

特

集

## 光と色を利用した害虫防除技術の新展開

## 光防除技術開発の最近の進展

農研機構 生物機能利用研究部門 昆虫制御研究領域 しも霜 だ田 まさ政 み美

## はじめに

近年、消費者の食の安心・安全に対する意識が高まるとともに、農産物に対するニーズが多様化して、化学農薬の使用を抑えた減農薬野菜や有機野菜の需要は年々増加している。すでに欧米では、有機野菜が確固とした地位を得ており、大手スーパーチェーンなどを通して流通量が拡大している。小売店には有機野菜・果物の販売コーナーが設けられており、消費者が入手しやすくなっている。一方、日本では、有機栽培作物の生産量は毎年増え続けているものの、そのシェアは1%未満とごくわずかであり、減農薬栽培品を含めても消費者が容易に選択できる状況には至っていない。

また、農業生産の現場では、野菜や果実に被害を与える病害虫の薬剤抵抗性が大きな問題になっている。1990年代以降に製剤化が進んだネオニコチノイドでさえ、数多くの害虫種が抵抗性を獲得している。ここで問題を深刻にしている理由の一つは、作用点の異なる複数の農薬に対して“多剤耐性”を獲得している害虫が増えてしまったことである。このため、効果のある農薬に限られてしまい、アザミウマやアブラムシ等の微小害虫では化学農薬による防除がますます困難になっている。

このような背景のもとで、化学農薬に代わる（もしくはそれを補う）防除技術の開発は、害虫防除にかかわる研究者や技術者が責任をもって取り組むべき喫緊の課題となっている。

## I なぜ今、「光防除」なのか

化学農薬は、害虫を即座に全滅させる強力な力をもつが、それと同等の効果をもつ防除技術の開発は容易ではない。そこで、化学農薬の使用を抑えつつ、利用可能な様々な手段を組合せて害虫密度を管理する総合的病害虫管理技術（IPM）の構築が必要となる。ここでは農地周

辺の自然環境や病害虫の個体群動態を考慮しつつ、生物的防除・化学的防除・耕種的防除・物理的防除による複数の技術を矛盾なく組合せる。それによって、害虫密度を経済的被害が問題となるレベル（経済的被害許容水準）未満に抑えることを目標にしている。化学農薬の使用量や回数を減らすことは、薬剤抵抗性の拡大にブレーキをかける効果も期待できる。

欧米で IPM が提唱されてから半世紀が経過し、様々な技術が開発されてきた。生物的防除法としては、昆虫病原性細菌 *Bacillus thuringiensis* を用いた微生物製剤（BT 剤）やスワルスキーカブリダニ等の天敵昆虫の利用技術が生産現場に定着しつつある。本号で特集する「光や色を使った新しい害虫防除技術」、すなわち“光防除”は、物理的防除に該当する技術である。光防除技術としては、蛍光管（ブラックライト）を用いたトラップや黄色ナトリウムランプを用いた防蛾灯等が 1990 年代までに開発されていたが、種類が少なく、利用できる場面や用途が限られていた。その状況が大きく変化したのは 2000 年代以降である。単色性で発光効率の高い発光ダイオード（LED）の開発と大量生産による低価格化が進み、害虫防除に利用できる可能性が高まってきた。同時に、網膜分光感度など昆虫神経生理学の分析技術も向上し（蟻川ら、2014）、様々な昆虫種に光（波長）を照射して反応を観察する研究が盛んに行われるようになり、新たな生命現象（光応答反応）の発見にもつながっている（本多、2011；SHIMODA and HONDA, 2013）。特に、最近数年間の進展には目を見張るものがあり、従来にはなかった害虫防除のアイデアが出され、農業資材の改良にもつながってきている。

## II 光防除の基本原則：昆虫の光応答反応

光防除では、昆虫が光や色に対して示す応答反応（光応答反応）を利用する。物体（光源）の色や形は、複眼を構成する数百～数千個という個眼で検出される。この入力情報（インプット）は、電気信号として脳の神経ネットワークで情報処理され、最終的なアウトプットとして何らかの行動や発育に変化が起こる。昆虫の光応答反

Recent Progress in Physical Insect Pest Control Using Light and Color. By Masami SHIMODA

（キーワード：物理的防除、行動制御、視覚、光応答、LED、トラップ、防虫技術）

応で、最初に頭に浮かぶのは、街灯に昆虫が群がる「走光性」であろう。これまでの研究で、走光性以外にも、様々な光応答反応（アウトプット）があることがわかってきた（図-1）。

（A）誘引（Attraction）は、“正の走光性”とも呼ばれ、光源に向かっていく反応である。昆虫種によって好む光の波長や強度が異なることが知られており、特に好む波長は「波長選好性」といって、防除技術を考えるうえで重要な要素となる（図-2）。多くの昆虫は、波長 350 nm 付近に吸収極大をもつ紫外線受容体、450 nm 付近の青色受容体、550 nm 付近の緑色受容体の三つの光受容体遺伝子をもつ。この組合せで複眼分光感度が決まっており、波長選好性は、紫外線受容体や緑色受容体の吸収極大付近にある場合が多い。この波長選好性は、ライトトラップや粘着シート等、捕獲装置の原理として応用できる。

（B）忌避（Avoidance）は、負の走光性とも呼ばれ、光源から遠ざかる反応である。植物の茎や実に潜行する甲虫類等は、明るい光を避けて物陰に隠れる習性をもつ。忌避も昆虫種によって作用波長や強度が異なると考えられる。栽培施設の入口に害虫が避ける照明を設置することによる侵入阻止、作物に直接照射することによる害虫密度の低下が期待できる。

（C）明順応（Light adaptation）：オオタバコガなどの夜行性蛾類は、夜間、複眼が暗闇に順応した状態（暗順応）にあり、活発に活動する。この状態で複眼に光を当てると猫の目のように光が反射し、みるみるうちに複眼が昼間の状態に変化して光を反射しなくなる。これを明順応と呼ぶ。明・暗順応は視細胞内の色素顆粒の移動

により起こる現象で、明順応状態になると夜行性の昆虫は飛翔や交尾、産卵等の行動を完全に停止する。

（D）概日リズム（Circadian rhythms）：人間と同様に昆虫にも体内時計があり、昼と夜の明暗サイクルに順応して、生理状態や様々な行動の活動時刻が決まる。脳を含む中枢神経系にある生物時計細胞が支配しており、夜間に光を照射するとこの生物時計がリセットされ、時計の針が前進または遅延する。これを位相シフトと呼ぶが、その結果、飛翔や求愛等の活動のタイミングが乱される。栽培施設に一定時間（>数時間）、光を照射することで、これらの行動をかく乱することができる。

（E）光周性（Photoperiodicity）：昆虫は冬を越すために活動を停止して寒さに耐える必要がある。これを休眠と呼び、多くの昆虫は、秋になって日長が短くなると、日の長さを読み、越冬するための準備として休眠が誘導される。休眠状態の昆虫は耐寒性を獲得する。休眠を誘導する時期に、夜間の光照射を数日間連続して行うと休眠誘導が妨げられ、越冬できなくなる。

（F）傷害（Light toxicity）：近紫外線は強い細胞傷害作用をもつことが知られており、タンパク質を変性させるだけでなく、二本鎖 DNA を損傷させて突然変異を誘発する。昆虫種によっては、複眼に紫外線や青色光を照射すると、複眼の細胞構造が破壊されることが知られている。光の毒性は発育阻害や行動異常としても現れる。昆虫に対する光の傷害作用は、植物工場や食品工場等での害虫防除技術としても有望で利用が期待される。

（G）視覚遮断（Blindness）：リングに青い光を当てると、リングは薄黒く見える。このように、照射する光

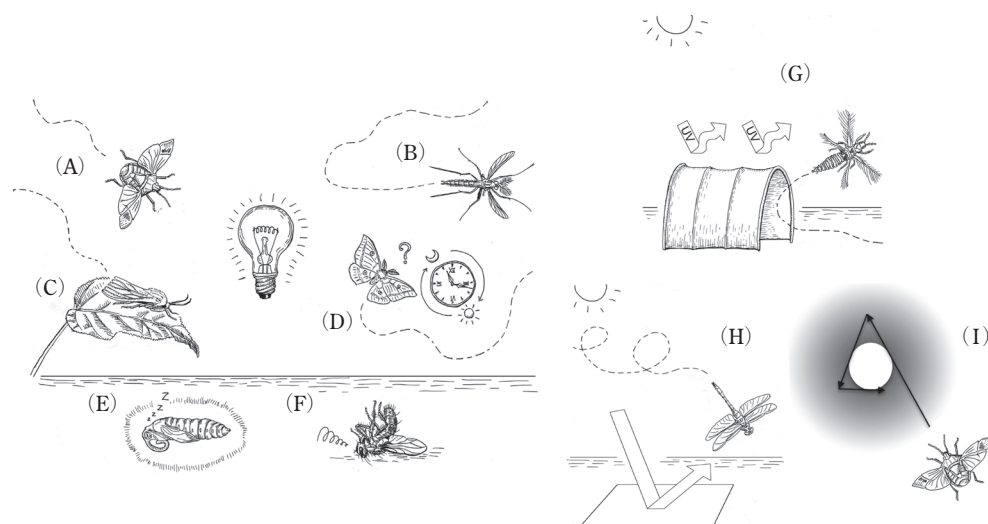


図-1 昆虫の様々な光応答反応

（A）誘引、（B）忌避、（C）明順応、（D）概日リズム、（E）光周性、（F）傷害、（G）視覚遮断、（H）背光反応、（I）エッジ反応。SHIMODA and HONDA (2013) を加筆、改変。ただし、光応答反応のメカニズムは未解明の部分が多く、将来、その概念が変わる可能性がある。

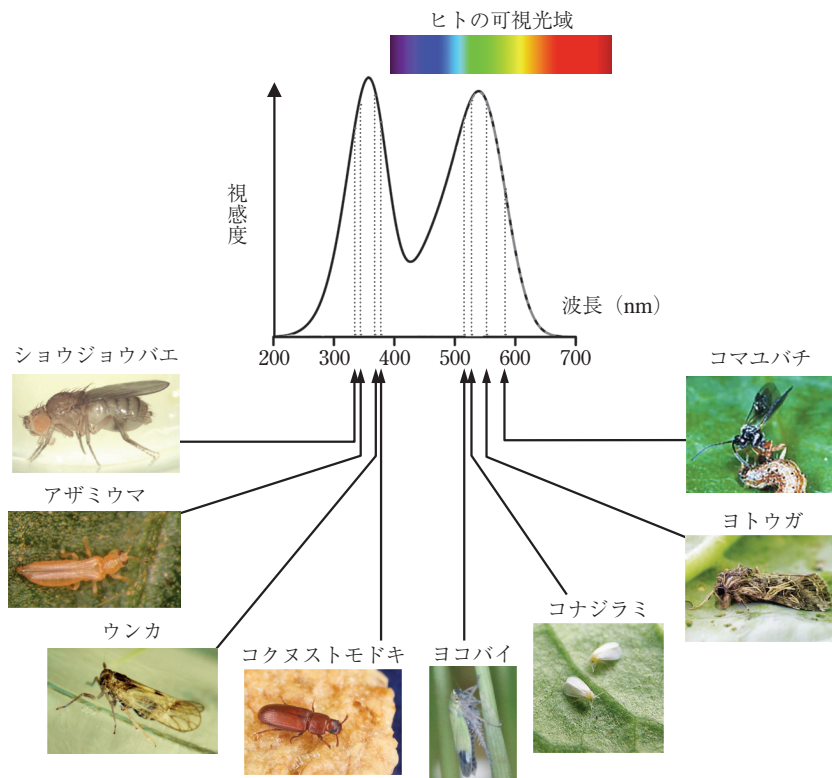


図-2 昆虫の様々な誘引波長（波長選好性）

同じ強度（明るさ）で様々な光波長を提示した場合に、各昆虫種が最も強く誘引される波長を示した。複眼の感度スペクトルは紫外域（350 nm付近）か緑域（550 nm付近）、またはその双方に極大をもつが、多くの昆虫はそのどちらかの波長を選好する。本図では紫外と緑に極大をもつ二峰性の平均的な感度スペクトルを参考例として示した。

の可視光成分を操作することで、物体の色彩や模様が判別しにくくなる。多くの昆虫は近紫外線に高い感受性をもつため、紫外線を含まない光を照射すると視覚が遮断される。紫外線カットフィルムで栽培施設を覆うと、施設内の作物がカモフラージュされて見えにくくなるため、栽培施設内への害虫の侵入が妨げられる。

(H) 背光反応 (dorsal light reaction)：バッタやトンボ等は、空間を飛翔する際に空の明るさ（太陽の直接光と大気の散乱光）を背中に受けることで、姿勢を保ち水平飛行をする。高い光反射率をもつシートを地面に敷くと、太陽光が下方から反射されて、昆虫の正常な飛翔が妨げられる。雑草防除のためのマルチングシートに、光反射率の高い白色系のものを用いると、害虫の侵入や定着を防ぐ効果が期待できる。

(I) エッジ反応 (edge reaction)：多くの昆虫の走光性において、明るい面と暗い面の境界線（エッジ）付近に向かうことが知られている。境界面での視覚的コントラストが作用していると考えられるが、エッジは明暗という光強度の違いだけでなく、光波長成分の違いや偏光方向の違いとしても作り出すことができる。ライトトラップや粘着シートのデザインに視覚的コントラストを組

み込むことで、捕虫効率を向上させることが期待できる。

以上述べたように、昆虫の光応答反応は実に多彩であり、種特異性も非常に高い。反応を引き起こす刺激は、単に光の強度だけでなく、波長、波長成分の組合せ（波長分布）、光の照射方法（光源の大きさや照射角度）、背景の明るさや色のコントラスト、偏光の有無等の影響を大きく受ける。一方、昆虫の側では、その種にもともと備わっている固有の反応があるだけでなく、その発育段階（幼虫か成虫か）や生理状態（満腹か飢餓状態か）によっても反応が異なる。また、体内時計も重要な要因であり、単に昼行性・夜行性・薄明薄暮性かというだけでなく、昆虫種によって飛翔、求愛、摂食等の行動の活動時刻が様々である。したがって、効果的な光防除技術を開発するためには、まず、対象となる昆虫の応答特性を解明することが必要で、そのうえで光源の材料（電球やLED）、照明装置の形状、さらに設置場所等の条件を十分に検討する必要がある（永山ら、本特集など）。

### III 光防除の技術開発

これまでに開発された代表的な光防除技術について、その基本原理となる光応答反応との関係で分類した



(図-3)。これらについては過去にも記述しているため (SHIMODA and HONDA, 2013; 霜田, 2014), ここでは最近の新しい情報について言及したい。

光への誘引反応を利用したものには、ブラックライトを用いた電撃殺虫器が広く普及している。ブラックライトは近紫外線を含むため、種々の害虫を誘引する効果があり、農業だけでなく、衛生害虫の駆除にも有効である。様々な昆虫種の波長選好性が解明されたことから、今後はLED光源を用いて、ターゲットに応じた捕殺技術が進むと期待される。水稻・野菜を加害するミナミアオカメムシ、イネウイルス病を媒介するトビイロウンカ、アルボウイルスを媒介して畜産業に被害をもたらしているヌカカ類、貯蔵乾燥食品を加害するタバコシバンムシ、斑点米の被害を与えるアカヒゲホソミドリカスミカメはすべて近紫外線 (365~385 nm 付近) に強く誘引される (遠藤ら, 2014; 松本ら, 2014; 梁瀬ら, 2014; 野口, 2014)。同様にキノコバエ類も紫外線 (365 nm) を照射した水盤トラップに効果的に誘殺される (園田ら, 2014)。チャヤカンキツ類を加害するチャノキイロアザミウマは緑色光 (520 nm) の誘引性が高い (貴志ら, 2014)。また、アザミウマ類の捕食性天敵であるヒメハナカメムシやタバコカスミカメ、寄生性天敵のブランコヤドリバエは紫色光 (405 nm) という“特殊な”波長選好性をもつことが見いだされた (荻野ら, 2015; TOKUSHIMA et al., 2016)。紫色選好性はこれまで報告がなく、アザミウマやコナジラミ類は紫外線や緑色光に誘引されるため (眞壁ら, 2014; 芳賀ら, 2014), 紫色光を用いて天敵を選択的に農地に誘引できる可能性がある。露地ナスや施設トマト栽培においてその防除効果が調査されている (OGINO et

al., 2016; 荻野ら, 本特集)。

昼行性害虫の誘引には、夜間の光照射よりも、色彩粘着シート (粘着トラップ) を使った防除法が有効である。太陽光の反射を利用するため、害虫種に合わせて様々な反射特性の材料が開発されている。果菜類の重要害虫であるミナミキイロアザミウマは青色粘着板 (柴尾・田中, 2014; 2015) やコバルトグリーン (分光反射率のピーク波長 503 nm) の粘着板に最も強く誘引され (芳賀ら, 2014), ミカンキイロアザミウマは紫外線 (355 nm) と緑色光 (525 nm) に誘引される (大谷ら, 2014)。さらに最近では、視覚的コントラストを粘着シートに応用する試みもなされている。白・黒の明暗模様をデザインしたシートに粘着剤をコーティングすることで捕虫効率の向上が期待できる (八瀬, 本特集)。

また、多くの昆虫は赤色光 (600~700 nm) が見えないとされ、これまで見過ごされていたが、トビイロウンカが赤色光 (660~735 nm) に誘引されたことから、微弱ながらも感受性が存在することが示された (松本ら, 2014; WAKAKUWA et al., 2014)。行動学的な作用原理が十分に解明されていないものの、赤色光 (600~660 nm) によるアザミウマ類の密度抑制効果が見いだされた (片井ら, 2015)。この効果は、ナスやメロンのアザミウマ防除に非常に効果があり、実用化が進んでいる (柴尾・田中, 2015; 石川ら, 本特集)。また、赤色に対する応答反応については、照射するだけでなく、赤色ネットを用いてもアザミウマ類を効果的に防除できることが報告されており、露地の葉ネギ栽培においてネギアザミウマの寄生率が減少することが確認された (上山ら, 2013)。さらに、織り糸の色を操作することで、より効

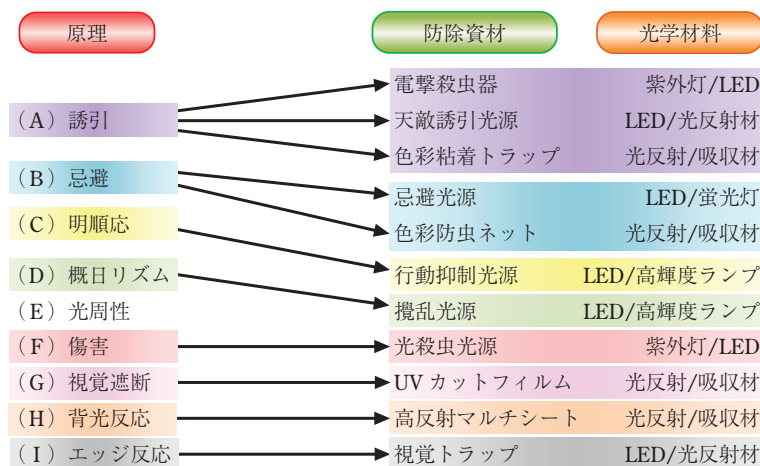


図-3 光応答反応を利用した害虫防除技術  
光応答反応とその原理を利用した代表的な防除資材の関係を矢印で示した。今後、新しい光応答反応の発見や光源の技術開発により、全く新しい概念の防除資材が開発される可能性もある。

果的にアザミウマやコナジラミの栽培施設への侵入を阻止できることが判明している(徳丸・上山, 2016; 徳丸・伊藤, 本特集)。

明順応に関しては、1990年代以降、ナシやモモ等の吸汁性ヤガ類で黄色蛍光灯が実用化されたのを皮切りに、夜行性蛾類の防除技術として広く普及している(野村, 1967; 八瀬ら, 2004)。花き栽培では、ヤガの成虫ではなく幼虫が葉や蕾を食害して被害が広がる。黄色蛍光灯は成虫の飛翔活動と産卵行動を抑制するため、バラ栽培におけるハスモンヨトウやカーネーション栽培におけるオオタバコガの防除に効果がある。レタスなどの露地栽培では、広い面積を少ない光源でカバーすることから、輝度の高いナトリウムランプが開発されているが(田澤, 2001)、エネルギー効率が高い高輝度LEDも検討されている(平間ら, 2007)。また、オオタバコガやヨトウガは、緑色光(500~550 nm)に対して分光感度が高く、効果的に行動抑制できることが明らかにされている(藪ら, 2014)。緑色LED照明も黄色蛍光灯と同様に、露地野菜栽培のIPM体系に組み込まれている(植松・藪, 2016)。

概日リズムは、特定の時間帯の光照射で行動抑制されるという点で明順応と似た現象に見えるが、明順応が短時間の光照射で即効的に作用するのに対し、概日リズムでは遅効的に作用する点で異なる。チャの重要害虫であるチャノコカクモンハマキは、日没後に数時間の光照射を与えると交尾活動のタイミングが乱される。青色光(450 nm 付近)が最も効果があることが見いだされ、概日リズムをかく乱して交尾抑制するLED光源の開発が進んでいる(佐藤, 2016; 佐藤, 本特集)。

光の毒性としては、紫外線による細胞傷害作用が知られていたが、ハモグリバエなどいくつかの昆虫種では青色光(400~470 nm)に対する感受性が高く、発育阻害が引き起こされ、致死する現象が見いだされた(Hori et al., 2014)。紫外線を使わずに可視光線で殺虫できることから、植物工場や食品工場における殺虫技術として普及が期待されている(堀, 本特集)。

視覚遮断による防除法としては、近紫外線除去フィルムが実用化されている。オンシツコナジラミを用いた行動分析から、近紫外線除去の防除原理が明らかにされた(太田・武田, 2014)。近紫外線除去フィルムを被覆したビニールハウスでは、ハウス内部の害虫の移動分散速度は変わらないが、外部からの侵入が抑制され、逆に内部から外部への飛散が促進される。同様に、炭酸カルシウムの白色粉末をカンキツ類の葉に散布して植物体の色を隠す方法も、害虫の視覚遮断効果によるものと考えられ

る(金子, 2012)。

昆虫の飛翔に影響を与える方法には、背光反応やエッジ反応の利用がある。背光反応については、野菜への有翅アブラムシの飛来防止策として銀白色ポリフィルムが導入されたのを始めとして、トマトなど他の野菜のアザミウマやコナジラミ類の防除にも用途が拡大した(長塚, 2000)。現在ではより高い光反射率をもち、蒸気透過性、遮熱性、耐久性等を向上させた高機能なポリエチレン不織布などが開発されている。これら光反射シートによる飛翔かく乱は、微小害虫の栽培施設内への侵入抑制だけでなく、作物上の密度抑制にも効果が確認されている。エッジ反応については、LED平面光源に対する到達位置の調査から、数多くの昆虫種が視覚的コントラストに反応して飛翔経路をとることが見いだされた。視覚的コントラストは、色彩粘着シートであれば白・黒の明暗模様により付与できるが、平面光源の場合には光源パネルの明るさではなく、昆虫の主観的明度に着目して光波長や偏光によって組み込むことが可能である。従来のライトトラップに視覚的コントラストを付与することで、より効率的な捕虫が期待できる(弘中・針山, 2014; 弘中ら, 本特集)。

以上、光防除技術の開発状況について概説した。これらのうちのいくつかは、10年前には全く予想もされていなかった生命現象、もしくは防除方法の発想である。新しい防除技術としての期待も大きいですが、光応答反応の適応的意義や作用メカニズムの解明が十分ではなく、原理的裏付けが必要である。害虫の適用範囲など、研究知見を蓄積することでより実用的な防除技術が開発されるものと考えられる。また、光防除は化学薬品を使用しないことから、食品工場や小売店における衛生害虫の防除手段としても有効である。蚊取り機能を付加した空気清浄機が注目されたが、家庭での害虫防除器具にも応用が期待される。

#### IV 技術導入上の留意点

光防除技術の詳細は、本特集各稿において解説するが、新しい技術であることから、栽培体系に導入するためには留意しなければならないことがある。留意点の一つめは、いずれの光防除技術も、化学農薬のように強力な作用があるわけではないという点である。例えば、赤色光照射によるアザミウマ防除試験(施設野菜)では最大で、90~95%の密度抑制効果を発揮するが、完全に害虫を取り除けるわけではない。また、紫色LEDによる天敵誘引では、アザミウマが10%未満に低下するものの、夏の最盛期には60%の密度抑制しか得られない。

したがって、光防除技術は他の防除手段とうまく組合せて、経済的被害を抑える必要がある。二つめの留意点は、同一作物であっても、地域により栽培方法、気象条件、発生する状況が異なり、それら個々の条件に合った使用方法を検討する必要があるという点である。例えば、紫色LEDによる天敵誘引技術の場合、天敵の“待ち伏せ効果”を発揮するために、まず、天敵温存植物を定植してヒメハナカメムシを増やす必要がある。それが不十分だと、紫色LEDの防除効果が期待できない。その土地に合った天敵温存植物の選定や圃場内のLED配置にも注意を払う必要がある。赤色系ネットは施設栽培において非常に高い侵入阻止率を発揮するが、侵入口への早期の設置が不可欠である。

作物の育成には、肥料や水、温度のほか、様々な栽培管理が求められる。ここに光防除のような新しい技術を導入する場合には、減農薬に伴ったりスク管理も必要であり、生産者の方々が長年培ってきた観察眼や判断力が求められる。さらに、光防除技術の効果を確実に引き出すためには、各都道府県で技術指導や普及に携わっている専門家や資材メーカーの協力が不可欠であると考えている。

## おわりに

害虫の薬剤抵抗性は、1950年代から化学農薬が使用されてまもなく報告されており、この問題の発生は、高い淘汰圧をもつ化学農薬の宿命なのかもしれない。前述のとおり、比較的新しい薬剤であるネオニコチノイド系殺虫剤に対しても、様々な害虫で抵抗性の出現が報告されており、新薬開発と抵抗性獲得のいたちごっこが続いている。本稿で示した“光防除”は、昆虫の本能的性質を利用するものであり、高い淘汰圧（防除効率）を得ることはできないが、抵抗性は発達しにくいものと考えられる。また、光防除技術は、天敵利用などの他の防除手段とも併用しやすく、様々な利用形態の可能性がある。新しい光防除技術が、減農薬栽培や低環境負荷の栽培体系の一翼を担えるよう、今後も関係者の皆様の協力を得て、技術普及のための努力を続けたいと考えている。

## 付記

光防除技術の開発に関しては、これまでに2件の公的研究プロジェクトが実施された。一つは2009～13年まで実施された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」における「害虫の光応答メカニズムの解明と高度利用技術の開発」である。農研機構中央農業総合研究センター（研究代表：本多健一郎氏）が中核となり、

大学、独法、公立試験研究機関、企業等20以上の機関が参画して、昆虫の視覚応答反応の解明と新しい発生予察・防除技術の開発に取り組んだ（中央農業研究センター、2014）。これに続いて2014年から5年間の計画で、内閣府が推進する戦略的イノベーション創造プログラム（「次世代農林水産業創造技術」）の中の「持続可能な農業生産のための新たな総合的植物保護技術の開発」管理法人：生研支援センター）において「視覚イメージを利用した新規害虫防除法の開発」と題する研究ユニットを形成し、16機関が参画して光防除技術の開発と普及を目指している。今回の特集では8件の新規技術を紹介しているが、これらの研究成果（の一部）は両プロジェクトの研究助成を受けて実施したものである。

## 引用文献

- 1) 蟻川謙太郎ら (2014): 応動昆 58: 5～11.
- 2) 遠藤信幸ら (2014): 同上 58: 23～28.
- 3) 芳賀 一ら (2014): 同上 58: 17～22.
- 4) 光を利用した害虫防除のための手引き 中央農業研究センター編 (2014), [http://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/publication/laboratory/narc/manual/053841.html](http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/laboratory/narc/manual/053841.html)
- 5) 平間淳司ら (2007): 植物環境工学 19: 34～40.
- 6) 弘中満太郎・針山孝彦 (2014): 同上 58: 93～109.
- 7) 本多健一郎 (2011): バイオメカニズム学会誌 35: 233～236.
- 8) Horn, M. et al. (2014): Sci. Report DOI: 10.1038/srep07383
- 9) 金子修治 (2012): 植物防疫 66: 45～49.
- 10) 片井祐介ら (2015): 応動昆 59: 1～6.
- 11) 貴志 学ら (2014): 同上 58: 13～16.
- 12) 眞壁敏明ら (2014): 同上 58: 187～195.
- 13) 松本由記子ら (2014): 同上 58: 111～118.
- 14) 長塚 久 (2000): 植物防疫 54: 359～362.
- 15) 野口忠久 (2014): 応動昆 58: 203～209.
- 16) 野村健一 (1967): 同上 11: 21～28.
- 17) 荻野拓海ら (2015): 同上 59: 10～13.
- 18) OGINO, T. et al. (2016): Sci. Report 6: 32302 doi:10.1038/srep32302.
- 19) 太田 泉・武田光能 (2014): 応動昆 58: 303～312.
- 20) 大谷洋子ら (2014): 同上 58: 177～185.
- 21) 佐藤安志 (2016): JATAFF ジャーナル 4: 22～25.
- 22) 柴尾 学・田中 寛 (2014): 応動昆 58: 29～32.
- 23) ———— (2015): 同上 59: 7～9.
- 24) SHIMODA, M. and K. HONDA (2013): Appl. Entomol. Zool. 48: 413～421.
- 25) 霜田政美 (2014): 植物防疫 68: 594～598.
- 26) 園田昌司ら (2014): 応動昆 58: 32～35.
- 27) 田澤信二 (2001): 照明学会誌 85: 217～221.
- 28) 徳丸 普・上山 博 (2016): JATAFF ジャーナル 4: 31～34.
- 29) TOKUSHIMA, Y. et al. (2016): PLoS One. 11(8): e0160441. DOI: 10.1371/journal.pone.0160441
- 30) 植松 繁・藪 哲男 (2016): 農業電化 69: 12～15.
- 31) 上山 博ら (2013): 関西病虫研報 55: 123～124.
- 32) WAKAKUWA, M. et al. (2014): J. Comp. Physiol. A 200: 527～536.
- 33) 藪 哲男ら (2014): 応動昆 58: 211～216.
- 34) 八瀬順也ら (2004): 話題の新技術 黄色灯による農業害虫防除, 農業電化協会, 東京, p.33～45.
- 35) 梁瀬 徹ら (2014): 応動昆 58: 127～132.