

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 19 日現在

機関番号：82101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K18628

研究課題名(和文) 光照射パターンが葉の機能特性と炭素固定効率におよぼす影響

研究課題名(英文) Effect of light irradiation pattern on leaf functional traits and carbon fixation efficiency

研究代表者

富松 元 (Tomimatsu, Hajime)

国立研究開発法人国立環境研究所・生物・生態系環境研究センター・特別研究員

研究者番号：70598458

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：野外の光環境は時間的・空間的に極めて不均一である。本研究では、植物栽培期間中の光照射パターンの違いが植物機能におよぼす影響について調べた。その結果、日積算光量子量が同じであっても、光照射間隔(明暗サイクル)が長いほど個体の成長速度が促進され、また開花時期が早期化することが明らかになった。さらに、常に気孔開放した変異体を用いた栽培実験によって、これらの光照射パターンの効果は気孔開度に強く影響されることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：Natural light environment has very heterogeneity of temporally and spatially. In this study, we investigated the effects of light irradiation pattern on plant functional traits during plants growth. We found that the individual growth rate and flowering period are promoted as the light irradiation interval is longer even if accumulated photon flux density a day is the same. We suggested that these effects of light irradiation patterns are also affected by the stomatal opening by cultivation experiments using mutants always stomata open.

研究分野：植物生理生態学

キーワード：環境応答 光変動 高CO2 光合成 気孔コンダクタンス 馴化 シロイヌナズナ 成長速度

## 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(図1)。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、葉の生理的状态、植物種などによって変化する(Pearcy 1990)。

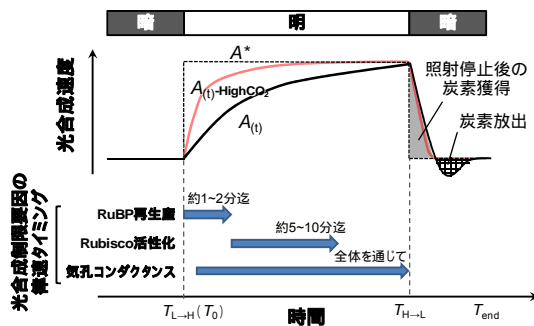


図1 光強度の増加と低下にともなう光合成応答メカニズム

これまでの動的な光合成研究の多くは、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。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、植物の機能特性や光合成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。また近年、栽培用の高輝度LED光源が普及し始め、これまでの植物栽培では困難であった、光強度の迅速な変化、光波長の調整、熱を伴わない強光照射などの栽培処理が出来るようになった。このように実験環境が整う中、野外の変動環境の実態に合った植物物質生産とそのメカニズム解明を実施する環境が整ってきた。

## 2. 研究の目的

本研究は、光照射パターンが葉の機能特性と炭素固定効率、個体成長量に及ぼす影響を検証することである。実験するにあたっては、

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実施する。これら目標に対する仮説は次の通りである。

(仮説1)「葉の機能特性」は、光照射の間隔が短い個体で光合成活性化の回数が多くなることから、Rubisco activaseなどの光合成活性化酵素の割合が増加し、光変化に対するレスポンスが上昇する。(仮説2)「成長速度」は、最大光合成速度を長時間持続できる照射間隔の広い個体で大きい。これらの仮説を2年間の栽培実験により検証する。

## 3. 研究の方法

本研究を実施するにあたっては、植物栽培システムに高輝度LEDを新たに導入した。そのため、研究スタートアップ時期には十分な時間をかけて、実験項目ごとに実験準備と予備実験を実施した。実験スタートに問題が無いと判断出来た後、通常大気CO<sub>2</sub>濃度(約400ppm)条件下で植物栽培を開始した。栽培は、シロイヌナズナの野生種(Col-0株)と変異体(SL1-2株)の2種を、照射パターンの異なる3つのチャンバー内に導入した。栽培にあたっては、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プログラムした。栽培は水耕とし、成長解析用のサンプリングが容易になるように配慮した。また、気孔特性が異なる上記2種の供試植物を使用によって、気孔開度による影響を調べた。また、2年目には、高CO<sub>2</sub>濃度(700ppm)で栽培し、高CO<sub>2</sub>が光照射パターンにおよぼす影響について調べた。

栽培にあたっては、光照射処理に伴う植物個体の成長速度と開花フェノロジー特性を明らかにするために、約7日ごとに開花状況と植物サイズの追跡調査を行った。

次に、栽培した植物を用いて光合成計測を実施した。携帯用光合成蒸散システム(LI-6400)を用いて、光合成能力(定常条件)と動的な光合成特性を明らかにするために、光-光合成関係、クロロフィル蛍光、光照射に対する光合成応答(光合成誘導反応)の測定を行った。また、光合成計測後に、葉面積と乾燥重量を計測した。

実験終了後、上記のガス交換計測と成長解析の結果に基づいて、光照射パターンが炭素固定効率と個体成長量におよぼす影響を検証した。

## 4. 研究成果

### 1)LED光源を用いた光変動栽培システムの構築

国立環境研究所にある大型生物環境調節室(通称エコトロン)内部に3つの植物栽培チャンバー(サイズ:幅1.5m×奥行

0.6m×高さ 0.8m)を設置した(図2)。各チャンバーには、植物栽培用3色LED光源(RGB)を備え付け、光照射強度を波長ごとにコントロール出来るユニットを設置した。光照射は1台のパソコンで一元管理し、連続照射時間と照射パターンをチャンバーごとに制御するシステムを構築した。また、栽培時に照射する3色LEDは、青色、緑色、赤色の構成比が、光量子密度ベースに2.5:1:1の比率になるように調整した。さらに、栽培時のCO<sub>2</sub>濃度を制御するユニットを組み込み、栽培CO<sub>2</sub>濃度を変えて栽培することが可能になった。

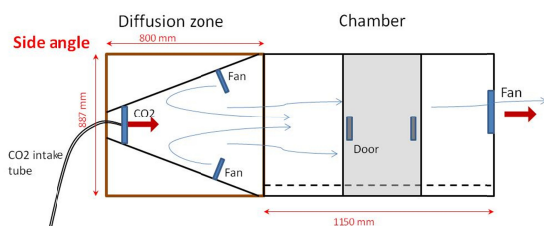


図2 植物栽培チャンバー

## 2) 光照射パターンと日長が植物成長特性におよぼす影響

3つの異なる光照射パターンで栽培し(日積算光量子密度は同じ)開花日数などのフェノロジー特性について調べた。供試植物には、シロイヌナズナの気孔開放型SL1-2株とその野生株Col-0株を用いた。栽培は、通常大気CO<sub>2</sub>濃度(約400ppm)において、長日(明期12H)と短日(明期9H)のそれぞれの条件下で、約3ヶ月間実施した。さらに、照射光を強光(約180 μmolm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)と弱光(約9 μmolm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)比率が2:1になるように割り振り、強光の連続照射が4時間の“長期パターン”(短日条件は3時間)20分の“中期パターン”、2分の“短期パターン”の3処理とした。上記条件で栽培した結果、栄養成長から繁殖成長への切り替わり(花茎の伸長開始)時期は、日長や品種に関わらず、“長期パターン”個体ほど早かった。一方、成長速度(葉面積の展開速度)は、日長によって変化し、長日の時は“短期パターン”で速く、短日の時は“長期パターン”で速かった(図3)。このように、日積算光量子量が同じであっても光照射パターンの違いによって、植物のフェノロジー特性と成長速

度が変化する事が明らかになった。

## 3) 光照射パターンとCO<sub>2</sub>濃度が植物成長特性におよぼす影響

植物は、気孔開放型のSL1-2株とその野生株であるCol-0株の2種のシロイヌナズナを約2カ月栽培した。栽培時の光照射パターン3段階、CO<sub>2</sub>濃度2段階の条件を設定した。光照射パターンは、強光(約90 μmolm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)と弱光(約9 μmolm<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)の照射時間比率を2:1とし、強光の連続照射が3時間の“長期パターン”、20分の“中期パターン”、2分の“短期パターン”の3段階とした。このとき、日積算光量子密度と日長が同じになるように照射プログラムを調整した。栽培時のCO<sub>2</sub>濃度は、通常大気CO<sub>2</sub>濃度(約400ppm)と高CO<sub>2</sub>濃度(約700ppm)の2条件とした。

栄養成長から繁殖成長への切り替わり(花茎の伸長開始)時期は、品種やCO<sub>2</sub>濃度に関わらず、“長期パターン”個体ほど早かった。成長速度(葉面積の展開速度)は、“短期パターン”と比べて“長期パターン”で速かった。その照射パターンにともなう生長速度の違いは、高CO<sub>2</sub>濃度の栽培条件で小さくなった。最大光合成速度は、生長が早い“長期パターン”で高い傾向を示し、光照射に対する光合成反応は、高CO<sub>2</sub>栽培個体で高い傾向を示した。

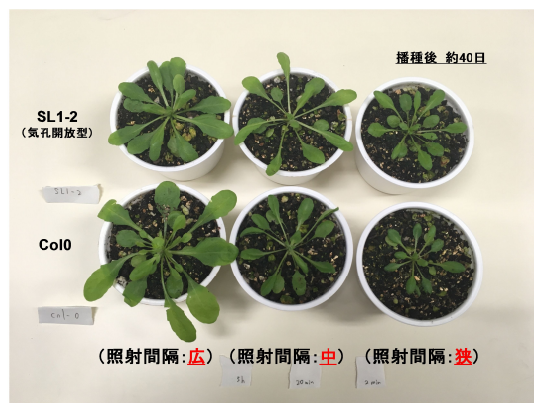


図3 短日条件で栽培したシロイヌナズナ40日後の状態

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計2件)

Tomimatsu H\*, Sakata T, Fukayama H and Tang Y (2018) Short-term effects of high CO<sub>2</sub> accelerate photosynthetic induction in *Populus koreana* × *trichocarpa* with always-open stomata regardless of phenotypic changes in high CO<sub>2</sub> growth

conditions. *Tree Physiology*. *in press*. 査読有

DOI: 10.1093/treephys/tpy078

Tomimatsu H\*, Tang Y (2016) Effect of high CO<sub>2</sub> levels on dynamic photosynthesis: carbon gain, mechanisms, and environmental interactions. *Journal of Plant Research* 129:365-377. 査読有

DOI: 10.1007/s10265-016-0817-0

〔学会発表〕(計3件)

富松元、光照射パターンが植物成長特性におよぼす影響、日本生態学会、2018年03月、札幌、要旨集 P3-P-085

富松元、光照射パターンが開花フェノロジーにおよぼす影響、日本生態学会、2017年03月、東京、要旨集 P2-P-450

富松元、唐艶鴻、熱帯林床の光勾配が熱帯植物のサンフレック利用特性におよぼす影響、日本生態学会、2016年、03月、仙台、要旨集 P2-077

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

富松 元 (TOMIMATSU Hajime)

国立環境研究所・生物生態系環境研究センター・特別研究員

研究者番号：70598458