

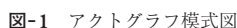
—アクトグラフによる室内行動解析を中心に—

広島県総合技術研究所農業技術センター

一方で、夜間を通しての黄色光照射は、感光性を示す秋ギクなどの短日植物などに開花遅延などの悪い影響を引き起こしてしまう（山中ら，1997；石倉ら，2000）。この問題に対処するため、我々はLEDの特性を活かした照明法により「植物には悪影響がなく、オオタバコガなどヤガ類の飛翔を軽減できる」照明条件を明らかにしたので、今後の展望なども含めて現段階での成果を紹介する。なお本研究の成果の一部は、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」（課題番号

* 現所属：韓国 国立農業科学院 農業工学部

今回紹介する飛翔行動解析実験は、大きさ $70 \times 45 \times 55$ cm の遮光性プラスチック製の箱（実験ブース）内の赤外線遮断型アクトグラフシステムによって行った（図-1）。実験ブースの天井部中央には暗期用の刺激光源として、Lv-LED および Am-LED を設置し、天井部に



(尹ら, 2012 b, 一部改変)

明期用の 20 W の白色蛍光灯 2 本を設置した。蛍光灯と LED はコントローラーとタイマーで照射時間などを制御している。供試虫であるオオタバコガは、実験ブースの中央部に設置した直径 13 cm × 高さ 20 cm の透明なプラスチック製の円筒容器（実験ケージ）に入れた。この実験ケージには、データロガーに接続している 2 組の赤外線型センサーを対角線状に設置し、飛翔によるセンサーの遮断回数を飛翔回数として 1 時間ごとに集計した。実験ブースは 10 台用意し、1 台の実験ブースには 1 個の実験ケージを設置し、実験ケージにはオオタバコガの成虫 1 個体を入れ、1 個体当たりの飛翔活動を記録した。

12 時間明期：12 時間暗期の条件を全暗（無処理）とし、暗期に Ly-LED および Am-LED の LED を照射した実験区を設けた。明期における実験ブース床面の受光面放射照度は 16 W/m^2 （約 4,000 ルクスに相当）であり、暗期の放射照度は野村（1967）の「4 種光域の区分案」を参考し、それぞれの LED とともに 1.2 mW/m^2 （微照度：約 1 ルクスに相当）、 19 mW/m^2 （低照度：約 10 ルクスに相当）、 47 mW/m^2 （高照度：約 20 ルクスに相当）の光を照射し、オオタバコガ成虫の飛翔活動を雌雄別に測定した。Sarro（2000）によると、オオタバコガの未交尾成虫は、羽化後 3～4 日齢に高い飛翔活性を示し、その後は低くなることから、実験期間は羽化 1 日齢の暗期開始から 5 日齢の明期終了時までの 5 日間とした。

実験ケージの上部にセンサーを設置していることから、遮断は成虫による飛翔によって生じたものとし、カウントされた遮断回数を飛翔活性とした。そして暗期での飛翔活性は、各試験区の性別、日齢別に分け 1～5 日齢の未交尾成虫による「日齢による暗期飛翔活性の変化」として様々な夜間照明条件による飛翔活性を比較した。さらに各試験区の「5 日間の暗期飛翔回数」を解析し、オオタバコガの飛翔行動を抑制する夜間照明条件を検討した。

すべての LED 照射区で全暗区とは異なる飛翔活性が見られたことから、今回用いた LED の波長および放射照度は、オオタバコガの夜間の飛翔活動に影響を及ぼしていることが明らかとなり、これまでに報告が見られる野外における効果が確認された。図-2 は、2 種類の黄色 LED を異なる放射照度で照射した際の、オオタバコガの 5 日間合計の飛翔活性を示したものである。各試験区を比較したところ、オオタバコガの雌雄とも、Ly-LED の 19 mW/m^2 照射区の暗期飛翔回数が、全暗区よりも有意に減少していた。各照度について検討すると 47 mW/m^2 で照射した場合の飛翔回数は、 19 mW/m^2 照射と変わらなかったことから、 19 mW/m^2 の照射がオオ

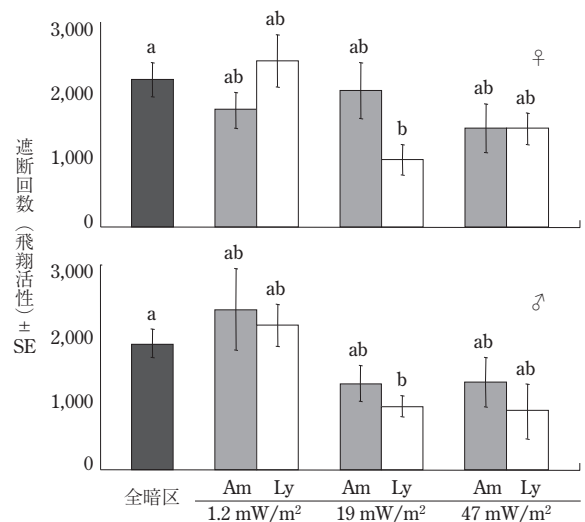


図-2 異なる黄色 LED を照射したときのオオタバコガ未交尾成虫の 5 日間の夜間飛翔活性

(尹ら, 2012 a, 一部改変)

Am = Am-LED, Ly = Ly-LED, 下段は照度を表す (本文参照). グラフ中のアルファベットが異なる場合は Steel Dwass-test で有意差があることを示す ($p < 0.05$).

タバコガの未交尾成虫の暗期飛翔活動を強く抑制することが示唆された。また野外での効果があるとされる最低の放射照度である 1.2 mW/m^2 照射では、どちらの波長の光でも無処理よりも高い活性を示したので、室内での連続した照射環境では、オオタバコガの飛翔活性を抑制できないと考えられた。

飛翔活性を最も抑えることができた 19 mW/m^2 の Ly-LED 照射における 1 時間ごとの飛翔活性の変化を全暗区と 5 日間比較した結果を図-3 に示す。オス成虫の場合、1～2 日齢では明らかな飛翔活性は見られなかったが、3～5 日齢では暗期後半の 9 時間目から点灯する直前までの時間に飛翔活性が徐々に高まる傾向が見られた。この傾向は日齢を重ねるごとに高くなり、5 日齢では全暗区を上回った。またメス成虫でも、1～3 日齢では顕著な飛翔活性は見られなかったが、4～5 日齢の暗期後半から徐々に活性が高まり、暗期 9 時間目に全暗区を上回る活性が見られた。こうした日齢を重ねるごとに見られる飛翔活性の増加を「慣れ現象」と呼びたい。そしてこの飛翔活性のピークは雌雄とも無処理より 1～3 時間程度遅延して見られた。

以上をまとめると、一概に黄色といっても異なる波長によって飛翔活性も異なることがわかった。また野外の圃場で効果があるとされる (内田ら, 1978; 八瀬ら,

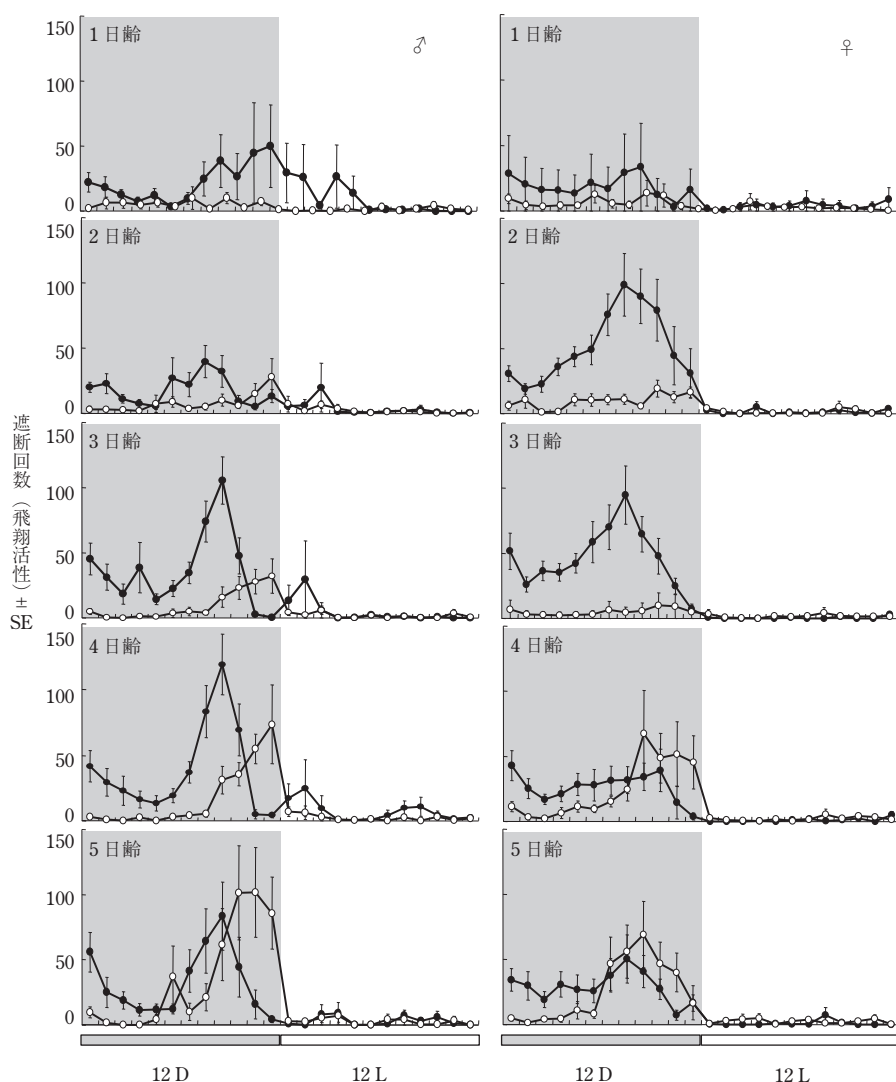


図-3 19 mW/m² の Ly-LED 照射におけるオオタバコガの未交尾雌雄成虫の日齢による飛翔活性変化
(尹ら, 2012 a, 一部改変)

○ 19 mW/m² · Ly-LED 照射区 ● 全暗区

1997 など), 1.2 mW/m² (約 1 ルクス相当) 程度の光では, 室内での連続照射環境では活性が徐々に増加する「慣れ現象」が見られるので, 19 mW/m² (約 10 ルクス, 約 0.09 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 相当) 程度が望ましいといえよう。しかしこの放射照度においても連続照射をした場合は, 日齢を重ねるごとに「慣れ現象」が見られるので, 活動を抑制したとしてもオオタバコガが作物上にとどまったような場合には, 注意が必要と考えられる。

II LED を利用した点滅照射

LED を夜間照明として利用するにあたっての特徴的

な点は, 短い間隔で点灯および消灯を繰り返すことができることである。例えば同じ 1 秒でもずっと連続点灯するのに対し, 0.5 秒点灯し, 0.5 秒消灯することで, 受ける光の量は半分になる。この点灯と消灯の長さを調整することで, 飛来する昆虫には照明がついていると認識させ, 感光性を示す植物には照明がついていないと認識させる条件を選び出せば, 植物への悪影響は抑えつつ成虫の飛翔を抑制し飛来を忌避できる夜間照明条件となるはずである。そして消灯時間が長くなれば節電にもなる。

そこで点灯と消灯の間隔をいくつか設定し, オオタバコガの飛翔行動およびキクスの成長に与える影響を調べて

みた。実験には前述のアクトグラフシステム (図-1) を使用し、照射する LED は Ly-LED を用い、放射照度についてはオオタバコガの飛翔抑制効果が大きかった 20 mW/m^2 に設定した。暗期 (12D) に相当する時間帯に照射する Ly-LED 点滅光の点滅間隔の時間構造設定については、石倉ら (2010) の実験結果を踏まえ、すべての点滅照射区の LED 点灯時間を 20 ms 一定とした。そして LED 消灯の時間をパラメータとして、 0 ms (20:0 区; 点灯 20 ms : 消灯 0 ms = 連続光), 40 ms (20:40 区), 80 ms (20:80 区), 160 ms (20:160 区), 400 ms (20:400 区) の 5 区を設けた。そして暗期 (12D) に照明を行わない暗黒条件を全暗区 (0:0 区) として、LED の点滅パターンによるオオタバコガの飛翔活性の変化および飛翔行動抑制効果を調べた。

各点滅パターンによる LED 夜間点滅光照射下におけるオオタバコガ未交尾成虫の 5 日間の暗期飛翔活性を比較した結果を図-4 に示す。暗期飛翔活性は、雌雄ともほぼ同じ傾向を示した。全暗区 (0:0 区) の飛翔活性は、雌雄とも 5 日間で合計 2,000 回前後であったが、LED 照射区では有意に減少し、飛翔活動の低下が示唆された。また LED 照射実験区の間では遮断回数に有意な差は見られなかったものの、20:40 区と 20:80 区の両区では、連続光 (20:0) 区よりもその値が半減していた。

今回用いた点滅パターンによる LED 点滅光照射下で、

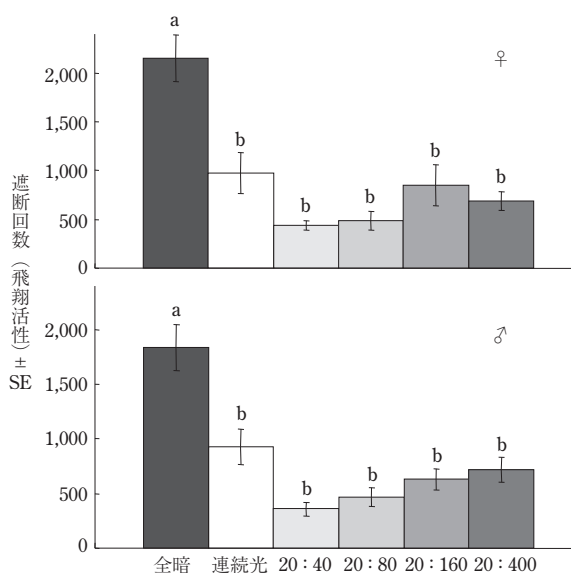


図-4 各点滅照射区におけるオオタバコガ未交尾成虫の羽化後 5 日間の平均飛翔活性

(尹ら, 2012 b, 一部改変)

グラフ中のアルファベットが異なる場合は Steel Dwass-test で有意差があることを示す ($p < 0.05$).

オオタバコガの未交尾成虫の暗期飛翔活性を調べたところ、すべての照射区において全暗区とは異なる飛翔活性が見られた。このことから LED の点滅光照射は、オオタバコガの飛翔行動に影響を及ぼしていると考えられた。また、今回行った LED 照射区における暗期の飛翔活性は、どれも全暗区より有意に減少したことから (図-4)、現在夜間照明に用いられている黄色蛍光灯と同様に、今後 LED 光源を夜行性ヤガ類の飛来防止手段として用いることができることが示唆された。

各日齢における未交尾メス成虫の飛翔回数を示したのが図-5 である。暗黒区のメス成虫は 2 日齢に飛翔活性のピークが見られ、その後も活性は高く推移したが、照射区における 2 日齢の飛翔回数は、どの区でも全暗区より有意に低かった。また連続光, 20:160, 20:400 区においては 4 日齢と 5 日齢では活性が上昇し、全暗区との有意差がなくなったが、20:40 区と 20:80 区の間では、4~5 日齢における遮断回数の増加は見られず、いずれの日齢でも全暗区よりも有意に低かったことから、飛翔活性の低下が連続して認められた。この傾向はオス成虫でも変わらず (図-6)、連続光および 20:400 区では 5 日齢で活性が上昇し、全暗区との有意差がなくなった。しかし 20:40 区, 20:80 区そして 20:160 の 3 区では、5 日齢となっても遮断回数の増加はほとんど見られず、全暗区よりも活性は有意に低かった。

以上のように点滅照射区のうち、雌雄ともに全日齢で全暗区と有意差が認められた 20:40 区および 20:80 区については、LED 点滅光に対する「慣れ現象」は見ら

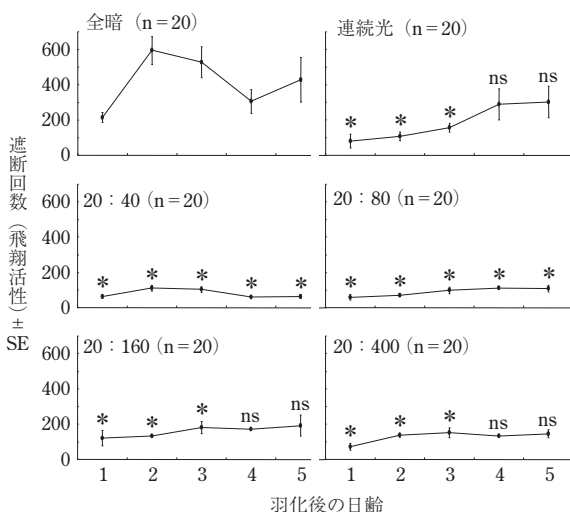


図-5 LED 点滅照射区におけるオオタバコガ未交尾メスの各日齢の飛翔活性 (尹ら, 2012 b, 一部改変)

* 無処理区と有意差あり (Dunnett's test, $p < 0.05$).

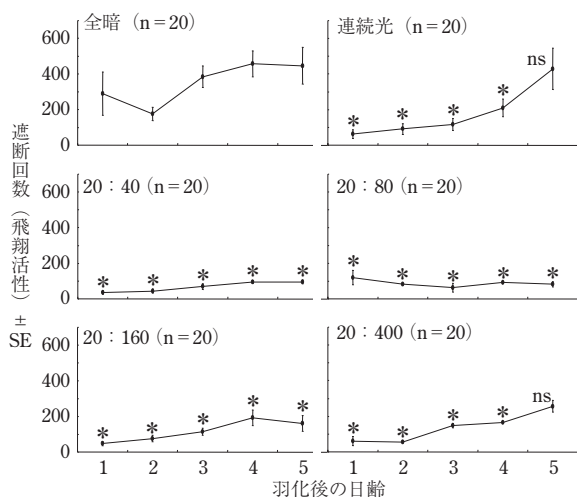


図-6 LED 点滅照射区におけるオオタバコガ未交尾オスの各日齢の飛行活性 (尹ら, 2012 b, 一部改変)
* 無処理区と有意差あり (Dunnnett's test, $p < 0.05$).

れず、低い飛行活性を継続して示した。したがってオオタバコガの成虫は、明暗 20 ms : 40 ms および 20 ms : 80 ms の点滅光照射によって、夜間の飛行行動が連続的に抑制される可能性が高いことがわかった。そしてこの黄色 LED 点滅光照射条件、特に 20 ms : 80 ms の点滅光照射では、短日植物への影響が少ないことが明らかになっている (石倉ら, 2012)。具体的には、感光性を示す秋ギク (品種 : '神馬') に対し、明暗 20 ms : 80 ms で点滅光照射する場合、キクの茎頂付近における放射照度を最大でも 35 mW/m² に抑えることで、開花遅延させることなく適用できる (図-7)。

オオタバコガの飛行行動の低下は、異性への接近や各作物の産卵場所への探索能力が抑えられることを示唆しており、LED の点滅光照射技術により、植物には影響が少なく、ヤガ類の被害を軽減させる可能性が示された。

おわりに

以上のように、LED の連続光や点滅光の照射は、ヤガ類の飛行抑制に有効であることを示したが、今後は環境にも配慮した至適な放射照度や点滅間隔の時間構造設定のさらなる絞り込みを進めていく必要がある。また点滅光照射が、成虫の交尾や産卵行動へ及ぼす影響に関する研究は行われていないので、これらは今後の課題である。加えて点滅光照射によるキク以外の作物への影響についての検討や、防蛾効果に関する野外での実証試験な

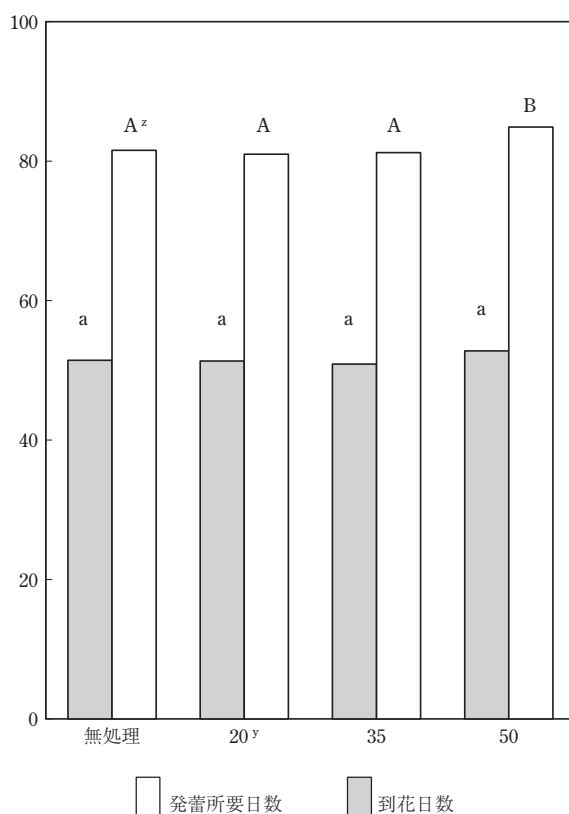


図-7 20 : 80 区の黄色点滅光の放射照度が秋ギク '神馬' の発蕾所要日数および到花日数に及ぼす影響

(石倉ら, 2012 を一部改変)

z : 図中の同一英大文字間および同一英小文字間には Tukey の HSD 検定により 5% 水準で有意な差がないことを示す。

y : 植物体の茎頂における放射照度 (mW/m²) を示す。

どが必要とされるが、それらを通じて、今後は多くの作物に適用できる LED 点滅光照射技術への展開も期待される。

引用文献

- 1) 那波邦彦・向阪信一 (1995): 応動昆虫学会会報 37: 19 ~ 24.
- 2) 石倉 聡ら (2000): 近中四農研報 100: 50 ~ 54.
- 3) ————ら (2010): 植物環境工学 22: 167 ~ 174.
- 4) ————ら (2012): 同上 24: 244 ~ 251.
- 5) 野村健一ら (1965): 応動昆虫 9: 179 ~ 186.
- 6) ———— (1967): 同上 11: 21 ~ 28.
- 7) Saito, O. (2000): Appl. Entomol. Zool. 35: 53 ~ 61.
- 8) 内田正人ら (1978): 鳥取果樹試研報 8: 1 ~ 29.
- 9) 山中正仁ら (1997): 近中四農研報 93: 71 ~ 75.
- 10) 八瀬順也ら (1997): 同上 93: 10 ~ 14.
- 11) 尹 丁梵ら (2012 a): 応動昆虫 56: 103 ~ 110.
- 12) ————ら (2012 b): 同上 56: 151 ~ 156.