



生物的防除部会ニュース No. 81

2024 年 4 月 15 日発行

目 次

1. 「自然界における生物間相互作用に関わる生理活性物資の探索と応用利用に向けた研究」
九州大学大学院 農学研究院 和佐野 直也 1 頁
 2. 「熊本県における露地・施設カンキツ類の天敵を活用した害虫防除の取り組み - 防除
体系構築に向けた課題」
熊本県農業研究センター 生産環境研究所 杉浦 直幸 7 頁
 3. 「福島県におけるハダニ類の防除」
福島県農業総合センター果樹研究所 中村 傑 12 頁
 4. 2024 年度 第 1 回 講演会 開催のお知らせ
開催日 : 2024 年 6 月 18 日 (火曜日) 13:30 ~ 17:20 17 頁
- 演題 1 「公設農試で性フェロモン剤による防除技術の開発に携わって
～きっかけとその後～」
協友アグリ(株) 技術顧問 (元長野県野菜花き試験場) 豊嶋 悟郎
13:30 ~ 14:30
- ＜ 休 憩 ＞ 14:30 ~ 14:40
- 演題 2 「IPM の限界それとも進化? ~植物を介して良い虫が働く農業生態系」
綾オーガニックスクール講師(元宮崎大学農学部教授) 大野 和朗
14:40 ~ 16:10
- 演題 3 「SE トラップ (現在の名称: サンケイトラップ) のはなし」
千葉大学園芸学部 非常勤講師 望月 文昭
16:10 ~ 17:20

生物間相互作用研究で見出された生理活性物質の応用利用に向けた取り組み

和佐野 直也

九州大学大学院農学研究院 生物的防除研究施設天敵微生物分野

1. はじめに

自然界では多種多様の生物が生存し、それぞれの種が生き残るため戦略的に生きていこうとしている。生物間相互作用研究は、多様な生物たちの異なる種間関係で引き起こされる現象に注目する。これらの関係が成立する際に、ある特定の分子が大きく関わっている場合が多数報告されており、それらの物質を利用した農薬の開発研究に発展するケースもある。

本稿では、生物間相互作用研究において見出された生理活性物質を用いた応用利用に向けた取り組みについて、私が深く関わった2つの研究事例を紹介する。

2. カイコの寄主選択研究から見出された耐虫性タンパク質

2.1 クワ乳液に高濃度に含まれる耐虫性タンパク質MLX56

クワは、ヒトが数千年前に絹生産を目的としたカイコ飼育し始めたことで注目された植物である。クワに関する多くの研究は、カイコを大きく育てて、上品質の絹を大量に生産させることを目的としたクワ育種学やカイコの成長に関連した栄養生理学的な研究が主流であったが、「カイコはなぜ桑しか食べないのか？」という植食昆虫の食性という視点からの研究アプローチがある。クワを家畜化したカイコは、クワに高度に適応し食性の特異化が著しい昆虫である。Hamamura (1959) は、カイコの摂食

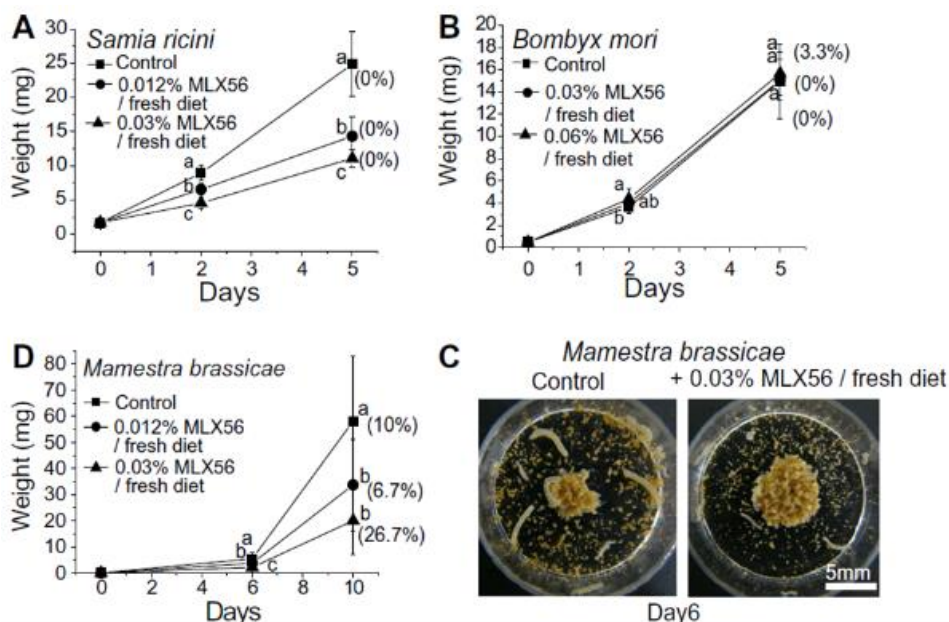


図1 MLX56の鱗翅目幼虫に対する毒性
(A) エリサン (B) カイコ (C, D) ヨトウガ

行動に段階（誘因因子、噛みつき因子、飲み込み因子）があり、それぞれ青葉アルコール類、スクロース、 β シトステロール等が同定されているが、クワ特異的な物質は見つかっていなかった。Konno et al. (2006) は、クワ乳液に高濃度に含まれている糖類似アルカロイド群が耐虫成分であるが、カイコ幼虫にはまったく効果がないと報告している。

Wasano et al. (2009) は、クワ乳液の可溶性高分子画分の中から、耐虫性タンパク質 (MLX56) を精製し、このタンパク質がエリサン、ヨトウガに0.01%濃度で強い成長阻害活性を示すがカイコにまったく毒性を示さないことを見出した (図1)。このタンパク質はプロテアーゼ耐性であり、強いキチン結合活性を有する。MLX56の遺伝子配列から推定されるアミノ酸配列の1次構造は、タンパク質のN末端側に、SPPPPの繰り返し配列であるエクステンシンモチーフが2つのヘベイン様キチン結合部位に挟まれるような特殊な構造を示し、イラサレクチンと類似した構造であり、C末端側はタバコキチナーゼと高い相同性を示す (図2)。植物に特異的に含まれるエクステンシンは、この領域にアラビノース糖鎖を有し高い親水性を示す。エクステンシンモチーフを有するタンパク質群は、一般的に細胞壁に分布し、組織の構造を強化する機能を有している場合が多いが、同じモチーフを有するMLX56がクワ乳液に高濃度 (2%程度) 含まれ、植物の昆虫に対する恒常的な防御機構に大きく関与するタンパク質であることは大きな驚きである。

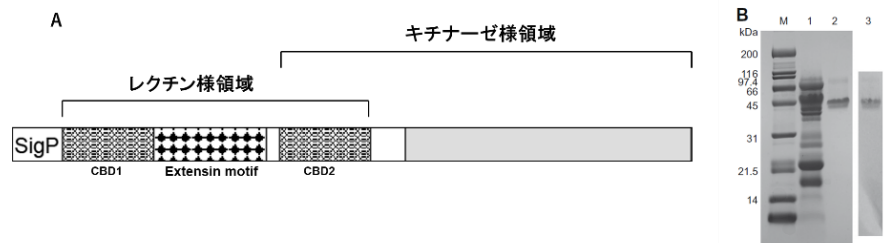


図2 クワ乳液由来耐虫性タンパク質MLX56。(A) MLX56の1次構造 (B) lanes (1)クワ乳液全タンパク質; (2)精製MLX56; (3)シッフ染色。糖鎖で修飾されていることを示す。 Wasano et al. (2009) の図を改変

2.2 MLX56が有する耐虫効果の作用機構

MLX56をエリサンやヨトウガのような広食性昆虫が食下すると、*Bacillus thuringiensis*の産生するCry毒素が引き起こすような中腸などの組織破壊はおこらない (Konno et al. 2018)。FITC 標識した

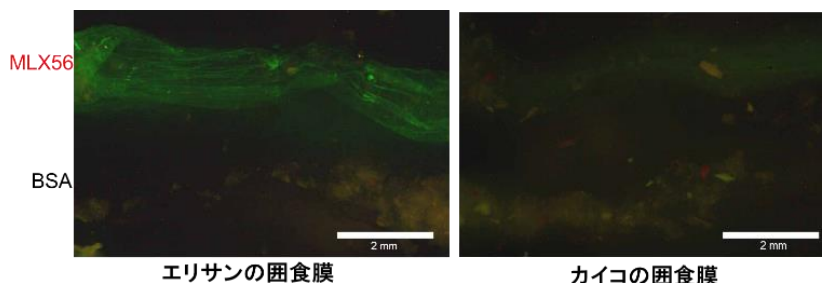


図3 FITC標識MLX56接種して24時間後のエリサン、カイコ胃食膜の蛍光顕微鏡写真。BSAはFITC標識したウシ血清アルブミンを接種した幼虫の胃食膜。

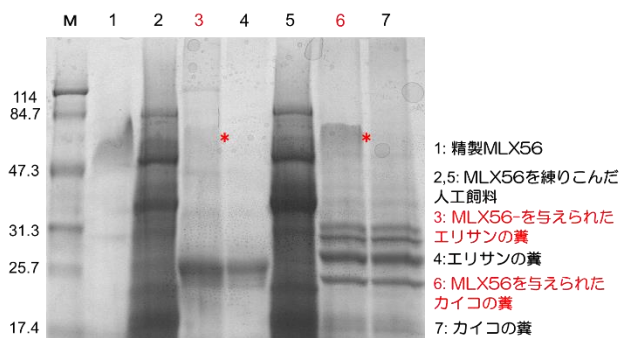


図4 MLX56接種して24時間後に排泄された糞のSDS-PAGE像。カイコはほとんど糞にMLX56が排出されたことを示す。

MLX56をエリサン幼虫、カイコ幼虫に接種し、1日後に解剖し蛍光顕微鏡で観察すると、エリサン幼虫の胃食膜は全体にわたり強い蛍光を示したが、カイコ幼虫のそれにはほとんど蛍光が観察されなかった (図3)。カイコによって食されたMLX56はほとんど未消化のまま糞に排泄された (図4)。これらの結果から、MLX56のターゲットは胃食

膜であり、カイコが有する囲食膜はMLX56との結合性がほとんどなく、ほとんど体外に排泄することで、クワの生体防御機構を回避していることが示唆された（和佐野ら 2010）。興味深いのは、MLX56を摂食したエリサンやヨトウガが、まったく組織が破壊されていないのに、顕著な幼虫の成長阻害が起こることである。MLX56が囲食膜に結合すると何が問題なのか？今後の研究の進展が待たれる。

2.3 クワ耐虫性タンパク質MLX56の応用利用研究

クワ耐虫性MLX56遺伝子を作物に遺伝子導入し、植物にクワ耐虫性を付与することが試みられている。MLX56はクワ乳管細胞に特異的に発現し、複雑な1次構造を持つタンパク質であることから、クワ以外の生物で発現させることは困難であった。Kawazu et al. (2012) は、35Sプロモーター、直列に並べたエンハンサー、 Ω 配列等を含むカセットを持つ発現ベクターにMLX56遺伝子を組み込み、アグロインフィルトレーション法によりタバコ葉、トマト葉、シロイヌナズナ葉でMLX56を発現させることに成功した。これらの植物は、ハスモンヨトウ、コナガ、ヨトウガに対し耐性を獲得しており、深刻な加害をもたらす複数の鱗翅目害虫の防除に有効であることを確認した。

Murata et al. (2021) はMLX56を恒常的に発現するトマト系統を作成し、鱗翅目昆虫以外の害虫（ニジュウヤホシテントウ、ミカンキロアザミウマ）に対する有効性を調査した（図5）。その結果、予想に反し、これら2種昆虫は著しい成長阻害を示した。これらの結果は、MLX56が鱗翅目害虫だけでなく、鞘翅目、総翅目害虫に対しても有効であることを示しており、新たな害虫防除のツールとして有望であることを示している。

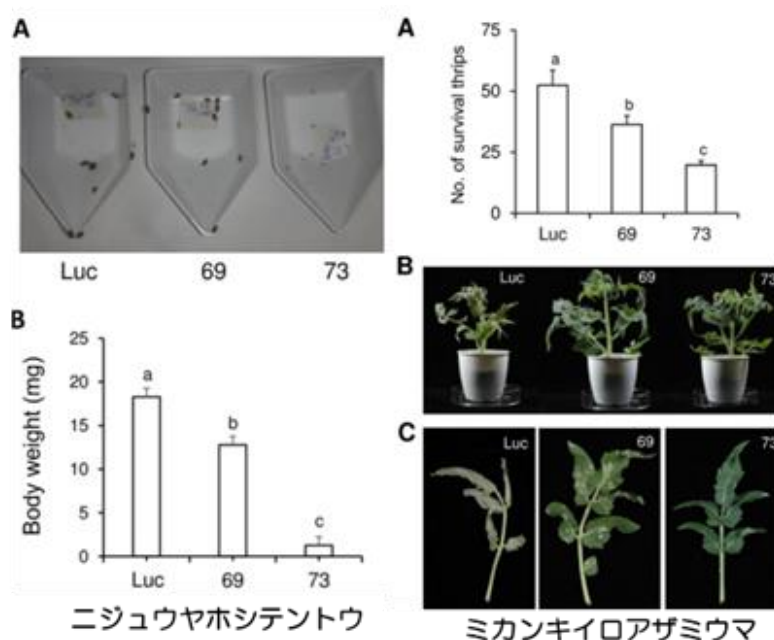


図5 MLX56発現トマトのニジュウヤホシテントウ、ミカンキロアザミウマに対する成長阻害効果。Murata et al. (2021) の図を改変。

3. 植物アレロパシーに関わる生理活性物質の応用利用に向けた取り組み

3.1 ユキヤナギが有するアレロパシー活性

アレロパシーとは、植物が合成する2次代謝産物が環境に放出されることで、その植物に隣接して生息している動植物の成長に大きく影響を及ぼす現象をさすことが多い。植物の有するアレロパシー活性の強さは種によって異なり、それらの植物が有するアレロパシー活性の原因物質（アレロケミカル）の構造は多種多様である。このアレロパシー現象を利用して、田畑に生えてくる雑草を制御する手法がある。たとえば、ナヨクサフジ（ヘアリーベッチ）は、シアナミドとよばれるアレロケミカルを合成し、雑草抑制効果だけでなく緑肥効果をもたらし、畑の被覆植物として種苗会社から種子が販売されている。ここでは、多数の植物種のサンプリングを行い、実験室内で個々の植物のアレロパシー活性を測定し、活性が強い植物のアレロケミカルを特定することで、抑草剤のリード化合物候補として有用化合物候補

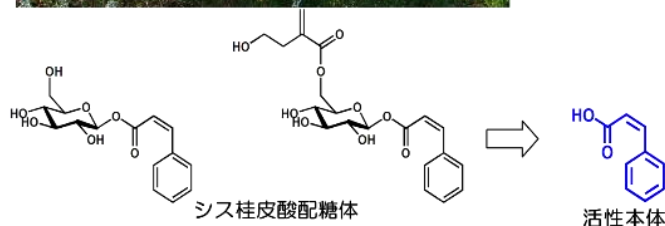


図6 ユキヤナギのアレロケミカル

を選抜していく研究を紹介する。

Morita et al. (2005) は、92種の本植物のアレロパシー活性を測定し、ユキヤナギが強いアレロパシー活性を有することを見出した。Hiradate et al. (2005) はその活性成分を精製、構造決定を行い、アレロケミカルとしてシス桂皮酸配糖体が本体であることを報告した（図6）。これらの研究から、シス桂皮酸をリード化合物として、シス桂皮酸誘導体ライブラリーが作成され、これらの物質群の中から、雑草の生長抑制剤として有効か検討した。

3.2 シス桂皮酸の作用機構

まず、ユキヤナギのアレロケミカル、シス桂皮酸がどのような作用機構で植物の生長を阻害しているのか調査した。Wasano et al. (2013) は、シロイヌナズナを用いたトランスクリプトーム解析を行う

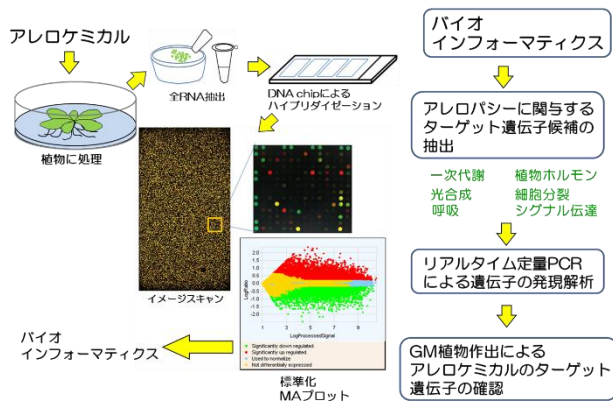


図7 植物アレロケミカルの作用機構解析法

うことで、効率的にアレロケミカル作用機構解析を行う手法を開発した。図7はその手法の模式図である。シロイヌナズナの芽生えをアレロケミカルの水溶液に浸漬し、数時間後、全RNAを抽出し、トランスクリプトーム解析を行う。対照区と比較して発現変動が認められた遺伝子群（DEG）を用いて、Gene Ontology (GO) エンリッチメント解析を行うことで、アレロケミカルの作用機

構を予測することができる。この手法を用いて、シス桂皮酸の生長阻害活性の作用機構を予測したところ、シス桂皮酸は、接種後2時間でオーキシン早期応答遺伝子群の一部を根特異的に発現誘導していることが示唆された（図8）（Wasano et al. 2013）。特に10倍以上の遺伝子発現上昇を示すGH3グループの遺伝子群は、シロイヌナズナ過剰発現系統により植物が矮性になるという報告があり（Takase et al. 2004）、GH3遺伝子群がシス桂皮酸の標的分子であると推定される。

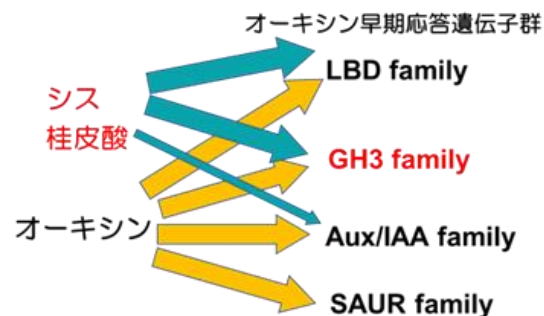


図8 シス桂皮酸が発現誘導するオーキシン早期応答遺伝子群

3.3 シス桂皮酸をリード化合物にした植物生長調整剤の開発

ユキヤナギから単離されたアレロケミカルであるシス桂皮酸は、環境調和型のアグロケミカルとして興味深い有機化合物である。そこで、シス桂皮酸をリード化合物にして様々な誘導体を合成し、シス桂皮酸誘導体ライブラリーを構築した。天然のシス桂皮酸より植物生長阻害活性を増強した誘導体のスクリーニングを行った結果、数種類の除草剤候補となる化合物が選抜された（Abe et al. 2012）。架橋構造によって配座が固定されたシス桂皮酸類縁体が、除草剤開発の素材としてもっとも有力な候補であったが、どのようなメカニズムで植物生長阻害活性が増強したのかトランスクリプトームにより解析した結果、現在販売されているオーキシン剤とほぼ同じ作用機構で植物生長阻害を引き起こしていることがわかり（Wasano et al. 2014）、新規の除草剤を開発するまでには至らなかった。しかし、これら一連の実験を行っていく中で、構築した誘導体ライブラリーの中におもしろい生理活性を有するシス桂皮酸誘導体を発見した。(2Z,4E)-5-phenylpenta-2,4-dienoic acid (Ku-76) (Shindo et al. 2020) は、植物生長阻害活性をまったく示さないにもかかわらず、レタス根の重力応答を顕著にかく乱することを見出した。

Nishimura et al. (2023)は、C4置換型のKu-76が、さらに強い植物の重力応答阻害活性を示し、最終的に10 nMという低濃度で接種しても顕著な重力応答阻害活性を示す(2Z)-4-((2Z-benzylidene)-6-(4-methoxyphenyl)hex-2-en-5-ynoic acid (BMA)を開発した（図9）。BMAは、オーキシン輸送を阻害する機能を有することがわかっており、この物質の標的分子が何であるか大変興味深い、まだその分子が何であるかわかっていない。

植物の重力応答に関わる遺伝子群は、つる

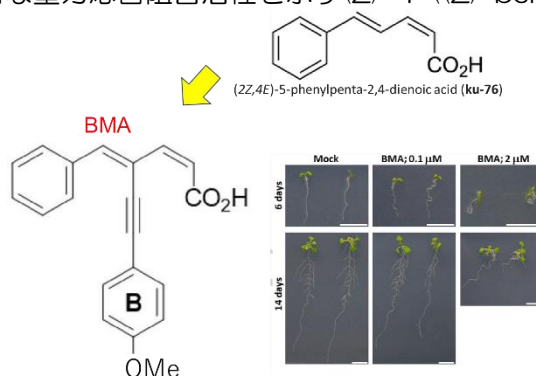


図9 Ku-76をリード化合物にして合成された植物の重力応答阻害剤（BMA）。Nishimura et al. (2023)の図を改変。

性植物がつるの先端の旋回運動により支持体に巻きつき、よじ登りながら生長していくのに必要な機能であるという報告がある（Kitazawa et al. 2005）。BMAは、電柱等に巻きつき繁茂し問題になっているクズ、外来性アサガオ、アレチウリ、アメリカネナシカズラといったつる性雑草対策において効果的な活用が見込まれる。

様々な植物から強いアレロパシー活性を示すアレロケミカルの探索から始まり、ユキヤナギ由来のアレロケミカルであるシス桂皮酸の機能の解明と、応用利用に向けたシーズ開発が同時に農水省の産学官連携研究プロジェクトにより行われたことは興味深い。専門性と研究背景がまったく異なる複数の研究室が集まり、年に数回の報告会を繰り返しながら、研究を進めて行き、いくつもの学術的価値の高い論文が作成された。今後もこのような研究プロジェクトが行われることを切に願う。

引用文献

- Abe M., Nishikawa K., Fukuda H., Nakanishi K., Tazawa Y., Taniguchi T., Park SY., Hiradate S., Fujii Y., Okuda K., et al. (2012) *Phytochemistry* 84: 56–67.
- Hamamura, Y. (1959) *Nature* 183: 1746–1747
- Hiradate S., Morita S., Sugie H., Fujii Y., Harada J. (2004) *Phytochemistry* 65: 731–739.
- Kawazu K., Wasano N., et al. (2012). *Plant Biotechnol.* 29: 495–499.
- Kitazawa D., Hatakeda Y., Kamada M., Fujii N., Miyazawa Y., Hoshino A., Iida S., Fukaki H., Morita M.T., Tasaka, M. et al. (2005) *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 102: 18742–18747.
- Konno K., Ono H., Nakamura M., Tateishi K., Hirayama C., Tamura Y., Hattori M., Koyama A., Kohno K. (2006) *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 103: 1337–1341.
- Konno K., Shimura S., Ueno C., Arakawa T., Nakamura M. (2018) *Phytochemistry* 147: 211–219.
- Morita S., Ito M., Harada J. (2005) *Weed Biol. Manag.* 5: 26–30.
- Murata M., Konno K., Wasano N., Mochizuki A., Mitsuhara I. (2021) *PLOS ONE* 16: e0239958.
- Nishimura T., Makigawa S., Sun J., Kodama K., Sugiyama H., Matsumoto K., Iwata T., Wasano N., Kano A., Terao-Morita M. et al. (2023) *Sci. Rep.* 13: 5173.
- Shindo M., Makigawa S., Matsumoto K., Iwata T., Wasano N., Kano A., Terao-Morita M., Fujii Y. (2020) *Phytochemistry* 172: 112287.
- Takase T., Nakazawa M., Ishikawa A., Kawashima M., Ichikawa T., Takahashi M., Shimada H., Manabe K., Matsui M. (2004) *Plant J.* 37: 471–483.
- Wasano N., Konno K., Nakamura M., Hirayama C., Hattori M., Tateishi K. (2009) *Phytochemistry* 70: 880–888.
- 和佐野直也, 秦珠子, 中村匡利, 今野浩太郎, 平山力 平成22年度蚕糸・昆虫機能利用学術講演会 講演要旨集52.
- Wasano N., Sugano M., Nishikawa K., Okuda K., Shindo M., Abe H., Park SY., Hiradate S., Kamo T., Fujii Y. (2013) *Plant Biotech.* 30: 465–471.
- Wasano N., Sugano M., Nishikawa K., Okuda K., Shindo M., Park SY., Hiradate S., Kamo T., Fujii Y. (2014) *J. Pestic Sci.* 39: 85–90.

熊本県における露地・施設カンキツ類の天敵を活用した害虫防除の取り組み — 防除体系構築に向けた課題

杉浦 直幸
熊本県農業研究センター生産環境研究所

はじめに

熊本県のカンキツ栽培については、主力の温州ミカンをはじめ、甘夏や不知火類などの産地が形成され、主なカンキツ類の生産量は、温州ミカンでは90,035t（全国シェア12%、全国4位）、不知火類では17,962t（全国シェア40%、全国1位）、なつみかんでは6,257t（全国シェア22%、全国2位）となっている（うんしゅうみかん；令和3年産農林水産省果樹生産出荷統計、不知火類、なつみかん；令和元年産特産果樹生産動態等調査）。また、温州ミカンにおいては県育成品種によるリレー出荷、不知火類においては加温、無加温、屋根掛け、露地栽培および長期貯蔵によるリレー出荷がなされ、長期間にわたるカンキツ類の出荷・販売体制が整えられている。

それら多様な品種構成、栽培形態に応じて、カンキツ病害虫の発生状況もそれぞれに異なり、それらに対応したきめ細かな防除対策が必要となっている。特に、産地の中に位置する県果樹研究所は、生産者から「果樹技術の総本山」として信頼と期待を寄せられている。しかし、現地で起こっている諸問題を解決していくためには、生産者から直に教えて頂くことの方が多い。一例として、筆者が普及員であった時期に現地の加温栽培「不知火」園でミカンハダニの発生状況を調べていた際、ハダニ密度が急増したため思わず「防除をした方がよいですよ」とお伝えしたことがあった。しかし、園主の生産者から「しばらく様子をみても大丈夫です」と逆に諭され、実際、その後の調査で土着天敵のケシハネカクシ類が増加し、ミカンハダニの密度を低レベルに抑える現象を目の当たりにした。当然ながら、園地ごとに害虫類の発生状況が異なること、生産者自身が園地状況を一番よく把握されていることなど、基本的なことを改めて教えて頂いた。そのような経験を踏まえながら、カンキツ類のミカンハダニに対する天敵を活用した防除対策に関する研究に携わる機会を得た。

本稿では、露地温州ミカン、施設カンキツ類のミカンハダニに対する天敵を活用した防除対策の取り組みを紹介したい。また、現在問題となっている主要害虫の防除対策にも触れ、総合的な防除体系構築に向けた課題を検討したい。なお、今回の講演では未発表データを含む部分もあるため、詳細を割愛した部分があることをご了承いただければ幸いである。

1. 露地温州ミカンのミカンハダニに対する土着天敵を活用した防除対策の取り組み

①防除体系の違いがミカンハダニの土着天敵類の発生に及ぼす影響

2000年代以降あたりから、現地慣行防除の温州ミカン園において、夏期に発生するミカンハダニがその土着天敵類によって抑制されている可能性があることが報告され（Katayama et al., 2006）、九州各地のカンキツ園でのハダニ類の天敵生息調査においても、慣行防除園・減農薬園ではミヤコカブリ

ダニが、無防除・放任園ではニセラーゴカブリダニが優占種となる傾向にあることが報告されている(岸本ら, 2007)。これらのことから、慣行防除園においても広く土着天敵類が定着しており、防除体系の違いによってカブリダニ類の種類が異なる可能性が考えられた。特に、ニセラーゴカブリダニはジマンダイセンなどの殺菌剤に対する感受性が高いことが知られており(柏尾・田中, 1979)、殺菌剤散布の有無や使用回数とその生産農家圃場での土着天敵類の種構成を左右する可能性もある。そこで、早生温州みかんの慣行防除体系で使用する防除薬剤が園地レベルにおいて土着天敵類の発生にどのような影響を及ぼしているかを検討するため、慣行防除、減農薬防除、殺菌剤無散布の3つの防除体系区を設置し、ミカンハダニとその土着天敵類の発生に及ぼす影響について検討した。

その結果、ミカンハダニの密度は慣行防除区では梅雨明け後に一時的に多発したが、カブリダニ類の密度が上昇しはじめると、その後のミカンハダニの密度は低レベルで推移した。一方、殺菌剤無散布区ではミカンハダニの密度は季節を通して低レベルで抑制され、秋期終盤にやや増加する傾向が見られた。ミカンハダニによる春葉の被害程度は慣行防除区、減農薬区、殺菌剤無散布区の順で高い傾向にあったが、殺菌剤無散布区では秋期終盤のミカンハダニの多発によって被害が追加されるケースも見られた。Phyto trap(写真1)で捕獲された主なカブリダニ類は、殺菌剤無散布区では季節を通してニセラーゴカブリダニが、慣行防除区、減農薬区では、ミカンハダニ多発時にミヤコカブリダニが確認された。(杉浦, 未発表)



写真1. Phyto trap の設置状況

注) Phyto trap の規格は、小池ら(2000)と同一のものである。

②防除回数の違いが土着天敵類によるミカンハダニの密度抑制効果に及ぼす影響

上記試験により、防除体系の違いで異なるカブリダニ類が定着・増殖し、夏期のミカンハダニの密度を抑制する可能性が示されたため、カブリダニ類を保護・活用した防除体系を検証した。試験は上記の果樹研究所のほ場、および、現地ほ場で行い、極早生品種「豊福早生」を用いた。1区6樹～8樹の露地栽培で、ハダニ2回防除(6月下旬、8月下旬)区、ハダニ1回防除(6月下旬)区、無散布区を設置して、ミカンハダニとカブリダニ類等の土着天敵類の発消長を比較した。また、各試験区間の果実品質(糖度、酸度)も比較した。

その結果、現地慣行栽培園でも、土着天敵が夏期のミカンハダニを抑制することが明らかになり、ハダニ1回防除(6月下旬)区は、無散布区に比べ、ミカンハダニの密度を低く抑制し、葉の被害も軽減される傾向となった。また、果実品質については、8月下旬の防除を削減しても慣行防除(ハダニ2回防除)と差はないことが明らかになった。よって、8月下旬の防除を削減しても、土着天敵類によってミカンハダニの密度を抑制されることが明らかになった(杉浦, 未発表)。他方、ホコリダニ類やサビダニ類の秋季の発生が目立つ場合には、臨機防除として8月下旬にそれらのダニ類を同時防除できる殺ダ

二剤を散布する必要がある。

③問題となっている主要害虫類に対する防除対策

露地カンキツにおける土着天敵を活用したミカンハダニ防除の留意事項として、現在問題となっている主要害虫の防除対策も同時に行う必要がある。その対策のなかで、ミカンハダニの土着天敵を保護・活用できる防除体系の構築が必要となる。特に、熊本県ではチャノキイロアザミウマやマルカイガラムシ類の被害防止対策が生産現場から求められている。それら害虫類に対する緊急的な防除対策は速やかに打ち出され、被害の沈静化が図られるものの、それら害虫類の多発要因については解明があまり進んでいないのが現状である。特に、土着天敵類に対する薬剤散布の影響評価については、ハダニ類の土着天敵（カブリダニ類、ケシハネカクシ類など）だけではなく、カイガラムシ類の土着天敵（主に寄生蜂）についても検討すべきであると考える。

2. ハウスミカンのミカンハダニに対する天敵製剤を活用した防除対策の取り組み

熊本県では、中晩柑類「不知火」の栽培の拡大とともに、特にダニ剤の散布回数が多い加温栽培「不知火」において薬剤感受性低下が問題視されており（図1）、ハダニ類の防除体系の確立が急務となっている。また「不知火」以外の加温栽培、特にハウスミカンにおいても薬剤感受性低下が報告されて

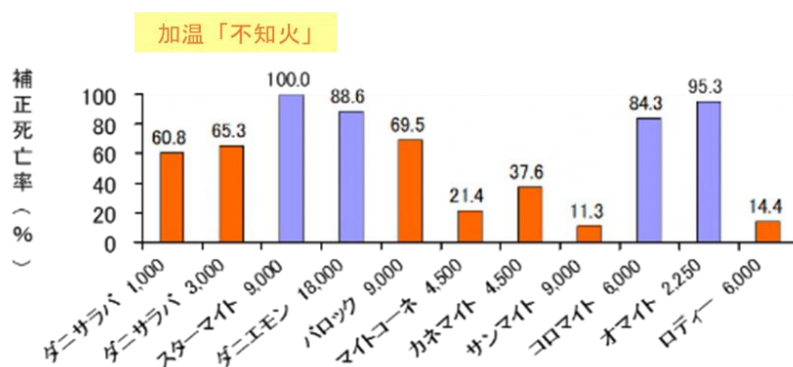


図1. 加温栽培「不知火」におけるミカンハダニの数種殺ダニ剤に対する薬剤感受性（熊本県内現地ほ場：2008年）

注1) 供試薬剤の濃度は実用濃度の3倍希釈した濃度とした。
注2) 検定ほ場数は3～6圃。数値は平均補正死亡率。

いる（神山, 2022）。一方、露地栽培カンキツ類では、薬剤感受性低下は見られない傾向にある（図2）。

これらの傾向は、加温栽培の方が年間に使用される殺ダニ剤の回数が多く、特定の殺ダニ剤が繰り返し使用されることが一因となっている可能性がある。

そこで、ハウスミカンにおいて、薬剤感受性低下を考慮した防除体系の再構築を検討するため、(1)有効薬剤のモニタリング、(2)ハダニ防除体系の見直し、(3)天敵の活用の3点について検討を行った。その中で、ハウスミカンにおけるミカンハダニ

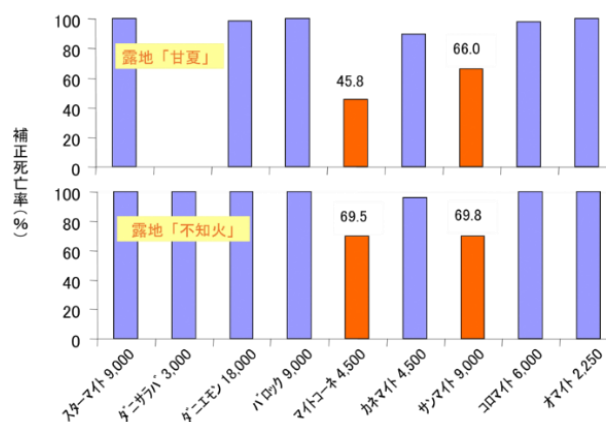


図2. 露地栽培カンキツにおけるミカンハダニの数種殺ダニ剤に対する薬剤感受性（熊本県内現地ほ場：2008年）

注) 露地：甘夏（上段）、露地：「不知火」（下段）。

防除の考え方として、(1)天井ビニール被覆前に、ミカンハダニの密度を0にする、(2)加温開始、開花前などの栽培初期の時期に、マシン油乳剤等を活用して密度抑制を図る、(3)暖候期には密度上昇前に防除を行う（密度増加後の後追い防除では効果が低い）という3点を示し、その基本的な防除の考え方を踏まえたうえで、天敵活用を検証した。

ハウスミカンにおける天敵利用として、試験当初、比較的乾燥した条件下でも天敵カブリダニを安定して増殖・定着させる天敵保護資材（バンカーシート[®]）を供試し、ハウスミカンにおけるミカンハダニに対するバンカーシート[®]の防除効果を検討した。その結果、レギュラータ입（着色果実を収穫する11月20日加温タイプ）のハウスミカンでは、5月下旬までミカンハダニを抑制して殺ダニ剤散布を削減できること、ミカンハダニが栽培途中で増加した場合においてもレスキュー防除により5月下旬までミカンハダニを抑制し、殺ダニ剤散布を削減できることが示された（神山, 2022）

さらに、現地試験の試行錯誤を経て、グリーンタイプ（着色前の青色果実を収穫するタイプ）のハウスミカンでも天敵製剤の利用が広がり、スワルスキー[®] プラス UM を供試して、試験を行った。その結果、園地によってミカンハダニ・スワルスキーカブリダニの発生活長は異なるものの、ミカンハダニの密度は、いずれも要防除水準以下に抑制された（図3）。

現在、各地のハウスミカン部会全体で、ミカンハダニの防除法として天敵利用が定着している。その天敵利用が広がっている背景として、ハダニ防除の基本的な考え方が部会全体で共有されていることが挙げられる。前述の繰り返しになるが、(1)収穫後、加温開始後にマシン油乳剤を活用、(2)天敵放飼前に、殺ダニ剤でミカンハダニの密度を抑制、(3)有効な殺ダニ剤は「切り札」としてできるだけ温存する、という防除の考え方が浸透し、部会員間で情報共有が常に図られている。

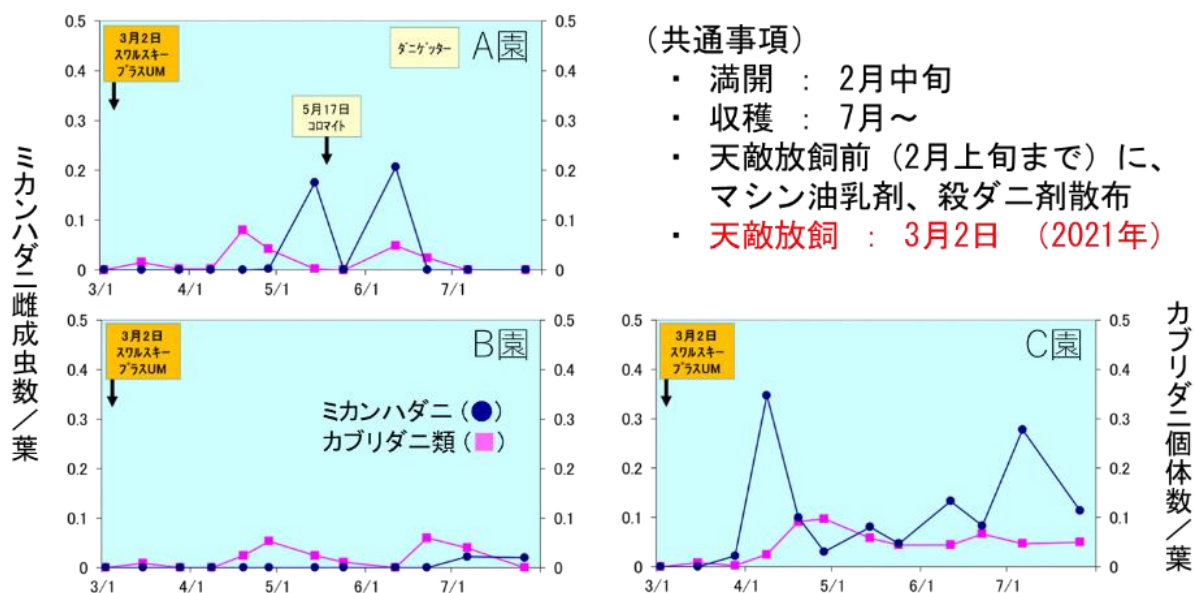


図3. 「グリーン」ハウスミカンでの天敵製剤によるミカンハダニの密度抑制効果（熊本県内現地ほ場:2021年）

他方、熊本県における加温栽培「不知火」での天敵製剤を活用したミカンハダニの防除の取組みは道半ばである。前述のスワルスキーカブリダニを含む天敵資材を検討しているものの、防除効果が不安定な結果となっている。さらに、ホコリダニ、カイガラムシ、小黑点病、汚れ果症などに対して、スワルスキーカブリダニに影響の少ない薬剤を選択する必要があるため、天敵利用を軸とした防除体系の構築が生産現場では困難となっている。そこで、現地では、マシン油乳剤（冬期、夏期）の活用を軸としたミカンハダニの防除を推進しており、その防除対策の中で、カイガラムシ類などの多発傾向ある害虫類にも臨機防除を追加して対応している。

おわりに

露地温州ミカンのミカンハダニに対する土着天敵の活用法としては、(1)慣行防除体系、減農薬防除体系それぞれにおいて、優占種のカブリダニ類を保護・活用すること、(2)アザミウマ類、カイガラムシ類の防除対策においてもカブリダニ類に影響の少ない薬剤を選択し、アザミウマ類、カイガラムシ類の土着天敵類についても影響評価を行い、保護・活用を図る必要があることが挙げられる。一方、施設栽培カンキツのミカンハダニに対する防除対策としては、基本対策として、冬期のマシン油乳剤による密度抑制を図り、ハウスミカンでは天敵製剤の活用を、加温栽培「不知火」では夏期マシン油乳剤や気門封鎖剤の検討を図る必要がある。

露地温州ミカン、施設カンキツ類のミカンハダニに対する天敵を活用した防除対策の取組みは、これまで現地の技術指導員、生産者と意見交換を重ね、それぞれの地域でどのような防除対策を立てていくか、講習会等を通じて検討を重ねてきた。今後も、ここで示した防除の考え方を関係者で共有しながら、よりよい防除対策に練り上げていく作業を続けていく所存である。

引用文献

- 1) Katayama, H. et al. (2006) Appl. Entomol. Zool. 41: 679~684.
- 2) 柏尾具俊・田中学 (1979) 九州病虫害研究会報 25: 153-156.
- 3) 岸本英成ら (2007) 日本ダニ学会誌 16: 129~137.
- 4) 小池 朗ら (2000) 応動昆 44: 35-40.
- 5) 神山光子 (2022) 植物防疫 76: 236-240.

福島県におけるハダニ類の防除

中村 傑

福島県農業総合センター果樹研究所 主任研究員

福島県では、複合交信かく乱剤を導入した防除体系を確立し、有機リン系や合成ピレスロイド系等、非選択性殺虫剤の使用回数および殺虫剤の総使用回数が削減された。さらに、非選択性殺虫剤の削減によりカブリダニ類等の土着天敵が保護され、殺ダニ剤の使用回数が削減された。しかし近年、ハダニ類の増殖に好適な高温乾燥の気象条件が続き、ハダニ類の被害が顕在化している。

福島県における優占種は2008、2009年の調査において、リンゴではリンゴハダニ、モモではクワオオハダニ、ナシではリンゴハダニおよびクワオオハダニと *Panonychus* 属であった。しかし、福島県中通り北部地域のリンゴ園地では2018年以降、ナシ園地では2017年から *Tetranychus* 属のナミハダニによる被害の報告が増加傾向である。これらハダニ類の防除対策として、現地では殺ダニ剤を追加散布しているが、クワオオハダニでは各種殺ダニ剤に対して感受性の低下を示す個体群が確認されていないが、ナミハダニおよびリンゴハダニでは、感受性の低下を示す個体群が確認されている(表1, 2)。このような背景から、殺ダニ剤に過度に依存しない新たな防除体系の確立が求められている。今回は、リンゴにおける気門封鎖剤と土着天敵を活用した総合防除、ナシにおける導入・土着天敵の利用について報告する。

表1 福島県の果樹園から採集したナミハダニの薬剤感受性(中村ら(2021), 北日本病害虫研究会報 72:148-153のデータを引用・抜粋・改変)

供試虫のステージ	供試薬剤名	IRACコード	希釈 倍数	補正死虫率および補正死卵率(%) ^{a)}										
				福島 I ^{b)}	福島 II	福島 III	福島 IV	福島 V	二本松	郡山 I	郡山 II	須賀川 I	須賀川 II	須賀川 III
				リンゴ	リンゴ	リンゴ	オウトウ	モモ	ナシ	ナシ	ナシ	リンゴ	ナシ	リンゴ
				2018	2019	2019	2019	2020	2019	2019	2019	2017	2017	2018
雌成虫	ミルベメクチン乳剤	6	1,000	100	100	100	100	100	100	－	100	100	100	100
雌成虫	BPPS水和剤	12C	750	－ ^{c)}	100	100	100	100	－	－	94.8	－	－	－
雌成虫	クロルフェナビル水和剤	13	2,000	－	－	64.6	13.8	0	－	－	30.6	－	－	－
雌成虫	アセキノシル水和剤	20B	1,000	－	80.1	79.3	98.7	81.5	34.7	－	89.0	98.2	100	42.0
雌成虫	ピフェナゼート水和剤	20D	1,000	－	100	100	100	92.3	98.7	－	100	－	－	100
雌成虫	テブフエンピラド水和剤	21A	1,000	－	－	0	13.8	0	－	－	22.7	－	－	30.7
雌成虫	シフルメトフェン水和剤	25A	1,000	72.1	63.4	10.4	17.9	0	0	16.7	56.3	88.0	98.2	19.3
雌成虫	シエノピラフェン水和剤	25A	2,000	22.1	0.8	23.2	18.8	0	34.7	73.2	54.4	－	－	44.6
雌成虫	ピフルブミド水和剤	25B	2,000	24.4	69.3	75.4	34.3	51.3	95.8	43.2	88.2	100	－	72.7
卵	スピロメシフェン水和剤	23	2,000	－	94.8	100	100	70.8	100	－	93.0	－	－	100

a) 供試ステージが雌成虫の場合、供試薬剤処理48時間後の補正死虫率(%)を示す。供試ステージが卵の場合、供試薬剤処理6日後の補正死卵率(%)を示す。

補正死虫(卵)率(%) = {(対照区生存虫(孵化)率 - 処理区生存虫(孵化)率) / 対照区生存虫(孵化)率} × 100

b) 各地域名の市町村は省略した。

c) -は未試験を示す。

表2 福島県のリンゴ園から採集したリンゴハダニの薬剤感受性（中村ら（2021），北日本病害虫研究会報 72:141-144 のデータを一部抜粋・引用）

供試虫のステージ	供試薬剤名	IRACコード	希釈倍数	補正死虫率および補正死卵率(%) ^{a)}										
				福島 ^{b)}	伊達	二本松	須賀川Ⅰ	須賀川Ⅱ	磐梯	会津若松Ⅰ	会津若松Ⅱ	会津板下Ⅰ	会津板下Ⅱ	会津板下Ⅲ
				2018	2017	2017	2018	2020	2019	2016	2017	2016	2017	2017
雌成虫	ミルベメクチン乳剤	6	1,000	100	100	100	100	100	100	100	100	100	-	-
雌成虫	BPPS水和剤	12C	750	- ^{c)}	-	-	-	-	79.0	-	-	-	2.5	94.9
雌成虫	アセキノシル水和剤	20B	1,000	100	-	100	-	59.3	100	22.5	74.3	47.4	93.1	87.2
雌成虫	ビフェナゼート水和剤	20D	1,000	50.6	-	95.0	-	79.0	100	23.9	55.4	-	-	-
雌成虫	テブフェンピラド水和剤	21A	1,000	100	90.2	93.0	78.3	-	100	89.9	-	-	96.7	98.4
雌成虫	シフルメトフェン水和剤	25A	1,000	100	90.2	94.0	82.6	61.4	100	85.2	33.0	94.4	-	-
雌成虫	シエノピラフェン水和剤	25A	2,000	100	100	100	65.4	13.6	100	92.4	98.0	98.6	-	-
雌成虫	ビフルブミド水和剤	25B	2,000	100	-	100	100	79.7	100	98.5	100	100	64.3	-
卵	スピロメシフェン水和剤	23	2,000	100	-	-	100	100	100	-	82.6	-	-	-

a) 供試ステージが雌成虫の場合，供試薬剤処理 48 時間後の補正死虫率（％）を示す．供試ステージが卵の場合，供試薬剤処理 6 日後の補正死卵率（％）を示す．

補正死虫（卵）率（％）＝

$$\{(\text{対照区生存虫（孵化）率} - \text{処理区生存虫（孵化）率}) / \text{対照区生存虫（孵化）率}\} \times 100$$

b) 各地域名の市町村は省略した．

c) -は未試験を示す．

2022 年，気門封鎖剤を主体とした防除体系に，異なる下草管理手法を組合せた 3 試験区を設け，ハダニ類及びカブリダニ類の発生様相を慣行区と比較，検証した．試験区 1（気門封鎖剤防除体系+下草高刈り・株元草生），試験区 2（気門封鎖剤防除体系+下草高刈り・株元清耕），試験区 3（気門封鎖剤防除体系+下草慣行・株元清耕）及び慣行区（慣行防除体系+下草慣行・株元清耕）とした．なお，下草高刈りは 8～9cm，下草慣行は 1～3cm の刈高で草刈り，株元清耕は除草剤で株元の下草を管理（慣行管理），株元草生は草刈機で株元の下草を 8～9cm の刈高で管理した．また，気門封鎖剤防除体系は，プロピレングリコールモノ脂肪酸エステル乳剤をハダニ類の発生に併せて使用し，他の殺ダニ剤は使用しなかった．慣行区は，会津地域のリンゴ園における一般的な管理（殺ダニ剤は会津地域の地方防除暦に従いアシノナビル水和剤，ミルベメクチン乳剤，プロピレングリコールモノ脂肪酸エステル乳剤を使用，下草は下草慣行・株元清耕で管理）を行った．調査は，葉に寄生したハダニ類雌成虫（種別）及びカブリダニ類成若幼虫数を 5～9 月まで約 2 週間間隔で計数した．

その結果，ハダニ類の密度は全区で要防除水準（1 葉当たりハダニ類雌成虫 1 頭）を超えず，少発生となった（図 1）．確認されたハダニ類は，試験区 1～3 では，調査期間中リンゴハダニが優占し，カブリダニ類の発生は低密度ながら 5 月からみられ，6 月下旬にはリンゴハダニの発生ピークに併せて増加した．また，リンゴハダニ発生ピーク時，試験区 1，2 は試験区 3 と比較してカブリダニ類が多く確認された．一方，慣行区では，5 月はナミハダニが優占していたが，7 月以降は，リンゴハダニが

優占し、カブリダニ類の発生も確認された。以上のことから、ハダニ類に対する気門封鎖剤防除体系の効果は慣行区と同等であり、カブリダニ類に対する悪影響も小さいと考えられる。また、下草刈りによりカブリダニ類が温存されることが示唆されたが、株元の下草管理による違いは判然としなかった。

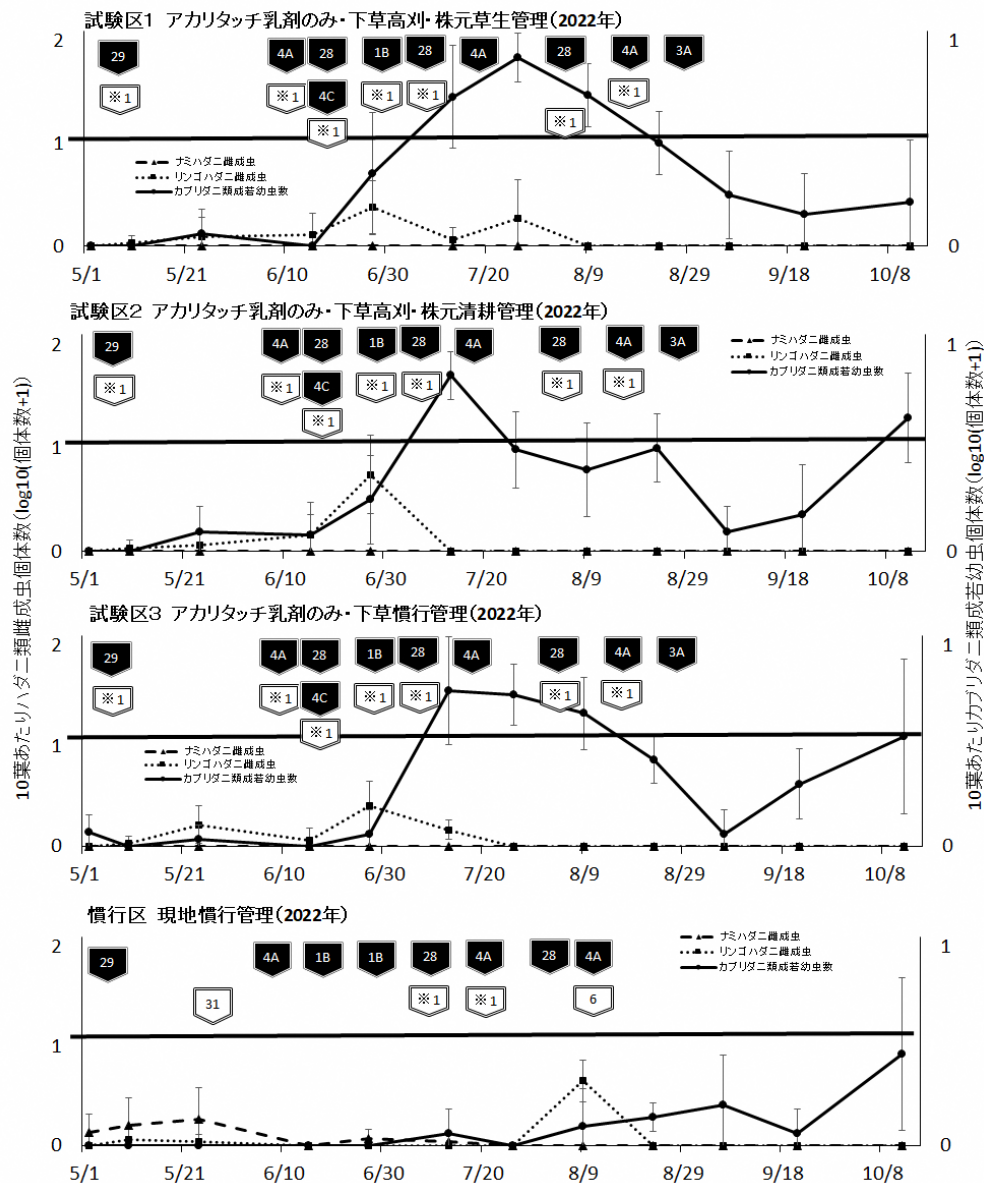


図1 リンゴ園における防除体系がハダニ類とカブリダニ類の発生に及ぼす影響（会津坂下町杉山地区,2022年）

注1) 各区に5樹の調査樹を設け、任意に1樹当たり20葉を採取しハダニ類とカブリダニ類の個体数を調査した。

注2) ■は、殺虫剤のIRACコードを示す。

注3) □は、殺ダニ剤のIRACコードを示す。

※1はプロピレングリコールモノ脂肪酸エステル乳剤 2,000倍の散布を示す。

注4) 表内の太線は、ハダニ類の要防除水準（ハダニ類雌成虫1頭/1葉相当）を示す。

注5) エラーバーは、標準偏差を示す。

注6) 図に示した値は対数変換（ $\text{LOG}_{10}(N+1)$ ）した値を示す。Nはハダニ類雌成虫及びカブリダニ類成若幼虫の10葉あたりの個体数を示す。

ナシほ場において、市販のミヤコカブリダニ放飼（商品名：ミヤコバンカー®）およびカブリダニ類に影響の小さい防除体系（以下、天敵保護防除体系）がハダニ類およびカブリダニ類の発生に及ぼす影響について2020～2022 年に福島市で検証した。試験区は、

試験区 A:ミヤコカブリダニ放飼および天敵保護防除体系、試験区 B:天敵保護防除体系、慣行区:現地慣行防除体系の3区を設けた。調査は、葉に寄生したハダニ類雌成虫（種別）及びカブリダニ類成若幼虫数を5～10月まで約1週間間隔で計数した。

その結果、天敵保護防除体系でミヤコカブリダニを放飼した場合は、ハダニ類の密度は他の区と比較して最も少なく、殺ダニ剤の散布を要しなかった（図2）。天敵保護防除体系のみの場合は、要防除密度を超えた年が2年あり殺ダニ剤の散布を行った。なお、天敵保護防除体系ではカンザワハダニ主体の発生でフツウカブリダニが6月から断続的に確認された（表3）。慣行防除体系はナミハダニ主体の発生で、ハダニ類の密度が増加した8月以降にケナガカブリダニを中心にカブリダニ類の発生が確認された。ミヤコカブリダニ放飼区ではハダニ類は低密度であったが、調査ではミヤコカブリダニがほとんど確認されなかったことから、その要因について明らかにする必要がある。

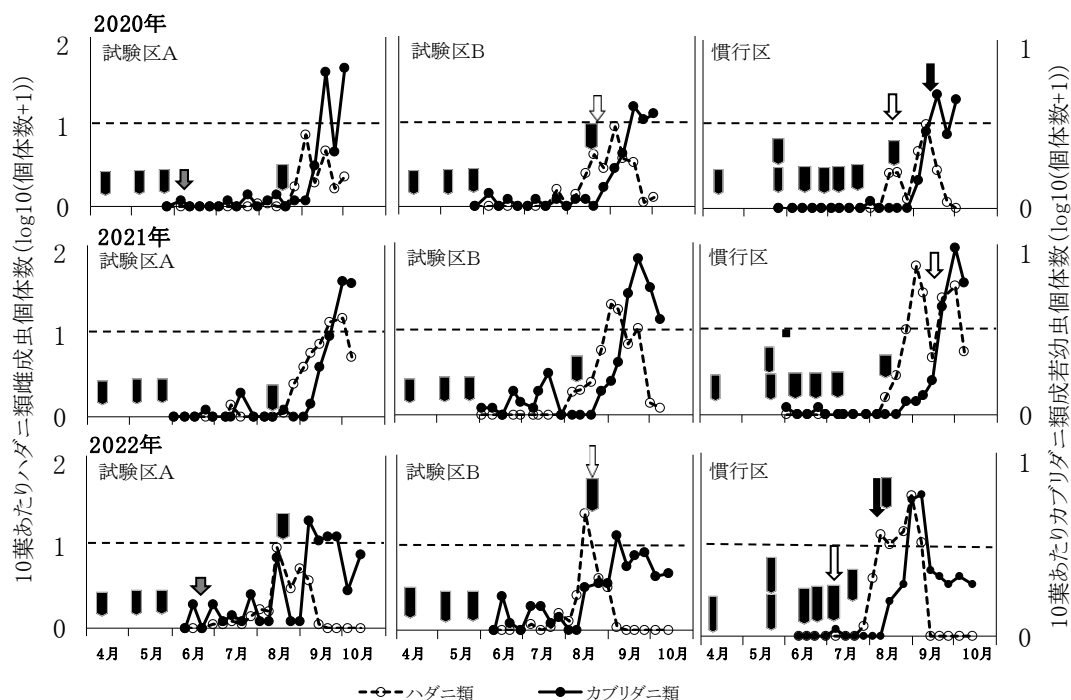


図2 各防除体系区におけるハダニ類およびカブリダニ類の発生消長の推移と殺虫剤と殺ダニ剤の使用時期（福島市，2020～2022 年）（中村ら（2023），北日本病害虫研究会報 74:104-111 のデータを引用）

- ：カブリダニ類に影響の大きい殺虫剤の散布
- ◻↓：ミヤコカブリダニ放飼
- ◻↓：カブリダニ類に影響の小さい殺ダニ剤の散布
- ↓：カブリダニ類に影響の大きい殺ダニ剤の散布

図内の横点線は、福島県のハダニ類要防除水準（1 葉当たりハダニ類雌成虫 1 個体，ハダニ類個体数（log10（個体数+1））y 軸:1.041）を示す。

表3 ハダニ類およびカブリダニ類の種構成（福島市，2020～2022 年）（中村ら（2023），北日本病害虫研究会報 74:104-111 のデータを引用・改変）

区の設定	ダニの種類	種名	2020年		2021年		2022年	
			合計 (頭) ^{a)}	割合 (%) ^{b)}	合計 (頭) ^{a)}	割合 (%) ^{b)}	合計 (頭) ^{a)}	割合 (%) ^{b)}
試験区A	ハダニ類	ナミハダニ雌成虫	50	33.6	122	27.0	78	38.8
		カンザワハダニ雌成虫	85	57.0	323	71.5	93	46.3
		クワオオハダニ雌成虫	14	9.4	7	1.5	30	14.9
		合計	149		452		201	
	カブリダニ類	フツウカブリダニ	37	44.6	51	39.8	46	29.3
		ニセラーゴカブリダニ	28	33.7	14	10.9	51	32.5
		ミチノクカブリダニ	0	0.0	0	0.0	7	4.5
		コウズケカブリダニ	0	0.0	0	0.0	0	0.0
		ミヤコカブリダニ	11	13.3	16	12.5	13	8.3
		ケナガカブリダニ	7	8.4	47	36.7	40	25.5
		合計	83		128		157	
試験区B	ハダニ類	ナミハダニ雌成虫	99	44.6	137	22.5	89	27.9
		カンザワハダニ雌成虫	120	54.1	335	54.9	205	64.3
		クワオオハダニ雌成虫	3	1.4	138	22.6	25	7.8
		合計	222		610		319	
	カブリダニ類	フツウカブリダニ	42	54.5	119	51.5	86	66.2
		ニセラーゴカブリダニ	21	27.3	18	7.8	8	6.2
		ミチノクカブリダニ	0	0.0	0	0.0	1	0.8
		コウズケカブリダニ	1	1.3	3	1.3	0	0.0
		ミヤコカブリダニ	4	5.2	33	14.3	6	4.6
		ケナガカブリダニ	9	11.7	58	25.1	29	22.3
		合計	77		231		130	
慣行区	ハダニ類	ナミハダニ雌成虫	154	93.9	1743	99.4	940	100.0
		カンザワハダニ雌成虫	10	6.1	11	0.6	0	0.0
		クワオオハダニ雌成虫	0	0.0	0	0.0	0	0.0
		合計	164		1754		940	
	カブリダニ類	フツウカブリダニ	31	35.6	25	13.4	4	2.5
		ニセラーゴカブリダニ	3	3.4	5	2.7	13	8.1
		ミチノクカブリダニ	1	1.1	0	0.0	9	5.6
		コウズケカブリダニ	1	1.1	0	0.0	1	0.6
		ミヤコカブリダニ	2	2.3	53	28.3	3	1.9
		ケナガカブリダニ	49	56.3	104	55.6	130	81.3
		合計	87		187		160	

a) 各区に5樹の調査樹を設け，任意に1樹当たり20葉を採取しハダニ類とカブリダニ類の個体数を調査した．表に示した値は各区の合計頭数を示す．

b) 合計頭数に対する割合(%)を示す．なお，雄，幼虫，不明虫に関しては表から除外した．

※ 元のデータから，経時的変化は削除し合計頭数および割合のみを記載した．

生物的防除部会
2024 年度 第 1 回オンライン講演会のお知らせ

生物的防除部会 2024 年度第 1 回講演会を下記の通り開催いたします。
会員の皆様はじめ多くの方がご参加くださいますようお願い致します。

記

日 時 : 2024 年 6 月 18 日 (火) 13 時 30 分～17 時 20 分
会場および Zoom ウェビナーによるハイブリッド形式

**演題 1 「公設農試で性フェロモン剤による防除技術の開発に携わって
～きっかけとその後～」**

協友アグリ㈱ 技術顧問 (元長野県野菜花き試験場) 豊嶋 悟郎

30 年ほど県農試の立場で IPM に関する技術開発に取り組み、その中で性フェロモン剤にも関わった。最初の出会いはコナガコン。当時もコナガの抵抗性発達が問題で、BT 剤以外に有効な剤はないと言われる状況。当時登録が取れていたコナガコンを、長野県の生産現場で有効活用するための実証試験に取り組んだ。その後、レタス、アスパラガス、トマトなどでオオタバコガの被害が見られるようになった。その際、生産現場からのちょっとした情報を基に、性フェロモン剤の新たな展開が始まった。そんなきっかけとその後の展開、そしてこれからについて紹介したい。

13:30 ～ 14:30

＜ 休 憩 ＞

14:30 ～ 14:40

演題 2 「IPM の限界それとも進化？～植物を介して良い虫が働く農業生態系」
綾オーガニックスクール講師(元宮崎大学農学部教授) 農学博士 大野 和朗

近年、総合的病害虫管理 (IPM) に対する批判、さらにパラダイムシフト的な代替案もなされている。一方で、重要な生物的防除技術として保全的生物的防除 (CBC) が注目されている。CBC では天敵 (成虫あるいは幼虫も) が必要とする植物質餌供給のための植生管理や生息場所管理などによる天敵強化 (Enhancement) の取組みの重要性が指摘されている。本講演では、植物を介した天敵強化の最近の知見を紹介し、あわせて「みどりの食料システム戦略」との関連から有機栽培での害虫管理を考えてみたい。

14:40 ～ 16:10

演題3 「SEトラップ（現在の名称：サンケイトラップ）のはなし」

千葉大学園芸学部 非常勤講師 望月 文昭

JPPA オンラインストア（日本植物防疫協会）の商品カテゴリから《粘着式トラップ》をクリックすると、「住化式粘着トラップ」と「サンケイトラップ」の2種類が表示されます。このうち後者は、2021年10月までSEトラップと呼ばれていました。

本講演では、私が信越化学工業在籍中、SEトラップに関して体験したことや読んだ論文のなかで、面白いと感じた話を紹介したいと思います。

1. 特徴 (使い勝手が良いところ、悪いところ)
2. SEトラップ（白）（緑） (白色は何のため？緑色はなぜあるの？)
3. 粘着面の蛾をまるごと食べるアマガエル対策 (1グラムのNaClの忌避効果)
4. アカヒゲホソミドリカスミカメを捕獲する (底板と屋根の間に柱を立てる)
5. ウコンノメイガを捕獲する (草冠高より低い位置に取付ける)

16:10 ~ 17:20

< 懇親会 >

17:30 ~

講演会終了後、演者の皆さんを囲んで懇親会を行います。

参加を希望される方は会場で講演会参加申込の際、懇親会への参加有無をお知らせ下さい。(参加費 3,000円)

連絡先 生物学的防除部会 事務局

厚井 隆志 E-mail takashi.koi@nifty.ne.jp

< 講演会参加 申し込み要領 >

講演会への参加をご希望される方は、当会のホームページ(<http://www.ipm-bio.jp/>)より申込フォームにアクセスし、必要事項をご記入の上ご登録ください。申込フォームは5月以降作成予定です。オンライン参加の方には開催日までにZoomの接続情報をメールでお知らせ致します。

生物学的防除部会

検索