

三宅 親弘

神戸大学大学院農学研究科
教授

活性酸素生成抑制システムの非破壊評価系の確立とフィールドへの応用
～危機早期診断システム構築～

§ 1. 研究成果の概要

植物は、自身の成長のために光合成をおこなう必要がある。光合成では、二酸化炭素(CO₂)が糖へ変換される。糖(炭水化物: (CH₂O)_n)は高エネルギー化合物であり、ご存知のように、人を含む従属栄養生物にとって、呼吸により糖が再度 CO₂ へ酸化されることによりエネルギーが取り出される。つまり、糖は、細胞代謝を駆動する重要なエネルギー化合物である。植物は独立栄養生物であり、自身の細胞への糖の供給は光合成の営みに支えられている。

糖のもつエネルギーは、CO₂ へのエネルギー投入にもとづく。そして、このエネルギーこそが、光合成過程によりもたらされる(詳細は Miyake 2020 Antioxidants 参照)。植物生葉では、太陽光のエネルギーが葉緑体チラコイド膜光合成電子伝達系の光化学系 I (PSI) および II (PSII) に吸収される。PSI および PSII に吸収された光エネルギーは、それぞれの光化学系反応中心クロロフィル P700 および P680 を励起し、酸化還元サイクル(光酸化還元サイクル)を駆動する。この両者の光酸化還元サイクルは電子の流れを通してリンクすることにより、化学エネルギー化合物である NADPH および ATP を生み出す。NADPH は、CO₂ を糖へ変換する還元力となり、一方、ATP は、NADPH とともに CO₂ を糖へ変換するための受け皿(これもまた糖である)の活用・再生のための化学エネルギーである。つまり、太陽光のエネルギーなしには光合成の営みはあり得ない。

しかしながら、時として、太陽光のエネルギーは植物の成長を脅かす非常に危険なものになる。私たちが生活する地球環境は、植物の光合成にとって必ずしも最適なものではない。昨今、見聞きする気温の乱高下、降水量の変動など、植物の光合成を制限する要因は事欠かない。たとえば、低温は植物の細胞の働きを低下させ、光合成活動を抑制する。また、高温状況での日照りは、植物にとって水不足をもたらす。これに対して、植物は自身の水分損失を抑えるために、生葉にある CO₂ の取込み口(気孔)を閉じてしまう。その結果、植物は光合成が抑制される。このように、環境要因による光合成能低下は、植物・作物自身もつ潜在成長能力を「約 5 分の 1」へ落とし、生育抑

制をもたらしてしまう。

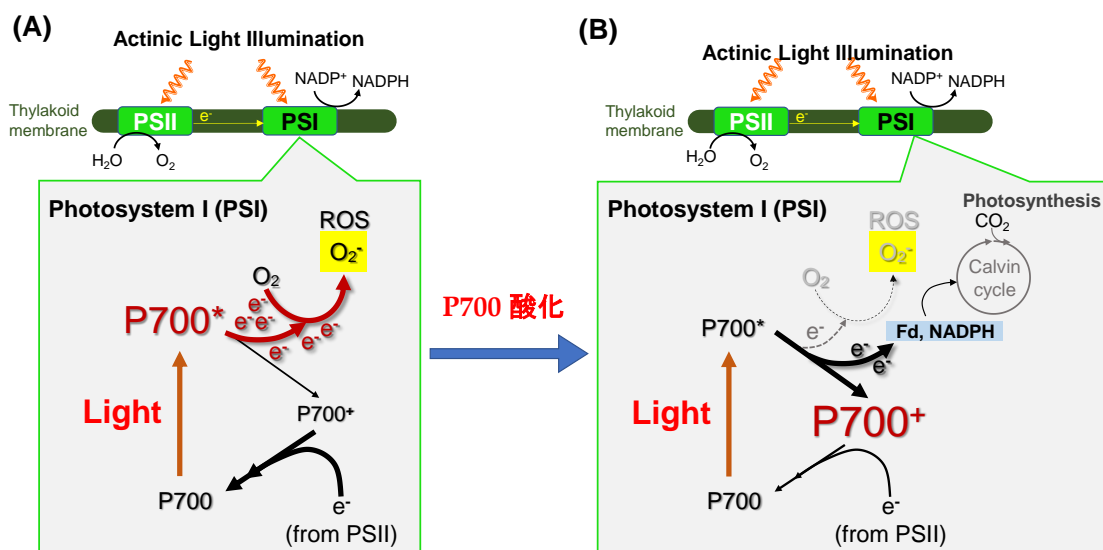
光合成が抑制される状況では、太陽光エネルギーが NADPH および ATP 生成に利用されなくなる。これは、光エネルギー余り状態をもたらし、大気中に 20%も存在している酸素 O_2 へ電子が渡される反応に使われ、細胞にとって非常に有毒な活性酸素(ROS)を生成する(図 1A)。この ROS は蓄積すると、光エネルギーの化学エネルギーへ変換の場であるチラコイド膜が酸化的に分解される(酸化障害)が生じ、光合成機能が損傷し、植物生育抑制の原因となる。

研究代表者は、これまでの研究の中で、ROS 生成を抑制するシステムを植物自身が本来もっていることを明らかにしてきた(図 1B)。ROS は、光合成電子伝達系での電子の流れが滞ることで生成する(図 1A)。P700 光酸化還元サイクルから明らかなように、NADPH へエネルギーが渡らない状況、光合成が抑制された状況で、P700*から O_2 へエネルギーが渡り、ROS が生成する。光合成が抑制される環境で P700⁺を維持するシステム (P700 酸化システム: この生理的役割が ROS 生成抑制である) が働き、P700*の蓄積が抑制され、ROS 生成が抑制される(図 1B)。

本プロジェクトでは、変動する地球環境の中で、安定した植物・作物の生産性確保を可能にするために、以下のことに取り組む。まず、(1)植物の ROS 生成抑制システムの頑健性をモニタリングできる非破壊評価測定系を、理論と方法論の両面において、ROS 生成抑制をモニターできるマーカーを確立することにより実証する。さらに、ROS 耐性の測定系を確立することにより、作物の生育環境の評価を実証する。(2)マーカー検知装置およびパルス照射による ROS 耐性評価機器の開発を行い、栽培環境において ROS 生成のストレス状況を速やかに判断できる「危機早期診断システム」の確立を行い、利用普及を目指す。

図1 活性酸素生成と抑制のメカニズム

Miyake, C. (Antioxidants 2020)



ROS 生成抑制をモニターできるマーカーとして、PSI 酸化還元サイクルを構成する P700⁺の存在割合を示す Y(ND)を ROS マーカー候補としている。実際、Y(ND)の値が大きい植物では ROS 障害が抑制される、あるいはこの値が小さい植物では ROS 障害が促進されることが、実験室・圃場環境

で明らかにしてきた。さらに、ROS 耐性評価は、光合成の場である葉緑体で本来生成すべきところで ROS 生成をさせることができるパルス照射に対する光化学系 I の光失活を指標とする。

【代表的な原著論文】

Miyake, C. Molecular Mechanism of Oxidation of P700 and Suppression of ROS Production in Photosystem I in Response to Electron-Sink Limitations in C3 Plants. *Antioxidants* 2020, 9, 230.

Shinya Wada, Yuji Suzuki and Chikahiro Miyake., Photorespiration Enhances Acidification of the Thylakoid Lumen, Reduces the Plastoquinone Pool, and Contributes to the Oxidation of P700 at a Lower Partial Pressure of CO₂ in Wheat Leaves., *Plants* 2020, 9(3), 319

§ 2. 研究実施体制

(1)「三宅」グループ

- ① 研究代表者:三宅 親弘 (神戸大学大学院農学研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・ROSマーカー維持システムの非破壊評価系確立とそのフィールド検証

(2)「鈴木」グループ

- ① 主たる共同研究者:鈴木 雄二 (岩手大学農学部 准教授)
- ② 研究項目
 - ・イネの水ストレスに対する早期診断マーカーとしての ROS マーカーの活用の検証とマニュアル化

(3)「野口」グループ

- ① 主たる共同研究者:野口 航 (東京薬科大学生命科学部 教授)
- ② 研究項目
 - ・環境ストレス下のモデル植物の早期診断マーカーとしてのROSマーカーの活用の検証とマニュアル化

(4)「伊福」グループ

- ① 主たる共同研究者:伊福 健太郎 (京都大学大学院生命科学研究科 助教)
- ② 研究項目
 - ・ROS マーカー変動に伴う遺伝子発現解析と ROS マーカー活用法の探索

(5)「早乙女」グループ

- ① 主たる共同研究者:早乙女 孝行 (分光計器株式会社製造部システム課 副技師)
- ② 研究項目
 - ・フィールド環境で使用可能なROSマーカー非破壊評価装置の開発