ミニレビュー

昆虫の視覚と害虫防除[#]

八瀬 順也*

兵庫県立農林水産技術総合センター

(2020年7月13日受理)

Characteristics of insect vision and its use for pest control

Junya YASE

Hyogo Prefectural Research Institute for Agriculture, Kasai, Hyogo 679-0198, Japan

Keywords: insect vision, pest control, yellow lamp, color trap, sticky trap.

はじめに

地球上に生息している昆虫の種類は、既知種だけで100万種を超える。昆虫は地球上でもっとも多様性に富んだ生物群といえるだろう。今日、「生物多様性」は農業においても無視できないキーワードになっているが、農業はこれら多様性を極めた昆虫たちとのせめぎ合いでもある。

20世紀の半ばに登場した化学合成農薬によって農作物の生産は安定し、われわれは多大な恩恵を受けてきた。しかし現在、「環境への配慮」と「安全な農作物」が求められる中で、害虫防除は化学合成農薬のみに依存しない手段が求められている。

本稿では、昆虫の視覚特性と行動の関係から害虫防除のアプローチを考え、物理的防除技術としての展開を紹介したい。

1. 誘蛾灯の歴史

多くの昆虫は光に集まる性質を持っている。このことを害虫防除に利用するアイディアは、古くは江戸時代に見ること

ができる。水田周辺で松明を持って練り歩く「虫追い」の行事¹⁾は、儀式的な意味合いもあったが、害虫の灯火誘殺を狙ったものであった(図1)。その後、より実用性を求めて

図1. 虫追いの図. 文献1) より。

[#] 第44回大会シンポジウムを取りまとめた解説。

* 〒679-0198 兵庫県加西市別府町南ノ岡甲1533

E-mail: junya_yase@pref.hyogo.lg.jp

© 日本農薬学会

図2. 黄色灯を点灯しているカーネーション施設群. 撮影: 淡路島, 1996年.

松明は篝火(かがりび)に変わり, 明治時代以降は石油ランプ, アセチレンランプ, 白熱電灯と新しい光源が使用されていった. 昭和初期には, 短波長の光がニカメイガに対して誘引能力が高いことが明らかにされ, 誘蛾灯として青色蛍光灯が開発された.

青色蛍光灯の普及が急速に進んだのは食料増産が急務だった終戦直後であったが, その最中に占領軍総司令部(GHQ)から, 「益虫も誘殺されるので有害」として誘蛾灯の普及に対して中止が求められた. またこの頃から, DDTやパラチオンなどの化学合成農薬の使用が始まり, 誘蛾灯そのものの利用は衰退の方向へ向かっていった.^{2,3)}

2. 防蛾灯としての黄色灯の利用

1960年代, 580nmに波長ピークを持つ黄色光が果樹の果実を加害する吸ガ類成虫(アケビコノハやアカエグリバなど)に対して優れた行動阻害を示すことが明らかにされた.⁴⁾ 利用方法として, 最低照度1lx以上, この条件を満たすための目安として10a当たり7灯(40W蛍光灯で)という夜間照明の基準が作られ, ナシ, リンゴ, モモなどで広く普及が進んだ.⁵⁾

1990年代に入り, 果樹以外で黄色灯が利用されるようになった. 事例としては, カーネーションのシロイチモジヨトウ⁶⁾がおそらく最初だと思われる. その後, 青ジソのハスモンヨトウ,⁷⁾ スイートコーンのアワノメイガ⁸⁾で試みられ, これらは花き・野菜類における黄色灯利用の先駆的事例となった.

果樹の吸ガ類防除では成虫が加害者であり, 直接の防除対象であったが, 花き・野菜類の黄色灯の利用では, ガ類成虫の交尾・産卵を妨げて次世代幼虫密度を減らすことで被害軽減効果を得ている. 説明されるとごく当たり前に思えるが, 技術開発に携わる者として, 果樹での利用からこのブレイクスルーに至るまで, 実に約30年を要したことを特記してお

きたい.

1990年代には黄色灯にとってもう一つ重要な出来事が起こっている. 1994年は西日本を中心にオオタバコガが大発生し, 深刻な問題になった年であった. この年に淡路島のカーネーションでオオタバコガを対象にした黄色灯の試験が行われ, 難防除害虫である本種に対して優れた効果があることが明らかにされた.⁹⁾ この成果を受けて, 島内では急速に普及が進み(図2), 全国的に注目されるようになって, 各地でいろいろな作物, 害虫に対して利用が取り組まれた¹⁰⁾(表1). その後は, 高圧ナトリウムランプ等のHIDランプ(High Intensity Discharge lamp)を光源とした防蛾灯によって, 露地での効率的な広域設置が可能になり, さらに近年では光源のLED化が進んでいる.

表1. 黄色灯の利用が試みられた主な害虫と作物*.

害虫	作物
アケビコノハ, アカエグリバ, ヒメエグリバなどの果樹吸蛾類**	ナシ, リンゴ, モモ, ブドウ
シロイチモジヨトウ	カーネーション, トルコキキョウ
ハスモンヨトウ	バラ, キク, シクラメン, トルコキキョウ, ブドウ, イチゴ, レタス, アスパラガス, ピーマン, オオバ(葉ジソ)
オオタバコガ	カーネーション, キク, シクラメン, トマト, ナス, ピーマン, レタス
イラクサギンウワバ	キャベツ, エンドウ
ハイマダラノメイガ	キャベツ, ダイコン
アワノメイガ	スイートコーン, ショウガ
ベニフキノメイガ	オオバ(葉ジソ)
コクロヒメハマキ	オオバ(葉ジソ)
スジキリヨトウ	シバ
チャノホソガ	チャ
チャノコカクモンハマキ	チャ, ブドウ
チャハマキ	チャ
モモノゴマダラノメイガ	ブドウ, モモ
トビイロトラガ	ブドウ
モンキクロノメイガ	ブドウ
ナシヒメシンクイ	ナシ
アズキノメイガ	ナス
フキノメイガ	ナス
チャバメアオカメムシ	ナシ, カキ

*試験のみの事例や効果について未判定なものを含む. **成虫による直接加害の阻止. 文献10)より引用.

図3. 暗適応時と明適応時の複眼の様子. オオタバコガ.

3. 黄色灯の作用原理

夜行性ガ類（ヤガ類）の活動性は複眼の状態と連動している。周囲が暗い環境では、光をあてると複眼内部からの反射光で中央部が輝いているように見え、このときは活発な状態にある（暗適応；図3左）。一方、明るい環境では複眼内部が色素で覆われるため反射が生じなくなり、同時に不活発な状態になる（明適応；図3右）。黄色灯の作用は、明適応の誘導を狙ったものであり、黄色光が用いられる理由は、光源として誘虫性が低いことと、明適応に要する時間が他の波長と比べて短いことによる。⁴⁾

こうした害虫の活動抑制を目的とした光防除技術は、国外での事例を見ないので、日本独自の技術と言える。

4. 色を利用した害虫防除

光の利用に対して、農業害虫の防除に色を利用するようになったのは比較的新しく、その取り組みは1980年ごろから始まっている。¹¹⁾ 手段としては、特定の色彩が昆虫類に対して示す誘引性を利用して捕殺するのが一般的で、色彩面に粘着剤を塗布したものが主に使われている。このような資材を本稿では「色彩トラップ」と呼ぶことにして、ここからは昆虫の色彩誘引のメカニズムについて考えるとともに、色彩トラップの利用について述べる。

5. 色という感覚

色は物体における光の反射として知覚されるもので、この情報を利用することで、生き物は環境に対する高度な適応が可能になっている。

われわれは、色に対する感覚を白、黄、赤色といった表現で共有しているが、そもそも色は主観的な感覚であり、他

の生き物が持つ色彩感覚を共有することは難しい。例えば紫外光の反射率の異なる2種類の白色では、ヒトはおよそ波長400 nm以下（紫外光）の光は感知できないので、¹²⁾ 紫外光を多く反射する資材（図4: A）と、ほとんど反射しない資材（図4: B）は色彩的に区別できない。ところが、多くの昆虫は紫外光も感知できるため、¹³⁾ これら二つの資材は色彩的に異なって見えていると考えられる。

一例として、著名な野菜害虫であるミナミキイロアザミウマでは、同じ白色でも紫外光を反射する資材は誘引性が低く、紫外域を反射しない白色資材では誘引性が高いことが知られていて、¹¹⁾ 色に対する昆虫の行動を考える場合、前記の両資材をヒトの主観で扱うことは適切ではないことがわかる。また、昆虫は多くの種で、ヒトの赤色に当たるおよそ600 nm以上の波長が感知できないこともよく知られており、昆虫は、その固有の視覚感度のなかで、独自の色彩世界を持っている（と想像するしかない）（図5）。

図4. 白色資材2種の分光反射特性.

図5. 昆虫及びヒトの分光視感度とそれに基づくタンポポの画像. 分光感度は文献12) からネギアザミウマのものを、ヒトは文献11) から引用. (A) 昆虫の分光視感度に基づく画像. 紫外域の波長を赤色に変換してRGB合成している. (B) ヒトの分光視感度に基づく、いわゆる可視光画像. タンポポの花は、ヒトの視覚では黄色の単色に見えるが、紫外域を可視化して見ると、中心付近に紫外光を吸収している部分があることがわかる. 昆虫はタンポポの花に模様をみていると考えられる. (color online)

6. 色彩トラップという防除資材

色彩トラップは、害虫を視覚的に誘引して捕殺する物理的防除資材である. 主な対象害虫は、微小害虫と呼ばれるアザミウマ類、コナジラミ類、アブラムシ類そしてハエ類 (ハモグリバエ類、キノコバエ類) で、成虫の自発的な飛翔によって捕獲される.

多くの製品が市販されているが、サイズは25×10cm前後で、形状は長方形、色彩については青色または黄色が多い. 害虫ごとの適用色をおおまかに整理すると、アザミウマ類: 青色および黄色、コナジラミ類: 黄色、アブラムシ類: 黄色、ハモグリバエ類: 黄色となっていて、黄色が高い汎用性を示している.

色彩トラップの形状と誘引性の関係は、弘中・針山¹⁴⁾ がまとめたところでは、アザミウマ類やコナジラミ類に対しては三角形や円形の誘引性が高いとの報告がみられるが、製品としては材料の無駄が少ない四角形が多く採用されているようである. また、防除資材としては捕獲作用を受け持つ粘着剤の性能も重要であり、製品では使用者の利便性も考慮して工夫されている.

7. 色彩トラップへの定位行動

昆虫の視力 (空間分解能) はミツバチで0.01程度と推定されており、¹⁵⁾ アザミウマ類やコナジラミ類といった微小で複眼サイズの小さい昆虫類ではさらに劣ると思われる. 飛翔能力も高いようには思えないが、色彩トラップへの定位行動はどのように行われているのだろうか.

微小な昆虫はやみくもに飛翔しているように見えるが、

図6. ネギアザミウマおよびオンシツコナジラミの定位飛翔. 黄色シートを目標物として、1/60秒ごとの同一フレーム画像を1枚に合成したもの.

図7. 粘着シート上のオンシツコナジラミ成虫捕獲点の分布. 赤丸が捕獲点を示す. 黄色部10×10cm, 透明部20×20cm. 破線で囲った部分での捕獲が多い.

実は姿勢を制御しながら目標に対して正確に定位している(図6). 粘着シート上の捕獲点を調べてみると, 誘引色の周辺部に多い傾向が見られ, 色彩部と背景で作られる視覚コントラストの境界が視覚目標として使われている様子がうかがわれる(図7). 誘引源が光源の場合でも, 多くの昆虫種で発光部と背景によって生じる視覚コントラストの境界に強い定位傾向があることが知られており,¹⁶⁾ このような現象は(視覚的)エッジ効果と呼ばれている.¹⁷⁾

8. エッジ効果の利用

ネギアザミウマを対象にした試験では, 色彩トラップの両側に白色または黒色の視覚コントラストを配置すると, 誘虫数が有意に多くなるという結果が得られている¹⁸⁾(図8). 前述したように, 目標物への定位には視覚コントラストの存在が重要な役割を担っているの, このように視覚コントラストを加えることで, エッジ効果による誘引性能の向上が期待できる.

エッジ効果を利用した色彩トラップの製品も開発されている. 図9の製品では, 既製品の色彩トラップをベースとして, 濃淡を分けた淡緑色のひし形模様が印刷されている. 模様の色彩と数は捕虫効率において最適化が図られており, ベースとなった模様のないタイプとの比較では, 1枚(両面)当たりの捕虫数がコナジラミ類でおよそ1.6倍向上している.¹⁹⁾

このようなエッジ効果を示す模様の付加は, 色彩トラップ誘引性能を向上させるだけでなく, 設置場所の背景に依存しない独立した視覚コントラストを持つことから, 安定した視認性が得られるので, 密度消長を調べる発生モニタリングのような用途にも適していると考えられる.

おわりに

昆虫類の視覚的な行動は, 機械的に生じているわけではなく, 弘中・針山¹⁴⁾が指摘しているように, 昆虫種および環境条件や生理状態ごとに, 異なるメカニズムで引き起こされていると考えるべきである. 害虫防除技術として捕獲を目的

図8. 視覚コントラストを配置した黄色トラップにおけるネギアザミウマの誘虫数比較. 文献17)から改変. 各8反復, 黄色面1枚あたりの平均誘虫数±標準誤差. 異なるアルファベット間には有意差が認められる (Tukey's test, $p < 0.01$).

図9. エッジ効果を採用した色彩トラップの製品例. 商品名: ラスボスRタイプ/大協技研工業.

とするのであれば、例えば振動などの刺激で作物から害虫の離脱を促すなど、さらに効率を上げるために他の手段との組合せを検討する余地がある。その一方で、天敵や授粉昆虫等の有用昆虫への影響を最小限に抑えることを考慮しておく必要もあるだろう。

五感と呼ばれるもののうち、視覚はもっとも距離をおいて作用する。害虫の出現は、ほとんどの場合、人の行為が招いたものなので、適正な「間合い」をとる責任はやはり人にある（そもそも昆虫にはそんな意識はないだろう）。間合いは

広ければ広いほど、お互いへの干渉は少なくなる。視覚の利用は、まさにこの適正な間合いをとるのに最適なアプローチの一つだと考えている。

引用文献

- 1) 大蔵永常, 除蝗録, 1826.
- 2) 石倉秀次: 誘蛾燈史, 日本植物防疫協会, p. 164, 1991.
- 3) 江村 薫他: 黄色灯による農業害虫防除, 農業電化協会, p. 135, 2004.
- 4) 野村建一他: 日本応用動物昆虫学会誌 **9**, 179-186 (1965).
- 5) 内田正人: 農業および園芸 **58**, 57-63 (1983).
- 6) 矢野貞彦: 関西病虫害研究会報 **34**, 97 (1992).
- 7) 田中 寛他: 関西病虫害研究会報 **34**, 47-48 (1992).
- 8) 那波邦彦, 向阪信一: 日本応用動物昆虫学会中国支部会報 **37**, 19-24 (1995).
- 9) 八瀬順也他: 日本応用動物昆虫学会中国支部会報 **38**, 1-7 (1996).
- 10) 八瀬順也: 農林水産研究ジャーナル **32**, 27-31 (2009).
- 11) 北方節夫, 吉田 守: 植物防疫 **36**, 478-481 (1982).
- 12) https://www.researchgate.net/figure/The-luminosity-function-defines-the-sensitivity-of-the-human-eye-for-different_fig1_262261737 (2020年3月30日閲覧)
- 13) 蟻川謙太郎他: 研究成果第535集「害虫の光応答メカニズムの解明及び高度利用技術の開発」, 農林水産技術会議事務局編, pp. 16-20, 2015.
- 14) 弘中満太郎, 針山孝彦: 日本応用動物昆虫学会誌 **58**, 93-109 (2014).
- 15) 蟻川謙太郎: 見える光, 見えない光—動物と光のかかわり, 共立出版, pp. 68-70, 2009.
- 16) 弘中満太郎他: 昆虫科学読本—虫の目で見た驚きの世界, 東海大学出版部, pp. 15-28, 2015.
- 17) 弘中満太郎他: 植物防疫 **72**, 112-116 (2018).
- 18) 八瀬順也: 植物防疫 **72**, 107-111 (2018).
- 19) 八瀬順也, 森口彦彌: 植物防疫 **74**, 38-40 (2020).

略歴

八瀬順也 (やせ じゅんや)

生年月日: 1963年5月25日

最終学歴: 愛媛大学大学院農学研究科

研究テーマ: 虫の気持ちになって考える虫と人との付き合い方

趣味: 現実逃避