

令和 6 年 9 月 30 日現在

機関番号：24405

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化）

研究期間：2018～2023

課題番号：17KK0142

研究課題名（和文）光合成光阻害回避機構の緯度間・標高間種内変異の生理生態学的メカニズム

研究課題名（英文）Eco-physiological mechanism of the intraspecific variation in photoprotective mechanisms

研究代表者

小口 理一（Oguchi, Riichi）

大阪公立大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：10632250

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 9,600,000円

渡航期間： 6ヶ月

研究成果の概要（和文）：強すぎる光は光合成器官に傷害をもたらし、光阻害と呼ばれる光合成や成長の低下を引き起こす。これまでに多様な光阻害回避機構が報告されている。多くの光阻害回避機構が進化したことは、光阻害耐性に強い淘汰圧がかかることを示唆するが、光阻害が種の分化・分布にどのように影響してきたかという知見は乏しい。本研究では、光阻害回避機構のうち、近年急速に研究が進む、光化学系I循環的電子伝達および状態遷移能力の温度依存性のエコタイプ間比較を行った。両者の温度依存性にエコタイプ間差が生じており、光化学系I循環的電子伝達のエコタイプ間差には、光化学系IIよりも光化学系Iの温度依存性が強く影響することが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

光阻害回避機構と考えられている光化学系I循環的電子伝達および状態遷移能力はどちらも低温で強く低下することが知られている。そのため、低温での光阻害の増加の要因となっていると考えられる。本研究で光化学系I循環的電子伝達および状態遷移能力の温度依存性にエコタイプ間で差が見られたことは、低温での両能力の低下を軽減するメカニズムを持つエコタイプと持たないエコタイプが存在することが示唆されることから、今後そのメカニズムを調べることで、低温での光阻害の増加を緩和する方法の探索につながる可能性が考えられる。

研究成果の概要（英文）：Excessive light causes photoinhibition of photosynthetic machinery, which decreases photosynthetic- and growth-rate. Various protective mechanisms against photoinhibition have been already reported. The evolution of these various mechanisms would indicate the strong selection pressure by photoinhibition, but we have scarce information about the effect of photoinhibition on diversification and distribution of plants. In the present research, intra-specific variation in temperature dependencies of cyclic electron transport around Photosystem I and state transitions are evaluated. These temperature dependencies differed depending on ecotypes. It is also indicated that temperature dependency of cyclic electron transport around Photosystem I is more strongly affected by the temperature dependency of Photosystem I activity rather than that of Photosystem II activity.

研究分野：植物生理生態学

キーワード：種内変異 生態学 温度依存性 適応

1. 研究開始当初の背景

強すぎる光は光合成器官に傷害をもたらし、光阻害と呼ばれる光合成や成長の低下を引き起こす。これまでに植物の多様な光阻害回避機構が報告されており、植物がそれだけ多くの光阻害回避機構を進化させてきたことは、光阻害耐性にそれだけ強い淘汰圧がかかってきたことを示唆するが、光阻害が種の分化・分布にどのように影響してきたかという知見はいまだに乏しい。光合成経路には酵素反応が多く含まれるため、光合成速度は強い温度依存性を示す。低温は光合成速度の低下をもたらすとともに、その分、余剰となった光エネルギーは光合成器官に損傷を与え、植物の成長悪化につながる。寒冷な気候に適応した植物は、低温に対して膜や酵素の性質を変化させて光合成の低下を抑えたり、光阻害を抑えるための光防御機構を高めていると考えられる。

2. 研究の目的

光合成の電子伝達では、光化学系 II および光化学系 I の二つの複合体が光エネルギーを用いて電子伝達を駆動する。この時、余剰なエネルギーを用いて光化学系 I の周りを電子が循環的に伝達されることで、チラコイド膜内外のプロトン勾配を生み出し、ATP の合成が促進されることが知られ、光化学系 I 循環的電子伝達能力と呼ばれる。余剰エネルギーの消散や、ATP と NADPH および光化学系 I と II のバランス制御を介して光防御に貢献していると考えられている。

また光化学系 I および光化学系 II 複合体内にはアンテナタンパク質と呼ばれる集光系複合体が存在するが、その集光系複合体を移動させて、光化学系 II と光化学系 I のエネルギーのバランスがとられていることが知られている。これは光化学系 I/II ステート遷移能力と呼ばれる。

本研究では、光阻害回避機構のうち、強い温度依存性があり、近年急速に研究が進んできた、光化学系 I 循環的電子伝達能力および光化学系 I/II ステート遷移能力の温度依存性において、異なる環境にハビタットを持つエコタイプ間でどのような差が見られるかについて検証を行った。

3. 研究の方法

世界各地で集められたシロイヌナズナエコタイプのうち全ゲノムが読まれているエコタイプの種子をシロイヌナズナリソースセンターから取得した。これらを共通圃場で生育した個体を、温度制御が可能なチャンバー内に入れ、複数の葉温で光化学系 I 循環的電子伝達および光化学系 I/II ステート遷移能力を測定した。

光化学系 I 循環的電子伝達速度の測定時には 10 分ごとに 4°C の葉温低下に対する応答を飽和 CO₂ 濃度下、光強度 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ で測定した。測定にはクロロフィル蛍光測定および P700 (光化学系 I) 酸化還元シグナル測定を用いた。各電子伝達速度の温度依存性 (Activation Energy: J mol^{-1}) は、アレニウスの式に当てはめて求めた。

光化学系 I/II ステート遷移能力の測定時には、400nm から 700nm 全体で光照射を行うことが可能で、加えて遠赤色光 (Far Red light) を照射可能な太陽光模倣 LED を用いた。また光化学系 I/II ステート遷移能力の測定のためのクロロフィル蛍光測定時には LIFT (Light Induced Fluorescence Transient) によるクロロフィル蛍光のモニタリングが可能な装置を使用した。

4. 研究成果

光化学系 I 循環的電子伝達速度および光化学系 I/II ステート遷移応答速度の温度依存性にエコタイプ間差が生じていることが示唆された。

光化学系 II および光化学系 I での電子伝達速度はどちらも温度依存性を示したが、光化学系 II での電子伝達速度の方が光化学系 I での電子伝達速度より低温での低下が激しい事が示された。その結果、光化学系 I の循環的電子伝達速度は低温で増加する傾向が見られた。電子伝達速度の温度依存性は光化学系 I と II との間に有意な相関は見られなかった。エコタイプ間で異なる制御が起きている可能性が考えられる。光化学系 I の循環的電子伝達速度の温度依存性は、光化学系 II の温度依存性とは相関が低く、光化学系 I の温度依存性との相関が高かった。光化学系 I の温度依存性の種内変異の方が光化学系 II の温度依存性の種内変異より大きいことが要因と考えられ、光化学系 I の循環的電子伝達速度の温度依存性の種内差は主に光化学系 I の温度依存性の種内差によることが大きい事が示唆された。シロイヌナズナでは、光化学系 I よりも光化学系 II の低温での活性低下が強い一方、エコタイプ間では光化学系 I の温度依存性の差が大

きく、低温応答の電子伝達制御の種内変異は光化学系 I 側が鍵となっている可能性が考えられる。

光化学系 I から光化学系 II へのステート遷移速度 (State II to State I transition) にも、光化学系 II から光化学系 I へのステート遷移速度 (State I to State II transition) にも、低温で低下する温度依存性が見られた。光化学系 II から光化学系 I へのステート遷移速度は光化学系 I から光化学系 II へのステート遷移速度と有意な相関を示したが、その速度は 10 倍ほど速いことが示された。

光阻害回避機構と考えられている光化学系 I 循環的電子伝達およびステート遷移能力はどちらも低温で強く低下することが知られている。そのため、低温での光阻害の増加の要因となると考えられる。本研究で光化学系 I 循環的電子伝達およびステート遷移能力の温度依存性にエコタイプ間で差が見られたことは、低温での両能力の低下を軽減するメカニズムを持つエコタイプと持たないエコタイプが存在することが示唆されることから、今後そのメカニズムを調べることで、低温での光阻害の増加を緩和する方法の探索につながる可能性が考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Riichi Oguchi, Ichiro Terashima, Wah Soon Chow	4. 巻 149
2. 論文標題 The effect of different spectral light quality on the photoinhibition of Photosystem I in intact leaves	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Photosynthesis Research	6. 最初と最後の頁 83-92
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11120-020-00805-z	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小口理一、 Chow Wah Soon、 Osmond Barry
2. 発表標題 光合成ステート遷移の低温応答における種内変異
3. 学会等名 第87回日本植物学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小口理一
2. 発表標題 植物をとりまく光の質と量の勾配の影響
3. 学会等名 第70回日本生態学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小口理一、 Chow Wah Soon、 Osmond Barry、 Robinson Sharon
2. 発表標題 低温応答における光合成エネルギー分配調整のシロイヌナズナエコタイプ間変異
3. 学会等名 第85回日本植物学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小口理一、Wah Soon Chow
2. 発表標題 植物の低温応答における光合成エネルギー分配調整の種内変異
3. 学会等名 第68回日本生態学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小口理一、寺島一郎、Wah Soon Chow
2. 発表標題 生葉の光化学系I光阻害に対する光質の影響
3. 学会等名 第84回日本植物学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小口理一、Wah Soon Chow
2. 発表標題 光合成の低温応答におけるエネルギー分配の種内変異
3. 学会等名 第67回日本生態学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小口理一、寺島一郎、Wah Soon Chow
2. 発表標題 光化学系Iの光阻害における異なる光質の影響について
3. 学会等名 第9回東北植物学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小口理一、花田耕介、彦坂幸毅
2. 発表標題 種内変異を利用した高CO2下成長促進遺伝子の探索
3. 学会等名 第66回日本生態学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小口理一
2. 発表標題 群落内での光環境変化に対する植物の多様な応答戦略の維持機構
3. 学会等名 早稲田大学生物学教室セミナー（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 辻井雅、狩野文香、坂下寛明、宮原雅和、解良康太、児島征二、上妻馨梨、小口理一、彦坂幸毅、園池公毅、池内昌彦、魚住信之
2. 発表標題 シアノバクテリア <i>Synechocystis</i> sp. PCC6803 におけるイオン輸送体の局在解析とその生理学的役割の解明
3. 学会等名 第9回日本光合成学会年会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
主たる渡航先の主たる海外共同研究者	チョウ ワースン (Chow Wah Soon)	オーストラリア国立大学・Research School of Biology・Professor	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
オーストラリア	オーストラリア国立大学			
オーストラリア	オーストラリア国立大学			
オーストラリア	オーストラリア国立大学			