

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24380139

研究課題名(和文) 苗生産における光環境制御による病害防除

研究課題名(英文) Suppression of plant diseases in seedling production by LED supplementary lighting

研究代表者

荊木 康臣 (Ibaraki, Yasuomi)

山口大学・農学部・教授

研究者番号：50242160

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、苗生産における光環境制御による病害防除技術の開発をめざして、病害防除に効果があるとされる紫色光を適切に照射するために、苗生産用の紫色LED補光装置を開発するとともに、紫色光照射による病害抵抗性誘導のメカニズムの解明および照射条件の最適化に向けた知見の収集を図った。その結果、苗生産においても紫色LED補光は病害抑制に有効であるが、照射条件の最適化が必要であることが明らかになった。また、紫色LED光に対する感受性は植物種により異なる可能性も示唆された。メカニズムに関しては不明な点が多いが、補光条件の最適化には、遺伝子発現、一重項酸素発生、光合成特性の解析が有効であると考えられる。

研究成果の概要(英文)：To develop a method to suppress plant diseases in seedling production by irradiation with violet light, a device for supplementary lighting using blue-violet LED lamps was developed and knowledge for the mechanism to induce disease resistance of plants and for optimizing lighting conditions were collected.

The obtained results suggested that blue-violet LED supplementary lighting had a potential for protection of plants from diseases in seedling production but optimization of lighting conditions was essential. In addition, the sensitivity for blue-violet LED light might depend on plant species.

研究分野：農業環境工学

キーワード：紫色LED 補光 病害抵抗性 一重項酸素 PSII量子収率

1. 研究開始当初の背景

作物の収量や質は、苗の質に大きく左右されるため、優良な苗の利用が効率的な作物生産には不可欠である。優良かつ均一な苗を安定的に生産するためには、適切な病害防除が必須であり、病害虫の防除を怠ると、苗の生産量や質の低下、さらにはその後の作物生産にも重大な影響を与える。一般に苗生産は、施設内で栽植密度の高い状態で行われる場合が多く、一旦、病気が発生すると蔓延しやすい傾向にある。現在の病害防除の基本は薬剤散布であり、苗生産においても薬剤散布が行われているが、環境負荷の低減および食の安全・安心という観点から、薬剤使用量の低減が今日の作物生産における最重要かつ緊急課題となっている。特に、開放系でない栽培施設内では、薬剤散布時に作業者が薬剤を吸入しやすい、作物自体にも薬害が出やすいなどの問題点も指摘されており、薬剤散布量の低減がより一層望まれている。

近年、薬剤使用量の低減をめざして、光照射による病害防除に関する研究が進められ、すでに製品化されている紫外線のみならず、可視光域の特定波長光(紫色光、緑色光、赤色光等)の照射により植物の病害抵抗性を高めようとする試みが報告されている。しかしながら、これらの特定波長光照射が病害抵抗性を誘導するメカニズムには不明な点も多く、植物体の状態や環境条件によりその効果が安定しない可能性も指摘されており、詳細な研究が求められている。これらの中で、今回の研究対象である紫色光は、病害抵抗性の誘導だけでなく、植物病原菌に対する静菌・殺菌作用を持つことが報告(Imada et al., 2014)されており、また、そのほとんどが可視光域にあり、光合成の作用光にもなりうることから、植物、作業者の両方にとって安全であることが期待できる。

2. 研究の目的

本研究は、紫色光が植物病原菌に対する静菌・殺菌作用及び植物の病害抵抗性の誘導作用を示すことを利用し、紫色光を植物体に適切に付加照射することで、病害の発生・蔓延を抑制し、農薬の使用量の低減を図れるのではないかという発想のもと、苗生産時の病害防除のための光環境制御技術を開発することを目的とする。この目的のもと、以下を目標に実験を進めた。

(1) 紫色光の付加照射方法の開発

紫色光を付加照射する方法として、自然光下、人工光下の両方で使用できる補光装置を開発し、補光方法を確立する。

(2) 紫色光照射が植物苗の生育及び病害発生に与える影響の調査

紫色光は光合成の作用光にもなりうることから、病害の抑制と同時に生育促進の可能性についても検討する。

(3) 病害防除メカニズムに関する知見収集

紫色光照射が植物の病害抵抗性を向上させるメカニズムに関する知見を収集する

(4) 苗生産における紫色 LED 補光法の提案

苗生産における病害防除法としての紫色 LED 補光方法に関する提案を試みる。

3. 研究の方法

(1) 苗生産用 LED 補光装置と光強度分布解析法の確立

苗生産の現場へのヒアリングや大学附属農場での栽培試験から、苗生産において要求される補光装置の性能を以下のように抽出した。

可搬性

一般に、苗生産のスペンは短く、補光装置の複数の植物種への兼用を考えると、設置場所や設置位置を変えることが頻繁に起こることが想定され、可搬性に優れることが要求される。

小型化

日射や人工光照射の遮蔽を最小限に抑えるために、小型であることが必要である。

柔軟性

苗の形状や大きさは多様であることにより、照射強度や照射方向(光源の設置位置など)の自由度が高いことが望まれる。

これらの要求を満たす実験用の補光装置を作成した(以下、LED 補光装置)。光源には 405 nm(生産ロット等により、404~407 nm に変動有)をピーク波長に持つ表面実装型 LED ランプを使用し、それをライン状の基盤(幅 1cm、長さ 20~40 cm)に一定間隔で配置して、さらにそれらが、複数接続できるようにした。本 LED 補光装置は、非常に軽量(1本、12~18 g 程度)で、日射の遮光も少ない。照射強度は、電流により調節できる。人工光の場合、光源の隙間に設置することで、照射光の遮蔽が最小限に抑えられる。

さらに、補光を効果的に行うには、補光により、植物群落表面の光強度分布がどのように変化したかを適切に把握する必要があることから、Ibaraki ら(2012)が提案した方法をもとに、Android タブレット上で人工光照射時の群落表面受光強度分布を簡便に解析できるシステムを開発した(業績)。本システムは、群落表面上 1 点の PPFD の実測をもとに、群落表面の PPFD ヒストグラムを、リアルタイムで作成することができる。

(2) 様々な植物苗生産における紫色 LED 光照射の影響調査

供試植物には、トマト、ムラサキ、ナス、キュウリ、インゲンマメ、メボウキ(バジル)、カンゾウを用いた。

ナス、キュウリ、カンゾウについては、紫色 LED 補光時の生育及び自然発生病害の状況調査を、インゲンマメ、メボウキについては、紫色 LED 光照射下で病原菌を接種し、発病状況の調査を行った。また、すでに病害抑制効果が確認できているトマトについては、実際

の苗生産の条件で、紫色 LED 補光の生育への影響のみを調査した。

また、ムラサキに関しては、組織培養による苗生産を想定し、紫色 LED 光照射がムラサキ培養小植物体の生育に与える影響を調査した。

生育及び自然発生病害の調査は、環境制御型苗生産システム（苗テラス、三菱樹脂アグリドリーム）において行い、ナス、キュウリカンゾウでは、蛍光灯による PPF $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 照射に加え、紫色 LED もしくは白色 LED で補光した試験区、および無補光区（対照区）を設定し、トマトにおいては、蛍光灯による $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 照射に加え、紫色 LED による補光を行った。それぞれ、LED 補光装置は、光源から一番近い葉で、 $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ （放射照度で 40 W m^{-2} 程度）もしくは $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ （放射照度で 60 W m^{-2} 程度）になるように設置し、1 時間中 15 分照射（15 分間照射、45 分間非照射）の照射サイクルを 1 日 8 サイクル（照射時間合計：2 時間）繰り返した。

インゲンマメおよびメボウキの苗には、紫色 LED 光を照射した後、灰色かび病菌を接種し、病害発生程度を調査した。砲弾型の 405nmLED ランプを面上に配置したプレート型の照射装置を用い、放射照度 50 W m^{-2} で 15 分間照射、45 分間非照射を 1 日 16 サイクル行った。対照区として同様の照射条件の白色光照射を行った。照射 7 日後、それぞれの葉に灰色かび病菌孢子懸濁液を滴下し、接種を行った。なお、接種後も継続して LED 光を照射する試験区も設けた。接種 3 日後に病徴を観察し、病斑直径を計測した。

(3) 紫色 LED 光照射への感受性の解析

供試植物には、キュウリ、ハウレンソウ、チンゲンサイ、ダイコンの苗を用いた。

紫色光への感受性を、同強度（PPFD が等しい）白色光を照射した場合の PSII 量子収率の変化程度との比較から、評価するシステムの構築を試みた。

一般に、PS 量子収率は、照射されている光強度と、光環境履歴により決定される。そこで、光環境履歴をなるべく統一した状態で、同一葉内で、白色光と紫色 LED 光を照射し解析するために、クロロフィル蛍光画像解析装置（FluorCAM FC800-D, PSI）を利用した。実験室内で、対象植物の葉を切り取らない状態で、クロロフィル蛍光画像解析装置のステージ上に設定した。白色ハロゲンランプ光照射下と紫色 LED 光照射下の PS 量子収率を比較するために、各植物を 30 分暗処理した後、供試植物の同一葉内の主葉脈を挟んで別の部位に、紫色 LED 光、白色ハロゲンランプ光を、PPFD $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ で、照射部位が重ならないように、同時に照射した。それぞれの光を当てた部位（以下、紫色 LED 区、白色ハロゲン区）の量子収率を、光源の照射開始から 1 分間隔で、5 分間計測した。

(4) 紫色 LED 光照射による病害抵抗性誘導のメカニズムの解明に向けた知見収集

供試植物

トマト（品種：麗夏、桃太郎）をモデル植物に実験を進めた。

紫色 LED 光照射時の活性酸素種の発生と PSII 量子収率

トマト苗（品種：桃太郎、本葉第 5 葉期）の第 3 および第 4 葉の切除葉に紫色光（プレート型照射装置を使用）を照射（放射照度 50 W m^{-2} ）した。コントロールとして同様の照射条件の白色 LED 光照射を行った。照射終了後、NBT（ニトロブルーテトラゾリウム）染色を行った切除葉を脱色し、 O_2 との反応によって蓄積するホルマゼン（青色）を観察した。さらに、上記と同様の切除葉に、一重項酸素検出蛍光プローブ（Singlet Oxygen Sensor Green, S36002, Invitrogen、以下、一重項酸素蛍光プローブ）をシリンジで浸漬し、紫色光（プレート型）を 1 時間照射（放射照度 50 W m^{-2} ）した。コントロールとして同様の照射条件の白色光照射を行った。照射終了後、蛍光顕微鏡を用いて一重項酸素との反応により検出される蛍光（緑色）を観察した。

さらに、切り取っていない葉（Attached leaf）における紫色 LED 光照射の影響を調査するために、Attached leaf に対して、一重項酸素蛍光プローブを導入した後、蛍光プローブの蛍光を実体顕微鏡を用いて観察すると同時に、クロロフィル蛍光測定から PS 量子収率もモニタリングした。蛍光の観察には、GFP 観察用のフィルター（励起波長：460 ~ 500 nm、観察波長：510 nm 以上）を取り付けた蛍光実体顕微鏡（SMZ-1000, Nikon）を使用した。PSII 量子収率の測定には PAM 式クロロフィル蛍光測定装置（Junior-PAM もしくは Mini-PAM, Walz）を使用した。30 分の暗処理後、5 分おきに葉の向軸面の PS 量子収率 F/F_m' を測定した後、葉の背軸面における蛍光カラー画像を取得し、画像中の G の強度を用いて一重項酸素発生程度を評価した。

さらに紫色 LED 光を間欠的に照射し、照射条件（照射間隔）の違いが一重項酸素の発生及び PS 量子収率に与える影響について調査した。紫色 LED 光の照射強度は PPF $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ とした。照射間隔を変えた試験区として、照射/非照射（単位：分）で 75/15、15/15、15/45 区を設定し、測定はすべて 90 分間行った。測定開始前 30 分間暗処理をし、測定開始 5 分おきに PS 量子収率と一重項酸素発生程度を測定した。

さらに、紫色 LED 光照射に加えて、PSI のみを励起する遠赤色光を同時に照射した際の一重項酸素の発生および PS 量子収率も調査した。遠赤色光の照射には、遠赤色 LED（ピーク波長 730 nm、半値幅 10 nm）を用い、PPFD $10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ （PF $120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ）の強さで照射した。

影響を与える波長域に関する調査

まず、ピーク波長の異なる3種類の紫色LED (404, 407, 409 nm)光をトマト葉に照射し、紫色LED光のピーク波長の違いが一重項酸素の発生とPS量子収率に与える影響について調査した。紫色LED光を単独で照射した場合と、遠赤色光と同時に照射した場合について、ピーク波長の異なるLED間の比較を行った。

さらに、404 nm LEDに400 nm以下の波長域を除去する短波長カットフィルターを使用し、紫色LED光特有の傾向を持つ404 nm LED光の400 nm以下の波長域がPS量子収率に与える影響を調査した。

紫色LED光照射時の光化学系の励起比率

紫色LED光照射時の光化学系の励起比率に関する情報を得るために、液体窒素温度(77K)下で、トマト葉から作成したチラコイド膜懸濁液を用いて、PSI、PSIIそれぞれに由来する蛍光(それぞれ、685 nmと730 nm)を、蛍光分光高度計(ST-8300, JASCO)で測定した。

紫色LED補光が光合成特性および病害抵抗性関連の遺伝子発現に与える影響

供試材料にはトマトを用いた。環境制御型苗生産システム(温度明期22 暗期18、PPFD $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)内で種子より発芽させたトマト幼苗(第二複葉)に、紫色LED光を2週間程度補光した際の、クロロフィル蛍光による光-光合成特性、抗酸化能、遺伝子発現を調査した。補光は、補光装置より一番近い葉で、 $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の強度で、1時間中15分照射を暗期もしくは明期12時間もしくは6時間繰り返した。2週間程度の補光を行った後、補光区で紫色LED光が照射されていた複葉の小葉(以下、照射葉)および同じ葉位の対照区個体の小葉を複数枚サンプリングし、直ちに液体窒素で凍結し、遺伝子解析、抗酸化能解析に利用した。クロロフィル蛍光による光合成解析には、小葉をサンプリングしなかった個体を使用し、照射葉を専用リーフクリップ(JUNIOR-BD, Walz)で固定して、ファイバー式ハロゲンランプ光源で光を照射しながら、携帯用クロロフィル蛍光測定装置(Junior-PAM, Walz)で、PS量子収率 F/F_m' とPPFDを測定した。PPFDを徐々に上げながら測定した後、再度PPFDを下げながら測定して、光-光合成特性を調査した。

遺伝子の発現は、凍結サンプルを液体窒素で冷却した乳鉢中で磨砕し、Total RNAを抽出した後、逆転写酵素を用いて1本鎖cDNAを合成し、これを鋳型にしたリアルタイムPCRを行うことによって解析した。ターゲット遺伝子には、病害抵抗性誘導のマーカー遺伝子であるPathogenesis related protein 1a遺伝子(以下PR1a)を用いた。キャリブレーター遺伝子として β -アクトチン遺伝子を用いた。PR1a遺伝子の相対発現値は CT

methodにより求めた。1サンプルあたり3反復のPCR反応を行った。

抗酸化能は、サンプリングした葉を凍結乾燥した後、親水性ORAC(Oxygen Radical Absorbance Capacity)値として測定した。

4. 研究成果

(1) 様々な植物苗生産における紫色LED光照射の影響調査

生育への影響

ナスおよびキュウリの苗生産において、クロロフィル含量(SPAD値)、PS量子収率といった葉の状態については、試験区間の差は見られなかったが、葉数や草丈に関しては、対照区(補光をしない場合)と比較し、紫色LED補光区で有意に大きくなる場合があった。なお、光照射条件(強度、時間)が同じであった白色LED補光区は、対照区に比べ、葉数、草丈がわずかに増加する傾向が見られたが、有意差は認められなかった。また、トマトに関しては、明確な生育促進効果は認められなかった。このことはトマトの苗生産時の栽培環境の光強度が $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ と高めで、補光によるPPFDの増加が相対的に小さかった(補光による日積算PPFD増加量は5%程度)ことに起因していると考えられた。

病害抑制効果

キュウリの自然発生病害(うどんこ病)の病斑面積を比較したところ、ある程度の光強度(最も光源に近い葉で、PPFD $150 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)で照射した場合には、病斑面積が小さくなる傾向がみられた。ただし、今回のキュウリでは、トマトでは有効とされる $100 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ では、明確な病害抑制効果は認められず、最適な照射条件が植物種により変わる可能性が考えられた。

また、インゲンマメ、メボウキに灰色かび病菌を接種した実験においても、接種後も紫色LED光照射を継続した試験区で病斑の面積が有意に小さくなり、病害抑制効果が認められた。ただし、メボウキでは接種後の照射を行わなくても病斑の拡大が抑えられていたのに対し、インゲンマメでは接種後も照射を続けないと明確な効果は認められなかった。

カンゾウの苗への補光試験

ストロンもしくは培養小植物体から育成したカンゾウの苗への照射試験においても、紫色LED補光は、生育を促進し、葉の一部の枯れ等の生理障害(病原菌が特定できず病害とは断定できない)の発生を抑制できていた。

紫色LED付加照射がムラサキ培養小植物体の生育に与える影響

ムラサキ培養小植物体に様々な波長の光の付加照射を行った結果、紫色LED光付加照射区で腋芽数が有意に増加し、この腋芽を継代培養に使用することで培養効率(個体数増加率)が向上した。ムラサキ培養小植物体に

対して紫色 LED 光の付加照射を行うことで、ムラサキを効率的に培養できる可能性が示された。

(2) 紫色 LED 光照射への感受性の解析

供試した 4 種の植物すべてで、照射開始 1 分後が最も PS 量子収率の低下が大きく、その後徐々に回復していく傾向がみられた。紫色 LED 区と白色ハロゲン区を比較すると、紫色 LED 区の方が PS 量子収率の低下が大きいことも共通していた。

ハロゲン光照射時と比較した紫色 LED 光照射時の PS 量子収率低下の程度を判りやすくするために、白色ハロゲン区に対する紫色 LED 区の PS 量子収率の比の経時変化を求めたところ、チンゲンサイは、照射開始 1 分の時点では他の 3 種より低下率が大きくなったが、その後は白色ハロゲン区とほぼ同じ程度まで量子収率が回復した。ダイコン、ホウレンソウは、量子収率の白色ハロゲン区に対する比が照射開始 3 分後からほとんど変化していない。キュウリは他の 3 種に比べて試験区間の差が大きい状態が長く続いていることが認められた。

以上のことから、PS 量子収率の低下程度から判断して、植物種により紫色光に対する感受性が異なる可能性が示唆された。今後は、病害抵抗性に関わる遺伝子の発現や生長調節物質の含量との関係も調査することで、この実験系を用いた紫色光感受性評価手法の有効性を検討する必要がある。

(3) 紫色 LED 光照射による病害抵抗性誘導のメカニズムの解明

紫色 LED 光照射時の活性酸素種の発生と PS 量子収率

トマト切除葉における紫色光照射時の O_2^- の発生をホルマザン法で調べた結果、紫色 LED 光 60 分間および 180 分間照射した葉においてホルマザンの蓄積が検出された。このことから、紫色光は、 O_2^- の生成を誘導すると考えられた。なお、360 分間照射葉ではホルマザンの蓄積は見られなくなり、トマトの O_2^- 消去系（スーパーオキシドジスムターゼやグルタチオン系）が十分作動する状態になっていることが示唆された。また、蛍光プローブにより、切除葉における一重項酸素の発生を調べたところ、同様の照射条件の白色 LED 光照射と比較して、紫色 LED 光照射葉では、一重項酸素との反応により検出される緑色蛍光が多く観察され、紫色光照射によって一重項酸素が生成する可能性が示唆された。

さらに、Attached leaf に対して、紫色 LED 光照射時の一重項酸素の発生と PS 量子収率の発生を調べた結果、紫色 LED 光照射時には、白色光（ハロゲンランプ、白色 LED）照射時と比較して、一重項酸素に対応した蛍光強度が高くなり、Attached leaf においても一重項酸素が発生する可能性が示唆された。また、同時に計測したクロロフィル蛍光から、

紫色 LED 光照射時は PS 量子収率が低くなることも確認でき、一重項酸素の発生と何らかの関係があることが示唆された。

さらに、紫色 LED 光と同時に PSI のみを励起する遠赤色光を照射すると、一重項酸素の発生と PS 量子収率の低下が緩和される傾向が認められ、紫色 LED 光照射時の PS 量子収率の低下と一重項酸素の発生には、光化学系の励起バランスが関与している可能性が推察された。

また、紫色光の間欠照射の影響を調べたところ、15/15 区、15/45 区では、照射時に一重項酸素が発生し続けた。一方、連続照射時間が長い 75/15 区では、照射開始からしばらく経過すると一重項酸素に対応した蛍光の強度が増加しなくなる傾向が認められた。以上のことから、照射時間間隔は、一重項酸素の発生に影響を与える可能性があり、照射を続けることで、一重項酸素の発生の要因が緩和される可能性が示唆された。

影響を与える波長域に関する調査

ピーク波長の異なる 3 種類の紫色 LED 光を単一照射した際の一重項酸素発生程度と PS

量子収率を測定した結果、PS 量子収率は 404 nm LED 区で最も低下し、一重項酸素発生程度は 404 nm LED 区と 409 nm LED 区で高い値を示した。また、遠赤色光の付加照射の影響を調べた結果、遠赤色光付加照射によって 404 nm LED 区で一重項酸素発生程度が低下し、PS 量子収率は上昇し、407 nm LED 区、409 nm LED 区では一重項酸素発生程度が増加し、PS

量子収率は低下、あるいは変化しないという異なる結果が得られた。これら結果から、今回の実験では、404 nm LED 光のみが、今までの研究で示されている紫色 LED 光特有の傾向を持ち、光化学系の励起バランスを崩していると考えられた。さらに、404 nm LED に 400 nm 以下の波長域を除去する短波長カットフィルターを使用し、400 nm 以下の波長域が PS 量子収率に与える影響を調査した結果、400 nm 以下の波長域を除去すると PS 量子収率の低下が抑制されとともに、遠赤色光付加照射の影響が小さくなる傾向が認められた。このことから、400 nm 以下の波長域が光化学系の励起バランスを崩し、PS 量子収率を低下させている要因の 1 つである可能性が示唆された。

紫色 LED 光照射時の光化学系の励起比率

液体窒素温度下で、クロロフィル蛍光を測定したところ、僅かではあるが、405 nm 光は、青色光（480 nm）と比較して、PS 由来の蛍光を多く発し、PS を優先的に励起している可能性を示すデータを得た。

紫色 LED 補光が光合成特性および病害抵抗性関連の遺伝子発現に与える影響

開発した苗用 LED 補光装置を用いて、トマト苗の展開葉に、2 週間補光処理を行い、光合

成特性、病害抵抗性に関する遺伝子発現、抗酸化能を調査した。その結果、まず、紫色 LED 補光を行った葉においては、病害抵抗性遺伝子 PR1a の発現が上昇し(2~3 倍程度) 抗酸化能を示す ORAC 値が上昇した(補光区 13.5 $\mu\text{MTE g}^{-1}(\text{FW})$ 、対照区 8.5 $\mu\text{MTE g}^{-1}(\text{FW})$)。また、クロロフィル蛍光から測定した電子伝達速度から求めた光-光合成曲線が補光しない時に比べ、下方にシフトする(特に中強光域で差が広がる)ことも認められた。さらに、補光条件(照射時間パターン)の違いにより、病害抵抗性遺伝子発現の程度や光合成特性が変化したが、ばらつきが大きく、照射条件の最適化には至らなかった。しかしながら、中強光域(400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上)での電子伝達速度の低下と遺伝子 PT1a 発現程度にはある程度関係性が認められた。

抗酸化能の増加や電子伝達速度の低下には、紫色 LED 光照射による活性酸素種の発生が関わっている可能性があることから、病害抵抗性の誘導にもこのことが関係している可能性も推察される。今後この点に焦点を絞った詳細な解析が望まれる。

(4) 苗生産における紫色 LED 補光法

本研究で得られた結果から、苗生産においても、紫色 LED 補光は、病害抑制に有効であることが明らかになった。また、紫色 LED 光に対する感受性も植物種により異なる可能性が示唆された。メカニズムに関しては不明な点が多いが、補光条件の最適化には、遺伝子発現、一重項酸素発生、光合成特性の解析が有効であると考えられる。

<引用文献>

Ibaraki, Y, Yano, Y, Okuhara, H, Tazuru, M: Estimation of light intensity distribution on a canopy surface from reflection images, *Environ Control Biol* 50:117-126, 2012

Imada K, Tanaka S, Ibaraki Y, Yoshimura K, Ito S., Antifungal effect of 405-nm light on *Botrytis cinerea*. *Lett Appl Microbiol.* 59:670-676, 2014

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 6 件)

Miyoshi T, Ibaraki Y, Sago Y : Development of an Android-tablet-based system for analyzing light intensity distribution on a plant canopy surface. *Comput Electron Agric* 122:211-217, 2016. 査読有. 10.1016/j.compag.2016.01.031

増田陽介・荊木康臣: 紫色 LED 光照射時の光化学系の励起バランスに関する基礎的研究. *中国四国の農業気象*, 28: 27-28、

2015 査読無

三好達也・荊木康臣・佐合悠貴: 人工光下の植物群落における光強度分布解析. *中国四国の農業気象*, 28: 31-32、2015 査読無

山本晃大・荊木康臣: 特定波長光の付加照射がムラサキの培養効率に与える影響. *中国四国の農業気象*, 27: 14-15、2014 査読無

森尾聡・荊木康臣・荒木英樹: 405nmLED 光補光時のトマト葉における光合成特性の経時変化. *中国四国の農業気象*, 27: 8-9、2014 査読無

澤谷悠・荊木康臣: 異なるスペクトルを持つ紫色 LED 光照射下における PSII 量子収率. *中国四国の農業気象*, 27: 54-55、2014 査読無

[学会発表](計 5 件)

Masuda Y., Ibaraki Y.: Singlet oxygen generation in tomato leaves under blue-violet LED irradiation. ISAM2016, 2016 年 3 月 16-17 日、岡山大学(岡山県、岡山市)

荊木康臣・伊藤真一・吉村和弘: LED 補光による病害防除. 日本農業気象学会 2015 年全国大会、2015 年 3 月 17 日、つくば研究交流センター(茨城県、つくば市)

森尾聡・荊木康臣・荒木英樹: 405nmLED 光補光時のトマト葉における光合成特性に関する研究. 日本生物環境工学会 2014 年全国大会、2014 年 9 月 11 日、明治大学(東京都、千代田区)

Ibaraki, Y, Ito, S, Araki, H, Yoshimura, K, and Yoshioka, R: Suppression of plant diseases using LED supplementary lighting. 2014 年 8 月 16-18 日、IHC2014、ブリスベン国際コンベンションセンター、ブリスベン(オーストラリア)

広中健人・荊木康臣、紫色光照射時の遠赤色光付加照射が PSII 量子収率と一重項酸素の発生に与える影響. 日本農業気象学会 2014 年全国大会、2014 年 3 月 18 日、北海道大学(北海道、札幌市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

荊木 康臣 (IBARAKI, Yasuomi)
山口大学農学部・教授
研究者番号: 50242160

(2) 研究分担者

伊藤 真一 (ITO, Shinichi)
山口大学農学部・教授
研究者番号: 30243629

荒木 英樹 (ARAKI, Hideki)
山口大学農学部・准教授
研究者番号: 90346578