

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06832

研究課題名(和文)植物成長に最適な光照射の変動パターンの探索

研究課題名(英文)Search for optimal dynamic pattern of light irradiation for plant growth

研究代表者

富松 元 (TOMIMATSU, HAJIME)

東北大学・生命科学研究科・助教

研究者番号：70598458

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：植物成長に最適な光照射の変動パターンについて探査するために、様々な光条件で植物を栽培し、植物成長の関する基本データの収集を進めた。最初に、光変動をともなう栽培システムを構築し、複数の照射光コントロールユニットを1台のパソコンで一元管理できるシステムを構築した。次に構築したシステムを活用し、植物成長におよぼす光照射パターンの影響を調べ、シロイヌナズナの成長速度は照射パターンと日長の相互作用によって変化することが示唆された。環境測定と光合成誘導反応の現地調査を熱帯林床で実施し、同熱帯樹種内の光合成の光誘導反応速度の変化が、生育光環境に沿った気孔開度に依存していることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で得られた「光照射の長期変動パターンの影響」は、栽培用の高輝度LED光源を用いた植物工場への技術提供や産学連携強化の礎としての可能性を秘めている。また、本研究のように、長期的に植物成長にとって最適な光照射パターン、光強度、日長などを網羅的に調べた研究はなく、本研究で先駆けて実施すれば効率的な植物栽培の基礎研究として大きなアドバンテージとなる。

研究成果の概要(英文)：In order to explore the optimal pattern of light irradiation variation for plant growth, plants were grown under various light conditions, and basic data on plant growth were collected. First, a cultivation system with light fluctuation was constructed, and a system that can centrally manage multiple irradiation light control units with a single PC was built. Next, the effects of light irradiation patterns on plant growth were investigated using the constructed system, and it was suggested that the growth rate of *Arabidopsis thaliana* varied depending on the interaction between irradiation patterns and day length. Environmental measurements and field surveys of photosynthesis-induced responses were conducted on the tropical forest floor and revealed that changes in the rate of photosynthesis-induced responses within the same tropical tree species were dependent on stomatal aperture along the growth light environment.

研究分野：植物生理生態学

キーワード：環境応答 変動光 動的な光合成 光合成誘導反応 馴化 植物生理生態 シロイヌナズナ 熱帯植物

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

自然環境下では、植物葉に当たる光強度が一定でなく、雲の量や風による葉の動きなどによって大きく変化する。このような光強度の「迅速な」変化に対して、葉はすぐに「光 - 光合成曲線」の関係で示される定常光合成速度に達するわけではなく、一定の時間が必要である。そのメカニズムは非常に複雑であり、光合成応答速度を調整している多くの制限要因が、それぞれ異なる律速タイミングを示す。さらに、この動的な光合成を律速するタイミングと程度は、周囲の環境、葉の生理的状態、植物種などによって変化する (Pearcy 1990)。

しかし、光照射に対する植物環境応答に関する研究の多くは、単発的な光強度の増加と減少に対する光合成反応特性、そのメカニズム、炭素固定効率であった。また、これらの特性が様々な環境によって変化することが分かってきた。例えば、高 CO₂ 環境下では光に対する光合成反応は促進される (Tomimatsu and Tang 2016)。しかし自然環境下の光照射は、単発的というより複数回、またランダムに起こっている。上記のように、光合成速度は光強度の「迅速な」変化に対して応答が遅延する。したがって、照射回数の増加は光合成応答の遅延積算となり、植物炭素獲得効率を低下させると予測できる。しかし、このような中長期的な光照射パターンの違いが、植物の光合成等の機能特性や生長特性におよぼす知見は少なく、未だにその影響がよく解っていない。

2. 研究の目的

上記の問題点を明らかにするために、中長期的な光照射パターンが植物の生長速度、光合成機能特性におよぼす影響を検証し、最適な光照射条件を探索する。そこで本研究では、近年普及してきた高輝度 LED 光源を用いて植物を栽培し、以下の仮説を検証するための実験を実施した。

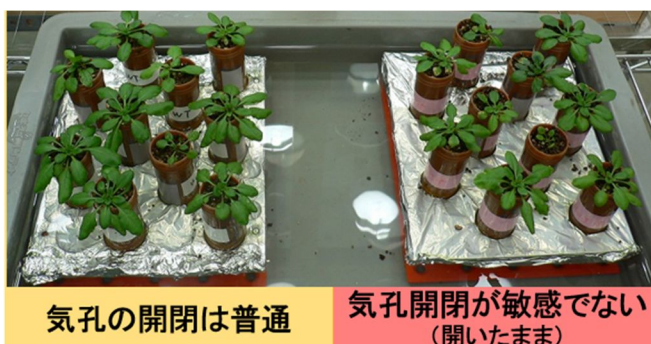
植物は、光強度の「迅速な」変化に対して直ちに「光 - 光合成曲線」の関係で示される定常光合成速度に達することが出来ない。したがって、照射回数の増加は光合成応答の遅延積算となり、植物の成長速度を低下させると予測できる (仮説 1)。また、ガス交換特性は、植物の光馴化によって光照射の回数が多い照射パターンで、光照射に対する応答が促進すると考えられる (仮説 2)。さらに、日長と最大光量に対する感受性は、最大光合成速度で長時間安定する光照射パターンで、最大光量に対する感受性が高いと考えられる (仮説 3)。これら 3 つの仮説を栽培実験で検証するとともに、植物変動光応答モデル (Win-fleck) に結果を適用することで、植物成長にとって最適な光照射条件を探索する。

3. 研究の方法

本研究では、以下の 3 つの実験項目に分割して研究を実施した。植物栽培：栽培は、成長解析用のサンプリングが容易な水耕栽培とした。シロイヌナズナの野生種と変異体 2 種の合計 3 種を、照射パターンの異なる 3 つのチャンパー内に導入して実施する。気孔特性が異なる変異体を使用することで、動的な光合成反応を律速する気孔と生化学的要因分離を可能にした (下写真)。

また、日長に対する感受性が異なる変異体によって、日長によって開花誘導を促すタンパクの影響を分離した。

成長解析：光照射処理に伴う期間成長量と分配特性を明らかにするために、個体サイズの追跡測定、成長解析用の栽培個体をサンプリングし、地下部と地上部に分けそれぞれの乾燥重量と C/N 比を測定した。ガス交換の測定：携帯用光合成蒸散システム (LI-



⇒ 気孔影響の分離評価に期待

6400)を用いて、光合成の機能特性を明らかにするために、栽培した全植物種を用いて、光 - 光合成特性、A/Ci 反応特性、光照射に対する光合成反応特性を計測した。また、光合成計測後に、葉面積と乾燥重量を計測した。最初に、照射パターンの影響だけを抽出するために、全ての光量子束密度の日積算値、最大値、最小値が一定になるように栽培光をプログラムした。この照射パターンの影響のみ抽出する栽培を「実験 1」とし、本研究の基盤実験とした。次に、光照射パターン以外の光環境を複合要因として“最大光強度”と“日長”をそれぞれ組み入れた栽培実験、「実験 2」と「実験 3」を実施した。得られたこれらの実験結果に基づいて「モデルを高度化」させ、植物成長にとって最適な光照射条件の探査をおこなった。最後に、野外での変動光利用特性を検証するために熱帯植物を用いた現地調査をおこなった。

4. 研究成果

植物成長に最適な光照射の変動パターンについて探査するために、様々な光条件で植物を栽培し、植物成長に関する基本データの収集を進めた。本報告では、以下に示す 3 項目についてとりまとめた。

(1) 光変動をともなう栽培システムの構築： これまで使用してきた 3 色(RGB)の LED 光源を大型グロースチャンパーに移設した。3つの光照射パターン(照射間隔:長、中、短)を再現するため、各照射パターン処理 2 枚の合計 6 枚と、コントロールユニットを 3 セット設置した。これらコントロールユニットを一元管理できるように 1 台のパソコンに統合した。

(2) 植物成長におよぼす光照射パターンの影響： シロイヌナズナの野生株である Col-0 株を用いた。栽培条件は、CO₂ 濃度 400ppm、湿度 70%、気温 25 度、日長:長日(明期 12H)/短日(明期 9H)とし、明期の光条件を強光/弱光 150 μmolm⁻²s⁻¹/20 μmolm⁻²s⁻¹ で栽培した。明期の光照射パターンは、“長時間照射パターン”強光/弱光 4h/4h、“中時間照射パターン”強光/弱光 20min/20min、“短時間照射パターン”強光/弱光 2min/2min とした。上記の条件で栽培した結果、栽培開始から抽苔する

までの時間は、“長時間照射パターン”の個体ほど早かった。成長速度は日長によって変化し、長日で促進されるのは“短時間照射パターン”、短日で促進されるのは“長時間照射パターン”であることが明らかになった。

■ シロイヌナズナ Col-0 (*Arabidopsis thaliana*)

短日条件



照射パターン	長期	中期	短期
葉面積(cm ²)	16.8	10.4	2.6
栄養成長(日)	38.6	42.2	42.2



(3) 野外調査： マレーシア熱帯林の林床植物を対象に、光強度などの環境条件の観測・測定と、光合成誘導反応の現地測定を行った。光照射に対する光合成誘導反応は、同種内では生育光環境の勾配に沿って気孔開度依存的に変化することが明らかになった(Kang et al. 2022)。一方で、異種間ではその誘導反応の変化特性が異なることが明らかになり、その違いが定常状態の最大光合成速度に依存する傾向が示された。

<引用文献>

Pearcy (1990) Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol 41:421–453

Tomimatsu and Tang (2016) Journal of Plant Research 129, 365-377

Kang et al. (2022) Tree Physiology 42 (10), 1975-1987

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 1件）

1. 著者名 Huixing Kang, Hajime Tomimatsu, Ting Zhu, Yixin Ma, Xiruo Wang, Yan Zhang, Yanhong Tang	4. 巻 42
2. 論文標題 Contributions of species shade tolerance and individual light environment to photosynthetic induction in tropical tree seedlings.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Tree physiology	6. 最初と最後の頁 1975-1987
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/treephys/tpac056	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 富松元
2. 発表標題 Effect of growth-light condition on high CO2 acceleration of photosynthetic induction
3. 学会等名 日本生態学会第70回全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 富松元、彦坂幸毅
2. 発表標題 太陽誘導クロロフィル蛍光（SIF）を利用した光化学系II量子収率（PSII）と光合成の推定
3. 学会等名 日本植物学会第86回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 富松元，唐艶鴻
2. 発表標題 光環境の空間的不均一性が動的な光合成におよぼす影響
3. 学会等名 日本生態学会第69回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hajime TOMIMATSU
2. 発表標題 Dynamic photosynthesis to light change under high CO2 environments
3. 学会等名 ESJ67 S22-4
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 富松元
2. 発表標題 熱帯林床の高CO2環境が実生の炭素獲得におよぼす影響
3. 学会等名 日本生態学会第65回東北地区大会（招待講演）
4. 発表年 2020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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------