

点滅緑色光によるオオタバコガとヨトウガの活動抑制と複眼分光感度

誌名	日本応用動物昆虫学会誌
ISSN	00214914
著者名	藪, 哲男 宮下, 奈緒 植松, 繁 若桑, 基博 蟻川, 謙太郎
発行元	日本応用動物昆虫学会
巻/号	58巻3号
掲載ページ	p. 211-216
発行年月	2014年8月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



点滅緑色光によるオオタバコガとヨトウガの活動抑制と複眼分光感度

藪 哲男^{1,*}・宮下 奈緒²・植松 繁¹・若桑 基博³・蟻川 謙太郎³

¹石川県農林総合研究センター農業試験場

²石川県温暖化・里山対策室

³総合研究大学院大学先導科学研究科

Suppression of Activity and Compound Eye Spectral Sensitivity of Two Noctuid Moths, *Helicoverpa armigera* and *Mamestra brassicae* under Flickering Green Light. Tetsuo YABU,^{1,*} Nao MIYASHITA,² Sigeru UEMATSU,¹ Motohiro WAKAKUWA³ and Kentaro ARIKAWA³ ¹Ishikawa Prefecture Agriculture and Forest Research Center; Kanazawa, Ishikawa 920-3198, Japan. ²Ishikawa Prefecture Global Warming Preventive Measures and Satoyama Policies Office; Kanazawa, Ishikawa 920-8580, Japan. ³Sokendai-Hayama (The Graduate University for Advanced Studies); Shonan Village, Hayama, Kanagawa 240-0193, Japan. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 58: 211-216 (2014)

Abstract: In order to develop an economical pest-control lighting system for two noctuid species, *Helicoverpa armigera* and *Mamestra brassicae*, we investigated the daily activity of these two species with illumination at night. The compound eye spectral sensitivity of the two moths showed peaks at 360 nm and 500-550 nm. We selected green LED peaking at 535 nm for the lighting device, because this wavelength has little effect for plants. The light intensity was 2.5×10^{17} photons \cdot m⁻² \cdot s⁻¹ at a distance of 10 cm from the light source. We recorded the activities of moths using an actograph, and compared the activities at night with and without the green illumination. Continuous illumination at night reduced the activities most effectively in both species. While a 0.2 Hz flickering condition (0.5 sec ON and 4.5 sec OFF) significantly suppressed the activity in *H. armigera*, no significant effect of flickering light was detected in *M. brassicae*.

Key words: Green LED lighting; flickering light; noctuid moth activity; actograph; spectral sensitivity

緒 言

光を用いた害虫防除技術は、果樹の吸蛾類(内田, 1982)や施設カーネーションのヤガ類(八瀬ら, 1996)などを防除対象に黄色蛍光灯を光源として普及している。露地野菜の圃場における恒常的な照明装置の設置は、①電源の供給設備が進んでいない地域が多く、照明装置を利用するための電源が不足している、②水田転作田や連作障害回避のための輪作など、対象作物の生産圃場が果樹園や施設園芸と比較して固定されない、③耕起や収穫作業などの際に撤去する必要がある、などの問題点を有している(藪, 1999)。加えて、防除対象作物及び隣接作物の生育に及ぼす影響も検討する必要がある(山中ら, 1997)。

一方で、発光ダイオード(LED: Light Emitting Diode)は、長寿命、省電力、他の光源に比べて小さい、点灯方法が容易などの特徴から様々な照明器具への導入が進み、農業分野でも植物工場などでの実用化が進んでいる(内田・田澤, 2006)。害虫防除の場面においても実用化に向

けて様々な取り組みが行われている(Shimoda and Honda, 2013)。これらの問題点に対して、LEDは省電力で蓄電池による長時間の点灯が可能、小型で単色光が得られるという特徴を有しており、LEDを光源として導入することは、これらの問題点に対する解決の手段として有望と考えられる。害虫防除における装置開発を想定した場合、生産現場における被害防止効果の実証が不可欠である。しかし、実際の生産現場での実証は、試作装置の製作コストがかかることや必ずしも試験期間中に防除効果を評価できる害虫の発生状況とならないことなどから、困難な場合が多い。このため、室内実験においてヤガ類の交尾行動や飛行行動などの活動に及ぼす夜間照明の影響を評価することは、防除技術を確立するために不可欠と考えられる。しかし、これらの検討は、尹ら(2012)のオオタバコガ *Helicoverpa armigera* に対する 571 nm の黄色 LED 光の夜間照射下の飛行行動の解析があるに過ぎない。

多くのチョウ目昆虫の複眼には紫外、青色、長波長域にそれぞれ高い感度を持つ視細胞がある。そのうち、長

* E-mail: t-yabu@pref.ishikawa.lg.jp

2014年5月22日受領(Received 22 May 2014)

2014年7月2日登載決定(Accepted 2 July 2014)

DOI: 10.1303/jjaez.2014.211

波長域に感度を持つ視細胞の感度ピークは、多くの種で500～540nmの緑色域にあり、580nm付近の黄色域の波長に対する感度はむしろ低い(Eguchi et al., 1982; Briscoe and Chittka, 2001). そこで、この感度のピークにより近い波長の緑色LED(ピーク波長535nm)を用いることで、従来用いられてきた黄色LEDよりも効率的な防除装置の開発につながる可能性がある。さらに、緑色LEDの光は、植物のフィトクロムの吸収域(550nm～720nm)から外れているため、作物に対する影響が少ないことが期待できる(徳富, 1997)。

一方、光を利用したアケビコノハ *Eudocima tyrannus* やオオエグリバ *Calyptra gruesa* の防除における活動抑制効果は、明順応によるものとされ、青色灯(ピーク波長470nm)でも黄色灯(ピーク波長580nm)でも明順応化に至るとしている(野村ら, 1965)。しかし、発光スペクトルの幅が100nm以上あり、十分な精度での実験とは言えない。一方、青色灯では誘虫性が高いことから、黄色灯が防蟻灯として優れている(八瀬, 2004)とされている。当時、緑色域の検討はなされておらず、その後、山田ら(2006)が緑色域(540nm)の有望性を指摘している。そこで、本研究では、オオタバコガとヨトウガ *Mamestra brassicae* を防除対象とし、より感度が高い複眼分光感度を探索し、消費電力の低減のため点滅による夜間照明を想定した条件下での活動に及ぼす影響について調査した。

本文に入るに先立ち、本研究は、農林水産省委託研究プロジェクト「生物の光応答メカニズムの解明と省エネルギー、コスト削減技術の開発」のうち、「害虫の光応答メカニズムの解明と高度利用技術の開発(INSECT-3202,4202)」により実施した。プロジェクトの参画研究者の皆様には、検討会等の場を通じて実験遂行にかかる有意義な助言を頂いた。また、積水樹脂株式会社稲城健司氏、積水電子テクノ株式会社井上利康氏にはアクトグラフの試作や実験を行うにあたって有意義な助言を頂いた。記して感謝申し上げます。

材料および方法

1. 供試虫

供試虫のオオタバコガ、ヨトウガは、いずれも、石川県農林総合研究センター(金沢市才田町)において累代飼育し、遺伝的な劣化を避けるため、年に数回、野外の個体群と交配させたものである。飼育は松浦・藪(1998)や平井(1991)を参考に、餌としてインセクターLF(日本農産、横浜市)を用いて行った。飼育およびアクトグラフを用いた実験は12L12D(明期8:00～20:00)、 $24 \pm 1^\circ\text{C}$ の条件とし、オオタバコガでは交尾の有無が飛翔活性に影響を及ぼすことが知られていることから(Saito, 2000)、羽化後12時間～24時間以内の未交尾の成虫個体を実験に用いた。

2. 網膜電図法による複眼分光感度の測定

複眼の分光感度を網膜電図(electroretinogram, ERG)法で調べた。測定にはヨトウガとオオタバコガのそれぞれ3頭のオス個体と4頭のメス個体を用いた。供試虫は蜜蝋で試料台に固定し、電子シールドケース内に設置した。ERGの記録には、内部に水道水を満たしたガラス電極(先端直径約10 μm)と塩化銀で被膜した銀線(直径100 μm)を用いた。ガラス電極は記録電極とし、先端に少量の導電性ペーストをつけて複眼表面に接触させた。銀線は供試虫の腹部にナイフでつけた微小な傷から体内に挿入、固定し、不関電極とした。二電極間の電位差は、増幅器(MEZ-8301, 日本光電, 東京)とAD変換器(MP-150, BioPac, USA)を介して記録した。

刺激には、500Wキセノンランプからの光を干渉フィルター(300～740nm, 20nmおき, 半値幅10-14nm)と中性フィルターを通したものをを用いた。光強度は、中性フィルターにより、各波長で光子数が一定になるように調節した。光子数の測定にはラジオメータ(Model-470D, 三双製作所, 東京)を使用した。刺激光は石英ファイバーで複眼から約10mmの位置に導いた。刺激光は持続時間800ミリ秒、15秒間隔で、まず短波長から長波長、ついで長波長から短波長の順で照射し、電位差を測定した。これを2～4回繰り返す。波長と反応の関係(分光反応曲線)を得た。次に最大の反応が得られた波長で、光強度を4 log unitの範囲で変化させて、光強度と反応の関係(光強度反応曲線)を記録した。分光反応曲線と光強度反応曲線とから、分光感度曲線を求めた。

3. アクトグラフによる行動記録法

ヤガ類の夜間照明条件下における活動量の測定は、山田ら(2006)の方法に準じて以下のように行った。周辺環境からの影響を遮断し、明期暗期を設けるため、幅40cm×奥行き30cm×高さ40cmの箱(以下ブース)を用意した(Fig. 1)。ブースの天井部に白色蛍光灯(FL10N, パナソニック, 門真市)を2本設置し、点灯時を明期、消灯時を暗期とした。明期のブース底面における照度は約3,000lx(光源から10cmの距離での光強度 $2.0 \times 10^{18} \text{ photons} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)であった。暗期における刺激光源は緑色LED(中心発光波長のカタログ値: 528nm, LT G6SP-CBEB-25-1, Osram, Germany)を用い、天井中央部に1個設置した。供試虫は、直径8cm、高さ10cmのガラス製容器に入れ、容器内における行動を記録した。行動記録はブース底面から5cmの高さにエリア幅10mmの赤色半導体レーザーセンサー(LV-S62, キーエンス, 大阪市)をブースの対角線上に1組設置し、センサーの発光部と受光部を結んだ線(検知ライン)がガラス容器の直径を通過するように設置した。検知ラインを0.1秒以上遮った回数を活動データとして10秒ごとに記録し、行動解析に用いた。デー

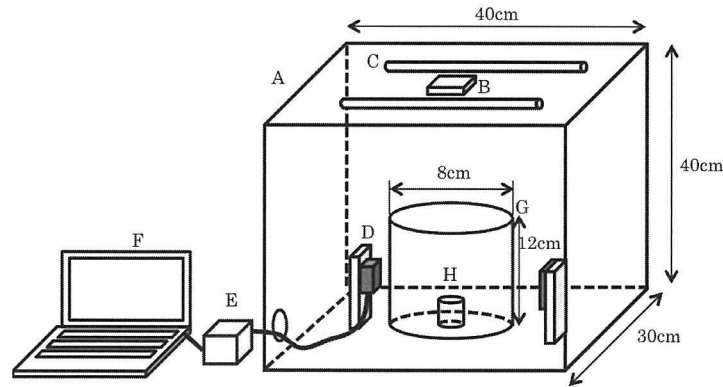


Fig. 1. Diagram of the actograph (A) Test booth, (B) Green LED (535nm) for stimulation during the scotophase, (C) Fluorescent lamp for the photophase, (D) Infrared sensor, (E) Data logger, (F) Personal computer with interface, (G) Insect container, (H) Diet for moth (8% sugar solution).

タは、センサーからデータロガー (KV-3000, キーエンス, 大阪市) を経由してパーソナルコンピュータに取り込み, ソフトウェア (Date BUILDER, キーエンス, 大阪市) を用いて保存, 解析用のデータ変換を行った. なお, 餌として 8% 砂糖水溶液を直径 1 cm, 高さ 1 cm のプラスチック容器に入れて与えた. このようなブースを 8 台用意してヤガ類の行動を記録した.

4. 緑色 LED 光点滅周期が行動に及ぼす影響

暗期における刺激光源の緑色 LED 光の点滅周期は以下の 4 区を設けた (① 10 秒間に 1 秒点灯 9 秒消灯 (10S10% 区), ② 5 秒間に 0.5 秒点灯 4.5 秒消灯 (5S10% 区), ③ 0.5 秒間に 0.05 秒点灯 0.45 秒消灯 (0.5S10% 区), ④ 暗期を通じて点灯する連続点灯区 (All-on 区)). また, 比較対照として自然条件を想定して暗期に照明を行わない全暗区 (All-off 区) を設け, 緑色 LED 光による夜間点灯および点灯周期の行動抑制効果を検討した. なお, ヨトウガについては, 実験に必要な個体数が得られなかったため 0.5S10% 区を設置しなかった. 供試個体数は各試験区 8 個体以上とし, 8 ~ 12 個体となった.

LED の光強度は光源から 10 cm の位置で, 2.5×10^{17} photons \cdot m⁻² \cdot s⁻¹ になるよう調整した. これらの測定は高速分光ユニット (HSU-100S, 朝日分光社製, 東京) を用いて行った. このときの底面における照度は 10lx (LI-250, LI-COR 社製, 東京) であった. また, 中心波長域の実測値の平均値は, 535 ± 1.89 nm で (Fig. 2), カタログ値と異なるものの緑色域であった.

第 1 暗期, すなわち試験開始 1 日目は実験環境に慣れさせるため全ての試験区で無点灯とした. 第 2, 4 暗期は, 自然条件を想定した無点灯とし, 第 3, 5 暗期に各点灯区の周期に基づき照明を点灯した.

活動抑制効果は山田ら (2006) の方法に準じて, 下記の式で計算される活動量率 r に基づいて評価した.

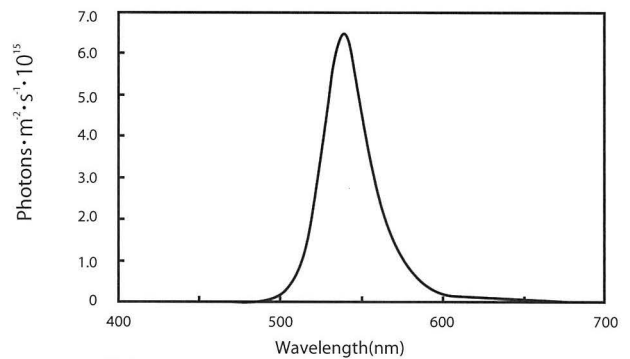


Fig. 2. Spectral distribution of Green LED.

$$r = (a_3 + a_5) / (a_2 + a_4)$$

なお, a_i は第 i 期におけるデータロガーに記録された活動量である.

得られた活動量率の平均値は, JMP10 (SAS Institute Japan, 東京) を用いて Tukey-Kramer の HSD 検定により多重比較を行った.

結 果

オオタバコガおよびヨトウガの分光感度

今回測定したヤガ類 2 種の複眼の分光感度曲線は 2 山型を示し, 夜行性チョウ目に多く見られる形となった (Fig. 3; Eguchi et al., 1982; Briscoe and Chittka, 2001). しかし, 分光感度のピークは両種で異なった. オオタバコガの分光感度のピークは, 360 nm 付近であった. また, 500 nm 付近での分光感度も高く, オスでピーク波長の約 80%, メスで約 50% となった (Fig. 3). 一方, ヨトウガでは, 500 ~ 550 nm 付近にピークがあり, 次いで 360 nm 付近の分光感度が高く, 雌雄ともピーク波長の 80% となった (Fig. 4).

緑色 LED 光の点滅周期が行動に及ぼす影響

夜間無点灯条件でのオオタバコガ, ヨトウガの活動リズム

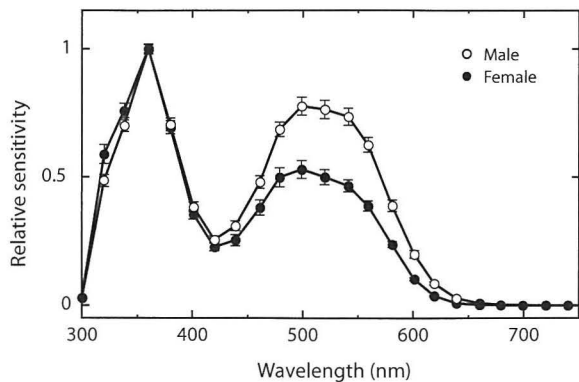


Fig. 3. Spectral sensitivity the compound eye of *Helicoverpa armigera* determined by electroretinography (ERG).

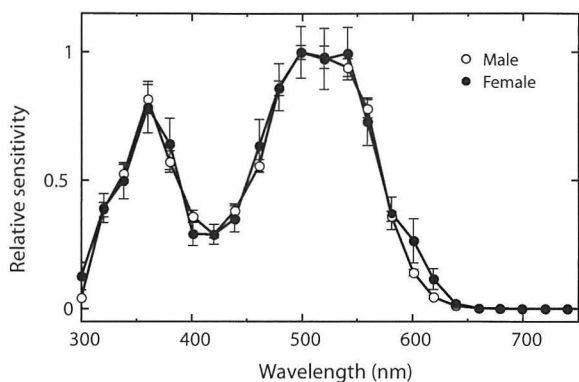


Fig. 4. Spectral sensitivity of the compound eye of *Mamestra brassicae* determined by ERG.

ムを Fig. 5 に示した。両種とも暗期開始直後に活動を開始するものの、その後停滞し、暗期開始7~10時間後に活動が活発になり、暗期終了直前は活動が停止する傾向が認められた。

緑色 LED の点灯下における活動量率の比較を、オオタバコガは Fig. 6 に、ヨトウガは Fig. 7 にそれぞれ示した。オオタバコガは LED 点灯下で活動量率の低下が認められ、特に、メス成虫では、周期的な点灯により活動量率が低下し無点灯条件に比べて有意な差が認められた。連続点灯は、周期的な点灯に比較しても、さらに、活動量率が有意に低下していた。オス成虫でも同様の傾向で、さらに連続点灯による活動量の低下割合は著しく、無点灯の5%以下となったが、周期的な点灯下における活動量率の減少は小さく、無点灯と比較して有意な低下が認められたのは、5S10% 区だけであった。

ヨトウガの場合は雌雄とも、連続点灯は無点灯に比較して有意に活動量率は低下し、無点灯のほぼ10%で著しく抑制されていた (Fig. 7)。一方、周期的な点灯では、無点灯の活動量との間に有意な差異は見いだせなかった。

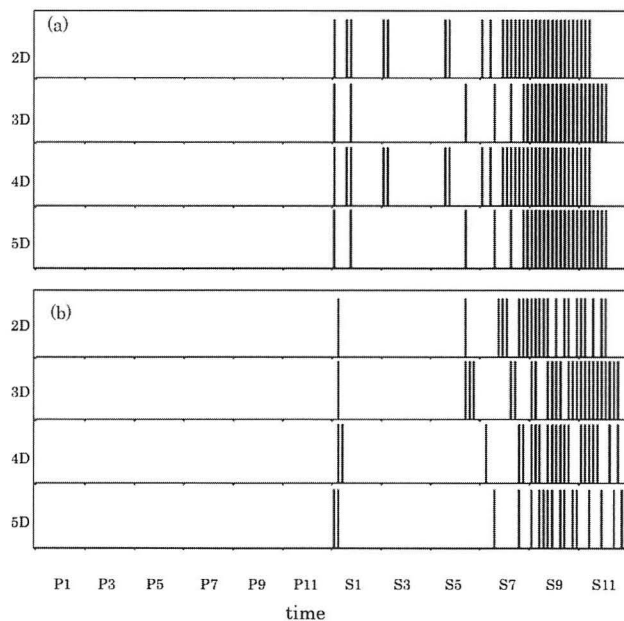


Fig. 5. Daily flight activity rhythm of *Helicoverpa armigera* male (a) and *Mamestra brassicae* male (b). Vertical solid lines in each row indicate the moth activity. Vertical axis shows days (D), while the horizontal axis shows the hours of the photophase (P) and the scotophase (S).

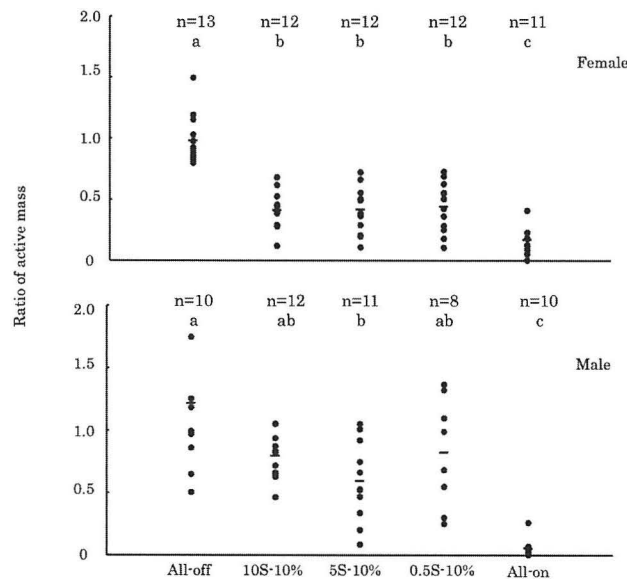


Fig. 6. Ratio of active mass of *Helicoverpa armigera*. Solid bars indicate averages. Solid circles are individual data. “All-off” and “All-on” are constant dark and the constant light, respectively. “10S-10%”, “5S-10%” and “0.5S-10%” are period time and ratio of light on. Value for each number of ratio of active mass labeled with different ($p < 0.05$) by the Tukey-Kramer HSD test.

考 察

本実験で複眼の分光感度を測定したオオタバコガ、ヨト

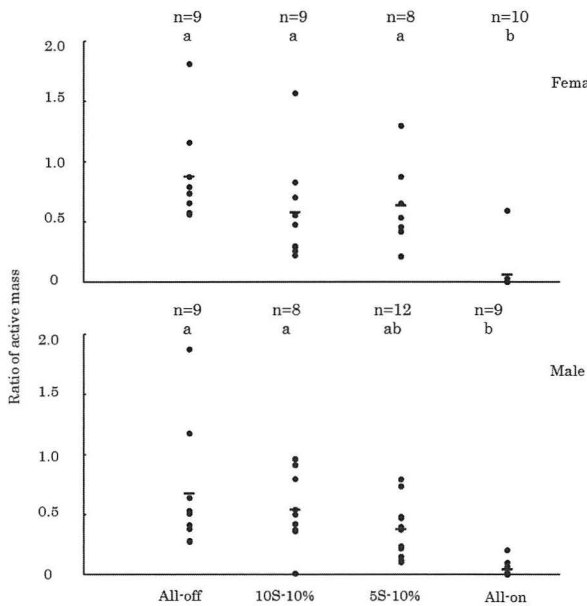


Fig. 7. Ratio of active mass of *Mamestra brassicae*. Solid bars indicate averages. Solid circles are individual data. “All-off” and “All-on” are constant dark and the constant light, respectively. “10S-10%”, “5S-10%” and “0.5S-10%” are period time and ratio of light on. Value for each number of ratio of active mass labeled with different ($p < 0.05$) by the Tukey–Kramer HSD test.

ウガおよび大豆、露地野菜の重要害虫であるハスモンヨトウ *Spodoptera litura* などは、580 nm に主発光域を持つ黄色蛍光灯や黄色 LED よりもむしろ緑色付近の感受性が高い (山田ら, 2006)。すなわち 540 nm 付近の緑色光は、同一のエネルギーで黄色光 (580 nm) より強い刺激を得ることができ、黄色光に比較して効果が高い可能性がある。

尹ら (2012) の報告による黄色 LED 点滅光による飛翔行動の抑制は無点灯の 50% 程度であり、今回の緑色光の活動抑制の程度は 90% 以上となった。測定方法は異なるものの照度や光強度はほぼ同程度であり、分光感度の高い波長域の光の方が高い活動抑制効果を示す可能性を示唆している。

オオタバコガなどのヤガ類は、紫外域を中心とした 360 ~ 380 nm 付近と緑色の 520 nm 付近に網膜の分光感度を有していることは既に知られており、520 nm 付近の感度ピークの方が 380 nm 付近のピークより高い (山田ら, 2006)。今回実験に用いたオオタバコガの分光感度は、むしろ 380 nm 付近のピークが高く (Fig. 3)、これまでの事例とはやや異なっている。このことの要因は明らかではないが、535 nm の緑色 LED の点灯によってオオタバコガの行動抑制が確認されており、感度が低かったことは行動抑制に影響を及ぼさなかったと考えられる。さらに、オス成虫に比較して分光感度の低かったメス成虫で行動抑制効果が著しいことは 540 nm 付近の緑色光の波長特性の可能性

もあり、興味深い。一方、ヨトウガについての分光感度に関する報告事例はなく、長波長側の 500 ~ 550 nm 付近の感度ピークの幅がオオタバコガと比較して広いよううかがえる (Fig. 4)。

また、今回の夜間無点灯下におけるアクトグラフによる行動記録は (Fig. 5)、過去の報告 (Ferguson et al., 1994; Saito, 2000; 尹ら, 2012) とほぼ同様であることから、記録方法としては妥当であると考えられる。今回の実験では、点滅光の活動抑制効果は 2 種のヤガで異なっていた (Fig. 6, 7)。オオタバコガは光の点滅によっても活動抑制が確認されたが、ヨトウガでは活動抑制の効果は判然としなかった。オオタバコガは、ヨトウガと比較して点滅光による反応性の低下が顕著ではないと推察される。一方、ヨトウガの場合、10% の点滅光下では、夜間照射を行っても十分な防除効果が得られない可能性がある。防除装置の開発にあたっては、効果的な点滅周期や光強度について種ごとに検討する必要がある。

分光感度と行動の関係についての報告は少ないが、チョウ目のナミアゲハ *Papilio xuthus* L. の複眼の分光感度は、UV から緑色域に広めのピークを持つものに対して (Arikawa et al., 1987)、生得的に選好性が高い波長は黄色や赤色域であり (Kinoshita et al., 1999)、分光感度と選好性にかかる行動は、必ずしも一致していない。今回の実験は、活動抑制という静的な行動の評価であり、複眼の暗順応化は、強い光刺激を受けると遅れる (Bernhard and Ottoson, 1964) ことの延長線上にあるのかもしれない。

なお、今回検討した 10% という点灯時間は、現在、開発中の太陽蓄電池付き防除光源装置の点灯可能時間から設定したものである。ヨトウガは、点滅光の抑制効果が判然としなかったことから、効果的な点滅周期の探索や明るさの検討が今後の課題である。また、太陽光蓄電池に加えて補完的に他の蓄電池を用いる容量増加や、発光効率の高い LED の開発など技術的な進展も期待したい。

摘 要

光によるヤガ科害虫の防除を目的として、より消費電力の少ない光源装置を開発するため、オオタバコガ、ヨトウガの複眼分光感度と暗期光点滅下における活動を調査した。2 種のヤガ類は複眼の分光感度は 360 nm 付近と 500 から 550 nm の波長域にピークが認められた。検討した暗期照明光は、植物に悪影響が少ないと考えられる緑色光とし、中心波長 535 nm の LED を光源とした。光強度は、光源から 10 cm の距離で 2.5×10^{17} photons \cdot m⁻² \cdot s⁻¹ とした。活動記録装置 (アクトグラフ) を用いて、暗期に照明した場合と照明しなかった場合における活動量を比較し、活動抑制効果を検討した。オオタバコガ、ヨトウガとも暗期を通じて光源を点灯した場合最も活動が抑制された。点滅条

件下ではオオタバコガの活動は抑制される傾向が認められ、特に、0.5秒点灯4.5秒消灯の周期の点滅で雌雄とも無照明に比較して有意に活動が抑制された。点滅条件下でのヨトウガの活動抑制は確認されなかった。

引用文献

- Arikawa, K., K. Inokuma and E. Eguchi (1987) Pentachromatic visual system in a butterfly. *Naturwissenschaften* 74: 297-298.
- Bernhard, G. G. and D. Ottoson (1964) Quantitative studies on pigment and light sensitivity in the compound eye at different light intensities. *J. Gen. Physiol.* 47: 465-478.
- Briscoe, A. D. and L. Chittka (2001) The evolution of color vision in insects. *Annu. Rev. Entomol.* 46: 471-510.
- Eguchi, E., K. Watanabe, T. Hariyama and K. Yakohama (1982) A comparison of electrophysiologically determined spectral responses in 35 species of Lepidoptera. *J. Insect Physiol.* 28: 675-682.
- Ferguson, H. J., J. L. Eaton, C. E. Rogers and A. M. Simmons (1994) Rearing density effects on pupal weight, wing, width, development, and female adult activity of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 87: 823-830.
- 平井一男 (1991) ヨトウガ. 昆虫の飼育法(湯島 健・釜野静也・玉木佳男 編). 日本植物防疫協会, 東京, pp. 197-200. [Hirai, K. (1991) *Mamestra brassicae* (Linnaeus) (Cabbage armyworm). In *Rearing Methods of Insects* (K. Yushima, S. Kamano and Y. Tamaki, eds.). Japan Plant Protection Association, Tokyo, pp. 197-200.]
- Kinoshita, M., N. Shimada and K. Arikawa (1999) Color vision of the foraging swallowtail butterfly *Papilio xuthus*. *J. Exp. Biol.* 202: 95-102.
- 松浦博一・藪 哲男 (1998) オオタバコガの発育特性. 北陸病虫研報 46: 75-79. [Matsuura, H. and T. Yabu (1998) On the developmental characteristics of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Proc. Assoc. Pl. Prot. Hokuriku* 46: 75-79.]
- 野村健一・大矢慎吾・渡部一郎・河村広巳 (1965) 電燈照明による吸蛾類の防除: 第1報 照明の効果解析とそれに及ぼす各種光条件の影響について. 応動昆 9: 179-186. [Nomura, K., S. Oya, I. Watanabe and H. Kawamura (1965) Studies on orchard illumination against fruit-piercing moths: I. Analysis of illumination effects, and influence of light elements on moths' activities. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 9: 179-186.]
- Saito, O. (2000) Flight activity changes of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae), by aging and copulation as measured by flight actograph. *Appl. Entomol. Zool.* 35: 53-61.
- Shimoda, M. and K. Honda (2013) Insect reactions to light and its applications to pest management. *Appl. Entomol. Zool.* 48: 413-421.
- 徳富 哲 (1997) フィトクロム—植物の光環境センサー—. 蛋白質 核酸 酵素 42: 121-128. [Tokutomi, S. (1997) Phytochrome: A plant sensor for environmental light conditions. *Protein, Nucleic Acid and Enzyme* 42: 121-128.]
- 内田浩二・田澤信二 (2006) LEDの種類と特性, 使用上の注意. LEDの農林水産分野への応用. (社)農業電化協会, 東京, pp. 21-34. [Uchida, K. and S. Tazawa (2006) Type, characteristics and precaution of the LED. In *Application of LED on Agriculture, Forest, Fisheries*. Nougyou Denka Kyokai, Tokyo, pp. 21-34.]
- 内田正人 (1982) 電燈照明による果実吸蛾類の防除. 植物防疫 36: 474-477. [Uchida, M. (1982) Control of fruit-piercing moths by illumination of orchards. *Plant Prot.* 36: 474-477.]
- 藪 哲男 (1999) 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: 209-211. [Yabu, T. (1999) Control of insect pests by using illuminator ultra-high luminance light emitting diode (LED).—Effect of flight and mating behavior of *Helicoverpa armigera*. *Plant Prot.* 53: 209-211.]
- 山田 真・内田達清・倉光 修・向阪信一・西村唯史・蟻川謙太郎 (2006) 減農薬・無農薬に向けた害虫防除照明. 松下電工技報 54: 30-35. [Yamada, M., T. Uchida, O. Kuramitsu, S. Kosaka, T. Nishimura and K. Arikawa (2006) Insect control of reduced and insecticide-free agriculture. *Matsushita Electric Works Technical Report* 54: 30-35.]
- 山中正仁・八瀬順也・宇田 明・藤井 紘 (1997) 防蛾用黄色蛍光灯がカーネーションとキクの生長及び開花に及ぼす影響. 近畿中国農研 93: 71-75. [Yamanaka, M., J. Yase, A. Uda and K. Fujii (1997) Effect of yellow fluorescent lamp for control of noctuid moths on the growth and flowering of carnation and chrysanthemum. *Kinki Chugoku Agr. Res.* 93: 71-75.]
- 八瀬順也 (2004) 黄色灯による害虫管理—花き・野菜類のガ類を中心として—。黄色灯による農業害虫防除. (社)農業電化協会, 東京, pp. 35-46. [Yase, J. (2004) Management of agriculture pest by illumination with yellow lamp for flower and vegetable. In *Control of Agriculture Pest by Illumination with Yellow Lamp*. Nougyou Denka Kyokai, Tokyo, pp. 35-46.]
- 八瀬順也・丸村俊幸・向阪信一 (1996) 黄色蛍光灯によるカーネーションのタバコガ・ヨトウムシ類に対する被害軽減効果. 応動昆中国支会報 38: 1-7. [Yase, J., T. Kumura and S. Kousaka (1996) Control of tobacco budworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner), beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner), common cutworm, *Spodoptera litura* (Fabricius), feeding on carnations by overnight illumination with yellow fluorescent lamps. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool. Chugoku Branch* 38: 1-7.]
- 尹 丁梵・野村昌史・石倉 聡 (2012) 黄色LED点滅光によるオオタバコガの飛翔抑制. 応動昆 56: 151-156. [Yoon, J., M. Nomura and S. Ishikura (2012) The effect of exposure to a pulsed yellow light-emitting diode (LED) on the adult flight behavior of the cotton ballworm, *Helicoverpa armigera*. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 56: 151-156.]