黄色 LED パルス光を用いた秋ギクの害虫防除光源装置の開発 —開花の遅延を回避できる光照射技術—

石倉 聡¹・平間淳司²・野村昌史³・山下真一¹・東浦 優⁴
・岩井豊通⁴・二井清友⁴・山中正仁⁴

¹ 広島県立総合技術研究所農業技術センター 739-0151 広島県東広島市八本松町原

² 金沢工業大学光電磁場科学応用研究所 921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘 7-1

³ 千葉大学大学院園芸学研究科 271-8510 千葉県松戸市松戸

⁴ 兵庫県立農林水産技術総合センター 679-0198 兵庫県加西市別府町

Development of a Physical Control Device Using a Yellow Pulsed LED for Controlling Insect Pests in the Production of Autumn-flowering Chrysanthemums —A lighting technique to avoid delay in flowering—

Satoshi ISHIKURA¹, Junji HIRAMA², Masashi NOMURA³, Shinichi YAMASHITA¹,
Masaru HIGASHIURA⁴, Toyomichi IWAI⁴, Kiyotomo FUTAI⁴ and Masahito YAMANAKA⁴

¹Hiroshima Prefectural Technology Research Center, Agricultural Technology Research Center,
Hara, Hachihonmatsu, Higashihirosima, Hiroshima 739-0151, Japan

²Advanced Optical Electrical Magnetic Field Science Laboratory, Kanazawa Institute of Technology 7-1 Ohgigaoka,
Nonoichimachi, Ishikawa 921-8501, Japan

³Graduate School of Horticulture, Chiba University Matsudo, Chiba 271-8510, Japan

⁴Hyogo Prefectural Technology Center for Agriculture, Forestry and Fisheries Befu, Kasai, Hyogo 679-0198, Japan

Abstract

It is known that noctuid moths, such as *Spodoptera litura* and *Helicoverpa armigera*, can be successfully controlled by using yellow night-lighting. However, in the production of a short-day plant, such as autumn-flowering chrysanthemum, the use of yellow light causes not only a significant delay in flowering but also a lowering in quality due to the continuous yellow lighting.

In this study we used a yellow high-speed pulsed LED in order to develop a technique for highly effective insect pest control. By controlling the ratio of the dark to light periods of the pulsed LED, we were able to continuously exercise a controlling effect on the noctuid moths, while minimizing the effect on flowering delay.

First, we measured the electro-retino gram (ERG)-signal of the compound eyes of moths induced by the pulsed LED. We, then, estimated the ratio of dark to light periods for which the response characteristic for light stimuli was continuous. Finally, we discuss the influence of all-night lighting by pulsed light on the flowering of autumn-flowering chrysanthemums.

2010 年 5 月 21 日受付

2010 年 9 月 2 日受理

Corresponding author: Satoshi Ishikura

(s-ishikura82052@pref.hiroshima.
lg.jp)

The experimental results revealed that low-intensity pulsed light, in which each light and dark period was 10 ms, is visible to noctuid moths, and that the delay in flowering of autumn-flowering chrysanthemums can be avoided by overnight lighting with such light. The use of high-intensity pulsed light with dark periods of more than 50 ms led to the same results. In addition, in the preliminary case, pulsed overnight lighting with 20 ms light and 80 ms dark periods resulted in a reduced number of Noctuidae larva being observed.

Keywords: ERG-signal, flowering response, insect pest control, noctuid moths, pulsed lighting, yellow LED

はじめに

害虫防除手段のうち、現在でもその主流である化学合成農薬の使用は、あらゆる農作物の生産において一定の成果を上げてきた。ところが野菜、花きを問わず多くの種類の農作物を加害するハスモンヨトウ (*Spodoptera litura*) やオオタバコガ (*Helicoverpa armigera*) などのヤガ類は、市販されている多くの殺虫剤に対して薬剤抵抗性を獲得している¹⁻³⁾とされ、化学合成農薬による防除が難しく、難防除害虫として扱われている。さらに、これらのヤガ類は夜行性であるために昼間は見つけにくいことに加えて、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、農薬がかかりにくいことも、防除を難しくしている原因となっている。このため、生産現場では農薬に替わる物理的防除法の確立が望まれており、その代替防除法⁴⁾は、農作物に対して、より高い安全性を求めはじめた多くの消費者からも支持されつつある。現在は黄色蛍光灯を用いたヤガ類に対する防蛾灯や紫外線ランプを利用した電撃殺虫器などの事例に見られるように、露地栽培や閉鎖系植物工場などで有用な人工光源を利用した物理的な防除装置が開発され、その防除効果が報告されている⁴⁻¹¹⁾。

ヤガ類の防除について、最近では黄色蛍光灯に替わる光源として、省エネ・高輝度型黄色 LED の有効性が実証^{12,13)}され、特に、黄色 LED による明期:暗期=1:1 のパルス光はヤガ類に対して高い防除効果を有する¹³⁾ことが報告されている。しかし、連続点灯した黄色光は短日植物である秋ギク (autumn-flowering chrysanthemum) に対して開花抑制作用があり、これまでに黄色蛍光灯を用いた場合、秋ギク‘秀芳の力’では照射光の PPFD が $0.01 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 増加するごとに開花が約 3 日遅れ¹⁴⁾、 $1.2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上では未着蕾や不開花となる^{14,15)}ことが報告されている。

一方、石倉ら^{16,17)}は、秋ギクの電照抑制栽培において赤色 LED を用いた数 10 lx 程度の間欠照明によって秒単位の明期と暗期を繰り返した場合、明暗比率の違いによって開花抑制作用に差があることを既に指摘している。このことは、照射光の波長は異なるものの、黄色光を用いた防蛾用照明に

においても明暗比率を調節することによって、秋ギクの開花への影響を制御できる可能性を示唆しており、キク栽培でも利用可能な防蛾用照明技術を開発する上で有益な知見と考えている。なお、キクは国内で流通量が最も多い切り花であり、農林水産省 農林水産統計情報総合データベース内の最新の農林水産統計¹⁸⁾によると、わが国における平成 20 年のキクの作付面積 5,532 ha、出荷量は 17 億 9,200 万本である。ヤガ類によるキクの被害額に関する正確な統計資料は見あたらないが、平成 6 年に広島県で記録されたヤガ類激発時のキクの被害率 60% (未発表) を、ヤガ類による被害が特に問題となる時期 (7 ~ 10 月) の全国主要卸売市場における平成 20 年産の国内産切り花ギクの卸売価額 269 億円¹⁹⁾に乗じて、わが国全体の被害額を算出した場合、その額は約 160 億円に及ぶものと試算され、これを解決することが課題であると考えられる。

本研究は、LED が高速点滅可能であるという優位な電気的特性を活用した黄色 LED パルス光源を用いて、その明期と暗期の比率を制御することで、ヤガ類に対しては持続性の高い防除効果を保持しつつ、キクに対しては開花抑制作用を低減させるという画期的な物理的防除光源装置の開発を目指している。従前の研究¹²⁾において、害虫の複眼にパルス光を照射した際に誘発する微弱な電圧 (網膜電位: Electro-Retino Gram, ERG) を計測・解析することで、視感度特性や色覚特性に効果的なパルス光の時間構造 (明暗期の比率) や光質を推定できることを既に示している。そこで、まず、ヤガ類の複眼に LED のパルス光を照射して、ERG 信号を計測・解析して、光刺激の応答特性が持続可能なパルス光の明暗期の比率を推定した。次に、ERG 信号の応答特性に連動した黄色 LED 光源を試作して、終夜のパルス光照射が秋ギクの開花に及ぼす影響について検討した。

材料および方法

1. ERG 信号計測システム

Fig. 1 は計測システムを示す。Fig. 2 に示すように、ヤガ類成虫の頸部に塩化銀膜を施した $\Phi 100 \mu\text{m}$ の銀針電極 (正

極)を挿入し、 $\Phi 10 \mu\text{m}$ のタングステン線針電極(負極)を複眼の上部と下部に挿入した。複眼にLEDのパルス光を照射し、この際に誘発する微弱なERG信号を生体電位アンプ(BE-AMP-02:イーグルテクノロジー社製, CMRR: 80 dB以上, S/N: 60 dB以上, DC~100 kHz (-3 dB))で1000倍に増幅し、Low Pass Filter ($f_c: 800 \text{ Hz}$)でノイズを除去後、計測用PCのサンプリング周波数を2 kHzとし、計測時間は15 sとして、DCから f_c の帯域までの信号を計測した。計測系全体をシールドボックス内に納め、さらにA種接地工事を施して外来ノイズを除去した。なお、ヤガ類のオオタバコガは、住化テクノサービスから購入した蛹を羽化させた成虫4頭(♂: 2, ♀: 2)を、ハスモンヨトウは、高知県産の野外採集個体を産卵させ、 25°C 18 L10 Dで人工飼料(インセクタLFS: 日本農産社製)を用いて飼育して得られた成虫5頭(♂: 2, ♀: 3)を供試した。

2. 光追従性実験

(1) LED光源制御

光源には短波長カットフィルタを装着した状態でピーク発光波長が571 nmの黄色LED(専用開発品: シャープ社製、以後、LY-LEDと略記する)を用い、複眼頭頂部から1.5 cmの高さに設定して供試個体の複眼に照射した。パルス光の点滅の明期と暗期の時間設定は、ポケットコンピュータ(PC-G850 V: シャープ社製)で制御した。ただし、針電極の挿入後、ERG信号を安定させるため約20分間の暗状態を保ち、その後、設定した各点滅パターンで、一つの点滅パターン当たり約10 s照射し、ERG信号を計測した。なお、一つの点滅パターンから次の点滅パターンへの移行にあたっては、複眼を暗適応状態に戻しERG信号を安定させるため、5分間のインターバルを確保した。

(2) 光強度と点滅パターンの設定

一般に害虫防除に有効な最低照度は1~2 lx以上であ

る^{20,21)}ことから、今回はキクの開花遅延の回避を勘案して便宜的に低放射照度である光強度 1.2 mW m^{-2} (照度では、1 lxに相当)と 19 mW m^{-2} (10 lxに相当)の2水準とした。光強度の測定には、オプトメータ(センサRW-3703-4および本体X1-1: Gigahertz-Optik社製)を用いた。なお、過去の実験結果より、明期: 暗期=1:1とするパルス光に対するERG信号の周波数応答性に関して、オオタバコガやハスモンヨトウでは最大周波数応答 f_{max} (点滅光を視認できる上限周波数)は、約50 Hz(明期と暗期が共に約10 ms)であった¹²⁾。以上のことを踏まえ、最小限の暗期の確保や、十分長い暗期に対するERG信号の応答特性の確認が重要と考え

Fig. 2 Insertion of needle electrodes

Fig. 3 Experimental cultivation

Fig. 1 Measurement system for ERG-signal

たこと²²⁾から、本実験では、LED のパルス光の明期を 10 ms に固定し、暗期を 10 ms と 500 ms に便宜的に設定した。

3. 栽培実験

供試品種は秋ギクの‘神馬’とし、なりゆき温度管理下のプラスチックハウス内の親株床および挿し芽床にて、白熱電球 (K-RD100V75W, パナソニック社製) を用い深夜 4 時間の暗期中断を行って育苗した。2008 年 7 月 10 日に挿し芽し、7 月 28 日に株間 12 cm, 条間 12 cm の 5 条×5 列で、Fig. 3 に示すように地床へ発根苗 25 株を定植し、11 月 1 日 (96 日間) まで無摘心栽培した。なお、地床は耕土深約 10 cm を沖積土:ピートモスを 3:1 (V/V) の割合で混合した培地で客土し、定植 7 日後に肥料として窒素:リン酸:カリを 7:6:6 の割合で含んだ有機質複合肥料 (いい花つくろう 766:広島県製肥株式会社製) を 25 株あたり 91 g 施与した。

光源の設置は Fig. 3 に示すように、パネル中央に 24 個の LY-LED を実装したモジュールを発光面が下向きで配置し、キクの成長に合わせて、LY-LED モジュールから成長点までの距離が約 90 cm となるように、定植 8 日後から実験終了まで毎週 1 回調整した。なお、ヤガ類の防除に有効とされる光強度を勘案して、キク成長点付近におけるパルス光の光強度のピーク値は、予備的に 5, 9 および 19 mW m^{-2} の 3 水準とした。また、詳細は後述するが、ERG 信号の応答特性を勘案し、パルス光の明期はいずれも 10 ms で固定し、暗期のみを 0 (連続点灯)、10 ms, 50 ms および 100 ms の 4 水準とする合計 12 の処理区と、対照として定植日以降を自然日長下で管理する無処理区を設定し、これら 13 区の栽培は、すべて同時期に実施した。実験期間中は、無処理区を除き、毎日 17:00 ~ 7:00 の時間帯において、所定の時間構造でパルス点灯した。各区の周縁部の 16 株を除く 9 株について、開花のステージが「2」となった時点を開花日²³⁾として調査した。

結果および考察

1. ERG 信号の応答特性

Fig. 4 は、LY-LED による明期 10 ms, 暗期 10 ms の光刺激の時間構造において、光強度 1.2 mW m^{-2} (照度 1 lx に相当) のパルス光照射時に誘発したオオタバコガ (♀ 2) の代表的な ERG 信号波形を示す。図中の縦軸は ERG 信号 [mV], 横軸は測定時間 [ms] を示し、上段には LED のパルス光の照射タイミング、下段には複眼上部の ERG 信号を示す。

光照射直後から約 20 ms 遅れてアンダーシュートが観測されるが、その後、パルス光に対する完全な追従性はないものの、光点滅を反映した ERG 信号の振幅の変化が見られて

Fig. 4 Diagram of ERG signal waveform for *Helicoverpa armigera* ♀ 2 (Light intensity; 1.2 mW m^{-2} , light period; 10 ms, dark period; 10 ms)

いる。つまり、この時間構造のパルス光では光刺激に対する ERG 信号の追従性がほぼ確保されており、オオタバコガが点滅光として視認していると推測される。しかし、オオタバコガにとって複眼の f_{max} (最大周波数応答) を超えない点滅光として確実に視認させ、ERG 信号の追従性を完全、かつ持続的に確保できるパルス光のパターンを得るという観点からは、この時間構造では不十分であると考えられる。なお、従前の研究¹²⁾において、オオタバコガは光強度が大きいほど早い点滅を視認しにくいことを明らかにしている。このため、点滅光として視認させるためには、時間構造に加えて、パルス光における光強度の重要性が高いと考えられる。

Fig. 5 は、別個体のオオタバコガにおいて、光強度 1.2 mW m^{-2} における暗期 10 ms と 500 ms の照射時の複眼上部と下部の ERG 信号の同時計測結果を示す。Fig. 5(a) に示した 10 ms では、上部と下部の ERG 信号の応答特性はほぼ同様な挙動を呈し、光を視認していることがわかる。このことから、上下方向からの光に対する複眼の視野角は広く、害虫防除光源装置の設置にあたって、発光部をどの方向に向けて点灯すれば、オオタバコガにとって視認しやすいかについては、特に考慮しなくても良いと推察される。一方、Fig. 5(b) に示すように、暗期 500 ms では光照射に対して、この時間構造のパルス光の点滅を十分視認していることがわかる。なお、このような傾向は、個体差や性差に依存せずほぼ同様に観測できた。

Fig. 6 は、光強度や光の点滅の時間構造が異なる場合のハスモンヨトウの代表的な ERG 信号の応答特性を示す。

Fig. 6(b) と Fig. 5(b) からは、ハスモンヨトウの ERG 信号波形は、オオタバコガと比較して、ピーク後に緩やかに減衰するという種に起因すると考えられる特徴が観測できる。しかしながら、ERG 信号波形の光照射終了直後の減衰スピードに若干の違いはあるものの、パルス光に対する ERG 信号の追

Fig. 5 Diagram of ERG signal waveform for *Helicoverpa armigera* ♀ 1

- (a) Light intensity; 1.2 mW m^{-2} , light period; 10 ms, dark period; 10 ms
 (b) Light intensity; 1.2 mW m^{-2} , light period; 10 ms, dark period; 500 ms

従性は, Fig. 5 と Fig. 6 で示すように, 暗期 10 ms と比較して, 暗期 500 ms でより明確であり, 当該 2 種のヤガ類に共通する特徴と考えられる. このことは, 当該 2 種の光防除にあたっては, 同一の時間構造のパルス光で対応できる可能性が高いことを示唆している. なお, Fig. 6(b) の図中丸印に示すように, 随所にスパイク性ノイズが観測されるが, これまでに我々の数百個体に及ぶ供試個体においてもしばしば観測され, このノイズの原因は供試個体の触角や頸部などの体動に伴うアーチファクトの生体信号の誘発に起因するもので, 光照射に連動した ERG 信号ではないことはすでに確認している¹²⁾. 一方, 光強度が 19 mW m^{-2} (照度 10 lx に相当) である Fig. 6(c), (d) では, いずれも約 20 ms の遅延特性が観測され, 光強度が小さい 1.2 mW m^{-2} と比較して, ERG 信号の振幅値は相対的に大きくなり, 上部と下部の ERG 信号の応答波形の形状は類似していることもわかる. このことから, ハスモンヨトウもオオタバコガと同様に, 上下方向からの光に対する複眼の視野角は広いことが推察される. なお, 光強度の増加に伴い, ERG 信号の振幅値が大きくなる特徴は光刺激提示の時間構造を変化させても個体間のばらつきは多少観測されたが, 供試した全個体である 9 例のヤガ類と同様であ

Fig. 6 ERG signal waveform for *Spodoptera litura*

- (a) Specimen No. ♂ 1, light intensity; 1.2 mW m^{-2} , light period; 10 ms, dark period; 10 ms
 (b) Specimen No. ♂ 1, light intensity; 1.2 mW m^{-2} , light period; 10 ms, dark period; 500 ms
 (c) Specimen No. ♀ 2, light intensity; 19.0 mW m^{-2} , light period; 10 ms, dark period; 10 ms
 (d) Specimen No. ♀ 2, light intensity; 19.0 mW m^{-2} , light period; 10 ms, dark period; 500 ms

Fig. 7 Effects of light intensity and dark periods of overnight pulsed lighting using LY-LEDs on the number of days to flowering of the autumn-flowering chrysanthemum, 'Zimba'
 Z: the number of days from planting to flowering
 Y: the same lower case letters in the figure are not different at the 5% level of significance by Tukey multiple comparison tests
 X: dark period of pulsed light
 W: illumination intensity at the growing point of the chrysanthemums

った。

2. 秋ギクの栽培実験

Fig. 7 は、定植日から LY-LED による終夜照明を行い、到花日数を調査した結果を示す。図の縦軸は定植日からの到花日数を示し、横軸は設定した処理区の照明条件である 5, 9 および 19 mW m⁻² の 3 水準の光強度における暗期 0 ms (連続点灯), 10 ms, 50 ms および 100 ms の 4 水準を並べて示す。なお、図中の左隅は無処理区 (対照区) を示す。Fig. 8 は、定植 78 日後の 2008 年 10 月 14 日に撮影した蕾の発達状況を示す。

定植日からの到花日数を処理区と無処理区とで比較すると、連続点灯では、いずれも開花遅延が発生し、光強度が大きいほど到花日数が大きくなっている。しかし、光強度が小さいパルス光である 5 および 9 mW m⁻² の暗期 10 ~ 100 ms では、無処理区の到花日数との間に有意差 ($p < 0.05$) がないか、有意差 ($p < 0.05$) があっても開花遅延は認められない。19 mW m⁻² では、暗期 10 ms の場合にのみ有意差 ($p < 0.05$) があるものの、暗期が 50 ~ 100 ms と大きくなると、無処理区の到花日数との間に有意差 ($p < 0.05$) はない。したがって、暗期が 50 ms および 100 ms では、光強度に依存せず、開花遅延は発生しないことがわかる。

なお、Fig. 8 の (b) と (c) に示すように蕾の発達状況を比較した場合、光強度が大であっても暗期を長く設定することで、無処理区と比較して明確な差はみられないことがわかる。

Fig. 8 Comparison of growing buds under different overnight pulsed lighting conditions
 (a) Control
 (b) Light intensity; 19 mW m⁻², dark period; 0 ms (continuous lighting)
 (c) Light intensity; 19 mW m⁻², light period; 10 ms, dark period 100 ms

以上のことから、LY-LED を用いたパルス光照射時における明期および暗期の時間構造が、キクの蕾の発達や開花時期

Fig. 9 The effect of overnight pulsed lighting using LY-LED on the number of larva of *Helicoverpa armigera* living on autumn-flowering chrysanthemums (Light intensity; about 20 mW m^{-2} , light period; 20 ms, dark period; 80 ms)

に影響を及ぼすことが明らかとなり、適切な時間構造を採用することによって、連続光照射時に発生する著しい開花遅延を回避できることが示唆された。

ところで、予備的ではあるが Fig. 9 は 2009 年 9 月 16 日から 10 月 30 日の期間に、兵庫県南あわじ市の露地ギク圃場において実施した防蛾実験の結果である。光源は LY-LED とし、畝面からの高さが 1 m の位置における光強度を約 20 mW m^{-2} とした連続光およびパルス光（明期 20 ms, 暗期 80 ms）で終夜照明した場合のキクに寄生したオオタバコガ幼虫数を示す。なお、パルス光の明期と暗期の時間構造は、試作した LED 制御装置の設定制約条件も考慮した上で、ヤガ類の ERG 信号には十分な光応答性があり、かつキクの開花遅延を回避できる条件とした。その結果、パルス光および連続光区の一部でわずかにオオタバコガ幼虫の寄生が見られたものの、寄生数は無処理区と比較して少なく、露地ギク圃場における本技術の有効性に見通しを得ることができた。

このように特定の時間構造を有するパルス光を採用する目的とその重要性は、害虫防除の観点からは、ヤガ類成虫に照射光を常時視認させることで、照明に対する「慣れ現象」を防止して、高い防蛾効果を得ることにある。一方、照明に対するキクの開花反応の観点からは、連続光による終夜照明下では著しい開花遅延が発生するところを、特定の時間構造のパルス光とすることでそれを回避することにある。さらに、パルス光は連続光と比較して省エネ対策にもつながることが挙げられる。

現在のところ、高い防除効果（ヤガ類幼虫による食害の軽減効果等）を持続的、かつ安定的に得るために重要となるパルス光の適切な光強度および時間構造についての検証が未だ不十分と考えられる。このため、今後も ERG 信号の応答特性に基づき、開発を目指す防除装置の完成度を高めるべく、至適な光強度やパルス光の時間構造について、更なる検討を行う予定である。

摘 要

本研究は、LED のもつ優れた応答性に着目して、キクに開花遅延させることなく、ヤガ類に対して高い防除効果を発揮する物理的防除装置の開発を目指している。黄色 LED を特定の明期と暗期の時間構造によって終夜パルス点灯させることで、当初の目標をほぼ達成することができた。以下に得られた結論を示す。

- (1) ヤガ類（ハスモンヨトウおよびオオタバコガ）成虫において、光強度 1.2 mW m^{-2} （1 lx 相当）、明期 10 ms および暗期 10 ms のパルス光照射に対して、ERG 信号の応答特性を確認した。
- (2) 当該 2 種のヤガ類に対する光防除にあたっては、同一の時間構造のパルス光で対応できる可能性が高いことが示唆された。
- (3) ERG 信号の応答特性を踏まえ、終夜照明下の秋ギクは、光強度が小さい場合、明期と暗期が共に 10 ms のパルス光を採用すれば、開花遅延を回避できることが明らかとなった。
- (4) 光強度が 19 mW m^{-2} と大きい場合は、明期が 10 ms であれば 50 ms 以上の暗期を確保することで、秋ギクの開花遅延を回避できることが明らかとなった。
- (5) 明期 20 ms, 暗期 80 ms とする終夜のパルス点灯下で、キクに寄生したオオタバコガの幼虫数を予備的に調査した結果、無処理（無照明）と比較して寄生幼虫数は少ないことを確認した。

謝 辞

本研究の実施にあたり、LED 光源装置の開発に関して多大なるご助言・ご協力を頂いたシャープ（株）の小西勝之氏、渡辺昌規氏、吉村文敏氏および細野幸治氏に感謝します。また、本研究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」を活用し実施した。

引用文献

- 1) 小野本徳人, 根来淳一, 柴尾 学, 田中 寛. 人工飼料浸漬法によるオオタバコガの薬剤殺虫効果. 関西病虫研究報告. 38:23-24. 1996.
- 2) 染谷 淳, 清水喜一. 千葉県におけるオオタバコガの発生生態と薬剤感受性. 関東東山病虫害研究会年報. 44:241-248. 1997.
- 3) 遠藤正樹, 加藤浩生, 清水喜一. 千葉県におけるタバコガ類の発生状況と薬剤感受性. 関東東山病虫害研究会報. 47:129-131. 2000.
- 4) 本田健一郎. 光源利用の実際—植物の害虫防除—. 後藤英司編著, 人工光源の農林水産分野への応用. 農業電化協会, 東京. 117-121. 2010.
- 5) 石倉 聡. 秋ギク栽培における防蛾用黄色蛍光灯の設置基準. 近畿中国地域における新技術. 35:124-127. 2000.
- 6) 那波邦彦, 向阪信一. 黄色蛍光灯によるスイートコーンのアワノメイガの被害軽減. 日本応用動物昆虫学会中国支部会報. 37:19-24. 1995.
- 7) 八瀬順也, 山中正仁, 藤井 紘, 向阪信一. 黄色蛍光灯によるカーネーション, バラ, キクのタバコガ・ヨトウムシ類防除技術. 近畿中国農業研究. 93:10-14. 1997.
- 8) 伊澤宏毅, 渡辺博幸, 弘田憲史. 環型黄色蛍光灯「撃退君」を利用したナシ果実吸蛾類の防除法. 鳥取県果樹試験場研究報告. 4:1-11. 2000.
- 9) 平間淳司, 松井良雄. 黄色 LED 光源を利用した物理的害虫防除—ヤガ類に対する有効性の検討—. 植物防疫. 61(9):503-507. 2007.
- 10) 内田一秀. 黄色高圧ナトリウムランプによるスイートコーンのオオタバコガ防除. 農業電化. 55(4):18-22. 2002.
- 11) 田澤信二. 害虫行動を制御する黄色ランプ. 照明学会誌. 85(3):217-221. 2001.
- 12) 平間淳司, 荒永 誠, 中出智己, 宮本紀男, 藪 哲男, 伊澤宏毅. 超高輝度型の発光ダイオード (LED) によるヤガ・カメムシ類の防除装置の開発—光刺激の波長およびパルス光の網膜電位 (ERG 信号) 応答特性—. 農業機械学会誌. 64(5):76-82. 2002.
- 13) 平間淳司, 関 憲一, 細谷直輝, 松井良雄. 黄色 LED 光源を用いた物理的害虫防除装置の試作—ヤガ類の行動観察結果—. 植物環境工学. 19(1):34-40. 2007.
- 14) 石倉 聡, 福島啓吾, 那波邦彦. 防蛾用黄色蛍光灯による終夜照明が秋ギクの開花に及ぼす影響. 近畿中国農業研究. 100:50-54. 2000.
- 15) 山中正仁, 八瀬順也, 宇田 明, 藤井 紘. 防蛾用黄色蛍光灯がカーネーションとキクの生長および開花に及ぼす影響. 近畿中国農業研究. 93:71-75. 1997.
- 16) 石倉 聡, 村上克介. 赤色光 LED を用いた間欠照明における暗期幅が秋ギクの開花に及ぼす影響. In: 園芸学会雑誌. 75(別冊 2). 長崎. 9月23日-25日. 386. 2006.
- 17) 石倉 聡. 赤色 LED を用いた間欠照明による輪ギクの抑制栽培. 後藤英司監修, アグリフォトニクス—LED を利用した植物工場をめざして—. シーエムシー出版, 東京. 126-135. 2008.
- 18) http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_kaki/index.html (2010 年 7 月 17 日参照)
- 19) http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/kaki_orosi/index.html (2010 年 7 月 17 日参照)
- 20) 内田正人, 福田博年, 宇田川英夫. ナシを加害する果実吸蛾類の生態と防除に関する研究. 鳥取県果樹試験場研究報告. 8:1-29. 1978.
- 21) 藪 哲男. 発光ダイオードを利用した害虫防除技術—黄色夜間照明がオオタバコガの行動に及ぼす影響を中心に—. 植物防疫. 53(6):209-211. 1999.
- 22) 審良昌紀, 三木良太, 平間淳司, 松井良雄, 得永嘉昭, 會澤康治, 石倉 聡. 黄色 LED を用いたパルス光による害虫防除装置の開発—切り花菊の開花阻害と防除効果との関係—. In: 日本生物環境工学会 2009 年福岡大会講演要旨. 福岡. 9月5日-8日. 10-11. 2009.
- 23) キク. フローリスト編集部編, 花の切り前. 誠文堂新光社, 東京. 4-18. 1983.