

論文内容の要旨

申請者氏名 中村有哉

C₄型光合成ではカルビン回路に加えてCO₂濃縮機構であるC₄回路が機能しているため、C₄植物は葉内CO₂濃度が低下する環境で高いCO₂固定効率を発揮する。しかしながら、C₄回路の駆動はより多くのATPを必要とする。これまでに、ATP合成に寄与している光化学系I循環型電子伝達系の電子伝達活性がC₃植物と比較してC₄植物で上昇していることが報告されている。このことから、C₄植物はATP生産量を増加させるために循環型電子伝達機構を発達させたと考えられたが、その実態は明らかでなかった。そこで本研究はC₄植物における循環型電子伝達系の動態とその重要性を解明することを目的とした。

Flaveria 属は同属内にC₃種とC₄種に加えて、C₃型光合成とC₄型光合成の中間の性質を示すC₃-C₄中間種や光合成様式がC₄種に近いC₄-like種を持つ。まず、*Flaveria* C₃種、C₃-C₄中間種、C₄-like種そしてC₄種を用いて、C₄回路の構築によるATP消費量の増加に応答して、循環型電子伝達活性が上昇しているのかを調査した。その結果、循環型電子伝達活性はC₃種と比較してC₄種で上昇しており、C₃-C₄中間種およびC₄-like種における活性の上昇度合いはC₄回路の構築度合いと一致することが明らかになった。また、C₄回路が完成しているC₄種とC₄-like種における循環型電子伝達活性の上昇には、循環型電子伝達系の構成要素であるNDH複合体に加えてPGR5/PGR1複合体の発現増加が必要であることが明らかになった。

次に、C₄型光合成におけるPGR5/PGR1依存の循環型電子伝達系の炭素同化のためのATPの生産への貢献度を明らかにするため、*Flaveria* C₄種の*F. bidentis*を用いたPGR5およびPGR1発現抑制体の作出とその表現型の解析を行った。その結果、PGR5/PGR1依存の循環型電子伝達系が抑制されている形質転換体では、ATP生産量が光合成活性値を律速する葉内CO₂濃度および光強度条件で、WTと比較して光合成活性値が25-30%低下していた。C₃植物であるシロイヌナズナの*pgr5*変異体やイネのPGR5発現抑制体の過去の知見と今回の結果を比較すると、PGR5/PGR1依存の循環型電子伝達系の炭素同化のためのATPの生産への貢献度はC₃植物と比較してC₄植物で大きいと考えられた。

本研究によって、C₄回路の駆動に必要なATPは光化学系I循環型電子伝達系がその電子伝達活性を上昇させることで生産していることが強く示唆された。また、光化学系I循環型電子伝達系のうち少なくともPGR5/PGR1依存の循環型電子伝達系は炭素同化代謝に必要なエネルギー要求を満たし、C₄植物が高いCO₂固定効率を発揮するための重要な機構であることが明らかになった。

論文審査結果の要旨

申請者氏名 中村有哉

申請者は、C₄型光合成植物がC₄型代謝経路の獲得によりATP要求量が上昇することに着目し、循環型電子伝達系の活性や関連タンパク質の発現量等を解析し、C₄型代謝経路獲得と共に、この電子伝達活性が亢進することを明らかにした。申請者の研究では、C₃型からC₄型への進化過程に起こる電子伝達活性の変化をとらえるために、キク科の *Flaveria* 属植物を用い、同属内のC₃、C₃-C₄中間型、C₄様型、C₄型の光合成を行う種をそれぞれ2種類ずつ用いて解析が行われている。これらの植物は、ゲノムサイズが小さく、遺伝子情報が蓄積されているモデル植物ではないが、ゲノム背景の近い種間の比較ができるため、C₄型の進化過程を研究するうえで非常に有効である。それらを用いた循環型電子伝達活性測定により、C₄代謝が機能している種で、循環型電子伝達活性が上昇することが示されている。また、詳細なタンパク質発現とその細胞局在の解析が行われており循環型電子伝達活性が関連タンパク質の発現によって上昇したことが裏付けられている。これらの結果から、C₄代謝によるATP要求量の増大に伴って、循環型電子伝達活性が亢進しATP合成に寄与しているであろうという申請者の結論は妥当である。これらの結果は、国際誌 *New phytologist* に掲載されている。

さらに、申請者は、C₄型光合成における循環型電子伝達の生理機能および光合成における重要度を明らかにするために、循環型電子伝達で機能するPGR5またはPGRL1の発現抑制株の解析を行った。これらの解析から、PGR5およびPGRL1発現抑制株では、C₄型光合成において、ATP生産量が光合成活性値を律速するCO₂条件下で光合成活性が低下することを明らかにしている。過去の知見において、C₃型のシロイヌナズナやイネのPGR5欠損株や発現抑制株が解析されているが、ATP生産量が光合成活性値を律速する条件下では、同時に光障害が観察されており、循環型電子伝達によるATP生産量が光合成活性に影響を与えることを、直接示した例はない。従って、申請者の結果は、C₄型光合成において、循環型電子伝達がATP生産という重要な役割を担うことを初めて示した例となる。これらの研究は、非モデル植物を用いるという研究基盤の整っていない困難な解析を伴うが、それらを克服し、研究成果を上げたことは高く評価できる。

以上のように、本論文はC₄光合成に不可欠な光合成機能の構築に関するもので、学術上、応用上貢献するところが少なくない。よって審査委員一同は、本論文が博士（バイオサイエンス）の学位論文として価値あるものと認めた。