

光合成パラメーターを利用した植物のストレス診断法の確立

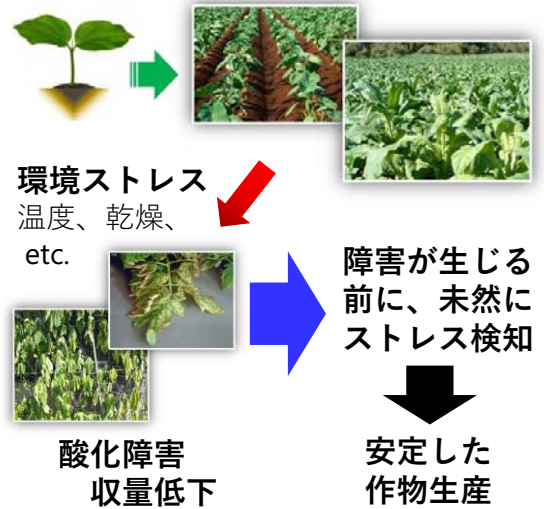
研究期間: 2015年～

研究背景・目的

光合成P700パラメーターを応用した植物の症状前診断

植物は、一度地面に根を下ろすと自ら移動することができないため、常に変化する生育環境に対応して生存しなければならない。作物の生産において、環境変動から受ける植物の酸化ストレスを見逃すと、収量を大きく減少させてしまう恐れがある。しかしながら、それを回避する適切な栽培管理をするためには、多くの経験が必要であり、近年の異常気象などもさらにそれを困難なものとしている。そのため、植物が今どの程度ストレス状況にあるのか、障害が生じ、収量を低下させる前に未然に検知するためのストレス診断法が求められる。

我々は、これまでの光合成基礎研究より、植物は光合成に不適なストレス環境に曝されると、「P700酸化」と呼ばれる、酸化障害の原因となる活性酸素の発生源への電子蓄積を避ける応答をするを見出してきた。その知見を応用し、「P700酸化」の測定技術を、植物のストレス診断法として活用することを目的に研究を行った。



実験概要

神戸大学内の異なる栄養条件の圃場において、コムギを栽培し栄養欠乏環境におけるP700酸化応答について解析した。

結果と考察

図1; 神戸大学構内の異なるコムギ圃場。B,C地区は隣接する区画であり、Cにのみ施肥した。

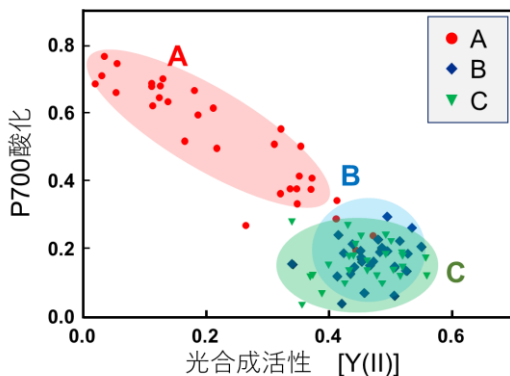
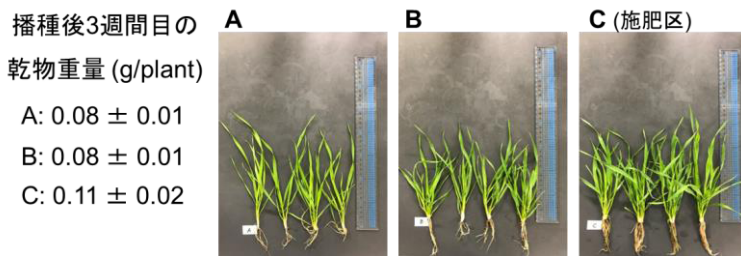
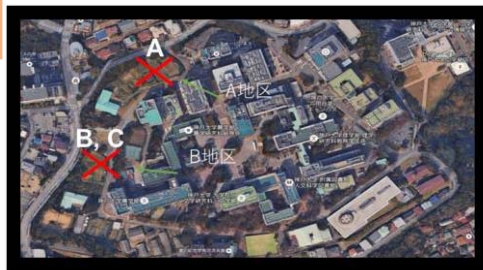


図2; 播種後3週間の各圃場のコムギの生育と乾物重量(上)と、P700酸化測定の結果(左)。

播種後11週目のコムギ
乾物重量 (g/plant)

- A: 1.80 ± 0.52
- B: 3.62 ± 0.82
- C: 11.19 ± 1.60

図3; 播種後11週間の各圃場のコムギの生育と乾物重量。



神戸大学内に3ヶ所の異なる実験圃場(A-C)を設け、コムギ(農林61号)を栽培した。C地区にのみ標準的な施肥を行い、コントロール区とした。播種後3週間の状態では、無施肥のA、Bの地区では、個体乾物重に有意な差はなかった(図1)。しかしながら、その際に測定したP700酸化の度合いは、A地区でB,Cとは明らかに異なり高い値を示した(図2)。その後、コムギの栽培を11週目まで続けた結果、A地区のコムギはB地区のコムギよりも明らかに生育が抑制された(図3)。播種後3週間目の段階よりP700酸化には明確な差が生じており、栄養欠乏ストレスを、まだ目視ではわからない初期段階で検知できた結果となった。

その後の解析から、A地区はMn(マンガン)欠乏土壌であることがわかった。一方で、BとCには差がなかったことから、特定の元素の欠乏を検知できたと考えられる。今後、どのような環境ストレスまたは植物種において、P700酸化測定が有効なストレス診断法となるのか、明らかにすることが課題である。

発表論文

1. Shimakawa G, Shaku K, Nishi A, Hayashi R, Yamamoto H, Sakamoto K, Makino A, Miyake C. (2015) FLAVODIIRON2 and FLAVODIIRON4 proteins mediate an oxygen-dependent alternative electron flow in *Synechocystis* sp. PCC 6803 under CO₂-limited conditions. *Plant Physiol.* 167: 472-480.
2. Sejima T, Hanawa H, Shimakawa G, Takagi D, Suzuki Y, Fukayama H, Makino A, Miyake C. (2016) Post-illumination transient O₂ -uptake is driven by photorespiration in tobacco leaves. *Physiol. Plant.* 156: 227-238.
3. Shaku K, Shimakawa G, Hashiguchi M, Miyake C. (2016) Reduction-Induced Suppression of Electron Flow (RISE) in the Photosynthetic Electron Transport System of *Synechococcus elongatus* PCC 7942. *Plant Cell Physiol.* 57: 1443-1453.
4. Takagi D, Takumi S, Hashiguchi M, Sejima T, Miyake C. (2016) Superoxide and Singlet Oxygen Produced within the Thylakoid Membranes Both Cause Photosystem I Photoinhibition. *Plant Physiol.* 171: 1626-1634.
5. Shimakawa G, Akimoto S, Ueno Y, Wada A, Shaku K, Takahashi Y, Miyake C. (2016) Diversity in photosynthetic electron transport under [CO₂]-limitation: the cyanobacterium *Synechococcus* sp. PCC 7002 and green alga *Chlamydomonas reinhardtii* drive an O₂-dependent alternative electron flow and non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence during CO₂-limited photosynthesis. *Photosynthesis Res.* 130: 293-305.
6. Shimakawa G, Shaku K, Miyake C. (2016) Oxidation of P700 in Photosystem I Is Essential for the Growth of Cyanobacteria. *Plant Physiol.* 172: 1443-1450.
7. Shimakawa G, Matsuda Y, Nakajima K, Tamoi M, Shigeoka S, Miyake C. (2017) Diverse strategies of O₂ usage for preventing photo-oxidative damage under CO₂ limitation during algal photosynthesis. *Sci. Rep.* 7: 41022.
8. Shimakawa G, Ishizaki K, Tsukamoto S, Tanaka M, Sejima T, Miyake C. (2017) The Liverwort, *Marchantia*, Drives Alternative Electron Flow Using a Flavodiiron Protein to Protect PSI. *Plant Physiol.* 173: 1636-1647.
9. Takagi D, Ishizaki K, Hanawa H, Mabuchi T, Shimakawa G, Yamamoto H, Miyake C. (2017) Diversity of strategies for escaping reactive oxygen species production within photosystem I among land plants: P700 oxidation system is prerequisite for alleviating photoinhibition in photosystem I. *Physiol. Plant.* 161: 56-74.
10. Shimakawa G, Miyake C. (2018) Respiratory terminal oxidases alleviate photo-oxidative damage in photosystem I during repetitive short-pulse illumination in *Synechocystis* sp. PCC 6803. *Photosynthesis Res.* 137: 241-250.
11. Kadota K, Furutani R, Makino A, Suzuki Y, Wada S, Miyake C. (2019) Oxidation of P700 Induces Alternative Electron Flow in Photosystem I in Wheat Leaves. *Plants*, 8 (6).
他、20報

学会発表 (2017年～)

国際学会 7件
国内学会 17件

共同研究先

京都大学、東京薬科大学、岩手大学、東北大学、分光計器株式会社

研究費

CREST [植物頑健性]

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の構築～(2015-2020)