

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 15 日現在

機関番号：34428

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23580351

研究課題名(和文)メタボローム解析を用いた黄色LEDによる植物生長メカニズムの解明

研究課題名(英文) Analysis of mechanisms of plant growth in response to yellow light by means of metabolomics

研究代表者

青笹 治 (Aozasa, Osamu)

摂南大学・理工学部・准教授

研究者番号：20248066

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：カイワレ大根のようなスプラウトの抗酸化活性は、クロロフィルの吸収波長の青色と赤色だけでは、白色光に比べ、活性が減少する。しかし、黄色や緑色の中間色を加えることにより、活性が増加し、特に緑色が効果的であった。この結果は、高い抗酸化活性を得るには、黄色や緑色などの中間色が必要であることを示している。二次代謝物のポリフェノールを測定したところ、抗酸化活性の上昇に依存して、その含量が増加しており、光環境によりポリフェノール含量が増加し、その結果、抗酸化活性が上昇するものと考えられた。

研究成果の概要(英文)：The irradiation of a mixture red and blue light compared with white light decrease d the antioxidative activity of in kaiwaredaikon. However, the antioxidative activities were increased by the addition of yellow or blue light. These findings suggest that the irradiation of yellow or green light should be useful for producing sprouts with higher antioxidative capacity. Polyphenols concentration was increased in accordance with the antioxidative activity. These results indicate that the content of polyphenols was increased by irradiation of yellow or green light and consequently the antioxidative ability becomes stronger.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業環境工学

キーワード：植物工場 LED 抗酸化活性 ポリフェノール 植物ホルモン

1. 研究開始当初の背景

悪天候によりトマトやレタスのなど野菜の小売価格が2～3倍に高騰している社会状況を受け、天候に左右されず野菜を安定供給できる植物工場の重要性が再認識されている。地球温暖化などの気候変動が顕在化しており、今後も、気候変動が食物の安定供給に対するリスク要因になることは容易に予測される。植物工場の普及拡大は、安定供給の観点から我が国にとって重要な課題である。現在のところ、実際に稼働している植物工場は全国約50ヵ所である。国の支援が動きだし、本格普及の兆しにあるが、植物の栽培に不可欠な人工光源が高価であることが普及拡大の障害になっている。

植物育成に用いられる人工光源としては、従来から高圧ナトリウムや蛍光灯が一般的であったが、最近では、LED（発光ダイオード）を植物に近づけて照明する近接照明が増えている。植物工場の光源としては、発熱が少ないLEDが最も有望であり、植物工場の本格普及には、安価で効率よく植物を栽培できるLED光源の開発が不可欠である。しかし、市販の植物育成用LED光源は、高価でありながら光量等の性能が不足しがちである。植物生長用途に関しては、その取り扱いの難しさが研究開発の進歩を妨げる要因の一つとなっている。

これまでもLEDと植物の形態形成に関する研究は数多くされてきているが、光源として青色光と赤色光を用いているものが中心であり、その他、緑色光、遠赤外光を加えたものが検討されている。これは、光環境による植物の形態形成メカニズムが、青色光と赤色光などこれらの波長の光を吸収する光受容体により説明できるからである。そのため、ほとんど吸収されない黄色光について検討され

てきていない。しかし、これまでの研究代表者らの研究成果から、黄色光が明らかに植物の形態形成に影響を与える結果が得られた。従って、黄色光による植物の生長に及ぼす影響を明らかにし、メカニズムを解明することは、植物工場の人工光源の開発に有益なデータを提供できる。

2. 研究の目的

市販の植物育成用LED光源は、高価でありながら光量等の性能が不足しがちであるため、光輝度LEDを用いた光源モジュールを作成する。

植物工場の人工光源を開発するため、黄色光を中心に、緑色光、赤色光、青色光など、様々な波長における抗酸化活性、抗アレルギーなどの機能性および、植物ホルモンなどの微量生理活性物質の発現量の変動を検討する。

3. 研究の方法

(1) 黄色光が結球性玉レタスの形態形成に及ぼす影響

市販の結球性玉レタスの種子を遮光下で発芽させたのち、赤色光・青色光の混合LED、赤色光・青色光・黄色光の混合LED、および太陽光の3条件の光環境で栽培した。栽培後の生重量を測定後、抗酸化活性を評価した。抗酸化活性の評価には、DPPHラジカル捕捉活性を用いた。

(2) 黄色光および緑色光によるスプラウトの抗酸化活性への影響

カイワレ大根、ブロッコリー、豆苗およびそばの芽のスプラウトを遮光下4～7日間、発芽、育成しのち、光照射下で2日間栽培した。光条件は、青色(450nm)、赤色(630nm)

黄色（595 nm）および緑色光（530 nm）の単色あるいは混合色とした。また、植物育成用白色 LED についても検討した。栽培後、抗酸化活性、ポリフェノール濃度および隣リパーゼ抑制作用を測定した。

(3) 微量活性物質の植物ホルモンの分析

評価対象の植物ホルモンは、ジベレリン (GA₃)、サリチル酸(SA)、ジャスモン酸(JA)、オーキシシン(IAA)、アブシジン酸(ABA)、t-ゼアチン(t-Z)とした。植物ホルモンの標準物質 6 種類について、カートリッジカラムによる前処理方法、LC-Q TOF MS を用いた高感度分析法を検討した。

(4) 抗型アレルギー活性

ブロッコリーの芽、赤カブの芽、豆苗、カイワレ大根、ピンクカイワレ、マスタード、赤キャベツの芽の 7 種類のスプラウトについて、抗型アレルギー活性を評価した。抗型アレルギーは、ヒアロニダーゼの抑制作用を指標とした。さらに、LC-Q TOF MS を用いて、活性物質の解析をおこなった。

4. 研究成果

(1) 黄色光が結球性玉レタスの形態形成に及ぼす影響

定格電流が 700mA の高輝度 LED 素子を基板に半田付けし、高輝度 LED モジュールを作製した。高輝度 LED モジュールは、青色(450 nm) および赤色(630 nm)に、黄色(595 nm)を加え、3種の波長の光を単独あるいは同時に、様々な組み合わせで点灯できる性能をもつ。このモジュールを光源として、結球性玉レタスを栽培したところ、赤色光・青色光の混合 LED 光源(R/B 比=2)では、生重量が 7.6~9.0g

のレタスが得られた。この赤色光・青色光の混合 LED 光源に黄色光 LED を加え、3色混合 LED 光源としたところ、レタスの生重量は 1.0~1.2g が減少した。しかし、太陽光で栽培したレタスの生重量と同等であったことから、3色混合 LED 光源では、太陽光と同様の生長速度であることが明らかとなった。そこで、赤色光・青色光の 2色混合 LED 光源、黄色光 LED を加えた 3色混合 LED 光源および太陽光の 3条件で栽培したそれぞれのレタスについて機能性を調べた。野菜の機能性として、がんの予防やアンチエイジング(抗老化)に有効であると考えられている抗酸化活性を調べたところ、2色混合光源で育てた生長速度の速いレタスでは、太陽光で栽培したレタスに比べ活性が低い結果となった。しかし、黄色光を加えた 3色混合 LED 光源では、太陽光で栽培した時と同等の高い活性が得られるという興味深いものであった。

(2) 黄色光および緑色光によるスプラウトの抗酸化活性への影響

植物育成用白色 LED(光合成有効光量子束: 50 PPF)を用い、カイワレ大根、ブロッコリー、豆苗およびそばの芽のスプラウトを育成し、抗酸化活性を比較したところ、茎に比べて葉に高い活性があり、そばの芽に最も高い活性が得られた。しかしながら、カイワレ大根は栽培期間が短く、比較的良好な活性を示していた。

LED モジュールに緑色光(530 nm)を加え、4波長モジュールを作成した。カイワレ大根を対象に作成した 4波長 LED モジュールを用い、光環境(光強度および光質)によるカイワレ大根の抗酸化活性への影響を調べた。その結果、光合成有効光量子束を 50PPF から

130PPF に増やすことで、より高い活性が得られた。また、クロロフィルの吸収波長の青色と赤色だけでは、白色光に比べ、活性が減少するのに比べ、黄色や緑色の中間色を加えることにより、活性が増加し、特に緑色が効果的であった。この結果は、高い抗酸化活性を得るには、黄色や緑色などの中間色が必要であることを示している。

カイワレ大根のポリフェノール含量を測定したところ、抗酸化活性の上昇に依存して、その含量が増加しており、光環境によりポリフェノール含量が増加し、その結果、抗酸化活性が上昇するものと考えられた。

さらに、脂肪を分解する消化酵素リパーゼの阻害活性をアッセイしたところ、ポリフェノールを豊富に含む緑色の光が入った光質で育てたカイワレ大根に最も阻害活性が認められた。

(3)微量活性物質の植物ホルモンの分析

緑色光や黄色光による微量活性物質の植物ホルモンの発現量変動を明らかにするために、まず、植物ホルモン高感度定量法の検討を行った。評価対象の植物ホルモンは、ジベレリン(GA₃)、サリチル酸(SA)、ジャスモン酸(JA)、オーキシシン(IAA)、アブシジン酸(ABA)、t-ゼアチン(t-Z)とした。まず、標準物質 6 種類を用いて、LC-Q TOF MS により測定したところ、それぞれの植物ホルモンに対応した分子イオンのマススペクトルが得られた。さらに、マススペクトルから得られた分子イオンの質量数をもとに検量線を作成したところ、0.1 ~ 100 µg/mL: GA₃, SA, JA and IAA および 0.01 ~ 100 µg/mL: ABA and t-Z の範囲で良好な直線性がえられ、定量性が確認できた。前処理法について検討したところ、添加標準物質の

回収率が 48 ~ 90% で、カートリッジカラムを用いた精製法により、前処理が可能であることを示した。

(4)抗型アレルギー活性

ブロッコリーの芽、赤カブの芽、豆苗、カイワレ大根、ピンクカイワレ、マスタード、赤キャベツの芽の 7 種類のスプラウトの抗型アレルギー活性を調べた。その結果、赤カブの芽および豆苗に高い活性が認められた。しかし、赤カブの芽では、胚軸に比べて子葉に高い活性があり、豆苗では、逆に胚軸で高いというように、活性部位が異なっていた。これまでの野菜や果物の抗アレルギー物質は、ほとんどがポリフェノールであるため、赤カブの芽および豆苗の各部位の総ポリフェノール濃度を測定したところ、高い活性が得られた赤カブの芽の子葉にポリフェノール含量が多いことが明らかになった。そこで、子葉に含まれるポリフェノールを HLB カートリッジで精製したところ、ポリフェノールが溶出するメタノール画分に抗アレルギー活性があることを確認した。このメタノール画分に含まれる成分を液体クロマトグラフ - 飛行時間型質量分析計(LC-MS QTOF)を用いて解析したところ、クルクミンなどのポリフェノールが検出された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

Nagata T, Oobo T, Aozsasa O, Efficacy of a bacterial siderophore, pyoverdine, to supply iron to *Solanum lycopersicum* plants. *J Biosci Bioeng.*, 査読有, 115, 2013, 686-690

Iba Y, Watanabe K, Ozaki K, Aozsasa O,

Ishizawa K, Matsuura T, Oyama H, Masukawa T, Altered gene expression profiles associated with enhanced skin inflammation induced by 12-O-tetradecanoylphorbol-13-acetate in streptozotocin-diabetic mice, Int Immunopharmacol., 査読有, 15, 2013, 614-619

6. 研究組織

(1) 研究代表者

青笹 治 (AOZASA, Osamu)

摂南大学・理工学部生命科学科・准教授

研究者番号: 20248066

(2) 研究分担者

堀内利一 (HORIUCHI, Toshikazu)

摂南大学・理工学部電気電子工科・教授

研究者番号: 00388638

長田 武 (NAGATA, Takeshi)

摂南大学・理工学部生命科学科・講師

研究者番号: 70411709