

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 25 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26450063

研究課題名(和文) アジア型マイマイガの飛翔行動および産卵行動を抑制する夜間照明技術の開発

研究課題名(英文) Development of nocturnal lighting technology to suppress flight and oviposition behavior of Asian Gypsy moth, *Lymantria dispar*

研究代表者

野村 昌史 (Nomura, Masashi)

千葉大学・大学院園芸学研究科・准教授

研究者番号：50228368

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：現在、船舶による北米等生息域外への侵入が警戒されているマイマイガについて、成虫の活動および産卵抑制に効果的な照明技術の開発を目的として、室内実験を行った。暗期に2色でそれぞれ2つの照度で照明したところ、黄色200mW/m²、淡黄色10mW/m²、淡黄色200mW/m²照射では活動が有意に抑制された。

また、無処理と比べて黄色200mW/m²では有意に産卵する個体数が減少したが、他の照明区では有意差は検出されなかった。以上により雌成虫の行動抑制に最も適しているのは黄色LEDの200mW/m²と考えられ、活動には放射照度が関係することが示された。

研究成果の概要(英文)：Currently, Asian gypsy moths (*Lymantria dispar*) are wary of invasion outside the habitat area such as North America by ships. Laboratory experiments were conducted with the objective of developing effective illumination techniques for adult activity. When illuminated with LED in the dark period, the activity was significantly suppressed with yellow 200 mW / m², light yellow 10 mW / m², light yellow 200 mW / m² irradiation. Compared to untreated, the number of individuals that spawned significantly at yellow 200 mW / m², but no significant difference was detected in other illumination zones. The most suitable for suppression of behavior of female adults is considered to be 200 mW / m² of yellow LED, indicating that irradiance is related to activity.

研究分野：応用昆虫学

キーワード：マイマイガ 夜間照明 飛翔行動 産卵行動

1. 研究開始当初の背景

マイマイガ *Lymantria dispar* (L.) は、極めて広食性のものであり、日本では 100 種以上の植物を食害する森林害虫として知られている。本種とその近縁種はアジア型の AGM (Asian Gypsy Moth) とヨーロッパ型の EGM (European Gypsy Moth) に大別される。EGM 雌成虫は羽化後、ほとんど飛翔しないのに対し、AGM 雌成虫は飛翔能力を有しており、寄主植物以外に壁や電柱などの人工建造物にも産卵する習性を持つ。北米では 1869 年に人為的に持ち込まれた EGM が定着して現在でも甚大な被害をもたらしており、EGM への対策のために毎年巨額の費用を投資している。AGM は EGM に比べて寄主範囲が広く、分散能力も高いため、北米等生息域外への侵入が強く警戒されている。AGM の外国への侵入を防ぐための対策として、国内の港では、AGM が発生している期間中に寄港した船舶に対して、AGM 卵塊の不在証明書提出を求める措置が講じられている。

AGM の交尾や雄成虫の飛翔は主に昼に行われるが、雌成虫は日没後約数時間の間に産卵前行動として歩行や飛翔を行う。この産卵前行動は多くの昆虫で知られているが、このとき AGM 雌成虫は港湾の光源に誘引されて数百メートルの距離を飛来し、船舶や積荷に産卵するために、雌成虫の行動を抑制し港湾への飛来・産卵を防ぐ必要がある。

一般に、AGM 雌成虫のような夜行性の昆虫は光に誘引されるが、これまでに先行研究で、黄色光を曝露することにより、ヤガ類の行動が抑制されることが報告されている。夜行性の昆虫では明期と暗期で複眼の構造が変化し、それぞれ明適応、暗適応した状態となることが知られている。そのため夜行性昆虫が明適応した場合、昆虫は不活発な状態となり活動が抑制されると考えられている。これに関しては実際に農業への応用として、対象害虫の不活発化あるいは忌避を目的に研究が行われている例が存在する。本種においても夜間照明による影響を研究した報告があり、特に雌成虫について黄色蛍光灯で夜間の行動が強く抑制されたことが報告されている。しかし、蛍光灯に関して、日本政府が水銀に関する水俣条約を 2013 年に批准したことにより、2020 年から製造および輸出が制限されることが決定されている。このため、光による害虫防除を考える場合、蛍光灯から次世代の有用な光源として期待されている LED への転換に対応する必要がある。

研究を行った当初は、実験区では明状態からライトオフ後にすぐに LED 照射を行ったが、これらの結果は、野外の状況を反映しているものではないという結論に至った。すなわち AGM 雌成虫は夜行性であり日没後に動き出すことを考えると、日没後の産卵前行動を行うときの複眼は暗闇に慣れた状態、すなわち暗適応した状態であると考えられる。

従って、より現実に近い条件下で LED 光が AGM 雌成虫の行動抑制に及ぼす影響を明らかにするためには、暗適応した個体が光によりどのように影響を受けるのかを調べる必要がある。暗適応条件を加味した実験を行う必要がある。

2. 研究の目的

以上のことから本研究課題では、「産卵前行動」を産卵前に行われる歩行、羽ばたきおよび飛翔と定義し、明期の終わりや照明の照射開始までに完全な暗闇の期間を設けることで、暗適応したアジア型マイマイガ AGM 雌成虫に光を照射した場合、照明の照射下では産卵前行動が抑制されるというのではないかと考え、そして産卵前行動にどのように光強度が関係するかの検証を行うことを目的として、研究を行った。

3. 研究の方法

(1) AGM 雌成虫の産卵前行動の計測

米櫃内で羽化し、翅を伸ばし終えた雌成虫と雄成虫を底面にキムタオルを敷いた 30 × 30 × 30cm の網室(透明プラスチック製)に移動させた。網室内の AGM 成虫の性比は、雄成虫が不足している場合を除き、おおそ雄:雌が 2:1 の割合に保った。既交尾雌成虫を得るにあたり、既往の研究では AGM 雌成虫の完全な受精には 30 分程度の時間が必要であると報告しているため、実験には 30 分以上の交尾を肉眼で観察できた AGM 雌成虫個体のみを用いた。また、既交尾 AGM 雌成虫の活動活性は羽化初日にピークがあり、翌日から急減するという報告もある。したがって、原則として羽化初日齢の個体のみを実験に供試した。

以上のようにして得た既交尾雌成虫は、カップ底面に成虫が滑らないように紙(110mm)を敷き、透明なプラスチックカップ(直径 10cm × 高さ 6cm)の中に移動させた。プラスチックカップに閉じ込めた雌成虫を明期の間に実験ブース内に移動し、暗期に以下の照明条件を照射して実験を行い、Panasonic 製のデジタルビデオカメラ(HC4-W850M)を用いて暗期中の歩行や羽ばたきといった産卵前行動を観察した。また 1 日目の実験が終了しても産卵を行わなかった個体が存在した場合、同照明条件で継続して 2 日目も観察した。実験室の温度は 25 ± 1 であった。

(2) 産卵前行動の活動時間帯

多くの昆虫が産卵前行動を行うように、AGM 雌成虫においても日没後数時間でその行動が観察されると報告されている。前述した産卵前行動を計測した個体における、暗期全体での AGM 雌成虫の累積活動時間の差をみる上で、暗期を暗期開始 30 分、暗期前半(0.5 ~ 6.5 時間)、暗期後半(6.5 ~ 12 時間)という 3 つの時間帯に分割し、とくに暗期前半に注目して AGM 雌成虫の産卵前行動の変化を観

察した。

(3)AGM 雌成虫の産卵の有無

産卵前行動を観察した個体については、同時に暗期における産卵の有無についても観察した。そして実験初日に産卵を行わなかった個体に関しては、継続して2日目も同様の照明条件において産卵の有無について観察した。このときの実験室の温度は 25 ± 1 であった。

(4)実験ブース

実験ブースは幅 70cm, 奥行き 45cm, 高さ 55cm の金属枠に、プラスチック製の遮光の覆いをした箱を用意した。光源には、白色 LED ランプと 10W の白色蛍光灯を使用し、白色 LED に有色のフィルムを被せることで有色の LED 光源とした。フィルムは、金沢工業大学による AGM の網膜電位解析の結果を受け、株式会社シャープが製作した黄色のシート状フィルム、および淡黄色の板状フィルムの2種類を使用した。対照として、夜間の AGM 雌成虫の活動をみるために照明を照射しない無処理区を設けた。

(5)照明条件

明期(6:00-18:00)、暗期(18:00-6:00)の 12L12D の条件とした。明期 12 時間は 10W の蛍光灯を照射し、18:00-18:30 は暗適させるために照明を点灯せず、その後の暗期に次の3つの照明を照射した。照明の処理区ではそれぞれ放射照度 $10 \pm 1\text{mW}/\text{m}^2$ 、 $200 \pm 1\text{mW}/\text{m}^2$ で実験した。放射照度は放射照度計(X1-1 Optometer, Gigahertz-Optic, Germany)を使用して計測し、放射照度は日本工業規格のうち、照明基準総則(JIS Z 9110)を参考に設定した。

JIS では港湾の基準照度は 10-50lux と定められており、それぞれ 7-15lux, 35-75lux と幅が認められている。 $10\text{mW}/\text{m}^2$ のときに照明の照度は 4-6lux, $200\text{mW}/\text{m}^2$ のときの照度はおよそ 58-62lux であった。

4. 研究成果

(1)AGM 雌成虫の産卵前行動

羽化初日の AGM 雌成虫の産卵前行動時間の計測

統計処理から照明を照射した処理区において、光の種類・光の強度・この2要因の交互作用が AGM 雌成虫の行動に影響を与えた結果となった。

暗期を通じて AGM 雌成虫が活動した時間の累積を図 1 に示す。無処理区よりも、黄色 10 (黄色 LED; $10 \pm 1\text{mW}/\text{m}^2$) で累積活動時間が多く、その他の照明処理区では少ない結果となった。黄色 10 の処理区よりも、黄色 200 (黄色 LED; $200 \pm 1\text{mW}/\text{m}^2$)、淡黄色 10 (淡黄色 LED; $10 \pm 1\text{mW}/\text{m}^2$) および淡黄色 200 (淡黄色 LED; $200 \pm 1\text{mW}/\text{m}^2$) では累積活動時間が多くなり、有意差が検出された。しかし無

処理区と比較したときは、各区とも有意差は検出されなかった。黄色 10 を除き、照明を照射した処理区間では暗期における累積活動時間はほとんど同じであり、有意差は検出されなかった。

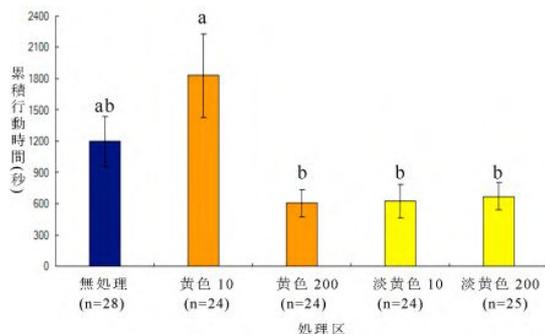


図 1. 初日の各処理区における AGM 雌成虫の累積活動時間

縦軸は各処理区における AGM 雌成虫の暗期の累積活動時間を秒で表した。エラーバーは標準誤差。有意差のあるところを、アルファベットで表した。(Tukey HSD, $p < 0.05$)

初日の累積活動時間について、黄色 10 を照射された AGM は他の照明処理区および無処理区の個体よりも活動していた。黄色 10 以外の照明処理区の累積活動時間は、無処理区のおよそ 0.5 倍、黄色 10 の累積活動時間は無処理区のおよそ 1.5 倍となった。有意差が検出されたのは黄色 10 と比較したときの他の照明処理区間でのみであり、従って、夜間の光照射により、必ずしも AGM の産卵前行動が抑制される結果にはならなかった。黄色 10 では産卵前行動が増加傾向を示す結果から、黄色 10 に使用した LED および放射照度 $10\text{mW}/\text{m}^2$ という組み合わせでは、AGM 雌成虫の産卵前行動を抑制することは難しいことが示唆された。また、同一の光源を使用した黄色 200 や放射照度が黄色 10 と同じ淡黄色 10 では活動時間が減少していた。Two-way ANOVA の分散分析より、初日の産卵前行動には光の種類、光の強さ、および2要因の交互作用が関係することが示されたが、この結果は黄色 10 と他の照明処理区を比較したことにより生じたものと考えられる。このため、LED 光源および放射照度、どちらの要因のほうがより強く、AGM 雌成虫に作用したのかは明らかではない。

これまでにも放射照度が大きくなると夜行性昆虫の活動が抑制されるという報告がなされてきたが、黄色区の場合においても同様に、放射照度が異なると活動性が異なるため、本研究では光の強さが AGM 雌成虫の活動に影響を与えることが示唆された。

対して、淡黄色区では放射照度が変化してもその活動性に大きな変化はみられなかった。このことは、淡黄色光の利用により $10\text{mW}/\text{m}^2$ 程度の光でも産卵前行動の減少に効果がある可能性があることを示している。淡黄色光の照射により AGM 雌成虫の産卵前行動が減少することについては、これまで同様の結果が得られている。黄色および淡黄色において現れた結果の違いについては、光の

構成スペクトルが異なることによるものと推定できる。

2日目のAGM雌成虫の産卵前行動時間の計測

2日目のAGM雌成虫の産卵前行動の累積活動時間について図2に示した。

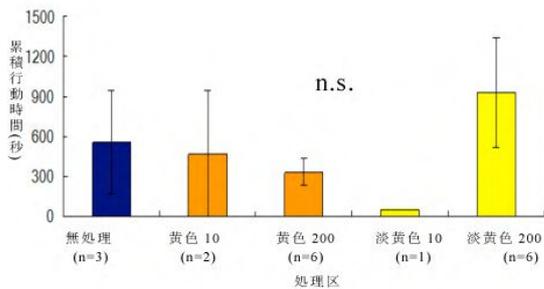


図2. 実験2日目の各処理区におけるAGM雌成虫の累積活動時間
縦軸は各処理区におけるAGM雌成虫の暗期での活動時間の累積の平均を秒で表したもので、エラーバーは標準誤差。

この結果より、2日目の産卵前行動には光の種類・光の強度・光の種類とその強度の交互作用のいずれも関係していなかった。

しかしながらこの実験は反復数が少ないため信頼度が低いものであった。ごく少数(黄色10: 1/2, 淡黄色200: 1/6)ながら、まったく活動しない個体が存在した。

初日と同様の検定を行ったところ、有意差は検出されなかった。無処理よりも活動時間が多かったのは淡黄色10だけであり、その他の処理区では無処理区よりも少なかった。

(2) AGM雌成虫が産卵前行動を行う時間帯 初日の産卵前行動を行う時間帯

図3に、各時間帯のAGM雌成虫の活動時間を示した。この図は初日のAGM雌成虫の累積活動時間を、3つの時間帯(0-0.5h, 0.5-6.5h, 6.5-12h)に分割し、活動の変化を表したものである。

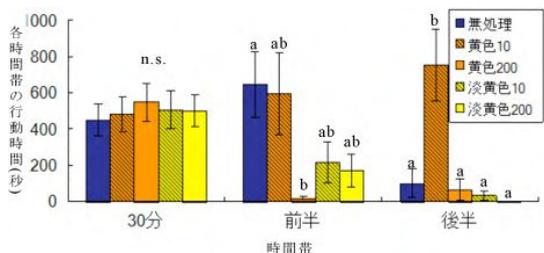


図3. 各時間帯ごとのAGM雌成虫の活動時間
縦軸は各処理区におけるAGM雌成虫の時間帯ごとの累積活動時間を秒で表したものである。エラーバーは標準誤差。有意差のあるところをアルファベットで表した。(Tukey HSD, p<0.05)

これをみると初日では、暗期開始30分の暗闇条件下では、どの処理区でもほぼ同程度活動した。その後の活動の増減については各処理区で異なっており、照明が照射されてから活動時間が増加しているのは、黄色10の処理区のみであった。暗期前半のときは、黄色10は無処理区とほぼ同じ程度の活動量で

あった。照明の照射が開始されてから最も活動が減少したのは黄色200であり、淡黄色区はどちらも同程度の減少を示した。

暗期後半(6.5-12時間)では、黄色10と比較して照明処理区および無処理区は活動量が多くなかった。

2日目の産卵前行動の時間帯

暗期開始30分の間はどの処理区も活動したが、暗期前半のときに活動していたのは淡黄色200のみであった(図4)。淡黄色200の実験に使用した6個体のうち、1個体が活発に活動していた。その他の処理区はすべて暗期開始30分の暗闇条件の間に活動を止めた。

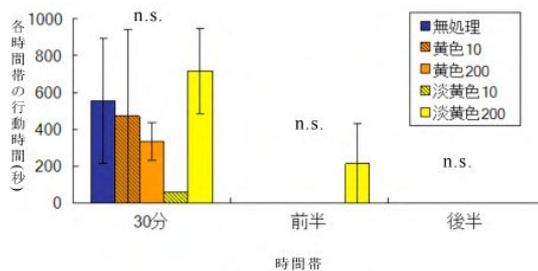


図4. 実験2日目の各時間帯におけるAGM雌成虫の累積活動時間の平均
縦軸は各処理区におけるAGM雌成虫の時間帯ごとの累積活動時間を秒で表したものである。エラーバーは標準誤差。(Tukey HSD, p>0.05)

(3) AGM雌成虫の産卵の有無

初日の実験の産卵の有無について、図5に示した。

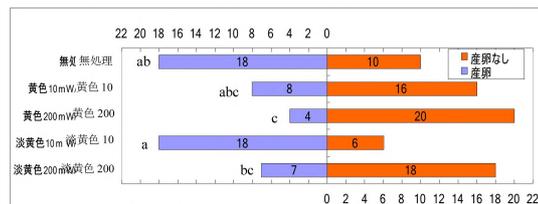


図5. 実験初日の各処理区におけるAGM雌成虫の産卵の有無
右の赤いグラフが産卵をしなかった個体数を、左の青いグラフが産卵をした個体数を表す。有意差のあるところはアルファベットで表した。(χ²検定, p<0.05)

処理区全体について多標本2検定を行うと、有意差が検出された(p=4.986e-05)。このことから各処理区間を対比較し、ボンフェローニ調整を行ったところ、無処理と比較した場合、黄色200で産卵する個体数が有意に減少していた(p=0.001456)。次に、無処理以外の処理区で比較すると、黄色200mW/m²と淡黄色10、淡黄色10と淡黄色200を対比較した際、有意差が検出された(それぞれp=0.000166, p=0.002663)。200mW/m²の処理区では淡黄色10と比べて産卵する個体数が減少していた。

2日目も観察した個体では、どの処理区でも暗期の中に産卵を行った(図6)。

産卵した個体数は無処理と比較して、黄色200で有意に減少したことから、黄色200では産卵の抑制が行われたと考えられる。また、淡黄色10と比較して淡黄色200では有意に産卵個体数が減少したことから、産卵行動の抑制には放射照度が関係することが示唆さ

れ、また放射照度が大きくなると産卵が抑制されることが示された。このように人工照明が産卵に影響する可能性は既に指摘されており、光による産卵抑制もアワノメイガの仲間 *Ostrinia nubilalis* に先行研究がある。既往

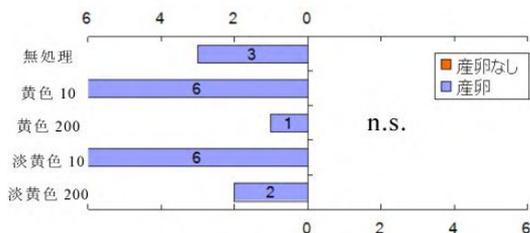


図6 実験2日目の各処理区における産卵の有無について
 右の赤いグラフが産卵をしなかった個体数を、左の青いグラフが産卵をした個体数を表す。有意差のあるところはアルファベットで表した。(χ²検定、 $p>0.05$)

の実験では放射照度ではなく、サーカディアンリズムが焦点となっているが、光が産卵に影響を与えることが本実験でも示された。なお、無処理区では28個体中10個体(35.7%)が産卵しなかったが、また野外の観察においても、初日に産卵しない個体が全体の10%ほど存在している。これはAGM雌成虫を入れたプラスチックカップ容器の狭さや、明期から暗期への光条件の唐突な変化が関係していると考えられた。

以上の実験から、AGM雌成虫の産卵前行動の減少および産卵抑制の結果より、AGM雌成虫の行動抑制に最も適しているのは黄色LEDの200mW/m²と考えられ、活動には放射照度が関係することが示された。

本研究では実験予定地における成虫の発生が少なかったために、野外での忌避効果についてデータを得ることができなかった。今後野外実験において、この条件に近い環境における成虫の移動を検討する必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計1件)

世良一成・野村昌史・軸丸祥一・石倉 聡
 (2015) LED 夜間照明を利用したマイマイガの行動制御に関する研究, 第59回日本応用動物昆虫学会大会講演要旨集, p141.

6. 研究組織

(1)研究代表者

野村 昌史 (NOMURA, Masashi)
 千葉大学・大学院園芸学研究科 准教授
 研究者番号: 50228368

(2)研究分担者

()

研究者番号:

(3)連携研究者

()

研究者番号:

(4)研究協力者

()