緑色光照射による植物の病害抵抗性誘導

―緑色光によるイチゴ炭そ病防除から―

株式会社四国総合研究所バイオ研究部 工 藤 り か

はじめに

昨今,食の安全・安心が求められる中で,無農薬・減 農薬栽培のニーズはますます高まってきている。しか し,栽培の現場では何らかの方法で病虫害の防除を行わ ないと,これらの被害によって安定した収量が見込めな いことから,従来の化学農薬に替わる新しい病害防除技 術が強く求められている。

このため近年、農薬散布を抑えながら、耕種的、生物的、物理的防除を取り入れることで環境への負荷を軽減した IPM(Integrated Pest Management:総合的病害虫管理)防除の普及が進んでいる(梅川ら、2005)。その一環として、黄色光や緑色光で夜間の夜蛾類の活動を低下させる防蛾灯も積極的に取り入れられるようになった。これまで IPM 防除における光利用は防虫が主な目的であったが、ようやく最近になり特定波長を利用した植物病害防除技術、いわゆる「光防除」が着目されはじめるようになった(現代農業編集部、2009)。

光は植物の形態形成や各種反応に重要な要因の一つで ある。植物へ単色光を照射した場合の反応については、 これまで非常に多くの研究がなされている。植物はクロ ロフィルなどの集光色素のほかに、光センサーとしてク リプトクロムやフォトトロピン等青色受容体とフィトク ロムなど赤色受容体を持ち、これらは葉緑体光定位運 動、気孔開口、光周性花成誘導など各種光反応のセンサ ーとして機能していることが明らかになっている(松岡 ら, 2006)。一方, 植物は, 病害, 虫害, 温度, 水分等 様々なストレスを受けると、自ら各種の生体防御反応を 起こすことが知られている。植物に病害抵抗反応を誘導 する活性をもつ物質は総称してエリシター (Elicitor) と呼ばれ、植物病原菌の細胞壁の分解物などの生物的エ リシターと重金属や界面活性剤等の非生物的エリシター とに分類され、紫外線もエリシターの活性を持つことが 知られている (Robatzek et al., 2001)。

Induction of Disease Resistance in Plant by Green Light Irradiation. By Rika Kudo

(キーワード:緑色光,病害抵抗性誘導,イチゴ炭そ病,果菜類 灰色かび病,ホウレンソウ立枯病,オオバ斑点病,光防除,緑色 LED 光源) そこで、非生物的エリシターとして光にターゲットを 絞り、安全性や農業資材などへの影響を考慮して、可視 光の利用可能性を検討するため、病害抵抗性誘導に及ぼ す光照射の影響および実際の植物での病害防除効果の検 証を行った。

さらに、緑色光による病害抵抗性誘導に関する新たな知見をもとに、実際の農業生産の現場での「光防除」効果の検証を進めながら、農産物の高付加価値化への光利用の可能性を検討している。

ここでは、緑色光による病害抵抗性誘導の基礎的研究 から実用化を目指した生産現場での実証研究に至る取組 みを紹介する。

I 緑色光照射による病害抵抗性誘導

我々は、まず LED (Light Emitting Diode: 発光ダイオード)を用いて各種波長の光をトマトの幼苗に照射し、病害抵抗性にかかわる各種遺伝子の発現を調べた。その結果、病害抵抗性にも関与すると言われている植物ホルモンの一種であるジャスモン酸の生合成に必要なアレンオキシドシンターゼ (AOS)遺伝子が、緑色光を照射した際にのみ特異的に発現することを見いだした(図-1)。また、緑色光照射により AOS遺伝子と同様にジャスモン酸の生合成に関与するリポキシゲナーゼ(LOX)遺伝子の発現量増加や(図-2)、キチナーゼなど各種 PR タンパク質の遺伝子発現も誘導されることを確認した。

さらに、イネおよびイチゴを対象に DNA マイクロアレイを用いて緑色光照射により発現量が増大する遺伝子

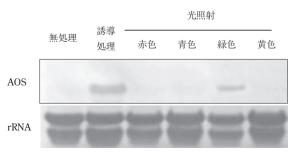


図-1 光照射によるトマト AOS 遺伝子の発現誘導 無処理:暗所放置,誘導処理:傷処理,光照射: LED による照射.

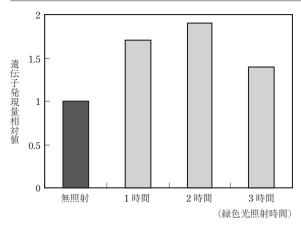


図-2 緑色光照射によるトマト LOX 遺伝子の発現誘導

を調べた結果, Heat shock protein などの各種ストレス 関連遺伝子や, Osmotin-like-protein 等各種病害抵抗性 にかかわる遺伝子の発現量が緑色光照射により増えるこ とが確認された。

これらのことから、これまで植物の光合成にはあまり 寄与しないということで注目されていなかった緑色光の 照射が、植物に対して一種の適度なストレス刺激とな り、病害抵抗性の誘導を引き起こすのではないかと推察 している。

II 緑色光による病害防除効果

緑色光照射により病害抵抗性に関与する遺伝子の発現が誘導されることが明らかになったことから、主要な農作物の病害を対象にして、人為的に病害を100%発生させる病害発生系を構築し、実験室レベルで防除効果の評価を行った。次に、本評価系において効果を確認した後に、実際の生産者圃場において実栽培での防除効果の検証を進めた。

1 イチゴ炭そ病

栽培現場での防除ニーズが大きいイチゴ炭そ病に対して抑制効果があるかを調べた。本病害は、イチゴの育苗時から本圃において、特に高温多湿時期に多発して株を枯死させる。感染力が強く病状の進行も早いうえ、農薬耐性の炭そ病菌も出現しており、近年の地球温暖化で発病のリスクがいっそう高まっている。そこで、イチゴ炭そ病に対する緑色光照射の効果を調べた。

イチゴの組織培養苗にLEDを用いて光照射した後、 イチゴ炭そ病菌(Glomerella cingulata)の分生子懸濁液 を葉面接種し、一定条件下のグロースチャンバー内で栽 培した。2週間後、葉面におけるイチゴ炭そ病の病斑を 観察した。その結果、青色光、赤色光および黄色光を照

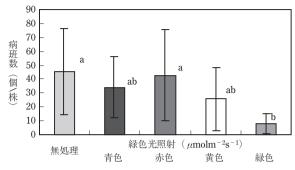


図-3 イチゴ炭そ病発生に及ぼす光質の影響 *異なる英文字の間にはTukey の多重比較法により 5 %水準で有意差があることを示す (n = 5).

射しても病斑の発生は抑制されず、緑色光照射のみによって有意に病斑の発生が抑制されることが明らかになった(図-3)。また、病害防除効果の高い最適な緑色光照射条件を検討した結果、これまでのところ、光量子量: $80\,\mu\mathrm{molm^{-2}\,s^{-1}}$ 、照射時間:夜間 2 時間、照射間隔:3 日に 1 回であることが明らかになっている(工藤ら、2010)。

次に本技術の実用性を見極めるために、実際のイチゴ 圃場において緑色光照射の効果を調べた。イチゴの育苗 時および本圃栽培時に、緑色 LED や緑色蛍光灯、緑色 メタルハライドランプを用いて、上記照射条件にて緑色光を照射しながら栽培し、イチゴ炭そ病の発生率を無照 射区と比較した。四国内の数箇所で試験を行った結果、いずれの試験地でもイチゴ炭そ病の発生率が 1/3 から 2/3 に低減できることが確認できた(工藤ら、2007)。また、イチゴ炭そ病の保菌状況調査に用いられるエタノール浸漬簡易診断法により炭そ病保菌率の推移を調べた結果、緑色光照射により炭で高速が抑制される傾向が認められ、発病リスクが低減できることが明らかになった。

このことから,親株の管理・育成段階や育苗段階で緑 色光照射を行うことにより,その後の病害発生を低減で きる可能性が示唆された。

2 果菜類灰色かび病

果菜類の施設栽培では、灰色かび病の対策が課題である。本病害は、灰色かび病菌(Botrytis cinerea)により発病する。寄生範囲が広いため、ほとんどすべての植物に感染する。果菜類では果実が侵されるため被害が大きい。低温多湿を好むため、春先から梅雨もしくは秋口から初冬の気温がやや低く、湿度の高い、雨が多くて日照が不足しがちな時期に発生が多く見られる。薬剤耐性を示す灰色かび病菌も出現しており、新規な農薬に対しても数年で耐性菌が出現することもあり、現場での防除が

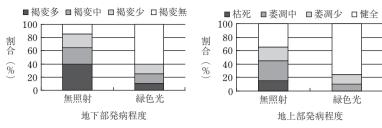


図-4 ホウレンソウ立枯病に及ぼす緑色光照射の影響 (n = 10)

困難な病害となっている。

そこで、ピーマン、ナス、トマト、キュウリの幼苗を 用いて緑色光照射した後、灰色かび病菌の分生子懸濁液 を葉面接種し、一定条件下のグロースチャンバー内で栽 培した。2週間後、葉面における灰色かび病の病斑を観 察した。その結果、緑色光照射によって有意に病斑の発 生が抑制されることが明らかになった。また、これらの 果菜類について病害防除効果の高い最適な緑色光照射条 件を検討した結果、イチゴと同じ条件であることがわかった。

3 ホウレンソウ立枯病

我々はかつてホウレンソウを対象に実用規模の葉菜類 植物工場の研究開発に携わっていた。植物工場システム で用いられている養液栽培では、農薬がほとんど使用で きず、金属銀剤やろ過、加熱等限られた防除方法しか使 用できない。ここで我々は、ホウレンソウ立枯病の防除 にこの上なく苦慮した経験がある。

そこで、養液栽培において防除が大変困難である水媒伝染性病害を対象に緑色光照射による抑制効果を調べた。養液栽培で育成したホウレンソウ幼苗に、水媒伝染性病害である立枯病菌(Pythium ultimum)の卵胞子を用いて根圏から菌接種し、夏季の温室内で栽培した。緑色光は蛍光灯を用いてイチゴと同様の照射条件で照射した。2週間後、根の褐変や地上部の萎凋を観察した。その結果、無照射株では立枯病菌の感染により根の褐変と生育不良が見られたが、緑色光照射株では根の褐変も少なく旺盛な生育を示したことから病原菌の感染が抑制されたと推測され防除効果を確認した(図-4)。これらの結果から、養液栽培のように根圏部から感染する病害に対しても、地上部からの照射によって感染を抑制できることが示唆された(工藤ら、2009;2010)。

4 オオバ斑点病

四国において高知県、愛媛県はオオバ(青シソ)の主要産地である。栽培中にオオバ斑点病(Corynespora cassiicola)が発生すると、収穫業の商品価値が全くなくなり廃棄され、大幅な減収となる。オオバは、防除に使

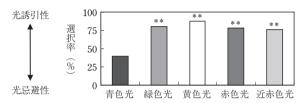


図-5 ミヤコカブリダニの行動に及ぼす光波長の影響 (n = 30)

照射条件: $40 \mu \text{molm}^{-2} \text{s}^{-1}$, 光源:LED **: 1%水準で有意差あり.

用できる登録農薬が非常に少なく、本病害の対策は非常 に困難である。

また、オオバは短日性植物であり、夏から秋に葉腋から分化した枝梢に総状花穂を形成する。オオバの周年栽培では出蕾を抑制し、継続的に葉を収穫するため、日長調節に電照を利用する。

そこで、高知県の生産者圃場において、緑色 LED 電球を通常の白熱電球の代わりに電照光源として用いオオバを栽培したところ、出蕾抑制の電照効果が確認できるとともに、オオバ斑点病の顕著な抑制効果も検証することができた。

III 緑色光の多様な効果

我々は四国内の生産者の協力を得て、緑色光による光防除について実圃場で検証を進めている。これらの実証試験において防除効果だけでなく、ハダニ抑制効果、生育促進効果(果実肥大促進効果)や品質向上といった緑色光の新たな効果を見いだすことができた(Kupo et al., 2011)。

1 ハダニ防除効果

イチゴ栽培ハウスの数箇所において緑色光を照射するとハダニの被害が軽減される現象が観察された。その原因を探るために、まずハダニの走行性に及ぼす光照射の影響を調べたが有意な傾向は見られなかった。そこでハダニの天敵として使用されているミヤコカブリダニの走行性に及ぼす光照射の影響を調べた結果、緑色光から長波長側の光がミヤコカブリダニに対して光誘因性を持つ

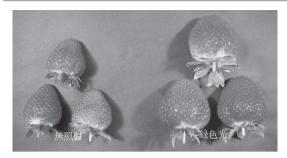


図-6 イチゴの果実発育に及ぼす緑色光照射の影響(展開第3葉,第1果房頂果)

ことが明らかになった(図-5)。この現象を利用することで、ハウス周辺に生息するカブリダニ類をハウス内に誘引することや、カブリダニ類を天敵農薬として使用するケースではカブリダニ類の拡散を防ぎ防除効果を高めることが期待できると考えられた。そこで、天敵利用のイチゴハウスにおけるハダニの防除効果を調べた結果、緑色光照射したケースでは葉面のハダニ数が著しく抑制できることが確認できた。

2 生育促進効果

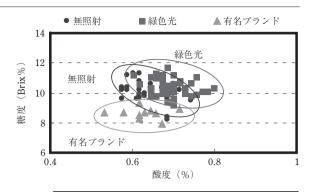
植物に緑色光を照射することにより、生育が促進される傾向が認められた。そこで、この効果を明らかにするために、育苗期から本圃栽培期にかけてイチゴ(品種: 'さちのか') に前述の照射条件で緑色光を照射しながら栽培を行い、生育や果実肥大への効果を調べた。本圃栽培は、電照を利用した慣行の促成栽培作型で行った。その結果、葉面積、地上部新鮮重、地下部新鮮重が増加する等株全体の生育が促進されるとともに、果実が肥大化する現象が認められた(図-6)。収穫した果実はそう果数が増加し、糖酸比も向上していた。この効果は、第1果房だけでなく第5果房まで継続した。そう果数と果実肥大には関連があることが知られており、これに加えて葉や根の生育が旺盛になったことが果実肥大促進につながったものと考えられた。

3 品質向上効果

緑色光照射による実証栽培において果実品質を分析評価したところ、果実の糖度が向上し「イチゴが甘く美味しくなる」ことが明らかとなった(図-7)。これにより、緑色光を照射しながら栽培した高品質なイチゴとして高付加価値化を図ることができた。

おわりに

我々は、農業電化の一環として「光防除」技術の開発 に取組み、植物に緑色光を照射することで植物が本来有 している病害抵抗性を向上させ、植物病害の感染と発病



高品質とされるイチゴの品質

・糖度:8以上 ・酸度:0.7程度

図-7 果実の糖度と酸度の比較

を予防できることを見いだした。そして、農作物への緑色光照射は、病害防除効果だけでなく、ハダニ防除効果、生育促進効果(果実肥大促進効果)や品質向上といった多様な効果を示すことが明らかになった。いずれも営農的に大きなメリットであり、農薬のように登録の必要や安全性の問題もないため、新しい光利用技術として利用価値が高いと考えられる。

現在、我々は緑色 LED 光源を商品化(商品名:みどりきくぞう®)するとともに、これらの緑色光照射技術を核として IPM 防除資材の天敵、微生物農薬と有機資材等を組合せ環境への負荷を軽減した農法の構築を進めている。我々はこれらの農法を「みどりきくぞう®」農法と命名し、現在生産者や農薬メーカーとの協力体制で栽培技術のマニュアル化を進めている。また、実用規模において本農法による消費者ニーズの高い「安心・安全で美味しいイチゴ」作りに取組みながら、生産物のブランド化、新たな流通・販路開拓を試みている。

今後は、光防除技術を核とした本農法を発展させ、 様々な農作物への適用拡大を進め、環境に優しい光利用 技術として施設園芸や植物工場等に広く普及を図ってい きたいと考えている。

引 用 文 献

- 1) 現代農業編集部 (2009):現代農業 88(6):168~171.
- 2) 工藤りから (2007): 園学雑 76:265.
- 3) ——— ら (2009): 日本生物環境工学会 2009 年福岡大会講演 要旨: 16 ~ 17.
- 4) ______ら (2010): 日本生物環境工学会 2010年大会講演要旨: 116~117.
- 5) ———- ら (2010): 四国電力・四国総合研究所研究期報 94: 33~39.
- 6) Kudo, R. et al. (2011): Acta Hort. 907: 251 ~ 254.
- 7) 松岡大介ら (2006): 生物物理 46: 324~329.
- 8) Robatzek, S. et al. (2001): The Plant J. $28:123 \sim 133$.
- 9) 梅川 學ら (2005): IPM マニュアル, 養賢堂, 東京, 236 pp.