

切り花ギクに利用可能な黄色 LED パルス光によるヤガ類の防除技術

広島県立総合技術研究所農業技術センター **石** **倉** **さとし**

はじめに

園芸作物に甚大な被害を及ぼすオオタバコガやハスモンヨトウ等のヤガ類(図-1)は、薬剤抵抗性が発達しやすい難防除害虫である。さらに、これらのヤガ類は夜行性であることから昼間に見つけにくいというのに、キクやカーネーション等では、幼虫が一度花蕾に潜り込んでしまうと、化学合成農薬(殺虫剤)がかかりにくいことも、防除を難しくしている。このため、生産現場では殺虫剤の散布に替わる物理的防除法の確立が望まれてきた。

現在、多くの園芸作物の露地および施設栽培において、黄色蛍光灯による夜間照明の利用が進んでいる。夜間照明は、代表的な物理的防除法の一つであり、ヤガ類成虫の飛来を防止して産卵を防ぐことにより、農作物へ直接的な被害を及ぼす次世代の幼虫を減少させる効果がある(八瀬, 2003)とされている。しかし、多くが短日植物である切り花ギクにおいては、通常の夜間照明によって開花時期が著しく遅延する(図-2)ことに加えて、切り花品質が低下してしまうため、キクに向けて光を直接照射するような照明を行うことができなかった。

そこで、様々な実験を通じて切り花ギクの栽培にも適用可能な防蛾照明技術の開発を目指し、「防蛾効果あり」および「キクに開花遅延なし」という二律背反する課題を同時に解決するために必要となる照明条件(図-3)の探索に取り組んだ。その結果、特定のパターンの点滅光(パルス光)が有効であることを突き止めた。具体的には、発光ダイオード(LED)をON-OFFさせて得られる、黄色パルス光を活用することで、オオタバコガおよびハスモンヨトウに対し優れた防除効果があること、加えて、切り花ギクの開花時期や切り花品質には営利栽培上の問題となるような悪影響は見られないことを確認した。

本稿では、一連の研究に基づいて見いだした黄色パルス光のメリットや現地実証の結果などを中心に、今後の展望を含め、現段階での成果を紹介する。なお、紹介す

る内容の一部は、農林水産省 新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「課題名：キクのエコ生産を実現する LED を用いた防蛾照明栽培技術の開発(2008～2010年)」を活用して実施したものであり、金沢工業大学工学部、千葉大学大学院園芸学研究所、兵庫県立農林水産技術総合センター、関連企業および広島県立総合技術研究所による共同研究の成果である。

I 必要となる照明条件の探索

1 アイデアの着想

自動車教習所では、ブレーキペダルを踏み続けランプを連続点灯させるより、ポンピングにより点滅させたときに視認性が一層高まり、後続車に強くアピールできることを学ぶ。防蛾用の夜間照明においても同様に、点滅させたほうがヤガ類に対する刺激力は強く、防除効果が一層高まるのではないかと考えた。一方、切り花ギクの栽培では、開花抑制を目的としたサイクリックライティング(間欠照明)という照明技術がある。所定の時間で点灯と消灯を繰り返す節電型の照明技術でもあり、ON時間とOFF時間との割合によって、開花への影響が異なることが知られている。具体的には、OFF時間の割合が大きいくほど、開花抑制作用は低下する。以上を踏まえ、ON時間とOFF時間の最適な割合を探り出すことができれば、キクの開花に悪影響を及ぼすことなく適用できる防蛾照明技術の開発につながるかもしれないというアイデアを着想するに至った。

2 ヤガ類成虫の視覚特性の解明

ところが一概にパルス光といっても、点滅のスピードやON時間とOFF時間の組合せは無限に存在する。そこで、独自の解析手法である網膜電位計測システム(図-4)を保有する金沢工業大学工学部の協力を得ながらも、ヤガ類成虫の視覚に対してより強い刺激力をもった点滅パターンの絞り込みに取り組んだ。その結果、ON時間とOFF時間の割合が1:1から1:4の黄色パルス光を照射することで、より強い刺激を与えることが可能であり、また0.04秒以上のOFF時間の確保が重要であることが判明した。さらに、これらの特徴をもつ黄色パルス光に対してオオタバコガとハスモンヨトウの2種がほぼ同様な視覚特性を示したことから、当該2種は

Moth Control Techniques by Pulsed Lighting Yellow LEDs applicable to Cut Chrysanthemum Production. By Satoshi ISHIKURA

(キーワード：発光ダイオード、オオタバコガ、ハスモンヨトウ、物理的防除、点滅、開花反応)

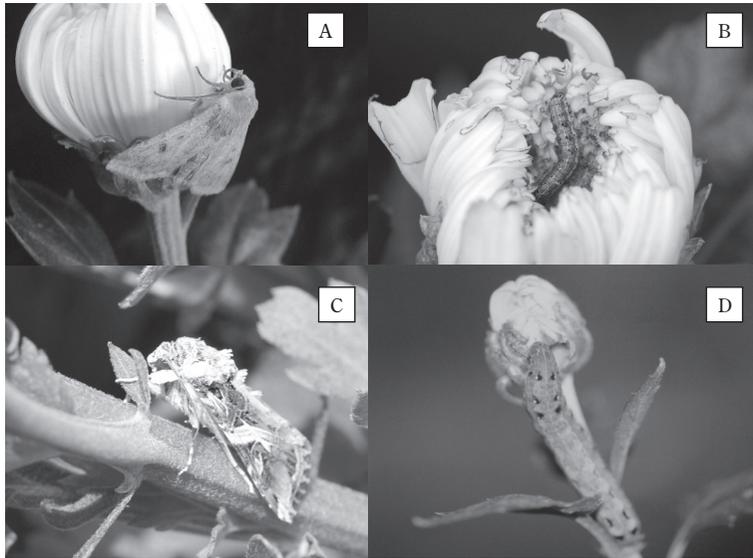


図-1 多くの園芸作物に甚大な被害を及ぼしているヤガ類
オオタバコガ (A: 成虫, B: 幼虫), ハスモンヨトウ (C: 成虫, D: 幼虫).

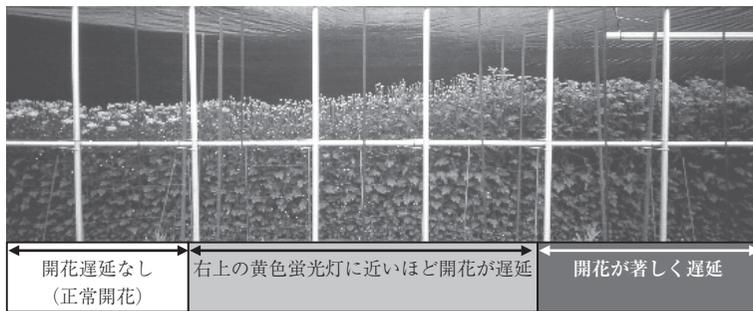


図-2 黄色蛍光灯による終夜照明下で栽培したキクに発生した開花遅延の様子
黄色蛍光灯 (Panasonic, FL40S・Y-F): 右上, 品種: 'セイローザ', 定植日:
1997年8月22日, 照明期間: 8月22日~11月25日, 撮影日: 11月1日,
黄色蛍光灯の設置高: 畝面から1.5 m.

同一パターンの黄色パルス光で防除できる可能性が高いことを見いだした (石倉ら, 2010)。

3 ヤガ類成虫の行動特性の解明

次に, 数パターンに絞って黄色パルス光を照射すると, ヤガ類成虫はどのような行動を示すのかを室内実験で検証した。具体的には, ヤガ類成虫の行動解析の分野で実績のある千葉大学大学院園芸学研究科の協力の下で, アクトグラフシステム (図-5) による検証実験に取り組んだ。その結果, ON 時間と OFF 時間の割合が 1:2, あるいは 1:4 の黄色パルス光を照射すると, ヤガ類成虫の飛翔行動は確かに抑制できることが検証できた。さらにこれらの割合をもった黄色パルス光は, 従来の黄

色連続光と比較して, 持続性の高い飛翔行動抑制効果 (照明に対する“慣れ現象”防止効果) が得られることを突き止めた (尹ら, 2012)。

4 キクの開花特性の解明

続いて, ヤガ類成虫の視覚特性および行動特性の解明と対応した ON 時間と OFF 時間の割合を設定し, 黄色パルス光下におけるキクの開花への影響を調べた。その結果, ON 時間と OFF 時間の割合が 1:4 から 1:8 の黄色パルス光であれば, 主要な秋ギクの一つである‘神馬’の開花に悪影響を及ぼすことなく適用できることが明らかとなった (図-6)。また, 照明時における茎頂付近の放射照度は, 最大でも 35 mW/m^2 (15 ルクス相当)

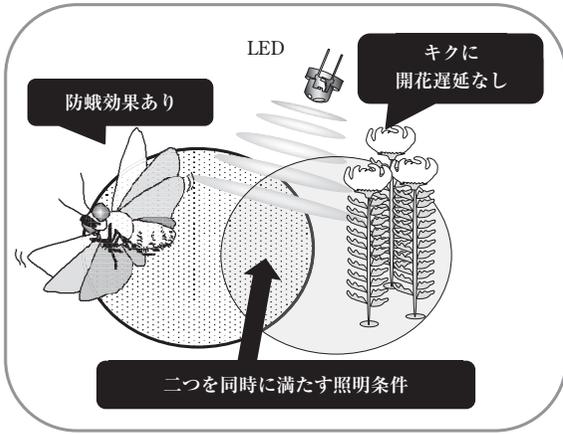


図-3 キクの防蛾を目的とする照明において必要となる条件の概念図

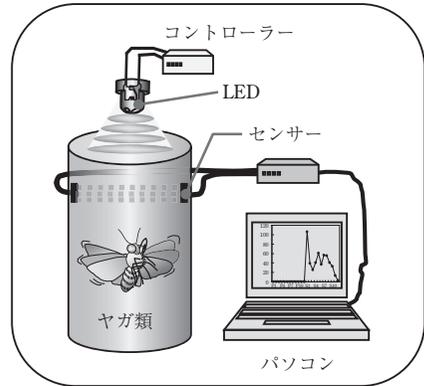


図-5 アクトグラフシステムの概略図

ヤガ類成虫に光を照射すると、照射光のもつ飛翔行動抑制効果が高い場合は、センサー間の遮断回数が少なく記録される。逆に効果が低いと成虫は盛んに飛び回るので遮断回数は多く記録される。これを解析することで照射光による行動抑制効果を判定することができる。

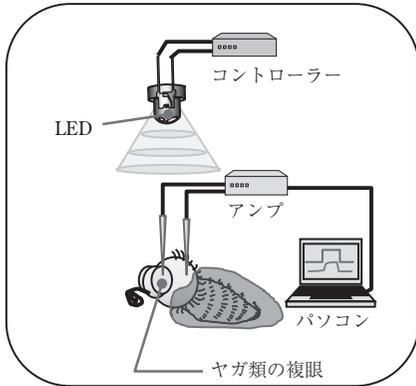


図-4 網膜電位計測システムの概略図

ヤガ類成虫の複眼に光を照射すると、複眼内部に微弱な電圧が発生する。これを増幅して解析することによって、与えた照射光を強く認識しているか否かを迅速かつ正確に判定することができる。

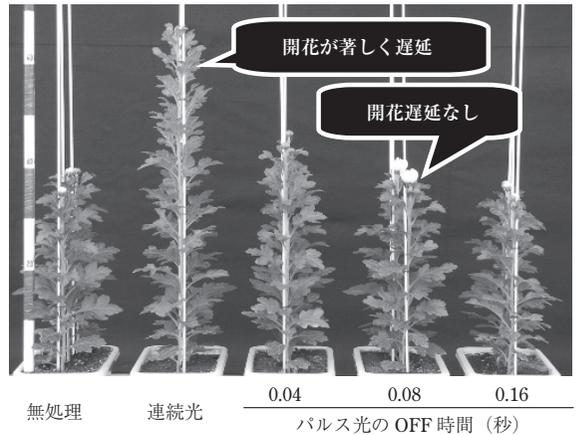


図-6 異なる OFF 時間に設定した黄色パルス光による終夜照明下で栽培した秋ギクの開花状況 (黄色パルス光の ON 時間はすべて 0.02 秒)

品種：‘神馬’，LEDを一時的連続点灯したときの茎頂付近における放射照度：20 mW/m² (無処理を除く)，定植日：2009年11月23日，照明期間：11月23日～2010年2月21日，温度管理：15℃加温，撮影日：2010年1月18日。

にとどめる必要があることも判明した (石倉ら, 2012)。

II LED ランプの試作と現地実証

1 LED ランプの試作

関連企業の協力を得て、これまでに得られた知見に基づき、図-7に示した相対分光放射照度の黄色蛍光 LED を6個実装した LED ランプ (図-8) を試作した。試作した LED ランプは、筐体内に専用の電子回路を内蔵しており、既存の防水ソケット (口金 E26) に装填し通電することで ON 時間 0.02 秒/OFF 時間 0.08 秒 (ON 時間と OFF 時間の割合が 1:4) の黄色パルス光を放射することができる。また、1灯を高さ 1.8 m に吊り下げて点灯すれば、直下から半径 3 m 以内の地面において、

防蛾に有効とされる照度の下限値 1~2ルクス (内田ら, 1978; 藪, 1999, 1.2~3.2 mW/m² 相当) を上回る放射照度 2.6~9.1 mW/m² を確保できる (図-9)。さらに、主要な秋ギク‘神馬’に有意な影響を及ぼすことなく適用できる放射照度の上限値が 35 mW/m² という前述した知見に基づき、LED ランプ直下の地面からの高さが

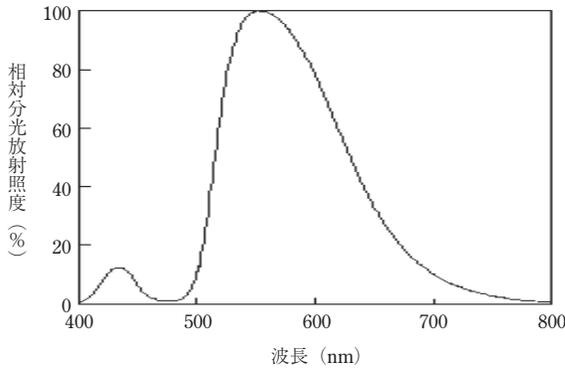


図-7 供試した黄色蛍光 LED の相対分光放射照度
※ピーク発光波長：約 560 nm.

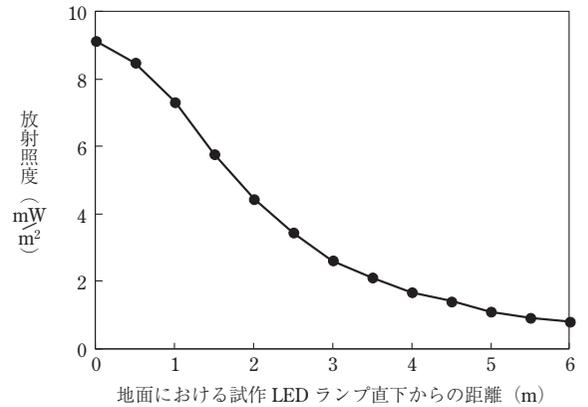


図-9 試作した LED ランプを地上 1.8 m に固定し連続点灯させたときの地面における放射照度



図-8 試作した LED ランプ (AC100 V 対応)
既存の防水ソケット (E26) に装填して通電することにより、ON 時間 0.02 秒/OFF 時間 0.08 秒 (ON 時間と OFF 時間の割合が 1 : 4) の黄色パルス光を放射できる。

(石倉, 2014 を一部改変)

1 m の位置においても、放射照度が 35 mW/m^2 を大きく超えないように LED ランプの配光特性を工夫した。なお、複数個を設置する場合は、地面からの設置高が 1.8 m で、ランプの設置間隔を 6 m とすることで、前述の防蟻有効照度の下限値を確保できる。

2 現地実証

農業技術指導所 (旧：農業改良普及所) や地元の JA などから聞き取りを行い、対象害虫としたオオタバコガやハスモンヨトウ幼虫による食害発生が、例年多く見られる露地ギク圃場を選定し、試作した LED ランプによ



図-10 現地露地ギク圃場における LED ランプ点灯時の様子
撮影日：2010 年 7 月 9 日。

る被害防止効果と、オオタバコガおよびハスモンヨトウの性フェロモントラップを用いて誘引虫数の低減効果を調査した。

実験は、秋ギク‘精の波’を 2010 年 5 月 31 日に株間 $10 \text{ cm} \times$ 条間 45 cm の 2 条で定植し、3 本仕立てで管理している広島県庄原市西城町の露地ギク圃場 (図-10) で行った。供試光源として、前述の LED ランプ (図-8) を用いた。無処理 (LED ランプなし) 区およびパルス光区の 2 区を設け、両区の間隔に 9 m の距離を確保して、無処理区にパルス光が干渉しないようにした。パルス光区では、畝地表面からの高さが約 1.8 m の位置に 6 m の間隔で、調査対象としたキクを取り囲むように、LED ランプを 6 個配置し、7 月 1 日～9 月 29 日までの期間、毎日 17 時～翌朝 7 時まで終夜照明した。パルス光区の点灯方式は、6 個の LED ランプを連関してパルス点灯させる同期方式とした。無処理区では、定植日以降を自

然日長下で管理した。なお、防蛾効果をより明確に判定しやすくするために、両区での殺虫剤は、取扱説明書中の適用害虫としてオオタバコガとハスモンヨトウの記載がなく、これらのヤガ類に対する影響が小さいと考えられる殺虫剤のみの使用に制限して実証実験を行った。7月1日～9月16日まで7～14日ごとに、各区36株ずつ害虫による食害を調査し、食害茎率を算出した。加えて、市販されているオオタバコガおよびハスモンヨトウの性フェロモンルアーのフェロモン含量を、それぞれ10分の1に減じた専用開発品（信越化学工業製）とファネルトラップを用いて、7～14日ごとに誘引虫数を調査した。

その結果、パルス光区における LED ランプを一時的に連続点灯させたときの畝面からの高さが1mの位置における放射照度は、最小1.2mW/m²から最大31.4mW/m²の範囲で分布していることを確認した（データ省略）。パルス光区において点灯を開始した7月1日から開花（出荷）が終了した9月29日までの日最高気温は20.7～36.6℃、日最低気温は11.5～25.8℃で推移した（データ省略）。オオタバコガ幼虫、あるいはハスモンヨトウ幼虫によると見られるキクの食害茎率は、無処理区と比較してパルス光区で低く推移し、9月16日の最終調査日には無処理区で40.9%、パルス光区では9.5%となった（図-11）。オオタバコガ成虫（オス）の誘引虫数は、両区で少なく推移し、無処理区では8月4日～8月13日に1頭であり、パルス光区では調査期間を通じて0頭であった（データ省略）。ハスモンヨトウ成虫（オス）の誘引虫数は、無処理区で8月13日以降に急激に増加し、7月1日から最終調査日である9月

16日までの合計が837頭となった（図-12）。パルス光区では無処理区と比較して少なく推移し、調査期間中の合計は413頭となった。殺虫剤の散布履歴は、還元澱粉糖化物液剤が計8回、イミダクロプリド水和剤が計2回であった（表-1）。なお、キクの開花時期は、パルス光区および無処理区ではともに9月22日～9月29日となり大きな差は見られず、目視により確認した範囲では、切り花品質についても大きな差は見られなかった。

以上のように、試作した LED ランプを所定の方法に基づいて設置し点灯させることで、キクの開花時期や切り花品質に営利栽培上の問題となるような悪影響を及ぼすことなく一定程度の防蛾効果が得られることを現地露地ギク圃場においても検証することができた。なお、これらの結果は、ヤガ類に対する殺虫剤の使用を制限した条件の下で得られたものである。したがって、実際の栽培においては卓効のある殺虫剤の散布を必要に応じて適切に組合せることで、より高い防蛾効果が得られるものと推察している。

おわりに

ヒトは古来より縦と横の比率の最も均斉がとれている造形に美しさを感じ、そこには‘黄金比’と呼ばれる比率が存在していることが知られてきた。本稿で紹介した防蛾照明技術は、「美しさ」とは直接関係ないが、「防蛾効果あり」と「キクに開花遅延なし」という二律背反する課題を同時に解決するために必要となる“絶妙な明暗比率”という意味では、正に当該分野における‘黄金比’ではないかと考えている。

パルス光を採用するメリットとして、以下の三点が挙

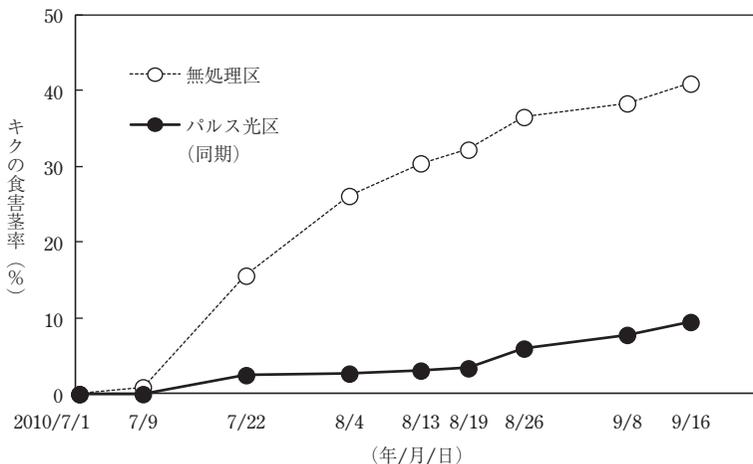


図-11 露地ギク圃場におけるヤガ類幼虫によると見られる食害茎率の推移
(石倉, 2014 を一部改変)

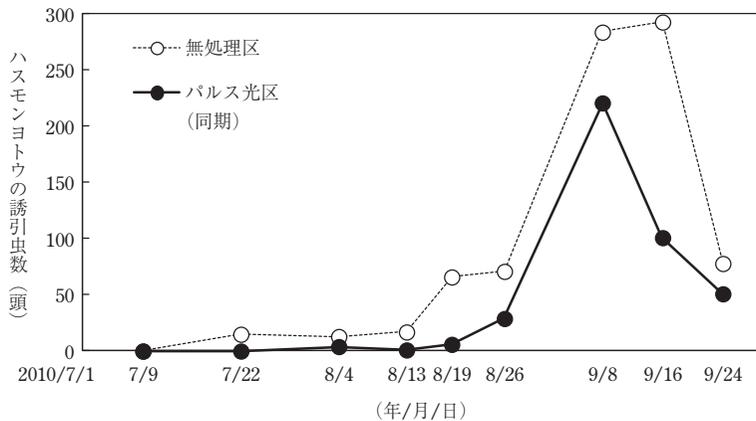


図-12 露地ギク圃場における性フェロモントラップによるハスモンヨトウ成虫(オス)の誘引虫数の推移

(石倉, 2014 を一部改変)

表-1 露地ギク圃場における殺虫剤の散布履歴

散布日	殺虫剤名	適用害虫
2010/7/4	イミダクロプリド水和剤	アブラムシ類, アザミウマ類
7/10	還元澱粉糖化物液剤	ナミハダニ, アブラムシ類
7/19	イミダクロプリド水和剤	アブラムシ類, アザミウマ類
7/25	還元澱粉糖化物液剤	ナミハダニ, アブラムシ類
8/3	還元澱粉糖化物液剤	ナミハダニ, アブラムシ類
8/11	還元澱粉糖化物液剤	ナミハダニ, アブラムシ類
8/25	還元澱粉糖化物液剤	ナミハダニ, アブラムシ類
9/1	還元澱粉糖化物液剤	ナミハダニ, アブラムシ類
9/10	還元澱粉糖化物液剤	ナミハダニ, アブラムシ類
9/18	還元澱粉糖化物液剤	ナミハダニ, アブラムシ類

(石倉, 2014 を一部改変)

げられる。第一に、照明に対し日長反応を示す秋ギクにも適用できる点である。現在、‘神馬’以外のキク品種や、他の作目への適用性を検討中であるが、それらの多くに適用できる見通しを得ている。第二に、持続性の高い防蟻効果が得られる点である。前述したとおり室内実験レベルでは、黄色連続光と比較して照明に対する“慣れ現象”が起りにくいことを突き止めている(尹ら, 2012)。また、兵庫県立農林水産技術総合センターが中心となって実施した屋外実験においても、前述したパターンの黄色パルス光の照射によって、少なくとも黄色連

続光と同等の防蟻効果が得られることを確認している(石倉ら, 2010)。今後は、室内実験で得られた持続性の高い防蟻効果が屋外(現地圃場)でも安定的に得られるような条件を探っていきたいと考えている。第三は、連続光と比較して節電が可能になる点である。紹介したON時間0.02秒/OFF時間0.08秒(OFF時間とON時間の割合が1:4)のパターンを繰り返す黄色パルス光では、消費電力量が連続光の約5分の1と試算され、ランニングコストを大幅に削減できる。将来は、自然エネルギーと蓄電池を有効に活用することで、無電化地域での適用を視野に入れた技術展開も可能となる。

今後は、関連企業と連携しつつ、本稿で紹介した防蟻照明技術の完成度をさらに高めるとともに、当該技術を具現化するLEDランプの早期製品化を目指して様々な取り組みを一層強化していきたいと考えている。

引用文献

- 1) 石倉 聡ら (2010): 植物環境工学 22(4):167~174.
- 2) ———ら (2012): 同上 24(4):244~251.
- 3) ——— (2014): 広島総研農技セ研報 90:61~80.
- 4) 内田正人ら (1978): 鳥取果試研報 8:1~29.
- 5) 藪 哲男 (1999): 植物防疫 53:209~211.
- 6) 八瀬順也 (2003): 生態工学シンポジウム論文集, ポプラ社, 埼玉, p.27~32.
- 7) 尹 丁梵ら (2012): 応動昆 56(4):151~156.