平成30年2月25日　印　刷　第72巻　第3号　平成30年3月1日　発　行（毎月1回1日発行）
ISSN 0037-4091

植物防疫

Plant Protection

3
2018
VOL.72

特集：光と色を利用した害虫防除技術の新展開

一般社団法人 日本植物防疫協会
Japan Plant Protection Association

スピノエース™ 顆粒水和剤

知らず知らずに進む、害虫の被害

ミカンキイロアザミウマ

ハモグリバエ類（ナモグリバエ）

ハイマダラノメイガ

栽培形態と使える農薬

	農薬 有機JAS規格別表2に含まれない農薬	有機JAS規格別表2の農薬 マシン油剤、銅水和剤、生石灰、性フェロモン剤、天敵など生物農薬、スピノサド水和剤、他（一部化学合成農薬を含む）
慣行栽培	○ 使用可	○ 使用可
特別栽培※1	○ 使用可※2	○ 使用回数にカウントされない
有機栽培	× 使用不可	○ 農作物の被害が予想される場合に使用可

スピノエースが有機農産物で使えるようになった!

有機農産物とは？ 有機農産物の日本農林規格（有機JAS規格）の規定に従って生産された農産物（飲料食品）のことです。

※1 慣行栽培と比較して農薬の50%を削除
※2 使用回数にカウントされない農薬も一部あるが、地方自治体によって基準が異なる

スピノエース顆粒水和剤の主な特長

- 天然物由来の全く新しい作用
- アザミウマ類、チョウ目害虫に優れた効果

ダウ・アグロサイエンス日本株式会社
本社／〒140-8617 東京都品川区東品川2丁目2番24号 天王洲セントラルタワー
http://www.dowagro.com/ja-jp/japan

®TM: ザ・ダウ・ケミカル・カンパニーまたはその関連会社商標

Dow AgroSciences

Solutions for the Growing World

農林水産省登録
第２２８０１号

殺ダニ・殺虫剤

サフオイル®乳剤

Suffoil

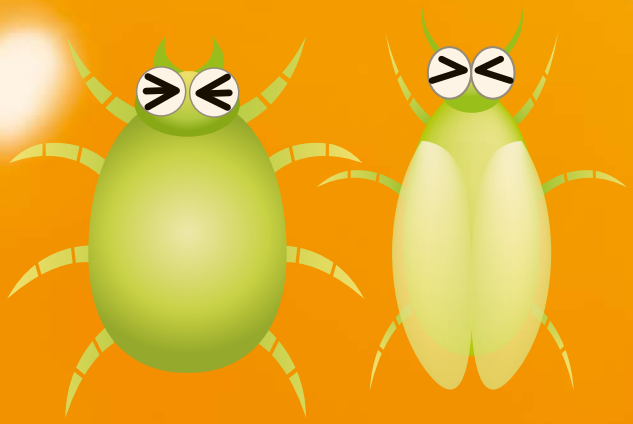
調合油乳剤 1ℓ入

自然の力でハダニ類やコナジラミ類を窒息死！
天然由来だから安心して使えます。

有機JAS
使用可能農薬

殺卵効果もあるんです！

殺卵効果を有する一歩上の気門封鎮剤



天然由来
紅花から抽出

本製品は、独立行政法人理化学研究所の研究成果が利用されています。

OATアグリオ株式会社

http://www.oat-agrio.co.jp/ 〒101-0052 東京都千代田区神田小川町1-3-1

コールセンター：0120-210-928（9:00～12:00、13:00～17:00 土・日・祝日をのぞく）

お客様相談室 バイエル クロップサイエンス株式会社
0120-575-078
(9:00～12:00、13:00～17:00 土・日・祝日を除く)

バイエル クロップサイエンス株式会社　クミアイ化学工業株式会社

ひと目でわかる 果樹の病害虫 —第三巻(改訂第二版)—

改訂第二版発売中

B5判 277頁，本体 7,800円＋税，送料実費

本書では，リンゴ，マルメロ，カリン，モモ，スモモ，アンズ，プルーン，ウメ，オウトウ，ブルベリー，ラズベリー，ハスカップを対象樹種とし，これらに発生する多くの病害虫を紹介しています。病害では発病部位や様相，病原菌やその顕微鏡写真を、害虫では卵から成虫までの各発育ステージと被害写真を掲載しました。発生生態や防除法について全国の研究者が簡潔に解説し，写真と解説により病害虫の防除と診断を容易にした図鑑です。今回の改訂では新たにラズベリーの病害虫を加えるとともに，既掲載樹種に11種類の病害解説を追加し，掲載樹種のほぼ全ての病害虫を網羅する内容となっています。

一般社団法人 日本植物防疫協会 支援事業部
TEL 03-5980-2183　FAX 03-5980-6753
http://www.jppa.or.jp/　e-mail：order@jppa.or.jp

植物防疫
Plant Protection
2018
第72巻 第3号

目　　次

巻頭言

産学官の連携による「薬剤抵抗性管理」への取り組みについて …… 後藤　千枝　1

特集：光と色を利用した害虫防除技術の新展開

「光と色を利用した害虫防除技術の新展開」特集によせて …… 本多　健一郎　2
光防除技術開発の最近の進展 …… 霜田　政美　3
温室メロンにおける赤色光を利用したミナミキイロアザミウマ防除技術
…… 石川隆輔・土井　誠・中野亮平・片山晴喜　9
新型赤色系防虫ネットの各種微小害虫に対する防除効果 …… 徳丸　晋・伊藤　俊　12
青色光を用いたチャノコカクモンハマキの防除技術 …… 佐藤　安志　16
青色光照射による殺虫技術の開発 …… 堀　雅敏　22
紫色 LED による天敵カメムシの行動制御技術 …… 荻野拓海・戒能洋一・霜田政美・上原拓也・山口照美　27
施設微小害虫の色彩誘引の特徴と色彩トラップの利用 …… 八瀬　順也　31
光捕虫器の農業利用における課題と可能性：エッジ効果を利用した捕獲効率の改善
…… 弘中満太郎・関根崇行・宮本武彰・増田俊雄　36
アオドウガネ成虫を誘引する LED 光源の最適波長の探索および誘引距離の推定
…… 永山敦士・新垣則雄・澤岻哲也・屋良一寿　41

植物防疫講座

病害編　イネ紋枯病の発生生態と防除 …… 宮坂　篤　46
虫害編　イネドロオイムシの発生生態と防除 …… 城所　隆　50
農薬編　ニコチン性アセチルコリン受容体競合的モジュレーター
―ネオニコチノイド系，スルホキシミン系，ブテノライド系，メソイオン系― …… 安宅　雅・中倉紀彦　57

新農薬の紹介

殺菌剤ピカルブトラゾクスの特長 …… 棗原　頼人　62

農林水産省プレスリリース（30.1.16～2.16）　11
新しく登録された農薬（30.1.1～1.31）　26, 35
登録が失効した農薬（30.1.1～1.31）　45
発生予察情報・特殊報（30.1.1～1.31）　56

【表紙写真】
上：ヒトが見るタンポポの画像と，昆虫の視覚感度に基づいて紫外光を可視化した疑似カラー画像（八瀬順也氏原図）
下左：イネ紋枯病病斑
下右：交尾するイネドロオイムシ成虫

改訂新版　農薬ハンドブック 2016版

一般社団法人 日本植物防疫協会 編

A５判　1,089頁
本体12,000円＋税
送料サービス

◆我が国の登録農薬*の原体 496 成分について詳しく解説
*** 2015年6月10日現在**

【 掲載内容 】

殺虫剤：**187** 成分，殺菌剤：**128** 成分，除草剤：**138** 成分，植物成長調整剤：**33** 成分，
その他：**10** 成分（展着剤は**1**成分としてカウント）について以下の内容を詳しく解説しました。
開発会社，開発の経緯，登録年月，物理化学性状，作用特性，主な製剤・用途，
主な使用上の注意事項，安全性（哺乳類，水生生物，鳥類，その他有用生物）

【 付　録 】

・化学農薬の作用分類及び各種基準値等一覧表
・化学農薬の構造式一覧表
・毒物劇物の判定基準

◆ お問合せとご注文は下記へお願いします ◆

〒114-0015　東京都北区中里 2-28-10
一般社団法人　日本植物防疫協会　支援事業部
TEL　**03-5980-2183**　FAX　**03-5980-6753**
mail　**order@jppa.or.jp**
HP　**http://www.jppa.or.jp/**

巻頭言

産学官の連携による「薬剤抵抗性管理」への取り組みについて

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
中央農業研究センター
後藤千枝（ごとうちえ）

近年の日本における病害虫の薬剤抵抗性に関する取組としては，農水省が主催する全国規模の対策検討会や農政局ごとの植物防疫協議会における検討，日本植物防疫協会や研究機関が開催するシンポジウムなどにおける意見交換があります。また，農水省による運営経費を受けて，都道府県病害虫防除所で実施された薬剤抵抗性検定の結果が農水省に報告されています。他方，研究機関においては，1994 ～ 97 年度に国の委託事業として薬剤抵抗性アブラムシ類に関する調査事業が広島県，静岡県，奈良県，佐賀県および長崎県の 5 県により実施されましたが，その後 15 年ほどは薬剤抵抗性に関する研究が組織的に実施されることがないまま経過しました。アブラムシ類の抵抗性問題はネオニコチノイド系殺虫剤の開発と普及により沈静化したものの，ハダニ類は新規に開発される農薬に対して次々と抵抗性を発達させて難防除となり，ウイルス媒介者として問題の大きいアザミウマ類，コナジラミ類でも薬剤抵抗性が顕在化しています。欧州などでは農薬規制により使用できる農薬が減少傾向にあることが薬剤抵抗性の発達に影響するとの懸念が指摘されるようになり，我が国においても薬剤抵抗性に関する情報共有と課題の整理の必要性が認識され，2010 年 1 月に日本植物防疫協会によるシンポジウム「薬剤抵抗性を考える」が，続いて 3 月には，農水省主催で薬剤抵抗性病害虫対策検討会が開催されました。2012 年は，9 月に日本植物防疫協会主催のシンポジウム「薬剤抵抗性対策の課題と対応」が開催されましたが，この年は，これまで容易に防除ができていたワタアブラムシでネオニコチノイド系殺虫剤抵抗性系統の発生が九州地方で初めて確認され，さらに，チョウ目害虫に卓効を示す新規薬剤として大きな期待を集めていたジアミド系殺虫剤に抵抗性のチャノコカクモンハマキが静岡で確認されるなど，害虫防除における殺虫剤抵抗性の問題が一気に拡大した年となりました。

このころ，農水省傘下の研究機関において，先行して薬剤抵抗性に取り組んでいた虫害研究者はごく少数でしたが，問題の拡大を受けて，これまで化学的防除から距離を置いていた天敵利用や昆虫ゲノムを専門とする研究者も加わり新たな研究グループを立ち上げ，2013 年 11 月には，中央農業総合研究センター・農業生物資源研究所合同主催により，研究会「殺虫剤抵抗性にどう対処すべきか―これからの薬剤抵抗性管理のありかたを考える―」を開催し，都道府県の研究担当者，普及部門担当者，農薬メーカーを含む関係者の情報共有の促進と協力関係の構築を図りました。2014 年 4 月には，農水省委託プロジェクト「ゲノム情報等を活用した薬剤抵抗性管理技術の開発」が開始され，コナガ，ワタアブラムシ，ウンカ類，ネギアザミウマ，チャノコカクモンハマキおよびナミハダニを対象に，薬剤抵抗性診断技術の開発，薬剤抵抗性の発達・拡大を予測するモデルの開発，その成果を組み込んだ薬剤抵抗性管理ガイドライン（薬剤の使用基準）案の策定等を実施することになりました。本プロジェクトにより，これまでに，抵抗性に関与する遺伝子の特定やその塩基配列情報を活用した遺伝子診断による抵抗性系統のモニタリング技術の開発，対象害虫の薬剤感受性検定法の確立と防除効果の高い薬剤の選定などの成果が得られています。また，本プロジェクトでは，イネいもち病菌の QoI 剤耐性に関する診断技術および薬剤抵抗性の発達・拡大を予測する技術の開発も合わせて実施され，2017 年 3 月に「殺菌剤耐性イネいもち病菌対策マニュアル〈QoI 剤〉」が公表されました。プロジェクトは，2018 年が最終年度であり，今後は，成果の受け渡しと農業現場への普及を目指した活動が促進されます。

薬剤抵抗性管理に関する技術開発は着実に進んではいますが，委託プロで扱われた病害虫と薬剤の組合せは全体の一部に過ぎません。今後も，国立研究開発法人，公設試，大学，農薬メーカー等産学官の連携による研究の継続が必要です。また，技術開発で得られた成果が確実に生産現場で利用される環境作りも大切です。生産現場では，ローテーション散布という言葉はよく知られているものの薬剤の系統に関する情報が欠けているために，生産者が気づかぬままに同一系統の薬剤を連続使用している場合があるなど，薬剤抵抗性管理の認知度はまだ低いままです。薬剤の使用者である生産者の理解の促進こそが技術普及のカギであり，研究成果をわかりやすく伝える努力も必要です。産学官の研究機関のみならず，都道府県の普及指導組織や JA 等の生産団体とも連携し，薬剤抵抗性管理の幅広い取り組みを継続的に実施することが今後の課題といえます。

（「植物防疫」編集委員）

特集

光と色を利用した害虫防除技術の新展開

「光と色を利用した害虫防除技術の新展開」特集に寄せて

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業研究センター 本多 健一郎（ほんだ けんいちろう）

我が国では，昆虫が燈火に集まる性質を利用した誘蛾灯による捕殺技術が古くから実施され，農業害虫の発生予察や防除に活用されてきた。しかし，昆虫が光や色に誘引される基礎的なメカニズムについては，まだ十分に解明されたとは言えない。近年，様々な波長の光を発生させる発光ダイオード（LED）が開発されており，異なる波長の LED 光源を組合せて利用することにより，新たな昆虫の光反応研究や誘引技術の開発が可能になりつつある。

2009～13 年まで，農林水産省の委託研究プロジェクト（光応答プロ）で「害虫の光応答メカニズムの解明と高度利用技術の開発」という課題が設定され，農研機構中央農業総合研究センター（当時）が中核となって，昆虫の光に対する反応の解明と LED 等の新しい光源を利用した害虫の発生予察・防除技術の開発に取り組んだ。このプロジェクトの成果は，「光を利用した害虫防除のための手引き」としてまとめられ，農研機構のウェブサイトに掲載されている。（http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/laboratory/narc/manual/053841.html）

この「手引き」では，プロジェクトの研究対象となった 20 種類以上の昆虫（害虫および天敵）の光反応と防除に関する知見が紹介されているほか，昆虫の光受容，昆虫の走光性，近紫外線除去フィルムによる害虫防除に関する解説も掲載されており，昆虫の光反応に関する基礎的かつ幅広い知見が集積された。

上記委託研究プロジェクト（光応答プロ）の多くの参画メンバーは，研究成果をさらに発展させるため，2014～18 年までの予定で内閣府が実施している戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）次世代農林水産創造技術の「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」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に取り組み，実用的な技術開発を進めている。

本誌「光防除」特集号においては，それらの研究成果の一端が紹介されるとともに，光や色を利用した害虫防除技術の発展に向けて新たな展望が示される予定である。ご期待いただきたい。

これまでに実用化されている「光」を利用した技術.
左：大型施設における黄色粘着板．右：レタス圃場に設置された黄色灯.

Introduction of a Special Issue on Insect Pest Control by Using Insect Reactions to Light.　By Ken-ichiro HONDA

（キーワード：昆虫，光反応，害虫防除，LED）

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 霜田政美（しもだ まさみ）

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，効果のある農薬が限られてしまい，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　光防除の基本原理：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）：リンゴに青い光を当てると，リンゴは薄黒く見える。このように，照射する光

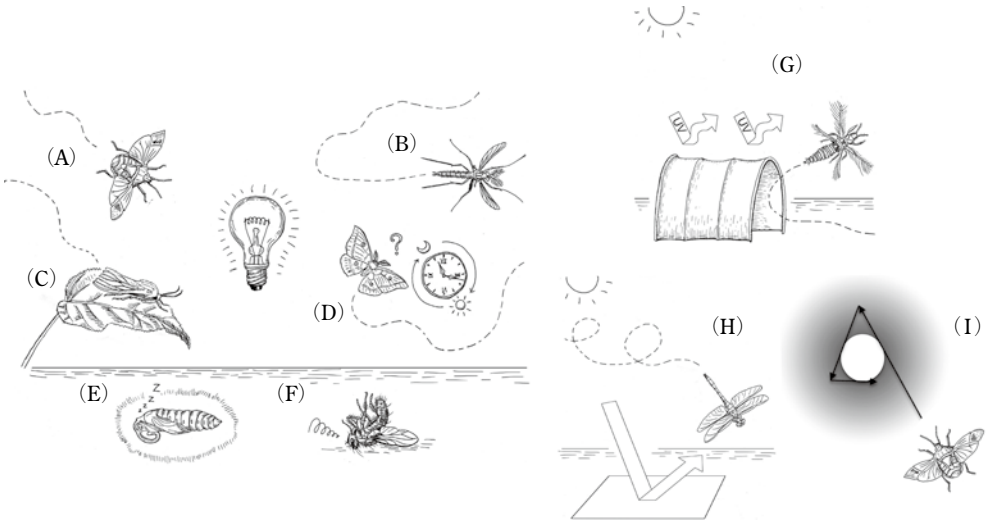


図-1　昆虫の様々な光応答反応
（A）誘引，（B）忌避，（C）明順応，（D）概日リズム，（E）光周性，（F）傷害，（G）視覚遮断，（H）背光反応，（I）エッジ反応．Shimoda and Honda（2013）を加筆，改変．ただし，光応答反応のメカニズムは未解明の部分が多く，将来，その概念が変わる可能性がある．

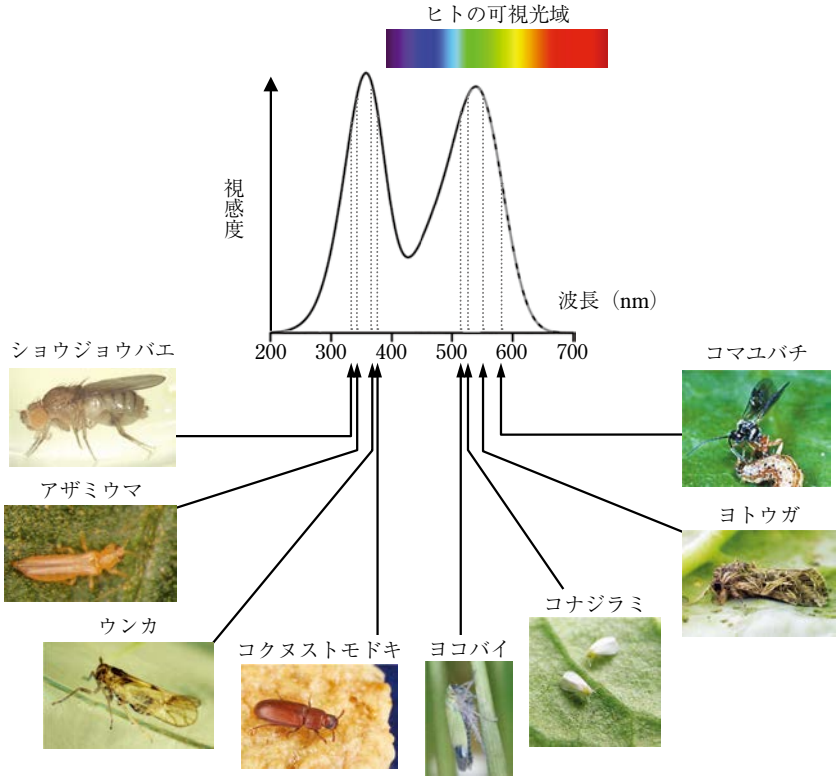


図-2　昆虫の様々な誘引波長（波長選好性）
同じ強度（明るさ）で様々な光波長を提示した場合に，各昆虫種が最も強く誘引される波長を示した．複眼の感度スペクトルは紫外域（350 nm付近）か緑域（550 nm付近），またはその双方に極大をもつが，多くの昆虫はそのどちらかの波長を選好する．本図では紫外と緑に極大をもつ二峰性の平均的な感度スペクトルを参考例として示した．

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。水稲・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）。チャや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，照射するだけではなく，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

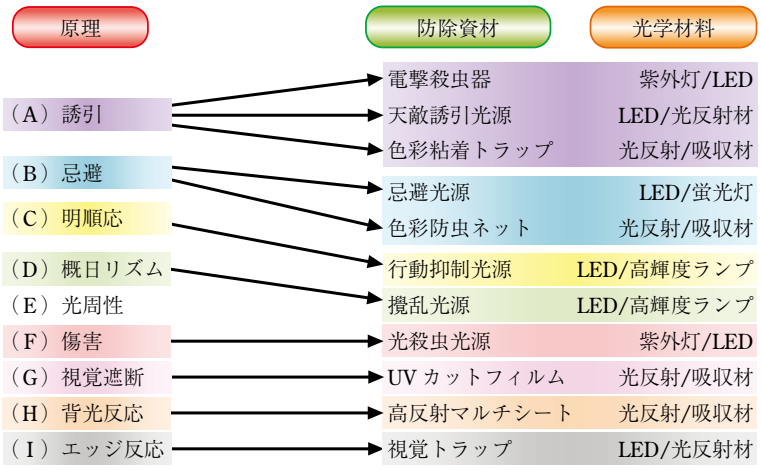


図-3　光応答反応を利用した害虫防除技術
光応答反応とその原理を利用した代表的な防除資材の関係を矢印で示した．今後，新しい光応答反応の発見や光源の技術開発により，全く新しい概念の防除資材が開発される可能性もある．

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必要があることから，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，減農薬に伴ったリ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
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）Hori, 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.

特集

光と色を利用した害虫防除技術の新展開

温室メロンにおける赤色光を利用したミナミキイロアザミウマ防除技術

静岡県農林技術研究所　石川　隆輔*・土井　誠・中野　亮平・片山　晴喜

はじめに

ミナミキイロアザミウマ *Thrips palmi* Karny は，1978年に日本への侵入が確認され（工藤，1981），メロンなどの果菜類における重要な害虫となっている（池田，1981；河合，2001）。

静岡県内の温室メロンで発生するミナミキイロアザミウマは数種類の薬剤で殺虫効果が低いことが明らかとなっており（石川ら，2016），化学防除以外の新たな防除技術の開発が進められている。

これまで，本種の新たな防除技術としてスワルスキーカブリダニを利用した生物的防除技術などが開発され（増井ら，2014），一部の現地では導入され始めている。また，赤色 LED 光を植物体に直接照射することでミナミキイロアザミウマの密度が抑制されることが明らかとなっている（片井ら，2015）。

本研究では，赤色光照射によるミナミキイロアザミウマの密度抑制効果をメロン育苗期間と定植から収穫までの本圃定植後で検証したので紹介する。

I　育苗圃における赤色光照射の効果（照射時間の検討）

メロンの育苗期間での赤色光利用の実用化に向けて，赤色光の照射時間の検討を行った。試験は静岡県農林技術研究所内（磐田市富丘）のガラス温室で実施し，品種は‘アールス雅春秋系’を用いた。種は黒色プラスチックポット（直径 9 cm，高さ 9 cm）へ 1 粒ずつ播種した。赤色光は 660 nm にピークを持つ光源（㈱光波製）をメロン株上に設置し，光強度がポット上面で 1×10^{18} photons/m^2・sec になるよう調整した。処理区は 8 時間照射区（4～8，16～20時）と 4 時間照射区（4～8時），無照射区の計 3 区とした。各処理区は 1 m^2（1 m × 1 m）として，25 ポットを配置した。また，試験温室内にはミナミキイロアザミウマ成虫を株当たり 50 頭放飼したメロン 2 株を定植したプランターを設置した。

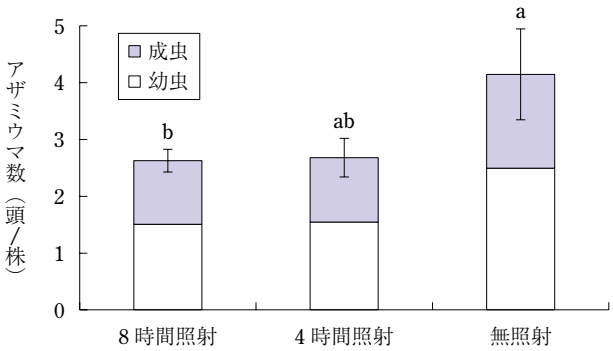


図-1　照射時間条件における赤色光のミナミキイロアザミウマの密度抑制効果（育苗期）
※エラーバーは成幼虫合計数の標準誤差を示す．
※成幼虫の合計数を対数変換（log(n + 0.5)）し，一元配置分散分析後，Tukey-Kramer による多重比較を行った（$p < 0.05$）．異符号間に有意差あり．

試験は 2016 年 9 月 28 日に開始し，10 月 25 日に苗上にいるミナミキイロアザミウマの成幼虫数を計測した。試験は各区 3 反復で行った。

その結果，8 時間照射区は無処理区と比較してミナミキイロアザミウマの数が有意に少なかった。一方，4 時間照射区では無照射区との間で有意な差が認められなかった（図-1）。

II　育苗圃における赤色光照射の効果（光反射資材との併用効果の検討）

試験 I と同等の栽培，赤色光照射および試験区条件において光反射資材との併用効果を検討した。処理区は赤色光照射と光反射資材を併用した区，赤色光照射のみの区，無処理区の計3区とし，赤色光は8時間照射（4～8，16～20 時），光反射資材は 1 m × 1 m に切り取ったタイベック 400 WP（デュポン社製）を育苗ポット下に設置した。

Efficacy of Red Light Irradiation for Controlling *Thrips palmi* in Greenhouse Melon Cultivation.　By Ryusuke Ishikawa, Makoto Doi, Ryohei Nakano and Haruki Katayama

（キーワード：赤色光，ミナミキイロアザミウマ，メロン，防除，LED）

*現所属：静岡県経済産業部

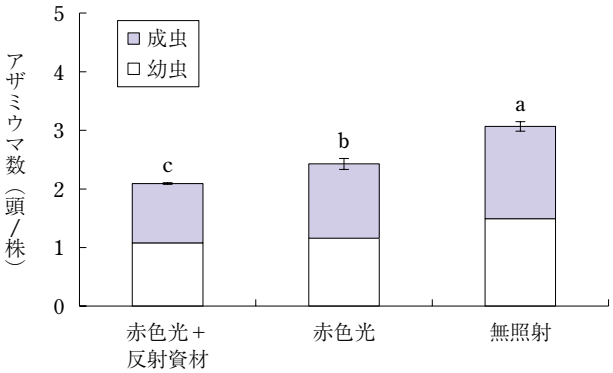


図-2　赤色光と光反射資材併用によるミナミキイロアザミウマの密度抑制効果（育苗期）
※エラーバーは成幼虫合計数の標準誤差を示す．
※成幼虫の合計数を対数変換（log(n + 0.5)）し，一元配置分散分析後，Tukey-Kramer による多重比較を行った（$p < 0.05$）．異符号間に有意差あり．

図-3　本圃試験の処理区の様子

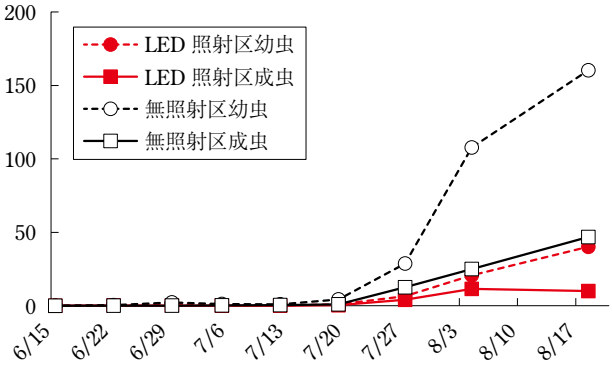


図-4　赤色光照射によるミナミキイロアザミウマの推移（春夏作）
※数値は各株の上中下位葉合計数の平均値．
※試験期間中はアザミウマ類に対する登録農薬の使用はなし．

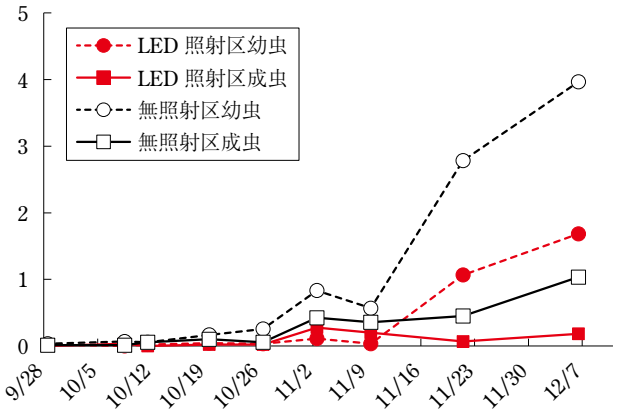


図-5　赤色光照射によるミナミキイロアザミウマの推移（秋冬作）
※数値は各株の上中下位葉合計数の平均値．
※試験期間中はアザミウマ類に対する登録農薬の使用はなし．

試験は 2016 年 11 月 2 日に開始し，12 月 14 日に苗上にいるミナミキイロアザミウマの成幼虫数を計測した。試験は各区 3 反復で行った。

その結果，赤色光照射と光反射資材を併用した区はミナミキイロアザミウマの数が赤色光照射のみの区と無処理区と比較して有意に少なくなった（図-2）。

III　本圃における赤色光照射の効果

メロン定植後の赤色光利用の実用化に向けて，赤色光照射によるミナミキイロアザミウマの密度抑制効果の検討を行った。試験は静岡県農林技術研究所内（磐田市富丘）のガラス温室（畝向き：南北，隔離ベンチ）で実施し，品種は‘アールス雅春秋系’を用いた。メロンは本葉 2 枚目が展開した苗をベンチ上に株間 35 cm の 1 条植えとし，1 処理区 64 株とした。赤色光は 660 nm にピークを持つ光源（(株)光波製）をメロン株上に設置し，光強度が定植時のメロン成長点付近で 1×10^{18} photons/m^2・sec になるよう光源を畝面から高さ約 150 cm に調整し，光源は試験終了まで固定した。赤色光は 8 時間照射（4～8，16～20 時）とし，赤色光照射区と無照射区を設置した（図-3）。

試験は 2016 年 6 月 15 日定植の春夏作と 9 月 28 日定植の秋冬作で実施し，約 7 日間隔で各区 30 株をランダムに選出し，上位葉，中位葉および下位葉 1 葉，計 3 葉に寄生するミナミキイロアザミウマの成幼虫数を計測した。

その結果，春夏作（図-4）および秋冬作メロン（図-5）の両作で赤色光照射区のミナミキイロアザミウマは低く推移する傾向が見られた。

お　わ　り　に

昆虫の光応答を利用した害虫の防除技術は誘蛾灯や有色粘着版等に応用され，実用化されている（Shimoda and Honda, 2013）。ミナミキイロアザミウマでは反射光や照射光に対する誘引特性（芳賀ら，2014），季節ごとの誘引時間帯（万年ら，2013）等が明らかとなっている。また，今回使用した赤色光（660 nm）は本種には見えにくい光と考えられている（蟻川，未発表）。しかし，このような光をメロンへ直接照射することでミナミキイロアザミウマの密度抑制効果があることが明らかとなった。本技術は赤色光を照射しておくだけでミナミキイロアザミウマの密度抑制効果があることから，誰もが容易に実践できる技術として期待ができる。特に，メロンでは本種防除のための薬剤散布回数が大幅に減らすことができることから，すでに現地で導入が始まっている。今後は赤色光照射による本種の密度抑制効果のメカニズムを明らかにし，現場での効果的な照射方法を検討する必要がある。また，他の作物に対しても同様の効果は期待できると考えられるが，適用拡大に際しては赤色光が植物の生育に与える影響を考慮する必要がある。

引　用　文　献

1）芳賀　一ら（2014）: 応動昆 **58** : 17～22.
2）池田二三高（1981）: 植物防疫 **35** : 289～290.
3）石川隆輔ら（2016）: 関東東山病害虫研報 **63** : 65～68.
4）片井祐介ら（2015）: 応動昆 **59** : 1～6.
5）河合　章（2001）: 同上 **45** : 39～59.
6）工藤　厳（1981）: 植物防疫 **35** : 285～288.
7）増井伸一ら（2014）: 関西病虫研報 **56** : 21～27.
8）万年潤也ら（2013）: 同上 **55** : 125～127.
9）Shimoda, M. and K. Honda（2013）: Appl. Entomol. Zool. **48** : 413～421.

特集

光と色を利用した害虫防除技術の新展開

新型赤色系防虫ネットの各種微小害虫に対する防除効果

京都府農林水産技術センター農林センター　徳丸（とくまる）　晋（すすむ）・伊藤（いとう）　俊（しゅん）

はじめに

近年，トマト，イチゴ，ネギ等の野菜生産現場では，アザミウマ類，コナジラミ類等の微小害虫が多発し，生産物の品質低下などの被害が生じている。また，これらの微小害虫は，ウイルス病を媒介し，時として作物を枯死させるほどの損害を与える（土井，1999；井上ら，2010）。さらに，殺虫剤に対する感受性の低下が国内外で報告（Nauen et al., 2002；武田，2014）され，殺虫剤のみに頼った防除には限界が生じている（徳丸・林田，2010；徳丸・上山，2016）。このため殺虫剤に頼らない物理的防除法や生物的防除法の開発が望まれている。

物理的防除法の一つとして，赤色防虫ネットの展張による防除効果が，キャベツのアザミウマ類（大矢ら，2011），ネギのネギアザミウマ（上山ら，2013）およびキュウリのミナミキイロアザミウマ（桑原ら，2013；妙楽，2017）でそれぞれ確認されている。しかし，赤色防虫ネットに対する各種微小害虫の行動反応については不明な点が多い。そこで，筆者らは既に市販化されている赤色防虫ネットに加え，縦と横の糸の色の組合せを変えて改良を行った赤色系の防虫ネットに対するタバココナジラミおよびネギアザミウマの行動反応について室内実験により調べるとともに，ネギおよびトマト圃場において赤色系防虫ネットの各種微小害虫に対する防除効果について調べたので，その概要を紹介する。

本文に先立ち，日本ワイドクロス株式会社の阿部弘文および吾郷泰三の両氏には，室内実験および圃場試験で用いた各種防虫ネットを製作，ご提供いただいた。京都府農林水産技術センター農林センターの谷　光美（現在，南丹市）および並河由美の両氏には室内実験の準備および圃場試験の調査にご協力いただいた。また，神奈川県農業技術センターの大矢武志氏には，赤色系防虫ネットに関する貴重な情報を提供いただいた。これらの方々に心より感謝し，お礼申し上げる。

Control Effect of New Type Red Collor Nets on Small Pests.
By Susumu Tokumaru and Shun Ito

（キーワード：赤色防虫ネット，ネギアザミウマ，タバココナジラミ，オンシツコナジラミ，侵入）

I　タバココナジラミおよびネギアザミウマの赤色系防虫ネットに対する行動反応

実験は，0.8 mm 目合の赤白（商品名：サンサンネット e-レッド SLR2700，日本ワイドクロス社製，縦をポリエチレン製の赤糸，横をポリエチレン製の白糸で平織りにした防虫ネット：図-1），赤黒（赤白ネットの白を黒に改良：図-2），赤赤（赤白ネットの白を赤に改良：図-3），

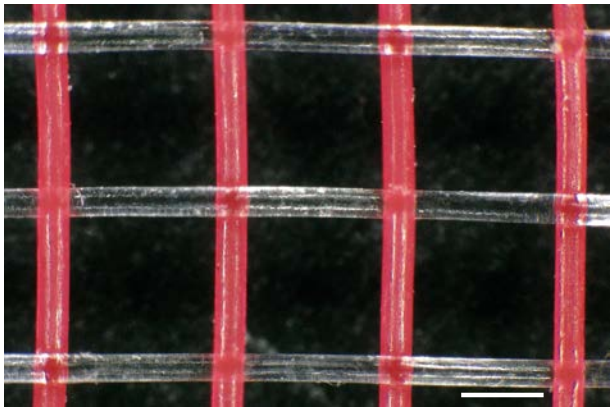


図-1　0.8 mm 目合赤白ネット（商品名：サンサンネット e-レッド SLR2700，日本ワイドクロス社製）
スケール：0.5 mm.

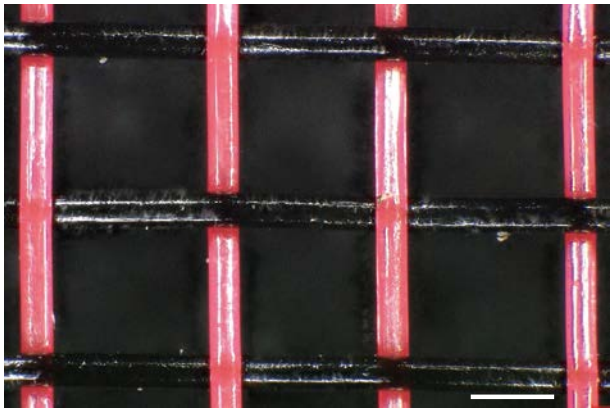


図-2　0.8 mm 目合赤黒ネット
スケール：0.5 mm.

黒白（縦糸を黒，横糸を白に改良），黒黒（縦横ともに黒に改良），白（商品名：サンサンネットソフライト SL2700，日本ワイドクロス社製，縦および横糸を白で平織りにした防虫ネット）の防虫ネットを用いて行った。

実験に用いたケージは針金を用いて円柱（直径 15 cm ×高さ 25 cm）の骨組みを作り，各種防虫ネットで覆ったものである。無処理区は無被覆のケージとした。ケージ内には，初生葉のみを残したインゲンマメ（品種：‘つるなしプラス菜豆’）の苗1本を，三角フラスコ（容量：50 m*l*）に水挿しして入れた。その後，インゲンマメの苗は塩化ビニル製飼育箱（幅 304 mm ×奥行き 250 mm ×高さ 280 mm）へ入れ，タバココナジラミの成虫を 20 匹（雌雄の比率は 1：1）放飼し，24 時間後にインゲンマメへの寄生虫数および産卵数を調べた。実験は，25℃長日条件下（15L9D）に設定した恒温室内で行い，反復は 10 とした。また同様の実験をネギアザミウマでも行い，寄主植物には，アイスクリームカップ（直径 10 cm ×高さ 4.5 cm）に植えたネギ（品種：‘九条太’，葉長：約 20 cm，葉数：2～3 枚）の苗を用いた。ネギアザミウマでは，放飼 24 時間後にネギへの寄生虫数および食害箇所数を調べた。その結果，タバココナジラミでは，赤黒ネットにおいてタバココナジラミ成虫のネット内への侵入率を白ネットの約 5 分の 1 に有意に抑えた（図-4）。また産卵数は黒黒および赤黒ネットでは，比較的少なかったが，各種防虫ネット間に有意な差は認められなかった（図-4）。一方，ネギアザミウマでは赤赤および赤黒ネットで成虫の侵入率を白ネットの約 14 分の 1 および 8 分の 1 に，食害箇所数を約 10 分の 1 および 5 分の 1 にそれぞれ有意に抑えた（以上，図-5）。

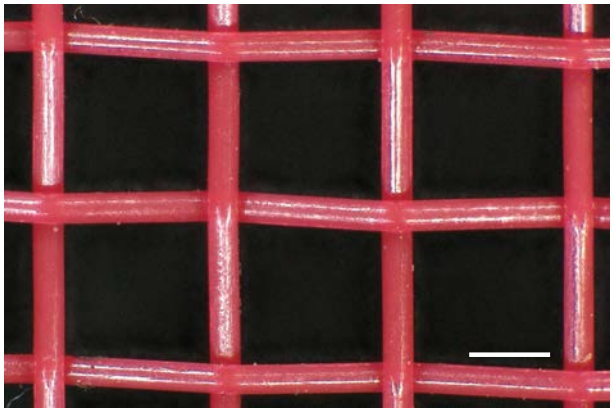


図-3　0.8 mm 目合赤赤ネット
スケール：0.5 mm.

II　赤色系防虫ネットによる各種微小害虫の防除効果

1　ハウストマトにおけるコナジラミ類およびアザミウマ類に対する防除効果

試験は 2016 年 5～8 月まで京都府亀岡市の京都府農林水産技術センター農林センター内のトマト栽培ビニルハウス 4 棟で行った（図-6）。試験区はハウス 1 棟（面積 68.4 m²）を 1 区とし，ハウスサイドおよび開口部に 0.8 mm 目合の各種防虫ネット（赤白，赤赤，赤黒および白：すべて I 章と同じタイプ）を展張した。栽培品種は‘ホーム桃太郎 EX’で，うね幅 120 cm，株間 50 cm で 2016 年 5 月 24 日に 1 条植えにした。

調査は 2016 年 5 月 31 日から 8 月 15 日までの期間中，約 1 週間間隔で行い，各試験区任意の 20 株の上位，中位および下位におけるコナジラミ類およびアザミウマ類の成幼虫を数えた。その結果，コナジラミ類の発生は，白ネット区で 6 月中旬から始まり，赤赤および白ネット区では増加傾向に推移した。一方，赤白および赤黒ネッ

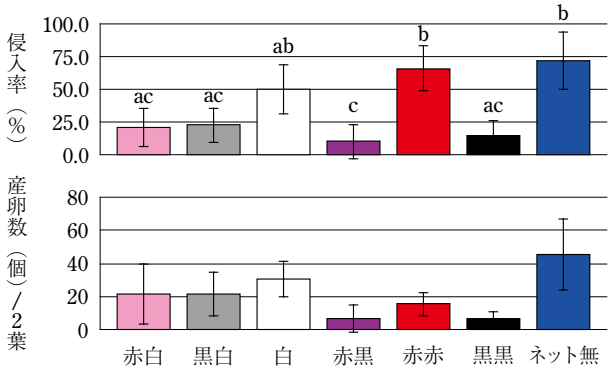


図-4　タバココナジラミ成虫に対する各種防虫ネットの侵入および産卵抑制効果（インゲンマメ）
侵入率：異なる文字間で有意差あり（逆正弦変換値を用いた Tukey-Kramer の多重比較検定，$p < 0.05$）.
産卵数：異なる文字間で有意差あり（Steel-Dwass の多重比較検定，$p < 0.05$）.

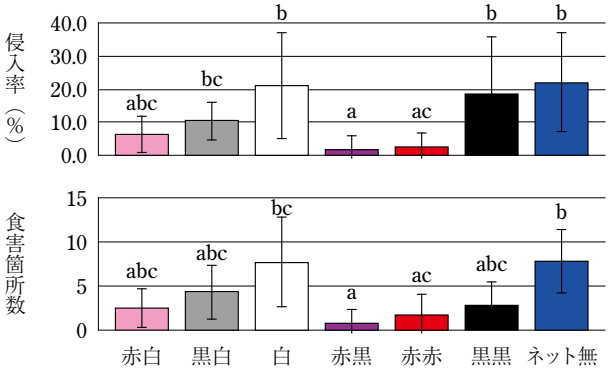


図-5　ネギアザミウマ雌成虫に対する各種防虫ネットの侵入および被害抑制効果（ネギ）
侵入率：異なる文字間で有意差あり（逆正弦変換値を用いた Tukey-Kramer の多重比較検定，$p < 0.05$）.
食害箇所数：異なる文字間で有意差あり（Steel-Dwass の多重比較検定，$p < 0.05$）.

図-6　試験トマトハウス（左から白ネット区，赤赤ネット区，赤黒ネット区，赤白ネット区）

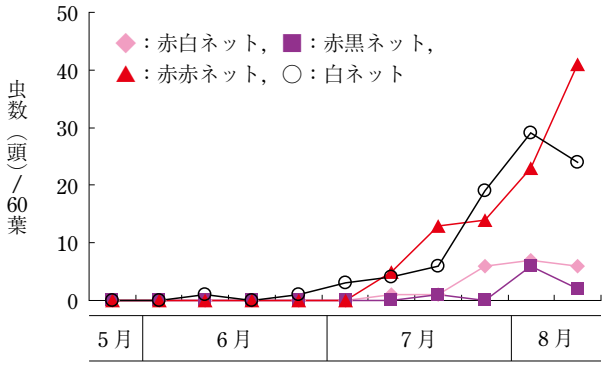


図-7　各種防虫ネットを展張したハウストマトにおけるコナジラミ類の発生推移

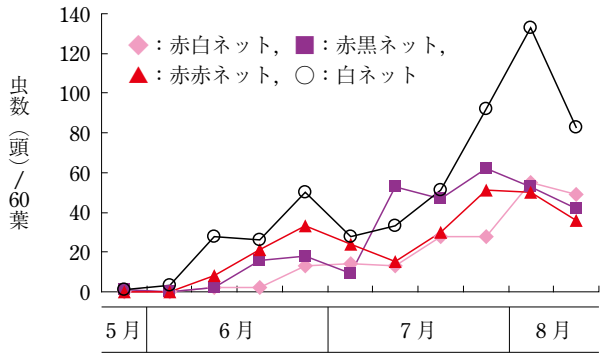


図-8　各種防虫ネットを展張したハウストマトにおけるアザミウマ類の発生推移

ト区における発生密度は10頭/60葉以下の値で推移し，8月中旬における赤白および赤黒ネット区の発生密度は，白ネット区のそれぞれ約12分の1および10分の1に抑えられた（図-7）。発生種はオンシツコナジラミのみであった。

アザミウマ類の発生は，赤黒ネット区および白ネット区で5月下旬から始まった。その後，白ネット区では増加傾向を示し，7月下旬から急増して，8月上旬に最も高い発生密度（133頭/60葉）になった。8月中旬における赤白および赤赤ネット区の発生密度は，白ネット区のそれぞれ約3分の1および2分の1に抑えられた（図-8）。発生種はミカンキイロアザミウマとヒラズハナアザミウマであり，ほぼ1対1の割合であった。

桑原ら（2103）は，キュウリのタバココナジラミに対する赤色防虫ネット（赤白タイプ）の侵入抑制効果は低いと報告している。本試験では，タバココナジラミの発生は認められなかった。また，I章においてタバココナジラミに対して赤黒ネットは高い侵入抑制効果を示し，ハウストマトにおける試験ではオンシツコナジラミに対して高い防除効果を示した。したがって，今後はタバココナジラミの発生条件下において，赤黒ネットの防除効果について圃場レベルで確認する必要がある。

また，今回の実験では赤色系ネットのアザミウマ類に対する侵入抑制効果は，認められたがその程度は低かった。これにはアザミウマの種類が関係していると考えられることから，今後は，赤色系防虫ネットに対するミカンキイロアザミウマ，ヒラズハナアザミウマなどの他種アザミウマの行動反応についても調べる必要がある。

2　ネットハウスネギにおけるネギアザミウマに対する防除効果

試験は，2016年6～8月まで京都府農林水産技術センター農林センター内のネギ圃場で行った。試験区はパイプハウス1棟（面積21.6 m²）を1区とし，パイプハウスの全面を0.8 mm目合の各種防虫ネット（赤白，赤赤，および白：すべてI章およびII章の(1)と同じタイプ）で覆った区と無処理区としてネット無区を設け，反復は2とした。栽培品種は‘新九条細葱’および‘緑秀’（比率は1対1）で，2016年6月15日に定植（株間14 cm×条間25 cm，4条植え）した。

調査は2016年7月5日から8月15日までの期間中，約2週間間隔で行い，各試験区任意の10株に寄生するネギアザミウマの成幼虫を数えた。その結果，ネギアザミウマの発生は，7月5日から白ネットおよびネット無区で確認され，8月15日まで増加傾向に推移した。一方，赤白および赤赤ネット区におけるネギアザミウマの発生密度は低い値に推移し，8月15日における発生密度は，白ネットハウスのそれぞれ約8分の1および9分の1に抑えた（図-9）。本結果は，上山（2013）のネギでの赤白ネットを用いた試験結果と同じ傾向となり，あらため

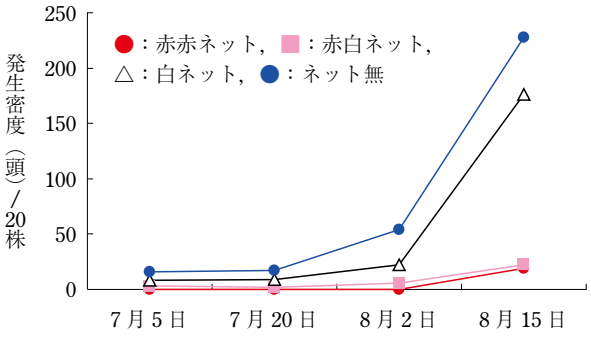


図-9　各種防虫ネットハウスネギにおけるネギアザミウマの発生推移

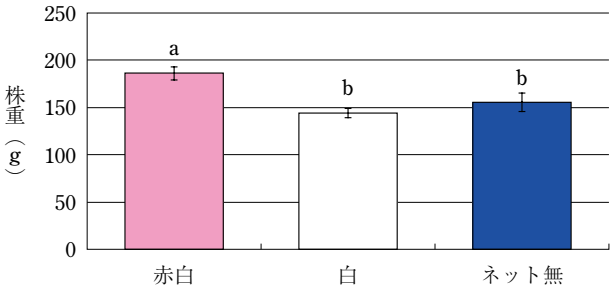


図-10　各種防虫ネットハウスネギにおけるネギの株重（伊藤，未発表）
異なる文字間で有意差あり（Tukey-Kramer の多重比較検定，$p < 0.05$）.

てネギアザミウマに対する赤色系防虫ネットの防除効果は高いことが示された。また，赤赤ネットの防除効果は若干ではあるが赤白ネットよりも高いと考えられた。

今 後 の 課 題

これまでの研究結果から，赤色系防虫ネットはアザミウマ類およびコナジラミ類に対して防除効果が認められ，特にネギアザミウマに対する防除効果は高いと考えられる。その防除効果を示す要因については，これら微小害虫が赤色系ネット内の植物を視覚認識できないためと考えられるが，明確な要因については不明である。今後は，ネギアザミウマを中心に，赤色系防虫ネット下における発育，増殖能力等の生物学的特性，ならびに定着阻害等の行動反応へ及ぼす影響について詳細に調べる必要がある。

伊藤（未発表）は，ネギを赤白ネットで覆うことにより，株重が増加することを明らかにしている（図-10）。Shahak et al.（2004）は，モモを赤色ネット下で栽培することにより，一果実重が増加し，秀品率も向上すると述べている。赤色系防虫ネットの農作物の生育および収量等へ与える影響については未知な部分が多く，今後の課題である。

赤色系防虫ネットは，これまで施設野菜での利用を中心に進められている。今後は施設野菜だけでなく，露地野菜，果樹，チャ等，他品目での利用技術の開発に取り組む必要がある。妙楽（2017）は，赤色防虫ネットとスワルスキーカブリダニを組合せることにより，キュウリのミナミキイロアザミウマに対する防除効果は高く維持されると報告している。したがって，今後は，赤色系防虫ネットに対する天敵昆虫の行動反応についても調べ，赤色系防虫ネットと組合せた防除体系の構築を進める必要がある。

引 用 文 献

1）土井　誠（1999）：植物防疫 **53**：343～345.
2）井上登志郎ら（2010）：同上 **64**：453～458.
3）桑原克也ら（2013）：関東病虫研報 **60**：107～109.
4）Nauen, R. et al.（2002）：Pest Manag. Sci. **58**：868～875.
5）大矢武志ら（2011）：関東病虫研報 **58**：115（講要）.
6）Shahak, Y. et al.（2004）：Acta Hort. **636**：609～616.
7）妙楽　崇（2017）：植物防疫 **71**：225～228.
8）武田光能（2014）：同上 **68**：248～254.
9）徳丸　晋・林田吉王（2010）：応動昆 **54**：13～21.
10）――――・上山　博（2016）：JATAFF ジャーナル **4**：248～254.
11）上山　博ら（2013）：関西病虫研報 **55**：123～124.

農林水産省プレスリリース（30.1.16～30.2.16）

農林水産省プレスリリースから，病害虫関連の情報を紹介します。
http://www.maff.go.jp/j/press/ の後にそれぞれ該当のアドレスを追加してご覧下さい。

◆**平成 29 年農林水産物・食品の輸出実績を取りまとめました**（2/9）　/shokusan/kaigai/180209.html

◆**「平成 29 年度病害虫発生予報第 10 号」の発表について**（2/14）　/syouan/syokubo/180214.html

特集

光と色を利用した害虫防除技術の新展開

青色光を用いたチャノコカクモンハマキの防除技術

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 果樹茶業研究部門 佐藤安志（さとう やすし）

はじめに

チャノコカクモンハマキ *Adoxophyes honmai*（図-1）は，北海道と沖縄を除く日本各地に広く分布し，幼虫がチャや果樹，花木等の葉を綴って内部を食害する。本種は，中老齢幼虫で越冬し，本州では年3～5回発生する。幼虫は新葉を好むが，巻葉内に生息するため散布薬液がかかりにくいほか，一般に発育が進んだ幼虫は各種薬剤に対する感受性が低下するため，防除効果が得られにくくなる。さらに，本種は，多くの農薬類に対して薬剤抵抗性を発達させていることから，我が国を代表する難防除害虫の1種となっている。このため，本種については，古くから化学合成農薬の代替防除技術に関する開発研究が行われており，合成性フェロモンを使った交信攪乱剤や顆粒病ウィルス製剤等が実用化されている。筆者らは，近年，暗期の特定波長光の照射が，本種の交尾行動を抑制することを発見した。そこで，野外圃場に青色LED灯等を設置し，これを夜間点灯することで，本種の発生を低密度に保つ技術を考案した。ここでは，本技術の開発および作用機作解明のための試験研究や野外茶園で行った密度抑制効果の検証試験等の概要を紹介する。

I 黄色灯の夜間照射が交尾・産卵に及ぼす影響

光を使った害虫の物理的防除法としては，古くは，果樹園に飛来して果実を加害するアケビコノハなどの吸蛾類に対する黄色灯の被害防止効果が知られる（野村ら，1965）。また，野菜や花き等を加害するオオタバコガやハスモンヨトウ等のヤガ類に対する黄色あるいは緑色光の利用技術も開発，実用化されており，一部は本誌などでも紹介されている（八瀬，2004；平間・松井，2007；野村ら，2013）。なお，これらの作用機作は，黄色光の照射で，夜行性のヤガ類の飛来が抑制されるとともに，夜間に暗適応した複眼が明適応化されることに伴い諸活動が抑制されるためとされている。

これまで，チャでも，チャノコカクモンハマキ等の被害軽減を謳った黄色灯などが市販されてきた。ここでは，黄色灯の点灯により，チャノコカクモンハマキなどの交尾や産卵が抑制されるが，チャノコカクモンハマキなどのハマキガ類と上記の吸蛾類・ヤガ類は，分類群の相違に加えて行動様式がかなり異なる。例えば，チャノコカクモンハマキの交尾は，通常は暗期の後半すなわち夜明け前に集中するが，降雨などの気象条件によっては交尾のピークが夜明け後の明るい時間帯にずれることがある。また，チャノコカクモンハマキは，性フェロモンに関する先駆的研究で知られ，羽化後の飼育条件の制御により，明条件下の任意の時間に雄の交尾行動を解発できる生物検定系が確立されている（玉木ら，1969 b）。これらから，チャノコカクモンハマキでは黄色灯による交尾抑制は生じない可能性も示唆される。

そこで，はじめに，黄色灯の夜間照射がチャノコカクモンハマキの交尾・産卵に及ぼす影響について検討した。試験は，先行研究（玉木ら，1969 a；野口，1990）を参考に，生物検定系を改良して行った。すなわち，羽化0日齢のチャノコカクモンハマキ成虫（1♀2♂♂）を組にし，湿らせた脱脂綿とともに200 m*l*容の三角フラスコに入れ，アルミ栓で蓋をした。供試虫を入れた三角フラスコを自然光が入る21℃の恒温器に入れ，照射区は5 m離れた位置に20 Wの黄色蛍光灯（防蛾灯）を設置し，日の入り30分前から日の出30分後まで点灯した。なお，蛍光灯の夜間点灯を行わない区を対照区とした。また，より野外条件に近づけるため，三角フラスコを木陰に設置し，野外気温・自然日長下の照射区・対照区も設けた。フラスコ内の雌については，3日（3夜経過）後に精包（解剖調査）によって交尾の有無を確認した。また，産卵はフラスコやアルミ栓の内壁に卵塊が産下されるため，卵塊の有無と卵塊数を調査した。各区42組ずつを供試した。

その結果，21℃の自然日長条件下では，対照区・照射

A New Control Method against the Smaller Tea Tortrix, *Adoxophyes honmai*, Using Blue LED Lights. By Yasushi SATO

（キーワード：行動制御，交尾阻害，物理的防除法，青色LED，チャノコカクモンハマキ，概日リズム）

図-1　チャノコカクモンハマキの成虫
左；雄成虫．右；雌成虫．

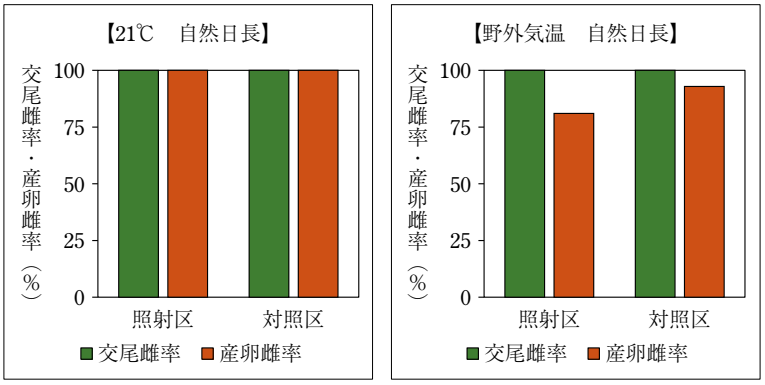


図-2　黄色灯の夜間照射がチャノコカクモンハマキの交尾・産卵に及ぼす影響
照射区は，日の入り 30 分前～日の出 30 分後まで黄色蛍光灯を照射．

区とも供試したすべての雌が交尾，産卵し，黄色灯照射による交尾・産卵抑制効果は認められなかった（図-2）。また，野外気温の自然日長条件下でも，対照区・照射区のすべての供試雌が交尾し，両区とも大部分の雌が産卵するなど，黄色灯照射による交尾・産卵抑制効果は認められなかった（図-2）。

Ⅱ　暗期の光照射による行動制御

1　暗期の光照射が交尾・産卵に及ぼす影響

黄色蛍光灯の夜間照射試験では，チャノコカクモンハマキに対する交尾・産卵抑制効果は認められなかった。そこで，精密な光源管理が可能な LED と生物検定系を組合せた室内試験で光の波長に対する網羅的な調査・解析を行うこととした。

まず，暗期の特定波長光の照射が交尾と産卵それぞれに及ぼす影響について調査した。上記と同じ羽化 0 日齢のチャノコカクモンハマキ成虫（1♀2♂）と湿らせた脱脂綿を入れた三角フラスコを，21℃の各種の光照射条件下に置き，精包調査で 3 日後までの交尾の有無を推定し，各種の光照射条件が本種の交尾に与える影響を調査した。光照射条件は，市販の白色蛍光灯による 15L–9D，24L–0D（全明）条件のほか，15L–9D の暗期の前後 30 分を含めて，それぞれ青色 LED（岩崎電気試作品，最大波長約 460 nm），黄色 LED（同，最大波長約 600 nm），および黄色蛍光灯を 10 時間ずつ照射した区を設けた。各区 42～60 組を供試した。

その結果，対照の 15L–9D 下ではすべての雌が交尾したのに対し，暗期の青色 LED 照射区で交尾の抑制が確

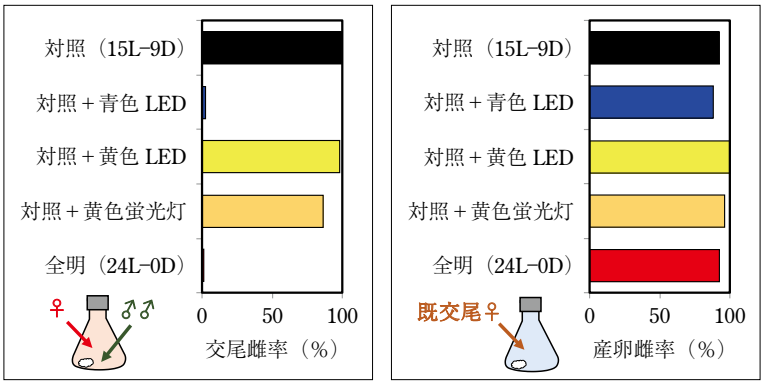


図-3　暗期の特定波長光照射がチャノコカクモンハマキの交尾・産卵に及ぼす影響
左；各照明条件下に 3 日置いた後の交尾率．右；既交尾雌を各照明条件下に 3 日置いた後の産卵雌率．

認された（図–3）。この交尾抑制は，全明（24L–0D）区でも確認されたが，暗期の黄色 LED 照射区，同黄色蛍光灯照射区では確認されなかった（図–3）。

次に，暗期の光照射が産卵に及ぼす影響を調査するため，上記と同じ三角フラスコのセットを一晩 21℃ の 15L–9D 下に置いて交尾をさせた後，雄を除去し（三角フラスコは 1♀と湿らせた脱脂綿入り）上記と同じ各種光照射条件下に置いて，3 日後に産下卵塊数と雌の交尾の有無を調査した。なお未交尾雌は産卵しないことが多いため，解剖調査後，未交尾雌のセットを供試数から外すこととした。これを外した各区の供試数は 38～46 組であった。

その結果，暗期の青色 LED 照射区，全明区を含めて，ほとんどの既交尾雌が産卵し，暗期の光照射では，産卵行動そのものは抑制できないことが推察された（図–3）。

2　暗期の特定波長光照射による交尾抑制

次に，暗期の特定波長光の照射がチャノコカクモンハマキの交尾に及ぼす影響の網羅的調査を行った。ここでは，容器を 200 m*l* 容のアイスカップに代え，羽化 0 日齢の成虫（1♀2♂♂）を湿らせた脱脂綿とともに入れた。これを 21℃ の 15L–9D 下または 21℃ の 15L–9D の暗期を中心に各波長光の LED を 10 時間照射した条件下に 3 日間置いた後，雌を解剖して精包により交尾の有無を推定した。各波長区 108 組ずつを供試し，交尾率の差異を調査した。なお，光源には，CCS 社製の紫外（最大波長 365 nm，UV365），青（同 450 nm，BL450），緑（同 525 nm，GR525），橙（同 590 nm，HO590），赤（同 660 nm，RD660）の 5 種の LED を用い，光源から 0.4 m 離れた位置での光量子束密度が 2.5×10^{17} photones・m^{-2}・s^{-1} になるように調整し，照射した。

その結果，暗期の UV365 光や BL450 光の照射で，交尾抑制効果が高く，HO590 光や RD660 光の照射では交尾抑制効果は認められなかった。なお，GR525 光の照射では交尾抑制効果は認められるものの，その効果はやや低かった（図–4）。

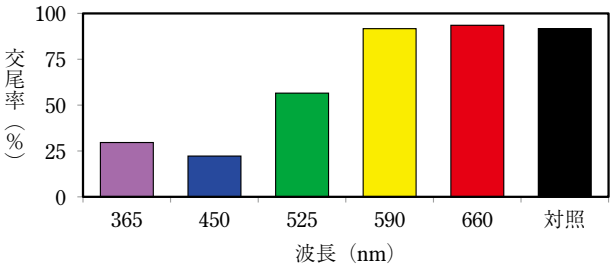


図-4　特定波長光の暗期照射によるチャノコカクモンハマキの交尾抑制効果
対照（21℃，15L–9D）または同条件の暗期に各波長光を照射した条件に 3 日置いた後の交尾率．

III　暗期の青色光照射による交尾抑制の作用機作

1　チャノコカクモンハマキの交尾生態と交尾抑制

暗期の青色光照射による交尾抑制の作用機作を解明するため，200 m*l* 容のアイスカップに，羽化 0 日齢のチャノコカクモンハマキ成虫（1♀2♂♂）を湿らせた脱脂綿とともに入れ，その後の行動を観察した。供試虫を入れたアイスカップ各区 60 組ずつを，21℃ の 15L–9D 下または 15L–9D＋青色 LED（最大波長約 460 nm）10 時間照射下に置き，暗期（照射区は青色 LED 照射）開始後の経過時間とアイスカップ内の成虫の交尾行動や交尾の有無等を 30 分おきに 3 日間観察した。

その結果，対照の 15L–9D 下では，試験 1 日目から交尾が観察されたほか，一度交尾した雌は翌日以後再交尾しない傾向が認められた。また，交尾は暗期後半の消灯 7～9 時間後に開始され，これらは先行研究（玉木ら，1969 a；野口，1990）とおおむね一致する結果となった。これらは，本種は羽化直後には，ほぼ性成熟しており，

多くの個体が羽化後最初の夜間（暗期）に交尾可能であることを示している。なお，本種の産卵は，2 日目以後の暗期の前半から中盤にかけて行われることが観察された。これは初日の交尾最盛時刻より前の時間帯に相当するため，必然的に本種の産卵は交尾した次の夜間（暗期）以後に開始されることになる。

対照区では最初の 3 回の暗期で，大部分の雌が交尾したのに対して，暗期の青色光照射区では，強い交尾抑制効果が認められ，試験期間を通じてほとんどの雌が交尾しなかった。

2　暗期の青色光照射による雄の交尾活性抑制

暗期の青色光照射区で認められた強い交尾抑制が雌雄どちらの行動に起因するのかを明らかにするため，性フェロモンの生物検定用に確立された検定系（玉木ら，1969 a；野口，1990）の改良系で，暗期開始後の経過時間と雄の交尾活性との関係を調査した。改良した生物検定系は，直径 20 mm，長さ 150 mm の試験管に供試雄を 3 頭ずつ入れ，21℃の 15L–9D 下（または 15L–9D の暗期を中心に青色 LED（最大波長約 460 nm）を 10 時間照射する条件下）に置き，1 日目の暗期開始時刻を起点（経過時間 0 時間）に，3 日目の暗期開始時刻から合成性フェロモンに反応する雄の割合をおおむね 1 時間おきに調べるものである。野口（1990）の生物検定系は，明暗処理などで人為的に交尾活性を高めた雄のメーティングダンスを明条件下で観察するため，大きな容器に多数の雄を収納したが，本試験では，暗条件下でできるだけ光量を抑えた赤色灯を点灯して観察するため，容器を小さくするとともに収納する雄の数を少なくする必要があった。また，合成性フェロモンによる恒温器内の汚染を防ぐため，ろ紙に浸み込ませた合成性フェロモンを容器に投入するのではなく，発生予察用ルアーを入れた駒込ピペットを使って供試雄を合成性フェロモンに曝露するようにした（図–5）。各照明条件下における経過時間ごとの供試個体数はそれぞれ 108 個体ずつとした。

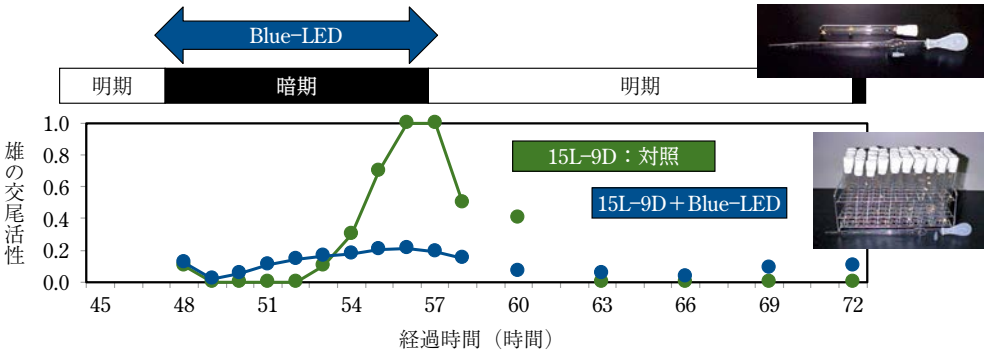
その結果，合成性フェロモンに対する雄の反応性（合成性フェロモンに曝露した際にメーティングダンスを踊る雄の割合）は，交尾盛期と同様に暗期の後半に高くなるパターンを示したが，暗期に青色光を照射する条件下では，雄の反応率が低下しピークが消失した（図–5）。このため，暗期の青色光照射で本種の交尾が抑制される要因の一つに，青色光の暗期照射により，雄の交尾活性が抑制されることが確認された。なお，暗期に青色 LED の代わりに黄色 LED（最大波長約 600 nm）を点灯させた区を設けて同様の調査を行ったところ，雄の反応曲線は対照区の曲線とほぼ一致し，青色光の暗期照射で確認された雄成虫の交尾行動の抑制効果は認められなかった。

Ⅳ　夜間の青色光照射による防除効果の野外実証

1　繋ぎ雌法による交尾阻害効果の検証

次に，野外茶園における防除効果を検証するため，実際の圃場においても，夜間の青色光照射でチャノコカクモンハマキの交尾が阻害されるかどうかを検討した。まず，茶うねに沿って設置した電飾用の青色 LED ロープライト（最大波長約 450 nm）10 m を，17:30～5:30 の間毎日点灯し，これを照射区とした。一方，対照区は LED 照射なしの区とした。第 1～第 3 世代の本種成虫発生盛期，照射区および対照区に，片側上翅の付け根を木綿糸で縛った未交尾のチャノコカクモンハマキの雌（繋ぎ雌）を設置し，翌早朝回収した。回収した繋ぎ雌を解剖して両区の交尾率を求め，これらの交尾率の差異から，青色光の夜間点灯による交尾阻害効果を推定した（表–1）。

その結果，青色 LED 照射区における繋ぎ雌の交尾率は，第 1 世代で 19.1%，第 2 世代で 11.7%，第 3 世代で 0.0%であった。これらと対照区の交尾率から算出した交尾阻害率は，第 1 世代で 80.0%，第 2 世代で 87.5%，第



図–5　暗期の青色光照射によるチャノコカクモンハマキ雄の交尾活性の抑制
合成性フェロモンに曝露された羽化 3 日齢の雄の交尾活性.

表-1　青色光の夜間照射によるチャノコカクモンハマキの交尾阻害効果（繋ぎ雌法）

世代/区		回収雌数	交尾率（%）	交尾阻害率（%）
第 1	照射区	68	19.1	80.0
	対照区	67	95.5	
第 2	照射区	77	11.7	87.5
	対照区	77	93.5	
第 3	照射区	47	0.0	100
	対照区	46	82.6	

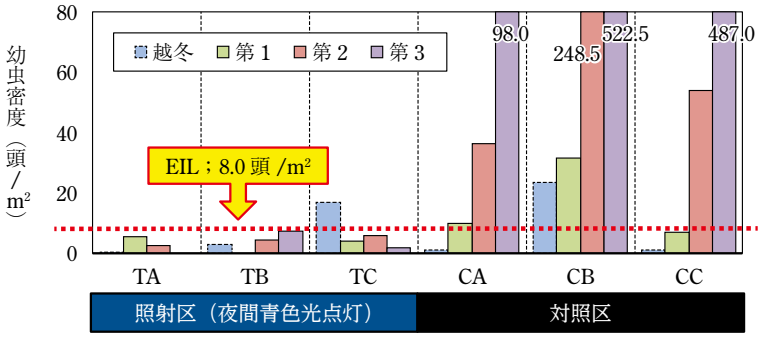


図-6　青色光の夜間照射によるチャノコカクモンハマキ幼虫の発生密度抑制効果①
4.5 m × 4.5 m の網室茶園を供試．照射区には青色 LED ロープライトを設置・夜間点灯．

3 世代で 100%と見積もられた（表-1）。これらは，チャ園におけるチャノコカクモンハマキの交信攪乱剤による交尾阻害率と同程度かやや低いものの，おおむね実用的な値と考えられ，青色光の夜間照射による本種の交尾抑制効果が実用レベルにあることを示すものと考えられた。

2　網室茶園を使った幼虫密度抑制効果の検証

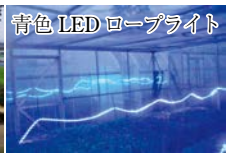
夜間の青色光照射によるチャノコカクモンハマキの防除効果を実証するためには，加害態である幼虫の発生密度を安定的に被害許容水準（EIL）以下に抑えることができるか否かを検証する必要がある。しかし，本法は，青色光の夜間照射で前世代成虫の交尾を妨げ，その結果として次世代以後の幼虫密度を EIL 以下に維持することを期待する技術であるため，試験区外からの既交尾雌の飛び込みが予想される開放系の茶園においては，交信攪乱剤の試験区並みの広域な面積が要求される。さらに，この広域な圃場にこれまで検討してきた LED ロープライトをチャうねに沿って設置しようとすると，膨大な資材が必要となり（例えば，うね幅 1.8 m の 10 a の茶園でチャうね長は 550 m を超える），現段階の試験設計として現実的でない。そこで，ここでは，農研機構果茶研（金谷）の網室茶園（4.5 m × 4.5 m × 高さ 2.0 m の網室に 1.8 m × 4.0 m の茶うね 2 うねを植栽）を使った試験を行った。網室 3 棟に青色 LED ロープライト 10 m をチャうねに沿って設置し，17:30～5:30 にかけて毎日（4～11 月）点灯し，これら照射区（TA，TB，TC 区）とした。また LED ロープライトを設置していない対象区を 3 棟（CA，CB，CC 区）設けた。各区における防除効果を検証するため，各世代の中老齢幼虫期に，各区（棟）内の幼虫密度を枠法（50 cm × 50 cm 枠，8 箇所/区）で調査した。なお，本調査における越冬世代の幼虫密度は，前年秋に生まれた世代であり，各区における処理前密度に相当する。また，本試験期間中，各試験区（棟）に農薬散布は行わなかった。

本実証試験の結果を図-6 に示す。青色光の点灯がない対照区では，年間を通じて農薬による防除を行わなかったこともあり，各世代のチャノコカクモンハマキが多発し，第 2，第 3 世代では激甚発生となった。これに対し，暗期に青色光を点灯した照射区では，同じく年間を

表-2　青色光の夜間照射によるチャノコカクモンハマキ幼虫の発生密度抑制効果②

	青色ロープ区	青色直管区	対照区	無放飼区
夜間照射	LED ロープ	直管型 LED	なし	なし
事前密度（頭/m²）	0.0	0.0	0.0	0.0
放虫数（蛹）	♀120♂240	♀120♂240	♀120♂240	なし
次世代密度（頭/m²）	0.0	0.0	5.5	0.0

供試した網室茶園



通じて農薬による防除は行わなかったものの，第 1～3 世代を通じて，本種幼虫の発生密度を被害許容水準（EIL；チャのチャノコカクモンハマキでは 8.0 頭/m²）以下に抑えることが可能であった。

3　実用化へ向けた今後の対応

本試験により，夜間の青色 LED 光照射で，チャノコカクモンハマキの発生密度を年間を通じて EIL 以下に抑制できることが明らかとなった。しかし，本試験のように，チャうねに沿って LED ロープライトを設置していたのでは，資材費が膨大になるばかりでなく，設置されたロープライトが茶園の各種管理作業の障害となる。これらの解決策として，本法を碾茶や玉露栽培の棚栽培用の茶園向けに特化させることも考えられる。

また，表-2 は，最近市販化された直管型の青色 LED 灯（40 W 蛍光灯型）の試験事例の一つである。ここでは，放虫による 1 世代のみの検証となったが，図-6 の試験と同じ網室に直管型 LED2 灯を配した試験で，青色 LED ロープライトの夜間照射と同様に次世代密度が 0.0 頭/m²（対照区は 5.5 頭/m²）となり，本資材の有効性が示唆される結果となった。このように，最近の LED 関連機器の研究開発はまさに日進月歩で進んでおり，これからも高出力で手軽な機器が次々と安価で市販される状況が考えられる。このため，生産現場においては，現有の資材に縛られることなく，新たな開発資材を上手に取り込み，柔軟な利用法を検討することも必要と思われる。

お　わ　り　に

チャノコカクモンハマキの交尾は，自然条件下では夜明け前，通常の室内飼育条件下では暗期の後半に開始される。しかし，夜間や暗期に青色光を照射されると，通常の交尾時刻になっても，雄の交尾活性が上がらず，交尾が抑制される。これは，特定波長光の照射により，概日リズムが狂わされ，その結果，個体間の交尾のタイミングがずれるためと推測される。本種の交尾を抑制する波長として青色光（405～470 nm）が確認されたが，黄色光（590 nm）や赤色光（660 nm）では抑制効果が認められなかった。これらの結果から，市販の黄色蛍光灯や黄色灯には本種の交尾を抑制する効果はないものと推察された。一方，本種の交尾は，白色蛍光灯による全明条件でも抑制されたため，照射光に有効な波長域が含まれていれば，効果を発揮する可能性が示唆された。

本種においては，青色光の夜間照射が交尾行動を抑制したが，有効な波長域や夜間照射が害虫の行動に及ぼす影響は，虫の種類によって様々に異なることが予想される。今後は，本法の高度化のために必要な，夜間照明が交尾行動などに及ぼす影響の個体間・系統間差異の解明や，本法に対する抵抗性の発達機構の解析および抵抗性管理技術の検討等と合わせ，より多くの研究者，普及指導者等がこれらの問題に取り組むことで，より生産現場に普及しやすい技術が開発されていくことを期待したい。

引　用　文　献

1）平間淳司・松井良雄（2007）：植物防疫 **61**：503～507.
2）野口　浩（1990）：農環研報 **7**：73～138.
3）野村健一ら（1965）：応用昆虫 **9**：179～186.
4）野村昌史ら（2013）：植物防疫 **67**：279～283.
5）玉木佳男ら（1969 a）：防虫科学 **34**：97～102.
6）――――ら（1969 b）：同上 **34**：107～110.
7）八瀬順也（2004）：黄色灯による農業害虫防除，（社）農業電化協会，東京，p.33～45.

特集

光と色を利用した害虫防除技術の新展開

青色光照射による殺虫技術の開発

東北大学大学院農学研究科　堀（ほり）　雅（まさ）　敏（とし）

はじめに

環境への配慮や食の安心・安全に対するニーズの高まりから，殺虫剤への依存を低減させるための害虫防除技術の開発が求められている。光による害虫防除もその一つであり，利用拡大が期待されている技術である。害虫防除における光の利用は昔から広く行われてきた方法の一つであるが，従来の光源より省エネ，長寿命という点で優れている発光ダイオード（LED）が普及してきたことから，光による害虫防除の光源としてLEDの利用を目指した研究が盛んになっている。現在の光による害虫防除は，誘引や忌避，活動抑制といった，光で害虫の行動を制御する技術を利用したものであり，現在行われている研究もそのほとんどが行動制御に関するものである。したがって，すでに発生してしまっている害虫を殺虫剤のように除去するというものではない。

筆者らの研究グループは，ハモグリバエの光による羽化制御機構を研究する中で，偶然にもある波長域の可視光が殺虫効果をもつ可能性を見いだした。その後，研究を積み重ね，青色光（波長400～500 nmの可視光）が昆虫に対して致死効果をもつことを明らかにした。ショウジョウバエやイエカ，コクヌストモドキを用いて青色光の殺虫効果を調査し，青色光が様々な昆虫種に殺虫効果をもつこと，殺虫に効果的な青色光波長や有効な光強度は昆虫種によって異なること，様々な発育段階の昆虫に青色光は殺虫効果を発揮することを明らかにした。青色光の殺虫効果は，昆虫を含む複雑な動物に対する可視光の致死効果を示した世界で初めての報告であった。また，殺虫効果は必ずしも波長が短いほど高いというわけではないことも本研究から明らかになり，光の生物に対する殺傷効果は波長が短いほど高いという従来説を覆すことにもなった。この発見は2014年に発表し（Hori et al., 2014），各種メディアでも紹介された。また，本誌第69巻（堀，2015）でも内容を紹介しているので，そちらも参照されたい。本稿では，その後明らかになってきたこと，および，実用化に向けた取り組みの状況や展望について紹介する。

I　光の殺虫効果に関するこれまでの研究と本研究の位置づけ

紫外線の殺虫効果については比較的古くから知られており，中島・吉田（1971）はカイコに対して，Wharton（1971）はゴキブリに対して，Beard（1972）はハエやカメムシ，シロアリに対して，UVC（100～280 nmの波長の光）が殺虫効果をもつことを報告している。しかし，UVCはヒトに対する毒性も非常に大きいため，これらの殺虫効果は実用的には利用されていない。また，ハダニにおいては，殺ダニを目的としたUVB（280～315 nm）照射の利用に関して，実証試験や一部導入が進んでいるが，昆虫類に対しては有効な光強度と安全性等との関係から利用を目指した研究はほとんど行われていない。UVCやUVBといった短波長紫外線はDNAに吸収され，直接的にDNAに傷害を与えるため，生体に対する毒性は非常に大きい。一方，それより波長の長いUVA（315～400 nm）や可視光（400～780 nm）はDNAに吸収されないため，直接的な傷害をDNAに与えることはなく，毒性もUVCやUVBに比べてはるかに小さい。このことから，紫外線の中でもUVAには動物に対する殺傷効果はほとんどないとされ，UVAの殺虫効果についてはこれまではあまり研究されてこなかった。近年になって徐々に，UVAの昆虫に対する毒性も研究されるようになってきたが（Meng et al., 2009；Zhang et al., 2011；Tariq et al., 2015），高い毒性を示した報告はなかった。したがって，それより波長の長い可視光に殺虫効果があるとはこれまではまったく考えられてこなかった。しかし，筆者らの青色光の殺虫効果の発見により，比較的安全性が高い可視光の青色光照射により，害虫の発生源を除去または害虫の繁殖を予防できる可能性が示された。紫外線だけでなく青色光もヒトの網膜に傷害を与えることが近年わかってきたことから（Kuse et al., 2014），利用の際にはなるべく直視しないなどの注意が必要ではあるが，生体に

Development of Insect-killing Technique by Blue-light Irradiation. By Masatoshi Hori

（キーワード：青色光，LED，殺虫，可視光，照射）

対する毒性は紫外線に比べればはるかに小さいため，安全性の面で非常に利用しやすいと考えられる。青色光照射による殺虫は従来にない技術であることから，実用化され普及する可能性が非常に高いと考え，2013年に「害虫の防除方法及び防除装置」として特許出願した。なお，この特許は2017年3月に登録されている（特許第6118239号）。

II　青色光の殺虫効果が確認された害虫種

これまでに，4目に渡る10種の昆虫について，青色光の殺虫効果を調査している（図-1）。農業害虫ではハエ目ハエ亜目ハモグリバエ科のアシグロハモグリバエとトマトハモグリバエ，カ亜目クロバネキノコバエ科のチビクロバネキノコバエ，アザミウマ目アザミウマ科のミカンキイロアザミウマ，コウチュウ目ハムシ科のイチゴハムシで殺虫効果が確認されている。また，貯蔵・食品害虫ではコウチュウ目ゴミムシダマシ科のヒラタコクヌストモドキとチャタテムシ目コナチャタテ科のヒラタチャタテで，衛生害虫ではハエ目ハエ亜目ショウジョウバエ科のキイロショウジョウバエ，ハエ目カ亜目カ科のチカイエカとチョウバエ科のオオチョウバエで効果が確認されている。殺虫試験を行った昆虫種については完全，不完全変態の変態様式にかかわらず，いずれも，卵～成虫に至る少なくともどこか一つ以上の発育段階で青色光照射による殺虫効果が認められている。このことから，青色光は広く様々な害虫種に殺虫効果を発揮すると考えられる。

青色光の殺虫効果は種により効果的波長や有効光強度が異なるが，それらは同じ昆虫種であっても，発育によって変化する。例えば，イチゴハムシでは，卵に対しては420～435 nmの青色光が最も高い殺虫効果を示すが，蛹に対しては435 nmの青色光の殺虫効果は他の青色光波長に比べて明らかに低い（Hori and Suzuki, 2017）。効果的波長の変化はキイロショウジョウバエでも確認されており，蛹で見られる435，470 nmの効果の高い二山型のピーク波長は，卵や幼虫では見られない。また，イチゴハムシでは，卵に対して最も効果が高い435 nm光を，卵期間中，直射日光に含まれる青色光の約60%の強度で照射すると，その後，羽化までに死亡する個体が90%程度に達する。これに対して，蛹で最も効果の高い470 nm光を卵と同じ光強度で蛹期間中照射しても，羽化せずに死亡する個体は50%程度にとどまる。オオチョウバエにおいても，卵と蛹で効果的波長および有効光強度が大きく変化することが明らかになっており，青色光に対する蛹の耐性は卵の約2倍にもなる。したがって，青色光殺虫を防除に利用する際には，対象となる害虫種のどの発育段階をターゲットとするかも非常に重要になる。

イチゴハムシは直射日光の当たる野外で生活し，成虫は革質化した表皮に覆われたコウチュウ目昆虫である。したがって，光耐性は非常に高いと考えられ，青色光は

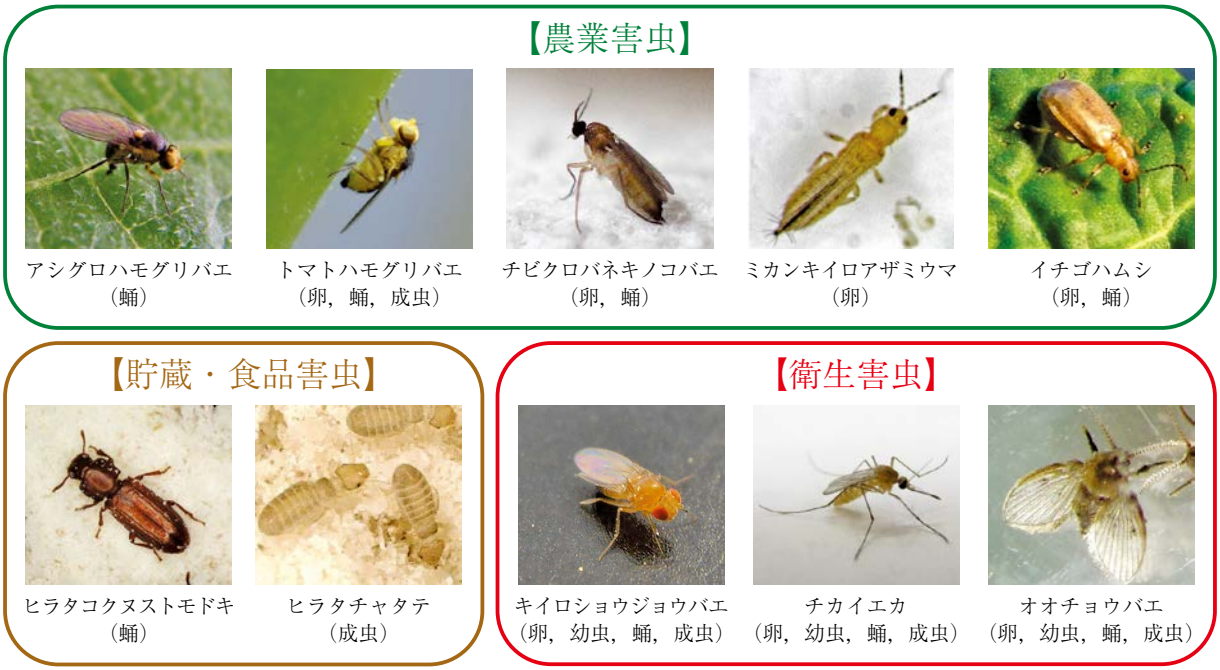


図-1　殺虫効果がこれまでに確認されている害虫種
注1）（　）内は効果が確認されている発育段階.

殺虫効果を示さないのではと当初は考えていた。しかし，先述したように，卵への照射によりほとんどの個体が死亡する青色光の強度は，直射日光中の強度の約60％に過ぎない。したがって，野外で主に生活する昆虫であっても，直射日光中の青色光を浴び続ければ，成虫に到達する前に致死する種は多いと考えられる。ではなぜ，昼間，野外で生活する昆虫は直射日光を浴びても生存できるのかという疑問が生じる。筆者は，多くの昆虫は，強度的にも，時間的にも，致死するほどの青色光に曝されていないためと考えている。例えばイチゴハムシは，一生を通じて野外の植物葉上で生活するが，卵は通常は葉裏に産み付けられ，蛹化も葉裏で行われる。すなわち，野外性の昆虫種であっても，卵や蛹は，通常，直射日光が直接当たらない日陰や土中，植物体組織等に存在する。また，成虫や幼虫は，物陰に隠れることにより直射日光を避けることができる。さらに，一日における日照時間は，例えば日本においては，平均で5時間程度，最長でも14時間程度である（気象庁気象観測データ，2016）。したがって，ライフサイクルの中で，死に至るほどの青色光の曝露量に達することがないため，多くの昆虫は野外でも生存・繁殖できるものと考えている。以上のことを考えると，少なくとも卵などある特定の発育段階をターゲットにすれば，野外で生活する昆虫であっても，青色光照射により殺虫できる種はかなり広範囲に渡るのではないかと推測している。

Ⅲ　青色光の殺虫メカニズム

効果的な青色光波長が昆虫種特異的であることから，昆虫体内の組織にある種特異的な発色団や光感受性物質が殺虫に関与している可能性が高い。青色光による眼の網膜傷害は，青色光照射により発生した活性酸素が原因であることが示唆されているが（Kuse et al., 2014），殺虫効果もこれと類似のメカニズムによるものと推測している。すなわち，体内の種特異的な物質が特定の波長の青色光を吸収することで活性酸素が生じ，それによりDNAが傷害を受け，細胞や組織が損傷することで個体が致死すると考えている（図-2）。実際，キイロショウジョウバエの蛹では，青色光を照射することにより，活性酸素の一種である過酸化水素の体内発生量が上昇すること，さらには，過酸化水素発生量が多い照射波長と殺虫効果の高い照射波長の間には類似性があることも確認している。また，予備試験の段階であるが，ショウジョウバエの培養細胞に青色光を照射すると，細胞増殖が抑制されることも確認している。現在，細胞傷害のメカニズムを明らかにするため，さらに詳細な解析を行っている。

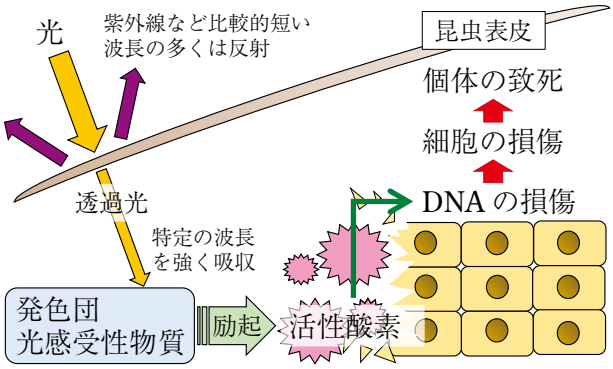


図-2　推測される青色光の殺虫メカニズム

青色光が昆虫の生存に与える負の影響として，筆者らはミカンコミバエを用いた実験で，照射により免疫抑制が起きることも明らかにしている（Tariq et al., 2017）。この免疫抑制はメラニン合成などの免疫応答関連因子が阻害されることで起こる。幼虫期の青色光照射による免疫抑制には持ち越し効果があり，幼虫期に青色光を照射されたミバエの成虫は免疫力が低下し，昆虫病原糸状菌の一つである *Beauveria bassiana* に感染しやすくなることが明らかになっている。このことは，青色光照射と昆虫病原微生物との併用により，相乗的な殺虫効果を期待できる可能性を示している。青色光耐性が比較的高い害虫種に対してや，有効光強度での照射が難しい利用場面においては，天敵微生物との併用という手段もありうるかもしれない。

Ⅳ　青色光殺虫の実用化の展望について

青色光は様々な害虫に殺虫効果を示すことから，利用分野は農業のほか，食品産業，貯水・水処理，衛生，畜産業，流通・輸送等多岐に渡ると考えられる（図-3）。LEDなどにより，青色光を害虫の発生箇所あるいは発生しやすい箇所に照射するだけなので，ケミカルフリーでクリーンなだけでなく，安全性が高く簡単で労力もあまり必要としない。また，安全上の問題などにより殺虫剤処理が困難な場所での防除にも利用できるという利点がある。したがって，これまで有効な防除手段がなかった場面でも，青色光の導入により防除ができるようになるかもしれない。

そのようなことから，現在，食品工場への導入に向けた実証試験が先行して進められている。食品工場では食品への殺虫剤付着の危険性から，害虫が発生していても殺虫剤を処理できない場所が多い。そのため，害虫が発生した場合，発生源を清掃除去するなどして害虫管理をしているのが現状である。食品害虫の発生源は，通常，

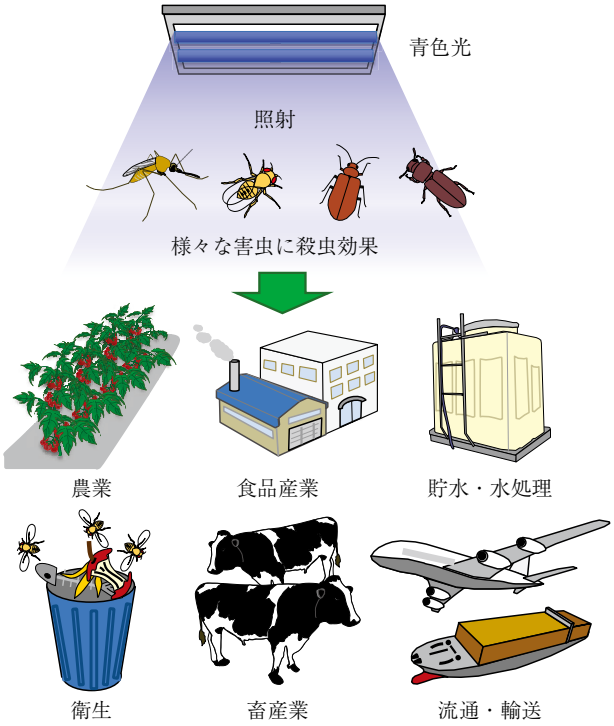


図-3　青色光殺虫の想定される利用分野

人の目が届きにくいところ，すなわち機械内部や配電盤の中，施設・設備の隙間構造となっているところにできる。したがって，発生源があっても気付きにくく，また，清掃もなかなかできないところが多い。そのため，機械や配電盤等のボックス構造の中に設置することで害虫発生源を除去できる青色光照射装置への期待は非常に大きく，また，比較的狭い閉鎖空間内での使用となるため，対象箇所となる発生源への照射が容易で殺虫効果も得やすいと考えられる。コバエ類やチャタテムシ等の発生源除去を目的とした実証試験では実用的な効果がすでに確認されており，実際の導入に向けた準備が進められている。食品工場で実際に導入され，さらに，導入が多くの工場に広がれば，様々なノウハウが蓄積され，より効率的で低コストな技術の改良につながると考えられる。また，食品工場での成功事例が増えれば，他の分野への導入展開もより容易になるであろう。

農業での利用に関しては，対象作物への青色光の影響を調査する必要があるほか，光源の設置位置・角度の工夫や反射資材の利用等により，植物の陰に潜んでいる害虫にも確実に青色光が当たるような利用技術を開発する必要がある。その際，最も効率的・効果的に照射できる対象害虫の発育段階をよく検討することも重要である。現在は，最適波長と有効光強度をすでに明らかにしているトマトハモグリバエで照射装置の試作品が完成し，これを用いてポット試験によりその有効性を評価し始めた段階である（図-4）。今後，有効性の有無だけでなく，作物への影響調査および効果的な照射技術の検討も行っていく予定である。LED は省エネ，長寿命であるため，従来の光源と比べてランニングコストを低く抑えることができるが，殺虫のためには比較的高い光強度が必要であり，また，害虫に確実に光を当てるには，比較的広い放射面を要する。したがって，電気代や装置の設置台数等を考慮に入れると，露地ではなく，施設での利用がまずは現実的であると考える。本圃への害虫持ち込み防止のために，育苗施設で利用するというのも効果的な利用法の一つであろう。

図-4　トマトハモグリバエに対する青色光殺虫のポット試験の様子

お　わ　り　に

青色光の殺虫効果を学術誌で初めて公表してから 3 年が経過した。この間，様々な企業や自治体から実用化に関する多くの問い合わせがあった。青色光の殺虫効果は昆虫種により効果的な波長や有効光強度が異なるため，実用化にあたっては防除対象種のそれらを明らかにする必要がある。そこで現在は，実用化の要望が高い種から優先して，殺虫効果の調査を順に進めている。また，これと並行してメカニズムの解明も進めており，その一端はすでに明らかになってきた。メカニズムの詳細が明らかになれば，効果的波長や有効光強度の種特異性の要因も明らかになり，例えば，対象害虫がもつ青色光受容部の吸収スペクトルを解析することにより，効果的な波長と強度を迅速に調べることが可能になるかもしれない。また，青色光殺虫を導入後，例えば抵抗性系統が出現す

るなどの問題が万が一生じた場合にも，メカニズムが明らかになっていれば対応が可能になるであろう。現在，実用化については複数の企業との共同研究により進めているところである。まずは，食品工場から導入を始め，実用的な殺虫技術としての確立を図り，実績を積むことで，農業を含むその他の分野への実用化の拡大に早期につなげていきたいと考えている。

引　用　文　献

1）Beard, R. L.（1972）: J. Econ. Entomol. **65** : 650～654.
2）Hori, M. et al.（2014）: Sci. Rep. **4** : 7383.
3）――― and A. Suzuki（2017）: ibid. **7** : 2694.
4）堀　雅敏（2015）: 植物防疫 **69** : 422～427.
5）気象庁気象観測データ（2016）: http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html
6）Kuse, Y. et al.（2014）: Sci. Rep. **4** : 5223.
7）Meng, J. Y. et al.（2009）: J. Insect Physiol. **55** : 588～592.
8）中島　誠・吉田治男（1971）: 応動昆 **15** : 17～22.
9）Tariq, K. et al.（2015）: Environ. Entomol. **44** : 1614～1618.
10）――― et al.（2017）: Bull. Entomol. Res. **107** : 734～741.
11）Wharton, D. R. A.（1971）: J. Econ. Entomol. **64** : 252～255.
12）Zhang, C. Y. et al.（2011）: Insect Sci. **18** : 607～702.

新しく登録された農薬（30.1.1～1.31）

掲載は，**種類名**，登録番号：**商品名**（製造者又は輸入者）登録年月日，有効成分：含有量，**対象作物**：対象病害虫：使用時期等。ただし，除草剤・植物成長調整剤については，**適用作物**，適用雑草等を記載。

「殺虫剤」

●フィプロニル粒剤

24030：**日産プリンス粒剤**（日産化学工業）18/1/17
フィプロニル：1.0%
キャベツ：コナガ：は種前，は種時，は種時～定植前
キャベツ：ハイマダラノメイガ：は種前，は種時，は種時～定植前，地床育苗期
ブロッコリー：ハイマダラノメイガ：は種前，は種時，は種時～定植前
きく：アザミウマ類：定植前
稲（箱育苗）：ウンカ類，イネミズゾウムシ，イネドロオイムシ，イネツトムシ，ニカメイチュウ，イナゴ類，イネヒメハモグリバエ，コブノメイガ：は種前，は種時（覆土前）～移植当日
稲（箱育苗）：フタオビコヤガ，イネクロカメムシ：は種時（覆土前）～移植当日
稲（箱育苗）：イネシンガレセンチュウ：は種時（覆土前）
稲（箱育苗）：イネアザミウマ：移植 3 日前～移植当日
稲（箱育苗）：イネカラバエ：移植当日

●フルベンジアミド水和剤

24033：**ロックオン**（日本農薬）18/1/31
フルベンジアミド：5.0%
樹木類：ケムシ類：発生初期

●マシニッサルア剤

24036：**ヘタムシコン**（信越化学工業）18/1/31
(E,Z)−4,6−ヘキサデカジエニル＝アセタート：58.0%
(E,Z)−4,6−ヘキサデカジエナール：5.8%
かき：カキノヘタムシガ：成虫発生初期から終期

「殺菌剤」

●ピラクロストロビン・ボスカリド水和剤

24031：**オナー WDG**（BASF ジャパン）18/1/31
ピラクロストロビン：6.8%
ボスカリド：13.6%
西洋芝（ベントグラス）：葉腐病（ブラウンパッチ），赤焼病，ピシウム病，炭疽病，ダラースポット病：発病前～発病初期

「殺虫殺菌剤」

●クロチアニジン・フィプロニル・イソチアニル粒剤

24027：**ハコナイト粒剤**（住友化学）18/1/17
クロチアニジン：1.5%
フィプロニル：1.0%
イソチアニル：2.0%
稲（箱育苗）：イネミズゾウムシ，ツマグロヨコバイ，いもち病，ウンカ類，コブノメイガ：は種前
稲（箱育苗）：イネミズゾウムシ，ツマグロヨコバイ，いもち病，ウンカ類，コブノメイガ，イナゴ類：は種時（覆土前）～移植当日
稲（箱育苗）：イネドロオイムシ，白葉枯病：移植 7 日前～移植当日

●シアントラニリプロール・イソチアニル・ペンフルフェン粒剤

24029：**ルーチンブライト箱粒剤**（バイエルクロップサイエンス）18/1/17
シアントラニリプロール：0.75%
イソチアニル：2.0%
ペンフルフェン：2.0%
稲（箱育苗）：いもち病，もみ枯細菌病，紋枯病，白葉枯病，イネドロオイムシ，イネミズゾウムシ，イネツトムシ，ニカメイチュウ，フタオビコヤガ，コブノメイガ：播種時（覆土前）～移植当日
稲（箱育苗）：穂枯れ（ごま葉枯病菌），内穎褐変病，イネヒメハモグリバエ，ツマグロヨコバイ：移植当日

●シアントラニリプロール・トルプロカルブ粒剤

24032：**ツインキック箱粒剤**（三井化学アグロ）18/1/31
シアントラニリプロール：0.75%
トルプロカルブ：9.0%
稲（箱育苗）：いもち病，もみ枯細菌病，イネドロオイムシ，イネミズゾウムシ，イネツトムシ，ニカメイチュウ：移植 3 日前～移植当日
稲（箱育苗）：イナゴ類，イネヒメハモグリバエ：移植当日

●オレイン酸ナトリウム乳剤

24034：**ソープガード**（OAT アグリオ）18/1/31
オレイン酸ナトリウム：0.20%
野菜類：うどんこ病，アブラムシ類：発生初期～収穫前日まで

（35 ページに続く）

特集

光と色を利用した害虫防除技術の新展開

紫色 LED による天敵カメムシの行動制御技術

筑波大学 生命環境科学研究科 生物圏資源科学専攻 荻野（おぎの） 拓海（たくみ）・戒能（かいのう） 洋一（よういち）
農研機構 生物機能利用研究部門 霜田（しもだ） 政美（まさみ）・上原（うえはら） 拓也（たくや）・山口（やまぐち） 照美（てるみ）

は じ め に

ヒメハナカメムシ類（*Orius* spp. Heteroptera：Anthocoridae）は，体長 2 mm 程度の小さな昆虫であり，薬剤抵抗性が問題になっているアザミウマ類やアブラムシ類を捕食する天敵昆虫である。本種は，害虫に対する捕食能力の高さから害虫管理に効果的かつ有益な生物として世界的に幅広く認知されており，北米では *Orius insidiosus* や *O. tristicolor* が，ヨーロッパでは *O. laevigatus* が生物的防除剤として利用されている。我が国でもタイリクヒメハナカメムシ，*O. strigicollis* が，2001 年から生物的防除剤として販売され（Hinomoto et al., 2009），施設栽培のナスやピーマン，イチゴ等で防除効果が確認されている（柴尾・田中，2000；松尾・下畑，2000；勝山ら，2014）。本種は，分布が日本の南西地域に偏っており，本防除剤は施設内利用に限られていることから，全国に広く分布し露地でも使用可能な土着天敵として，ナミヒメハナカメムシ，*O. sauteri* やコヒメハナカメムシ，*O. minutus* の利用が期待されている（永井，1991；大野ら，1995）。

土着天敵を活用する技術として，現在は，ルドベキアやマリーゴールド等の天敵の誘引や増殖，維持に役立つ天敵温存植物を用いる植栽管理が確立されている（永井・飛川，2012；井村・神川，2012）。筆者らは，天敵温存植物で増殖した天敵を作物へ効率的に移動させることができれば，害虫防除効果をさらに向上させられるのではないかと考えた。本稿では，天敵を栽培作物へ移動・定着させる手法として，昆虫の光応答反応を利用した技術について紹介する。

Attraction Tool of Predatory Bugs by Violet LED. By Takumi Ogino, Yooichi Kainoh, Masami Shimoda, Takuya Uehara and Terumi Yamaguchi
（キーワード：走光性，波長選好性，生物的防除，ヒメハナカメムシ，アザミウマ，タバコカスミカメ）

I 土着天敵ナミヒメハナカメムシの誘引波長

筆者らは，光で天敵温存植物から作物へ天敵を誘引するにあたって，まずナミヒメハナカメムシの誘引波長を明らかにした。暗室内でナミヒメハナカメムシの周囲に，極大波長 365 nm（紫外光），405 nm（紫），450 nm（青），525 nm（緑），590 nm（橙），660 nm（赤）の六つの LED を配置し，赤外線カメラで各波長の光に対しどのような反応を示すか記録した。なお，ナミヒメハナカメムシは，交尾前の雌雄および交尾済みの雌雄を用いた。その結果，未交尾オスでは，46.7％の個体が 405 nm の紫色光に向かい，他の波長よりも有意に多くの個体が本波長に誘引された。同様に交尾を経験したオスも 55.3％の個体が紫色光に対し選好性を示した。一方で，未交尾メスでは，50.6％の個体がオス同様に紫色光に強く誘引された。交尾を経験したメスのみ傾向が異なり，55.7％の個体が 365 nm の紫外光に誘引され，次いで 27.5％の個体が紫色光に誘引された。このことから，405 nm の紫色光がナミヒメハナカメムシを最も誘引できることが判明した（荻野ら，2015；2016）。

過去の報告から，ナス科の作物などで問題になっているミナミキイロアザミウマは 470 nm の青色光や 500～525 nm のコバルトグリーンに誘引されることが報告されている（柴尾・田中，2014；芳賀ら，2014）。また，多種の作物を加害するミカンキイロアザミウマは 355～385 nm の紫外光と 525 nm の緑色光に対し選好性を示すことが知られている（眞壁ら，2014；大谷ら，2014）。そのため，これらの害虫の誘引波長とは異なる 405 nm の紫色光は，害虫を増やすことなくナミヒメハナカメムシを優先的に栽培作物に誘引することが可能であると考えられる。

II ナスの無農薬栽培圃場での誘引試験

紫色光（405 nm）を用いて土着のヒメハナカメムシ類の作物への移動，定着を野外試験で評価した。誘引試

験は，茨城県つくば市内にあるナスの露地栽培圃場で行った。誘引光源を照射する照射区としない対照区を設け，ナスは各区画に 12 株ずつ定植した。ナスは，茨城県内の農家の慣行に従って栽培し，農薬は一切使わなかった。また，土着のナミヒメハナカメムシの密度を上昇させるため，天敵温存植物としてマリーゴールド，ブルーサルビア，ゴマ，ソバ，オクラを各区画の端に定植した。誘引光源は，波長 405 nm にピークを持つロープ状 LED テープを使用し，照射区に定植されている全ナスの頭上（高さ 140 cm）に設置した。点灯時間は，ナミヒメハナカメムシの活動が最も活発になる夕方 17 時から 20 時までとした（図–1）。各区画のナスの葉上に発生するヒメハナカメムシとアザミウマの数を記録した。その結果，天敵の光応答反応を利用した誘引・定着技術には，次の二つの効果があることが判明した。

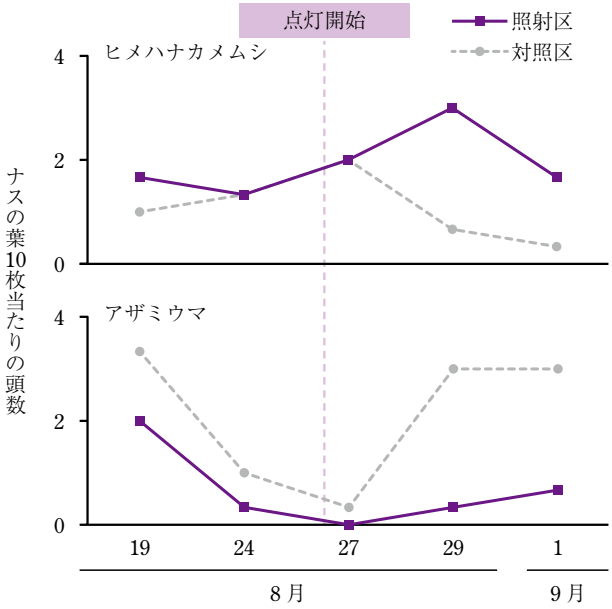
1　即効効果

第 1 には，栽培作物上へ天敵を素早く動員する「即効効果」である。点灯前後 2 週間にナス葉上で確認されたヒメハナカメムシとアザミウマの密度変化を図–2 に示す。点灯前後の対照区におけるヒメハナカメムシの密度に大きな変化が認められなかったのに対し，照射区では急激な密度上昇が認められ，誘引光源によるヒメハナカメムシの誘引と定着の作用が伺われる。また，対照区のアザミウマの密度が点灯後に高くなったのに対し，照射区では対照区の 25％以下の密度となった。害虫の初期密度は，後の害虫の発生量と栽培作物への被害に大きく影響を与えるため（Kean et al., 2003），害虫防除を実施するうえで早期に防除することが非常に重要となる。このように誘引光源には，害虫の早期防除を可能にし，後の害虫の発生を大きく抑制する効果がある。

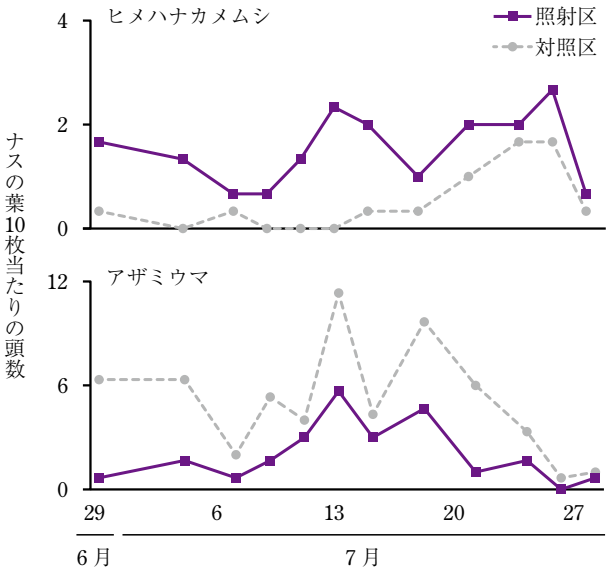
2　持続効果

第 2 には，長い栽培期間を通じて高い天敵密度と害虫の抑制が維持される「持続効果」である。2015 年 6 月 29 日～7 月 28 日までのヒメハナカメムシおよびアザミウマの発生推移を図–3 に示す。対照区では，ヒメハナカメムシの姿が確認できない時期があり，アザミウマは高い密度で発生していた。一方で照射区では，点灯 3 日後の 6 月 29 日にはヒメハナカメムシがナス上に発生しており，アザミウマの密度は 1 か月にわたって対照区より低く保たれていた。このナス上のヒメハナカメムシの齢構成を調べた結果，68.4％は幼虫であることがわかった。ヒメハナカメムシのア

図–1　誘引光源を設置したナス栽培圃場
撮影日：2015 年 8 月 18 日.



図–2　誘引光源の点灯によるナス葉上での天敵および害虫密度の変動



図–3　ナス葉上における天敵および害虫密度の経時変動
（Ogino et al., 2016 を一部改変）

ザミウマ捕食量は，成虫よりも 5 齢初期の幼虫のほうが多いことが報告されている（Nagai and Yano, 2000）。また，幼虫には翅がないことから栽培作物以外へ分散の恐れが少ないため，アザミウマの抑制効果が持続したと考えられた。土着天敵による害虫抑制効果を持続させるには，作物上での産卵，増殖が必要である。紫色光によるヒメハナカメムシ成虫の誘引と定着は，アザミウマ密度の長期抑制に大きく貢献すると考えられる（Ogino et al., 2016）。

3　その他の天敵の増加

また，誘引光源を設置した照射区のナス栽培区画では，前節で紹介した二つの効果以外に，予期せぬ効果が確認された。それは，アザミウマ以外の害虫が減少したことと，ナミヒメハナカメムシ以外の天敵がナス上で増加したことである。害虫であるアブラムシとヨコバイの照射区での密度は対照区よりもともに約 40％低かった。様々な害虫種を捕食する天敵として知られるクモ類は，照射区にて多く確認することができた。確認されたクモ類は，ハナグモなどの徘徊性のクモやウロコアシナガグモ等の造網性のクモなど多様であり，ハナグモだけでも対照区よりも約 1.4 倍多く発生していた。さらに，照射区では，アマガエルが対照区の約 2.5 倍も多く発生していた。残念ながら，これらの天敵の増加と害虫減少の因果関係はわからなかったが，筆者らは本栽培試験場に発生したアマガエルやクモがアブラムシやヨコバイといった他の害虫を捕食し減らしていたのではないかと考えている。

Ⅲ　トマト栽培施設におけるタバコカスミカメの移動・分散効果

筆者らは，他の天敵でも本誘引・定着技術を利用することができないか考え，タバコカスミカメ，*Nesidiocoris tenuis* に着目した。タバコカスミカメは，ナミヒメハナカメムシと同様にアザミウマやコナジラミといった微小害虫への捕食能力の高さから害虫防除への利用が期待されている昆虫である（Irou et al., 2013；中石，2014）。本種は，他の天敵が定着しにくいトマトでの利用が可能であることから，トマト黄化葉巻病の媒介昆虫であるコナジラミ類への防除効果が期待されている（土田ら，2017）。そのため，本種を効果的に利用すべく，様々な利用技術が開発されている。特に誘引・増殖を目的とした天敵温存植物（クレオメ，ゴマ，バーベナ等）を定植することで，本種の密度の大幅な上昇と維持が可能であることが知られている（阿部，2016）。実際に天敵温存植物を使用する際には，刈払いなどを行うことでタバコカスミカメの分散を促す必要がある（中野，2015）。本章では，タバコカスミカメの分散技術として誘引光源を用いた例を紹介する。

最初に本種の誘引波長をナミヒメハナカメムシと同様の手法で調査した。その結果，タバコカスミカメもナミヒメハナカメムシと同じく，害虫が誘引されにくい 405 nm の紫色の光に対して強い誘引性を示すことが明らかになった。また，赤外線によるアクトグラフを用いて 1 日の活動時刻を調べた結果，タバコカスミカメは日の入りに最も行動が活発になることが判明した。これらの結果を基に，奥行き 10 m，幅 5.4 m のビニールハウス 2 棟でトマトを用いた天敵の移動・分散実験を行った。両ビニールハウス内には，1 条当たりトマトを 10 株定植した列を 4 列配置し，入口付近には，天敵温存植物としてクレオメ，ゴマ，バーベナを定植した。本種の分散を促すための誘引光源には，第 II 章で使用したロープ状 LED テープを用いた。誘引光源は，一方のビニールハウスの一番奥に定植されたトマトの 30 cm 後方（高さ 160 cm）に配置し，入口の天敵温存植物のほうへ光を照射するように設置した（図-4）。点灯時間は，本種をより多く誘引するために，日没となる 17 時から 20 時に設定し照射区とした。もう一方のビニールハウスには，誘引光源を設置せず対照区とした。筆者らは，両ビニールハウスにて天敵温存植物にタバコカスミカメを放飼し，入口側から 1，4，7，10 株目のトマトの成長点から 50 cm 以内に移動した本種の数を 5 日間記録した。

その結果，両区ともに天敵温存植物の近傍に定植されたトマト上（1 株目）ではタバコカスミカメを多く確認できたが，対照区では天敵温存植物から離れると頭数が減っていき 7 株目以降のトマト上へは移動しなかった（図-5）。一方で照射区では，天敵温存植物近傍のトマト上だけでなく最も離れたトマト上（10 株目）でもタバ

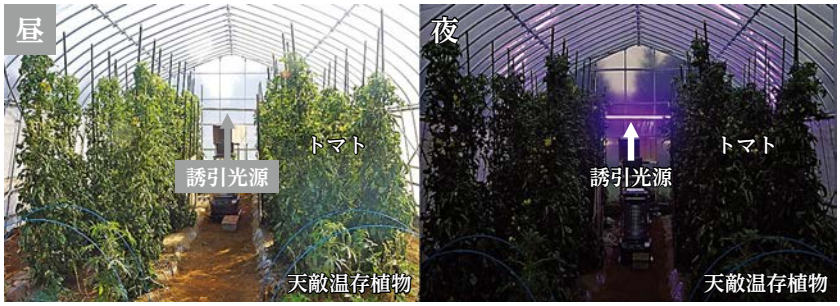


図-4　誘引光源を設置したトマトの栽培施設
ビニールハウス入口から撮影．撮影日：2016 年 8 月 18 日．

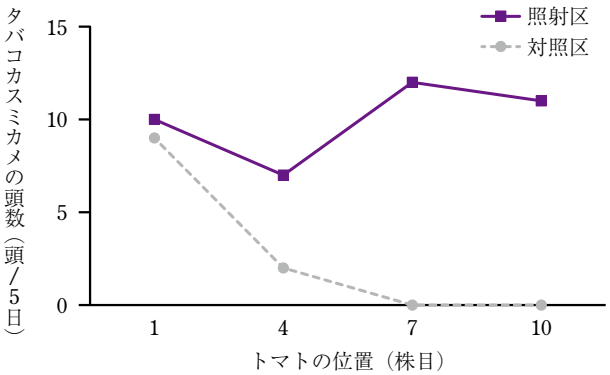


図-5　トマト上で確認されたタバコカスミカメの分布

コカスミカメを確認することができ，誘引光源を用いることで奥のトマトまで均一に分布することが判明した。また，奥のトマト上への移動は，点灯開始から 5 日以内に確認できていることから，前章の試験と同様に即効効果があることがわかる。このことから，本誘引・定着技術は，タバコカスミカメの移動・分散の促進にも効果的であると言える。

お　わ　り　に

近年は，殺虫剤抵抗性を発達させた害虫のまん延などにより，天敵を導入した減農薬栽培が普及しつつある。しかし，天敵を利用した害虫防除には，効果の持続や放飼のタイミング等まだまだ課題は多く，その防除効果は万全とは言い難い。本稿では，天敵の光応答反応を利用することで，その移動・分散を制御することが可能であることを示し，「即効効果」と「持続効果」があることを明らかにした。また，誘引光源の光量は小さく，かつ照射時間が 3 時間ほどに限られているため，いずれの試験でも作物に対する悪影響は確認されなかった。そのため，本技術は，天敵の有効な行動制御手段になると考えている。

しかし，本技術を利用するにあたって重要な留意点がある。それは，防除効果が栽培圃場の周囲の環境に依存するという点である。本技術は，周辺環境や天敵温存植物上の天敵密度が高いほど，多くの天敵を作物上へ誘引できる。逆に密度が低い場合は，誘引できる天敵の数が少なくなり防除効果が低くなる。そのため，本技術を使用する場合は，あらかじめ圃場内外にマリーゴールドなどの天敵温存植物を多く定植し，天敵の密度を上昇させることが非常に重要となる。また，ヒメハナカメムシ類は花粉や花蜜も食べる雑食性であるため，これらの植物は栽培作物上に餌となる害虫がいなくなったときの餌の供給源にもなる。したがって，本技術と天敵温存植物の

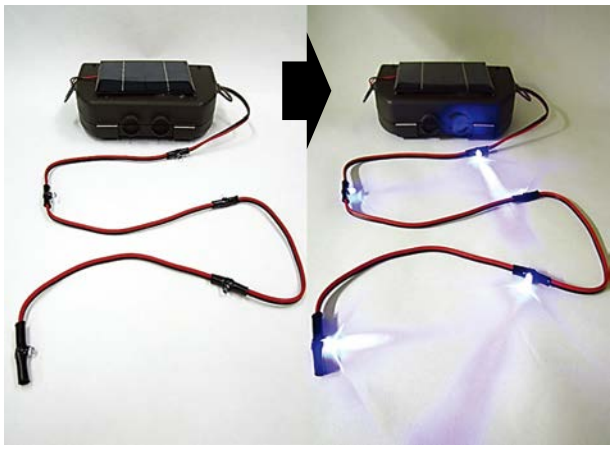


図-6　現在開発中のポータブル型の天敵誘引光源
製作：株式会社シグレイ.

併用は，長期的な防除を実施するために必須となる。

また，本稿で紹介した天敵誘引・定着試験では害虫の増加は見られなかったが，光を用いるという特性上全く意図していない生物種が栽培圃場に発生する可能性は否定できない。そのため，環境によっては意図しない害虫の出現も考えられる。現在筆者らは，この問題の解決策として天敵をより選択的に誘引できる波長を探索すると同時に，企業と連携して誘引光源の開発を行っている（図-6）。今後は，害虫の侵入を遮断する赤色系防虫ネットなどの併用により防除効果を向上させる手法を模索し，害虫防除技術としての完成度を高めていきたい。

引　用　文　献

1）阿部順一朗（2016）：現代農業，農山漁村文化協会，東京，p.226～231.
2）芳賀　一ら（2014）：同上 **58**：17～22.
3）Hinomoto, N. et al.（2009）：Appl. Entomol. Zool. **44**：635～642.
4）井村岳男・神川　諭（2012）：関西病虫研報 **54**：163～165.
5）Itou, M. et al.（2013）：Entomol. Sci. **16**：145～150.
6）勝山直樹ら（2014）：関西病虫研報 **56**：145～148.
7）Kean, J. et al.（2003）：Ecol. Lett. **6**：604～612.
8）眞壁敏明ら（2014）：応動昆 **58**：187～195.
9）松尾尚典・下畑次夫（2000）：関西病虫研報 **42**：39～40.
10）永井一哉（1991）：応動昆 **35**：283～289.
11）――――・飛川光治（2012）：同上 **56**：57～64.
12）Nagai, K. and E. Yano（2000）：Appl. Entomol. Zool. **35**：565～574.
13）中石一英（2014）：植物防疫 **68**：193～200.
14）中野亮平（2015）：タバコカスミカメ利用技術マニュアル，農業・食品産業技術総合研究機構，東京，p.14～17.
15）荻野拓海ら（2015）：応動昆 **59**：10～13.
16）――――ら（2016）：農業電化，農業電化協会，東京，p.11～15.
17）Ogino, T. et al.（2016）：Sci. Rep. **6**：32302.
18）大野和朗ら（1995）：福岡農総試研報 **14**：104～109.
19）大谷洋子ら（2014）：応動昆 **58**：177～185.
20）柴尾　学・田中　寛（2000）：関西病虫研報 **42**：27～30.
21）――――・――――（2014）：応動昆 **58**：29～32.
22）土田祐大ら（2017）：応動昆 **61**：215～222.

特集

光と色を利用した害虫防除技術の新展開

施設微小害虫の色彩誘引の特徴と色彩トラップの利用

兵庫県立農林水産技術総合センター　八（や）　瀬（せ）　順（じゅん）　也（や）

は　じ　め　に

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（北方・吉田，1982など）。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。本稿では，このような資材を「色彩トラップ」と呼ぶことにして，昆虫の視覚特性から色彩誘引のメカニズムを考えるとともに，農業害虫に対する色彩トラップの利用について述べたい。

I 「色」という感覚

昆虫に限らず，多くの生き物は視覚に頼って生きている。そのなかで，色の認識は情報量を飛躍的に増やし，より高度な適応を可能にしている。

われわれは，この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，色と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種類の白色について，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，紫外光を多く反射する資材（図-1：白色資材A）と，ほとんど反射しない資材（図-1：白色資材B）は色彩的に区別できない。ところが，多くの昆虫は紫外域にも視覚感度を持っているため，昆虫にとってこれら二つの資材は色彩的に異なるものとして見えている可能性がある。

実際のところ，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おり（北方・吉田，1982），色に対する昆虫の行動を考える場合，前記の両資材を同じ白色として扱うことは適切ではない。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考えられる。

II　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機械的に捕殺する物理的防除資材であり，今日求められている「農作物の安全性」や「環境への配慮」に応える害虫防除手段として広く利用されている。

色彩トラップの主な対象害虫は，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，翅を持つ成虫の自発的な飛翔によって誘引・捕獲される。多くの製品が市販されているが，サイズは25×10 cm前後，形状は長方形のシート，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については，弘中・針山（2014）がまとめたところによれば，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あるが，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。

III　なぜ特定の色に誘引されるのか

一般的な色彩トラップの波長特性は，青色のタイプで470 nm付近に反射ピークがあり，黄色のタイプでは530 nm以降に高い反射率を示す（図-2）。蟻川ら（2015）は，多くの害虫種を含む64種の昆虫について複眼分光感度を測定し，ほとんどの種で360 nm（紫外光）付近と可視部の520 nm（緑色）付近に感度のピークが見られることを明らかにしている。緑色に対する視覚感度の高さは，食餌や生息場所としての植物探索への適応と考

Characteristics of Greenhouse Insect Orientations to the Color Sticky Trap and Its Use.　By Junya Yase
（キーワード：施設害虫，色彩誘引，粘着トラップ，物理的防除）

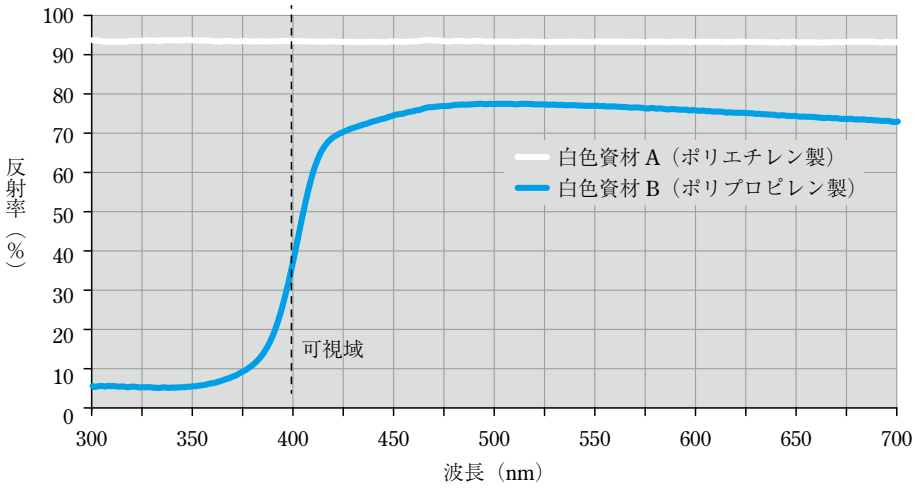


図-1　白色資材 2 種の分光反射特性

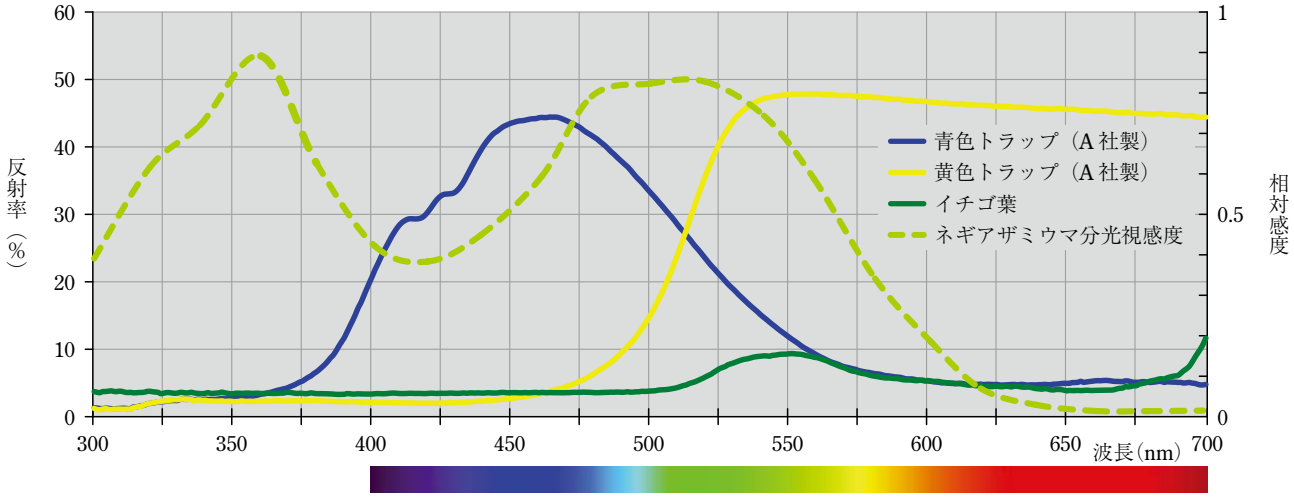


図-2　色彩トラップ（青色，黄色）とイチゴ葉の分光反射特性およびネギアザミウマの複眼分光視感度
ネギアザミウマの分光視感度は，眞壁ら（2014）をもとに改変.

えると納得しやすいが，青色や黄色は誘引される昆虫にとってどのように作用しているのだろうか。

一例としてネギアザミウマの視覚感度（眞壁ら，2014）を図-2 に重ねると，色彩トラップの青色，黄色の波長は，ネギアザミウマが示す 520 nm 付近の感度ピークの短波長側と長波長側でそれぞれ大きく重なっていることがわかる。ネギアザミウマはこれら青色，黄色に対して同等の高い選好性を示すが（八瀬ら，2015），視覚感度と色彩波長の重なり具合から，青色，黄色とも緑色の代替色として作用しているのではないかと考えられる。

アザミウマ類の色彩選好性については，青～緑色（481～523 nm）に選好性が高いとの報告（芳賀ら，2014）もあるものの，不思議なことに市販の色彩トラップに緑色のものは見当たらない。はっきりした理由はわからないが，使用されている青色や黄色は，一般的な植物葉（図-2 ではイチゴ葉を示す）と比べて反射率がかなり高いため視認性が高く，実用上は問題ないのだろう。特に黄色は，波長として緑色と赤色で構成されており，ネギアザミウマのように赤色に感度がほとんどない昆虫にとっては理論的に緑色に相当するため，結果的に誘引性の高い色彩として利用されている可能性がある。

紫外光である 360 nm 付近の視覚感度の機能については，空（紫外光が多い）と植物（紫外光が少ない）の区別に有用など（平野，1971），視覚コントラストへの作用が示唆されているが，これら昆虫の視覚特性と色彩誘引に関する適応的な意義については，知見の蓄積が望まれる。

Ⅳ　色彩への定位行動

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（蟻川，2009），アザミウマ類やコナジ

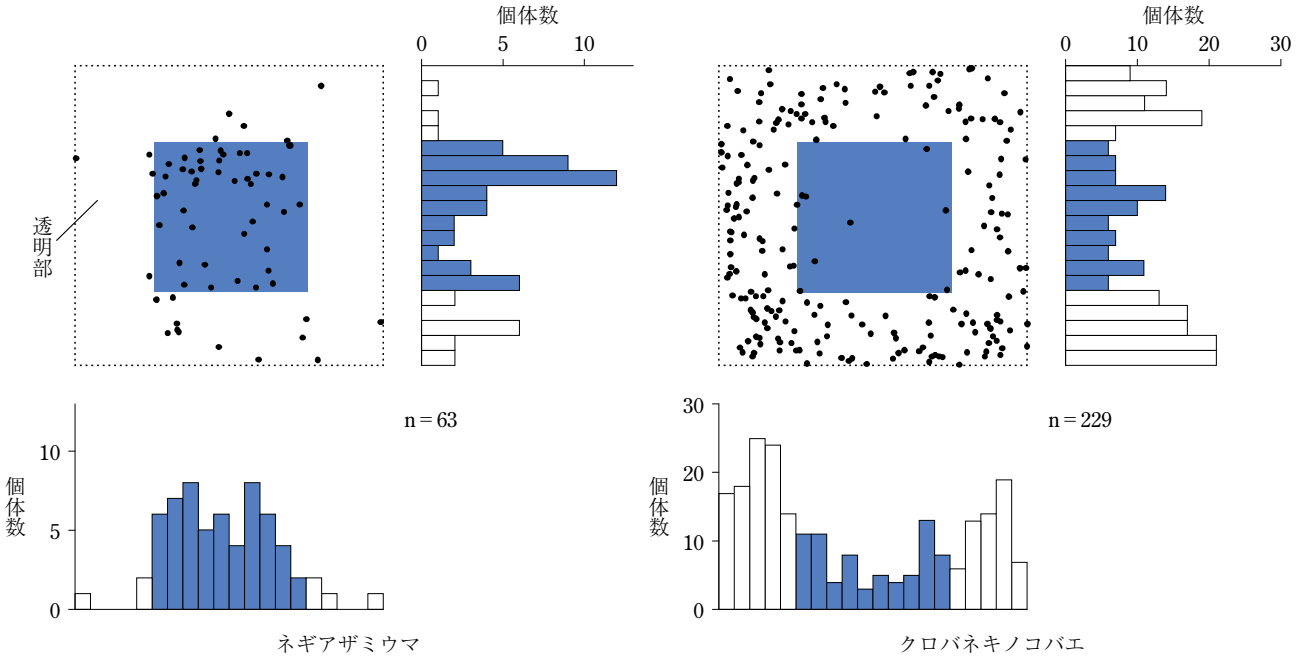


図-3　粘着トラップにおける捕獲虫の付着点分布
20 cm 四方の透明粘着シートの中央部に 10 cm 四方の青色粘着板を配置したものをネギ栽培施設に 4 枚設置．同一場所，同一設置期間に捕獲されたネギアザミウマとクロバネキノコバエの付着点を統合し，種ごとに示している．ヒストグラムは，それぞれ縦，横捕獲面 1 cm 幅ごとの個体数を示す．

ラミ類といった微小な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，色彩への定位はどのように行われているのだろうか。

色彩板（図-2 の青色と同一資材）の周辺に透明シートを配置した粘着トラップで捕獲虫の付着点を調べたところ，ネギアザミウマはほとんどの個体が色彩部で捕獲されており，クロバネキノコバエでは逆に色彩部を避けた様子が見られている（図-3）。目標物（あるいは障害物）に対する認識とアプローチがとても正確であることがわかる。

ネギアザミウマとオンシツコナジラミが色彩板に飛翔接近する連続写真（図-4）からは，色彩板の直前で着地体勢をとっている様子を見ることができる。飛翔速度は秒速 30～40 cm と推測され，色彩トラップに対する定位・着地は，高速で飛翔しているにもかかわらず能動的にコントロールされていることがうかがわれる。

V　色彩トラップの視認性

視覚資材である色彩トラップにとって重要な視認性については，次の二つの観点が考えられる。色彩トラップが対象害虫の視野に入ることと，目標として定位しやすいことである。

ハモグリバエ類は，色彩トラップを地面に対して水平

図-4　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．

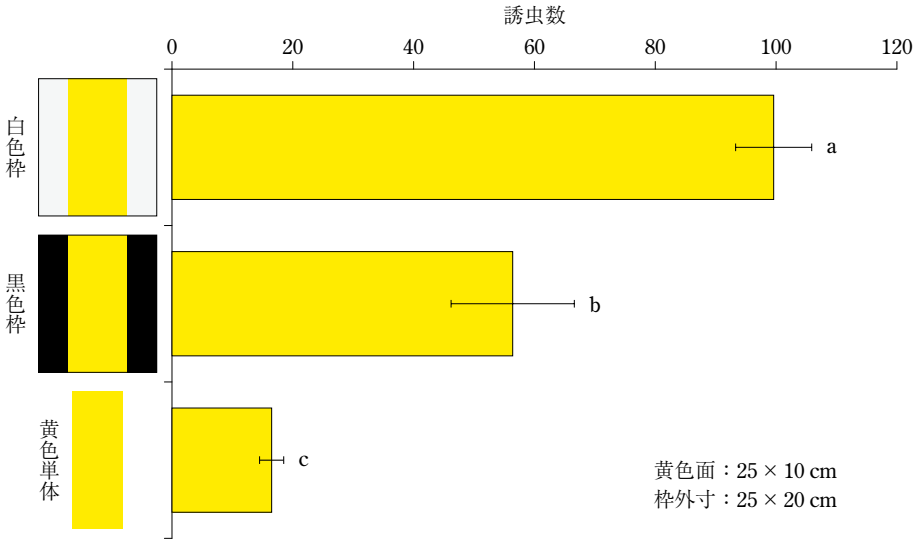


図-5　枠を付加した黄色トラップにおけるネギアザミウマの誘虫数比較（八瀬ら，2015 を改変）
各 8 反復，黄色面 1 枚当たりの平均誘虫数 ± 標準誤差.
異なるアルファベット間には有意差が認められる（Tukey's test，$p < 0.01$）.

に設置した条件で，垂直に設置するよりも捕獲数が多くなることが経験的に知られている。このことは，ハモグリバエ類が飛翔中に下方を探索する行動様式と関係があると考えられる。アザミウマ類では，垂直に設置したほうが水平に設置した場合より捕獲数が多くなるが，植物間を飛び移るように飛翔しているアザミウマ類では，資材を垂直に設置したほうが視野に入りやすいためと思われる。また，ネギアザミウマに対する試験においては，背景が白色シート（紫外光反射）の場合は青色と黄色ともに同等の誘引性を示すが，背後が葉菜類緑色の場合では青色の誘引性が高くなる結果が得られており，背景によって色彩トラップの視認性が影響されることを示している（八瀬，未発表）。

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。図-3 で示すように，色彩トラップの捕獲虫付着点の分布を調べてみると，同じ色彩部（クロバネキノコバエでは透明部）でも周辺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が定位目標として使われていることが示唆される。色彩部の両側に白色または黒色を配置した色彩トラップでは，誘虫数が多くなることからも，視覚コントラストの存在が定位性の向上に有効であることが示されている（図-5）。このような色彩エッジの付加は，色彩トラップ誘引性能を向上させるほか，誘引色彩周囲の視覚環境を一様にする作用から，背景に左右されにくい安定した誘引性も期待できるので，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。

可視光

図-6　紫外光を可視化したタンポポの擬似カラー画像
360 nm 付近の波長を赤色に変換して RGB 合成したもの.
紫外光反射の少ない花弁の中心部分は，主に B と G の情報で色合成されるためシアンに発色している.

Ⅵ　視認性評価のための画像化

視認性は画像として表すことができれば認識しやすい。昆虫と視覚世界を共有することは困難だが，例えば，NHK 放送技術研究所が開発したビーカム（BeeCAM）は，ミツバチの視覚感度をもとに，ヒトの赤色の情報をカットする代わりに紫外光に赤色を割り当てて RGB 合成することで，昆虫の視覚世界を擬似的に表現できるようになっている（NHK 放送技術研究所，2003）。ビーカムと同様の原理で撮影したタンポポの映像（図-6）では，可視光ではわからなかった視覚コントラストの存在を感覚的に理解できる。また，紫外光の反射程度が明暗だけでなく色彩の違いとしても表されるので，栽培現場に設置された色彩トラップの見えやすさも画像として容易に知覚できる。このような画像は必ずしも昆虫が見ている

世界を保証するものではないが，色彩トラップをより効果的に利用するうえで，資材や設置環境の評価手段として必要性があると考えている。

お　わ　り　に

誘引試験の際の観察経験からは，視野に入っているはずの色彩トラップへ向かって飛翔する個体の割合は決して高くない。視覚的な誘引は機械的に起こっているわけではないようである。弘中・針山（2014）が指摘しているように，視覚的な誘引は，昆虫種あるいは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だろう。一方，害虫防除技術としては，さらに誘引・捕獲効率を上げるために，例えば，振動などの刺激で害虫を作物から離脱を促すなど，他の手段との組合せも有効と思われる。また，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念頭においた技術開発を行う必要もある。

引　用　文　献

1）蟻川謙太郎（2009）: 見える光，見えない光―動物と光のかかわり，共立出版，東京，p.68～70.
2）――――ら（2015）: 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，東京，p.16～20.
3）芳賀　一ら（2014）: 応動昆 **58** : 17～22.
4）平野千里（1971）: 昆虫と寄主植物，共立出版，東京，p.34～35.
5）弘中満太郎・針山孝彦（2014）: 応動昆 **58** : 93～109.
6）北方節夫・吉田　守（1982）: 植物防疫 **36** : 478～481.
7）眞壁敏明ら（2014）: 応動昆 **58** : 187～195.
8）NHK 放送技術研究所（2003）: Broadcast Technology : 13, http://www.nhk.or.jp/strl/publica/bt/en/n0013-4.pdf
9）八瀬順也ら（2015）: 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，東京，p.91～94.

（新しく登録された農薬 26 ページからの続き）

「除草剤」

●グリホサートイソプロピルアミン塩・ペラルゴン酸乳剤

24025：**スピードスター GT**（丸和バイオケミカル）18/1/17

24026：**雑草一撃 II**（住商アグロインターナショナル）18/1/17

グリホサートイソプロピルアミン塩：1.0%

ペラルゴン酸：2.0%

樹木等：一年生および多年生雑草

●テフリルトリオン・ピラクロニル・ペノキススラム粒剤

24028：**ドンピシャ 1 キロ粒剤**（協友アグリ）18/1/17

テフリルトリオン：2.0%

ピラクロニル：1.2%

ペノキススラム：0.30%

移植水稲：水田一年生雑草，マツバイ，ホタルイ，ヘラオモダカ，ミズガヤツリ，ウリカワ，オモダカ，クログワイ，ヒルムシロ，セリ

●ピラクロニル・ベンゾビシクロン・ベンフレセート粒剤剤

24035：**モーレツジャンボ**（OAT アグリオ）18/1/31

ピラクロニル：5.0%

ベンゾビシクロン：5.0%

ベンフレセート：12.5%

移植水稲：水田一年生雑草，マツバイ，ホタルイ，ミズガヤツリ，ウリカワ，ヒルムシロ，ヘラオモダカ，オモダカ，クログワイ，コウキヤガラ

●フルポキサム・ブロマシル粒剤

24037：**ウィードポリス F**（丸和バイオケミカル）18/1/31

フルポキサム：0.25%

ブロマシル：3.0%

樹木等：一年生雑草，多年生雑草

特集

光と色を利用した害虫防除技術の新展開

光捕虫器の農業利用における課題と可能性：エッジ効果を利用した捕獲効率の改善

石川県立大学生物資源環境学部　弘中満太郎（ひろなか まんた ろう）
宮城県農業・園芸総合研究所　関根崇行（せきね たかゆき）・宮本武彰（みやもと たけあき）・増田俊雄（ますだ としお）

はじめに

昆虫を含む様々な動物には，光刺激に対して定位し，近づくように移動運動する正の走光性（光走性）とよばれる行動が備わる（弘中・針山，2014）。この正の走光性（以降，走光性）を利用することで，人工光源を用いて動物をおびき寄せる技術が光誘引技術である。動物の中でも特に昆虫では，広範かつ顕著な走光性が観察されることから，昆虫を光で誘引する機器の開発が進められてきた。その代表例が光捕虫器（ライトトラップ）である。

光捕虫器とは昆虫の捕殺を目的とした装置で，誘引刺激となる光源に加えて，漏斗，水盤，電撃格子，粘着シート，吸引ファン等の何らかの捕虫機構を備える。農業生産現場で使用される典型的なものは乾式の光捕虫器である（Harding et al., 1966）。乾式光捕虫器には，ロザムステッドライトトラップ（図-1）やロビンソンライトトラップといったいくつかのデザインタイプがあり，さらにそれらを改良した様々なものが作り出されている（Muirhead-Thomson, 1991）。そのほかにも，電撃式，粘着式，吸引式といった光捕虫器が農業施設内で使用されることもある（弘中，2017）。

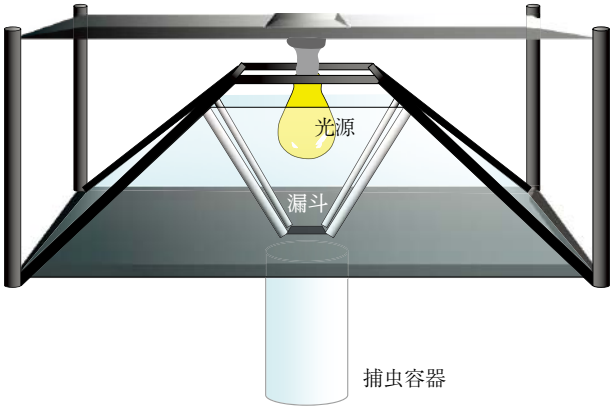


図-1　ロザムステッドライトトラップ
Muirhead-Thomson（1991）を改変.

こうした光捕虫器の捕虫方法としての特徴や有用性は，フェロモントラップなどの他の捕虫方法と比べることによって明瞭になる。最大の短所は電力供給を必要とすることで，このため光捕虫器は，その使用環境が制限を受けたり，サイズが大型化したりしてしまう。その一方で長所は，幅広い昆虫に対して有効であり，捕獲効率が他の捕虫方法に比べて比較的高いとされていることにある。また性を問わず捕獲できることは，多くのフェロモントラップにはない有用性といえる。本稿では，こうした光捕虫器が農業生産現場においてどのように利用され，今後どう展開する可能性があるのかについて，筆者らが取り組んでいる新しい光捕虫器の開発とともに考えたい。

I　農業で用いられる光捕虫器

我が国の農業生産現場に広く普及した光捕虫器は，誘蛾灯と予察灯である。加えて，コガネムシ類を大量誘殺する防除灯も大きな成果を残しているが（新垣ら，2016），そちらについては本特集の永山氏の記事を参照していただきたい。

1　誘蛾灯

江戸時代の農学者の大蔵常永は，「除蝗録」で稲害虫の防除のための各種の燈火の使用について図説している。この燈火に端を発した誘蛾灯は，主にニカメイガ *Chilo suppressalis* の防除を目的とした光捕虫器として，明治初期から第2次世界大戦後の1940年代まで広く普及していた。光源として松明やかがり火を利用していた時代は，炎の光に誘引された虫を直接焼き殺すことを目的としていた。捕虫機構として，誘蛾灯の下に注油した水盤を設置するようになったのは明治中期といわれる。誘蛾灯に用いられた光源は，松明やかがり火から始ま

Perspective of Light Traps in Agricultural Use: Improvement of Trap Efficiency Based on Visual Edge Effects.　By Mantaro Hironaka, Takayuki Sekine, Takeaki Miyamoto and Toshio Masuda
（キーワード：光誘引，光捕虫器，ライトトラップ，走光性，エッジ効果，アシグロハモグリバエ，キイロショウジョウバエ）

り，行灯，洋灯，電灯等と変遷した。明治時代末期にはアーク灯が使用され，大正時代になってから白熱電球が急速に普及した。戦後には白熱電球よりも効果の高い青色蛍光灯の使用が奨励された。昭和23年（1948年）には，青色蛍光灯による誘蛾灯が当時のニカメイガの推定発生面積130万haの28%，全水田面積272万haの12%に設置されていたと推定されている（石倉, 1991）。しかし，当時日本を占領していた連合軍総司令部は，青色蛍光灯による誘蛾灯はニカメイガの防除に有効でないばかりでなく多くの益虫を捕殺するものだとし，BHCやDDT等の化学合成農薬を用いた防除方法を普及させるよう勧告した。この勧告に従うことで，誘蛾灯は急速に衰退の道をたどることになったとされる。また地域によっては電線として用いられていた銅が高値で取引され，盗難が増えたことも廃止の理由といわれている（城所，2014）。

2　予察灯

防除灯としての誘蛾灯は衰退したものの，発生予察を目的とした光捕虫器は予察灯と名付けられて今も全国で用いられている（図-2）。昭和16年（1941年）に「病害虫発生予察及び早期発見に関する事業実施要領並びに施行細目」が定められ，発生予察が国の事業として開始された。この発生予察事業の定点調査において，走光性をもつ害虫の発生時期や発生量，発生消長を調査するために予察灯が用いられている。予察灯は大型の乾式光捕虫器であり，光源の下方にある漏斗状の構造を通ってその下の捕虫容器に虫が誘導されるというロザムステッドライトトラップのデザインを踏襲している。予察灯の光源は「発生予察事業実施要領」により規格が定められ，60 W白熱電球や100 W高圧水銀灯，ブラックライトが用いられる。予察灯は設置コストがかかることや調査に多大の労力を要すること（田付，1985），周辺の環境条件に影響されやすいこと（菅野ら，1985），一部害虫では予察灯と圃場の発生消長の相関が低いこと（大兼ら，1979；寒川ら，1989）等の問題点も指摘されている。そのため最近では，LEDを光源とした新しい予察灯の開発が進められており，予察手法の簡便化，予察の精度向上が期待されている。

図-2　予察灯

3　光捕虫器の農業利用における問題点

このように，農業生産現場における光捕虫器として全国的に利用されているものは，現時点ではモニタリングのための予察灯のみであり，防除目的の光捕虫器の実用化は進んでいない。これまで欧米を中心にして，農業害虫の野外個体群を光捕虫器により制御する実験的な試みがなされてきた。しかしそれらの多くは，光捕虫器が害虫の野外個体数を減少させる効果をわずかにもつ，減少の効果が不明瞭という結果に終わっている（Cantelo, 1974）。害虫個体数を20%以上減少させることに成功した実験例では，光捕虫器の密度が極めて高くなっていることから，Cantelo（1974）は，農業生産現場での光捕虫器の使用において捕獲効率を上げることが不可欠であると指摘した。

II　誘引刺激としての視覚的エッジ

害虫の野外個体群密度を制御するという観点から考えた場合，光捕虫器の捕獲効率を上げるために，単に強い誘引を引き起こす光刺激を探索することは適当ではない。なぜなら誘引刺激の強化は，捕獲効率を上げる一方で虫を誘引する範囲を広げ，防除範囲外から防除が必要な区域へ虫を集めてしまうことになりかねないためである。もし，誘引された害虫が捕獲されなかった場合には，光捕虫器の周囲の被害がかえって増加することを招く。筆者らは，野外で利用する光捕虫器として，「光源や捕虫構造へ精密に虫を誘導することで捕獲効率を上昇させる」というコンセプトが重要であると考えた。どのようにして昆虫を精密に光捕虫器に定位させればよいかについて検討するため，光源周囲での虫の到達位置を詳細に調べることから始めた。

野菜や花きの難防除害虫であるアシグロハモグリバエ *Liriomyza huidobrensis* を材料として，室内での光源への定位行動を詳細に観察した（図-3）。暗室でハエを自由飛翔させ，誘引光源のどの位置に定位をするかを調べた（図-4）。この実験では，パネル型LED光源の発光面を床と垂直となるように固定した。暗順応させたアシグロハモグリバエ成虫を放虫し，その後10分間で誘引された個体のそれぞれの到達位置を記録した。LED光源の色は紫外（ピーク波長が375 nm），青色（450 nm），水色（470 nm），緑色（525 nm）および橙色（590 nm）の

5 種類を用いた。

その結果，紫外 LED 光源においては，アシグロハモグリバエが発光面の下側にある水平方向のエッジ周辺に集中することが明らかになった（図-5）。一方，青色，水色，緑色，橙色の他の 4 色では，発光面全体に偏りなく到達していた。その後に筆者らは，農業および食品産業で問題となる 20 種類以上の昆虫種についても同様の室内実験を行った。その結果，トンボ目，アザミウマ目，カメムシ目，コウチュウ目，ハエ目，チョウ目を含む多くの種で，紫外を含むいくつかの色の LED 光源において，その発光面と背景との境界付近のコントラストが急激に変化する部分，すなわち視覚的エッジが形成される部位への強い定位傾向を確認した（弘中，2015；Hironaka et al., 2017）。こうした昆虫の走光性におけるエッジへの定位傾向を「エッジ効果」と呼ぶこととした。

図-3　アシグロハモグリバエ成虫

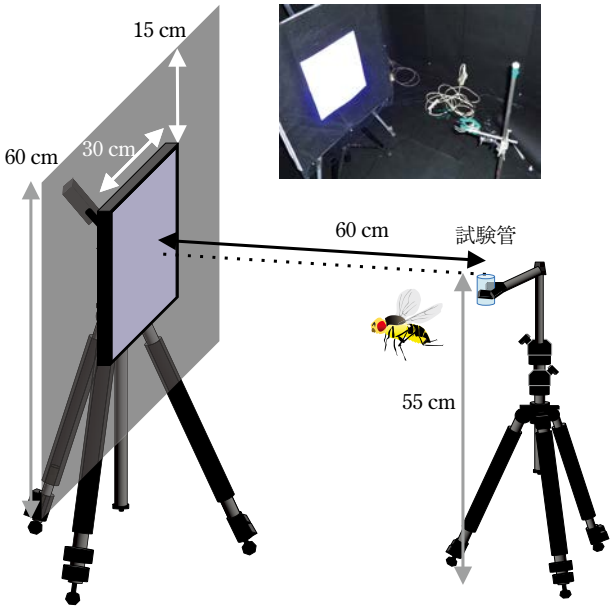


図-4　アシグロハモグリバエを用いた LED 光源への誘引実験
暗室内（約 2.5 × 2.5 m，高さ 2.5 m）に 30 cm 角のパネル型 LED 光源を単独で設置し，光強度を 7.0 × 10^{12} photons/cm^2/sec に調整して点灯させた．60 cm 離れた位置の試験管からアシグロハモグリバエ成虫を放虫した．試験管には雄 10 個体，雌 10 個体の計 20 個体を入れた．光源の周囲には 60 cm 角の黒いボードを配置し，発光面とボードの表面に粘着剤を塗布することで，ハエが最初にどの位置に到達するのかを実験後に確認した．この実験を一つの色の LED パネルに対して 5 回繰り返した．

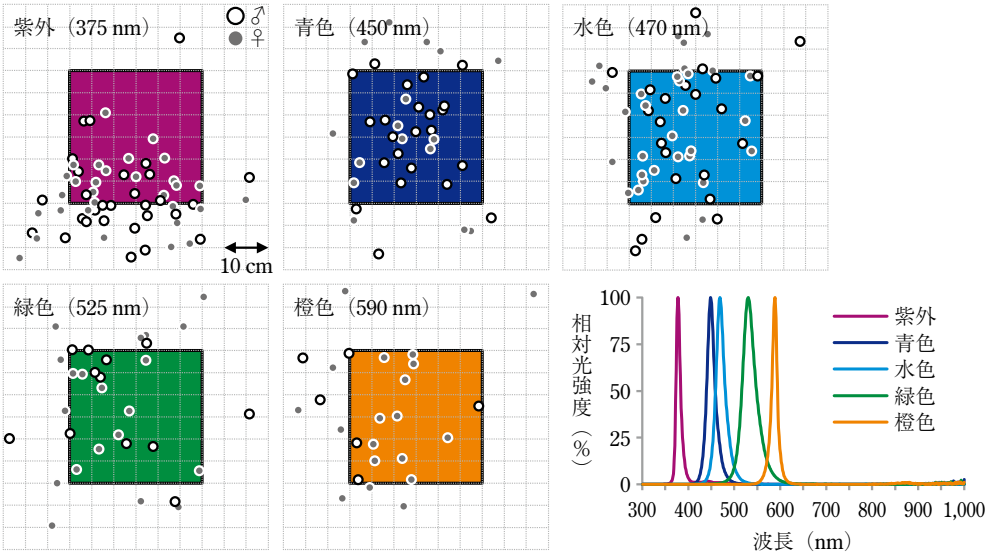


図-5　アシグロハモグリバエの LED 光源への到達位置分布
放虫の 10 分後には，およそ半数の個体が粘着シートに付着した．紫外を除く四つの色の LED 光源では，ハエは発光面の内部を中心に付着した．一方，紫外の LED 光源の場合には，発光面の下端と黒ボードとがつくる境界部分に集中して付着した．図中の白抜き丸は雄を，黒丸は雌を示す．また，それぞれの色の LED 光源のスペクトル分布を右下に示した．

III　エッジ式光捕虫器の効果

走光性におけるエッジ効果は，昆虫の光捕虫器への精密な誘導に利用できる可能性がある。その後の別の実験結果から，明暗のコントラストが作り出すエッジよりも，波長の違いによるエッジがエッジ効果をより強く誘起することが明らかになった。それらの実験結果を踏まえ，上側に紫外，下側に緑色の光源を配置して，水平のエッジを強調したエッジ式ともいえるこれまでにない光捕虫器を試作した（図-6）。光源は，365 nm の紫外 LED と 530 nm の緑色 LED をそれぞれ拡散させることで面状に発光させたものである。発光面全体を覆うように粘着シートを配置することで，中央部に水平に配置された紫外と緑色のエッジ付近に飛来してくる虫を捕獲する。

この新しい光捕虫器の効果を検証するため，キイロショウジョウバエ *Drosophila melanogaster* を材料として，市販されている既存の粘着式光捕虫器（ESCO641，アース環境サービス株式会社）と捕殺率を比較する室内実験を行った。暗室でハエを自由飛翔させ，単独で稼働させた光捕虫器の捕殺率を調べた。この実験では光捕虫器を床から高さ 150 cm となるように固定した。暗順応させたキイロショウジョウバエ成虫を放虫し，その後 1 時間で誘引された個体数を記録した。対照とした既存の光捕虫器は 20 W の紫外線蛍光灯を光源とした粘着式光捕虫器である。

既存の光捕虫器では，放虫したキイロショウジョウバエの約 7.5％が 1 時間後までに捕殺された。一方エッジ式光捕虫器では，約 17.7％が捕殺され，既存の光捕虫器に比べて 2 倍以上のハエを捕殺した（図-7）。ただしこの実験は，屋内環境でかつ農業害虫ではない虫を用いて行ったものであるため，現在，農業生産現場での捕獲効率について実験を行っている（図-8）。

図-6　エッジ式光捕虫器の試作器
発光面の上半分に 365 nm のピーク波長をもつ紫外光源，下半分に 530 nm の緑色光源が配置されている．

エッジ式光捕虫器の有用な点としては，虫が誘引される位置を制御することで，光捕虫器の捕獲のための面積を小さくすることが可能になることが挙げられる。また，今回用いた既存の光捕虫器の紫外線蛍光灯の光強度が約 1.5×10^{14} photons/cm^2/sec，エッジ式光捕虫器の紫外および緑色 LED の光強度がどちらも約 1.0×10^{13} photons/cm^2/sec であることから，面積当たりで 15 倍の明るさの違いがある。発光面の面積で補正した場合，エッジ式光捕虫器全体は既存の光捕虫器全体のおよそ 1/13 の明るさと換算された。光源の明るさは，誘引に有効な半径に影響する。すなわち，既存の光捕虫器の誘引有効範囲はエッジ式光捕虫器のそれを上回っていると考えられる

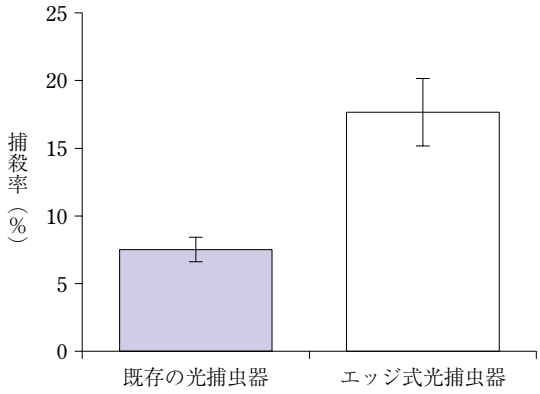


図-7　キイロショウジョウバエに対する 2 種類の光捕虫器の捕獲効率
暗室（約 4.5 × 5.6 m，高さ 2.7 m）に光捕虫器を単独で設置して，5 m 離れた位置の飛翔台から羽化 5 日齢までのキイロショウジョウバエ成虫 1,000 個体を放虫し，1 時間後の捕殺率を調べた．この実験を既存の光捕虫器とエッジ式光捕虫器のそれぞれで 5 回繰り返した．その結果，既存の光捕虫器に比べて，エッジ式光捕虫器のほうが，キイロショウジョウバエの捕殺率が有意に高いことが実証された（Student's *t*-test，$t = 3.825$，$p = 0.003$）．

図-8　アザミウマ類に対するイチゴハウスでの誘引試験の様子

にもかかわらず，エッジ式光捕虫器の捕殺率が高いという結果が得られた。このことは，エッジ式光捕虫器がその近傍において非常に高い捕獲効率をもつことを予想させる。周囲の虫をよく捕り，遠くの虫を引きつけないというコンセプトに近づいた光捕虫器といえる。

お　わ　り　に

昆虫の走光性は，暗闇や開放空間といった好適な環境を求めて移動する，という生得的な定位行動に根ざしていると考えられている（弘中・針山，2016）。そうであるならば，個体の生命維持と繁殖成功にとって欠くことのできない性質であり，それゆえに昆虫は人工光源から逃れることは難しい。

それにもかかわらず，農業生産現場への光捕虫器の導入は進んでいるとはいえない。そこには，光捕虫器を野外で利用するという状況ゆえの困難さがある。Cantelo（1974）は，野外の害虫個体群を光捕虫器で制御するために重要ないくつかの原因について言及し，第一に捕獲効率を挙げた。一方でそれ以外にも，対象害虫の密度，性と繁殖コンディション，移入の状況，光捕虫器の稼動期間という，あわせて五つの要因が重要であると指摘している。言い換えれば，対象害虫に合わせた光誘引技術を確立することが防除のために重要であることを示している。また，取扱が容易という観点からの光捕虫器の開発も不可欠である。特に電源や光捕虫器のサイズについての検討が重要となる。LED は発熱が少ない，光出力が温度環境に影響されない，低消費電力，小型化による省スペースが可能，LED 素子の選択により色の制御が容易，と言った特徴をもつことから，これまでにない LED を光源とした光捕虫器の実用化が期待されている。食品工場などの屋内空間では，光捕虫器は害虫個体群の制御のための極めて有効な手段として機能しており，様々なタイプの光捕虫器が実用化され，大量の台数が販売されてきた（弘中，2017）。このことは，農業における光捕虫器の今後の大きな可能性を示唆している。

本稿をまとめるにあたり，多くのご助言を賜りました浜松医科大学医学部教授の針山孝彦先生に厚くお礼申し上げる。また，エッジ式光捕虫器の作成にご協力いただいたアース環境サービス株式会社の井上　弘氏，美山和宏氏に感謝する。

引　用　文　献

1）新垣則雄ら（2016）: 植物防疫 **70** : 166～170.
2）Cantelo, W. W.（1974）: Bull. Entomol. Soc. Am. **20** : 279～282.
3）Harding, W. C., Jr. et al.（1966）: Bull. Entomol. Soc. Am. **12** : 31～32.
4）弘中満太郎（2015）: 昆虫科学読本―虫の目で見た驚きの世界，東海大学出版部，秦野，p.15～28.
5）――――（2017）: 明日の食品産業 **3** : 29～35.
6）――――・針山孝彦（2014）: 応動昆 **58** : 93～109.
7）――――・――――（2016）: 色材 **89** : 1～6.
8）Hironaka, M. et al.（2017）: J. Econ. Entomol. **110** : 1911～1915.
9）石倉秀次（1991）: 誘蛾燈史―誘蛾燈による稲螟虫の防除―，日本植物防疫協会植物防疫資料館，東京，164 pp.
10）菅野紘男ら（1985）: 応動昆 **29** : 137～139.
11）城所　隆（2014）: 植物防疫 **68** : 71.
12）Muirhead-Thomson, R. C.（1991）: Trap responses of flying insects, Academic Press, London. 287 pp.
13）大兼善三郎ら（1979）: 関東東山病虫研報 **26** : 87.
14）寒川一成ら（1989）: 九病虫研会報 **35** : 65～68.
15）田付貞洋（1985）: 北日本病虫研報 **46** : 1～5.

特集

光と色を利用した害虫防除技術の新展開

アオドウガネ成虫を誘引するLED光源の最適波長の探索および誘引距離の推定

沖縄県農林水産部営農支援課　永山敦士
沖縄県農業研究センター　新垣則雄
沖縄県農業研究センター名護支所　澤岷哲也
興南施設管理株式会社　屋良一寿

はじめに

アオドウガネの幼虫（図-1左）はサトウキビや牧草，芝生等のイネ科作物やカンショの害虫である。本種は1970年代に沖縄県内では宮古島，沖縄島北部，久米島，屋我地島で，鹿児島県では沖永良部島でサトウキビに大きな被害を与え（法橋・長嶺，1978；長嶺，1981），その後も断続的に県内各地で被害が散見され続けた。1986年からは被害地域に大型の誘殺灯が導入され，大量誘殺による密度低減が図られるようになったが，当時の誘殺灯はコンクリートの基礎を打った固定式（以下固定式誘殺灯と略称）であり，毎年のように襲来する台風による破損や日光等による劣化のため修繕が必要となり，さらに大型バッテリーを3～4年に1回更新しなければならず，高額なランニングコストのためすべてを正常に稼働させることが難しい状況となっていた。そこで筆者らは，台風時やオフシーズンに倉庫などに収納できるLEDを光源とする小型の誘殺灯（以下可動式誘殺灯と略称，図-2）を開発した。2008年から宮古島，伊良部島，多良間島において可動式誘殺灯1,538台，固定式誘殺灯565台を用いて，大量誘殺によるアオドウガネの防除事業が行われてきた。

可動式誘殺灯はアオドウガネ成虫の発生時期である5～7月に設置，その他の期間は倉庫に収納されており，設置期間中でも台風接近時にはいったん倉庫などに収納し，通過後に再度設置を行うなど，さとうきび生産関係機関と生産者の努力により適正に管理されている。これらの継続的な活動により，サトウキビ圃場におけるアオドウガネの幼虫密度を大幅に低下させることに成功した（Arakaki et al., 2015；新垣，2016）。

本種成虫（図-1右）は光に誘引される性質（走光性）が非常に強く，サトウキビ圃場周辺の街灯だけでなく，市街地の街灯にも集まり，時には家の中にまで入り込むため，密度が高い地域では非常に嫌がられる虫である。水銀灯や白熱灯，蛍光灯は非常に広い波長スペクトルを持っており，様々な光源に成虫は走光性を示すが，実際にどの波長に刺激を受け光源に向かって集まってくるかはよくわかっていない。400 nm以上の光がカットされているブラックライト蛍光灯にも強く誘引されるため，経験的に紫外線領域はアオドウガネの走光性に大きくかかわっていることはわかっているが，カットされた400 nm以上の光がどのように作用しているかなどはわかっていない。

LEDはスペクトルの幅が極めて狭いため，様々な波長の光源を作成し，どのあたりの波長に特異的に走光性を示すのかを調査することができる。近年は技術の進歩により紫外線領域でも様々な波長のLEDが製造・販売されている。このため，アオドウガネが誘引される波長を明らかにすることは，今後の光源の改良につながる。本稿では，紫外線領域から人間の可視光領域までのLED光源を用いたアオドウガネ成虫に対する野外誘引試験と，光源の誘引距離について調査を行ったので報告する。最適誘引波長の選抜にあたり，協同で調査を行った故喜屋武毅氏に心より感謝申し上げる。

I　可動式トラップ

試験に用いた光源は，供試するLEDが12個らせん状に円柱の反射板に配置されており，390 nm以上のピーク

Screening of Optimal Wavelength of the LED Light Source of a Light Trap for Attracting the Green Chafer *Anomala albopilosa* (Coleoptera: Scarabaeidae) and Estimation of their Attracting Distance.　By Atsushi Nagayama, Norio Arakaki, Tetsuya Takushi and Kazuhisa Yara
（キーワード：波長選好性，ライトトラップ，コガネムシ，大量誘殺）

サトウキビの地下部を加害している幼虫　　リュウキュウコクタンに集合している成虫

図-1　アオドウガネ幼虫（左）と成虫（右）

図-2　可動式誘殺灯

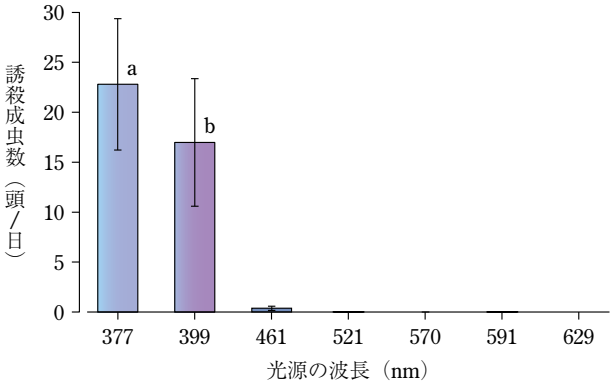


図-3　光源別の誘殺虫数
異なるアルファベットは応答変数を誘殺虫数，説明変数を波長の種類，誘殺虫の回収日および反復をランダム効果とし，ポアソン分布を仮定したGLMMにあてはめた結果，有意差があったことを示す（$p < 0.001$）．461 nm以上の光源はほとんど誘殺されなかったため解析から除外した．

波長を持つLED光源はアクリル円柱（直径9.7 cm，高さ20 cm），390 nmより短いピーク波長を持つものはパイレックスガラス円柱（直径9.7 cm，高さ20 cm）で覆われている。光源の上部に2.5 W，6 Vの発電能力を有するソーラーパネル（直径21 cm）を配置しており，単3型のeneloop pro® 3個に蓄電され，太陽が沈み発電されなくなることにより点灯し，4時間後に消灯するようにデザインされている。光源は直径31 cm，高さ24 cmの漏斗の真上中心部に配置され，漏斗の下にはアオドウガネ成虫約5,000頭を収容できるカゴ（直径23 cm，高さ20 cm）が取り付けられている。捕獲カゴには目的外の小型昆虫が脱出できるように直径6 mmの穴が開けられている。

II　成虫の波長選好性試験

光強度をほぼ同じになるように電流値を調整した377 nm，399 nm，461 nm，521 nm，591 nm，629 nmのLED光源のトラップ，および光強度が低いためメーカー規格の電流値に設定した570 nm（他の光源に比べて15%の光強度）のLED光源のトラップを作製し，2009年6月1日～7月19日の期間，沖縄県島尻郡久米島町に設置し試験を行った。隣接するトラップの影響を排除するため，各トラップを100 m以上離して配置した。調査は4日間隔で行い，捕獲虫は冷凍保存し，後日雌雄の別にカウントした。調査は3反復行った。設置位置の影響を最小限にするため，トラップは調査ごとにローテーションさせた。

調査の結果，377 nm光源の誘殺数は24.4 ± 3.2頭/日（平均 ± 標準誤差），399 nmでは18.2 ± 4.8頭/日で，この2種のトラップで多くの成虫が誘殺され，377 nmの光源は399 nmの光源に比べて有意に多かった（GLMM，$p < 0.001$，図-3）。461 nm光源では0.4 ± 0.19頭/日と少なく，かつ誘殺虫のすべては調査期間の後半で誘殺されたがその理由は不明である。521 nm以上の光源では，ほとんど誘殺されなかったことから，アオドウガネの成

虫は紫外領域から青色の短波長領域の光のみに強く誘引されることが明らかになった。

誘殺虫の性比は，377 nm および 399 nm の光源間で有意な差は見られなかったが（χ^2 検定，$p = 0.1375$），両光源で誘殺された雌数は雄数に比べて有意に多かった（χ^2 検定，$p < 0.001$）。2009 年 6 月 1～12 日に誘殺された成虫の雌率は 38％であったが，6 月 13～28 日では 61％，6 月 29～7 月 19 日では 56％であった。久米島でのアオドウガネ成虫の地上出現時期は 5 月中下旬から始まり 8 月の中旬ころまでであり，発生の初期にあたる 6 月上旬までは雄の割合が高く，その後ピーク前後では雌の割合がやや高くなることから，性比はアオドウガネの発生時期により変化することが示唆される。本種成虫は摂食と交尾のために海岸植生や雑木林の広葉樹にコロニーを形成する生態を持っており（Arakaki et al., 2004），そこで卵巣を成熟させた雌成虫は産卵のために再びサトウキビ畑に戻るため，誘殺される確率が高い。一方，雄成虫はそのままコロニーにとどまっていたほうが新しい雌と交尾できる機会が増えるため，誘殺灯に誘殺されにくい。このことがこの誘殺される成虫が発生の中盤以降に雌に偏ることの大きな要因であると考えられるが，これについてはより詳細な調査が必要である。

Ⅲ　LED 光源と 6 W ブラックライト光源の誘殺数比較

波長選好性試験において最も誘殺虫数が多かった 377 nm 光源と同じく宮古島に導入されている 405 nm の光源，6 W ブラックライト蛍光灯を光源とするライトトラップを設置し，3 日間隔で誘殺虫数のカウントを行った。本調査の光源は光強度の調節は行っておらず，メーカーの規格電流値に設定した。試験は 2013 年 6 月 12 日～7 月 10 日の期間，沖縄県島尻郡久米島町に設置し試験を行った。トラップは調査ごとにローテーションさせた。試験は 3 反復行った。

その結果，377 nm 光源の誘殺数は 134.2 ± 51.5 頭/日，405 nm の光源では 92.6 ± 25.5 頭/日，6 W ブラックライト光源では 115.7 ± 35.0 頭/日であり（図-4），各光源の種類間に有意な差が見られた。377 nm 光源は，現在の可動式誘殺灯で使われている 405 nm の光源および 6 W ブラックライト蛍光灯にくらべ同等以上の能力があると考えられる。

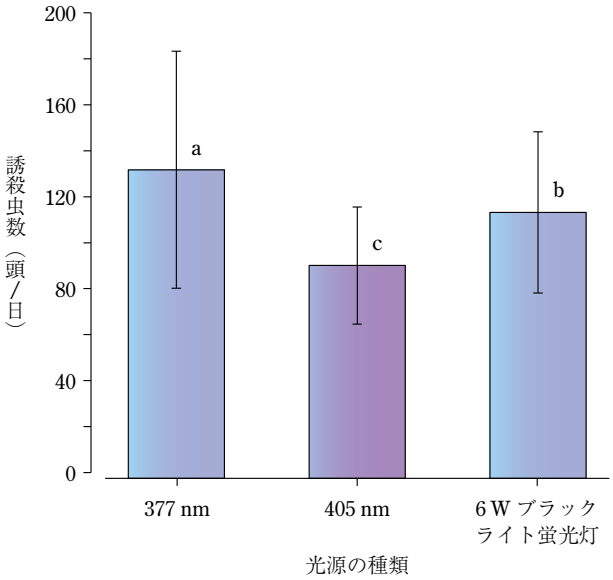


図-4　光源別の誘殺虫数
異なるアルファベットは応答変数を誘殺虫数，説明変数を光源の種類，誘殺虫の回収日および反復をランダム効果とし，ポアソン分布を仮定した GLMM にあてはめた結果，有意差があったことを示す（$p < 0.001$）.

Ⅳ　誘引距離試験

1　マーキング方法の確立

3 種類（黄色，オレンジ，ピンク）の蛍光色素パウダー（DayGlo Color Corp）の入ったプラスティック容器に，マークの脱落の有無をチェックするために，ハンディールーターであらかじめ鞘翅に傷を付けた雌雄成虫を入れ 10 秒間振り動かしパウダー（0.075 g/1 頭）を十分に成虫に付着させた（図-5）。蛍光色素パウダーが過剰に付着することにより，複眼を覆ったり，気門を塞いだり，コンタミの原因にならないようにするため，粒径 1 mm 以下の砂を用いて過剰に付着したパウダーを取り除いた。蛍光色素パウダーによる影響を観察するためにハンディールーターによるマーキングのみを施した区を設けた。マーク虫は試験に用いるまでリュウキュウコクタンの葉を与え静置した。19 時に沖縄県農業研究センター内の防虫ネットで覆われているビニールハウスの中心にマーク虫各 80 頭（雌雄 40 頭ずつ）放し，ライトトラップ 2 基で捕獲した。再捕獲された成虫は肉眼で識別しカウントした。

その結果，傷マークのみの成虫の再捕獲率は 55％，黄色パウダーでは 54％，オレンジパウダーでは 54％，ピンクパウダーでは 55％で有意な差はなかった（図-6）。蛍光パウダーによるマーキングの影響は観察されなかった。蛍光パウダーによる識別結果はハンディールーターによるマークと 100％一致していたことから，マークの脱落およびコンタミはないと考えられた。また，雌雄の別による再捕獲虫数に差は見られなかった。以上より，蛍光色素パウダーによるマーキングのみでも有用な手段

図-5　蛍光色素パウダーによるマーキング

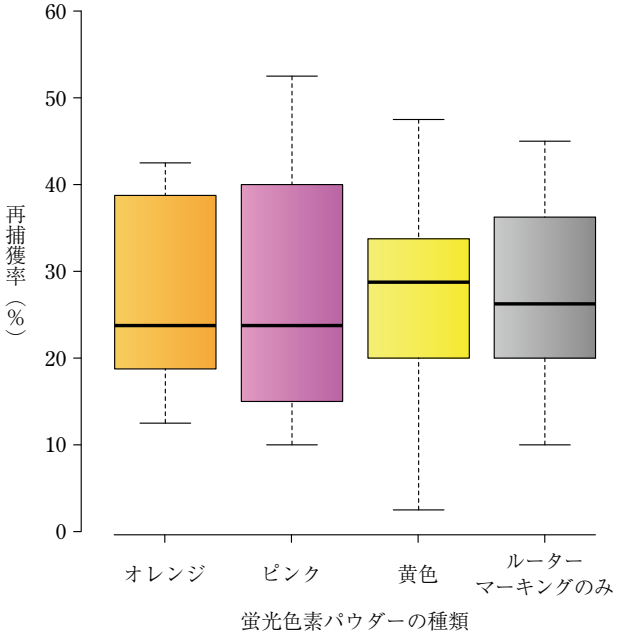


図-6　蛍光色素パウダーマーキングの有無および色別による成虫の再捕獲率
応答変数を再捕獲割合，説明変数をマークの種類とし，二項分布を仮定したGLMにあてはめた結果，有意な差は見られなかった．

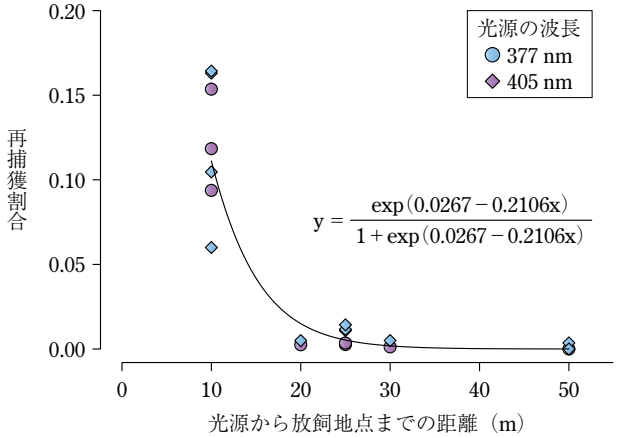


図-7　誘引距離と再捕獲の割合
応答変数を再捕獲割合，説明変数を放飼地点の距離，ランダム効果を調査日とし，二項分布を仮定したGLMMにあてはめた結果，有意な差が認められた（$p < 0.001$）．

であると考えられた。

2　誘引距離調査

377 nmおよび405 nmの光源の誘引距離の推定を行った。放虫した距離は光源を中心として東西南北の10 m，25 m，50 mもしくは10 m，20 m，30 mで行った。蛍光色素パウダーによるマーク色は試験日ごとにランダムとした。

その結果，377 nmと405 nmの光源への誘殺数に有意な差は見られなかった（$p = 0.525$）ため，両光源の誘殺数をまとめ，統計解析を行った。光源から10 mにおける推定捕獲率は11.1%，15 mで4.1%，20 mで1.5%，30 mでは0.2%であった（図-7）。10 m地点ではかなり高い割合で誘殺されているが，21 m地点で10 mに比べて10分の1，25 m以上になると25分の1以下となる。以上より，377 nmおよび405 nmの光源のアオドウガネ成虫の誘引距離は10～20 m程度ではないかと考えられる。

お　わ　り　に

2009年に使用したLEDの定格電流値での光強度の差は377 nmと399 nmの間で6倍以上であった。試験ではほぼ同じ明るさになるように調整した状態でも377 nm光源のほうは399 nmに対して1.3倍の誘殺能力があった。今後，技術の進展により377 nm前後のLEDの光強度が増せば，現在大量誘殺で使用している400 nm前後のLED光源よりも遙かに多くの成虫を誘殺すること

ができるようになるだろう。

宮古群島における本種の大量誘殺に用いられたトラップ密度は 5.6 ha に 1 基であった（Arakaki et al., 2015）。環境に優しく，ランニングコストは低いが，初期投資が非常に大きいためトラップ数の低減を図る必要がある。LED の技術開発を待つだけでなく，アオドウガネのコロニーを形成する生態に関する研究が進み，誘引のキューが明らかになればより広範囲から成虫を誘引することができるようになり，格段に 1 基当たりの誘殺数を増やすことができるようになるかもしれない。また，大量誘殺による防除は地域全体に可動式誘殺灯を設置するが，設置場所により誘殺虫数は大きな差がある。それを分析し，誘殺虫数が少ない地域の誘殺灯を多い地域に移動させ，たとえ同じ基数でもより多くの成虫を誘殺する方法もある。様々な方法を組合せ，ライトトラップを用いた大量誘殺によってアオドウガネの被害をできるだけ低レベルで抑えていける状況が今後も続いていくことを期待する。

引　用　文　献

1）Arakaki, N. et al.（2004）: Appl. Entomol. Zool. **39** : 455～462.
2）――――― et al.（2015）: ibid. **50** : 291～296.
3）新垣則雄（2016）: 植物防疫 **70**（3）: 166～170.
4）長嶺將昭（1981）: 沖縄県農林水産部沖縄県農業試験場植物防疫技術資料 No.2, 3 pp.
5）法橋信彦・長嶺將昭（1978）: 植物防疫 **32**（7）: 267～272.

登録が失効した農薬（30.1.1～1.31）

掲載は，**種類名**，登録番号：**商品名**（製造者又は輸入者）登録失効年月日。

「殺虫剤」

●アクリナトリン水和剤
22321：**アザミバスター水和剤**（エス・ディー・エスバイオテック）18/1/21

●アセタミプリド水溶剤
19113：**日農モスピラン水溶剤**（日本農薬）18/1/23

● PAP 粉剤
16945：**エルサン粉剤 2DL**（日産化学工業）18/1/27

「殺菌剤」

●フルオルイミド水和剤
13489：**スパットサイド水和剤**（クミアイ化学工業）18/1/13

「殺虫殺菌剤」

●ジノテフラン・メトミノストロビン粒剤
21007：**バイエルオリブライトスタークル 1 キロ粒剤**（バイエルクロップサイエンス）18/1/8

「除草剤」

●テブチウロン・DBN 粒剤
22318：**クサダウン V 粒剤**（北興産業）18/1/21

●イマザピル液剤
23607：**アーセナル PW**（保土ヶ谷アグロテック）18/1/21

●オキサジクロメホン・クロメプロップ・ブロモブチド水和剤
21623：**黒帯フロアブル**（日本農薬）18/1/25

植物防疫講座

病害編-3

イネ紋枯病の発生生態と防除

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
九州沖縄農業研究センター 生産環境研究領域 病害グループ
宮坂（みやさか） 篤（あつし）

はじめに

イネ紋枯病（病原名：*Rhizoctonia solani* Kühn AG1-IA，病原完全世代名：*Thanatephorus cucumeris*（Frank）Donk）は，1980年代中ごろから窒素施用量の減少や効果的な防除薬剤の開発等によって発生面積率，延べ防除面積率ともに減少傾向にあったが，近年の温暖化に伴い再び全国的に問題となっている再興病害である。イネ紋枯病菌の生育が高温で良好なため，稲作期間の気温が高い地域は，発生面積，防除面積ともに大きくなっている（表-1）。

I 発生生態

1 伝染環

（1） 菌核の発芽とイネ組織への侵入方法

イネ紋枯病は前年の被害イネや畦畔等の罹病雑草に形成された菌核が越冬して第一次伝染源となる。地表に落下した菌核は60%前後が発芽能力を持っており，越冬中はこの能力を維持しているが，春になると発芽率はだんだん低下していく。菌核は代かき時に水面に浮上し，かんがい水の流れや風の影響を受けて植物残渣などとともに浮遊する。菌核は細胞の集合（約120万個）で，内層（生細胞の層）と外層（空胞化細胞の層）の2層からなり，外層の各細胞が空胞化することにより浮上する。浮遊している菌核は，移植したイネ株の水際の葉鞘に付着するが安定して付着するのは株当たり茎数が約10本になるころである（図-1）。

菌核の発芽には高温（最適温度28～32℃）と高湿度（95～96%以上）が必要であり，21～32℃の場合にはほぼ6時間で発芽を開始する。水の条件として静水面ではよく発芽するが，水面が動揺する状態では発芽しにくい。

菌核は葉鞘の付着位置で発芽し（発芽菌糸数は菌核1個当たり普通1～2本），発芽菌糸は上方または側方に伸び，最も近くの締まり方の緩い葉鞘に到達し，侵入を行う。

イネ紋枯病菌のイネ体組織への侵入については詳細な観察が行われている（高坂，1961）。葉鞘裏面における侵入では，気孔侵入と角皮侵入が同時に行われ，気孔侵入においては，侵入が必ずしも侵入菌糸塊から行われるとは限らない。しかし，角皮侵入は必ず侵入菌糸塊から

表-1 水稲における地域別のイネ紋枯病発生面積と防除（2016年）

地域名	発生面積（ha）	防除面積（実）（ha）	防除面積（延）（ha）
北海道	33,096	13,657	17,261
東北	137,401	104,273	107,973
北陸	84,167	81,100	81,100
関東・東山	81,214	110,440	132,846
東海	41,646	27,862	31,801
近畿	42,168	24,764	24,764
中国	58,885	61,460	74,256
四国	20,006	42,735	58,722
九州	53,245	111,504	159,674
沖縄	29	29	29

JPP-NETデータベースより作成.

図-1 菌核（植物残渣）の付着とイネ紋枯病の初発

Ecology and Control of Rice Sheath Blight Caused by *Rhizoctonia solani*.　By Atsushi MIYASAKA
（キーワード：発生生態，菌核，防除法，被害評価，温暖化）

行われ，侵入菌糸塊の下面から非常に細い菌糸を出し，表皮細胞膜を垂直貫通して侵入する。なお，下位葉鞘では気孔侵入の割合が多く，気孔侵入時期は角皮侵入より早く，侵入後の菌糸の発育，組織侵害程度が多いことから，実際の発病には気孔侵入が重要と考えられている。一方，葉鞘表面における侵入では，葉鞘が幼若な場合には，葉鞘縁に極めて近い表面気孔からも気孔侵入することもあり，この際の侵入経過は葉鞘裏面の場合と同様で，角皮侵入は見られない。

（2）　病斑進展

イネ紋枯病の病斑進展は，進展様相から水平進展（横への進展）と上位進展（あるいは垂直進展）（縦への進展）に大別される。水平進展は発病茎および発病株の増加を示す進展であり，上位進展は上位健全葉鞘への進展を示す。本病の発生生態を水平進展と上位進展に分けてその性質を要約すると，水平進展に影響する要因は，主に①イネの生育期間の気象環境（特に株内温・湿度の変化），②菌核の株付着度（菌核数）の二つに整理される。一方，上位進展に影響する要因は，主に①イネの生育期間の気象環境（特に株内温・湿度の変化），②生育に伴うイネ体の感受性の変化の二つに整理される（堀・安楽，1971；高坂，1961）。

（3）　菌核および子実層の形成

菌核は病斑またはその近くに形成され，初め白色綿状の小さな塊であるが発達して堅くなるとともに褐色ないし暗褐色になる（図-2）。菌核形成過程における形態的変化は詳細な研究（Hashiba, 1982）がなされ，菌核は単なる菌糸の集合体ではなく，時間の経過とともに菌糸細胞が形態的に分化するものと考えられる（図-3）。イネ体上に形成された若い自然菌核は，日数を経るにつれて浮上率が高くなり，一方，培養菌核は水中でほとんど浮上することはない。

イネ紋枯病菌の圃場内における子実層の形成（図-4）は，病斑の進展が激しい時期に見られ，発病が少なく病斑進展が緩慢な圃場では形成されにくい。イネ体上では，葉身よりも葉鞘上で多く形成され，病斑上よりも病

図-2　イネ体上に形成されたイネ紋枯病菌の菌核

図-4　イネ株上に形成されたイネ紋枯病菌子実層

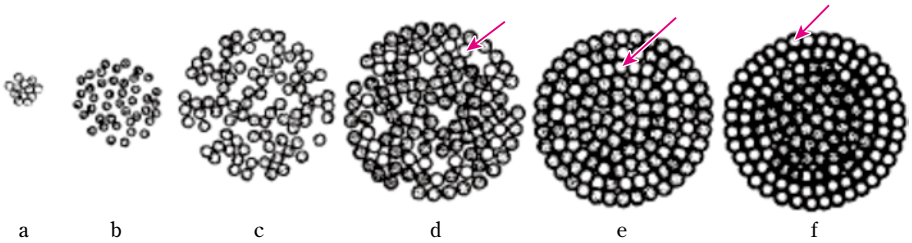


図-3　イネ紋枯病菌菌核形成過程における形態変化の模式図（Hashiba, 1982.　一部改変）
a：菌核形成開始，b：形成開始後10時間目，c：形成開始後20時間目，d：形成開始後30時間目，菌核の大きさは最大径に達し，褐変化開始，外層細胞の空胞化開始，e：形成開始後40時間目，褐変化終了，f：形成開始後15日目，浮上菌核，細胞壁の厚さ最大．矢印は空胞化細胞を示す．

斑から離れた健全部に多い。子実層形成イネ株は，圃場内にランダムに分布し（宮坂・中島，2009），子実層は栄養菌糸の活力，イネの栄養状態，環境等が一定条件に達した株から形成されると考えられる。

2　発病要因

早期栽培では，生育前半の温度が低いため初発の時期は遅れるが，出穂期ころから発病茎が多くなり，成熟期まで連続して上位葉に発病が拡大し被害が大きい。普通期栽培では，穂ばらみ期から出穂期ころまで発病茎が増加するが乳熟期以降には病勢進展が緩慢になる。普通期栽培においても早生品種は早期栽培と同様の発病経過を示す。この違いは，上位葉鞘展開後の気温の差によるもので，早期栽培や早生品種では出穂後の気温が高くなり，これが病斑の上位進展を促進する。このように一般的には作期や品種の成熟期が早いほど発病・被害が大きくなる。

一方，栽植密度が高く，株当たり植え付け本数が多い場合には，株への菌核の付着数が増加するとともに，茎間の近接による接触伝染の増加や茎葉の繁茂による株間湿度の上昇によって菌糸の伸長と二次感染が促進され，発病が多くなる。多肥による過剰生育や風雨によるイネの倒伏は，株間，株内の湿度を高くするうえに接触伝染も増加するため，下位葉鞘から逐次上位葉へと進む規則的な進展が乱されて被害も甚だしくなる。特に倒伏したイネでは葉の発病が異常に多くなることがある。

発病適温は22～34℃であるが，最適温度は28～32℃である。したがって一般的には高温年あるいは高温の地域で多発する（図-5）。発病可能湿度は96％以上であり，生育前期の発病は気温と降雨の両方の影響を受ける。これに対し，最高分げつ期以降になるとイネが繁茂して株内湿度が高まり，菌の繁殖，侵入に十分な湿度が維持されるようになる。このため降雨や空気湿度の影響は小さく，気温の影響が大きくなる。高温時には病斑高率が急速に高くなる。さらに，上位葉に病勢が進展した生育後期には，気温とともに降雨と空気湿度が発病に影響を及ぼす。

図-5　イネ紋枯病の多発状況

抽出，展開した直後の葉鞘では発病が少なく，その後しだいに発病しやすくなる。次々と新葉が出て上位葉が常に新しいときには，最上位展開葉から3枚目位までの上位葉身，葉鞘は発病しにくい。止葉抽出後は上位の葉身，葉鞘も時間の経過とともに古くなって発病しやすい状態になる。

Ⅱ　防　除　法

1　被害評価

イネ紋枯病の被害評価については多くの研究が行われ，発病程度の調査を茎ごとに行う方法と株ごとに行う方法とに大別される。また，本病による最終的な減収量を推定することは薬剤散布の要否を決めるうえでも重要である。

羽柴（羽柴，1984）は，従来用いられていた吉村の被害度の算定式（吉村，1954）の被害度（Y：株単位の被害度）と病斑高率（X）の関係を約500品種のイネで調査し（数式1），調査が簡便な病斑高率により被害度が推定できることを明らかにした（数式2）。全体の被害度（D）は，発病株率（A）と株単位の被害度（Y）より，数式3によって表される。本方式は病斑高率20～82％の範囲であれば草丈と最上位病斑高および発病株率の調査によって全体の被害度を算出することができ効率的である。Dと10 a当たりの精玄米重（K：kg）の間には数式4の関係があり，Dが1％増加するごとに収量は2.58 kg減少する。10 a当たりの減収量（L：kg）は数式5で表され，上位進展と水平進展から減収量が推定できる（羽柴ら，1983）。

数式1

X = 病斑高（株内で最も高い病斑高：最上位病斑高）/草丈 × 100

数式2

$$Y = 1.62X - 32.4$$

数式3

$$D = Y \times A(\text{発病株率})/100 = (1.62X - 32.4) \times A/100$$

数式4

$$K = -2.58D + \alpha$$

数式5

$$L = D \times 2.58 = (1.62X - 32.4) \times A/100 \times 2.58 = (4.18X - 83.6) \times A/100$$

また，イネ紋枯病発生予測システムBLIGHTAS（ブ

ライタス）が作成されている（井尻・羽柴，1986；Hashiba and Ijiri, 1989）。本システムは大きく分けて3本のプログラムで構成されている。直接入力された現在までの日平均気温と湿度，またはプログラムで予測された日平均気温と湿度から上位進展および水平進展を計算する。さらに，発病株率と病斑高率から被害度と減収量を推定する。

2　防除方法

イネ紋枯病に対しては明らかな真性抵抗性を示す実用品種はないとされている。このため防除方法は，現在，耕種的方法と薬剤防除が中心である。

耕種的方法としては，窒素肥料の多用を避け，栽植密度を低くして過繁茂にしないことが重要である。代かき後に浮上する菌核を残渣とともに除去する，2〜3年ごとのプラウ耕による耕土の反転などもあげられる。

薬剤防除では，水面施用剤，茎葉散布剤および長期残効性育苗箱施用剤が単剤・混合剤として数多く開発されており，防除薬剤の選択肢が拡大している。各薬剤の特性をよく把握し，適期施用で高い防除効果が得られることが多い。

イネ紋枯病の被害を防ぐ目安として，要防除水準が全体の被害度と収量の関係，全体の被害度と穂ばらみ期〜出穂期の発病株率の相関関係をもとに作成されている。要防除水準は各都道府県の指導機関によって作成され，それぞれに調査時期や調査方法が異なるものの，おおむね穂ばらみ期から出穂期の発病株率で15〜20％と設定されている（JPP-NET, 2017）。

Ⅲ　玄米品質低下要因としてのイネ紋枯病

地球温暖化による農業への影響が顕在化しており，その一つとして白未熟粒の発生（玄米の白濁化）がある。イネ紋枯病の罹病株では発病茎や健全茎を問わず葉鞘および稈の蓄積デンプンが減少する。罹病株の蓄積デンプンの減少は，病徴の出現による同化能力の低下，発病に伴うイネの養水分の吸収阻害，本病原菌による摂取等によると考えられている。これらの現象に着目し，イネ紋枯病発生程度と白未熟粒の発生程度の調査結果から，イネ紋枯病が白未熟粒の発生を助長していることが明らかとなっている（宮坂ら，2009）。しかし，イネ紋枯病は白未熟粒発生の助長要因であり，主な発生要因である登熟期の高温などの影響が大きい場合には，本病が白未熟粒発生増加に及ぼす影響は小さくなると考えられる。

お　わ　り　に

イネ紋枯病は，我が国で発見され，我が国の研究者によって研究が精力的に進められてきた。今後も持続的農業の発展に貢献できるイネ紋枯病防除技術開発の進化を期待したい。

引　用　文　献

1）Hashiba, T.（1982）: Bull. Hokuriku Natl. Agric. Exp. Stn. **24** : 29〜83.
2）羽柴輝良（1983）: 日植病報 **49** : 143〜147.
3）————（1984）: 北陸農試報 **26** : 115〜164.
4）Hashiba, T. and T. Ijiri（1989）: Trop. Agric. Res. Ser. **22** : 163〜172.
5）堀　眞雄・安楽又純（1971）: 農水省指定試験（病害虫）**11** : 1〜138.
6）井尻　勉・羽柴輝良（1986）: 植物防疫 **40** : 348〜351.
7）JPP-NET（2017）: 都道府県が設定している要防除水準（水稲病害），http://www.jppn.ne.jp/jpp/bouteq/bojosuijun_data/suitoubyougai.pdf（2017年10月29日アクセス確認）
8）高坂淳爾（1961）: 中国農業研究 **20** : 1〜133.
9）宮坂　篤・中島　隆（2009）: 九病虫研会報 **55** : 18〜24.
10）————ら（2009）: 同上 **55** : 13〜17.
11）吉村彰治（1954）: 日植病報 **19** : 58〜60.

植物防疫講座

虫害編-3
イネドロオイムシの発生生態と防除

元宮城県古川農業試験場　城所（きどころ）　隆（たかし）

はじめに

イネドロオイムシ（イネクビボソハムシ）*Oulema oryzae*（コウチュウ目：ハムシ科）は，古くから北海道や，東北・北陸地方等の寒冷地を代表する稲作害虫である。江戸時代後期に書かれた「除蝗録」にある「小金虫」は，その生態の記述からみて本種の可能性が高いという。日本全域や中国大陸のほか，台湾にも分布するが，いずれの地域でも年に1回の発生である。稚苗機械移植栽培が普及した1970年代に，同じく本田初期害虫と呼ばれて多発したイネハモグリバエやイネゾウムシが，急にその勢力を凋落させたのと対照的に，本種は今も北日本地域を中心にイネミズゾウムシと並ぶ主要害虫の地位を維持している。その地域性は，要防除水準を設定している地域が，寒冷地に偏っていることによく反映されている（図-1）。年間発生回数が少ないにもかかわらず，様々な系統の薬剤に，繰り返し抵抗性を発達させてきたことも本種の特徴である。

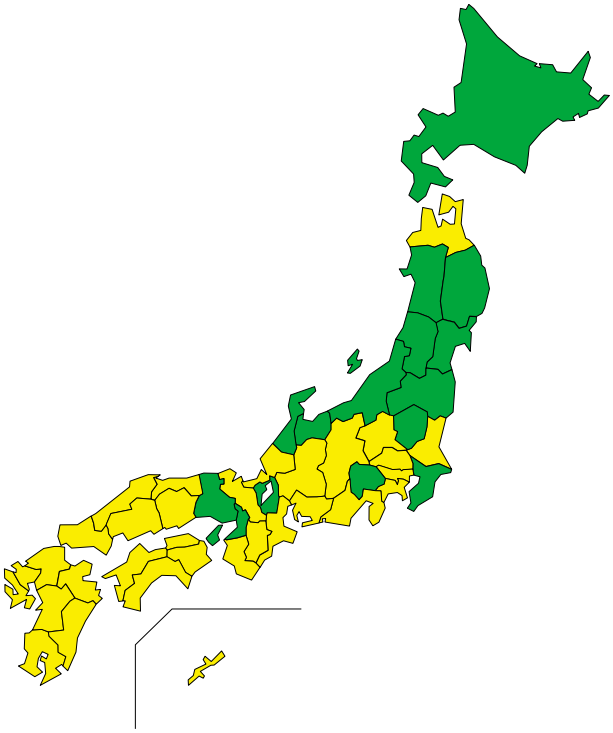


図-1　イネドロオイムシの要防除水準を設定している道府県（緑）
2016年調べの日植防JPP-NETにより描く．

Ecology and Management of Rice leaf beetle, *Oulema oryzae*.
By Takashi Kidokoro
（キーワード：イネドロオイムシ，生活史，発生予察，管理法）

I　形　　態

成虫は，体長4～5 mmである。このグループのハムシ類は胸部が細いことから，標準和名にクビボソハムシと付くものが多い。頭部は黒色，翅鞘は光沢のある青藍色，胸部と脚は黄褐色である（図-2）。胸部の黄色が目立つために，ホタルムシと呼ぶ地方もある。雌雄には微妙な形態差が腹部腹板に認められるが（佐藤，1980），検鏡しなければ判別は難しい。

卵は長さ0.8 mm，幅0.4 mm程度で，10粒前後の卵塊として産まれる。産卵直後は黄色であるが，間もなく褐色に，さらに黒褐色に変化する（図-3）。

幼虫は頭部は黒色，胴部は淡い暗黄色であるが，ふ化直後や脱皮時，営繭時期を除けば，自分の排泄物を分泌物と混ぜ合わせて背側に載せている（図-4）。害虫名はこの特徴を示したものだが，地方によってはドロッコ，ドロカツギ，コエカルイ（フンを背負うの意）等とも呼ばれる。ふつう4齢を経過して蛹化する。

蛹化時に幼虫は排泄物を脱ぎ捨て（図-5），口から泡状の物質を分泌して長さ5 mm，幅3 mm前後の繭を作る（図-6）。繭は初めは白色だが，日時の経過とともに淡褐色となる。

II　生　活　史

越冬は，成虫が水田周辺のササ，ススキや立ち枯れ状態の大型イネ科植物の葉鞘部等の隙間に潜入して行われる（以下，時期については，宮城県を念頭に記述する）。越冬後成虫は，5月に入ったころから時折出現する初夏を思わせる気温の高い日に，越冬地を離れ繁殖地である水田等へ移動する。その時期は平年では5月中・下旬であるが，高温日の出現時期には年次変動があるため，成虫の移動時期も年次によって変動する。図-7に成虫の

図-2　イネドロオイムシの成虫

図-3　卵塊（白いスジは成虫の食痕）

図-4　排泄物を背負った幼虫と食痕

図-5　蛹化前に背負っていた排泄物を脱ぎ捨てた老齢幼虫

図-6　繭を作成中の4齢幼虫

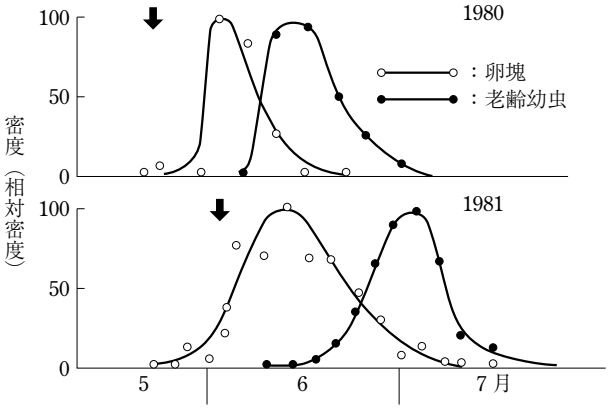


図-7　発生が早かった年と遅かった年の成虫の水田への大量飛来時期（矢印）と卵塊および老齢幼虫の発生消長（城所，1983）
密度はピーク時を100とした換算値，老齢幼虫は3齢と4齢幼虫．

水田への移動が早かった年と，遅かった年の発生消長を示した。

成苗を手植えしていた時代には，成虫の移動時期より田植時期が遅く，越冬後成虫はまず苗代や水路雑草のマコモ等に移動し，その後移植された水田に飛来した。現在では田植時期が早いため，ほとんどの場合は直接水田に侵入する。越冬場所から這い出したばかりの成虫の移動能力を宙吊り飛翔法で調べてみると，数分以上も継続して飛翔する個体が多く，また飢餓にも強い（城所，未発表）。このため，寄主植物が近くに存在しなければ，比較的遠方までの移動が可能と思われるが，越冬地と水田が隣接している条件では，直ぐ近くの水田に降り立ち定着する（Kidokoro, 1983）。その後は，宙吊り飛翔させても，しだいに断続的で短い飛翔しかしなくなる。低温や風が強いとき，夜間には飛翔しない。雄は雌にマウントしていることが多く，雌雄を分けて試験したいときは，この習性を利用する。

成虫は，イネの葉身を葉脈に沿って線状に食害し（図-3），長命な個体は1か月近く毎日，日中の午後に葉身上に産卵する。卵塊卵粒数にはかなりの変異があるが，平均的には10粒程度で（城所，1980 a；1980 b），雌当たりの産卵数は200卵前後となる。また，成虫は寄主選択を行い，移植直後の植え傷みした苗や，逆に生育が進んで硬くなったイネは好まず，分げつの盛んなイネに集まる。イネの状態が同じであれば，植え付け本数の多い株を選択して産卵する。

幼虫は卵に十文字の割れ目を作ってふ化する。卵にはドロムシムクゲタマゴバチが寄生するが，その脱出口は円形であるので区別できる。平年のふ化最盛期は6月中旬である。幼虫は，初めは卵塊の周りに細かな食痕を残すが，発育につれて食痕も大きくなる。常に裏側の表皮を食い残すため，かすり（絣）状と表現される白い食害痕となる（図-4）。背負った糞塊は粘着性があり，農作業中の衣服などに付着しやすい。幼虫期間中の摂食量の約90％は3齢と4齢期に行われ，また，低温条件では増加する（図-8）。幼虫の株当たりの分布は若齢期には集中性が高いが，イネが成長して葉が交差するようになると，株間の移動が行われることと，過密な株では死亡率が高まるため，しだいにランダム分布に近づく（城所・前田，1983）。

老熟した幼虫は，排泄物を脱ぎ捨て越冬場所を探す。葉身上部に作られた繭が目立つが，実際には稲株の下方で蛹化する傾向が強く，中干しなどで水がなければ，ひび割れた土中にまで潜って営繭・蛹化する。気象経過が平年並みに推移すれば，幼虫の加害は6月下旬ころに終息する。

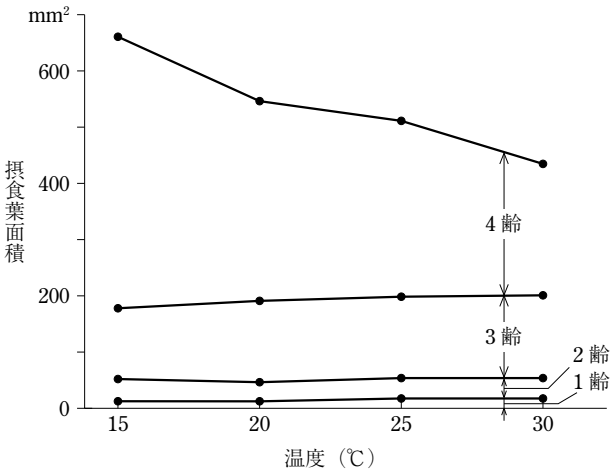


図-8　温度による齢期別摂食量の違い（齊藤，1974により描く）

新成虫は，平年には7月上旬に羽化最盛期となる。繭を食い破って出てくるが，初めのうちは飛翔できない。しばらくの期間，イネの葉を食害しながら徐々に腹腔内に脂肪体を蓄積し，これを十分に発達させてから越夏・越冬場所へ移動する。このとき，人家の灯りや予察灯に誘引されることがある。越夏・越冬場所に潜入した成虫は，その後翌年の活動開始時期まで，10か月以上の長い期間を休眠状態で過ごす。この休眠は内因性であり，試験目的で休眠打破するには，発育下限温度より高い15℃の温度に90日前後遭遇させるのが最も効果的である（佐藤・岸野，1988）。

Ⅲ　発　生　予　察

1　時期

越冬地から水田に飛来したばかりの雌成虫は，卵巣が未成熟であることから，解剖により確認することができる。越冬地に隣接した水田で，その増減を調べると，日最高気温の変化と連動して変化することから，気温の上昇が越冬地を離脱し繁殖地へ移動する引き金となることがわかった（図-9）。この年次には，不連続に2～3回の水田侵入があったことがわかる。およその目安として，5月中旬以降の最高気温が20℃を越える日に繁殖地である水田への移動が始まり，25℃を越えるような高温日には大量移動が起こる。ただし，気温がかなり低い状態が続いた後では，越冬場所の気温が上がらないためか，高温日が現れても飛来する個体はあまり多くならない。したがって，実際に移動が起こったかどうかは，越冬地に隣接した水田で確認することが望ましい。

図-7に示した例では，隣接水田への主な飛来は，1980年には最高気温が初めて25℃を越えた5月21日に起こ

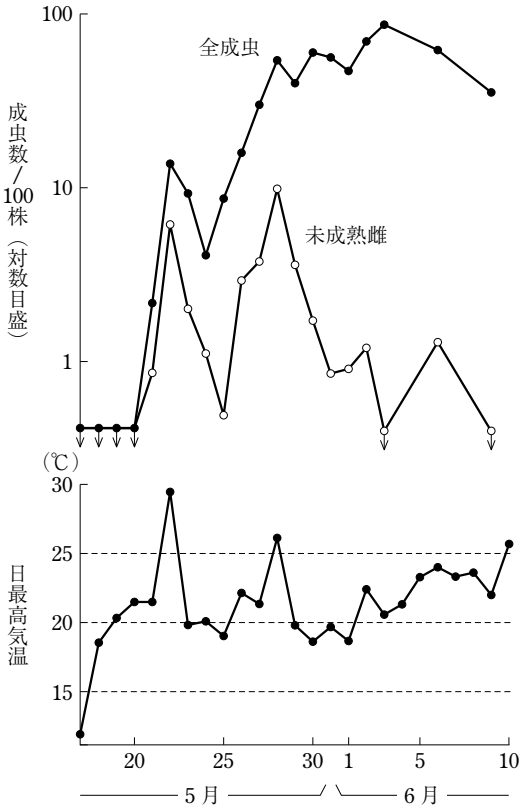


図-9　水田における未成熟雌の密度変化と最高気温の変化（Kidokoro, 1983）

った。1981年は5月中に25℃を越える日はあったものの，その前に極めて気温の低い日が続いて飛来数は少なく，23℃程度に上昇した6月3日になってようやくまとまった飛来があった。なお，例外的な現象だが，8月に入ったころに複数地点で幼虫がわずかに発生し，2化の可能性が疑われたことがある。しかし，こうした年次は，5～6月に低温が続き顕著な気温上昇がみられないことから，一部の活動開始が極端に遅れたものと思われる。

卵期以降の発育所要日数は温度に依存して短縮し（図-10），卵，幼虫，蛹の発育下限温度は11.5℃前後で，発育所要温量はそれぞれ約50日度，110日度，110日度である（岸野・佐藤，1977）。これを利用して，飛来以降の発生の早晩を，気象予報などから推定することができよう。これも図-7の例でいえば，1980年は成虫飛来後の気温が高めに推移したのに対し，1981年には低めに経過した。11℃を発育下限温度として6月中の温量を調べてみると，1980年は275日度であるが，1981年は135日度で半分しかなかった。その結果，成虫の飛来が早くその後の気温が高い1980年は，老齢幼虫の出現最盛期は6月3半旬となり，その逆の1981年には7月1半旬と20日ほどの違いがあった。後者の年次には，育苗箱施用剤を使用した場合でも，残効切れにより幼虫の

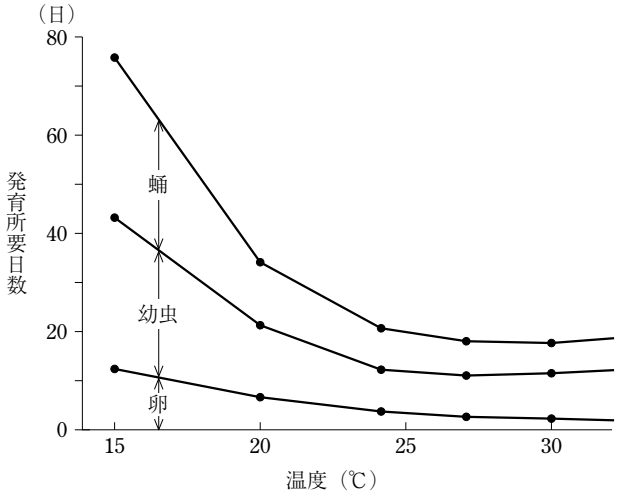


図-10　温度による発育段階別の所要日数の違い（岸野・佐藤，1977により描く）

発生が広範囲で認められた。

2　発生量

発生量予察の難易は地域によって異なる。日本海側の新潟県や秋田県では，卵塊密度から主な加害ステージである老齢幼虫密度や被害程度を予測することは困難であった（江村・小嶋，1978；Koyama, 1978）。その理由は，新潟県ではフェーン現象に伴う幼虫（特に若齢期）の突発的な乾燥死であることが明らかにされた。一方，この時期にフェーン現象の起こらない太平洋側の宮城県では，水田に飛来した成虫や卵期以降の生存率は比較的高くて安定しており，老齢幼虫密度の予測は可能であった。新潟県と宮城県で得られた生存曲線と（図-11），宮城県における越冬後成虫密度または卵塊密度と，老齢幼虫密度の関係（図-12）を示した。幼虫期間中の生存率が比較的安定して高いことは，北海道や福島県，千葉県等でも認められており（城所・前田，1983），こうした地域では，成虫や卵の発生量から幼虫の発生量を，ある精度で予測することは可能と考えられる。

その他の生存率に影響する要因を考慮することで，予測精度が高まると考えられるので，重要と思われる点を解説する。まず，卵は乾燥した条件でもふ化直前までは正常に発育するが，ふ化時に低湿度だと卵殻から脱出できず死亡する（城所・前田，1983）。もう一つ卵期で重要な死亡要因は，卵寄生蜂ドロムシムクゲタマゴバチの寄生による死亡で，その割合は産卵後期ほど高まる（城所・前田，1983）。なお北海道では，イネドロオイムシの生物的防除をねらって，この寄生蜂を未分布地域に導入する先駆的な試みが1930年代に行われている。

幼虫期の死亡要因としては，乾燥以外に，強い風でイネが揺れると脱落・水没死する（井上・奥山，1975）。

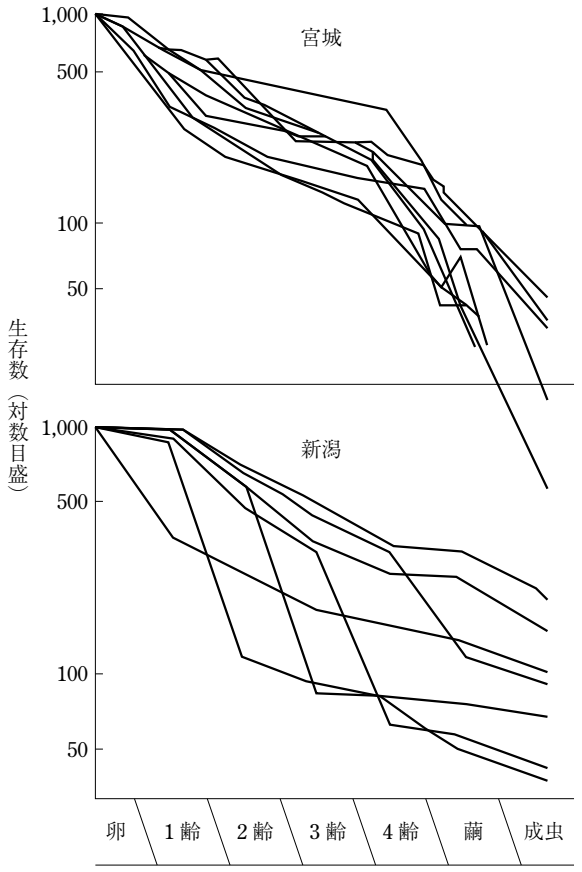


図-11　宮城県と新潟県における生存曲線の違い（城所・前田，1983 と江村・小嶋，1978 により描く）

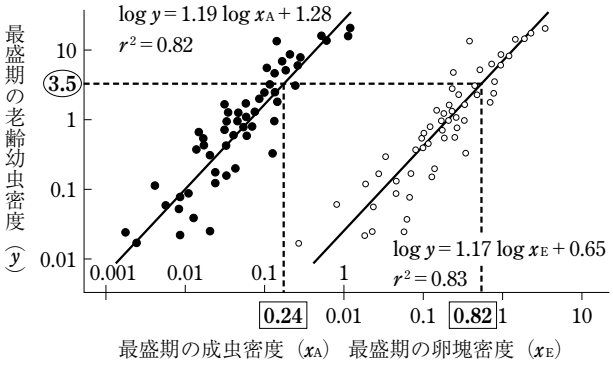


図-12　イネドロオイムシの成虫密度または卵塊密度と老齢幼虫密度の関係（城所，1983 を改変）
◯は被害許容水準，□は要防除水準を示す．

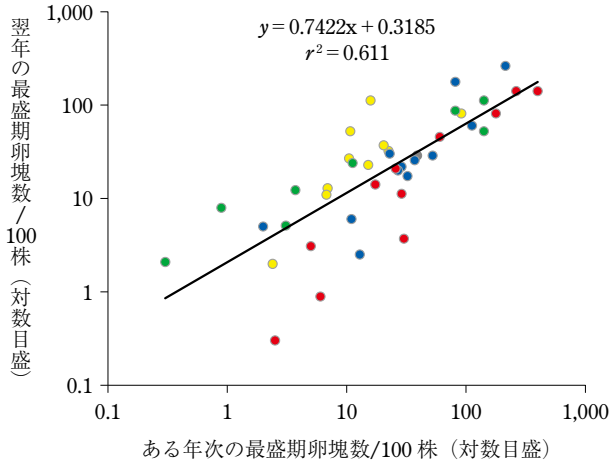


図-13　ある年次の卵塊密度と翌年の卵塊密度の関係（城所，1983 を改変）
黄：1977/1978，青：1978/1979，赤：1979/1980，緑：1980/1981，すべて無防除．

多発した水田では，イネの食い尽くしによる死亡が起こる。終齢幼虫期以降は，営繭場所を求めて移動中の脱落と水没死，蛹期に羽化するドロムシミドリコバチなど寄生蜂類による死亡が重要と思われる。寄生率は，ある年次の宮城県の調査では，地点平均で 30％ほどであった（城所・前田，1983）。越冬中には黄きょう菌による死亡が重要であるが，場所による変動が大きい（五十嵐・伊藤，1958）。多発した水田では，越冬前でも新成虫が葉身上で白い菌糸に覆われ死亡しているのをよくみかける。寄生蜂類やイネの食い尽くしによる死亡とともに，密度調節要因となっている可能性が大きい。

成虫は葉色の濃い水田に誘引され産卵する。したがって，周囲の水田に比べて移植本数が多い，窒素施用量が多い，密植といった条件では発生が多くなる。逆に直播栽培では，移植栽培に比べてイネの生育量が少ないために，発生は少なくなる。

やや長期的な発生量予察では，ある年次の最盛期における卵塊密度と，翌年の最盛期卵塊密度には正の相関が認められる（図-13）。密度が低い水田ではばらつきが大きいが，密度が高い水田では常にほぼ同程度の産卵密度となっており，多発しやすい水田は翌年も多発しやすく，また，その密度レベルは同じといえる。これは，成虫越冬に適した場所が，水田の周辺にある場合に多発しやすいことを反映するとともに，高密度では密度調節作用が働いているためと考えられる。また，先述したように，越冬地に隣接した水田に降り立った成虫は，小移動を繰り返し徐々に分散するため，越冬地に近いほど多く産卵され，離れるほど少なくなるという密度勾配は，発生終期まで認められる（Kidokoro, 1983）。

Ⅳ　被害と要防除水準

本種の加害期間はイネの生育前半，それも比較的早い時期であることが多い。このため，一般には収量構成要素のうち，最も早く決定される穂数の減少が主な減収要因となる。ただし，発生が遅くまで続く場合や，もともと田植えが早い地域や作型では，穂当たり着粒数や登熟

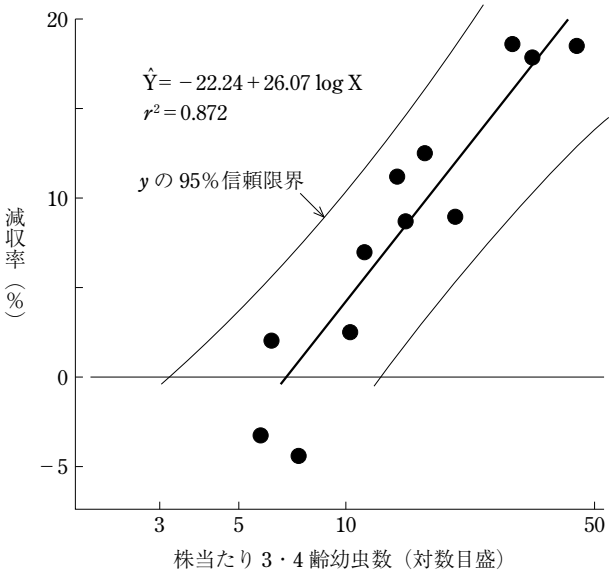


図-14　老齢幼虫密度と減収率の関係（小嶋・江村，1979）

歩合を低下させることもある（小嶋・江村，1979）。発生時期が特に遅い北海道では，イネの栄養成長期より生殖成長期が主な加害時期となるため，穂数の減少ではなく，登熟歩合や一穂着粒数，千粒重の低下が減収要因となる（橋本・春木，1982）。

幼虫密度と減収率の関係については，最も詳細に解析された新潟県の結果を示す（図-14）。これによれば，減収が始まる密度は老齢幼虫（3 齢と 4 齢幼虫）が株当たり 7 個体のときであるが，この値は条件による変動が予想されるため，同県では安全度を見込んで株当たり 3.5 個体を被害許容密度とした。また食害程度でいえば，このときの被害葉率は 20％であった。

先に述べたように新潟県では，成虫や卵塊から老齢幼虫密度を予測するのが難しかったため，要防除水準は生存率が高かった場合を想定して株当たり卵粒数で 8 と設定された（江村・小嶋，1980）。宮城県では，図-12 に示したように，老齢幼虫が株当たり 3.5 個体となるときの最盛期の株当たり卵塊数は 0.82 であった。本種の卵塊卵粒数は 10 粒程度なので，この値は新潟県とほとんど同じである。これは，安全度を見込んで死亡率が低い場合を想定した新潟県と，もともと死亡率が低い宮城県が，結果的に一致したためである。なお，これまで要防除水準を設定した地域（図-1）では，株当たり卵塊数で 0.5～1.0 としている場合が多いようである。

無防除などで幼虫が激発した場合，その後緑を回復した水田が，新成虫により再び白く見えるほどの食害を受けることがある。イネの葉は裂けて食い残された葉脈だけの状態となる（図-15）。幼虫加害に加え，イネの生育

図-15　新成虫の食害で，葉先が葉脈だけになって裂けたイネ

に追い打ち的な被害を与えていると思われるが，詳しく解析されたことはない。

V　管　理　方　法

1　薬剤以外の防除・被害軽減対策

主な越冬場所がイネ科植物の葉鞘部などであることから，可能なところでは，水田周辺の越冬に適した植物を除去することで発生を軽減できるであろう。

本種の蛹化期は中干しの時期と一致することが多い。蛹化最盛期の前に水を落とせば，大部分の個体は株元の最下部や，田面が地割れしていればその中に入って蛹化する。その後に湛水状態とすれば，羽化直前の個体を除き死亡する（城所・前田，1983）。この方法は当年の被害軽減には役立たないが，次年度の発生量を低下させると考えられる。

有効な防除法がなかった時代，粘着性のある幼虫の排泄物を利用して，箒などで払って付着させ除去したり，払い落とす器具が広く普及した。小規模な水田であれば，物理的な防除法として利用できよう。

移植栽培が主流の地域で直播栽培をすれば，成虫の飛来を少なくすることで，結果的に耕種的な防除法の一つとなる。

2　薬剤による防除

本種に登録のある薬剤と処理方法は，ほとんどがイネミズゾウムシと共通している。したがって，この節については 2 月号のイネミズゾウムシの節を参考にしていただきたい。直播栽培では登録のある薬剤はないが，移植栽培に比べてイネの生育量が少なく成虫が誘引されにくいので，被害が問題になることは少ないと考えられる。

イネミズゾウムシと異なるのは，本種は年間発生回数が少ないにもかかわらず，いくつもの系統の薬剤に繰り返し抵抗性を発達させてきたことである（城所，1997）。戦後 1950 年代に普及した有機塩素系の BHC は，1960

年ころには効果不足が問題になった。その後も有機リン系，カーバメート系，フェニルピラゾール系，ネオニコチノイド系等の薬剤に抵抗性を発達させている。年間世代数が少ないにもかかわらず，抵抗性を発達させやすい生態的理由は，実質的にイネ（水田）だけが繁殖の寄主（場所）となっていて薬剤の淘汰を受けやすいことに加え，移動性が小さいために抵抗性遺伝子が「濃縮」されやすいためではないだろうか。いずれにしても，本種については，薬剤に対する抵抗性が発達していないか注意するとともに，IRAC コードなどを参考にして同じグループの薬剤を長期にわたって使い続けないことが大切である。

3　薬剤使用を前提とした農薬依存度軽減法

2 月号のイネミズゾウムシの節でも述べたように，イネドロオイムシも年に 1 回しか発生しないため，ある程度広域的に密度を低下させてしまうと，直ぐには回復しない。このため，育苗箱施用剤を広域的に使用した場合，その後数年間は，同法を使用する必要はないとされている（平成 29 年度岩手県農作物病害虫・雑草防除指針など）。

引　用　文　献

1）江村一雄・小嶋昭雄（1978）: 応動昆 **22** : 260～268.
2）――――・――――（1980）: 同上 **24** : 150～156.
3）橋本庸三・春木　保（1982）: 北日本病害虫研報 **33** : 85～86.
4）五十嵐良造・伊藤春男（1958）: 同上 **9** : 70.
5）井上　寿・奥山七郎（1975）: 北農 **42** : 1～9.
6）城所　隆（1980 a）: 北日本病害虫研報 **31** : 101～102.
7）――――（1980 b）: 同上 **31** : 105～106.
8）――――（1983）: 植物防疫 **37** : 253～256.
9）――――（1997）: 同上 **51** : 80～85.
10）Kidokoro, T.（1983）: Apple. Entomol. Zool. **18** : 211～219.
11）城所　隆・前田正孝（1983）: 宮城農セ研報 **50** : 11～27.
12）岸野賢一・佐藤テイ（1977）: 東北農試研報 **56** : 1～18.
13）小嶋昭雄・江村一雄（1979）: 応動昆 **23** : 1～10.
14）Koyama, J.（1978）: Apple. Entomol. Zool. **13** : 203～208.
15）齊藤　満（1974）: 北日本病虫研報 **25** : 50.
16）佐藤テイ（1980）: 応動昆 **24** : 110～111.
17）――――・岸野賢一（1988）: 東北農試研報 **77** : 63～75.

発生予察情報・特殊報（30.1.1～1.31）

各都道府県から発表された病害虫発生予察情報のうち，特殊報のみ紹介。**発生作物：発生病害虫**（発表都道府県）発表月日。都道府県名の後の「初」は当該都道府県で初発生の病害虫。

※詳しくは各県病害虫防除所のホームページまたは JPP-NET（http://web1.jppn.ne.jp/）でご確認下さい。

■ **トマト：黄化葉巻病**（新潟県：初）1/16

■ **西洋なし：セイヨウナシハモグリダニ（仮称）**（秋田県：初）1/23

植物防疫講座

農薬編−3

ニコチン性アセチルコリン受容体競合的モジュレーター

—ネオニコチノイド系，スルホキシミン系，ブテノライド系，メソイオン系—

バイエルクロップサイエンス（株）　安宅（あたか）　雅（まさし）・中倉（なかくら）　紀彦（のりひこ）

は　じ　め　に

ニコチンに代表されるニコチノイド，ニコチンと類似の構造を持つネオニコチノイド，およびその類縁化合物群は，昆虫の中枢神経に存在するニコチン性アセチルコリン受容体（nicotinic acetylcholine receptors, nAChR）を標的とする。

IRAC（Insecticide Resistance Action Committee）による作用機構分類で，nAChR に作用する薬剤は，ネオニコチノイド系（サブグループ 4A），ニコチン（4B），スルホキシミン系（4C），ブテノライド系（4D），およびメソイオン系（4E）に分けられる。ネオニコチノイド系には，イミダクロプリド，チアクロプリド，ニテンピラム，アセタミプリド，チアメトキサム，クロチアニジン，ジノテフランがあり，これらはすべて日本で農薬登録されている。ニコチンは，日本では硫酸ニコチンの形で殺虫剤として用いられてきたが，哺乳動物に対する毒性が強く，2002 年に農薬登録が失効している。スルホキシミン系のスルホキサフロルは 2017 年 12 月に農薬登録された。ブテノライド系のフルピラジフロンは，農薬登録されているが上市されていない。メソイオン系のトリフルメゾピリムは，現時点で登録申請中である（農薬工業会，2017）（表−1）。

ネオニコチノイド系薬剤（以下，ネオニコチノイド）は，幅広い殺虫スペクトルと優れた浸透移行性を有していることから広く使用され，その販売金額が国内外の殺虫剤市場に占める割合は，およそ 25％にもなる（Bass et al., 2015；日本植物防疫協会，2017）。本報では，このネオニコチノイドを中心にニコチン性アセチルコリン受容体競合的モジュレーター*について解説する。

Review of Nicotinic Acetylcholine Receptor Competitive Modulators.　By Masashi Ataka and Norihiko Nakakura

（キーワード：ニコチン性アセチルコリン受容体，ネオニコチノイド系，スルホキシミン系，ブテノライド系，メソイオン系）

＊：モジュレーター：特定のチャネルタンパクの機能を制御（活性化もしくは阻害）する化合物

I　ネオニコチノイドの定義と構造

1　化学構造

タバコ葉中に含まれるニコチンおよびその類縁アルカロイドをニコチノイドと総称する。ニコチンと類似の作用特性を有し，昆虫への活性を高めながらも哺乳動物への毒性を低減した化合物群がネオニコチノイドである。

ネオニコチノイドに先駆けて合成されたニトロメチレン基（$CHNO_2$）を持つニチアジンは，昆虫の nAChR に働くものの，光安定性の問題から圃場においては十分な防除効果が得られなかった（Soloway et al., 1979）。日本特殊農薬製造株式会社（現バイエルクロップサイエンス株式会社）はそのユニークな化学構造および作用機作に着目して類縁化合物の合成研究を進め，ニコチンの構造とニトロメチレン基を持つリード化合物 NTN32692 を得た。その後，構造変換を行い，カメムシ目を中心とした害虫に対する活性や化合物の安定性を向上させたイミダクロプリドが選抜された（塩川ら，1994）。

その後，約 10 年という比較的短い期間に次々と類縁のネオニコチノイドが開発された。チアクロプリドは，イミダクロプリドとほぼ同時期に合成され，ともにクロロピリジン環にメチレン基を介して含窒素 5 員環が結合している構造を有するが，イミダクロプリドでは含窒素 5 員環がイミダゾリジン環であるのに対し，チアクロプリドではチアゾリジン環である。次に開発されたアセタミプリド，ニテンピラムは，含窒素 5 員環部位を開環した鎖状構造を有している。その後に開発された化合物では，クロロピリジン環を変換し，ジノテフランはテトラヒドロフラン環を，クロチアニジンとチアメトキサムはクロロチアゾール環を有する。さらにチアメトキサムは，イミダゾリジン環を変換したオキサジアジン環を有する（図−1）。

また，イミダクロプリド，クロチアニジン，チアメトキサム，ジノテフランはニトロイミノ基（NNO_2）を，チアクロプリド，アセタミプリドはシアノイミノ基

表-1　日本における農業用殺虫剤の作用機構（一部抜粋改変）

主要グループと一次作用部位	サブグループ あるいは代表的有効成分	有効成分	農薬名（例） （剤型省略）	標的 生理機能
4 ニコチン性アセチルコリン受容体 （nAChR） 競合的モジュレーター 神経作用	4A ネオニコチノイド系	アセタミプリド	モスピラン	神経 および 筋肉
		クロチアニジン	ダントツ，ワンリード	
		ジノテフラン	スタークル，アルバリン	
		イミダクロプリド	アドマイヤー	
		ニテンピラム	ベストガード	
		チアクロプリド	バリアード	
		チアメトキサム	アクタラ，クルーザー	
	4B　ニコチン			
	4C　スルホキシミン系	スルホキサフロル	エクシード，トランスフォーム	
	4D　ブテノライド系	フルピラジフロン	シバント	
	4E　メソイオン系	トリフルメゾピリム	商品名未定［2016 年 12 月現在申請中］	

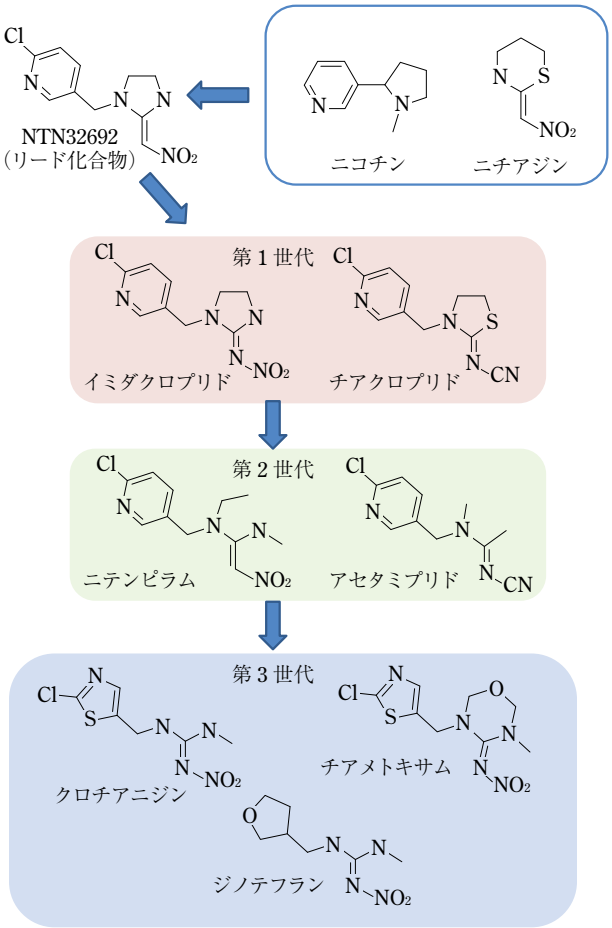


図-1　ネオニコチノイドとその類縁化合物

（NCN）を，ニテンピラムはニトロメチレン基を有し，この基の違いが薬剤の特性に関係している。

なお，ネオニコチノイドに分類されるこれらの 7 化合物のうちチアメトキサムを除く 6 化合物までが日本において合成されたことは特筆すべきことである。

2　昆虫に対する選択性

ネオニコチノイドは，昆虫の nAChR に対して選択的に活性を示す。nAChR は五つのサブユニットからなるイオンチャネル型受容体である。ネオニコチノイドは nAChR とアセチルコリンのリガンド結合部位で結合する。リガンド結合部位は A～F の六つのループから成り（図-2），ネオニコチノイドと水素結合によって結びつく。ループ D には昆虫由来 nAChR では塩基性アミノ酸残基があり，ネオニコチノイドのニトロ基やシアノ基と結合する（Ihara et al., 2017）。一方，脊椎動物由来の nAChR では，同じ箇所が多くの場合中性または酸性アミノ酸残基になっており，ネオニコチノイドとの親和性に劣る。この親和性の差が選択毒性に貢献している。

II　ネオニコチノイドの特徴

1　殺虫スペクトラム

ネオニコチノイドはカメムシ目，アザミウマ目，チョウ目，ハエ目，コウチュウ目等幅広い農業害虫に効果を示す。また，シロアリやゴキブリ，ノミ，シラミ等にも高い効果を示し，農業分野以外にも動物薬，衛生害虫防除薬として広く用いられている。

2　特徴

表-2 にネオニコチノイドの水溶性とオクタノール/水分配係数（Log Pow）を示す。これらの値からネオニコチノイドは全般的に水溶性が高く，油には溶けにくい性質があることがわかる。こうした物性によって，ネオニコチノイドは，根，一部葉から植物体への浸透移行性を有するとともに，長期残効性を示す。このため，省力化

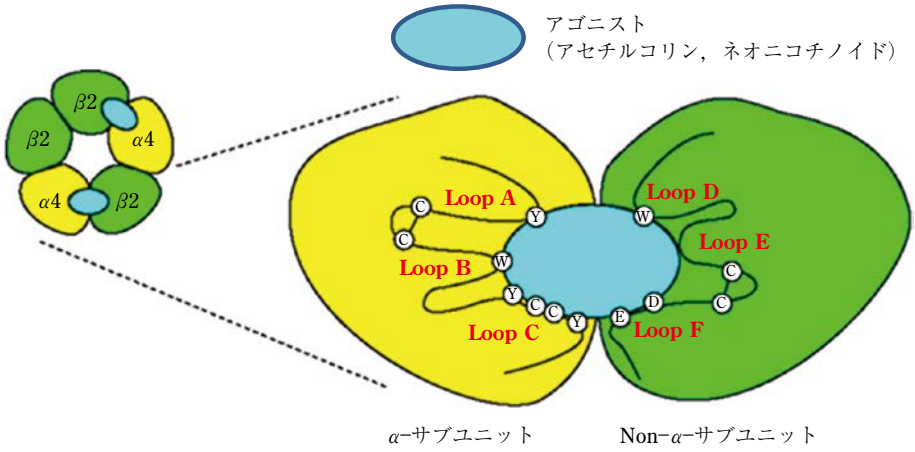


図-2　アセチルコリン受容体の構造（Matsuda et al., 2005 を基に作成）

表-2　ネオニコチノイド系薬剤の水溶性とオクタノール/水分配係数

	イミダクロプリド	チアクロプリド	アセタミプリド	ニテンピラム	チアメトキサム	クロチアニジン	ジノテフラン
水溶性（mg/*l*）	510	190	4,200	840,000	4,100	720	54,300
オクタノール/水分配係数 Log Pow	0.57	1.26	0.8	−0.64	0.80	1.05	−0.64

につながる様々な施用方法が可能となり，農作物生産現場における防除体系を一変させることとなった。

水稲では，茎葉散布や育苗箱施用，水面施用等の処理方法によって主要水稲害虫防除が可能である。特に育苗箱施用はネオニコチノイドのもつ浸透移行性との相性がよく，栽培初期～中期に発生するコウチュウ目害虫のみならず，長期間にわたってウンカ・ヨコバイ類の発生を抑える。また，近年では有効成分の溶出を制御する製剤技術により，育苗箱施用でありながら出穂期のカメムシ類を防除することが可能となっており，本田防除の回数軽減に寄与している。

野菜類においても，茎葉散布のみならず，灌注処理，植穴処理，および株元処理といった様々な施用法で処理することで，アブラムシ類，アザミウマ類，コナジラミ類等の吸汁害虫防除が可能である。また主に海外において普及している技術であるが，小麦，なたね，とうもろこし等の種子に薬剤を処理することにより，生育初中期に発生する各種害虫の防除が可能である（Andersch and Schwarz, 2003）。

ネオニコチノイドは経口的，経皮的に昆虫体内に取り込まれ，速効的に効果をしめす。致死濃度以下でも麻痺を引き起こし，摂食や歩行，飛翔の各種行動を抑制する。このため，害虫の食害による直接的なダメージを防ぐとともに，害虫によって媒介されるウイルス病，例えばヒメトビウンカによって永続伝搬される縞葉枯病，の伝搬を防ぐことができる。

また，化学構造から，ニトロイミノ基を持つ薬剤は広範囲の害虫に高い殺虫活性を示す一方，有用昆虫であるハチ類に対しても影響を与える。シアノイミノ基を持つ薬剤は，ニトロイミノ基を持つものに比べやや活性は低くなるものの，チョウ目害虫に対し活性が高く，ハチ類に対して影響が少ない。ニトロメチレン基を持つ薬剤は対象害虫に高い活性を有しているが，光などによる分解を受けやすい特徴を持つ。

III　ネオニコチノイドの作用機構

nAChR はシナプス後膜に存在して神経伝達物質であるアセチルコリンと結合し，イオンチャネルを開口させることにより，ナトリウムイオンが流入し興奮性シナプス後電位を発生させる。ネオニコチノイドは nAChR に対しアゴニストとして働く。すなわち，アセチルコリンと同様 nAChR に結合するが，ネオニコチノイドはアセチルコリンエステラーゼによって分解されないため，後シナプスの脱分極が持続することになり神経伝達が遮断される（図-3）。

ネオニコチノイドが神経伝達を速やかに遮断することにより，運動機能を阻害しその結果，吸汁行動や繁殖行動が阻害される。アブラムシ類のような脂肪をあまり持

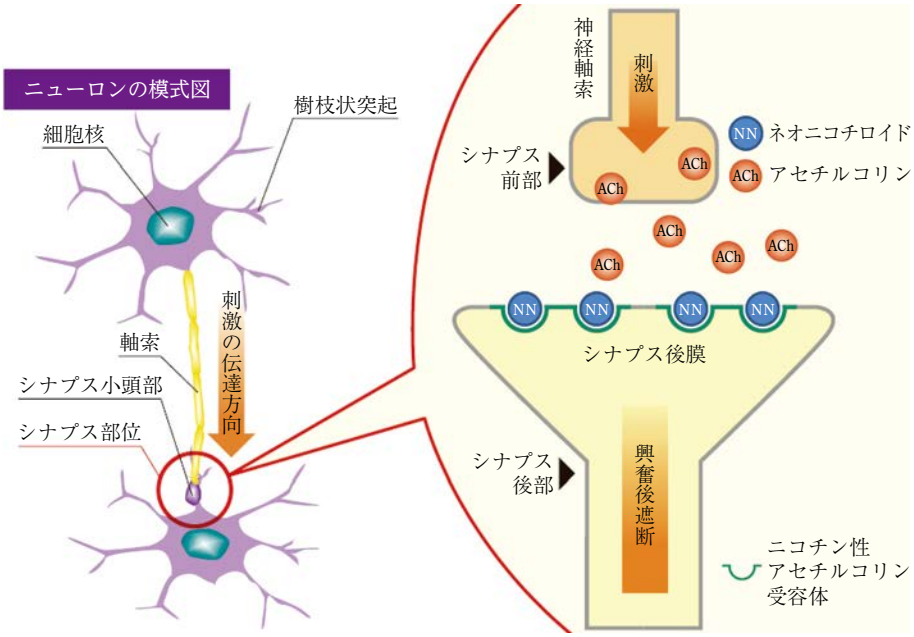


図-3　ネオニコチノイドの作用機構

図-4　ネオニコチノイド系薬剤による中毒症状（曽根，2007）

たない害虫では早く死に至るが，カメムシ類やイネミズゾウムシ等脂肪を多く持つ害虫では，正常に活動することはできないが，死に至るまでに時間を要する。ネオニコチノイドは，ある害虫に対しては速効的であるし，ある害虫に対しては遅効的であると言える（曽根，2007，図-4）。

Ⅳ　ネオニコチノイドに対する抵抗性と管理

1　抵抗性の現状

ネオニコチノイド系薬剤に対する抵抗性は，国内外で，タバココナジラミ，モモアカアブラムシ，ワタアブラムシ，トビイロウンカにおいて報告されるようになり，2014 年までには，これらの 4 種に関する報告が全体の約 8 割を占めている（Bass et al., 2015）。日本ではそれらに加えて一部地域でイネドロオイムシ，アザミウマ類について感受性低下が報告されているが，抵抗性機構については明らかでない。

モモアカアブラムシとワタアブラムシの野外個体群で，作用点変異による抵抗性が確認されている。モモアカアブラムシでは，2009 年に nAChR の変異 R81T がスペイン南部–フランス–北部中央イタリアにまたがる地域で確認されている。ワタアブラムシでは，2010 年ころからオーストラリア，米国で感受性の低下が示唆され，東アジアで作用点変異 R81T を伴う高いレベルの抵抗性の発現が確認された。ネオニコチノイド抵抗性のモモアカアブラムシとワタアブラムシにおいて，同一の作用点変異が生じていることは進化的に意義深い。すなわち，受容体の機能を維持しつつネオニコチノイド抵抗性を示す変異を生じる可能性がごく限られていることが推察される。

解毒代謝の亢進により抵抗性が認められるものには，モモアカアブラムシ，タバココナジラミ，トビイロウンカがある。多くの場合，チトクローム P450 と総称される酸化還元酵素が過剰発現しており，これらによって農薬成分が代謝され，十分な効果が得られないものと考えられる。モモアカアブラムシでは，チトクローム P450 の分子種のひとつである CYP6CY3 の過剰発現による感受性の低下が報告されている。タバココナジラミでは，いくつかのチトクローム P450 の過剰発現が報告されているが，CYP6CM1 の過剰発現がイミダクロプリドの抵抗性と最も顕著な相関を示す。この酵素はアセタミプリドを代謝しないが殺虫剤ピメトロジンの代謝に関与しており，イミダクロプリド–ピメトロジン間で交差抵抗性が報告されている。トビイロウンカでは，2000 年ころから感受性低下が報告されるようになった。室内における人工淘汰で作用点変異 Y151S が報告されたが，野外の

低感受性個体群ではこの変異は検出されず，CYP6ER1 と CYP6AY1 が関与すると思われる活性の上昇が低感受性に貢献していると考えられる。

以上のように，感受性低下のメカニズムとしては作用点変異より解毒代謝の亢進がより一般的で，なかでもチトクローム P450 の分子種の 1 種が過剰発現する報告例が多い。ネオニコチノイド系薬剤間で抵抗性発達の程度に差が見られる例があるが，交差のパターンは一定ではなく，抵抗性のメカニズムや関与するチトクローム P450 分子種の違い等が影響していると考えられている。

2　抵抗性の管理

ネオニコチノイド系薬剤は，一部の害虫において抵抗性の発達が散見されるものの，多くの害虫種に対して卓効を示し，現在においても害虫防除に欠かせない薬剤である。抵抗性の発達を遅らせ，薬剤を長期にわたり使用させるために，抵抗性管理は欠かすことができない。他の薬剤と同様ではあるが，ラベルを遵守して使用する，繰り返しネオニコチノイド系薬剤を使用するのではなくローテーション散布を行う，薬剤防除だけでなく，他の生物的防除，耕種的防除，物理的防除を組み込んだ IPM（Integrated Pest Management）の実施が重要である。また，感受性を知るための感受性検定を定期的に実施することにより，抵抗性発達のレベルを把握する必要がある。

V　その他のニコチン性アセチルコリン受容体モジュレーター

この作用機構にはネオニコチノイドのほかに以下の三つの系統がある（図-5）。

1　スルホキシミン系薬剤

スルホキサフロルは，nAChR に結合してアゴニストとして作用し，アブラムシ類やコナジラミ類等の吸汁性害虫に対して高い殺虫活性を示す。また，捕食性天敵のクモ類，カマキリ，テントウムシ類に影響の少ない薬剤である。

2　ブテノライド系薬剤

フルピラジフロンは，nAChR に結合してアゴニストとして作用し，アブラムシ類やコナジラミ類といったカメムシ目害虫のみならずコウチュウ目害虫にも活性を示す。ミツバチなどのハチ類に対し影響のない薬剤である。

3　メソイオン系薬剤

トリフルメゾピリムは，nAChR の結合部位に結合するもののほとんど活性化せず，その効果は nAChR の阻害が主とされる（Cordova et al., 2016）。ウンカ類に高い活性を示し，ネオニコチノイド系殺虫剤に対し感受性の低下した個体群に対しても十分な効果を示すことから，近年被害が問題となっている海外飛来性のトビイロウンカ，ヒメトビウンカに対する有効な防除資材として期待されている。

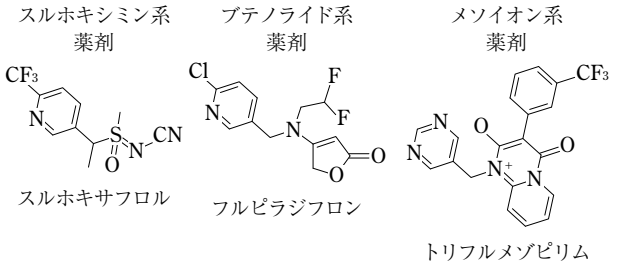


図-5　ニコチン性アセチルコリン受容体に作用するネオニコチノイド系薬剤以外の薬剤

お　わ　り　に

世界，日本の殺虫剤市場の 1/4 を占めるネオニコチノイドは，害虫防除の分野で欠かせない薬剤の一つである。抵抗性の発達が散見されてはいるものの，ネオニコチノイドの果たす役割は依然として大きい。そのため，抵抗性の発達を遅延させる薬剤抵抗性管理は益々重要になってきている。また，低感受性個体群に有効なニコチン性アセチルコリン受容体モジュレーターの新しい化合物も開発されており，今後もニコチン性アセチルコリン受容体は殺虫剤の重要な標的部位であり続けると思われる。薬剤の特性を理解し，最も有効な手段で防除を実施するために，本報が少しでも貢献できれば幸いである。

引　用　文　献

1）Andersch, W. and M. Schwarz（2003）: Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer **56** : 102～110.
2）Bass, C. et al.（2015）: Pesticide Biochemistry and Physiology **121** : 78～87.
3）Cordova, D. et al.（2016）: Insect Biochemistry and Molecular Biology **72** : 32～41.
4）Ihara, M. et al.（2017）: British Journal of Pharmacology, DOI: 10.1111/bph.13914
5）Matsuda, K. et al.（2005）: Biosci. Biotechnol. Biochem. **69** : 1442～1452.
6）日本植物防疫協会（2017）: 農薬要覧2017，日本植物防疫協会，東京，p.4～53.
7）農薬工業会（2017）: 日本における農業用殺虫剤の作用機構，http://www.jcpa.or.jp/labo/pdf/2017/mechanism_irac02.pdf
8）Soloway, S. B. et al.（1978）: (H. Geissbühler, Ed.) Advances in Pesticide Scinece, Pergamon, Oxford, p.206～217.
9）塩川紘三ら（1994）: 日本農薬学会誌 **19** : 209～217.
10）曽根信三郎（2007）: 木材保存 **33**(4) : 160～165.

新農薬の紹介

殺菌剤ピカルブトラゾクスの特長

日本曹達株式会社 農業化学品事業部開発部 桑原頼人（くわはら らいと）

はじめに

ピカルブトラゾクス（Picarbutrazox）は日本曹達(株)が発見した新規系統のテトラゾリルオキシム系殺菌剤であり，べと病，疫病，ピシウム属菌等主に卵菌類由来の病害に対して優れた効力を示す。本剤の作用機構は新規と推定しており，既存剤の耐性菌にも有効である。ピカルブトラゾクスを有効成分とする新規殺菌剤として，イネ用のナエファインフロアブル・ナエファイン粉剤，園芸用のピシロックフロアブル，芝用のクインテクト顆粒水和剤の4剤が開発・上市されている。

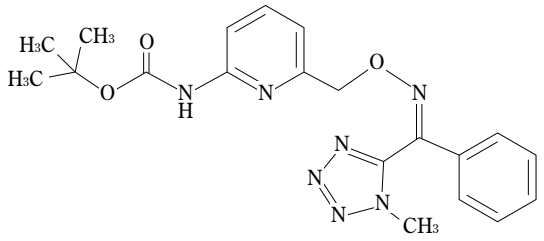
【有効成分と性状】

一般名：ピカルブトラゾクス（Picarbutrazox）

CAS登録番号：500207-04-5

化学名：*tert*-ブチル＝(6-{[(Z)-(1-メチル-1*H*-5-テトラゾリル)(フェニル)メチレン]アミノオキシメチル}-2-ピリジル)カルバマート

構造式：



分子式：$C_{20}H_{23}N_7O_3$

分子量：409.44

水溶解度：0.333 mg/*l*

オクタノール/水分配係数（logPow）：4.16（25℃）

融点：136.6～138.7℃

蒸気圧：＜1.2×10^{-7} Pa（50℃）

【作用機作】

本剤はFRACコード表において作用機構不明のU17に分類されている。本剤は呼吸阻害活性がなく，フェニルアミド系剤およびQoI剤耐性のキュウリべと病菌に交差耐性が認められない（表-1）。また，ピカルブトラゾクス処理により菌糸が膨潤・多分岐する特徴がある（図-1）。これらのことから，本剤は既存剤とは異なる作用機構を有すると推測している。生活環における作用点について，ピシウム菌に対しては遊走子の被のう化，被のう胞子の発芽，菌糸の伸長，遊走子の形成，造卵器の形成，卵胞子の発芽を阻害し（図-2），トマト疫病菌に対しては被のう胞子の発芽と菌糸の伸長を阻害する。

表-1 耐性菌に対する効果（キュウリべと病菌）

病原菌の感受性	QoI A剤 EC_{50}（ppm）	ピカルブトラゾクス EC_{50}（ppm）
QoI感受性菌	0.4	0.3
QoI耐性菌	＞100	0.3

病原菌の感受性	PA B剤 EC_{50}（ppm）	ピカルブトラゾクス EC_{50}（ppm）
PA感受性菌	0.4	0.3
PA耐性菌	＞100	0.3

PA：フェニルアミド.

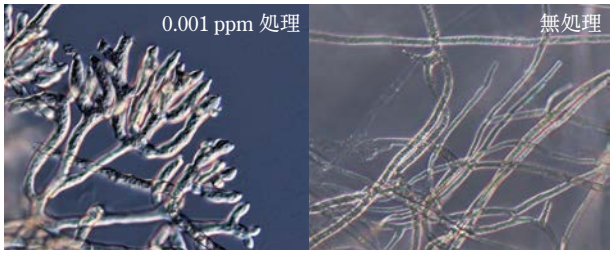


図-1 ピカルブトラゾクス処理による菌糸の形態異常（*Pythium aphanidermatum*）

【ナエファインフロアブル・粉剤】

本剤はJA全農と日本曹達(株)が共同開発したイネ苗立枯病防除剤である。NF-171の試験コード名で2012年より一般社団法人日本植物防疫協会を通じて公的試験を開始し，2017年7月18日に農薬登録が認可された（表-2，表-3）。

ナエファインは

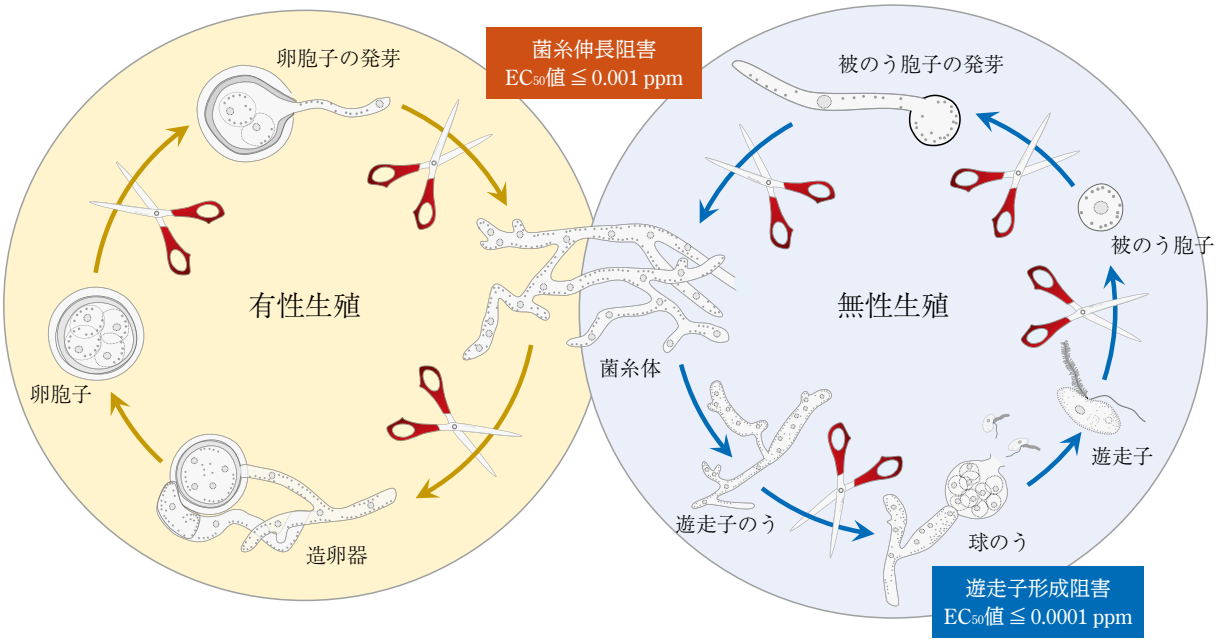


図-2　ピカルブトラゾクスの *Pythium aphanidermatum* の生活環上の作用点

表-2　ナエファインフロアブルの登録内容（2017 年 12 月 26 日現在）

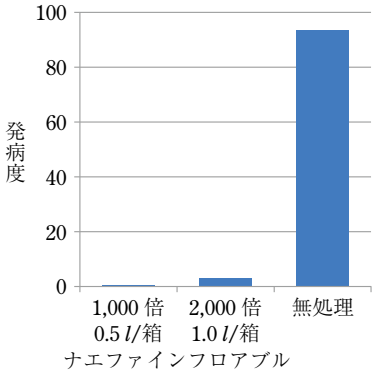
作物名	適用病害名または使用目的	希釈倍数	使用液量	使用時期	本剤の使用回数	使用方法	ピカルブトラゾクスを含む農薬の総使用回数
稲（箱育苗）	苗立枯病（ピシウム菌）	1,000 倍	育苗箱* 1 箱当たり 0.5 *l*	播種時から緑化期 ただし，移植 15 日前まで	2 回以内	土壌灌注	3 回以内（土壌混和は 1 回以内 土壌灌注は 2 回以内）
		2,000 倍	育苗箱* 1 箱当たり 1 *l*	播種時			
	苗立枯病（フザリウム菌）苗立枯病（リゾープス菌）	1,000 倍	育苗箱* 1 箱当たり 0.5 *l*				
	ムレ苗防止			播種時から緑化期 ただし，移植 15 日前まで			
		2,000 倍	育苗箱* 1 箱当たり 1 *l*	播種時			

*30 × 60 × 3 cm，使用土壌約 5 *l*.

表-3　ナエファイン粉剤の登録内容（2017 年 12 月 26 日現在）

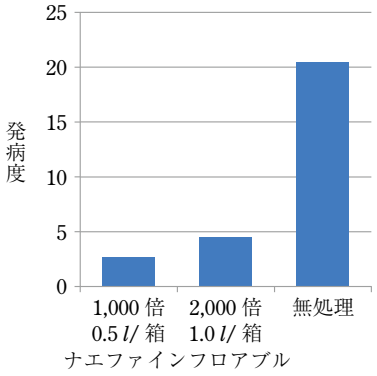
作物名	適用病害名または使用目的	使用液量	使用時期	本剤の使用回数	使用方法	ピカルブトラゾクスを含む農薬の総使用回数
稲（箱育苗）	苗立枯病（ピシウム菌）	育苗箱* 1 箱当たり 6～8 g	播種前	1 回	育苗箱土壌に均一に混和する	3 回以内（土壌混和は 1 回以内 土壌灌注は 2 回以内）
	ムレ苗防止					

* 30 × 60 × 3 cm，使用土壌約 5 *l*.



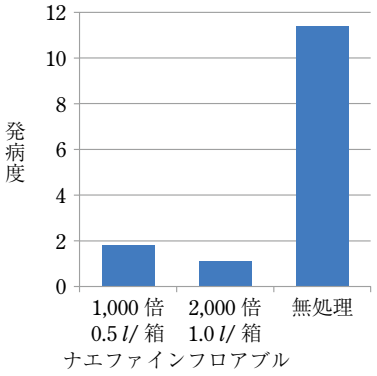
稲苗立枯病（ピシウム菌）に対する効力試験

試験場所：福島県農業総合センター
処理：2012 年 4 月 18 日（播種時）
調査：2012 年 5 月 10 日



稲苗立枯病（フザリウム菌）に対する効力試験

試験場所：日本曹達（株）
榛原フィールドリサーチセンター
処理：2013 年 4 月 5 日（播種時）
調査：2013 年 4 月 30 日



稲苗立枯病（リゾープス菌）に対する効力試験

試験場所：日本曹達（株）
榛原フィールドリサーチセンター
処理：2013 年 4 月 19 日（播種時）
調査：2013 年 5 月 10 日

図-3　ナエファインフロアブルの稲苗立枯病（ピシウム菌，フザリウム菌，リゾープス菌）に対する防除効果

表-4　ピシロックフロアブルの登録内容（2017 年 12 月 26 日現在）

作物名	適用病害名	希釈倍数	使用液量	使用時期	本剤の使用回数	使用方法	ピカルブトラゾクスを含む農薬の総使用回数
だいこん	白さび病 ワッカ症	1,000 倍	100～300 l/10 a	収穫前日まで	2 回以内	散布	2 回以内
ブロッコリー ほうれんそう	べと病						
きゅうり メロン キャベツ レタス 非結球レタス たまねぎ					3 回以内		3 回以内
ミニトマト	疫病						
すいか	褐色腐敗病						
はくさい	べと病			収穫 3 日前まで			

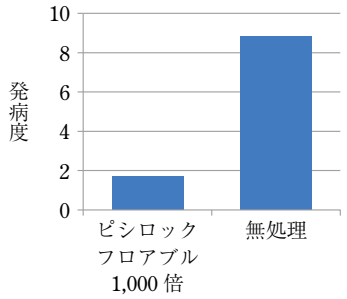
1 成分でピシウム菌，フザリウム菌，リゾープス菌由来の三つのイネ苗立枯病に防除効果を有する初めてのイネ苗立枯防除剤である。前述した通り，ピシウム菌に対しては複数の生活ステージに作用し，特に菌糸伸長阻害活性や遊走子形成阻害活性が高く（図-2），この作用により高い防除効果を示す（図-3）。一方，フザリウム菌やリゾープス菌に対しては抗菌活性を示さないが，防除効果を発揮するユニークな特徴を有しており，新農薬実用化試験においても実用性があることを確認している（図-3）。

また，公益財団法人日本植物調節剤研究協会の水稲関係生育調節剤試験において，「根の生育促進および移植後の活着促進」について実用性が確認されており，今後適用拡大する予定である。

【ピシロックフロアブル】

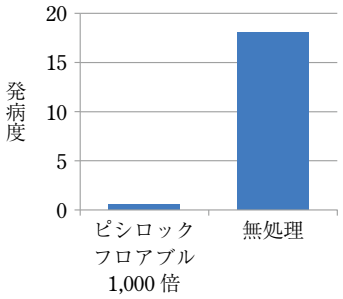
本剤は NF-171 の試験コード名で 2011 年より日本植物防疫協会を通じて公的試験を開始し，2017 年 7 月 18 日に農薬登録が認可された（表-4）。

ピシロックフロアブルは野菜類のべと病，疫病等に対して高い予防効果を示す。また，浸達性を有しており葉の裏側まで薬剤が浸達する。さらに，耐雨性にも優れており，これらのことから圃場においても高い防除効果を示す（図-4）。本剤は収穫前日まで（はくさいは収穫 3 日前まで）使用でき，また有用生物や天敵に対して影響



レタスべと病に対する効力試験

試験場所：長野県野菜花き試験場佐久支場
処理：2012 年 6 月 26 日，7 月 3 日，7 月 11 日
調査：2012 年 7 月 19 日



だいこんワッカ症に対する効力試験

試験場所：青森県産業技術センター野菜研究所
処理：2013 年 8 月 9 日，8 月 19 日
調査：2012 年 9 月 18 日

図-4　ピシロックフロアブルのレタスべと病，だいこんワッカ症に対する防除効果

表-5　クインテクト顆粒水和剤の登録内容（2017 年 12 月 26 日現在）

作物名	適用病害名	希釈倍数	使用液量	使用時期	本剤の使用回数	使用方法	ピカルブトラゾクスを含む農薬の総使用回数
西洋芝（ベントグラス）	ピシウム病 赤焼病	1,000～2,000	0.5 l/m^2	発生初期	5 回以内	散布	5 回以内

が少なく IPM 体系に適した薬剤である。

【クインテクト顆粒水和剤】

本剤は NF-171 の試験コード名で 2012 年より日本植物防疫協会を通じて公的試験を開始し，2017 年 1 月 20 日に農薬登録が認可された（表-5）。本剤は芝のピシウム病や赤焼病に優れた予防効果を示すため，発病前～発病初期の散布が推奨される。また，日本植物調節剤研究協会の芝関係生育調節剤試験において，「夏の高温期の根部衰退軽減」について実用性が確認されており，今後適用拡大する予定である。

お　わ　り　に

ピカルブトラゾクスは既存剤の耐性菌にも有効な新規殺菌剤である。現在のところ本剤の耐性菌は検出されていないため耐性菌発生リスクは不明であるが，リスク低減のために，複数回使用する場合は他系統の殺菌剤とのローテーション使用を推奨する。本剤により作物生産や緑化に貢献できれば幸いである。

殺菌剤ピカルブトラゾクス4剤 新発売!

ピカルブトラゾクスを有効成分とする製品「ピシロックフロアブル」、「クインテクト顆粒水和剤」、
「ナエファインフロアブル」、「ナエファイン粉剤」、の販売を開始しました。
待望の自社新規開発原体を用いた農業用殺菌剤です。昨年の販売開始日以降、大変ご好評を頂いております。

べと病・疫病・白さび病をピシっとロック!

野菜類のべと病・疫病などに

ピシロック® フロアブル

- 卵菌類由来の病害に対して高い効力!
- 新規有効成分ピカルブトラゾクス配合!(FRACコードU17)
- 収穫前日まで使える!(はくさいは収穫3日前まで)
- 登録作物への高い安全性!
- 汚れが少なく使いやすいフロアブル剤!

販売:日本曹達(株)

イメージキャラクター:ピシロックちゃん
野菜を守り卵菌類と戦うキャラクター。鎧に身を包み、特別な鍵前(じょうまえ)モチーフの盾と鍵を持った親しみやすく可愛らしい騎士。鍵や髪の部分のビジュアルはメインターゲットの葉物野菜をイメージ。卵の形をしたやられキャラ。

We are fine,ナエファイン

水稲箱育苗の苗立枯病・ムレ苗に

ナエファイン® フロアブル・粉剤

- 1成分で3種(ピシウム菌、フザリウム菌、リゾープス菌)の苗立枯病菌に防除効果を発揮!
  *ナエファイン粉剤の登録はピシウム菌による苗立枯病のみです。(2017年12月現在)
- 多様な育苗環境でも、安定した防除効果を発揮!

販売:クミアイ化学工業(株)

新しいピシウム病害防除がここからはじまる

西洋芝のピシウム病などに

クインテクト® 顆粒水和剤

- 他剤のピシウム性病害の耐性菌に対して有効
- 生活環の複数のステージに有効
- 長い残効性
- 優れた耐雨性
- 芝への高い安全性

販売:(株)ニッソーグリーン

●使用前にはラベルをよく読んでください。 ●ラベルの記載以外には使用しないでください。 ●小児の手の届く所には置かないでください。
●使用後の空容等は圃場などに放置せず、適切に処理してください。

日本曹達株式会社
本　　社 〒100-8165 東京都千代田区大手町2丁目2番1号
☎(03)3245-6178 FAX(03)3245-6084
ホームページアドレス　http://www.nippon-soda.co.jp/nougyo/

発生予察用調査資材斡旋品目一覧表

（価格は平成30年3月1日現在で，消費税別，送料サービスです。）

●性フェロモン等誘引物質

対象害虫	会社	数量	期間/個	本体価格	対象害虫	会社	数量	期間/個	本体価格
ニカメイガ	サ	12	1ヶ月	7,700円	アリモドキゾウムシ	サ	12	1ヶ月	7,700円
コブノメイガ	サ	12	1ヶ月	10,000円	チャノコカクモンハマキ	住	12	1ヶ月	7,700円
アカスジカスミカメ	ア	12	1.5ヶ月	7,500円		ア	12	1ヶ月	7,700円
アカヒゲホソミドリカスミカメ	信	12	1ヶ月	7,500円	チャハマキ	住	12	1ヶ月	7,700円
	ア	12	1.5ヶ月	7,500円		ア	12	1ヶ月	7,700円
アワノメイガ	サ	12	1ヶ月	7,700円	チャノホソガ	サ	12	1ヶ月	7,700円
フタオビコヤガ	サ	12	1ヶ月	10,000円	チャドクガ	サ	2	1年	10,000円
イネヨトウ	サ	12	1ヶ月	10,000円	モモシンクイガ	住	12	2ヶ月	10,300円
マメシンクイガ	信	12	1ヶ月	7,500円		ア	12	1ヶ月	7,700円
ハスモンヨトウ	住	8	1ヶ月	11,800円	ナシヒメシンクイ	ア	12	1ヶ月	7,700円
	サ	12	1ヶ月	10,000円		サ	12	1ヶ月	7,700円
シロイチモジヨトウ	サ	12	1ヶ月	7,700円	リンゴコカクモンハマキ	住	12	1ヶ月	7,700円
ヨトウガ	サ	12	1ヶ月	10,000円		ア	12	1ヶ月	7,700円
オオタバコガ	サ	12	1ヶ月	10,000円	リンゴモンハマキ	ア	12	1ヶ月	7,700円
タバコガ	サ	12	1ヶ月	10,000円	コスカシバ	ア	12	1ヶ月	7,700円
カブラヤガ	サ	12	1ヶ月	7,700円	ヒメコスカシバ	信	12	1ヶ月	7,500円
タマナヤガ	サ	12	1ヶ月	10,000円	クビアカスカシバ	信	12	1ヶ月	7,500円
タマナギンウワバ	サ	12	1ヶ月	10,000円	モモハモグリガ	サ	12	1ヶ月	7,700円
コナガ	住	12	1ヶ月	7,700円	キンモンホソガ	サ	12	1ヶ月	7,700円
	ア	12	1ヶ月	7,700円	モモノゴマダラノメイガ	サ	12	1ヶ月	10,000円
	サ	12	1ヶ月	7,700円	スモモヒメシンクイ	信	12	1ヶ月	7,500円
ネギコガ	ア	12	1ヶ月	12,900円	ミダレカクモンハマキ	信	12	1ヶ月	7,500円
チャバネアオカメムシ	サ	10	1ヶ月	20,000円	ヒメボクトウ	信	12	1ヶ月	7,500円
	信	5	1ヶ月	19,000円	カシノナガキクイムシ	サ	2	—	16,000円
		＋AUトラップ			シロテンハナムグリ・アシナガコガネ・ヒラタアオコガネ 空カップ3個付 《適用：白色トラップ》	サ	誘1	3ヶ月	4,800円
ナシマルカイガラムシ 専用粘着板20枚付	サ	5	1ヶ月	12,000円					
アカマルカイガラムシ 専用粘着板20枚付	サ	5	1ヶ月	12,000円					
マメコガネ 空カップ3個付 《適用：黄色トラップ》	サ	誘1	3ヶ月	4,800円	カミキリ・ゾウムシ・キクイムシ・ハバチなどの針葉樹寄生性昆虫 エタノール4個付 《適用：黒色トラップ》	サ	誘4	3週間	5,000円
スギノアカネトラカミキリ 《適用：黄色トラップ》	サ	誘4	—	8,800円					
訪花性昆虫 《適用：黄色・白色トラップ》	サ	誘5	—	11,000円					
コナダニ見張番	サ	誘30枚＋トラップ10個		3,500円	誘30枚			2,500円	

●トラップ等捕獲資材

住化式粘着トラップ＜住＞	セット（屋根1台＋粘着板12枚）：3,800円，屋根のみ6台：3,600円，粘着板のみ12枚：3,200円
SEトラップ＜サ＞	【色指定あり：白色・緑色より選定】セット（屋根1台＋粘着板12枚）：3,800円，屋根のみ6台：3,600円，粘着板のみ12枚：3,200円，100枚：26,000円
1Cトラップ＜ア＞	セット（屋根3枚＋粘着台紙6枚）：2,700円，粘着台紙のみ24枚：6,400円
小型粘着板（クワシロカイガラムシ用）＜サ＞	100枚入（1枚：22.5 cm × 12 cm）：15,000円
ファネルトラップ＜サ＞	1台：4,500円
住化式乾式トラップ＜住＞	1台：3,500円
AUトラップ＜信＞	1台：10,000円（チャバネアオカメムシ用）
コガネコール・マダラコール用誘引器＜サ＞	【色指定あり：黄色・白色・黒色より選定】1台：6,800円
粘着シート　「ITシート」＜サ＞	1箱10巻入り（1巻：10 cm × 15 m）【色指定あり：黄色・青色より選定】：14,100円
「虫取り君」＜サ＞	1箱10枚入り10袋（1枚：10 cm × 25 cm）：15,000円
アカヒゲ・アカスジカスミカメ用トラップ＜ア＞	粘着ネット（6枚）：4,950円，粘着ネット用フレーム（6本）：3,300円

（会社名　ア：アース製薬，サ：サンケイ化学，信：信越化学工業，住：住友化学）

上記調査資材の申し込み方法と注意事項について

◆電話での申し込み受付は行っておりませんので，必ず**ホームページからお申し込みいただくか，専用申込用紙をFAXでお送り**下さい。
◆**上記品目は防除には利用できません。防除に利用された場合は「農薬取締法」違反となります。**
　申込の際には必ず「本調査資材を防除目的には使用しない」ことをご明記下さい。記載がない場合にはお取り扱い出来ません。
◆品物はメーカーから直送いたしますが，到着までには1週間程度余裕を見て下さい。
◆商品の性質上，**注文間違いによる返品は出来ません**のでご注意下さい。
◆個人でのお支払いは，現金書留あるいは郵便振替にて前払いでお願いします。　http://www.jppa.or.jp

◎申込先：〒114－0015 東京都北区中里2－28－10　一般社団法人　日本植物防疫協会　支援事業部　FAX(03)5980－6753

学 会 だ よ り

○日本農薬学会第 43 回大会

日時：平成 30 年 5 月 25 日（金）～5 月 27 日（日）
会場：5 月 25 日：秋田ビューホテル：
〒 010-0001 秋田県秋田市中通 2-6-1
26 日，27 日：秋田県立大学秋田キャンパス：
〒 010-0195 秋田市下新城中野字街道端西 241-438
日程：5 月 25 日（金）総会，学会賞授賞式，受賞講演，特別講演，懇親会，受賞祝賀会
5 月 26 日（土）一般講演，ランチョンセミナー，シンポジウム
5 月 27 日（日）一般講演，ランチョンセミナー，シンポジウム
《シンポジウム》
(1)「未来を照らせ！新成分・新活性―第 35 回農薬生物活性研究会シンポジウム―」
（農薬生物活性研究会との共催）
5 月 26 日（土）13:30～
オーガナイザー：濱村謙史朗
「フェアリーリング原因物質の生物活性と農業場面への応用（仮）」
静岡大学グリーン科学技術研究所　河岸洋和
「ジャスモン酸類縁体を用いたアザミウマ類への行動抑制による被害抑制効果（仮）」
理化学研究所バイオリソースセンター　安部　洋
「新規殺菌剤トルプロカルブの生物活性（仮）」
三井化学アグロ株式会社　演者未定
「新規殺菌剤ピラジフルミドの生物活性（仮）」
日本農薬株式会社　演者未定
「新規除草剤フェンキノトリオンの生物活性（仮）」
クミアイ化学工業株式会社 生物科学研究所　永松　敦

広告掲載会社一覧　（掲載順）
ダウ・アグロサイエンス日本(株)…スピノエース
OAT アグリオ(株)……サフオイル
バイエルクロップサイエンス(株)……ビーラム
日本曹達(株)……ピカルブトラゾクス
日本曹達(株)……ピシロック
日本農薬(株)……フェニックス
日産化学工業(株)……スターマイト
アース製薬(株)……フェロモン
サンケイ化学(株)……主要品目
クミアイ化学工業(株)……プロポーズ

(2)「先端技術と農薬の未来像（仮）」
（農薬バイオサイエンス研究会との共催）
5 月 27 日（日）13:30～
オーガナイザー：野下浩二
・東北大学大学院理学研究科　上田　実
・神戸大学大学院科学技術イノベーション研究科　西田敬二
・鳥取大学農学部　岩崎　崇
・農業・食品産業技術総合研究機構　西ヶ谷有輝
・横浜市立大学木原生物学研究所　筧　雄介
大会組織委員会：秋田県立大学生物資源科学部生物活性物質研究室内
委員長　田母神　繁
〒 010-0195 秋田市下新城中野字街道端西 241-438
E-mail：tamo_chem@akita-pu.ac.jp
TEL：018-872-1637

次号予告

次号 30 年 4 月号の主な予定記事は次のとおりです。

平成 30 年度植物防疫事業・農薬安全対策の進め方について　農林水産省消費・安全局 植物防疫課・農産安全管理課 農薬対策室
平成 30 年度植物防疫研究課題の概要　農林水産省　農林水産技術会議事務局
産業用マルチローターによる農薬散布の落下状況　柳　真一
産業用マルチローターによる斑点米カメムシ類とウンカ類の防除　新山徳光
いちご炭疽病菌 *C.gloeosporioides* 種複合体の分離　白須　賢
イチゴ新品種 ‘恋みのり’ が有する炭疽病抵抗性　遠藤みのり
宮城県におけるクモヘリカメムシの発生消長と分布地域　大江高穂
シンポジウムから
農薬に対する正しい知識の普及と理解促進に向けた活動状況　廣岡　卓
農薬販売業者のスキルアップのための取り組み　宮坂初男
植物防疫講座　病害編　ばか苗病　藤　晋一
植物防疫講座　虫害編　イネ セジロウンカ・トビイロウンカ　松村正哉
植物防疫講座　農薬編　リアノジン受容体モジュレーター（IRAC：28）　藤岡伸祐
新農薬の紹介：スルホキサフロル　大上　恵

植物防疫
平成 30 年
3　月　号
（毎月 1 回 1 日発行）
第 72 巻　平成 30 年 2 月 25 日印刷
第 3 号　平成 30 年 3 月 1 日発行
（通算 855 号）
定価 947 円
本体 877 円
平成 30 年分購読料
前払 10,800 円，後払 11,364 円
（送料サービス，消費税込み）
編集発行人　上路　雅子
印　刷　所　三　美　印　刷　㈱
東京都荒川区西日暮里 5-9-8
――発　行　所――
〒 114-0015　東京都北区中里2丁目28番10号
一般社団法人　日本植物防疫協会
電 話（03）5980-2181（代）
FAX（03）5980-6753（支援事業部）
振 替　00110-7-177867番

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。また，無断複写・複製（コピー等）は著作権法上の例外を除き禁じられています。

べと病、疫病、白さび病を

ピシっとロック！

新発売

農林水産省登録　第23952号

殺菌剤　ピカルブトラゾクス水和剤

ピシロック®フロアブル

新規有効成分ピカルブトラゾクス配合！(FRACコード U 17)

収穫前日まで使える！(はくさいは収穫3日前まで)

【登録作物】
キャベツ、はくさい、ブロッコリー、レタス
非結球レタス、ほうれんそう、きゅうり、メロン
すいか、ミニトマト、たまねぎ、だいこん

HPはこちらから

日本曹達株式会社
東京都千代田区大手町2丁目2番1号
☎(03)3245-6178　FAX(03)3245-6084
http://www.nippon-soda.co.jp/nougyo/

®は日本曹達(株)の登録商標

●使用前にはラベルをよく読んでください。●ラベルの記載以外には使用しないでください。●小児の手の届く所には置かないでください。●使用後の空容器等は圃場などに放置せず、適切に処理してください。

チョウ目害虫防除に！

殺虫剤

フェニックス®

®は登録商標

顆粒水和剤

68作物に登録。
幅広く使えて、効きめが長く続く！

フロアブル

果樹・茶のチョウ目害虫、
枝幹害虫の防除にも(ヒメボクトウ、フタモンマダラメイガ等)

日本農薬株式会社　東京都中央区京橋1丁目19番8号
ホームページアドレス http://www.nichino.co.jp/

●使用前にはラベルをよく読んでください。
●ラベルの記載以外には使用しないでください。
●本剤は小児の手の届く所には置かないでください。
●使用後の空容器・空袋等は圃場などに放置せず、適切に処理してください。

作用点まで
しっかり届く!

殺ダニ剤
スターマイト®
フロアブル

殺ダニ成分「シエノピラフェン」配合

だから…

●抵抗性ハダニにもきちんと効く

殺ダニ成分「シエノピラフェン」が、ハダニ体内にある「電子伝達系複合体Ⅱ」にしっかり届き、その働きを阻害するので抵抗性ハダニにも優れた効果を発揮します。

●卵から成虫まで、ハダニの全ステージにしっかり効く

卵・幼虫・若虫・成虫とあらゆる生育ステージが混在して発生するハダニ類。全ステージに効くので、ハダニの様々な発生状況に対応できます。

●ラベルの記載以外には使用しないでください。●使用前にはラベルをよく読んでください。●本剤は小児の手の届くところには置かないでください。

日産化学工業株式会社

商品に関するお問い合せは
農業化学品事業部 03-3296-8141

〒101-0054東京都千代田区神田錦町3-7-1
http://www.nissan-agro.net/

斑点米の原因となる
アカスジカスミカメの発生予察に

EARTH
Act For Life

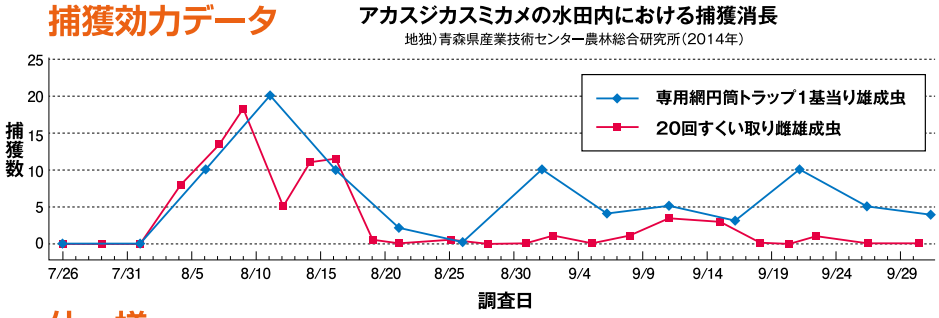
発生予察用フェロモン製剤
フェロモンEBC
アカスジカスミカメ用

専用網円筒トラップ
フェロモンEBC 捕獲用粘着ネット
フェロモンEBC 捕獲粘着ネット用フレーム

フェロモン成分をパラフィンに加え混合、カプセルに充填し徐放性を保つことにより長期間フェロモンのリリースコントロールができます。

耐水性があり、対象害虫以外は捕獲されにくい黒色粘着ネットを採用した専用網円筒トラップと組み合わせることで、容易にアカスジカスミカメの調査が行えます。

捕獲効力データ



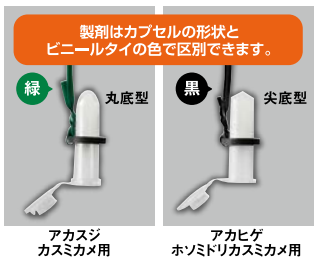
フェロモンEBCアカスジカスミカメ用製剤と専用網円筒トラップを組み合わせることで、水田内におけるアカスジカスミカメ雄成虫の発生消長が明確に捉えられます。

仕　様

商品名	適用作物	内　容	有効期間	使用時期	使用量の目安
フェロモンEBC アカスジカスミカメ用	稲	誘引カプセル12個 ゴムバンド12個 ビニールタイ12本	野外で 約1～1.5カ月	出穂5～7日前から 黄化期まで	1個/10アール

商品名	内　容	使用期間
フェロモンEBC 捕獲用粘着ネット	捕獲用粘着ネット6枚 ビニールタイ18本	1.5～2カ月

商品名	内　容	サイズ
フェロモンEBC 捕獲粘着ネット用フレーム	フレーム6本	幅120mm 高さ580mm



アース製薬株式会社 AOY
〒101-0048 東京都千代田区神田司町2-12-1
お客様窓口 0120-81-6456
受付時間9:00～17:00(土、日、祝日を除く)
http://www.earth-chem.co.jp

SANKEI
ECO PRODUCTS

植物油脂パワー！
サンクリスタル乳剤

チョウ目害虫退治の生物農薬！
サンケイ
サブリナフロアブル

植物保護薬！
サンケイ
ジーファイン水和剤

硫黄の力でうどんこ病防除！
サンケイ
クムラス

安定した銅の効果！
サンボルドー

キュウリ・カボチャのうどんこ病に！
ハッパ乳剤

硫黄と銅の強力タッグ！
園芸ボルドー

サンケイ化学株式会社
本 社　〒891-0122 鹿児島市南栄２丁目９　☎(099) 268-7588
東京本社　〒110-0005 東京都台東区上野 7-6-11　☎(03) 3845-7951

ベンチアバリカルブイソプロピルと
TPNの2つの成分を配合！
べと病・疫病に対して予防効果と
治療効果の高い殺菌剤です。

殺菌剤
2つで安心
プロポーズ®
顆粒水和剤
®はクミアイ化学工業(株)の登録商標です。

JAグループ
農協 | 全農 | 経済連
全農は登録商標 第4702318号

自然に学び 自然を守る
クミアイ化学工業株式会社
本社：東京都台東区池之端1-4-26 〒110-8782 TEL03-3822-5036
ホームページ http://www.kumiai-chem.co.jp

●使用前にはラベルをよく読んでください。●ラベルの記載以外には使用しないでください。●本剤は小児の手の届く所には置かないでください。●防除日誌を記帳しましょう。

植物防疫 VOL.72 No.3
平成30年3月1日 発行（毎月1回1日発行） 定価 947円 本体 877円（送料サービス）
一般社団法人 日本植物防疫協会
〒114-0015 東京都北区中里2丁目28番10号
電話 03(5980)2181 FAX 03(5980)6753
http://www.jppa.or.jp/

雑 誌 04497-03

4910044970381
00877