



平成 30 年 5 月 21 日

報道関係者各位

国立大学法人 筑波大学  
一般財団法人 電力中央研究所  
国立研究開発法人 理化学研究所

レタスは光強度・光質により代謝を自在に改変する  
～狭波長 LED 光源による有用代謝物生産性のカスタマイズ化に成功～

研究成果のポイント

1. 人工光照射により生育したサニーレタスは、用いる光質・光強度・照射期間によって異なる代謝物群を生産することを、世界で初めて明らかにしました。
2. 植物工場における野菜の有用代謝物生産を自在に制御可能にする技術開発への応用が期待されます。

国立大学法人筑波大学 生命環境系 草野 都教授、一般財団法人電力中央研究所 庄子和博上席研究員、北崎一義(現 国立大学法人北海道大学 助教)、国立研究開発法人理化学研究所 福島敦史研究員およびUC Davis Genome Center(米国) Richard Michelmoresらの研究グループは、さまざまな人工光照射条件下でサニーレタスを栽培した際に起こる代謝の違いを、統合オミックス解析<sup>1)</sup>により世界で初めて明らかにしました。

本研究では、4種類の光質、2種類の光強度、2種類の照射期間を設定し、これらすべての組み合わせ条件下における代謝物群蓄積パターン(代謝物プロファイル)を調べるため、3種類の高性能質量分析装置を駆使したメタボローム解析<sup>2)</sup>を行いました。その結果、短期間の光照射では光強度の差が代謝物プロファイルの差に最も大きく寄与するのに対し、長期間の光照射では光質の違いにより大きな差異が生じることを見出しました。また、メタボロームデータの詳細な解析により、味にかかわる成分である糖類やアミノ酸類の蓄積パターンは、光質・光強度・照射期間のすべてに影響を受けることがわかりました。

次に、遺伝子の転写物の発現パターン(転写物プロファイル)を包括的に解析できる次世代DNAシーケンサーを用いたRNA-Seq解析<sup>3)</sup>により、光質によって代謝ネットワークに与える影響が異なることを明らかにしました。また、サニーレタスが生産する代謝物群のうち、抗酸化成分であるフェニルプロパノイドおよびフラボノイド類の生合成経路に代謝物・転写物プロファイリングの統合解析によって、フラボノール類は青色光照射により特異的に代謝が促進される一方で、クロロゲン酸類は、波長が長くなるにつれ代謝物蓄積量が段階的に変化することがわかりました。

これらの成果は、将来的に植物工場などで生産される野菜に対し、味や健康にかかわる有用代謝物生産を自在に操る技術開発に貢献できると考えられます。

本研究の成果は、2018年5月21日付「Scientific Reports」で公開されました。

\* 本研究は、農林水産省が助成する野菜等の光応答メカニズムの解明と省エネルギー、コスト削減利用技術の開発(研究期間:平成21～25年度)および平成28年度国立大学法人運営費交付事業フードセキュリティ実現のための循環型研究拠点の構築によって実施されました。

## 研究の背景

世界の人口は2050年までには90億人に達すると予想され、屋内生産型の植物工場による食料の供給方法に注目が集まっています。特に、完全閉鎖型の植物工場における野菜類の生産は、天災による収量の減少を無視することができる上に、無農薬野菜の供給が可能です。また、植物は光に敏感に応答し、自らの生長を制御することができるため、適切な光質処理により有用な代謝物群生産能力を引き出し、作物の付加価値を高められる可能性があります。光質制御のひとつとして、LEDの利用が挙げられます。これまでにLEDを光源として用いた研究は数多くなされてきました。しかし、植物体内での物質生産、すなわち代謝レベルでどのような変化が起きているのかは不明なままでした。

そこで本研究では、植物工場での生産が盛んな葉菜類の一つであるサニーレタスに対し、光質と光強度の制御が容易なLEDを用い、有用代謝物生産に有効な光質と代謝との関係を明らかにするために統合オミックス解析を行いました。

## 研究内容と成果

本研究では、光による植物生長制御研究が盛んである青色光や赤色光に加え、植物が行う光合成との関係がはっきりとは明らかにされていない緑色光に着目しました。

緑色光は植物に利用されないと考えられてきましたが、近年、植物が行う光合成に使われていることが明らかになりつつあります。しかし、この光質が代謝に与える影響は未解明のままです。また、植物がどの程度の感度で波長の違いを区別しているのかについてもよくわかっていません。そこで、わずか約10 nmのスペクトル幅の緑色光照射が可能な狭波長LED光源を用い、サニーレタスの苗に青色光(ピーク波長=470 nm)・赤色光(680 nm)および2種類の緑色光(510 nm、524 nm)を、短期間(1日)および長期間(7日)、2種類の異なる光強度下(PPFD100、PPFD300)<sup>4)</sup>で生育しました。これらの組み合わせにより生育したそれぞれのサンプルについて、3種類の高性能質量分析装置を用い、メタボローム解析を行いました(図1)。

その結果、味にかかわる糖類やアミノ酸類といった一次代謝物群や葉緑体の膜構成成分である植物脂質類、抗酸化成分を含む極性二次代謝物群の約300種を検出しました。それぞれの実験条件における代謝物プロファイルと比較した結果、(1)緑色光照射による代謝物プロファイルが、青色光よりも赤色光に類似していること、(2)短期間照射では、光強度の違いが代謝物プロファイルの変化に最も大きく寄与し、各光質の違いによる差はその次に現れること、(3)長期間照射では、光強度ではなく、各光質の違いが代謝物プロファイルの変化を引き起こす原因となっていること、が判明しました。これらの違いを、一般的に植物研究で用いられている蛍光灯照射条件下で生育したサニーレタスの代謝物蓄積パターンと比較したところ、赤色光では糖類や植物脂質類が蓄積するのに対し、青色光では抗酸化成分として知られているフラボノール配糖体やクロロゲン酸類が高蓄積しました。さらに、レタスの一部の品種に含まれる機能性成分であるラクチュシンが、緑色光の524 nm(G520)照射条件でのみ有意に増加していました(図2)。

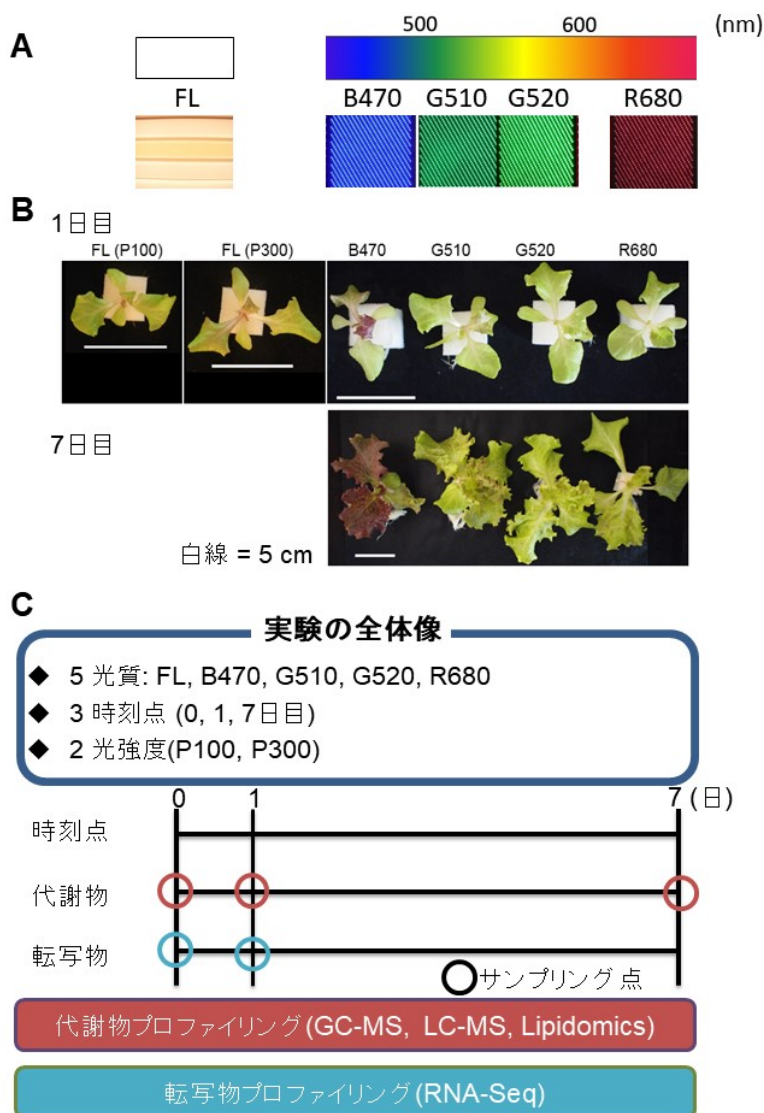
次に、遺伝子の転写物発現を包括的に解析できる高速DNAシーケンサーによるRNA-Seq解析を用いて、19459遺伝子の転写物プロファイリングを行いました。その結果、青色光、緑色光(2種類)および赤色光において、それぞれ特異的に代謝ネットワークが改変されたことが判明しました。

最後に、代謝物プロファイルと転写物プロファイルによる統合オミックス解析を行いました。特に、サニーレタスが生産する代謝物群のうち、抗酸化成分であるフェニルプロパノイドおよびフラボノイド類の生合成経路に着目しました。代謝物・転写物プロファイリング結果を生合成経路に投影したところ、青色光照射により特異的に代謝が促進される代謝物として、ケルセチン配糖体が含まれていました。一方、フェニルプロパノイドの一種であるクロロゲン酸類は青色光だけではなく、波長が長くなる(青色から赤色)につれ代謝物蓄積量が段階的に変化することを明らかにしました。

## 今後の展開

本研究により、植物体内で起こっている、「見た目」では分からない代謝が光質や光強度、照射期間により特徴的に変化することが明らかになりました。特に、わずかな緑色光波長の違いで生産される代謝物群が異なることから、植物は私たちが思っている以上に光をうまく利用して、自らの生長・生存戦略に利用している可能性が示唆されます。今後は、植物工場で生産される野菜の価値を高めるために、「光」をデザインすることで、味や健康にかかわる有用代謝物生産を自在に操る技術開発に貢献できると考えられます。

## 参考図



## 図1. 本研究の概要

(A) 植物が利用する波長と本研究で使用した LED パネル。FL は蛍光灯。(B) 異なる光質および光強度で生育したサニーレタスの表現型。(C) 実験の全体像。使用した LED パネルのピーク波長は、それぞれ青色光 470 nm (B470)、緑色光 510 nm (G510)、緑色光 524 nm (G520) および赤色光 680 nm (R680)でした。各光質・時刻点・光強度の組み合わせにおいて、代謝物および転写物プロファイリングを行いました。

植物が利用可能な吸収波長(色)の領域(280-800 nm)

400 500 600 700 nm



色素蓄積

生長促進

FL (蛍光灯)



B470



G520  
G510



R680

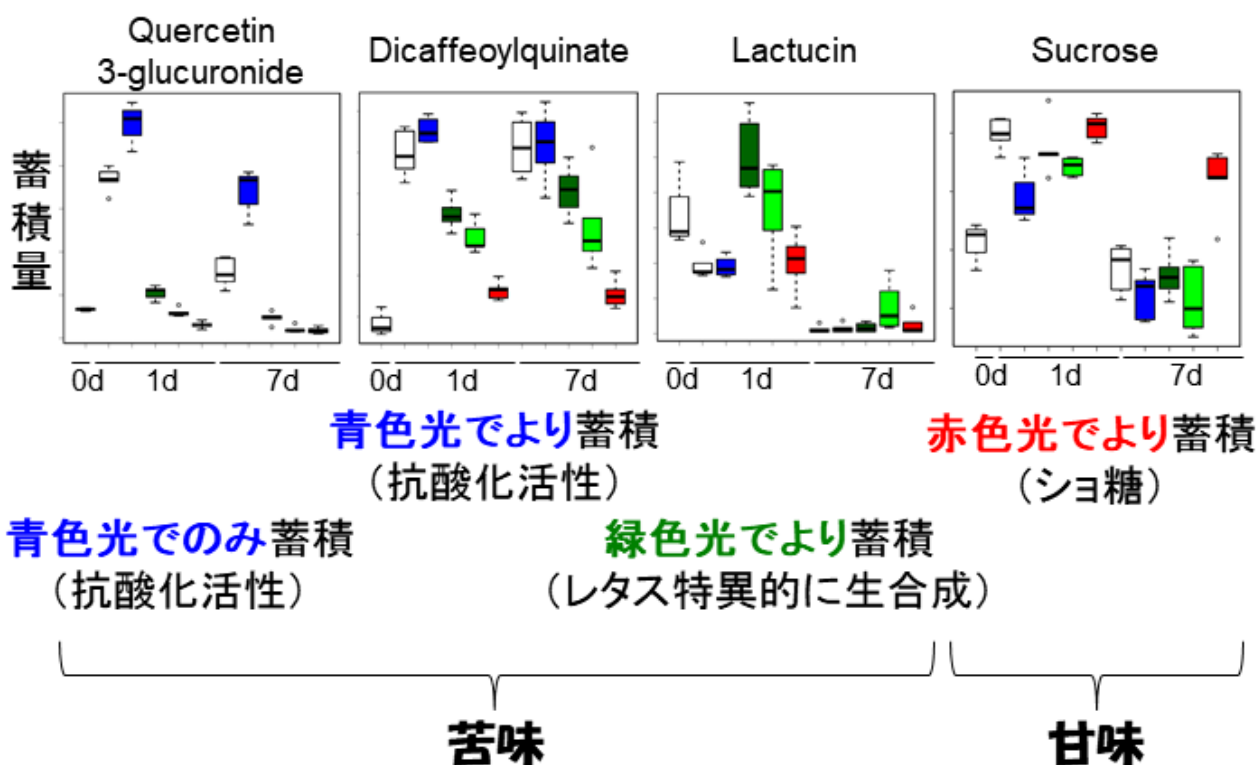


図2. 植物が利用可能な吸収波長(色)と狭波長 LED による代謝物の種類および蓄積量の違い

今回の研究成果の一例を示します。苦味に関わる抗酸化活性を持つ代謝物は、主に青色光により蓄積されと考えられてきましたが、メタボローム解析により、レタスが生合成する代謝物の蓄積量にバリエーションがあることがわかりました。

## 用語解説

- 注1) 統合オミックス解析 : 代謝物を含めた生体内分子を網羅的に調べる解析技術を一般にオミックス解析と呼びます。対象の分子がゲノム DNA でしたら遺伝情報の総体すなわちゲノミクス、同様にゲノム DNA から転写産物の場合をトランスクリプトミクス、タンパク質が対象の場合をプロテオミクス、代謝物の場合はメタボロミクスと呼ばれる科学分野を形成しています。これら個々のオミックス解析技術を組み合わせ、得られたデータを統合的に利活用し、生命現象の解明に役立てる解析技術を統合オミックス解析といいます。
- 注2) メタボローム解析 : 細胞内に存在する低分子代謝物の総体をメタボロームといいます。質量分析装置や NMR(核磁気共鳴)といった計測装置を用いて、生体内での化学反応を全体的に把握しようとする解析技術のことを指します。
- 注3) RNA-Seq 解析 : RNA シーケンシング (RNA sequencing) の略。大量の配列データを一度に取得可能にする高速 DNA シーケンサーを用いて、遺伝子発現解析を行う手法。マイクロアレイのような従来手法に比べて、新規の転写物同定、一塩基多型の検出などに優れています。
- 注4) PPFd : photosynthetic photon flux density の略です。日本語では、光合成有効光量子束密度といいます。単位時間・単位面積あたりの光合成に有効な波長域 (400 nm~700 nm) 中の光量子の数を意味します。

## 掲載論文

- 【題名】 Metabolic reprogramming in leaf lettuce grown under different light quality and intensity conditions using narrow-band LEDs  
(狭波長 LED 光源による異なる光質および光強度条件下で生育したリーフレタスの代謝系リプログラミング)
- 【著者名】 Kazuyoshi Kitazaki, Atsushi Fukushima, Ryo Nakabayashi, Yozo Okazaki, Makoto Kobayashi, Tetsuya Mori, Tomoko Nishizawa, Sebastian Reyes-Chin-Wo, Richard W. Michelmore, Kazuki Saito, Kazuhiro Shoji, Miyako Kusano
- 【掲載誌】 Scientific Reports

## 問い合わせ先

草野 都 (くさの みやこ)  
筑波大学 生命環境系 教授