドにおける光合成能・呼吸能を定量的に解析し、環境に至適化した植物体の設計を目指す。これを実現するため、イネの核ゲノム-オルガネラゲノム間の相互作用を遺伝子発現レベルで検出し、核ゲノム-オルガネラゲノムの親和性を判定するためのバイオマーカーや生物指標を探索する。さらに、最新の計測機器を用いたフィールドでのデータ採取に基づき、遺伝情報と環境情報から導かれるイネの光合成能・呼吸能を検証する。

本提案は、特定の作物に関する固有の問題に対応するものではなく、植物全般に共通する普遍的な生命原理(光合成と呼吸)に向き合い、環境に応じた植物のエネルギー同化能やエネルギー生産能を人為的に付与することで、植物の潜在能力を最大限引き出すことを目的とする。本研究成果によって、エネルギーや化学肥料を外部から投入する資源浪費型の農業から、植物体自身の自給自足を促した資源節約型の持続的農業への転換が期待される。

2. 研究成果

(1) 概要

地球規模で進行する急激な環境変動に対して、作物の安定供給を実現させることが大きな課題となっている。本研究課題では、植物の光合成や呼吸といったエネルギー代謝を担うオルガネラゲノムに着目し、**オルガネラゲノムの実態を包括的に理解することを通じて、植物光合成の頑健性・生産性を強化するための技術創成に挑戦した。**

本研究の成果として、アブラナ科近縁野生種 *Diplotaxis erucooides* のオルガネラゲノムを導入したキャベツ系統において、安定した雄性不稔性が生じるとともに、バイオマスが増大するという有用特性が現れることを明らかにした(Fujita *et al.*, 2018)。このことから *D. erucooides* オルガネラゲノムを導入したキャベツ系統は、F₁ 種子を採種するための新規

CMS 系統 (De-CMS 系統)として十分に利用が見込めるだけでなく、オルガネラゲノムを対象とした品種改良の可能性を提示した。このバイオマス増大の要因として、光合成能力の向上や光合成関連遺伝子の高発現によって初期生育が旺盛になることが考えられた。

本研究成果は、既存の農資源の機能性を高め、日本がかつてから継承し守り続けた農作物の品種へのさらなる改良に繋がり、自立した持続的な農業生産体制を構築するための科学的基盤となり得る。

(2) 詳細

研究テーマ A 「オルガネラゲノムの機能的差の検出」

光合成能に関する QTL 解析として、当初の計画では屋外での大規模調査を想定していたが、環境要因による測定値の変動が大きいため、人工気象器内での定常環境下における解析に移行した。その結果、細胞質置換系統については、解析を実施できたが、QTL のような大量サンプルの解析データを必要とする実験については実施することができなかった。イネ細胞質置換系統やアブラナ科作物の細胞質置換系統については、光合成能力に変化を検出できた。しかしながら、バイオマスの変動に対する相関関係は乏しいため、光合成能力はバイオマスの変動の要因の1つでしかないと推察された。

研究テーマ B 「エネルギー代謝系の再構成」

顕著に栽培域が異なり、遺伝的距離が十分に離れた栽培イネの祖先種に該当する *O. rufipogon* 由来のオルガネラゲノムとアフリカ栽培イネである *O. glaberrima* 由来のオルガネラゲノムに注目し、これらのオルガネラゲノムを保持する F₂ 集団を圃場に展開し、これらの光合成速度と呼吸速度を表現型データとして QTL 解析を実施することで、呼吸や光合成の環境適応において重要な役割を担っている核ゲノム領域を同定する予定だったが、圃場での表現型データが安定性に乏しかったため、信頼性のある QTL が得られなかった。

上記のイネの実験計画に加えて、アブラナ科作物における細胞質置換系統群の中から、イネ細胞質置換系統と同じバイオマスの向上という表現型を示す系統を選抜し (Fig.1)、その外来性オルガネラゲノムをさまざまなアブラナ科植物に導入して、表現型と遺伝子発現を調査した。その結果、外来性オルガネラゲノムの導入により、光合成関連遺伝子の発現量が上昇し、初期生育が旺盛になっていることがわかった。

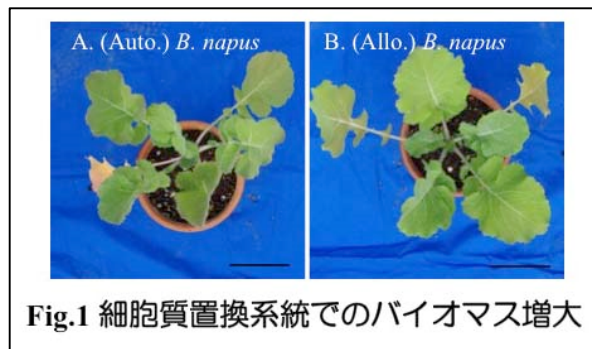


Fig.1 細胞質置換系統でのバイオマス増大

研究テーマ C 「バイオマーカーの探索」

人工気象器で栽培したイネとアブラナ科作物の細胞質置換系統から RNA をサンプリングし、トランスクリプトーム解析を行うことで、細胞質置換の影響を遺伝子発現レベルで検証した。発現の変動が見られた遺伝子の中には、光合成関連遺伝子が複数含まれていた。この

実験結果はシロイヌナズナの雑種強勢において提唱されている分子メカニズムと類似しており、シロイヌナズナの雑種強勢で提唱されている初期生育の向上によるバイオマス増大との相同性を示唆した。

3. 今後の展開

様々な研究機関が環境変動に適応できる農作物の開発に取り組んでいるが、その多くは遺伝子組換えに頼った手法である。食の安心・安全やモノカルチャー化防止のため、既存作物品種に対する慣行手法によるさらなる育種改良技術の開発が必要とされている。本研究課題をさらに推進し、外来性オルガネラゲノムの導入によるバイオマス向上の分子実態を解明することで、植物の生産性を強化するためのオルガネラゲノム育種という農業革新の創成に挑戦したい。学術的にもオルガネラゲノム育種は雑種強勢(ヘテローシス)に近い分子メカニズムが内包されていることが予測され、本研究の推進が雑種強勢の分子メカニズムの理解にも役立つことが期待される。今後の食糧生産体制の強化において、重要な役割を担っていると考えている。

4. 自己評価

本研究では、オルガネラゲノムのナチュラルバリエーションに着目し、細胞質置換システムの光合成能・呼吸能の解析を通して、環境に至適化された植物体の設計を目指した。特にオルガネラゲノムの機能的多様性に着目して研究を進めた。その結果、イネとアブラナ科作物において、特定の外来性オルガネラゲノムの導入によって、バイオマス増大の効果をもたらすこと、これらの系統において、光合成関連遺伝子の発現量や植物体の光合成能力に変化が見られることを明らかにした。しかし、まだ原因となる分子機構の解明には至っておらず、現象論の段階にとどまっていることは残念である。当初目的である環境に至適化した植物体の設計については十分な取り組みに至っていない。外来オルガネラゲノムがバイオマスを向上させる分子機構の解明にはまだしばらく時間がかかりそうだが、ぜひ突き止めたい。そのためには、オルガネラゲノム由来の次世代シーケンサーデータに関するバイオインフォマティクス解析や、光合成に関する生理学なアプローチなどに優れた研究者との多方面の共同研究がきわめて有効であり、さきかけ研究終了後も本テーマの完成に向けて基礎研究の側面で継続的に努力したい。

並行して、バイオマス向上という農業有用形質に着目し、穀類であるイネのみならず地上部バイオマスが可食部となる葉物野菜を研究材料に加え、葉物野菜においてもバイオマス増大効果をもたらすオルガネラゲノムを見出した。この成果をより早く社会実装に移せるような取り組みも行っていきたい。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. Yoshiaki Fujita, Atsushi Yag, Su-Hyeun Shim, **Takayuki Ohnishi**, Sang-Woo Bang. Production of a desirable *Brassica oleracea* CMS line using an alloplasmic *B. rapa* CMS line carrying *Diplotaxis erucooides* cytoplasm as a bridge plant. Plant Breeding. 2018. 137(2). 162-170
2. Takeshi Takamatsu, Marouane Baslam, Takuya Inomata, Kazusato Oikawa, Kimiko Itoh,

Takayuki Ohnishi, Tetsu Kinoshita, Toshiaki Mitsui. Optimized Method of Extracting Rice Chloroplast DNA for High-Quality Plastome Resequencing and de Novo Assembly. *Front. Plant Sci.*, 2018. 266(9). 1-13

(2)特許出願

研究期間累積件数: 0 件

(3)その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

1. Yoshiaki Fujita, Atsushi Yagi, Su-Hyeun Shim, Takayuki Ohnishi, Sang-Woo Bang
「Allopolyploidization induces partial remission of cytoplasmic male sterility within *Brassica napus* carrying *Diptaxis erucoides* cytoplasm」 25th International congress on sexual plant reproduction, Gifu, Japan 2018.6.