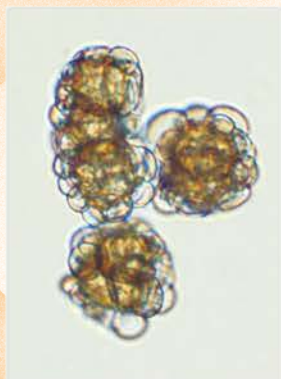


植物防疫

8

Plant Protection

2019 VOL.73



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

■ - BASF

We create chemistry

果樹専用殺菌剤

アクサー[®]フロアブル

実る果実が
待ち遠しい

- 新規有効成分「ゼミウム[®]」配合
- 幅広い病害に安定した効果
- 安定した予防効果はもちろん、優れた治療効果もあり

BASFジャパン株式会社

〒103-0022 東京都中央区日本橋室町3丁目4番4号 OVOL日本橋ビル3階
☎ 0120-014-660 <https://agriculture.basf.com/jp>

©-BASF社の登録商標



速く効く。
あの害虫にも効く。^{*1}

だから、
収量に差がつく。^{*2}

対象害虫の幅広さ
チョウ目害虫やアザミウマなど幅広い害虫^{*1}に効く。

効きの速さ
有効成分が直接害虫に作用するから、作物が食べられる前に駆除できる。

大切な作物の食害を抑え、収量を確保したい。
決め手は「効きの速さ」と「対象害虫の幅広さ」。
食べられる前に害虫を駆除、新規殺虫剤 グレーシア。

新発売

野菜・
茶用殺虫剤

グレーシア[®] 乳剤



- 新規有効成分フルキサメタミド配合。抵抗性コナガにも卓効
- 葉内に薬剤が浸透、葉裏の害虫も退治
- 幅広いチョウ目害虫に効果
- 殺虫効果は約2週間持続

*1 作物によって適用害虫は異なります。詳しくはWebをご覧ください。*2 効果は害虫の発生密度や天候、栽培環境等によって異なる場合があります。



お客様窓口 TEL.03-4463-8271 (9:00~17:30 土日祝日除く)

東京都中央区日本橋二丁目5番1号
<https://www.nissan-agro.net/>

 **日産化学株式会社**



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
サブリーナフロアブル**



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



ナティーボ®
フロアブル

かんきつの**黒点病防除**に、
収穫前日まで使える。

開花期のそうか病、灰色かび病、黒点病を
同時防除できます。



●使用前にはラベルをよく読んで下さい。●ラベルの記載以外には使用しないで下さい。●本剤は小児の手の届く所には置かないで下さい。◎ナティーボはバイエルグループの登録商標

バイエル クロップサイエンス株式会社

東京都千代田区丸の内1-6-5 〒100-8262 <https://cropscience.bayer.jp/>

お客様相談室 ☎0120-575-078 9:00~12:00、13:00~17:00
土・日・祝日を除く

目次

巻頭言

- 一般社団法人日本植物病理学会の設立に向けて 栢植 尚志 1

薬剤抵抗性研究の最前線

- トビイロウンカのイミダクロプリド抵抗性の遺伝様式 真田 幸代 2

研究報告

- 北海道における薬剤耐性テンサイ褐斑病菌について 栢森 美如 6

調査報告

- 青森県におけるリンゴのナミハダニに対する殺ダニ剤の効力の推移 木村 佳子 14

新技術解説

- オニオンパウダートラップによるネダニ類生息数調査法とそれを活用した防除体系の構築
..... 笥 美咲・高岡誠一 20
- 薬剤効果試験のためのチバクロバネキノコバエ自然発生促進方法および簡易飼育方法 小林 政文 24

トピックス

- サツマイモ基腐病(仮称)の発生と対策 小林 有紀 29
- 侵入が警戒されるセグロモミバエの誘引剤に係る近年の研究の動向
..... 上地俊久・金田昌士・佐々木幹了・松浦秀明・戒能洋一 34

植物防疫講座

- 病害編-20 黒穂病菌の分類・接種法と防除—イネ科植物寄生菌について— 月星隆雄・田中文夫 40
- 虫害編-19 ヨトウムシ類の発生生態と防除 八瀬 順也 46
- 農薬編-20 ミトコンドリア電子伝達系複合体I (NADH 酸化還元酵素) および複合体II
(コハク酸脱水素酵素) に作用する殺菌剤 富田啓文・山下真生 51

新農薬の紹介

- 新規殺菌剤フルキサピロキサド (Xemium[®], ゼミウム[®]) の特長 山下慶晃・片山博文 59

研究室紹介

- 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
病害防除体系グループ 大西 純 63
- 長崎県農林技術開発センター 果樹・茶研究部門 カンキツ研究室 柴田真信 64

- 農林水産省プレスリリース (2019.6.6~2019.7.9) 50
- 新しく登録された農薬 (2019.6.1~6.30) 5
- 登録が失効した農薬 (2019.6.1~6.30) 33
- 発生予察情報・特殊報 (2019.6.1~6.30) 62

【表紙写真】

上段左：テンサイ褐斑病による被害
上段右：坪枯れとトビイロウンカ成虫
下段左：ヨウトウ類 上からヨトウガ成虫、ハスモンヨトウ成虫、シロイチモジヨトウ成虫
下段中：シバムギから(稈)黒穂病菌の厚膜胞子
下段右：チバクロバネキノコバエ成虫

私たちの多彩さが、
この国の農業を笑顔にします。



殺虫剤

**ロビコフッド デリアナ プレオ® スミチオン® ダントツ
パダン アディオン® エスマルダ® コツツA®**

殺菌剤

**ニマイバー スクレア ピクシオ ベネセット ベンレート®
ブラシン® スミレックス® リンバー® バリダシン® スターナ®**

殺虫殺菌剤

**新規剤 箱将軍® ハコナイト® スタウトパダン® 箱大臣® 箱王子®
スタウトパディート® 箱いり娘® スタウトダントツ®**

水稲用除草剤

**新規剤 マスラオ® ゼータタイガー® ゼータハンマー® メガゼータ® 忍®
ゼータファイヤ® フルゼータ® ズエモン® カットダウン® オサキニ®**

植物成長調整剤

ジベレリン協和® ロミカ®

®は登録商標です。

●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。●空袋・空容器は圃場等に放置せず適切に処理してください。

〒104-8260 東京都中央区新川1丁目27番1号 お客様相談室



0570-058-669


農業支援サイト **農力** <https://www.i-nouryoku.com>



大粒のめぐみ、まっすぐ人へ
SCG GROUP



住友化学


 巻頭言

一般社団法人日本植物病理学会の 設立に向けて



中部大学 応用生物学部 **う** **げ** **たか** **し**
植 **尚** **志**

日本植物病理学会は、2020年の「一般社団法人日本植物病理学会」設立に向け準備を進めています。

本学会は、2015年に創立100周年を迎えました。1916年（大正5年）12月2日、東京・駿河台のフランス料理店「多加羅亭」で在京の植物病理学関係者10数名の懇親会が催され、その席で植物病理学会の創立が提案され、満堂の賛成を得て創立の運びとなりました。創立時の会員数は111名（うち団体会員1）、事務所を東京西ヶ原農事試験場病理部内に置き、当初、講演会を定期的に開催し、1918年（大正7年）2月には日本植物病理学会報（英名：Annals of the Phytopathological Society of Japan）第1巻第1号が発刊されました。現在、約300名の学生会員を含む1,900名ほどの会員が所属し、5地域の部会に加え、9の談話会・研究会が活動する学会に成長しました。学会誌も、2000年からは英文誌「Journal of General Plant Pathology（年6号）」と和文誌「日本植物病理学会報（年4号）」に分割して発行することになり、より充実した学会誌の刊行が実現されました。また、1975年から学会事務を日本植物防疫協会に委託することとなり、それまで転々と移動していた学会事務所も日本植物防疫協会内に置かれ、協会のご支援によって学会の安定した運営体制が整備されました。そして2020年、「一般社団法人日本植物病理学会」として新たな時代を迎えることとなります。

法人設立に向けて、そのメリットとデメリット、さらにその必要性について鋭意検討されました。法人設立には、定款作成、規程・規則の整備、組織整備、一連の設立手続き等、時間と労力をつぎ込む覚悟が必要ですが、学生を含む約1,900名の会員が所属し、植物病理学分野の研究・教育、植物保護のための技術開発・普及等を支援する団体として、将来にわたり責任を果たすためには、社会的にも認知された法人格を取得することが会員さらに社会に対する責務であるという考えに至りました。一方で、同じ目的を持った人が集まれば設立できる“人格なき社団（任意団体）”から“一般社団法人”となることの意識変革も必要であり、法人としての責任を果たすための仕組みづくりの準備を進めています。

本学会が、植物病理学とその関連学術分野の発展、また食料や森林の持続的な安定生産、生活を取り巻く植物の保護等に貢献できる、さらに魅力ある組織へと成長するための原動力は、次代を担う会員のアクティビティです。当学会では、部会ごとに学生、若手の研究者・技

術者等が集う「若手の会」が開催されています。また、若手中堅会員の交流を目的として結成された「植物病理学を紡ぐ会」のセミナーが、毎年大会前日に開催されています。会のHPでは、「日本植物病理学会100周年を機に結成された自主勉強会です。縦と横のつながりを作り、それぞれをさらに織るように組み合わせることで、植物病理学の発展に貢献します。」と頼もしい決意が表明されています。今回の法人化が、使命感と意欲にあふれる次世代が、将来にわたり誇りと安心感をもって学会をけん引していく礎となることを願っています。

今年3月には、日本植物病理学会編著の一般向け書籍として、ブルーバックス「植物たちの戦争—病原体との5億年サバイバルレース」が刊行されました。本書は、植物病理学の学問的な面白さを一般の人々、高校生や大学生にわかりやすく発信することを目的として、学会の企画としてまとめられました。本書をきっかけとして、植物病理学を志す若者が増えることを期待しています。学会にとって、このようなアウトリーチ活動の強化も今後の重要な課題です。

法人設立後の大きなイベントとして、2020年9月に、第7回アジア植物病理学会（Asian Conference on Plant Pathology：ACPP 2020）がつくばで開催されます。ACPPは、3年に一度、アジア諸国で開催されてきましたが、我が国でははじめての開催となります。また2020年は、植物病害虫・雑草のまん延を防ぐことの重要性に関する意識啓発を目的として、国際連合によって設定された国際植物防疫年（International Year of Plant Health：IYPH2020）にもあたります。我が国でも、農林水産省を中心に、国際機関、国内の関係機関等と連携した意識啓発の取組の準備が進められています。アジア地域で発生する病害虫被害を克服し、世界の食料問題の解決に貢献するためには、ACPPが果たすべき役割は重要です。ACPP 2020開催を貴重な機会と捉え、農水省と連携したIYPH2020ジョイントプログラムの準備も進められています。

学会法人化を契機として、将来にわたる学会の安定した運営という視点だけでなく、学会の使命についてあらためて考える機会となりました。「植物防疫」の読者の皆様には、本学会へのご支援を引き続きお願いいたしますとともに、学会のさらなる発展に向け、アイデアやご意見をお寄せいただければ幸甚に存じます。

（日本植物病理学会 会長）

薬剤抵抗性研究の最前線

トビイロウンカのイミダクロプリド抵抗性の
遺伝様式

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 さな だ さち よ
九州沖縄農業研究センター 真 田 幸 代

はじめに

トビイロウンカ (図-1) はアジア地域で栽培される稲の重要害虫である。本種は稲でしか成育できないため、冬に稲がなくなる日本では越冬できない。しかし、常発地であるベトナム北中部から、中国南東部を経て、6~7月の梅雨期に日本へ毎年飛来し、被害をもたらす。特にトビイロウンカの被害は深刻で、稲の茎から篩管液(植物体液)を多量に吸汁することによって枯死させる“坪枯れ”を起こす。最近では、被害の大きかった2013年の被害額が西日本で105億円に上った。アジア全体でも、トビイロウンカの被害は増加傾向にあり、その原因の一つとして殺虫剤抵抗性の問題が指摘されている。ここでは、トビイロウンカにおけるネオニコチノイド系殺虫剤に対する抵抗性発達の現状と、イミダクロプリド抵抗性



図-1 トビイロウンカの長翅雌
長翅雌の体長は5~6 mm。本種にはほかに翅型の異なる短翅雌，長翅雄，短翅雄がいる。

Mode of Inheritance of Imidacloprid Resistance in the Brown Planthopper. By Sachiyo SANADA-MORIMURA

(キーワード: 長距離移動性, 微量局所施用法, 殺虫剤選択系統, 半数致死薬量 (LD₅₀), トビイロウンカ, *Nilaparvatalugens*)

の遺伝様式について解説する。

I イネウンカ類の殺虫剤抵抗性問題

イネウンカ類の中でも、トビイロウンカによる被害は古くから知られており、1980年代にはアジア地域で深刻な被害をもたらした。そのような中、1990年代初めころから、イネウンカ類に非常に効果の高いイミダクロプリド(ネオニコチノイド系殺虫剤, 商品名: アドマイヤー®)とフィプロニル(フェニルピラゾール系殺虫剤, 商品名: プリンス®)が使われ始めると、その被害はほとんど見られなくなっていった。しかし、2005年以降、アジア各地でトビイロウンカのイミダクロプリド抵抗性が報告されると、日本に飛来してくるトビイロウンカでもイミダクロプリド抵抗性が確認され(MATSUMURA et al., 2008), それ以降は強い抵抗性が維持されている(MATSUMURA et al., 2014)。また、2006年以降に日本に飛来したセジロウンカではフィプロニルに対する抵抗性が発達している(MATSUMURA et al., 2008)。その結果、イミダクロプリドもしくはフィプロニルのどちらか単剤だけでは、トビイロウンカとセジロウンカの両方をうまく防除できない事態となった。現在は、トビイロウンカの被害が大きい九州地域を中心に、箱施用殺虫剤としてピメトロジン(ピリジンアゾメチン誘導体, 商品名: チェス®)が、本田防除剤としてはジノテフラン(ネオニコチノイド系, 商品名: スタークル®)等が広く使われている。ほかにも有効な殺虫剤はあるが、代替薬剤の数は少なく、これらの殺虫剤に対して、近い将来に抵抗性が発達するのではないかと懸念されている。

II 殺虫剤抵抗性の発達メカニズム

殺虫剤の殺虫効果が発揮されるメカニズムは多様である。例えば、イミダクロプリドは、ニコチンに似た性質を持ち、昆虫の神経伝達物質アセチルコリンの受容体(ニコチン性アセチルコリン受容体)に結合し、神経を過剰に興奮させ続けて昆虫を死亡させる。一方、フィプロニルは別の神経伝達物質 GABA の受容体結合を阻害

し、昆虫を死亡させる。このように、殺虫剤がその効果を発揮するために、昆虫体内で引き起こす生化学的作用を「作用機作」と呼ぶ。IRAC (Insecticide Resistance Action Committee: 殺虫剤抵抗性対策委員会) がこの作用機作に基づいて殺虫剤を分類し、番号付けしたものがIRACコード(殺虫剤作用機構分類)である。一般的に同じ殺虫剤を繰り返し使い続けると、その散布地域では、その剤に対する抵抗性が発達することが知られている。また、異なる殺虫剤であったとしても、同じ作用機作のグループに分類されたものを連用し続けると、そのグループに属する他の殺虫剤に対しても抵抗性が発達する現象(交差抵抗性)が起こることも知られている。例えば、トビイロウンカについては、2006~11年にかけて行った調査では、ベトナムや日本で採集した個体群のイミダクロプリドに対する抵抗性が徐々に強くなっているが、それと同調するように、同じネオニコチノイド系殺虫剤のチアメトキサムに対する抵抗性も強くなる傾向にあった(抵抗性の程度はイミダクロプリドと比べて10分の1程度)(MATSUMURA et al., 2018)。しかしながら、野外の調査だけでは、この現象が、ネオニコチノイド系殺虫剤における交差抵抗性によるものなのか、あるいは、現地でのチアメトキサムの使用量が増加したために抵抗性が徐々に発達したのかを明確にすることはできない。また、同じグループに分類されている殺虫剤どうしても必ずしも交差抵抗性が起こるわけではないという報告もある。実際に、同じネオニコチノイド系殺虫剤のジノテフランはトビイロウンカに効果の高い基幹防除剤として九州地域を中心に現在も広く使われている。そこで、国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構(以下、農研機構)九州沖縄農業研究センター(以下、九沖農研)では、農研機構生物機能利用研究部門(以下生物機能部門)などと協力して、トビイロウンカのネオニコチノイド系殺虫剤における交差抵抗性などを解明するための検証を進めている。これまで数多くの殺虫剤が開発され、様々な害虫が抵抗性を発達させているが、それらの抵抗性がどのようなメカニズムで起こるのか、交差抵抗性がどの殺虫剤どうして起こるのかについては不明な点が多く、それらを解明する試みが世界中で精力的に進められている。

殺虫剤抵抗性が発達するメカニズムは害虫や殺虫剤によって様々であるが、主に三つのメカニズム、①殺虫剤が昆虫の体表に付着し、体内に取り込まれて効果を発揮する前に、体表から体内への浸透を防ぐことで抵抗性を獲得する、②殺虫剤の作用機作にかかわる要素、例えばイミダクロプリドであれば、アセチルコリンレセプター

に生じた遺伝的変異が、イミダクロプリドとの結合を阻害することで抵抗性を獲得する、③殺虫剤を解毒分解する能力が高まり抵抗性を獲得する、が考えられているが、これら複数のメカニズムが同時に関与している可能性もある。また、これまでの研究により②と③のメカニズムは、非常に強い抵抗性獲得につながるようになってきている。

III イミダクロプリド抵抗性の遺伝様式

集団内で抵抗性遺伝子が広がる一般的モデルから考えると、イミダクロプリドが使われ始めた1990年代中ごろは、飛来源であるベトナムの個体群の中に、抵抗性を持つ個体のごくわずかにいたと仮定される。同じ殺虫剤を繰り返し使うことで、抵抗性を持つ個体の子孫がより多く残るようになり、やがて集団全体が強い抵抗性を持つまでになったと考えられる。抵抗性を持つ個体の子孫が、どのくらい集団内に拡がりやすいかを予測するうえで、抵抗性の遺伝様式は重要な情報である。遺伝様式は一般に、単一(主導)遺伝子支配と量的遺伝子支配の二つに分類される。殺虫剤抵抗性を例に挙げて大まかに解説すると、単一遺伝子支配とは、ある特定の殺虫剤に対して抵抗性発達に関与する遺伝子が一つだけの場合を指す。量的遺伝子支配とは、ある特定の殺虫剤に対する抵抗性発達に、複数の遺伝子がそれぞれに少しずつ関与するものである。もし、抵抗性発達に関与する遺伝子が単一遺伝子支配で、さらにそれが優性であれば、その抵抗性遺伝子は集団の中に拡がりやすいと予測される。様々な害虫種での遺伝様式に関する知見や抵抗性発達リスクのモデルについては、農研機構が公開している「薬剤抵抗性農業害虫管理のためのガイドライン案」(農研機構, 2019)を参照されたい。

九沖農研ではイミダクロプリド抵抗性の遺伝様式を解明するため、フィリピンで採集したトビイロウンカを用い、半数致死薬量(LD₅₀値)(殺虫剤を処理された集団の半分が死亡する量)のイミダクロプリドをトビイロウンカの雌に処理した後、生き残った雌に産卵させ、次世代を得た。その次世代も同じように殺虫剤処理を繰り返す選択実験を行った(SANADA-MORIMURA et al., 2019)。その結果、23世代目には強い抵抗性を持つトビイロウンカ系統の作出に成功した(図-2)。この殺虫剤選択系統と、感受性系統(イミダクロプリドに対して抵抗性が全くない系統)(1987年島根県採集)を交配させ、その次世代(F₁)、さらに次々世代(F₂)について、処理した薬量と死亡率の回帰線を解析した(図-3)。また、F₁にそれぞれの親系統を“戻し交配”させた次世代について



図-2 トビイロウンカのイミダクロプリド抵抗性選択系統のLD₅₀値の推移
フィリピン個体群から選択した選択系統とコントロール系統（アセトンのみ）のLD₅₀値を示す。

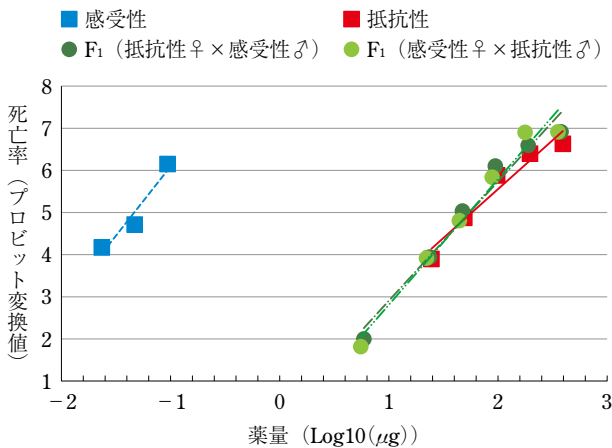


図-3 抵抗性選択系統と感受性系統の交配F₁の薬量—死亡率の回帰直線
フィリピン選択系統と感受性系統（島根県1897年採集）、正逆交配（選択系統♀×感受性系統♂）（感受性系統♀×選択系統♂）のF₁の薬量—死亡率の回帰直線を示す。

も同様に検証した（図-4）。その結果、イミダクロプリド抵抗性の遺伝様式では、伴性遺伝は見られず、ほぼ完全優性の単一（主導）遺伝子支配であるとした場合のメンデル遺伝法則による予測とよく一致した（図-4）。同様の実験をベトナムで採集した個体群でも行い、同様の結果を得ている（SANADA-MORIMURA et al., 2019）。様々な害虫における薬剤抵抗性遺伝様式に関するこれまでの報告では、前述した殺虫剤抵抗性の発達メカニズムの中でも、“②殺虫剤の作用機作にかかわる要素”の遺伝様式は劣性遺伝であることが多く、“③殺虫剤を解毒分解する能力が高まり抵抗性を獲得する”場合は、遺伝様式は優性遺伝であることが多い。ZIMMER et al. (2018) は、インド、タイ、ベトナム、インドネシアそして日本から

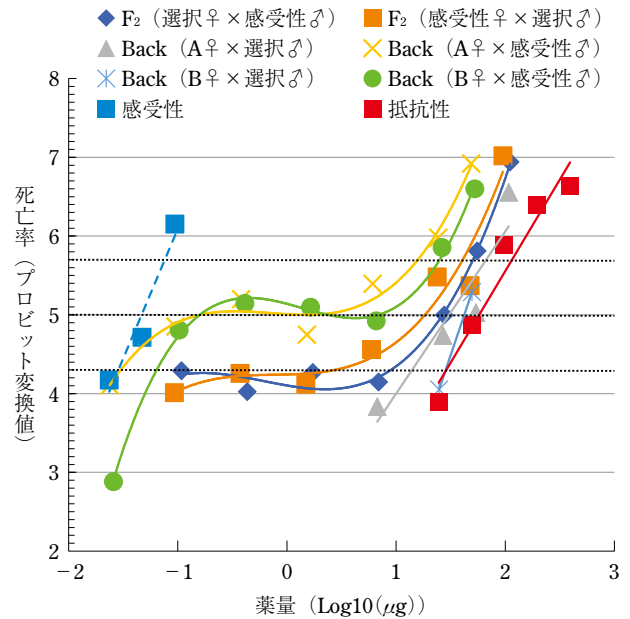


図-4 抵抗性選択系統と感受性系統の交配F₂と戻し交配の薬量—死亡率の回帰直線

フィリピン選択系統の正逆交配F₂（選択♀×感受性♂：A）（感受性♀×選択♂：B）、正逆戻し交配（A♀×選択♂）（A♀×感受性♂）（B♀×選択♂）（B♀×感受性♂）の薬量—死亡率の回帰線を示す。曲線はMicrosoft Excel（Office 365版）のソフトウェアによる。Y軸の0.5は死亡率50%、0.43は死亡率25%、0.57は死亡率75%を示す。完全優性で単一遺伝子支配の理論値では、F₂の回帰線には死亡率25%でプラトー（死亡率が変化しない）が現れ、感受性親との戻し交配（A♀×感受性♂）（B♀×感受性♂）では死亡率50%でプラトーが現れる。選択親との戻し交配（A♀×選択♂）と（B♀×選択♂）は、選択親と同じ回帰直線を示す。

※ Back とは戻し交配を意味する。

採集したイミダクロプリド抵抗性の野外個体群で、解毒分解酵素チトクロムP450の一種、*CYP6ER1*が高発現していることを明らかにしている。これら複数のアジア地域個体群のイミダクロプリド抵抗性と、本研究で用いたフィリピンとベトナム個体群の抵抗性選択系統のそれとは、同じ抵抗性発達メカニズム（解毒分解酵素の高発現）、同じ遺伝様式を持つ可能性が高い。トビイロウンカのイミダクロプリド抵抗性が短期間のうちにアジア地域全体に拡散したのは、本種が長距離移動性害虫であるなど様々な要因が複合的に関係していると思われるが、なかでも、ほぼ完全優性で単一遺伝子支配であるという遺伝様式が重要な要因の一つであったと考えられる。

おわりに

イミダクロプリドは、日本では箱施用剤として年1回だけ使われていたが、トビイロウンカの飛来源であるベトナム北中部では、散布剤として年に何度も繰り返し使

われてきた。その結果、イミダクロプリドが使われ始めてから10年程度の間抵抗性が著しく発達し、強い抵抗性のトビイロウンカが日本へと飛来し、大きな被害をもたらした。こうした海外飛来性害虫の殺虫剤抵抗性問題を解決するためには、日本だけではなく、飛来源においても、適切な殺虫剤抵抗性対策を実施していくことが不可欠である。農研機構の九州農研・生物機能部門・農業技術革新工学研究センターと、国際農林水産業研究センターは、ベトナム植物保護研究所（ベトナム・ハノイ市）と共同研究契約書を締結し、これまでに微量局所施用による薬剤感受性検定法や遺伝子診断技術の講習を開催する等、飛来源で殺虫剤に対する抵抗性発達を未然に防ぐ対策を実現するための試みを開始している。また、

農研機構の育種研究分野が主体となって、イネウンカの吸汁に対して抵抗性を持つ多収・高温耐性品種等の開発を進めており、殺虫剤だけに頼るのではなく、天敵や抵抗性稲品種等を使った稲栽培における総合的害虫管理（IPM）の確立を目指している。

引用文献

- 1) MATSUMURA, M. et al. (2008): Pest Mang. Sci. **64**: 1115~1121.
- 2) ————— et al. (2014): *ibid.* **70**: 615~622.
- 3) ————— et al. (2018): *ibid.* **74**: 456~464.
- 4) 農研機構 (2019):「薬剤抵抗性農業害虫管理のためのガイドライン案」, (https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/121745.html)
- 5) SANADA-MORIMURA, S. et al. (2019): Pest Mang. Sci. (doi: 10.1002/ps.5364)
- 6) ZIMMER, C. T. et al. (2018): Curr. Biol. Rep. **28**: 268~274.

新しく登録された農薬 (2019.6.1~6.30)

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」

- クロラントラニリプロール・ピフェントリンエアゾル
24236：ケムシジェット（シンジェンタ）19/6/26
クロラントラニリプロール：0.015%
ピフェントリン：0.030%
樹木類：ケムシ類
- フルピリミン粒剤
24238：リディア箱粒剤（Meiji Seika）19/6/27
フルピリミン：2.0%
稲（箱育苗）：イネドロオイムシ、イネミズゾウムシ、ウンカ類、ツマグロヨコバイ、ニカメイチュウ：移植3日前～移植当日
- フルピリミン水和剤
24240：エミリアフロアブル（Meiji Seika）19/6/27
フルピリミン：10.0%
稲：ウンカ類、ツマグロヨコバイ、カメムシ類：収穫7日前まで

「殺菌剤」

- キャプタン・テトラコナゾール水和剤
24237：サルバトーレC水和剤（アリスタライフサイエンス）19/6/27
キャプタン：50.0%
テトラコナゾール：2.4%
ほうれんそう（露地栽培）：べと病：収穫14日前まで

「殺虫殺菌剤」

- クロラントラニリプロール・トリフルメゾピリム・チアジニル・チフルザミド粒剤
24233：ブイゲットハコレンジャーL粒剤（日本農薬）19/6/12

- クロラントラニリプロール：0.75%
トリフルメゾピリム：0.75%
チアジニル：6.0%
チフルザミド：3.0%
稲（箱育苗）：いもち病、紋枯病、白葉枯病、もみ枯細菌病、イネミズゾウムシ、イネドロオイムシ、ウンカ類、ツマグロヨコバイ、コブノメイガ：緑化期～移植当日
- 稲（箱育苗）：内穎褐変病、ニカメイチュウ、イネツトムシ：移植3日前～移植当日
- フルピリミン・プロベナゾール粒剤
24239：Dr. オリゼリディア箱粒剤（Meiji Seika）19/6/27
フルピリミン：2.0%
プロベナゾール：24.0%
稲（箱育苗）：いもち病、イネドロオイムシ、イネミズゾウムシ、ウンカ類、ツマグロヨコバイ、ニカメイチュウ、フタオビコヤガ、イナゴ類：移植3日前～移植当日

「除草剤」

- イマズスルフロン・オキサジクロメホン・ピラクロニル・プロモブチド粒剤
24234：バッチリLX400FG（協友アグリ）、24235：デルタアタック400FG（協友アグリ）19/6/12
イマズスルフロン：2.25%
オキサジクロメホン：0.75%
ピラクロニル：5.0%
プロモブチド：22.5%
移植水稻：一年生雑草、多年生広葉雑草
直播水稻：一年生雑草、マツバイ、ホタルイ、ウリカワ、ミズガヤツリ、セリ

研究 報告

北海道における薬剤耐性テンサイ褐斑病菌 について

地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 農業研究本部 十勝農業試験場 かや
栢
もり
森
み
美
ゆき
如

はじめに

テンサイは寒冷地作物としてヨーロッパ、北米、アジア等中～高緯度地帯で栽培される。日本では北海道のみで栽培され、テンサイ分布地帯の南限に位置するため高温性病害の褐斑病は無視できない防除課題である。本病の原因菌は *Cercospora beticola* であり、初期は2～4 mmの濃褐色の円形病斑が現れ、次第に中心が灰褐色となり、分生子が形成される。病斑が増えるにつれて枯死部が生じる。発病が激しいときには、ほとんどの葉が枯死し、新葉が再生することで根中糖分が消耗し、糖度の低下を招く(図-1-1, 図-1-2)。これまで褐斑病防除技術の革新がテンサイの栽培面積拡大に直結してきた。薬剤防除が導入されるとともに褐斑病抵抗性のない多収性品種へと切り替えられたが、ベンゾイミダゾール剤耐性菌に始まり、カスガマイシン剤、QoI 剤、そして DMI 剤において耐性菌が出現し、耐性菌リスク中以上の薬剤すべてで耐性菌出現に至った。

近年の褐斑病被害が拡大する状況を打開するために、抵抗性品種の選抜が進められた。北海道では日本甜菜製糖、北海道糖業、ホクレンの3社がテンサイ糖を生産しており、各社がそれぞれ提携している欧州の種苗会社から品種を導入している。褐斑病など各病害抵抗性は品種間差があるため、各社で防除指導もしている。2016年に日本甜菜製糖から多収性と褐斑病抵抗性を兼ね備えた‘カーベ 2K314’が導入され、既に導入されていたホクレンの‘ラテール’や北海道糖業の‘アンジー’等と併せて全道一円で抵抗性品種が栽培可能となった。

これまで基幹防除薬剤だった QoI 剤、DMI 剤が耐性菌出現により役割を終えると同時に、抵抗性品種は全道各地で選択可能な時代を迎えた。現在、残された防除薬剤はマンゼブ剤や銅剤等の多作用点接触型薬剤しかない。



図-1-1 テンサイ褐斑病の病斑



図-1-2 テンサイ褐斑病の激発圃場

い。耐性菌の連鎖を打ち切るためにこれら多作用点接触型薬剤と抵抗性品種との組合せにより防除体系を再構築することが急務である。

I 防除薬剤の変遷

1 テンサイ導入期(明治～1962年)

明治期に北海道にテンサイが導入されたが、有効な防除薬剤はなく褐斑病の被害は多かった。1922年に石灰ボルドーが使われるようになったが効果は決して高くはなく、‘導入2号’などの抵抗性品種が本病防除対策に貢献したが依然として栽培面積は伸び悩んだ。1955年に銅剤が登場し、効果は不十分であったが抵抗性品種によってその効果が補われ、テンサイの栽培面積が増加した

Fungicide Resistance in *Cercospora beticola*, the Causal Agent of *Cercospora* Leaf Spot of Sugar Beet, Isolated in Hokkaido. By Miyuki KAYAMORI

(キーワード: *Cercospora beticola*, DMI, カスガマイシン, 褐斑病菌, QoI, テンサイ)

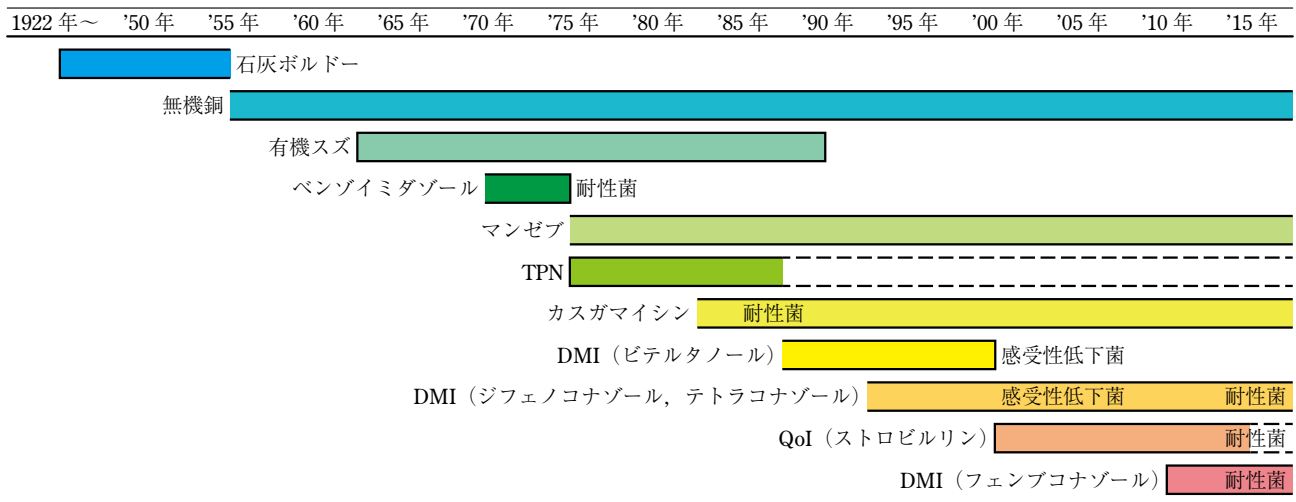


図-2 テンサイ褐斑病に対する防除薬剤の変遷(清水(2007)改変)
主に北海道農作物病害虫・雑草防除ガイドへの掲載を参考とした。

(図-2)。

2 有機スズ、ベンゾイミダゾール、カスガマイシンの時代(1963~91年)

1963年に有機スズ剤が登場し、これがテンサイ栽培のターニングポイントとなる。それまでの銅剤と比較して防除効果が高く、褐斑病抵抗性のない多収品種へと切り替えが進んだ。

1968年にはベンゾイミダゾール(チオファネートメチル)剤が登場したが、わずか6年後に耐性菌が出現し、使用中止となった。ベンゾイミダゾール系の耐性菌率は容易に下がらないとされているが、2016年に北海道立総合研究機構 農業研究本部 十勝農業試験場内で簡易検定を実施したところ依然として本剤耐性菌が高率に検出された(栢森, 2018)。

1979年ごろからカスガマイシン剤が普及したが、4年後に耐性菌が出現した。しかしカスガマイシン剤耐性菌はごくわずかで、防除効果に実用上の影響がない弱耐性菌がほとんどであったため、散布回数を年1回に制限するとともに混合剤化して使用を継続してきた。

1975年ごろにマンゼブ剤、TPN剤が登場したが、有機スズ剤に比べて効果が劣るため2017年まで基幹防除薬剤にはならなかった。基幹薬剤の地位を担ってきた有機スズ剤であるが、環境問題などによって1991年に販売終了となり、その役割を終えた。

3 DMI剤主体の時代(1992~2000年)

1991年の有機スズ剤販売終了に伴いDMI剤が基幹防除薬剤として使われるようになった。DMI剤のうちテンサイ褐斑病に登録されたのはトリアゾール系である。1986年にピテルタノール剤(現在は販売終了)が登場し、

1993年以降ジフェノコナゾール剤(現在は製造終了)、テトラコナゾール剤、テブコナゾール剤が相次いで登録となった。直近では2011年にフェンブコナゾール剤が登録されている。薬剤の治療効果を活かし、発病株率50%に防除開始するモニタリング手法が開発され、DMI剤の残効は20日程度、カスガマイシン・銅水和剤の残効は10~15日、マンゼブ剤は10日程度(初発後散布)であった(堀田ら, 1996)。DMI剤は、その長い残効により防除作業の省力化に貢献してきた。

4 QoI剤の登場(2001~10年)

2001年にトリフロキシストロピンをはじめとするQoI剤が登場した。海外では、効果が低下したDMI剤の代替剤としてQoI剤が位置づけられた。日本においてはまだ十分な効果が認められていたDMI剤とともにQoI剤が基幹防除薬剤に位置づけられた。QoI剤はDMI剤同様に20日程度の残効が認められ、減農薬、省力化に貢献した。QoI剤は上市直後から耐性菌リスクの高い剤として注意喚起され、年1回の使用にとどめるように指導されてきた。

一方、DMI剤であるが、2000年ごろから海外で防除効果の低下が報告されるようになった。日本でも1999年にEC₅₀が1μg/mlを超える菌株が検出された(内野ら, 1999)。それを受け、2000~04年にDMI剤感受性の実態調査が行われたが、実用上の防除効果の低下は確認されず、EC₅₀が1μg/mlを超える菌株を感受性低下菌と定義した(清水, 2007)。褐斑病は2000年代前半には少発生傾向であったが、2006年にやや多発となり、その後は多発傾向が続いた。

5 QoI・DMI 剤の耐性菌確認に至るまで (2010~17年)

2010年は夏季高温の影響を受け褐斑病が激発した(図-3)。生産現場でも DMI 剤の効果低下が顕在化し、マンゼブ剤を混用する事例が増加し、防除間隔も 10~14日と短くなった(斎藤, 私信)。それまで、褐斑病の総防除回数は弱品種であっても 5回以下であったが、このころから増加し最大 8回に達した。回数制限があった薬剤はやむを得ない判断として使用回数が増加し、カスガマイシン剤 3回/年に達する事例もあった(表-1-1, 表-1-2)。

2013年、北海道立総合研究機構 農業研究本部 北見農業試験場内でトリフロキシストロビン剤散布後に防除効果が認められない事例があり、翌 2014年には十勝管内の現地圃場で広く褐斑病の多発が認められたため、こ

表-1-1 褐斑病抵抗性「弱」品種における防除暦事例

	KSM/Cu ^{a)}	DMI (+Mn) ^{b)}	QoI	Mn ^{c)}	防除回数
2000年代	1	2	1	1	5
2010~14年	3	2	1	2	8
2015~17年	3	3	0	2	8

表-1-2 褐斑病抵抗性「強」品種における防除暦事例

	KSM/Cu ^{a)}	DMI (+Mn) ^{b)}	QoI	Mn ^{b)}	防除回数
2000年代	1	2	1	1	5
2010~14年	1	2	1	1	5
2015~17年	2	2	0	1	5

a) KSM/Cu: カスガマイシン・銅水和剤。
 b) マンゼブ混用含む回数。
 c) マンゼブ単剤の回数。

れら圃場から褐斑病菌を分離し、QoI 剤耐性菌であることを突き止めた。2015年に全道的な調査を実施したところ、道内一円で高率に耐性菌の分布が確認されたため、QoI 剤の褐斑病への使用は中止とした。だが当時は、現場においてマンゼブ剤の効果が低い印象が残っており、残念ながら QoI 剤に置き換わったのは DMI 剤とカスガマイシン剤であった。

DMI 剤に関しても、かつて 20日の残効期間であったが 2015年には 7~9日と短くなっていることが報告された(池谷・池谷, 2015)。QoI 剤耐性菌の出現を公表した後、DMI 剤の感受性試験に着手した。道内における耐性菌分布を調査するにあたり新たに分離菌を得る時間的猶予がなかったため、QoI 剤検定時に得た分離菌株を利用した。2017年には DMI 剤耐性菌(栢森・安岡, 2018)、カスガマイシン剤耐性菌(栢森, 投稿中)が道内一円で高率に分布することが公表された。時を同じくして褐斑病抵抗性品種が北海道全域に普及したことから、抵抗性品種を活用し、当面の間、マンゼブ剤を基幹防除薬剤として DMI 剤、カスガマイシン剤の使用を極力削減するように指導された。

II 近年確認された薬剤耐性菌

1 QoI 剤

QoI 剤耐性菌は 2012年米国ミシガン州で初めて報告された。国内でも 2013年に防除効果が劣る事例が発生し、調査が開始された。QoI 剤は耐性菌発生リスクの高い剤であり、本剤耐性菌の発達は 1990年代末ごろから種々の作物で見られたが、テンサイ褐斑病菌は販売から 10年以上感受性が落ちなかったため、比較的耐性菌の発達が遅く、FRAC (Fungicide Resistance Action Com-

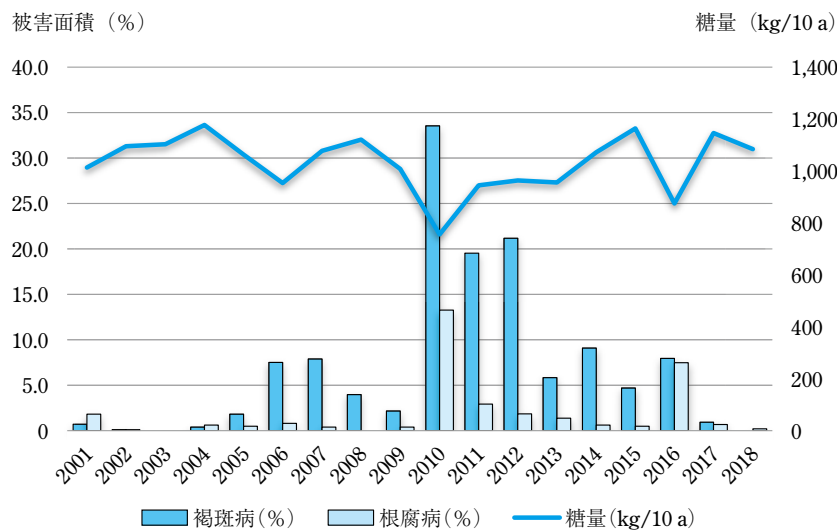


図-3 糖量とテンサイ病害被害面積の推移 (北海道農政部調べ)

表-2 テンサイ褐斑病菌における G143A 変異と薬剤感受性の関係

菌株 (Acc#) ^{a)}	薬剤濃度 ($\mu\text{g/ml}$)	PDA 上の菌糸伸長 (mm/5 日間)						cytb 143 番目 の アミノ酸
		トリフロキシストロピン		アゾキシストロピン		クレソキシムメチル		
Tkg-3 (LC427677)	0	10.1 ^{b)}	(100%) ^{c)}	11.0	(100%)	11.0	(100%)	Ala
	1	10.2	(101%)	10.4	(95%)	11.3	(103%)	
	10	10.1	(100%)	NT ^{d)}		NT		
	100	10.0	(99%)	7.3	(66%)	10.9	(99%)	
	1,000	8.2	(81%)	6.2	(56%)	10.4	(95%)	
Mu-1 (LC427678)	0	10.8	(100%)	10.5	(100%)	10.5	(100%)	Gly
	1	0.0	(0%)	0.0	(0%)	0.0	(0%)	
	10	0.0	(0%)	NT		NT		
	100	0.0	(0%)	0.0	(0%)	0.0	(0%)	
	1,000	0.0	(0%)	0.0	(0%)	0.0	(0%)	
Yst1-1 (LC427679)	0	9.1	(100%)	9.2	(100%)	9.2	(100%)	Gly
	1	0.0	(0%)	0.0	(0%)	0.0	(0%)	
	10	0.0	(0%)	NT		NT		
	100	0.0	(0%)	0.0	(0%)	0.0	(0%)	
	1,000	0.0	(0%)	0.0	(0%)	0.0	(0%)	
JQ619933 ^{e)} (QoI 耐性)								Ala
JQ619932 ^{e)} (QoI 感受性)								Gly

a) DDBJ/EMBL/GenBank のアクセッションナンバー。

b) 2 プレートの平均値。

c) 0 $\mu\text{g/ml}$ での菌糸伸長に対する割合。

d) NT : not tested.

e) BOLTON et al., 2013.

表-3 QoI 耐性菌および感受性菌に対するトリフロキシストロピンの防除効果

菌株	病斑数/葉	
	トリフロキシストロピン処理 (防除値)	無処理
Tkg-3	156.0 ^{a)} (25)	208.0
Yst1-1	0 (100)	186.8
Mu-1	0.8 (99)	102.8

a) 4 葉の平均値。

mittee) の病原菌リスクの『中』という評価を追認するものである。

トリフロキシストロピン, アゾキシストロピン, クレソキシムメチル剤の各剤を用いて培地検定を行った。感受性菌は, 3 剤とも 1 $\mu\text{g/ml}$ 以上で生育しなかったが, 耐性菌は 1,000 $\mu\text{g/ml}$ でも生育し, 薬剤無添加培地と比較した菌糸伸長割合は 50% 以上となった (表-2)。チトクローム b 領域の塩基配列を調べたところ, G143A の変異が確認され, NCBI/DDBJ/GenBank に登録されている QoI 耐性菌 *C. beticola* と配列が一致した。生物検定において, 感受性菌に対してはトリフロキシストロピン 1,500 倍処理において高い防除効果を示したが, 耐性菌接種植物に対して同剤を処理したところ, 無処理同

表-4 QoI 耐性菌の道内分布 (2014~15 年分離)

振興局	検定圃場数		供試菌 株数	耐性菌 検出圃場数 (割合(%))	耐性菌 株数 (割合(%))
	市町村	圃場			
空知	1	1	5	1 (100)	5 (100)
石狩	2	2	10	2 (100)	10 (100)
後志	1	1	5	1 (100)	5 (100)
胆振	4	4	24	3 (75)	10 (42)
上川	5	6	36	4 (67)	16 (44)
十勝	15	44	147	28 (64)	70 (48)
オホーツク	13	31	149	18 (58)	61 (41)
合計	41	89	376	57 (64)	177 (47)

様に発病し, 実用濃度で防除効果の低下が確認された (表-3)。

道内のテンサイ栽培地帯から分離した褐斑病菌 376 菌株を用いて, トリフロキシストロピンに対する感受性検定を実施した。道内全域に耐性菌が分布しており, 検出率は 47% に達した (表-4)。本剤耐性菌は 1 塩基変異のみで防除効果が劇的に低下するため, 本剤の褐斑病防除への使用を中止する指導とした。ただし, 根腐病や葉腐病に対して高い効果が維持されており, これらの病害に対しては登録の範囲内での使用を指導している。

2 DMI 剤

本剤のうちトリアゾール系がテンサイ褐斑病の防除薬剤として使用されてきた。1986年にピテルタノール剤（現在は販売終了）が登録されて以降、ジフェノコナゾール剤、テトラコナゾール剤、フェンブコナゾール剤、テブコナゾール剤が登録された。海外では2000年にギリシャで感受性低下が報告され、本邦においてもベースラインのEC₅₀は0.01~0.04 μg/mlと報告されている。1999年にEC₅₀が1 μg/mlを超える菌株の出現が報告されていたが（内野ら, 1999）、実用上の防除効果は問題になるほど低下していなかったため「感受性低下菌」として扱われてきた（清水, 2007）。しかし、2016年に自然発生条件下で防除試験を行ったところ、ジフェノコナゾール剤2,000倍の防除効果は著しく低下していた（表-5）。QoI剤感受性は明確な2峰性を示すが、DMI剤は感受性が連続的に低下するため、耐性菌の境界濃度を設定す

る必要がある。

まず、生物検定によりこの境界濃度を求めた。孢子懸濁液の噴霧接種では、感染条件は1回限りとなり、複数の感染タイミングが存在する実際と異なる条件設定となってしまう。生産現場で起きている事象となるべく同じ条件とする目的で、生物検定は露地圃場を用い、接種源として乾燥罹病葉を作出し畦間に置床することで連続的な感染圧を確保した。感受性の異なる4菌株を接種し、それぞれの接種区に無処理、マンゼブ剤処理、DMI4剤処理区を設けた。感受性菌であるJ27菌株接種区は全薬剤処理区で高い効果を示し、対照のマンゼブ処理区も全菌株で一定の防除効果を示した。一方、DMI剤処理区において防除効果が低い菌株が確認された。ジフェノコナゾール剤処理区ではEC₅₀が1.2 μg/ml以上の菌株で、フェンブコナゾール剤処理区ではEC₅₀が1.7 μg/ml以上の菌株で、テブコナゾール剤処理区ではEC₅₀が1.5 μg/ml以上の菌株で防除効果が低く、テトラコナゾール剤処理区ではEC₅₀が3.8 μg/mlまでは防除効果が認められたが、6.1 μg/mlを超える菌株では防除効果の明確な低下が確認された（表-6）。この結果をもとにEC₅₀ 1 μg/ml（テトラコナゾール剤は5 μg/ml）を超える菌株を耐性菌とした。ただし、EC₅₀が1 μg/ml未満であっても感受性は低下しており、残効期間が短くなっていると推察される。

この境界濃度を用い、道内各地から分離したテンサイ褐斑病菌310菌株（うち251菌株はQoI剤検定時の菌株）

表-5 十勝農試場内におけるテンサイ褐斑病に対するジフェノコナゾールの効果^{a)}

処理	発病度		
	8月14日	8月24日	防除価
ジフェノコナゾール 2,000 倍	12.6	26.5	25
マンゼブ 400 倍	1.2	5.8	84
無処理	22.3	35.5	

^{a)} 本試験は2016年に十勝農試場内（DMI剤耐性菌発生圃場）で自然発生下で実施した。3反復、各区40株調査。

表-6 褐斑病菌の感受性と防除効果の関係

菌株	処理区														
	マンゼブ		ジフェノコナゾール		フェンブコナゾール		テブコナゾール		テトラコナゾール		無処理				
	DI ^{b)}	PV ^{c)}	EC ₅₀ ^{a)}	DI ^{b)}	PV ^{c)}	EC ₅₀ ^{a)}	DI ^{b)}	PV ^{c)}	EC ₅₀ ^{a)}	DI ^{b)}	PV ^{c)}	EC ₅₀ ^{a)}	DI ^{b)}		
J27	1.0	(82)	0.0003	0.3	(94)	0.00004	0.5	(91)	0.001	1.4	(75)	0.0001	0.2	(96)	5.4
J51	1.0	(90)	1.2 ^{d)}	10.2	(0)	0.47	1.7	(83)	0.46	2.1	(79)	3.8	1.2	(88)	9.7
J11	5.7	(76)	5.0	22.4	(7)	1.7	14.8	(38)	1.5	18.8	(22)	6.1	20.0	(17)	24.0
J24	4.4	(78)	20.2	21.6	(0)	3.6	14.0	(30)	6.0	18.0	(10)	27.4	16.8	(16)	20.0

^{a)} 接種菌株のEC₅₀ (μg/ml).

^{b)} DI: 発病度.

^{c)} PV: 防除価.

^{d)} 太字は防除価が著しく低下した組合せ.

表-7 全道から分離した *Cercospora beticola* の各DMI剤に対する感受性の分布

薬剤	供試菌株数	EC ₅₀ の分布 (μg/ml)				耐性菌割合 (%)
		0.1未満	0.1~1	1~10	10以上	
ジフェノコナゾール	310	11	55	184	60	79
フェンブコナゾール	310	31	117	161	1	52
テブコナゾール	310	10	77	171	52	72
テトラコナゾール	310	4	29	116	161	66

2014~17年分離菌株.

表-8 道内各地域の DMI 剤耐性菌の分布 (2014~17 年分離)

振興局	市町村数	菌株数	耐性菌割合 (%)			
			ジフェノコナゾール	フェンブコナゾール	テトラコナゾール	テブコナゾール
石狩	2	6	100	67	83	67
胆振	4	24	79	58	67	67
後志	1	3	33	33	33	33
空知	1	3	100	100	100	100
上川	4	59	90	75	73	76
十勝	14	77	62	8	46	60
オホーツク	13	138	81	65	66	76
全道	39	310	78	52	66	72

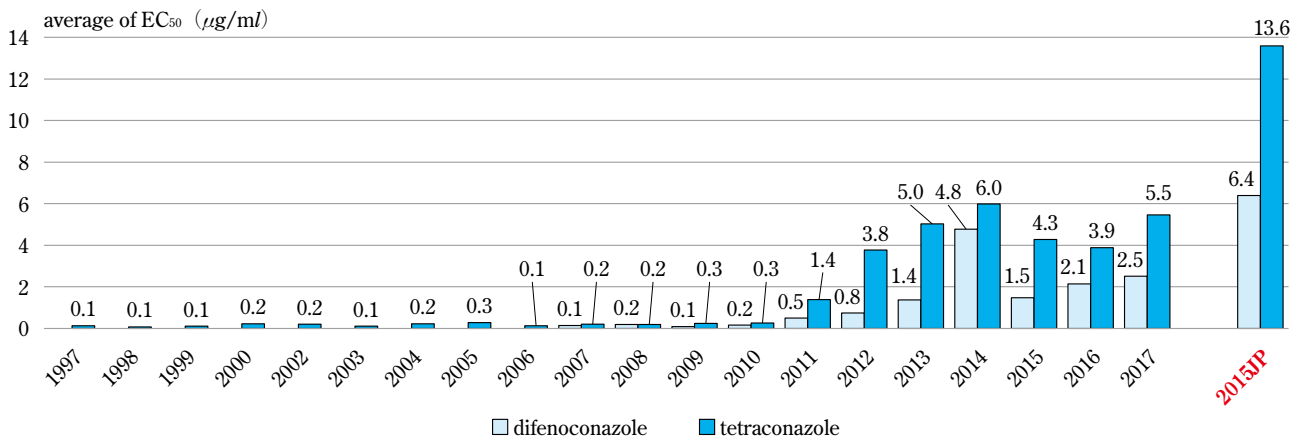


図-4 米国（ノースダコタ州・ミネソタ州）における EC₅₀ 平均値の推移と日本（2015JP：2014~17 年分離菌株の平均値）の比較
ジフェノコナゾール、テトラコナゾールともに日本の値のほうが大きい。

表-9 DMI 剤の感受性の変化

薬剤	EC ₅₀ (µg/ml)			
	最小値		最大値	
	2002 年	2015 年	2002 年	2015 年
ジフェノコナゾール	0.001	0.01	1.6	50.2
フェンブコナゾール	-	0.003	-	10
テトラコナゾール	0.05	0.07	20	70.9
テブコナゾール	0.02	0.02	10.1	120.6

を用いて耐性菌分布を調査した。各薬剤とも耐性菌率は 2/3 を占め、EC₅₀ が 10 µg/ml 以上の菌株も多かった (表-7)。地域的な偏りはほとんどなかったが、十勝地方ではフェンブコナゾール剤耐性菌の割合が少なかった (表-8)。これは分離時点で本剤の使用実態がなかったためと推察されるが、フェンブコナゾール剤耐性菌における他剤 EC₅₀ はかなり高い値で、交叉耐性によりフェンブコナゾールの EC₅₀ も上がったと考えられる。

2002 年分離菌株と比較して、2015 年分離菌株の EC₅₀ 最大値は大幅に増大していた (表-9)。米国（ノースダ

コタ州・ミネソタ州) と比較しても、EC₅₀ 平均値は本調査 (ジフェノコナゾール 6.4 µg/ml, テトラコナゾール 13.6 µg/ml) が上回った (図-4)。本邦の DMI 剤耐性菌は前例のないレベルで高度に発達している状況である。

3 カスガマイシン剤

カスガマイシンはヘキソピラノシル系の抗生物質である。主に細菌病で登録され、細菌で耐性菌が報告されている。糸状菌病ではテンサイ褐斑病とイネいもち病に登録があり、いもち病菌で耐性菌が出現している。テンサイ褐斑病においても例外ではなく、カスガマイシン剤耐性菌は 1983 年に耐性菌が初めて確認された (CHIKUO et al., 1984)。耐性菌は実用的な防除効果が失われるが、弱耐性菌は培地上での生育は可能だが、実用上の防除効果に影響がない (現在の定義では感受性低下菌)。当時、耐性菌の検出率のごくわずかで、多くは弱耐性菌であった (表-10)。これを受け、耐性菌対策として、カスガマイシン剤は年 1 回までの使用と指導され、混合剤 (カスガマイシン・銅水和剤) に切り替えられた。1990 年のモニタリングで耐性菌が検出されなくなり、その後は本

表-10 カスガマイシン剤耐性菌の変遷

分離年	検定菌株数	菌株割合 (%)		
		感受性菌	弱耐性菌	耐性菌
1984年 ^{a)}	3,403	87.0	12.8	0.2
1985年 ^{b)}	2,234	79.3	17.0	3.6
1990年 ^{c)}	1,291	71.3	28.7	0.0
2014~17年 ^{d)}	310	19.7	25.5	54.8

^{a)} 築尾・杉本 (1985), ^{b)} 築尾・杉本 (1986), ^{c)} 成田ら (1991), ^{d)} 栢森 (投稿中).

表-11 カスガマイシン剤耐性菌のモニタリング (2014~17年分離株)

振興局	市町村数	菌株数	耐性菌割合 (%)	
			菌株割合	圃場割合
石狩	2	6	50.0	50.0
胆振	4	24	54.2	75.0
後志	1	3	0.0	0.0
空知	1	3	33.3	100
上川	4	59	55.9	100
十勝	14	77	57.1	53.3
オホーツク	13	138	55.1	79.3
合計	39	310	54.8	68.1

剤の検定は実施されていない。2010年の多発を受けて防除暦の中で本剤使用を2回へ増加した地域もあった。近年では本剤耐性菌の存在が忘れられており、もともと活性が低いことにより他剤と比べて防除効果が低いと誤認されることもあった。2017年の検定により耐性菌率増加による防除効果の低下であったことが明らかにされ、この誤認が解かれた。

2014~17年に分離した310菌株を用いて、CHIKUO et al. (1984) の簡易検定法で耐性菌の分布を調査したところ、耐性菌率は約55%で、道内一円に分布していた (表-11; 栢森, 投稿中)。

十勝には3糖業者があり、地域ごとに出荷する糖業者が決まっており (糖区)、防除体系は糖区ごとに類似している。それまで数年間同じ防除体系と考えられる2014年のカスガマイシンの防除回数と十勝分離菌77菌株を用い、防除回数と耐性菌率の地域 (糖区) 間差を調べた。年1回の糖区Cは耐性菌率23.5%であったが、年2回前後の糖区AおよびBでは70%, 63.3%と高く、薬剤への暴露頻度によって異なる傾向を示した (表-12)。

本剤耐性菌発生圃場 (十勝農試) で防除試験を行った結果、カスガマイシン単剤の防除価が著しく低く、混合剤であるカスガマイシン・銅水和剤は銅単剤と同程度の効果であった (表-13)。本剤耐性菌が優先する圃場においてカスガマイシン・銅水和剤は、銅剤に依存した効果

表-12 耐性菌率とカスガマイシン散布回数の相関関係 (n = 77)

糖区	JA数	散布回数 ^{a)}	菌株数			
			供試	感受性菌 (%)	弱耐性菌 (%)	耐性菌 (%)
A	10	2.3	30	7 (23.3)	2 (6.7)	21 (70.0)
B	5	1.6	30	7 (23.3)	4 (13.3)	19 (63.3)
C	9	1.0	17	8 (47.1)	5 (29.4)	4 (23.5)

^{a)} 2014年の農協ごとの防除指導における平均散布回数。

表-13 カスガマイシン剤, 銅剤, および混合剤の防除効果

薬剤	希釈倍率	9月15日	
		発病度	防除価
カスガマイシン液剤	400	45.3	12
銅水和剤	1,000	21.8	58
カスガマイシン・銅水和剤	1,000	22.4	57
対) マンゼブ水和剤	400	5.7	89
無処理		51.6	

※供試品種は‘アンジー’ (抵抗性: 強)。

であったと推察される。これまでの褐斑病抵抗性「弱」品種において、銅水和剤は実用的な防除手段となり得なかったが、褐斑病抵抗性「強」である‘アンジー’を用いた本試験において、銅単剤で発病度21.8に抑えられていることから、抵抗性品種の防除体系の中では銅剤も選択肢の一つとして期待できる。

本検定は2015年分離菌株を中心に実施したが、その後、残念ながらQoI剤の代替剤として年2回が3回に増えた地域も見られた。現在の耐性菌分布はさらに高密度になっていると推察される。

おわりに

チオファネートメチル剤がテンサイの防除薬剤として使われて以降、基幹防除薬剤において耐性菌の出現を招く歴史を繰り返してきた。直近のQoI剤, DMI剤は、いずれも治療剤として発病後の防除タイミングで施用され、省力化に貢献してきた。残された防除薬剤の中で最も有望な剤はマンゼブ剤であるが、これまでと同じタイミングではその効果を十分に発揮できない特性があり、予防的な防除タイミングに切り替えていく必要がある。しかし、マンゼブ剤の使用回数が5回までと制限があるため、これまでの「弱」品種において同じ水準で防除体系を組み立てるのは不可能であり、ある程度の発病と減収を許容しなければ成り立たない。

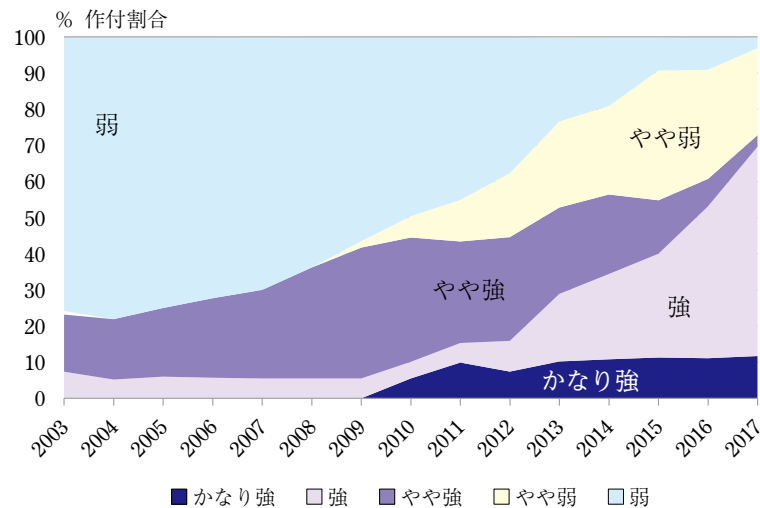


図-5 褐斑病抵抗性別の作付推移 (北海道農政部調べ)

幸運なことに、2016年に褐斑病抵抗性品種が道内一円で普及可能となった。これにより「弱」品種が撤退し、2017年時点で抵抗性「強」以上の作付割合は7割程度を占めるようになった(図-5)。近年の褐斑病多発を受け、北海道では褐斑病抵抗性「中」以上を優良品種認定基準とする指針を策定した。今後の防除戦略の中で、抵抗性品種は欠くことのできない技術であり、防除回数も抵抗性品種に合わせて適正化が求められている。現在、抵抗性「強」品種を対象に新たな防除体系を構築中である。

北海道の薬剤耐性菌への対応として、チオファネートメチル剤、QoI剤は使用中止とし、DMI剤・カスガマイシン剤は経過措置としての対策として、可能な限り使用回数を削減するように指導している。DMI剤の感受性の回復には一定期間使用しないことが必要と考えられるが、本邦の感受性低下レベルは世界的にも例がなく、どのくらいの期間が必要なのか知見がない。カスガマイシン剤は、耐性菌出現当初は年1回の制限が設けられていた。現在は単剤としての使用実態がなく、カスガマイシン・銅水和剤の使用は可能な限り使用回数を削減するように指導されている。本剤を年1回使用してきた糖区において、各種防除試験において本剤の防除効果が維持されていることと、生産現場においても防除効果低下は顕在化していないことから、今後も使用方法に注意しながら使用継続することは可能と考える。

2004年に清水によるDMI剤感受性検定を最後に、テンサイ褐斑病菌においてしばらく感受性検定が実施されていなかった。2014年に開始した一連の検定により、3系統(QoI剤、DMI剤、カスガマイシン剤)において耐性菌が高度に発達している状況が明らかになった。QoI剤耐性菌は海外とほぼ同じタイミングで確認された

が、DMI剤耐性菌については2010年の多発時に顕在化していたと推測され、その時点で対応するべきであった。既報のDMI剤感受性低下菌に準拠した指導はされていたものの、耐性菌と認められていなかったために踏み込んだ指導はできなかった。

当面の対策として、DMI剤、カスガマイシン剤は使用回数を減らす指導としているが、薬剤の効果は圃場ごとに異なり、これらの剤を使って一般的な防除体系を示すことができない。現在、マンゼブ剤を中心とした防除体系を構築中であり、これにより耐性菌の悪循環を断ち切ることが可能となる。現状、テンサイ褐斑病防除薬剤の中で耐性菌が発生しやすい薬剤は残されていないが、今後登録される薬剤についてはできるだけ長く使用できるように、連用を避け、定期的なモニタリングを実施する等の対策を取らねばならない。

本稿執筆にあたり日本甜菜製糖株式会社の斎藤英俊氏、大竹勝氏に情報提供いただいたことに、感謝申し上げます。

引用文献

- 1) BOLTON, M. D. et al. (2013): Pest Manag. Sci. 69: 35~39.
- 2) CHIKUO, Y. et al. (1984): Ann. Phytopath. Soc. Japan 50: 637~640.
- 3) 築尾嘉章・杉本利哉 (1985): てん菜研究会報 27: 80~85.
- 4) ——— (1986): 同上 28: 160~165.
- 5) 堀田治邦ら (1996): 北農 63: 394~401.
- 6) 池谷美奈子・池谷 聡 (2015): 日植病報 81: 93.
- 7) 栢森美如・安岡眞二 (2018): 同上 84: 217.
- 8) ——— (2018): てん研報 59: 18~24.
- 9) ——— (2019): 北日本病虫研報 (投稿中).
- 10) 成田正孝ら (1991): てん菜研究会報 33: 82~87.
- 11) 清水基滋 (2007): 植物防疫 61: 421~425.
- 12) ——— (2007): 第16回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム 講要集: 1~10.
- 13) 内野浩克ら (1999): 日植病報 65: 403.

調査報告

青森県におけるリンゴのナミハダニに対する殺ダニ剤の効力の推移

地方独立行政法人 青森県産業技術センター りんご研究所 木 村 佳 子

はじめに

青森県ではリンゴを加害するハダニ類のうち、ナミハダニ *Tetranychus urticae* とリンゴハダニ *Panonychus ulmi* の2種が防除対象となっている。青森県病害虫防除所の調査によると、この10年ほどはナミハダニが優占しており、リンゴハダニの発生は少ない状況が続いている(図-1)。

ナミハダニは世界各地に分布する広食性のハダニであり、果樹だけでなく、野菜、花き等の様々な作物に発生して被害を及ぼすことから重要害虫として位置づけられている(江原・真梶, 1996)。

ナミハダニの防除は、化学的防除が主体となっているが、本種は薬剤抵抗性が最も発達しやすい害虫の一つであり(江原・真梶, 1996; 刑部・上杉, 2009)、現場ではしばしば薬剤抵抗性が原因と見られるナミハダニの多発が起こってきた。

このため、生産現場では殺ダニ剤の効力に対する関心

が高く、モニタリング調査の実施とその結果の情報発信は、効率的な防除を行ううえで極めて重要なものとなっている。りんご研究所ではこれまで、随時、効力検定を実施し、その結果をハダニ類の防除指導に反映してきた。これまで蓄積したデータを基に、現在普及している殺ダニ剤の効力の推移についてまとめた。また、新規殺ダニ剤の効力特性を明らかにしたので、それらも併せて紹介する。

I 薬剤効力検定

2003~17年(2009~11年および2014年を除く)に、青森県内のりんご園から、ナミハダニの寄生しているリンゴの葉を採取し、室内で栽培したインゲン(品種‘金時’)にナミハダニを採取地点ごとに接種して、16L8Dの日長条件、23~25℃の温度条件下で十分増殖させた後、供試した。

薬剤として、BPPS(30%)水和剤750倍、ミルバメクチン(1%)乳剤1,000倍、ビフェナゼート(20%)水

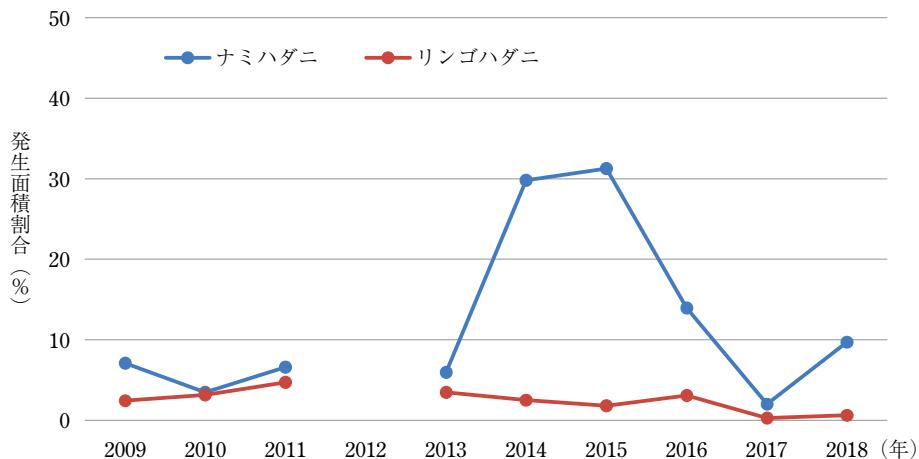


図-1 青森県における発生面積割合(青森県病害虫防除所, 有害動物発生予察事業年報を改変)
※2012年はハダニ類として調査。

Effect of Acaricides on the Two Spotted Spider Mite *Tetranychus urticae*, in Apple Orchards in Aomori Prefecture. By Yoshiko KIMURA

(キーワード: 交差抵抗性, 殺ダニ剤, ナミハダニ, リンゴ)

和剤1,000倍、シフルメトフェン(20%)水和剤1,000倍、シエノピラフェン(30%)水和剤2,000倍、ピフルブミド(20%)水和剤2,000倍、スピロメシフェン(30%)水和剤2,000倍、スピロジクロフェン(38%)水和剤2,000倍(現在、青森県のみ販売)を供試し、対照として展着剤のポリアルキレングリコールアルキルエーテル(27%)10,000倍のみの区を設けた。

成虫および卵を対象に感受性検定を実施した。成虫試験では、コルクボーラーで直径20mmの円形に切り抜いたインゲン葉片を用い、1葉片に10個体の雌成虫を接種し、農薬散布塔を用いてポリアルキレングリコールアルキルエーテル(27%)10,000倍加用の薬液を約6mg/cm²散布した。風乾後、23℃の恒温室に静置し、散布2日後に実体顕微鏡で生存虫数、死亡虫数(苦悶虫数を含む)、葉片外への逃亡虫数を計数した。また、散布10日後には次世代幼若虫の生存個体数を計数した。

卵試験では、1葉片に10個体の雌成虫を接種し、23℃の恒温室に静置し、約24時間後に雌成虫を除去後、産卵数を計数した。成虫試験と同様に薬液を散布・風乾後、23℃の恒温室に静置し、散布10日後に未ふ化卵数、ふ化個体の生存虫数および死亡虫数を計数した。

効力の評価は成虫の補正死虫率、増殖率および補正死卵率で評価した。

補正死虫率は、成虫試験の処理2日後の調査で葉片外への逃亡虫を除外した個体数に基づき、ABBOTTの補正式(ABBOTT, 1925)によって算出した。上市前の効力検定で、成虫に対する効果が高かったミルベメクチン、ピフェナゼート、シエノピラフェンおよびピフルブミドについては補正死虫率が90%以下で効力低下と判定した。BPPS、シフルメトフェン、スピロメシフェンおよびスピロジクロフェンでは、採用当初効果がばらつき、低い傾向にあったので、評価しなかった。

増殖率は、成虫試験の処理10日後の調査において、接種個体数に対する生存幼虫および生存若虫の個体数に基づいて算出した。増殖率が1よりも大きい場合、増加に転じたとみなし、効力低下と判定した。

補正死卵率は、卵試験の処理10日後の調査において、未ふ化卵とふ化後の死亡個体を合計した値に基づき、ABBOTTの補正式により算出した。補正死卵率が90%以下で効力低下と判定した。

II 効力の実態

1 成虫における補正死虫率

2003~17年までの補正死虫率の推移を図-2に示した。ミルベメクチンおよびピフェナゼートでは年によってや

や低い地点があったが、おおむね90%以上の高い値で推移した。シエノピラフェンでは、試験開始当初の2007年および2008年では、いずれの地点でも100%の高い値を示した。しかし、2013年以降、ばらつきが見られるようになり、2017年の結果では10地点中7地点で補正死虫率が90%以下であった。ピフルブミドでは、試験開始当初の2015年には9地点中1地点で、また2017年には10地点中2地点で90%以下であった。

一方、採用当初成虫に対する殺ダニ効果にばらつきがあったBPPS、スピロメシフェンおよびシフルメトフェンでは、2003年以降も大きな変化は認められなかった。新規薬剤のスピロジクロフェンでは、いずれの地点でも50%以下の低い値を示したことから、成虫に対する効果は元々低い性質があるものと考えられた。

2 成虫における増殖率

2006~08年と2015~17年の調査方法が同様だったので、これらのデータについて比較した(図-3)。ミルベメクチンでは、いずれの年も増殖率が1よりも低かった。BPPSおよびピフェナゼートでは2015年以降の試験で1より大きい値を示した地点が見られたが、多くの場合1より少なかった。

シフルメトフェン、シエノピラフェンおよびスピロメシフェンでは、2015年以降、1よりも大きい値を示す圃地が増加傾向にあった。ピフルブミドでは2015年および2016年はいずれの地点でも1より低かったが、2017年の結果では10地点中2地点で1より高い値を示した。

シフルメトフェンおよびスピロメシフェンは、元來成虫に効果が低いものの、次世代に効力を発揮していたと考えられる。ところが、2015年以降、次世代が正常に発育する個体群が見られるようになったことから、効力低下が進んでいると考えられる。

3 補正死卵率

2003~17年までの補正死卵率の推移を図-4に示した。ミルベメクチンはいずれの年もほぼ100%の高い値で推移した。ピフェナゼートでは年によってやや低い地点があったが、ほぼ90%以上の高い値で推移した。BPPSでは2013年以降、やや低い値を示した地点があったものの、比較的高い値を示した。スピロメシフェンでは2012年ごろから徐々に低下傾向にあり、2017年の結果では90%以下の地点が10地点中5地点であった。シフルメトフェンでは2015年以降低下傾向にあり、2017年の結果では10地点中4地点で90%以下であった。シエノピラフェンでは2016年から低い地点が見られるようになり、2017年には10地点中3地点で低かった。また、ピフルブミドでは2017年に10地点中2地点で低い値を

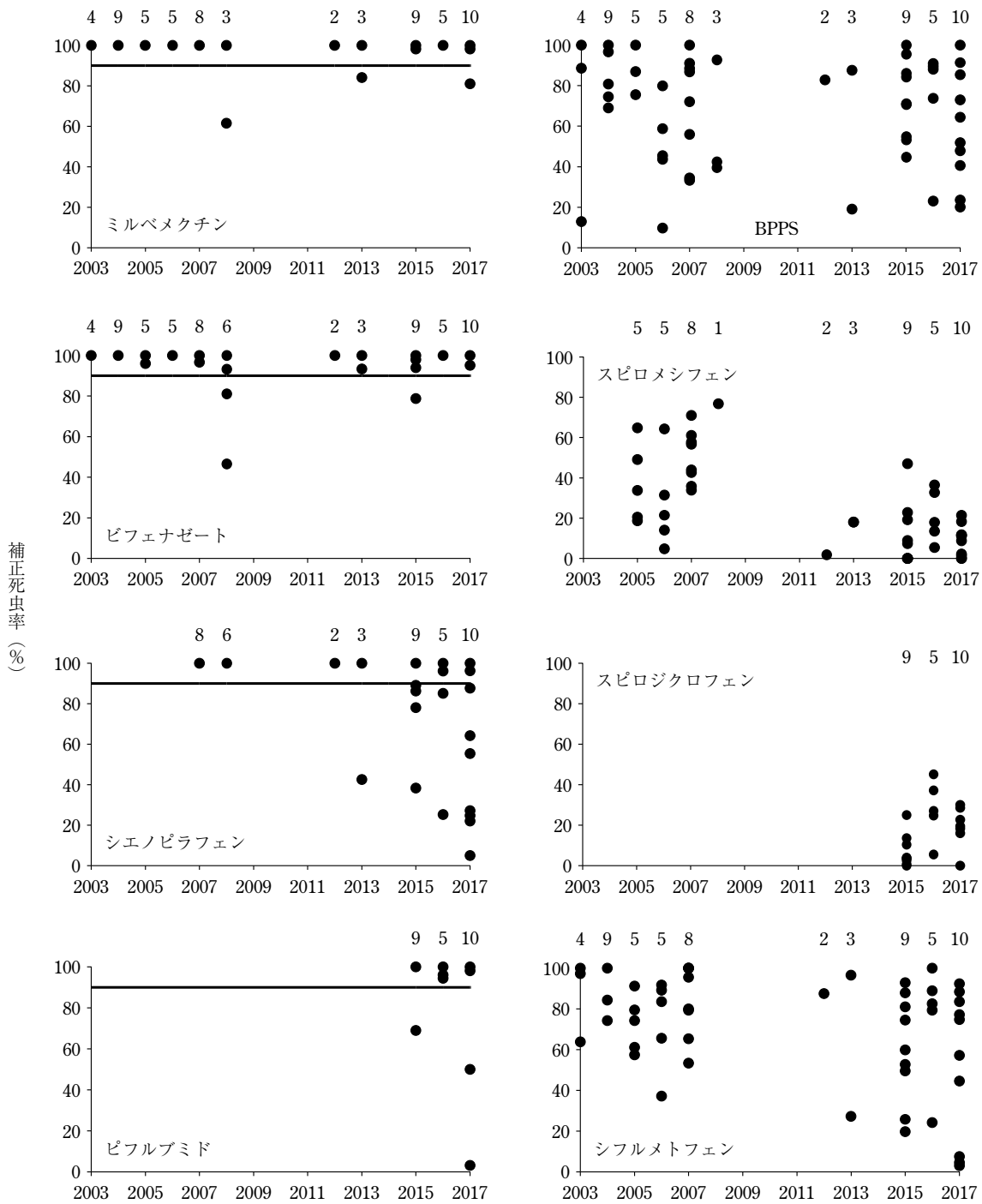


図-2 ナミハダニの雌成虫に対する効果の推移 (木村ら, 2018 より引用)

※プロット上の数値: その年の試験個体群数.

示した。2015年から検定を開始したスピロジクロフェンでは、3か年とも90%以上の高い値を示した。

以上の3項目の結果から総合的に判断すると、ミルベメクチンおよびビフェナゼートでは、高い効力を維持していると考えられた。BPPSでは、次世代に対する効果と卵に対する効果がやや低下している地点があるものの、高い効力を維持していると考えられた。シフルメト

フェンでは、一部地点で次世代に対する効果および卵に対する効果が低下していると考えられた。シエノピラフェンおよびピフルブミドでは、一部地点で成虫に対する効果、次世代に対する効果および卵に対する効果が低下していると考えられた。また、スピロメシフェンでは、次世代に対する効果および卵に対する効果が広い地域で低下していると考えられた。スピロジクロフェンでは、

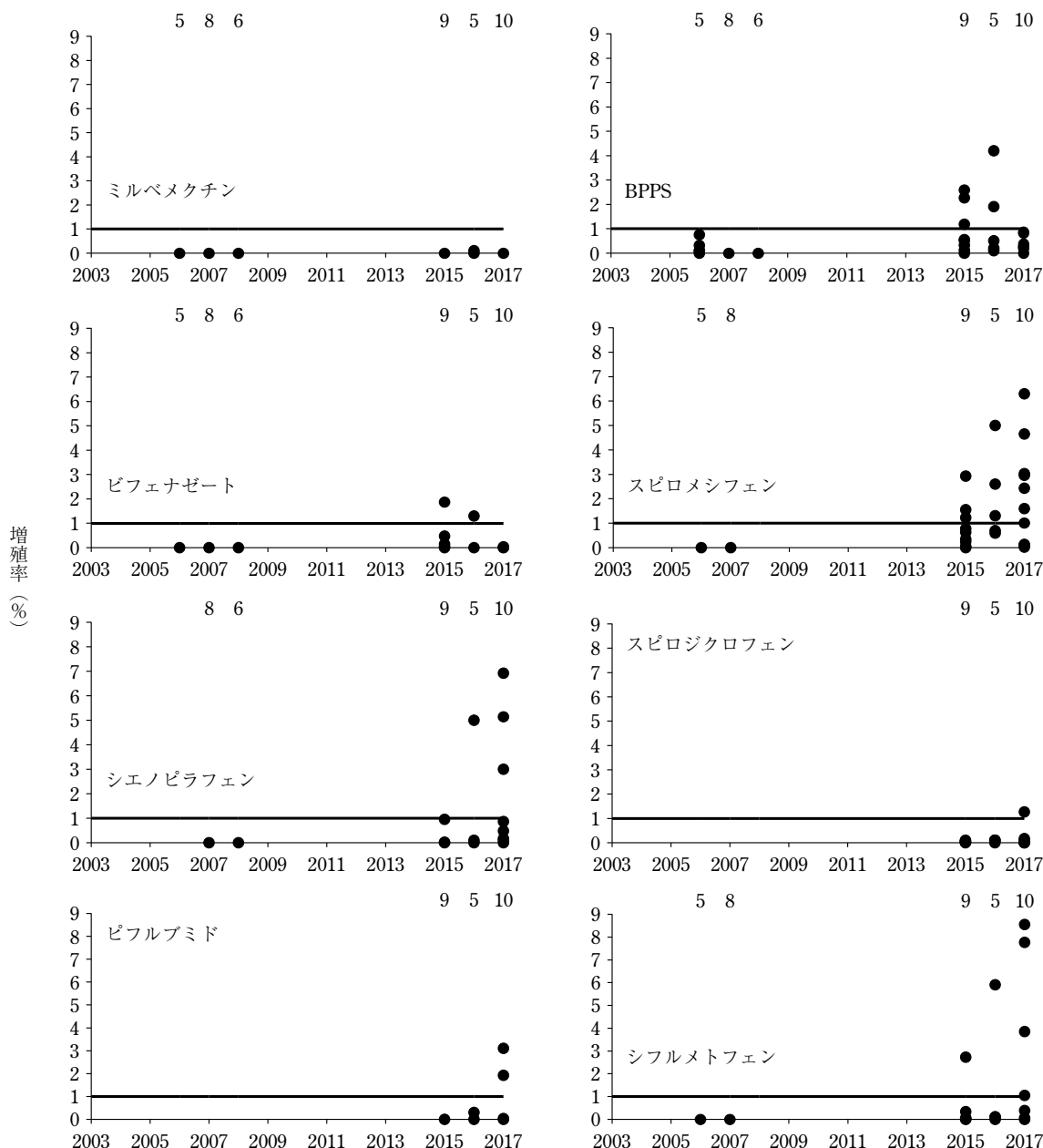


図-3 ナミハダニの次世代への影響 (木村ら, 2018 より引用)

※プロット上の数値：その年の試験個体群数。

増殖率：接種した雌成虫数に対する散布 10 日後の生存ふ化個体数の比率。

一部で次世代に対する効果がやや低かったが、卵に対する効果が高く、高い効果があると考えられた。

4 各薬剤間の相関関係

2015~17年の3か年の結果に基づいて、補正死虫率および補正死卵率をアークサイン変換し、各薬剤間の相関係数を算出した(表-1)。表の上側は成虫、下側は卵における相関係数を示している。

成虫および卵で、シフルメトフェン、シエノピラフェンおよびピフルブミドの3剤で、相互に正の高い相関が認められた。シフルメトフェン、シエノピラフェンおよ

びピフルブミドは、それぞれの相関係数が高かったことから、交差抵抗性が発達していることが示唆された。これらの剤はIRACの作用機構分類表(農薬工業会, 2017)では、一次作用部位(作用点)が同じグループに分類されており、このことに起因して起きた現象であると考えられる。

また、成虫ではスピロメシフェンおよびスピロジクロフェンの間でも高い相関が認められた。これら、2剤は、IRACの作用機構分類表で一次作用部位が同じグループに分類されており、将来的に交差抵抗性が顕在化する可

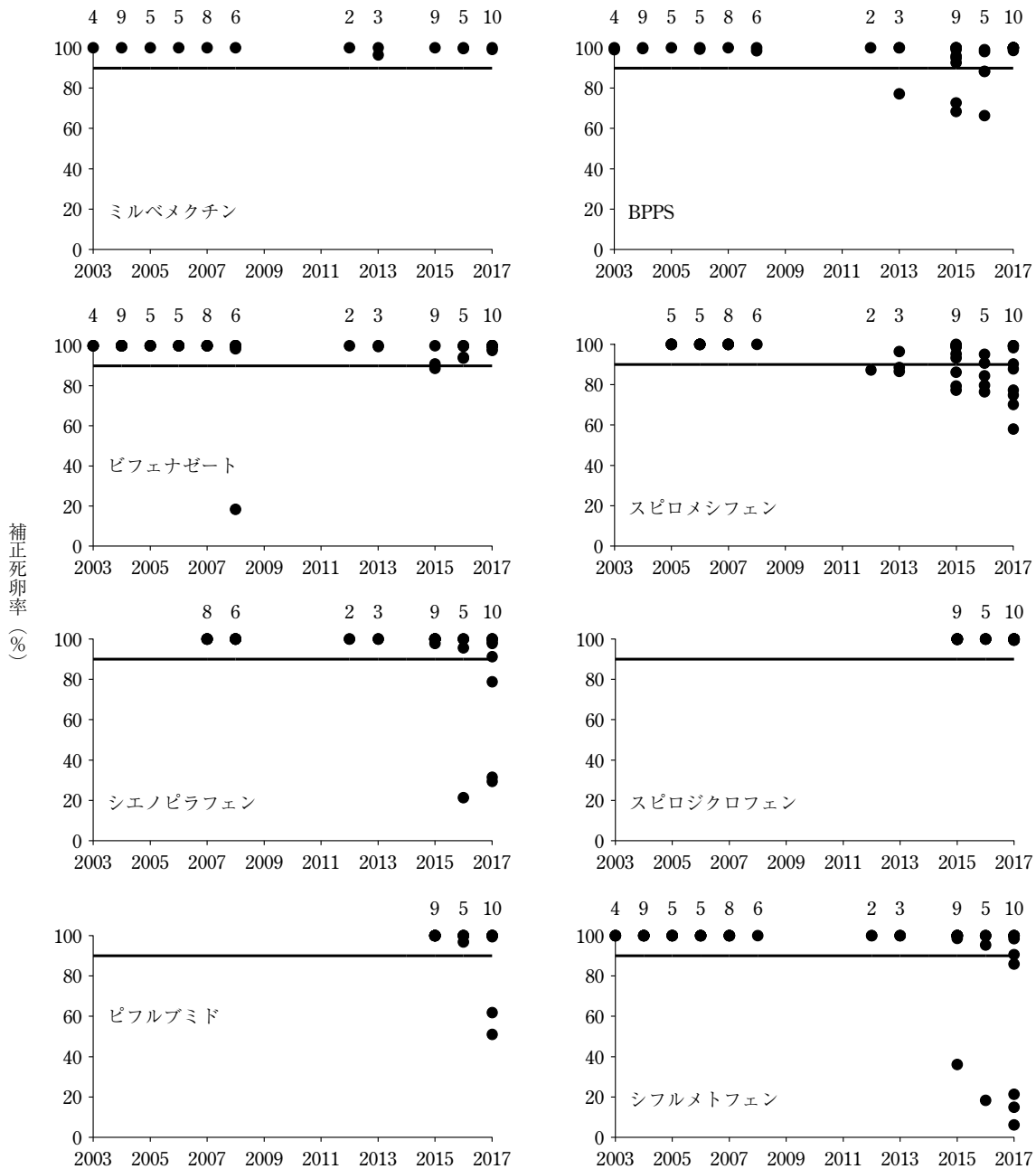


図-4 ナミハダニの卵に対する効果の推移 (木村ら, 2018 より引用)

※プロット上の数値: その年の試験個体群数。

性能が否定できない。スピロジクロフェンは新規の薬剤であり、今のところ、効力が高いが今後の動向に注意が必要である。

5 シフルメトフェンおよびスピロメシフェンの関係

2015~17年の3か年の結果に基づいて、シフルメトフェンおよびスピロメシフェンの補正死卵率の関係を図-5に示した。両剤の値がともに高い地点も見られたものの、シフルメトフェンの値が低い地点ではスピロメシフェンの値が高く、スピロメシフェンの値が低い地点ではシフルメトフェンの値が高い傾向が認められた。

シフルメトフェンおよびスピロメシフェンの間では、一方の薬剤における殺卵効果が高いところではもう一方の効果が低い関係が認められたことから、負の交差抵抗性が示唆された。しかし、これまでも負の抵抗性を認めた事例は少なく (Kato et al., 1999), 今後遺伝的な様式を解明するなど、慎重に調査を実施して検証する必要がある。

おわりに

スピロメシフェン, シフルメトフェン, シエノピラフ

表-1 2015~17年の試験に基づく2薬剤間の相関係数(木村ら, 2018より引用)

薬剤名	BPPS	ミルベメクチン	ピフェナゼート	シフルメトフェン	シエノピラフェン	ピフルブミド	スピロメシフェン	スピロジクロフェン
BPPS		0.4088	0.1692	-0.0265	0.0548	0.0053	-0.2822	-0.4055
ミルベメクチン	-0.021		0.0951	-0.2707	-0.1394	-0.1391	0.2042	-0.1304
ピフェナゼート	0.2296	-0.1172		0.2526	0.2565	0.3339	0.1929	0.1244
シフルメトフェン	-0.1982	-0.186	0.4762		0.8501**	0.6450**	0.1186	0.3498
シエノピラフェン	-0.1493	-0.1636	0.3544	0.9116**		0.5985**	0.0483	0.1928
ピフルブミド	-0.1614	-0.1039	0.1112	0.7107**	0.8089**		0.0191	0.2985
スピロメシフェン	0.1459	-0.1045	-0.1434	-0.3706	-0.2853	-0.3473		0.5962**
スピロジクロフェン	-0.3043	0.3099	0.0129	-0.0228	-0.1539	-0.1114	-0.0944	

注) 表の右上半分は成虫試験に基づく相関係数, 表の左下半分は卵試験に基づく相関係数.
 **: 1%水準で有意性あり.

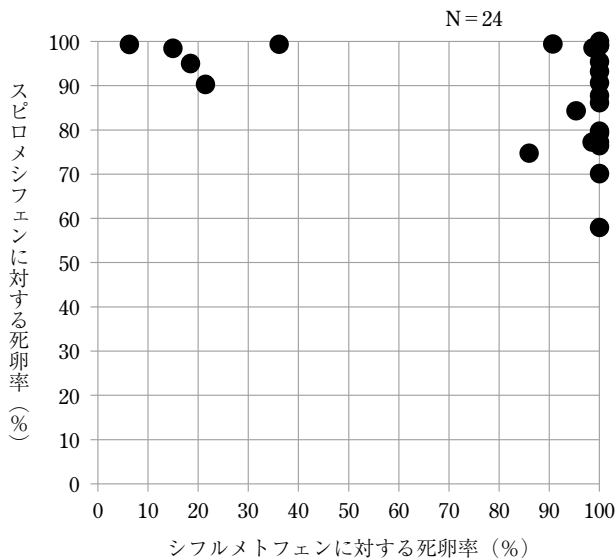


図-5 シフルメトフェンおよびスピロメシフェンにおける補正死卵率の関係(木村ら, 2018より引用)

エンは, 2007~2008年の上市後, 主要な殺ダニ剤として高頻度で使用されてきた背景があり, このことが効力低下を助長した可能性がある。また, 新規のピフルブミドが普及後に比較的早い時点で, 効力低下が認められたのは交差抵抗性が示唆されるシフルメトフェンおよびシエノピラフェンの使用による淘汰の結果と考えられる。

現在, 新規殺ダニ剤の開発が鈍化していることも踏まえると, 殺ダニ剤による化学的防除はより厳しさを増していると考えられる。これからは, 持続的にハダニ類を防除できる他の技術を打ち出していかなければならないだろう。

青森県内では, 近年, 土着天敵であるフツウカブリダニを主体としたカブリダニ類が一般の防除園でも確認されるようになってきた(平山, 未発表)。特に8月以降にカブリダニ類の密度が高く維持される傾向が認められており, ハダニ類の密度を抑制していることが示唆されている(石栗ら, 2018)。さらに, フツウカブリダニが有機リン剤や合成ピレスロイド剤に対して感受性が低下していることが示唆されている(十川ら, 2018)ことから, 一般防除園での活用が可能であると考えられる。今後, カブリダニ類の利用に向けて, 栽培管理や薬剤防除体系等について明らかにする必要があるだろう。

また, 薬剤抵抗性が発達しにくいといわれる気門封鎖型の殺ダニ剤は, 持続的な防除剤として期待されるものの一つである。これまで, プロピレングリコールモノ脂肪酸エステル(70%)乳剤を用いて実施した防除試験では, 気温が高くない早い時期での使用で, 一定の効果が認められており(木村, 未発表), 今後, さらに効果的な使用時期, 散布回数及び散布間隔などの解明が必要であると考えられる。

引用文献

- 1) ABBOTT, W. S. (1925): J. Econ. Entomol. 18: 265~267.
- 2) 江原昭三・真梶徳純 編 (1996): 全国農村教育協会, 東京, 419 pp.
- 3) 石栗陽一ら (2018): 北日本病虫研報 69 講演要旨: 218.
- 4) KATO, Y. et al. (1999): J. Pesticide Sci. 24: 364~368.
- 5) 木村佳子ら (2018): 北日本病虫研報 69: 177~182.
- 6) 農業工業会 (2017): http://www.jpca.or.jp/lab0/pdf/2017/mechanism_irc02.pdf
- 7) 刑部正博・上杉龍士 (2009): 日本農薬学会誌 34(3): 207~214.
- 8) 十川聡子ら (2018): 北日本病虫研報 69 講演要旨: 217.

新技術 解説

オニオンパウダートラップによるネダニ類生息数調査法とそれを活用した防除体系の構築

福井県農業試験場 かけひ 寛 みさき 美咲・たかおか 高岡 せいいち 誠一

はじめに

土壤中に生息するネダニ類は、ラッキョウの子球を吸汁加害する最も重要な害虫である（図-1～3）。福井県においてラッキョウを加害するネダニ類の主な種類はロビンネダニ *Rhizoglyphus robini* である。体長は成虫で約0.7 mm であり非常に小さくまた、鱗片葉内や土壤中に生息するために見つけにくく、被害が出るまで発生に気づかないことがある。そこで、ロビンネダニを主とするネダニ類がネギ類の匂いに誘引され、また隙間を好む性質を利用したトラップ、およびトラップを活用した防除体系を開発した。

I 福井県におけるネダニ類によるラッキョウの被害

福井県の三里浜砂丘におけるラッキョウの三年子栽培は、他県の一年掘り栽培と異なり栽培期間が3年に及ぶため、ネダニ類の被害を受けやすい。また、化学的防除である浸漬処理剤は3年間の栽培期間中では効果が持続できず、生育期に簡便に使用できる殺虫粒剤も少ない。

II トラップ作成・使用方法

1 準備物

耐水シール紙、オニオンパウダー（加熱処理、および塩分等の調味料が加えられていないもの）、チャック付きビニール袋。

2 手順（図-4）

（1）耐水シール紙を直径5 cm の円形に切り取る。粘着面にオニオンパウダーを均一に付着させ、粘着面を内側にして半分に折りたたむ。

（2）土壌200 g をチャック付きビニール袋に入れ、袋全体に厚さが均一になるように広げる。

（3）土壌表面にオニオンパウダートラップを3枚設



図-1 ネダニ類の被害を受けたラッキョウ子球



図-2 食害部拡大



図-3 ロビンネダニ成虫

Survey Method for Number of *Rhizoglyphus* spp. in Soil with Onion Powder Traps, and Construct Insect Pest Control System. By Misaki KAKEHI and Seiichi TAKAOKA

（キーワード：ラッキョウ，ネダニ類，オニオンパウダートラップ）

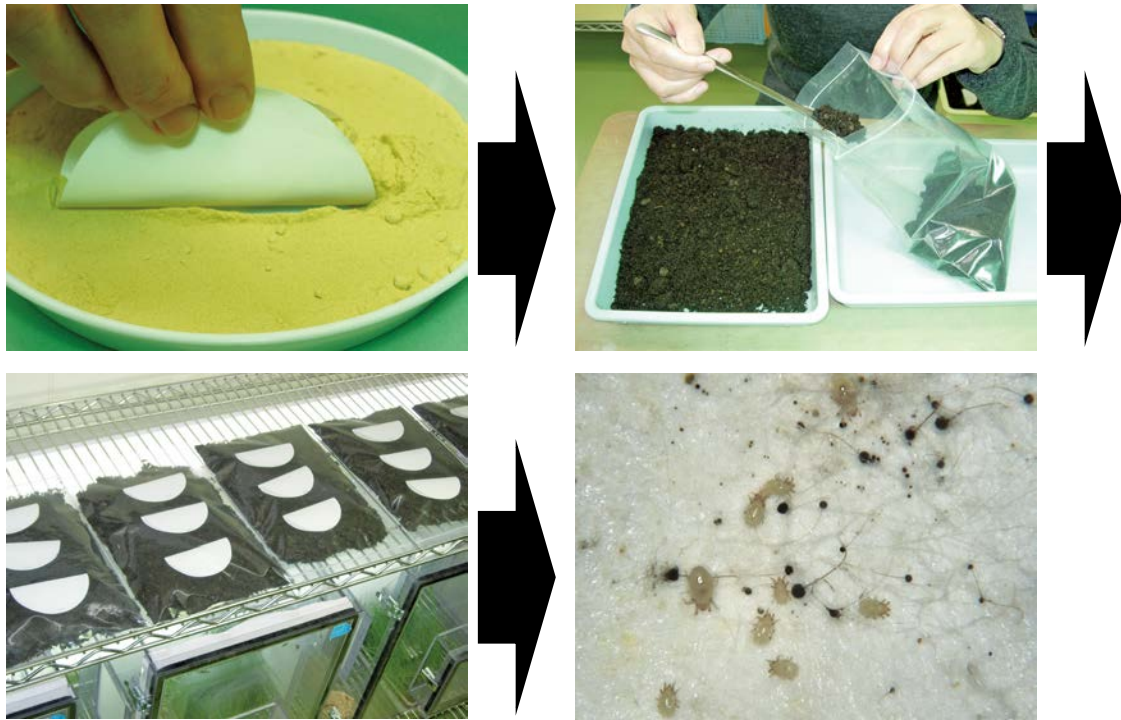


図-4 オニオンパウダートラップの制作過程および捕獲されたネダニ類

表-1 調査期間中（3日間）のネダニの増殖率

処理区	調査開始時の放飼虫数			調査終了時の虫数			増殖率	増殖率 平均
	成虫	幼虫	計	成虫	幼虫	計		
1	23	20	43	39	13	52	120.9%	128.0%
2	5	5	10	8	6	14	140.0%	
3	12	14	26	20	12	32	123.1%	

置し、20～25℃暗黒下で3～4日静置する。

(4) 実体顕微鏡，もしくはルーペを用いて観察する。

3 注意点

土壤が過湿状態にあるとオニオンパウダートラップ表面にカビが発生して視認性が悪くなるため，ビニール袋にろ紙などを入れて除湿するなどの工夫が必要である。逆に，乾燥状態にあってもネダニ類の活動が鈍るため，この場合は霧吹きで加湿する。

III 調査期間中の増殖率およびトラップの捕獲効率

1 調査期間中のネダニ類の増殖率

ラッキョウに寄生していたネダニ類の頭数を数え，オートクレーブ処理した土壤 200 g に放飼した。20℃の暗黒下で3日間静置後，マイクロスコップを用いて土壤中のネダニ類の生息数を調査し，放飼虫数と比較した。オニオンパウダートラップの設置期間である3日間のネダニ類の増殖率は128.0%であった（表-1）。

2 オニオンパウダートラップの捕獲効率

ラッキョウに寄生していたネダニ類の頭数を数え，オートクレーブ処理した土壤 200 g に放飼した。土壤の上にオニオンパウダートラップを3枚設置し，20℃の暗黒下で3日間静置後，マイクロスコップを用いてトラップに誘引されたネダニ類の捕獲数を調査した。オニオンパウダートラップの見かけの捕獲率は91.1%であるが，オニオンパウダートラップ設置期間中のネダニ類の増殖率は128.0%であるため，増殖率を補正して捕獲率を算出すると71.2%となった（表-2）。オニオンパウダートラップの捕獲率は高く，精度の高い調査法であった。

IV 越冬後と収穫前の捕獲数の相関

薬剤無処理の圃場において，収穫年の越冬後（3月27日と4月5日）に，採集した土壤 200 g の上にそれぞれオニオンパウダートラップを3枚設置し，20℃の暗黒下で3日間静置後，マイクロスコップを用いてトラップに誘引された土壤中のネダニ類の数を調査した。収穫前（5

表-2 オニオンパウダートラップのネダニ類の誘引力

処理区	放飼虫数			捕獲虫数						見かけの捕獲率	見かけの捕獲率平均	増殖率補正後捕獲率
	成虫	幼虫	計	成虫			幼虫					
				①	②	③	①	②	③			
1	34	55	89	14	3	18	2	14	4	55	61.8%	
2	2	16	18	4	2	5	1	5	3	20	111.1%	
3	19	37	56	6	3	12	4	18	3	46	82.1%	
4	0	44	44	13	3	15	4	4	1	40	90.9%	
5	8	18	26	3	1	9	2	5	3	23	88.5%	
6	11	28	39	5	2	10	3	13	4	37	94.9%	91.1%
7	3	30	33	8	2	6	1	11	3	31	93.9%	71.2%
8	7	19	26	13	4	2	0	2	1	22	84.6%	
9	1	9	10	5	2	6	2	1	0	16	160.0%	
10	4	19	23	2	1	3	1	3	0	10	43.5%	

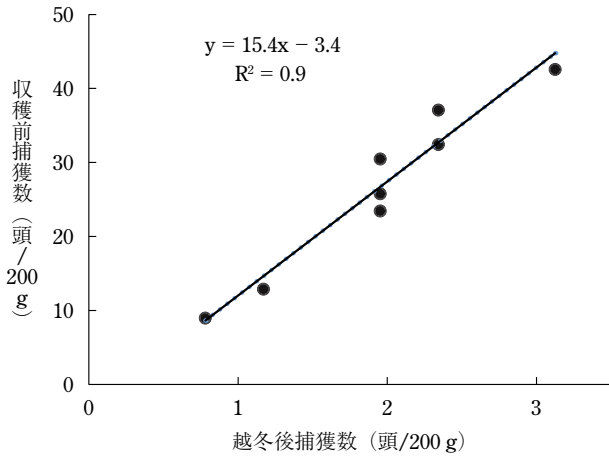


図-5 越冬後捕獲頭数と収穫前捕獲頭数の相関

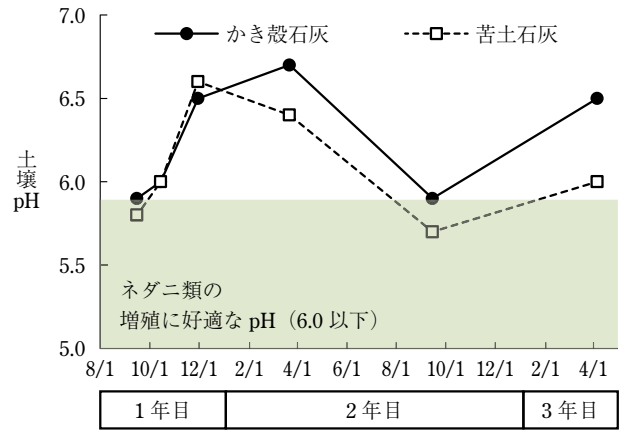


図-6 かき殻石灰および苦土石灰を施用した場合の pH 推移

月 27 日と 6 月 5 日) においても前述と同様の手法で土壌中のネダニ類の数を調査し、越冬後の捕獲数と比較して相関関係を求めた (図-5)。越冬後の捕獲数は収穫前のネダニ類の捕獲数と高い相関が見られるため、オニオンパウダートラップの精度が高いことが改めて証明され、簡易な調査法として利用できると考えられる。

V かき殻石灰を施用した場合の寄生ネダニ数

ネダニ類の増殖に適した土壌 pH は 5.0~6.0 であり (高井, 1990) (梅谷・岡田, 2003), 慣行的に pH 矯正のため基肥に苦土石灰を施用している。しかし基肥に苦土石灰 (100 kg/10 a) を施用した場合は施用後 3 か月をピークに pH が低下し、収穫までの間に pH が 6.0 を下回る期間は約 9 か月に及んだ (図-6)。一方、基肥にかき殻石灰 (200 kg/10 a) を施用した場合は施用後半年 (栽培 2 年目 3 月, 追肥直前) にピークを迎えた。追肥時にかき殻石灰 (100 kg/10 a) も施用すると、pH は緩やかに低下するが、6.0 を下回る期間は 2 か月に抑えられた。

pH が一時的に低下し、その後 3 年目 4 月までに上昇するのは追肥の影響と考えられる。

VI イミシアホス粒剤 (ネマキック粒剤) を併用した場合の土壌中ネダニ数の増加割合

越冬後から収穫前にかけての土壌中のネダニ類の増殖率について、慣行区 (基肥に苦土石灰 (100 kg/10 a), 収穫年 3 月にイミシアホス粒剤 (5 kg/10 a) を施用) と、かき殻・薬剤併用区 (基肥と追肥時にかき殻石灰 (それぞれ 200 kg/10 a, 100 kg/10 a)), 収穫年 3 月にイミシアホス粒剤 (5 kg/10 a) を施用), および無処理区 (石灰資材・薬剤施用なし) を比較すると、無処理区の増殖率を 100% とした場合、慣行区では対無処理区の 16% であるが、かき殻・薬剤併用区では 5% と、高い防除効果を得ることができた (図-7)。

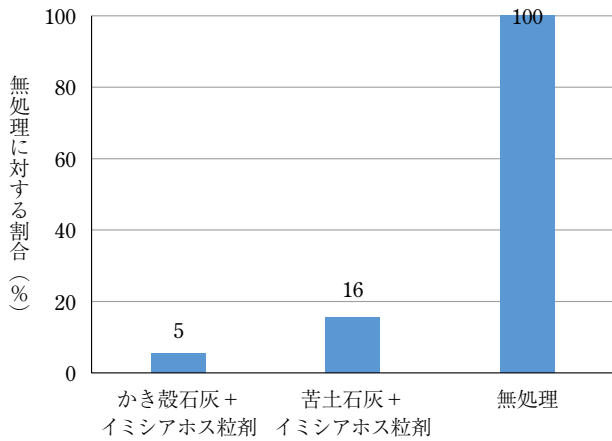


図-7 無処理を100とした場合のネダニ類増殖率

VII オニオンパウダートラップによる調査を用いた防除体系

現行の防除管理では、収穫年の3月と5月にイミシアホス粒剤を施用することになっている。前述の通り、かき殻石灰とイミシアホス粒剤を併用すると高い防除効果を得られ、またオニオンパウダートラップにより精度の高い調査ができる。過去の調査と被害実態から越冬後捕獲数が3頭になると、収穫前捕獲数との相関および捕獲効率から、収穫前の土壌200g中に60頭存在することになり、約10%の減収が見込まれるため、防除が必要になると考えられる。かき殻石灰とイミシアホス粒剤によって土壌中のネダニ数を抑え、それをオニオンパウダートラップで確認することにより、越冬後の薬剤散布の後に追加で薬剤散布が必要かどうか判断できる(図-8)。

おわりに

オニオンパウダートラップで捕獲された頭数により防

月	旬	慣行栽培	トラップ導入
3	上	薬剤散布	薬剤散布
	中		↓
	下		トラップ調査
4	上		薬剤散布 散布なし
	中		↓
	下		トラップ調査
5	上	薬剤散布	薬剤散布 散布なし

図-8 オニオンパウダートラップを導入した場合の防除スケジュールの例

除要否を判断できるので、減農薬栽培の実現が可能となり、現在、トラップによる土壌中のネダニ類の頭数調査は三里浜特産農業協同組合において現場導入されている。また、このトラップはニンニクなどの他のネギ類やユリ等のロビンネダニの食害を受ける作物の防除にも応用できる可能性がある。ただし今回トラップ作成に使用した耐水シール紙は白地のものだったが、捕獲したネダニ類を数えやすいようにグリッド線をつけたり、視認性の向上のために黒地のものにする等、改良の余地がある。今後さらにトラップの改良を進め、今回紹介した防除体系の普及を促進し、ラッキョウの増収につなげていきたい。

引用文献

- 1) 高井幹夫(1990): 農業総覧 病虫害防除・資材編(4), 農山漁村文化協会, 東京, p.701.
- 2) 梅谷献二・岡田利承(編)(2003): 日本農業害虫大事典, 全国農村教育協会, 東京, p.289.

新技術 解説

薬剤効果試験のためのチバクロバネキノコバエ自然発生促進方法および簡易飼育方法

一般社団法人 日本植物防疫協会 小 ばやし まさ ふみ
林 政 文

はじめに

クロバネキノコバエ類は、クロバネキノコバエ科 (*Sciaridae*) に属する昆虫であり、園芸作物では主にチバクロバネキノコバエ *Bradysia impatiens* (Johannsen) による被害がしばしば問題となってきた (図-1)。施設園芸作物や露地野菜への被害が報告され、特に促成栽培のキュウリにおいて被害が大きいとされてきた (笹川・赤松, 1978; 中込, 1980; 笹川, 1985)。また、温室メロン (池田, 1986) やリンドウ等の花き類 (伊村, 1992; 後藤・藤沢, 2003) 等でも被害が報告されている。近年では特にイチゴにおいての被害報告が多く、1998年に三重県 (三重県病害虫防除所, 1998), 2004年に長野県 (長野県病害虫防除所, 2004), 2008年に長崎県 (長崎県病害虫防除所, 2008), 2010年に佐賀県 (佐賀県農業技術防除センター病害虫防除部, 2010), 2014年に茨城県 (茨城県病害虫防除所, 2014) から病害虫発生予察特殊報が出されており、全国的な問題になっている。

さらに、2014年より埼玉県の秋冬ネギ、2015年には春ニンジンの一部 (埼玉県病害虫防除所, 2016) で、2016年には群馬県の秋冬ネギ (群馬県農業技術センタ

ー環境部発生予察係, 2017) においても、新種のネギネクロバネキノコバエ (SUEYOSHI and YOSHIMATSU, 2019) による被害が報告されており、クロバネキノコバエ類への関心が高まっている。

現在、クロバネキノコバエ類に対してイチゴ、ネギ、ニンジン等で農薬登録が進み、ジノテフラン顆粒水溶剤、スピネトラム SC、ダイアジノン粒剤 5、トルフェンピラド乳剤、ニテンピラム水溶剤、テフルトリン粒剤、フルフェノクスロン乳剤等が使用可能となっている (2019年5月15日現在)。チバクロバネキノコバエは全国的に発生しているが、薬剤効果試験方法は定まっていない。本研究は、農薬登録のための薬剤効果試験における試験方法を確立するため、本種の自然発生促進方法や放飼のための簡便な飼育方法を検討したので報告する。

I 自然発生促進方法

これまでにイチゴ、花き類等で薬剤効果試験が実施されてきた。本種は国内全域に分布しているものの圃場内に均一に自然発生させ、薬剤効果試験を実施した例は少ない。本研究では、本種に対する薬剤効果試験の準備段階として、イチゴを対象とした試験区内に幼虫を均一に



図-1 チバクロバネキノコバエ成虫 (左: 雄, 右: 雌)

A Natural Outbreak Increasing Method and a Simple Rearing Method of Dark-Winged Fungus Gnats *Bradysia impatiens* (Johannsen) used for Testing Pesticide Efficacy. By Masafumi KOBAYASHI
(キーワード: クロバネキノコバエ類, 発生促進, 飼育方法)

発生させる方法を検討した。

自然発生促進方法の検討には、一般社団法人日本植物防疫協会茨城研究所（以下、日植防茨城）のイチゴ栽培のビニルハウス4棟（幅6.3 m、奥行18.5 m、全高4.0 m）を用いた（図-2）。イチゴは品種‘とちおとめ’を供試し、2016年12月2日に定植した。作付面積は76.1 m²/棟であり、4畝2条植え（畝長14.5 m、畝幅110 cm、株間25 cm、条間25 cm）とした。冬期の温度管理は、施設内最低温度5℃とした。チバクロバネキノコバエ成虫は、豚糞堆肥などの有機物に誘引されることが明らかにされ（中込，1980）、タネバエなどのハエ目に対する殺虫剤の効果試験においては、成虫を誘引するために油粕などの有機物を施用する方法が知られている（日本植物防疫協会，2006）。本研究では、簡便で安価に準備できることを考慮し、ナタネ油粕（商品名「優良菜種油粕」，昭和産業株式会社，20 kg 袋）を成虫誘引物質として供試した。

研究に用いたイチゴ栽培のビニルハウスは、チバクロバネキノコバエの発生を確認したニラ栽培ビニルハウスに近接したビニルハウス2棟（ナタネ油粕施用ハウス：A，ナタネ油粕無施用ハウス：B）およびニラ栽培ビニルハウスから190 mほど離れたビニルハウス2棟（ナタネ油粕施用ハウス：C，ナタネ油粕無施用ハウス：D）とした。いずれのハウスもチバクロバネキノコバエ成虫が未発生であることを確認し、2017年4月12日に誘引

物質のナタネ油粕を1株当たり2~3 g程度を全株の株元に施用し、混和は行わなかった。施用後に灌水を十分行い、日中はハウスの側面および入り口を開放とした。

ナタネ油粕施用後、成虫の発生確認を随時行い、約7日間隔で幼虫の生息密度調査を行った。ただし、成虫の発生が確認されない場合、幼虫調査は行わなかった（BハウスおよびDハウスでは未確認）。成虫数は、連続した30株についてイチゴ株および株元付近に生息しているものを計数した。幼虫数は、連続した30株について地上部を剪定鋏で除去し、株の中心から半径10 cm程度の深さ5~8 cmの土壌を株ごと掘り取り、1,000 μmおよび500 μmメッシュの金属製フルイを用いて、水道水を掛け流しながら、分離し計数した。

調査は3反復で行った。なお、抽出された幼虫は採取した土壌で飼育し、羽化した成虫の形態的特徴から、チバクロバネキノコバエと同定した。

成虫の発生は、ナタネ油粕無施用のBハウスおよびDハウスでは、調査期間中を通して確認できなかったが、施用したAハウスおよびCハウスでは施用1~2日後から成虫を確認することができ、調査期間中を通して増加傾向が認められた（表-1）。

以上の結果から、ナタネ油粕の施用は、中込（1980）の堆肥などの有機物で誘引する方法と同様にチバクロバネキノコバエ成虫を誘引し、自然発生を促進する方法と

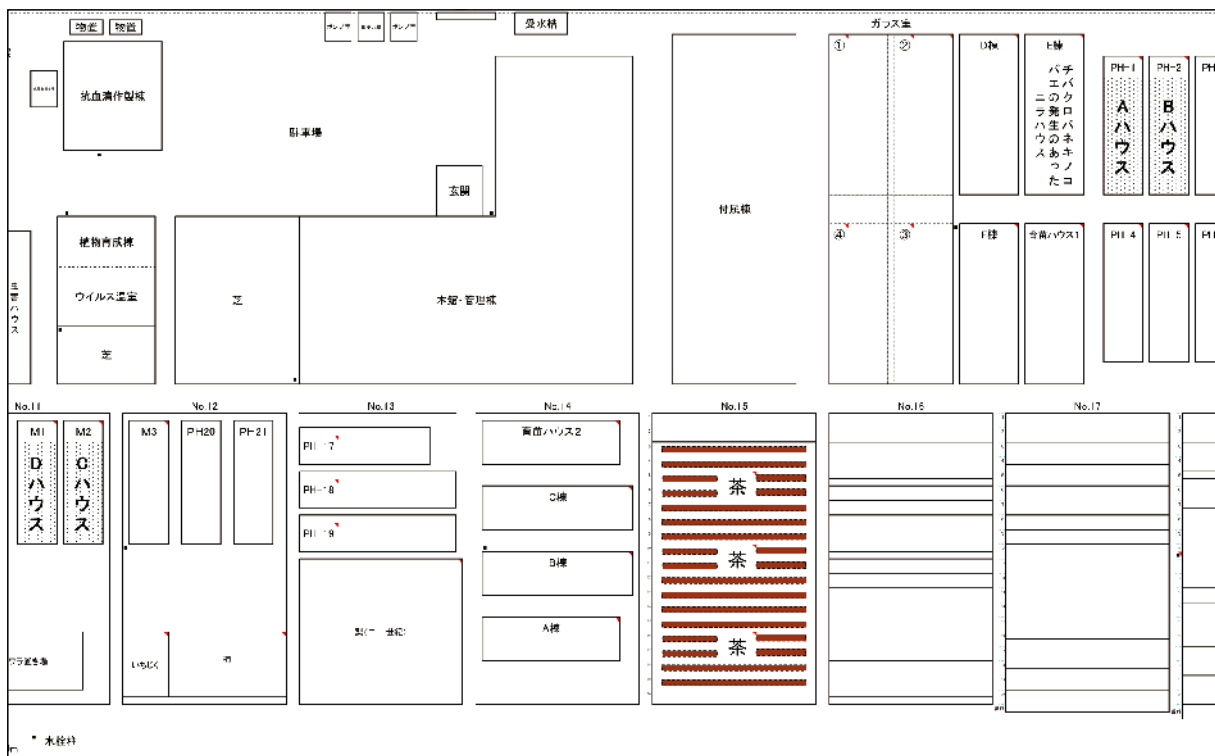


図-2 実施ハウスマップ

表-1 イチゴハウスのチバクロバネキノコバエ成虫・幼虫数

試験区 ^{a)}	30株当たりの生息虫数 (平均値±SE)						
	4月12日	4月21日 ^{b)}		4月28日 ^{c)}		5月2日	
	成虫	成虫	幼虫	成虫	幼虫	成虫	幼虫
ハウスA (ナタネ油粕施用区)	0	16.3 ± 1.5	9.6 ± 0.9	26.3 ± 2.4	47.3 ± 3.0	18.0 ± 4.4	197.7 ± 27.6
ハウスB (ナタネ油粕無施用区)	0	0	/	0	/	0	/
ハウスC (ナタネ油粕施用区)	0	19.3 ± 1.7	20.7 ± 2.2	28.7 ± 5.5	65.3 ± 7.6	33.6 ± 3.3	113.3 ± 15.6
ハウスD (ナタネ油粕無施用区)	0	0	/	0	/	0	/

a) ハウスA, Bは調査前に発生を確認したニラハウスに近接し, ハウスC, Dは離れた場所に位置している.

b) ハウスCおよびDは4月20日調査.

c) ハウスCおよびDは4月27日調査.



図-3 幼虫が寄生したニラ苗を用いてプラスチックカップで飼育した方法

して有効であると考えられる。また、この方法は成虫を均一に誘引し発生させられることから、株当たり幼虫1頭程度の発生が認められた施用8~9日後ころから薬剤効果試験を開始できると考えられる。

II 簡易飼育方法の検討

これまでにトウモロコシ寒天培地を用いた人工飼料飼育(笹川・赤松, 1978)などが知られている。本研究では、薬剤効果試験で供試することを目的とし、極めて簡便で、取り扱いが容易な方法として、3種類の(①ニラ株, ②ジャガイモの芽出し, ③ナタネ油粕を混和した土壌)を以下のように検討した。

①チバクロバネキノコバエが発生しているニラ栽培ビニルハウスより、周辺土壌ごと掘り取ったニラ株(草丈: 40~50 cm, 茎数: 25~30本, ニラの調整: 扱い易いように株元5 cm程度で切り揃えた)を寄生幼虫と

もにプラスチックカップ(直径11.5 cm×高さ5.5 cm)に收容したもの(図-3), ②底面給水ができるよう加工した小型タッパー(縦13.0 cm×横9.0 cm×高さ4.0 cm)に給水用のキッチンペーパーを敷き、その上にジャガイモの芽出しを乗せたもの(図-4), ③発生促進試験で用いたナタネ油粕を圃場より採取した土壌に混和(土壌500 gに対してナタネ油粕10 g程度の割合)し、中型タッパー(縦20.0 cm×横16.0 cm×高さ8.0 cm)に收容したものをを用いた。各飼育方法の容器を飼育ケージ(縦22.0 cm×横18.0 cm×高さ35.0 cm)内に設置し、②と③に対しては2017年3月に日植防茨城のニラ栽培ビニルハウスより吸虫管を用いて採集した成虫を1ケージ当たり雌雄合計約50頭程度放飼した。飼育は25℃, 16L8Dの条件で行った。①では、回収後7~10日間隔で幼虫および成虫の発生状況を、②と③では、放飼7~10日後に幼虫の発生状況を、同10~20日後に成虫の発生状況を

観察した。各飼育方法は5反復で行った。

3種の飼育方法の比較にあたり、成虫・幼虫の増殖率、成虫・幼虫の観察のしやすさ、管理の観点から植物への給水の要否と餌替え頻度、薬剤効果試験のための成虫・幼虫の放飼・接種のしやすさを評価項目とした。各項目において有効であると評価した方法には○を、やや有効であると評価した方法には△を、有効ではない方法には×を付した。まとめる際に、○は2点、△は1点、×は0点として、合計点数によって飼育方法を評価した(表-2)。



図-4 ジャガイモを用いた飼育容器

①の方法は、評価点が7点と最も低かった。成虫・幼虫ともに飼育ケージ内で確認できたが、容器ごとの増殖にはばらつきが見られた。これは、餌資源が土壤に接したニラの枯死部分のみであり、容器ごとに餌資源にばらつきがあったため、幼虫増殖に影響を与えるものと考えられる。また、幼虫を確認するためには株を水洗し、分離しなければならないため、作業に手間がかかった。さらに、植物の維持管理のために定期的に給水を行う必要があり、簡便さに欠けた。この方法は単に圃場より株を室内に移動させただけであり、成虫を放飼せずすぐに飼育できるメリットがあるが、その他のメリットは少ないと考えられる。

②の方法ではジャガイモ芽出しの表面(特に給水接地面)に幼虫を多数確認することができた。目視による幼虫の確認は容易で、観察に適していた。幼虫は腐食性であることから、傷んだ部分に多く寄生が認められた。増殖は良好であり、植物の管理も簡便であったが、餌の痛みが早いジャガイモをこまめに交換する必要があった。この方法はジャガイモに寄生するアブラムシ類を飼育する方法として有効である(小林, 未発表)。

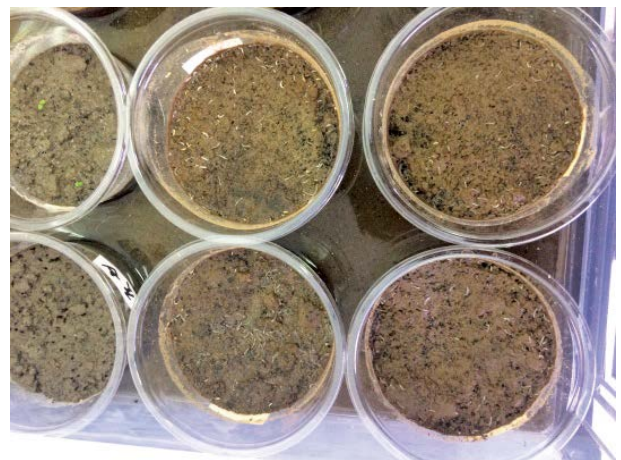


図-5 ナタネ油粕を混和した土壤を収容した飼育容器(土壤表面に多数の幼虫あり)

表-2 飼育方法別の評価

飼育方法	増殖 ^{a)}		観察 ^{b)}		管理 ^{c)}		放飼・接種 ^{d)}		評価点
	成虫	幼虫	成虫	幼虫	植物への給水	餌替え頻度	成虫放飼	幼虫接種	
①ニラ株	△	△	○	×	×	△	○	×	7点
②ジャガイモ芽出し	○	○	○	○	△	△	○	△	13点
③ナタネ油粕混和土壤	○	○	○	○	○	○	○	○	16点

a) 増殖率が高い, b) 観察がしやすい, c) 管理作業が容易, d) 薬剤効果試験のための放飼・接種が容易。

○: 有効である, △: やや有効, ×: 有効ではない。

評価点 = ○ × 2 + △ × 1。

③の方法では土壌表面に一時的にカビが生えるものの、数日後にカビの発生が収まると土壌表面に多数の幼虫を確認できた。一見して増殖率が高く、目視による幼虫確認が容易であった。さらに、植物の管理も必要ないため、最も簡便であると考えられる。この方法は、前述の発生促進試験の手法を模したものであり、チバクロバネキノコバエ幼虫はもっぱら腐食物質を摂食して成長するという生態に合った飼育方法であると考えられる。

増殖した成虫を薬剤効果試験に供する場合、飼育容器を試験区に配置する方法であれば、いずれの方法も成虫放飼に利用可能である。一方、増殖した幼虫を試験区に接種することを想定した場合、①の飼育方法は幼虫確認が容易に行えず、適していない。②の飼育方法は幼虫を水道水で洗い流し、試験区内にそれを注ぐことで接種が可能である。③の飼育方法でも、土壌ごと水道水で懸濁し、ジョロで接種できるため簡便と考えられる。飼育容器内の全幼虫および蛹を接種できることも大きなメリットと言える。さらに、飼育容器ごと試験区に運び、その場で懸濁し、速やかに接種を行えるため、③のほうがより簡便であると考えられる。

以上の結果を総合的に判断して、③の方法がチバクロバネキノコバエの生態に適しており、増殖効率がよく、飼育の手間も非常に少なく省力的な飼育方法であると考えられる。笹川・赤松(1978)のトウモロコシ寒天培地を用いた人工飼料飼育は、成虫・幼虫の増殖率が高く、観察は容易であり、飼育に適していると考えられるが、餌作りに手間がかかる点から管理作業はやや劣ると思われる。また、「クロバネキノコバエの一種 *Bradysia* sp. 防除のための手引き」(農研機構, 2017)で紹介されている米ぬかを有機物として用いる方法は、ナタネ油粕と同様の手法と考えるが、手に入りやすいナタネ油粕のほうがチバクロバネキノコバエの飼育方法としては簡便性に優ると考えられる。さらに現在では、③の方法で用いた中型タッパーから小型の円形プラスチックカップ(φ 8.6 cm × 高さ 4 cm)に変更し、より放飼・接種に特化した方法で飼育を行っている。薬剤効果試験ではこちらを用いるほうがさらに効率的である(図-5)。

おわりに

本研究から、チバクロバネキノコバエの自然発生促進方法として、ナタネ油粕施用が有効であることが明らかになった。ナタネ油粕を土壌に施用すると数日で腐敗が始まり、腐敗周辺に本種が多く発生する。本種の幼虫は乾燥に弱いため、施設内の灌水の回数を増やすなど状況に合わせてナタネ油粕が乾燥しないよう工夫する必要があ

る。ただし、十分な発生が確認されれば、一般的な管理方法でも問題はないと考えられる。

圃場で薬剤効果試験を実施する上で本種の発生が少ない場合、幼虫の接種・成虫の放飼を行い、十分な発生状況での検討が必要となる。本稿で紹介したナタネ油粕を用いた簡易飼育法では、大量の個体を飼育可能で、圃場における幼虫の接種・成虫の放飼も容易であった。

これら自然発生促進方法と簡易飼育方法を活用することにより、十分な発生条件の下、チバクロバネキノコバエに対する薬剤効果試験が実施され、有効な薬剤の登録や効果的な防除体系の構築が促進されることを期待している。

引用文献

- 1) 後藤純子・藤沢 巧 (2003): 北日本病虫研報 54: 189~192.
- 2) 群馬県農業技術センター環境部発生予察係(病害虫防除所) (2017): 平成 28 年度病害虫発生予察特殊報第 1 号, <<http://www.pref.gunma.jp/contents/100014221.pdf>> (2017 年 10 月 30 日閲覧)
- 3) 茨城県病害虫防除所 (2014): 平成 26 年度病害虫発生予察特殊報第 2 号, <<https://www.pref.ibaraki.jp/nourinsuisan/nosose/byobo/boujosidou/yosatsujoho/documents/tokusyu26-2.pdf#search=%27E8%8C%A8%E5%9F%8E+%E3%82%AF%E3%83%AD%E3%83%90%E3%83%8D%E3%82%AD%E3%83%8E%E3%82%B3%E3%83%90%E3%82%A8%27>> (2017 年 10 月 30 日閲覧)
- 4) 池田二三高 (1986): 関東東山病虫害研究会年報 33: 206~207.
- 5) 伊村 務 (1992): 関東病虫研報 39: 257~258.
- 6) 石原由紀・田上陽介 (2019): 応用動物昆虫学会 63: 57~67.
- 7) 三重県病害虫防除所 (1998): 平成 10 年度病害虫発生予察特殊報第 1 号, <<http://web1.jpnn.ne.jp/cgi-bin/bbs/cgi/p5-2-2.cgi?IDX=7102413379034b327f1d1b7368115823681247237612&choice=3>> (2017 年 10 月 30 日閲覧)
- 8) 長野県病害虫防除所 (2004): 平成 16 年度病害虫発生予察特殊報第 1 号, <<https://www.pref.nagano.lg.jp/bojo/joho/byogai-chu/documents/04tokusyu01.pdf>> (2017 年 10 月 30 日閲覧)
- 9) 長崎県病害虫防除所 (2008): 平成 22 年度病害虫発生予察特殊報第 3 号, <http://www.jpnn.ne.jp/nagasaki/pdf/yosatu_kako/22tokusyu/22tokusyu03.pdf> (2017 年 10 月 30 日閲覧)
- 10) 中込暉雄 (1980): 植物防疫 34: 155~159.
- 11) 日本植物防疫協会 (2006): 野菜等害虫殺虫剤圃場試験法, 302 pp.
- 12) 農研機構 (2017): 「クロバネキノコバエの一種 *Bradysia* sp. 防除のための手引き」, <http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/pub2016_or_later/pamphlet/tech-pamph/075856.html> (2017 年 10 月 30 日閲覧)
- 13) 佐賀県農業技術防除センター病害虫防除部 (2010): 佐農技防第 584 号病害虫発生予察特殊報第 4 号, <http://www.pref.saga.lg.jp/kiji00348015/3_48015_3946_up_hmeh3c4k.pdf#search=%27E4%B8%89%E9%87%8D+%E3%82%AF%E3%83%AD%E3%83%90%E3%83%8D%E3%82%AD%E3%83%8E%E3%82%B3%E3%83%90%E3%82%A8%27> (2017 年 10 月 30 日閲覧)
- 14) 埼玉県病害虫防除所 (2016): 平成 28 年度発生予察情報特殊報第 1 号, <<http://www.pref.saitama.lg.jp/b0916/documents/tokusyuhouh28-1.pdf>> (2017 年 10 月 30 日閲覧)
- 15) 笹川満廣・赤松 学 (1978): 京都府立大学学術報告, 農学 30: 26~30.
- 16) ——— (1985): 今月の農薬 29(12): 56~60.
- 17) SUEYOSHI, M. and S. YOSHIMATSU (2019): Entomological Science (in press).



サツマイモ基腐病(仮称)の発生と対策

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 小 林 有 紀
九州沖縄農業研究センター

はじめに

カンショは台風、干ばつ等の自然災害が多い地域でも生産が安定し、青果用のほか、でん粉、焼酎、菓子等加工利用の幅が広いことから、南九州の農業や地域産業を支える重要な畑作物となっている。鹿児島県および宮崎県では、2018年度のカンショの作付面積はそれぞれ12,100 ha (全国1位) および3,610 ha (全国4位) であり、ともに国内有数のカンショ産地を形成している(農林水産省 大臣官房統計部, 2019)。しかしながら、2018年秋に両県において、カンショの株が立ち枯れ、塊根(いも)が腐敗する症状が多発した。収量が減少し、生産者の収益減少や加工業者への原料供給不足が深刻な問題となり、テレビ、新聞のニュースで取り上げられる事態にまで至った。沖縄県のカンショ産地でも、2011年ごろから同様の症状が認められ、サツマイモ茎根腐細菌病の発生が疑われたが、罹病部位から病原細菌が分離されず、原因不明の状態が続いていた。その後、国内ではこれまで発生報告のないFoot Rot [和名: 基腐(もとぐされ)病(病名登録申請中)]が発生していたことが明らかになり、2018年11月30日に沖縄県より病害虫発生予察特殊報が発表された。続いて12月11日には鹿児島県から、2019年1月22日には宮崎県から特殊報が発表され、両県において初となる基腐病および乾腐病の発生が公表された。

立枯・塊根腐敗症状発生圃場では、複数の病害が発生していると考えられた。そこで、農研機構九州沖縄農業研究センター、農研機構中央農業研究センター、鹿児島県農業開発総合センター、宮崎県総合農業試験場、宮崎県農政水産部農業経営支援課を構成員とする研究グループ(コンソーシアム)を設立し、2019年1~3月にかけて、イノベーション創出強化研究推進事業(緊急対応課題, 農研機構生物系特定産業技術研究支援センター)の支援

を受けて立枯・塊根腐敗症状の原因を究明し、その抑制対策を提示するための研究を実施した。その成果は、農研機構ホームページで公開している(農研機構九州沖縄農業研究センターほか, 2019)。本稿では、新発生病害である基腐病を中心に、本事業により得られた成果と今後の課題について紹介する。

I カンショ立枯・塊根腐敗症状の発生状況

2018年10月ごろから、鹿児島県および宮崎県内のカンショ産地で立枯・塊根腐敗症状が多発した。症状は8月ごろから確認されており、度重なる台風の到来により症状が拡大し、顕著化したものと思われる。圃場によっては、茎葉の枯れや塊根の腐敗症状に違いが認められたため、異なる病原菌の感染が疑われた。そこで、鹿児島県8郡市の37圃場、宮崎県5郡市の26圃場の合計63圃場から、カンショの枯れた茎および腐敗塊根を採取して微生物を分離し、病原菌の検出を試みた。その結果、調査した圃場の23~30%からサツマイモ基腐病菌が分離された(図-1)。同様に22~35%からサツマイモ乾腐病菌、65~77%から*Fusarium*(フザリウム)属糸状菌、8%(宮崎県のみ)から茎根腐細菌病菌が分離された。1圃場から2種類の病原菌が分離されたケースもあった。*Fusarium*属糸状菌は多くの圃場から検出されているが、鹿児島県で分離された*Fusarium*属菌の約半数がつの割病菌であることが確認できているのみであり、今後、残りの菌株について、病原菌であるか否かを確認する必要がある。また、*Fusarium*属以外の糸状菌やその他細菌も分離されているため、今後、これらの微生物についても病原菌であるか否かを明らかにするとともに、サツマイモ基腐病を中心とした重要病害の発生実態を継続して調査し、病害の発生消長や分布を明らかにする必要がある。

II サツマイモ基腐病および類似病害の特徴

サツマイモ基腐病は、糸状菌*Plenodomus destruens* Harterの感染により、苗床、圃場および塊根の貯蔵中に発生する病害である。地際の茎が黒変し、落葉して萎凋、枯死し、枯死した植物体上に微小な黒色の分生子殻(糸

Outbreak and Management of Foot Rot of Sweetpotato. By
Yuki O. KOBAYASHI

(キーワード: カンショ, 立枯・塊根腐敗, 基腐病, 乾腐病, つる割病, 茎根腐細菌病)

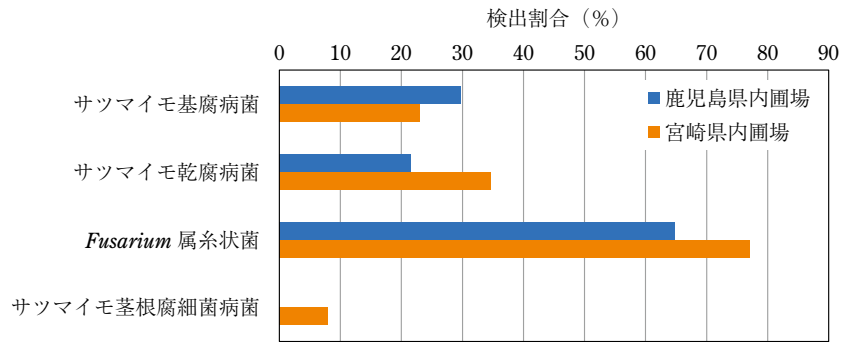


図-1 カンショ立枯・塊根腐敗症状発生圃場から分離された微生物
 鹿児島県は8郡市の37圃場、宮崎県は5郡市の26圃場を調査し、各微生物が分離された圃場の割合を示す。



図-2 サツマイモ基腐病の病徴
 左上：地上部の枯れ，右上：分生子殻が形成された茎，
 左下：茎の基部の黒変，右下：腐敗塊根の外観と内部症状。

状菌の分生胞子が詰まった袋のような構造物)が形成されるのが特徴である(図-2)。塊根の症状としては、しょ梗の基部から暗褐色のやや硬く乾いた腐敗がゆっくりと進展する。本病原菌は、土壌中の罹病植物残渣上で越冬できるが、菌単独では土壌中での生存期間は短いとの報告がある(CLARK and MOYER, 2013 a)。また、分生胞子は貯蔵中の塊根の表面で生き残り、貯蔵中に塊根の傷から感染したり、苗床で萌芽した芽に感染したりする。罹

病塊根を種イモとすることで苗への感染が生じ、その苗を圃場に植え付けることで、生育中に茎から新生塊根への感染が起こり、腐敗を生じる。本菌は、ヒルガオ科植物にのみ感染する。

立枯・塊根腐敗症状発生圃場では、基腐病のほかにも乾腐病の発生が確認された。乾腐病は、基腐病菌(*P. destruens*)と近縁の糸状菌である *Diaporthe phaseolorum* (Cooke&Ellis) Sacc. の感染により発生する。病徴は基

腐病と類似しているが、貯蔵中の塊根における発生が多い病害である (CLARK and MOYER, 2013 c) (図-3)。罹病種イモから苗に感染し、感染した苗は基部が茶褐色に腐敗して、腐敗部上に分生子殻が形成されることもある。



図-3 サツマイモ乾腐病の病徴
腐敗塊根の外観と内部症状.

しかし、圃場で多数観察される本菌の分生子殻は、老化した茎に本菌が腐生的に感染し形成したものと考えられている。

立枯・塊根腐敗症状発生圃場ではつる割病の発生も認められたが、本病は、主に糸状菌 *Fusarium oxysporum* Schlechtendal f. sp. *batatas* W. C. Snyder & H. N. Hansen の感染により発生する。茎の一部または株全体が枯れ、茎の地際部が縦に裂けて繊維が目立つのが特徴であるが、茎が割れずに黒褐色に腐ることもある (図-4)。塊根には無病徴感染するが、茎の割れがしよ梗の基部まで及ぶこともある。今回、立枯・塊根腐敗症状発生圃場において、つる割症状を示した株の塊根に軟化腐敗症状が認められることがあったため、つる割病と他の病害が併発している可能性が考えられた。しかし、海外では、カンショの茎および塊根を腐敗させる *Fusarium* 属病原菌の存在が報告されているため (CLARK and MOYER, 2013 b)、今後、立枯・塊根腐敗症状発生圃場から分離した *Fusarium* 属糸状菌について、さらに詳細な検討を行う必要が



図-4 サツマイモつる割病の病徴
左：地上部の枯れ，中央：つる割れ症状，右：しよ梗基部の割れ.



図-5 サツマイモ茎根腐細菌病の病徴
左：地上の茎の腐敗，中央：地下の茎の腐敗，右：腐敗塊根の外観と内部症状.

ある。

基腐病の発生が明らかになるまで、立枯・塊根腐敗症状の原因として疑われていた茎根腐細菌は、宮崎県の一部圃場でのみ発生が確認された。本病は、細菌 *Dickeya dadantii* Samson et al. の感染により発生する (CLARK, 2013)。茎や葉柄が黒褐色、水浸状となって軟化腐敗し、先端が萎凋、枯死する (図-5)。塊根は軟化腐敗し、健全部との境界が黒褐色になることが多い。

III サツマイモ基腐病および類似病害の防除対策

1 薬剤による防除

基腐病は本邦初発生の病害であるため、国内において防除に利用できる登録農薬はない。海外では、チアベンダゾールによる種イモ消毒が行われているが (CLARK and MOYER, 2013 a), 本薬剤は国内においては 1972 年に農薬登録され、テンサイの褐斑病などに適用されていたが、2006 年に失効している。そこで、基腐病の防除に利用可能な薬剤を選定するため、カンショのほかの病害に適用のある農薬について、培地上における基腐病菌の生育抑制効果を検討した。その結果、つる割病や紫紋羽病に適用のある土壌消毒剤 (クロルピクリンくん蒸剤またはダゾメット粉粒剤) に 2 週間曝露した基腐病菌は、培地上で菌糸の生育が認められなかった。また、黒斑病、つる割病に適用のある苗消毒剤 (チオファネートメチル水和剤またはベノミル水和剤) および斑点病に適用のある散布剤 (塩基性硫酸銅水和剤) をそれぞれ添加した培地上でも、基腐病菌の生育が抑制されることが明らかになり、これら薬剤が将来農薬として利用できる可能性が示された。今後は各薬剤について植物体に処理したときの基腐病防除効果を検証し、効果のあった薬剤について基腐病への早期登録拡大を目指す必要がある。

2 疫学調査から考えられる対策

2018 年に立枯・塊根腐敗症状が発生した地域を中心に、鹿児島県では 62 生産者 118 圃場および宮崎県では 38 生産者 76 圃場を対象に個別面談式アンケートと圃場の土壌分析を行い、病害の発生実態、栽培管理状況や土壌 pH 等の圃場環境要因を調査し、統計学的手法により、病害の発生に影響を与える要因を解析した。その結果、2018 年の立枯・塊根腐敗症状の発生には、過去に圃場内で同様の症状が発生していたこと、圃場の排水が不良であること、適切な土壌消毒・苗消毒が実施されていないことが大きく影響していると考えられた。

アンケートの結果、2018 年に立枯・塊根腐敗症状が発生した圃場のうち約 3 割の圃場では、過去にも同様の症状が発生しており、土壌や種イモが病原菌に汚染され

ていた可能性が考えられた。しかし、過去にも発生が認められたこうした圃場のうち約 7 割の圃場では罹病植物残渣の処理が、約 6 割の圃場では土壌殺菌消毒が行われていなかった。また、2018 年に発生した圃場のうち約 3 割の圃場では苗消毒が行われていなかった。

つる割病の防除対策としては、クロルピクリンくん蒸剤やダゾメット粉粒剤等の土壌殺菌剤による土壌消毒が有効である。消毒は適正な土壌水分条件下で行い、シートによる被覆をすることで殺菌効果が高まる。また、つる割病対策には、植え付け前に苗の基部をベノミル水和剤に浸漬する苗消毒も有効であるが、水に希釈して調製した本剤は保存がきかず、防除効果が低下していくため、調製した当日に使い切ることが推奨されている。しかし、立枯・塊根腐敗症状が発生した圃場のうち約 7 割の圃場には本剤で消毒した苗が利用されてはいたが、調製して 1 日以内の薬液を使った苗消毒が行われていた圃場はそのうちの半数にとどまっていた。

基腐病および茎根腐細菌病の防除に利用できる登録農薬はないが、これら病害は、土壌中の作物残渣上で病原菌が生き残り次年度の感染源となるため、罹病残渣処理は有効な防除手段の一つになると考えられる。しかし、生産者の高齢化や圃場の大規模化等により、収穫残渣の圃場外への持ち出しが困難な状況も生じているため、今後、残渣の分解促進による病害防除効果を検証する必要がある。

一方、2018 年の発生圃場のうち約 6 割の圃場では排水が悪く、その排水不良の圃場のうち約 6 割の圃場では排水路が設置されていなかった。圃場の排水不良は一般的に病害の感染・拡大を助長すると考えられる。枕畝が排水を妨げている場合が多いため、枕畝に排水用の溝を設け、圃場外へ排水を促す必要がある。また、その土地に適した排水対策を実施する必要がある。

発病は年次によって大きく変動することが予想されるため、今後も追跡調査を行い、圃場の土壌理化学性や、気象・地形情報も新たな解析要因として加え、病害発生要因を明らかにする必要がある。

おわりに

サツマイモ基腐病 (英名: Foot Rot) は、1912 年に初めて米国で発生が報告された (HARTER, 1913)。基腐病は適切な衛生管理が行われていない圃場や貯蔵施設で問題となる病害であり、米国では種苗管理を改善し、現在では発生の珍しい病害となっている (CLARK and MOYER, 2013 a)。一方、ブラジルでは、1990 年代に本病原菌が感染した苗を圃場に植え付けたことで著しい被害が発生

した。本病は、アルゼンチンやウルグアイでも問題となっているが、最近では、2008年に台湾(LIN et al., 2017)、2014年に中国(GAI et al., 2016)、2015年に韓国(PAUL et al., 2019)と、東アジアでも次々に発生が確認されるようになった。

ブラジルには基腐病に対する抵抗性品種が存在している。2018年には、鹿児島県および宮崎県で栽培されている数種のカンショ品種が基腐病菌に感染していたことが明らかになったが、国内の品種にも基腐病抵抗性を持つ品種が存在するのか、今後明らかにする必要がある。また、中国では基腐病の防除対策として、ソルガムやトウモロコシ等との輪作が勧められている(GAI et al., 2016)。基腐病菌はヒルガオ科植物にのみ感染するため、これらイネ科作物を栽培することで、圃場の基腐病菌量の低下が期待できる。しかし、国内において、サトウキビと輪作している地域においても基腐病の発生が確認されているため、その原因の解明と、輪作による基腐病防除効果の検証が望まれる。

本稿では、立枯・塊根腐敗症状発生圃場で確認された基腐病および類似病害について、現時点で考えられる発病抑制対策を紹介した。今後、病害の発生実態を詳細に調査し、基腐病防除技術および病害発生リスク予測システムを開発する必要がある。

引用文献

- 1) CLARK, C. A. (2013): Compendium of Sweetpotato Diseases, Pests, and Disorders, Second Edition, APS Press, USA, p.11~14.
- 2) ——— and J. W. MOYER (2013 a): *ibid.*, p.36~37.
- 3) ——— · ——— (2013 b): *ibid.*, p.37~40.
- 4) ——— · ——— (2013 c): *ibid.*, p.57~58.
- 5) GAI, Y. et al. (2016): *J. Gen. Plant Pathol.* **82**: 181~185.
- 6) HARTER, L. (1913): *Phytopathology* **3**: 243~245.
- 7) LIN, C. Y. et al. (2017): *J. Taiwan Agric. Res.* **66**(4): 276~285.
- 8) 農研機構九州沖縄農業研究センターほか (2019): https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/130564.html
- 9) 農林水産省 大臣官房統計部 (2019): 農林水産統計平成30年産かんじょの作付面積および収穫量, 7 pp.
- 10) PAUL, N. C. et al. (2019): *Plant Disease* **103**: 1020.



登録が失効した農薬 (2019.6.1~6.30)

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〕

●メタアルデヒド水和剤
20507：F.G. マイキラー（富士グリーン）19/6/4

〔除草剤〕

●カフェンストロール・ダイムロン・ピラズレート・ベンゾビシクロン粒剤
20896：SDS イネエース1キログラム（エス・ディー・エス バイオテック）19/6/25

●カフェンストロール・ベンスルフロンメチル・ベンゾビシクロン水和剤
21370：SDS テラガードLフロアブル（エス・ディー・エス バイオテック）19/6/25

●カフェンストロール・ベンスルフロンメチル・ベンゾビシクロン水和剤
21370：SDS テラガードLフロアブル（エス・ディー・エス バイオテック）19/6/25

●カフェンストロール・ベンスルフロンメチル・ベンゾビシクロン水和剤
21390：SDS テラガードL250グラム（エス・ディー・エス バイオテック）19/6/25

●カフェンストロール・ベンスルフロンメチル・ベンゾビシクロン粒剤
21442：テラガード1キログラム51（エス・ディー・エス

バイオテック）19/6/25

●カフェンストロール・ベンスルフロンメチル・ベンゾビシクロン水和剤
21541：SDS テラガードLジャンボ（エス・ディー・エス バイオテック）19/6/25

●イマズスルフロン・カフェンストロール・ダイムロン・ベンゾビシクロン水和剤
21756：テッティフロアブル（エス・ディー・エス バイオテック）19/6/25

●ピリミスルファン・ベンゾビシクロン水和剤
23338：SDS ザンテツジャンボ（エス・ディー・エス バイオテック）19/6/25

●ブタクロール・ベンゾビシクロン・ベンゾフェナップ粒剤
23694：SDS メルタス1キログラム（エス・ディー・エス バイオテック）19/6/25

〔展着剤〕

●展着剤
13594：タマジエット（福栄産業）19/6/18



侵入が警戒されるセグロモモミバエの誘引剤 に係る近年の研究の動向

農林水産省 横浜植物防疫所 **上地** **俊久・金田** **昌士・佐々木** **幹**
 農林水産省 神戸植物防疫所 **まつ** **うら** **ひで** **あき**
 筑波大学 生命環境系 **かい** **のう** **よう** **いち**
戒 **能** **洋** **一**

はじめに

セグロモモミバエ *Bactrocera correcta* (図-1) は、成虫の体長が 5.4~6 mm 程度の小型のハエで (農林水産省植物防疫所, 2011), カンキツ類, グアバ, マンゴウ, モモ, サボジラ等経済的に重要な種を含む幅広い範囲の生果実を食害する多食性の害虫である (ALLWOOD et al., 1999)。本種は, 我が国未発生であるが, 中国, インド, パキスタン, スリランカ, タイ, ミャンマー, ベトナム等のアジア諸国に広く分布し (DREW and ROMIG, 2013), 我が国を含む未発生地域への本種の侵入能力は高いと推定される。実際, Liu et al. (2013) は, 中国国内での本種の近年の分布拡大を報告した。また, 未発生地域の我が国 (農林水産省植物防疫所, 2011) および米国 (WEEMS, 1987) で実施されたモニタリングトラップ調査でも本種が捕獲されたことがあるが, 両国とも, 本種の定着には至っていない。さらに, 我が国の輸入植物検疫でも, 本種幼虫が頻繁に発見されている。例えば, 2013~17 年の間, 旅客の携帯品検査で, 果実から本種が 265 件発見されており, 本件数は, ミカンコミバエ *B. dorsalis* 種群とナスミバエ *B. latifrons* の発見件数に次いで, 3 番目に多い (農林水産省植物防疫所, 2019 a)。なお, VARGAS et al. (2015) は, 被害の重大性, 寄主範囲, 侵入能力および食害頻度に基づき, ミバエ科 *Bactrocera* 属の害虫 73 種を区分けし, 最も経済的重要性の高い区分にセグロモモミバエを入れた。本区分には, 植物検疫上の最重要害虫であるミカンコミバエ, ウリミバエ *B. cucurbitae*, タインスランドミバエ *B. tryoni* 等が含まれている。

セグロモモミバエが, 我が国に侵入した場合, かつて

Recent Trends of Research on Attractants of Guava Fruit Fly, *Bactrocera correcta* as an Important Quarantine Pest. By Toshihisa KAMIJI, Masashi KANEDA, Motonori SASAKI, Hideaki MATSUURA and Yooichi KAINOH

(キーワード: セグロモモミバエ, β -カリオフィレン, メチルオイゲノール, 根絶防除, 侵入警戒調査)

我が国に定着していたミカンコミバエおよびウリミバエと同様, 定着する可能性が高い。その理由として, KAMIJI et al. (2014) が, 農林水産大臣許可の下, 植物防疫所の実験室内で累代飼育しているベトナム産セグロモモミバエを供試した試験の結果から, 本種が, 奄美や沖縄等の南西諸島では周年の発育および性成熟が可能であることを明らかにしていることによる。

我が国にセグロモモミバエが侵入・定着した場合, 果実生産に被害が生じるだけでなく, 国内外への果実の流通規制等の植物検疫措置が実施される可能性がある。例えば, ミカンコミバエが, 2015 年, 一時的に奄美大島に侵入した際, 根絶のための緊急防除が実施され, 寄主果実であるカンキツ類の移動が規制された。つまり, 本土に奄美大島特産のポンカン, タンカン等を出荷できない事態が生じた (農林水産省植物防疫所, 2016 a)。また, ミカンコミバエが, 2015 年および 17 年, 一時的に我が国に侵入したことを受け, 韓国政府が我が国からの寄主植物の輸入を停止する事態も生じた (農林水産省植物防疫所, 2016 b; 2019 b) (現在は無発生が確認され輸入停止は解除された)。セグロモモミバエもカンキツ類を食害するため, 我が国に侵入した場合, ミカンコミバエ侵入時と同様の事態が生じる可能性も捨て切れない。



図-1 セグロモモミバエ雌成虫

このため、セグロモミバエ侵入時の経済的被害を最小限にするためには、早期に侵入を発見できる侵入警戒調査を実施する必要がある。また、万が一、本種が侵入・定着した場合、迅速に有効な根絶防除を実行しなければならない。これらの理由から、本種に対する効果的・効率的な侵入警戒調査および根絶防除手法の確立が望まれるので、モニタリングなどのための有効な誘引剤を開発することが重要である。本種雄はメチルオイゲノール (ME) に誘引されることがよく知られている (DREW and ROMIG, 2013) が、近年、 β -カリオフィレン (CAR) も本種雄の誘引剤として有効である可能性が報告されている (KAMIJI et al., 2018 a ; 2018 b ; WEE et al., 2018)。植物防疫分野にかかわる研究者、技術者および行政職の方々に、本種に有効な誘引剤に関する研究動向について紹介することは、今後の研究の発展、技術開発および実用化のために有意義であると考えている。本稿では、ミカンコミバエおよびウリミバエの事例と比較しながら、セグロモミバエの誘引剤に関する近年の研究事例を紹介し、今後の展望について述べる。

I セグロモミバエ雄の直腸腺内に蓄積された物質および野外での CAR を使用したトラップの誘引性

ME がミカンコミバエ雄を強く誘引することはよく知られている。そして、ME を摂食したミカンコミバエ雄は、直腸に存在する直腸腺 (図-2) にその代謝物質を蓄積し (NISHIDA et al., 1988)、雌を誘引するための性フェロモンとして放出することが報告されている (HEE and TAN, 1998)。そこで、TOKUSHIMA et al. (2010) は、セグロモミバエ雄についても、直腸腺内の物質を明らかに

し、直腸腺内に蓄積された物質の本種への誘引性を明らかにするため、以下の調査を行った。まず、タイの野外に設置した ME トラップで捕獲された野生雄の直腸腺内の物質を調べた結果、ME の代謝物質および多量のセスキテルペン、すなわち、CAR、 α -フムレン等が検出された。この中で最も平均検出量が多かったものは CAR であった。次に、直腸腺から検出されたセスキテルペンの誘引性を調べるため、タイの野外で CAR と α -フムレンの混合物を誘引源としたトラップ調査を実施した結果、本トラップは本種野生雄を捕獲した。併せて、本種雄のセスキテルペンの蓄積を調べるために、CAR および α -フムレンを含む混合物を摂食させた累代飼育雄、ならびに本混合物未摂食の累代飼育雄の虫体内の化学物質の調査も行った。その結果、摂食雄からは CAR および α -フムレンが検出された一方、未摂食雄からは検出されなかった。したがって、本種雄は、CAR、 α -フムレン等のセスキテルペンを野外で探索・摂食し、虫体内に蓄積していると考えられる。

II 誘引剤として CAR または ME を使用した野外トラップ調査

前述 I の通り、セグロモミバエ野生雄は CAR と α -フムレンの混合物を誘引源としたトラップに誘引された。そこで、本種野生雄の直腸腺内で最も多量に検出された CAR 単独での誘引性を ME の誘引性と比較するため、タイ国内の野外の 3 地点に、誘引剤として CAR または ME を使用したトラップが設置され、捕獲されたミバエの数が調査された (WEE et al., 2018)。その結果、CAR および ME トラップは雄のみを誘引し、CAR トラップでのセグロモミバエ雄の総捕獲数は ME の 7.2 倍

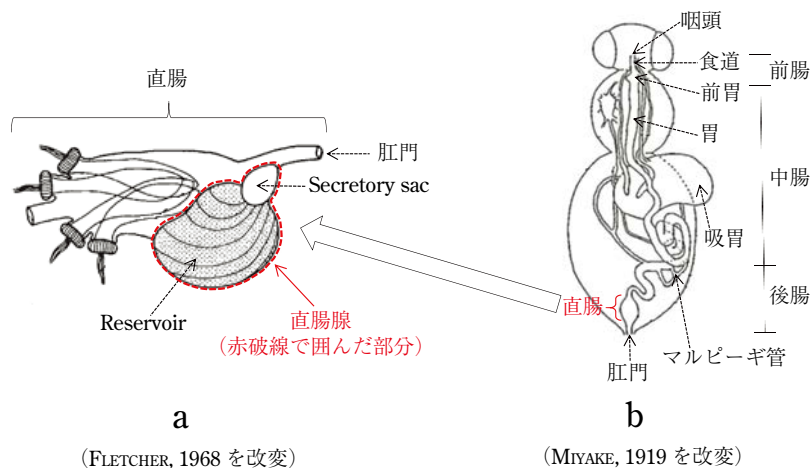


図-2 ミバエ科の雄成虫の直腸の側面図 (図はクインスランドミバエ) (a) および消化器系の模式図における直腸の位置 (図はミカンバエ) (b)

であった。したがって、セグロモミバエの侵入警戒調査に使用する誘引剤として CAR は ME より有効であることが明らかになった。

III 性成熟前のセグロモミバエ雄の CAR または ME への反応

雄除去法は、誘引剤を使用して、雄の除去を一定期間継続することで、雌の交尾機会をなくし、根絶を図るものである (石井ら, 1985)。雄除去法での根絶成功の要件は、性成熟前の雄が誘引剤に反応することである (岩橋, 1998)。なお、ミカンコミバエ雄は、性成熟前に ME に反応するため (SHELLY et al., 2008), ME を利用した雄除去法により南西諸島から根絶された (YOSHIZAWA, 1997)。その一方で、性成熟前のウリミバエ雄は本種の誘引剤であるキュウルアに反応しない (WONG et al., 1991)。このため、野外に、放射線 で不妊化した雄を放飼し、野生雌と交尾させ、受精卵の産卵を抑制することで、次世代以降の野生虫を減少させる不妊虫放飼法が実施され、ウリミバエが南西諸島から根絶された (石井ら, 1985; YOSHIZAWA, 1997)。

さて、KAMIJI et al. (2018 a) は、セグロモミバエの雄除去法における CAR および ME の有効性を評価するため、雄の性成熟日齢および日齢ごとの雄の CAR または ME への反応を調査した。本調査では、植物防疫所で飼育しているベトナム産本種の長期累代飼育虫を供試した。まず、性成熟日齢を調査するため、同一のケージに羽化後日齢ごとの雄および成熟未交尾雌を放飼し、1 日経過後、採卵器を設置した別のケージに雌を移し、受精卵の産卵の有無を確認した。その結果、日齢ごとの雄の性成熟の累積割合は、5, 6 および 13 日齢でそれぞれ、0, 6.7 および 100% であった。次に、雄の反応を調査するため、羽化後日齢ごとの雄を放飼したケージに CAR または ME 使用簡易トラップを設置し、その捕獲割合を確認した。その結果、CAR では、若齢を含むすべての日齢で反応があり、性成熟前の 5 日齢での捕獲割合は 29.7%, そして、最も早い性成熟確認日齢である 6 日齢は 52.7% であった。その一方、ME では、5 日齢まで全く反応がなく、6 日齢での捕獲割合は 0.3% であった。また、すべての日齢で、雄は ME より CAR に多く反応した (図-3)。

さらに、WEE et al. (2018) は、タイ産本種の野生虫の性質に近いと考えられる短期累代飼育雄 (以下、本稿では、便宜上「野生系統雄」と呼ぶ) を供試して、飼育ケージ内での CAR または ME への反応を調査するため、羽化後日齢ごとの雄を放飼したケージに、CAR または

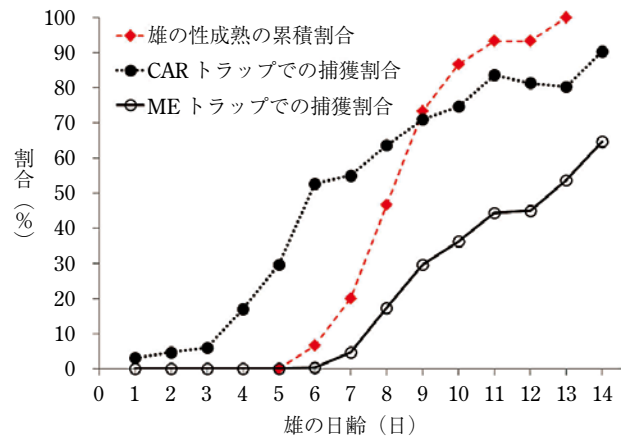


図-3 セグロモミバエ雄の日齢ごとの性成熟の累積割合および β -カリオフィレン (CAR) またはメチルオイゲノール (ME) 使用トラップでの捕獲割合 (KAMIJI et al., 2018 a を改変)

ME を含ませたる紙を設置し、そのろ紙への雄の舐食反応を確認した。その結果、CAR では、若齢を含むすべての日齢で反応があったが、ME では、6 日齢まで全く反応がなかった。また、多くの日齢で、雄は ME より CAR に多く反応した。

長期累代飼育雄および野生系統雄を供試した上記の調査で、本種の性成熟前と考えられる日齢の雄が、CAR には反応した一方、ME には反応しなかった。したがって、雄除去法に使用する誘引剤として、CAR は ME より有効である可能性がある。

IV CAR または ME 使用トラップでの雄の捕獲によるセグロモミバエの交尾抑制

KAMIJI et al. (2018 b) は、セグロモミバエに対する CAR による雄除去法の有効性をさらに明らかにするため、実験室内の試験で、CAR または ME 使用トラップでの雄の捕獲による本種の交尾抑制効果を、産卵された卵の受精状況を調査することによって比較した。室内ケージに、植物防疫所で飼育しているベトナム産の累代飼育系統の羽化直後の雄および成熟未交尾雌それぞれ 50 頭を放飼し、試験 2 日目 (雄の 1 日齢) に、CAR または ME 使用簡易トラップおよび採卵容器を設置した。以降、雄の 2~28 日齢の間、毎日、トラップでの雄の捕獲数を確認し、産卵された卵の回収を行うとともに、回収した卵のふ化の有無を確認した。これらの捕獲数および卵のふ化の有無に基づいて、雄の累積捕獲割合および卵の受精率の得られたケージの累積割合を調査した。その結果、すべての日齢で CAR トラップでの雄の累積捕獲割合は ME トラップより高く、CAR トラップを設置したケージの 50% で受精卵が得られなかった一方、すべて

のMEトラップ設置ケージでは受精卵が得られた(図-4)。なお、試験終了時に、CARトラップ設置ケージの50%で雄は残存しなかったがすべてのMEトラップ設置ケージでは一定数の雄がトラップに捕獲されずに残存した。本結果から、前頁IIIで示した通り、性成熟前の本種雄がCARのみに反応することにより、CARトラップでの雄の捕獲が本種の交尾を強く抑制すると考えられる。つまり、CARはMEより本種の雄除去法に使用する誘引剤として有効である可能性が高い。しかし、室内ケージで本調査を行っているため、CARトラップでの捕獲による繁殖抑制の追加検証のため、本種発生国での野外ケージを使用した同様の調査を実施する必要がある。

なお、KANEDA et al. (2018) は、ポンプ組織として挿入器先端に精子を送り出していると考えられる本種雄の射精甲(ejaculatory apodeme)(図-5)が、齢の増加に伴って発達するため、性成熟の発達の指標となることを報告した。そこで、雄除去法でのCARの適用可否をさ

らに明らかにするため、今後、本種発生国で、CARを使用したモニタリングトラップで捕獲された雄の射精甲を調査することにより、どれだけの割合で未成熟雄が捕獲されるかを明らかにすることも望まれる。

V CARまたはMEを摂食したセグロモミバエ雄の交尾成功率

南西諸島に発生していたミカンコミバエはMEを使用した雄除去法で根絶された。しかし、小笠原諸島に発生していた本種の雄除去法による根絶は失敗し、その後、不妊虫放飼法により本種は根絶された(YOSHIZAWA, 1997)。その失敗の原因として、ME弱反応個体群の存在が指摘されているが(岩橋, 1998)、その詳細は明らかでない。これに関連して、将来、セグロモミバエが我が国に侵入した場合の根絶防除手法の一つとして、不妊虫放飼法の適用を検討することも重要である。

不妊虫放飼法の成功要件の一つは、不妊化雄の交尾成功率が高いことである。しかし、不妊化雄の大量飼育の

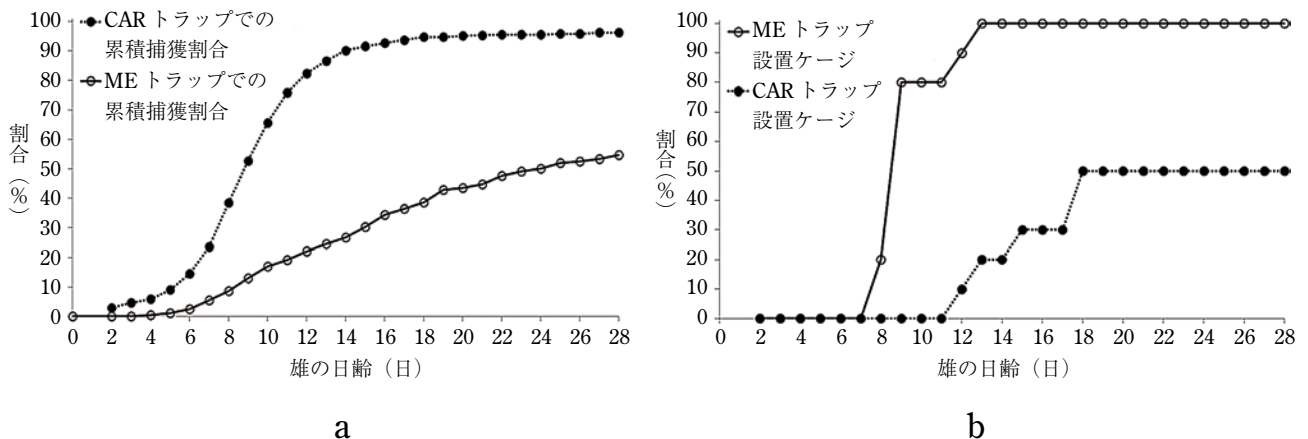


図-4 CARまたはME使用トラップを設置したケージにおけるセグロモミバエ雄の日齢ごとのトラップでの累積捕獲割合 (a) および受精卵の得られたケージの累積割合 (b) (KANEDA et al., 2018 b を改変)

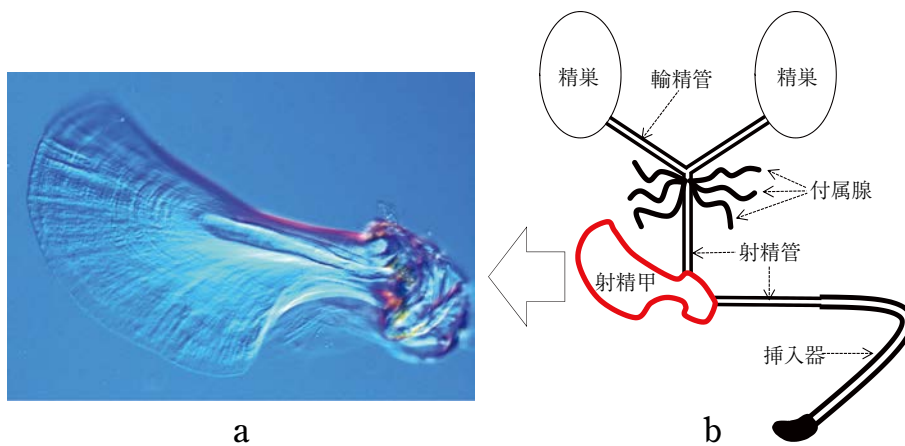


図-5 セグロモミバエ雄(9日齢)の射精甲(a)およびミバエ科の雄生殖器官模式図における射精甲の位置(b)

工程は、雄の交尾能力を低下させるかもしれない。そこで、ORANKANOK et al. (2013) は、タイ産セグロモミバエを供試して、成熟した ME 未摂食の野生系統雄 50 頭および未交尾の成熟した野生系統雌 50 頭を放飼したケージに、日齢ごとの、ME を摂食させた不妊化雄 50 頭または ME 未摂食の不妊化雄 50 頭を放飼後、交尾ペアを取り出し、約 5 分間雌雄が離れないことで、交尾に成功した雄の数を記録した。そして、これらの数に基づいて、相対的な不妊化雄の交尾能力の指標である Relative Sterile Index (RSI) [RSI = 交尾に成功した不妊化雄の数 ÷ (交尾に成功した不妊化雄の数 + 交尾に成功した野生雄の数)] の値を算出した。その結果、RSI は、ほとんどの日齢で、ME 摂食不妊化雄が ME 未摂食不妊化雄より有意に高く、雄の 7 日齢以降の多くの日齢で、ME 摂食不妊化雄が 0.5 を超えた一方、ME 未摂食不妊化雄は 0.5 を超えなかった。すなわち、交尾成功率は、ME 摂食不妊化雄が ME 未摂食不妊化雄より有意に高く、成熟した ME 摂食不妊化雄は成熟した ME 未摂食野生系統雄に匹敵した。したがって、ME 摂食不妊化雄を放飼することで、野生雄と同等にまで不妊化雄の交尾成功率が上昇し、不妊虫放飼法の有効性が高まると推定される。さらに、WEE et al. (2018) は、タイ産本種を供試して、CAR を摂食させた野生系統雄の交尾成功率を、CAR 未摂食の野生系統雄および ME を摂食させた野生系統雄と比較した。その結果、交尾成功率は、CAR 摂食雄が CAR 未摂食雄と比較して有意に高く、CAR 摂食雄と ME 摂食雄に有意な差はなかった。このため、本種雄に CAR を摂食させることでも、ME 同様、交尾成功率が上昇し、不妊虫放飼法の有効性が高まる可能性がある。しかし、WEE et al. (2018) では、不妊化をしていない雄のみを供試したため、不妊化雄を供試した同様の試験を実施する必要がある。

一方、ミバエに誘引剤を摂食させることよりも、誘引剤の香気にミバエを暴露させる方が、簡便で効率的であると考えられる。HAQ et al. (2018) は、ME の香気をミカンコミバエ雄に暴露させたところ、その交尾成功率が上昇したことを報告した。このことから、CAR または ME の香気に暴露したセグロモミバエ雄の交尾成功率の上昇の有無が調査されることも期待される。また、雄除去法と不妊虫放飼法を同時に行うと、放飼した不妊化雄がトラップに捕獲されてしまい、防除の有効性・効率性が低下する。逆に、誘引剤への反応が弱い性質の不妊化雄を使用して、雄除去法と不妊虫放飼法を同時に行えば、有効性・効率性が大幅に向上するため、誘引剤弱反応性の不妊化雄の生産が望まれている。CHAMBERS et

al. (1972) は、羽化後 4~5 日間、キュウルの香気に暴露したウリミバエ不妊化雄のキュウリア使用トラップへの反応が、キュウリアに暴露せず不妊化もしていない雄の反応の 12.2~38.5% になったことを報告したが、不妊化雄が誘引剤に慣れたことに起因している可能性を考察した。そこで、セグロモミバエの誘引剤弱反応性の不妊化雄の生産のため、CAR または ME の香気に暴露した本種雄の CAR または ME への反応を調査することも重要である。

VI セグロモミバエおよびミカンコミバエに対する CAR と ME を混合した混合誘引剤の誘引効果

これまで我が国は、経済的に重要なミバエに対する侵入警戒調査用トラップの誘引剤の一つとして ME を使用している。今般、CAR が ME より、セグロモミバエのモニタリングおよび雄除去法に有効な誘引剤である可能性が示されたが、CAR トラップを従来の ME トラップと別に設置することは、コスト面で非効率であるため、CAR と ME を混合した混合誘引剤トラップで代替できることが望ましい。ところで、ミバエ類の誘引剤としての ME とキュウリアを同一トラップ内に設置してトラップ調査を実施したところ、その捕獲効率が低下した事例が報告された (ROYER and MAYER, 2018)。したがって、複数の誘引剤を混合することが、誘引効果に負の影響を与える可能性も捨て切れない。そこで、植物防疫所において、大臣許可の下、累代飼育しているセグロモミバエ雄またはミカンコミバエ雄を供試して、室内ケージで、CAR と ME の混合誘引剤を使用したトラップでの捕獲数を、セグロモミバエについては CAR を単独で使用したトラップでの捕獲数と、ミカンコミバエについては ME を単独で使用したトラップでの捕獲数と、それぞれ比較した。その結果、セグロモミバエの混合誘引剤での捕獲数は CAR 単独よりやや多かったことおよびミカンコミバエの混合誘引剤での捕獲数は ME での捕獲数と差がなかったことが明らかになった (金田・佐々木, 未発表)。今後、本混合誘引剤を使用した野外でのトラップ調査を両種の分布国で行う必要がある。

VII セグロモミバエ雌に対する本種雌の直腸腺から得られた抽出物の誘引性

これまで、セグロモミバエ雌の誘引物質は報告されていない。最近、ZHANG et al. (2019) は、中国産本種を供試した実験室内の試験で、卵巣が完全に成熟した 13 日齢の野生系統雌の直腸腺から得られた抽出物が、15~

16日齢の未交尾の野生系統雌および雄を誘引したことを報告した。そこで、本抽出物に含まれる成分が、誘引剤として、本種のモニタリングおよび防除に適用できるか否かを明らかにするため、今後、本抽出物の各成分のさらなる誘引性調査の実施が望まれる。

おわりに

セグロモミバエの誘引剤に関する近年の研究に基づくと、CARはMEより本種のモニタリングおよび雄除去法に有効な誘引剤になると考えられる。また、本種雄にCARまたはMEを摂取させることで、効果的・効率的な本種の不妊虫放飼法に資することも期待される。さらに、本種雌の直腸腺抽出物の成分が本種雌の誘引物質となる可能性も示唆された。近年、南西諸島のモニタリングトラップでのミカンコミバエの誘殺数が増加しているが、これは近隣の本種分布国からの飛来に起因すると推定されている(大塚・松村, 2018)。近い将来、地球温暖化および国際物流の増大による近隣諸国でのセグロモミバエの発生または分布拡大により、ミカンコミバエと同様、セグロモミバエが直接、我が国に飛来する可能性も捨て切れない。さらに、近年の輸入量および国際線旅客数の増大により本種の侵入リスクが高まっているおそれもある。このため、早急に、上述の研究を発展させ、効果的・効率的な侵入警戒調査・根絶防除手法を確立する必要がある。

謝辞 本稿のご校閲および有益なコメントを賜った西田律夫博士(京都大学名誉教授)に御礼申し上げます。また、本稿の構想段階で有益なご助言をいただいた岩泉連氏および五十嵐亮介氏(農林水産省横浜植物防疫所)に感謝する。

引用文献

- 1) ALLWOOD, A. J. et al. (1999): *Raffles Bull. Zool. Suppl.* **7**: 1~92.
- 2) CHAMBERS, D. L. et al. (1972): *J. Econ. Entomol.* **65**: 279~282.
- 3) DREW, R. A. I. and M. C. ROMIG (2013): *Tropical fruit flies (Tephritidae: Dacinae) of South-East Asia*, CAB International, Wallingford, p.69~70.
- 4) FLETCHER, B. S. (1968): *Nature* **219**: 631~632.
- 5) HAQ, I. U. et al. (2018): *Sci. Rep.* **8**: 6033.
- 6) HEE, A. K. W. and K. H. TAN (1998): *J. Chem. Ecol.* **24**: 753~764.
- 7) 石井象二郎 (1985): *ミバエの根絶—理論と実際—*, 農林水産航空協会, 東京, p.79~143.
- 8) 岩橋 統 (1998): *個体群生態学会会報* **55**: 79~86.
- 9) KAMIJI, T. et al. (2014): *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* **25**: 101~109.
- 10) ——— et al. (2018 a): *Appl. Entomol. Zool.* **53**: 41~46.
- 11) ——— et al. (2018 b): *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* **29**: 127~134.
- 12) KANEDA, M. et al. (2018): *Res. Bull. Pl. Prot. Japan* **54**: 69~75.
- 13) LIU, X. et al. (2013): *J. Pest Sci.* **86**: 449~458.
- 14) MIYAKE, T. (1919): *Bull. Imp. Central Agric. Exp. Stn. Japan* **2**: 85~165.
- 15) NISHIDA, R. et al. (1988): *Experientia* **44**: 534~536.
- 16) 農林水産省植物防疫所 (2011): *植物防疫所病害虫情報* **95**: 1~8.
- 17) ——— (2016 a): *ミカンコミバエ種群の緊急防除について*, <http://www.maff.go.jp/pps/j/information/kinkyuboujo/mikankomibae.html>
- 18) ——— (2016 b): *ミカンコミバエ発生に伴う韓国からの輸入規制の解除について*, <http://www.maff.go.jp/pps/j/information/export/korea201611.html>
- 19) ——— (2019 a): *植物検疫統計*, <http://www.maff.go.jp/pps/j/tokei/index.html>
- 20) ——— (2019 b): *韓国の輸入規制の解除について*, <http://www.maff.go.jp/pps/j/search/ekuni/as/korea/henko190104.html>
- 21) ORANKANOK, W. et al. (2013): *J. Appl. Entomol.* **137**(Suppl. 1): 200~209.
- 22) 大塚 彰・松村正哉 (2018): *植物防疫* **72**: 717~721.
- 23) ROYER, J. E. and D. G. MAYER (2018): *J. Econ. Entomol.* **111**: 298~303.
- 24) SHELLY, T. E. et al. (2008): *Entomol. Exp. Appl.* **128**: 380~388.
- 25) TOKUSHIMA, I. et al. (2010): *J. Chem. Ecol.* **36**: 1327~1334.
- 26) VARGAS, R. I. et al. (2015): *Insects* **6**: 297~318.
- 27) WEE, S. L. et al. (2018): *J. Pest Sci.* **91**: 691~698.
- 28) WEEMS, H. V. Jr. (1987): *Entomol. Circ.* **291**: 1~4.
- 29) WONG, T. T. Y. et al. (1991): *J. Chem. Ecol.* **17**: 2481~2487.
- 30) YOSHIKAWA, O. (1997): *Res. Bull. Pl. Prot. Japan Suppl.* **33**: 1~10.
- 31) ZHANG, X. et al. (2019): *Insects* **10**: 78.

植	物	
	防	疫
講	座	

病害編-20

黒穂病菌の分類・接種法と防除

—イネ科植物寄生菌について—

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 飼養管理技術研究領域

つき ぼし たか お
月 星 隆 雄

一般社団法人 北海道植物防疫協会 田 なか ふみ お
た なか ふみ お
田 中 文 夫

はじめに

「黒穂病」はその名の通り、穂が黒いかび（黒穂胞子）で覆われる病気であり、病原菌は担子菌酵母類の「クロボ菌」である。日本でも古くから研究が進められ、白井編（1917）は、カラスムギ、クサヨシ、ヨシ、エノコログサおよびガマ等のイネ科植物での発生を報告している。イネ科だけでなく、カヤツリグサ科（主にスゲ類）や多種多様な双子葉植物にも寄生し、現在では日本で220種以上がクロボ菌として報告されている（柿畷, 2016）。イネ科植物寄生性菌種はこのうち約70種を占め、コムギなまぐさ黒穂病菌やトウモロコシ黒穂病菌、サトウキビ黒穂病菌等農業生産に大きな影響を及ぼす重要種も数多く含まれている。また、ヒエ黒穂病菌は生物的除草剤として提案され（TSUKAMOTO et al., 1999）、生分解性プラスチック分解菌として知られ（TANAKA et al., 2019）、また、カゼクサ黒穂病菌は希少糖エリスリトールを産生するなど（TANAKA and HONDA, 2017）、産業的に利用できる可能性をもつ菌種もある。ここでは、イネ科植物に寄生する黒穂病菌を中心に、発生状況、分類・接種法および防除法について紹介する。

I 黒穂病の病徴と発生状況

病徴は穂に感染した場合、発病すると穂（種子）がしばしば膨れて、その中から灰色～灰黒色の黒穂胞子（厚膜胞子）を露出し、子実が黒い粉に置き換わったような形態になる。この胞子が伝染源となるが、直接開花した花器や幼植物に付着・感染、子実に付着あるいは土壌中に残存して次年度の発生源となる等、発生生態は種によって大きく異なる。また、種によっては穂だけでなく、葉や茎に条状あるいは斑点状の胞子堆を形成することが

ある。

最近大きな問題となっている病害にコムギなまぐさ黒穂病があり、特に北海道の秋播きコムギで被害が大きい（田中, 2019）。本病は明治時代から報告されていたが、1990年代には関東地方で（野田ら, 1998）、2010年代には北海道で大発生し、感染穂は外見上健全穂とあまり差がないが、穂の内部に黒穂胞子が充満し、これが生臭い魚臭を出すため、収穫物全体が異臭麦となり、感染植物もわい化して減収するため、大きな問題となっている。また、サトウキビ黒穂病も沖縄県を中心に発生する重要病害で、発病すると植物体が徒長し、頂部から内部に胞子を含む黒い鞭状物を出して枯死する激しい病徴を示し、大きく減収するため、抵抗性育種が進められている（境垣内ら, 2019）。トウモロコシ黒穂病は雌穂内の種子などが膨れて白色で中に大量の黒穂胞子が詰まった大型肥大組織となり、見た目のインパクトは大きいですが、発生頻度は低い。しかし、トウモロコシ品種を育成するためには本病に対する抵抗性が求められることがあり、抵抗性検定が行われている（重盛ら, 2000）。

II 黒穂病菌の分類

クロボ菌は古くはクロボキン科（Ustilaginaceae）およびナマガサクロボキン科（Tilletiaceae）に分けられ、前者は厚膜胞子が発芽すると隔壁により区切られた1列に並んだ細胞から成る担子器を形成し、これに担子胞子を側生および頂生するが、後者は担子器に隔壁を作らず、担子胞子を頂生するとされた。しかし、近年の分子系統解析により、このような形態的な違いは系統分類と一致しないことがわかり、現在では担子菌類の3系統群のうち、ウスチラゴ系統群およびブクキニオ系統群に属することが明らかになっている（柿畷, 2016）。以下にイネ科植物寄生性菌種が含まれるウスチラゴ系統群の属種について記述する（VANKY, 2002）。また、日本で発生するイネ科植物寄生性菌種と農研機構が保有する標本情報を

Identification, Inoculation and Control Methods of Graminicolous Species of Smut Fungi. By Takao TSUKIBOSHI and Fumio TANAKA
(キーワード: クロボ菌, 培養, 分子系統)

表-1 日本でイネ科植物に発生するクロボ菌および標本情報

クロボ菌属種	寄主植物, 病名	標本番号 ^{b)}	採集地	採集年
<i>Anthracoystis abramoviana</i>	オオアブラススキ類			
<i>Anthracoystis destruens</i>	キビ黒穂病	Ust-208 他	北海道, 東京	1898
<i>Anthracoystis formosana</i>	キビ類			
<i>Anthracoystis paspali-thunbergii</i>	スズメノヒエ類	Ust-174 他	新潟, 島根	1900~1903
<i>Conidiosporomyces ayresii</i>	ギニアグラス黒穂病	MAFF511519 他	沖縄	2010
<i>Eballistra oryzae</i>	イネ黒しゅ病	101-1-71 他	群馬, 福岡, 鹿児島	1920~1935
<i>Franzpetrakia okudairae</i>	ハトムギ, ジュズダマ黒穂病	Ust-33 他	熊本	1901~1905
<i>Macalpinomyces neglectus</i>	エノコログサ類	Ust-85 他	北海道, 茨城, 埼玉, 東京	1891~1900
<i>Macalpinomyces spermophorus</i>	カゼクサ類	Ust-2 他	茨城, 埼玉, 東京	1900~1919
<i>Macalpinomyces tanakae</i>	アワ黒穂病			
<i>Moesziomyces bullatus</i>	ヒエ類黒穂病	Ust-226 他	北海道, 茨城, 東京, 富山	1898~1902
<i>Neovossia molinae</i>	ヨシ類なまぐさ黒穂病			
<i>Sporisorium cruentum</i>	モロコシ裸黒穂病	262-2-23	栃木	1961
<i>Sporisorium ehrenbergii</i>	モロコシ			
<i>Sporisorium flagellatum</i>	カモノハシ類			
<i>Sporisorium ischaemi-anthephoroidis</i>	カモノハシ類			
<i>Sporisorium kusanoi</i>	トグシバ類, ススキ類	Ust-11 他	北海道, 岩手, 茨城, 長野, 岡山, 島根, 高知他	1898~1922
<i>Sporisorium lepturi</i>	ウシノシッペイ	Ust-42 他	新潟	1900~1903
<i>Sporisorium penniseti-japonici</i>	チカラシバ類	112-1-65	新潟, 茨城, 千葉, 長野	1900~1943
<i>Sporisorium reilianum</i>	モロコシ糸黒穂病	Ust-201 他	岩手, 東京, 島根	1899~1902
<i>Sporisorium scitamineum</i>	サトウキビ黒穂病	Ust-161 他	東京, 香川, 高知, 熊本, 沖縄	1905~1986
<i>Sporisorium sorghi</i>	モロコシ小黒穂病, 粒黒穂病	Ust-145 他	東京 (接種)	1898
<i>Tilletia alopecuri</i>	スズメノテッポウ類なまぐさ黒穂病			
<i>Tilletia barclayana</i>	チカラシバ類	Ust-270 他	茨城, 新潟, 富山, 長野	1900~1903
<i>Tilletia caries</i>	コムギ類なまぐさ黒穂病	103-1-47 他	福島, 栃木, 群馬, 千葉, 兵庫, 岡山, 山口, 徳島	1896~1935
<i>Tilletia controversa</i>	オオムギなまぐさ黒穂病	103-2-31 他	岩手, 宮城, 群馬, 千葉, 長野	1917~1946
<i>Tilletia horrida</i>	イネ墨黒穂病	256-1-39 他	茨城, 埼玉, 東京, 静岡, 長野, 福岡, 熊本	1892~1928
<i>Tilletia laevis</i>	コムギ丸なまぐさ黒穂病	Ust-238 他	山形, 長野	1896, 1913
<i>Tilletia menieri</i>	リードカナリーグラスなまぐさ黒穂病			
<i>Tilletia olida</i>	ヤマカモジグサ類なまぐさ黒穂病			
<i>Tilletia setariae</i>	エノコログサ類なまぐさ黒穂病			
<i>Tranzscheliella hypodytes</i> ^{a)}	ススキ類	Ust-22 他	新潟	1903
<i>Urocystis agropyri</i>	コムギから (稈) 黒穂病など	Ust-217 他	岩手, 茨城, 群馬, 埼玉, 東京, 長野	1897~1959
<i>Ustilago affinis</i>	セントオーガスチングラス黒穂病	135-1-22	沖縄	1998
<i>Ustilago avenae</i>	エンバク裸黒穂病など	N2-4 他	北海道, 栃木, 茨城, 千葉, 東京	1895~1978
<i>Ustilago bullata</i>	ブロムグラス黒穂病	249-1-103 他	東京, 長野	1964, 1965
<i>Ustilago calamagrostidis</i>	ノガリヤス類			
<i>Ustilago coicis</i>	ハトムギ黒穂病	Ust-36	東京	1901
<i>Ustilago crameri</i>	アワ黒穂病	Ust-50 他	東京, 長野	1896~1927
<i>Ustilago cymodontis</i>	バミューダグラス黒穂病	N2-29 他	埼玉, 千葉, 静岡, 滋賀, 兵庫, 岡山, 島根他	1894~1968
<i>Ustilago esculenta</i>	マコモ類黒穂病	113-1-49 他	東京, 福岡, 三重, 滋賀, 沖縄	1900~1987
<i>Ustilago grandis</i>	ヨシ類	Ust-188	北海道	1891
<i>Ustilago hordei</i>	オオムギ, エンバク堅黒穂病	103-2-35 他	北海道, 岩手, 東京, 千葉, 長野, 福岡, 鹿児島	1890~1952
<i>Ustilago maydis</i>	トウモロコシ黒穂病など	N8-62 他	東京, 千葉	1899~1969
<i>Ustilago nuda</i>	オオムギ裸黒穂病	103-2-37 他	東京, 千葉	1895~1952
<i>Ustilago serpens</i>	カモジグサ類			
<i>Ustilago striiformis</i>	C ₃ 型イネ科牧草すじ黒穂病など	N8-33 他	北海道, 岩手, 東京	1891~1972
<i>Ustilago syntherismae</i>	メヒシバ類	Ust-51 他	栃木, 茨城, 東京, 長野, 富山, 石川, 熊本	1896~1978
<i>Ustilago trichophora</i>	ヒエ黒穂病, こぶ黒穂病	Ust-180 他	北海道, 東京, 神奈川, 長野, 富山, 岡山	1894~1902
<i>Ustilago tritici</i>	コムギ裸黒穂病	Ust-120 他	北海道, 岩手, 群馬, 東京, 島根, 大分, 福岡	1896~1935

^{a)} 標本情報のみ, ^{b)} 月星ら (2007), MAFF 番号は NARO 微生物ゲノムバンク 保存株, N 番号は中央農研那須拠点標本.

表-1 に示す。

1 *Ustilago* (C. Persoon) H. F. A. Roussel

胞子堆はイネ科植物の様々な部位に形成され、成熟時には破裂して通常粉状、時に凝集した、黒色ないしオリーブ褐色の胞子塊を露出する。厚膜胞子は単生、小型から中型で、茶色に着色し、表面構造はいぼ状、細刺状あるいは不規則な網目状等で、まれに平滑となる。周囲を不稔細胞に取り囲まれることはない。発芽時は多室担子器を形成し、担子胞子を側生または頂生する。宿主植物内の感染菌糸は細胞内を進展し、電子的に不透明な粘質物質に覆われる。成熟した隔壁は隔壁孔をもたない。トウモロコシ黒穂病菌 (*U. maydis* (DC) Corda) は厚膜胞子が球形または短楕円形で、黄褐色を帯び、大きさ $8\sim 13\times 8\sim 11\mu\text{m}$ 、表面に短い突起をもつ。発芽して担子器を形成し、無色、紡錘形の担子胞子を側生または頂生する (西原, 1987)。菌えい内部にはゼラチン化した菌糸塊を形成する (Hiura et al., 1977)。

2 *Tilletia* L.-R. & C. Tulasne

胞子堆はイネ科植物の花器に分散して形成され、感染花器はやや突出して角状 (bunt) になる。内部にはやや凝集した胞子と不稔細胞が充満する。胞子堆は葉や茎に条状に形成されることもある。局所または全身感染し、しばしばトリメチルアミンを生成する。菌えいは護膜に覆われることはなく、花器の柱軸は残らない。厚膜胞子は単生、中型～大型、網状、いぼ状、刺状等の様々な表面構造をもつ。不稔細胞は単生、無色～わずかに着色、平滑である。厚膜胞子は発芽すると単室の担子器に針状、紡錘形等の担子胞子を頂生する。日本では、イネ墨黒穂病菌 (*C. horrida* Takah.) による病害が発生している。この菌の厚膜胞子は淡褐色から茶褐色、球形、表面に顕著な剛毛があり、直径 $22\sim 32\mu\text{m}$ 、厚壁である (梶原 編, 2016)。

3 *Sporisorium* L.-R. & C. Tulasne

胞子堆はイネ科植物の子房や花器に置き換わる形で形成され、感染花器は護膜に覆われる。内部にはやや凝集した胞子と不稔細胞が充満し、花器の柱軸が残る。厚膜胞子は単生、グループ状あるいは鎖状に形成され、褐色系で、様々な表面構造をもつ。不稔細胞は単生、グループ状あるいは鎖状に形成され、無色である。厚膜胞子は発芽すると多室担子器を形成し、担子胞子を側生または頂生する。日本では、ソルガム糸黒穂病菌 (*S. reilianum* (J. G. Kühn) Langdon & Full.) による病害が発生している。この菌の厚膜胞子は暗褐色、球形から楕円形、表面に細かい突起をもち、直径 $9\sim 14\mu\text{m}$ である (梶原 編, 2016)。

4 *Eballistra* M. R. Bauer, D. Begerow, A. Nagler & Oberwinkler

黒色斑点状の胞子堆はイネ科植物 (あるいはカヤツリグサ科植物?) の葉や茎に形成される。胞子は単生あるいは集合するが、塊状に凝集しない。オリーブ褐色に着色し、宿主内に埋め込まれて形成されるが、突出せず、粉状にもならない。発芽すると単室担子器を形成するが、担子胞子は射出しない。宿主植物内の感染菌糸は隔壁孔をもたず、主に細胞間を進展する。宿主への感染に必要な特別な器官を形成しない。イネ黒しゅ病菌 (*E. oryzae* (Syd. & P. Syd.) R. Bauer, Begerow, A. Nagler & Oberw.) は厚膜胞子が球形～短楕円形または多角形で、オリーブ褐色を帯び、大きさ $5.5\sim 8\times 6\sim 11\mu\text{m}$ 、胞子壁は厚く (約 $0.5\mu\text{m}$)、平滑である。発芽して担子器を形成し、Y字形の担子胞子を頂生する (梶原 編, 2016)。

5 *Franzpetrakia* M. J. Thirumalachar & M. S. Pavgi

胞子堆はイネ科植物の出穂前の花器に形成されることが多く、葉鞘内部が膨れて、多数の不稔細胞と鎖状に連なった厚膜胞子が大量に露出して、粉状を呈する。内部には宿主植物の柱軸が残る。胞子は単生、暗色で、宿主植物内の感染菌糸は細胞内を進展し、電子的に不透明な粘質物質に覆われる。成熟した隔壁は隔壁孔をもたない。日本では、ハトムギ黒穂病菌 (*F. okudairae* (Miyabe) L. Guo, Vánky & Mordue) による病害が発生している。

6 *Conidiosporomyces* K. Vánky

胞子堆はイネ科植物の花器に分散して形成され、感染花器は肥大して護膜に覆われる。内部には胞子と不稔細胞が充満する。花器の柱軸は残らない。胞子は厚壁で、着色、中型、発芽すると単室の担子器に棒状の担子胞子を頂生する。不稔細胞は無色～淡色、表面に模様があるか平滑である。発芽してY字形胞子をゆるいボール状に形成することがある。宿主植物内の感染菌糸は細胞間を進展する。日本では、ギニアグラス黒穂病菌 (*C. ayresii* (Berk.) Vánky) による病害が発生している。この菌の厚膜胞子は淡褐色から褐色、球形から垂球形、表面は短い刺状で、大きさ $14\sim 16\times 15\sim 18\mu\text{m}$ 、厚壁 ($2\sim 3\mu\text{m}$) である。担子胞子は出芽してY字形分生子を形成する (図-1; Tsukiboshi et al., 2012)。

7 *Urocystis* L. Rabenhorst ex L. Fuckel

胞子堆はイネ科植物および様々な双子葉植物の葉や茎に形成されるが、時に花器、種子、まれに根に形成されることもある。褐色から濃褐色の条状あるいは斑点状となり、内部に通常は粉状に厚膜胞子を形成する。厚膜胞子は褐色で、淡色で小型の不稔細胞に取り囲まれる。感染花器は護膜に覆われる。厚膜胞子は発芽すると単室の

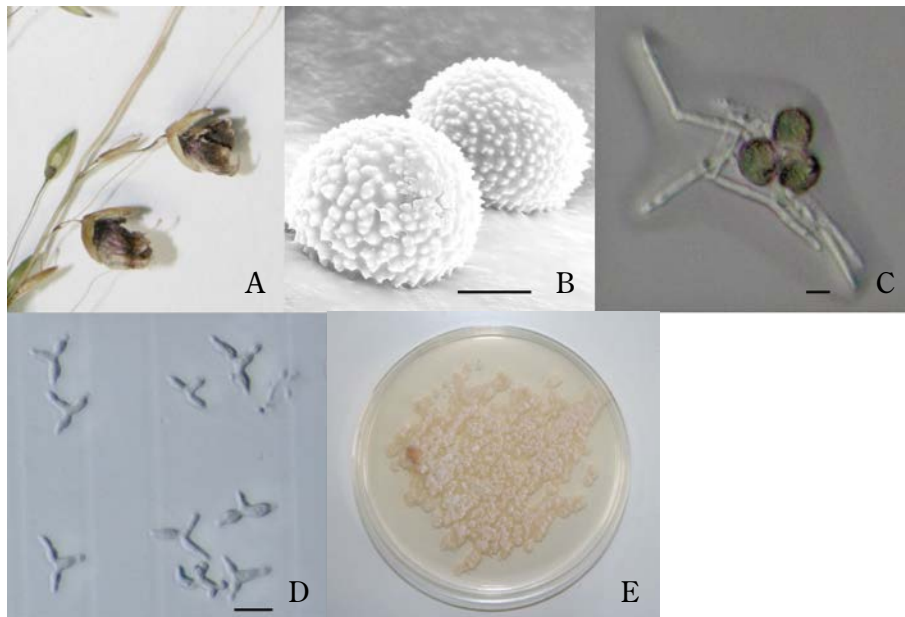


図-1 ギニアグラス黒穂病菌 (A: 病徴, B: 厚膜胞子, C: 発芽した厚膜胞子, D: Y字形分生子, E: PDA上のコロニー)
バー: 5 μ m.

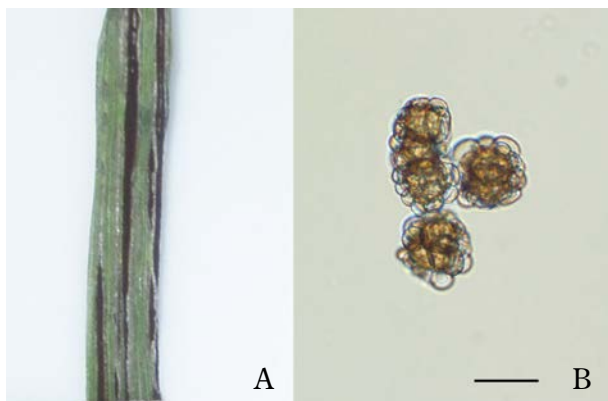


図-2 シバムギから(稈)黒穂病菌 (A: 病徴, B: 厚膜胞子)
バー: 20 μ m.

担子器に棒状などの担子胞子を頂生する。全身感染し、宿主組織内に吸器を形成する。日本では、シバムギに *U. agropyri* (Preuss) A. A. Fisch. Waldh. による病害が発生し、厚膜胞子は淡褐色～褐色、球形～亜球形、直径15～20 μ m程度で、表面を不稔細胞に取り囲まれる(図-2)。

そのほか、*Anthracoystis* 属、*Macalpinomyces* 属、*Moesziomyces* 属、*Neovossia* 属および *Tranzscheliella* 属の菌種による病害も日本のイネ科植物で発生しているが、詳しくは柿畷(2016)あるいはVANKY(2002)を参照していただきたい。

III 黒穂病菌の培養および分子系統解析

黒穂病菌の厚膜胞子は、一般的に高湿度条件で発芽

し、圃場でできるだけコンタミのないように注意して採集すれば、厚膜胞子を直接PDAなどの栄養培地に撒いて培養できる。担子菌酵母であるため、暗黒下で発芽して白色から黄色の酵母様コロニーとなり、菌糸などのコンタミがあれば、実体顕微鏡下で発芽胞子のみを掻き取って培養する。もし細菌などのコンタミがひどいようであれば、厚膜胞子を0.2%の次亜塩素酸ナトリウム水溶液に1～2分浸漬し、水洗後培養する方法もある(CASTLEBURY et al., 2005)。

DNA抽出は厚膜胞子からも可能であるが、培養したコロニーから行うと効率が良い。抽出は通常の植物・菌類DNA抽出キットで可能である。黒穂病菌の分子分類は28S rDNA-LSU (large subunit) 領域およびrDNA-ITS領域により行われることが多いが(STOLL et al., 2005)、LSUのみでも分類可能である(BEGEROW et al., 2000)。LSUの部分配列の増幅は、通常糸状菌全般に用いられる以下のプライマーを使用する(GUADET et al., 1989)。

NL1 (5'-GCATATCAATAAGCGGAGGAAAAG-3')

NL4 (5'-GGTCCGTGTTTCAAGACGG-3')

詳細なPCR条件等については理化学研究所バイオリソース研究センター(BRC)のHP(https://jcm.brc.riken.jp/ja/quality_control)を参照していただきたい。上記配列により作成した系統樹の一例を示す(図-3)。

IV 黒穂病菌の接種

接種は、厚膜胞子をイネ科植物の巻葉内に振り入れ

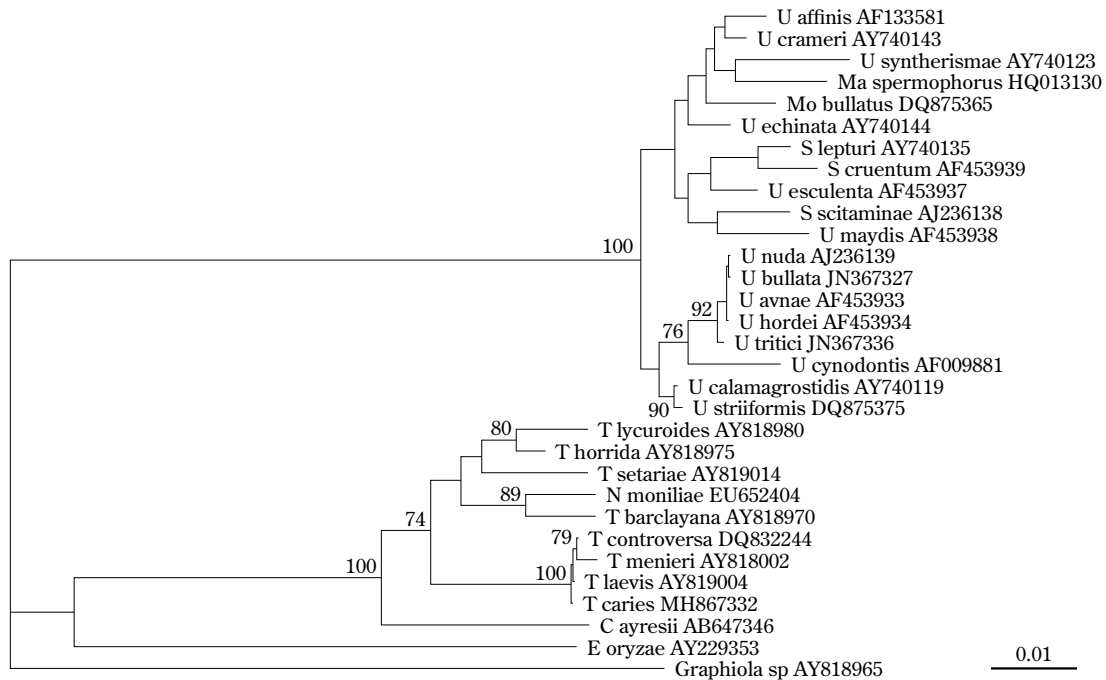


図-3 28S rDNA-LSU 部分塩基配列によるイネ科植物寄生性クロボ菌の分子系統樹 (NJ 法, 分岐点の数字はブートストラップ確率, バーは遺伝距離)
 U : *Ustilago*, Ma : *Macalpinomyces*, Mo : *Moesziomyces*, S : *Sporisorium*, T : *Tilletia*, N : *Neovossia*, C : *Conidiosporomyces*, E : *Eballistra*, 種名および塩基配列 Accession No.

る,あるいはサトウキビ黒穂病のように芽子の有傷部分に塗り込む方法(境垣内ら, 2019)があるが,厚膜胞子を上述した方法で発芽させて得た分生子を使うことが多い。トウモロコシ黒穂病菌の場合,交配型が2遺伝子座によって支配され,異なる交配型の菌系が対合することにより2核菌糸となり,トウモロコシへの病原性を獲得する。このため,病原性をもつ組合せとなる単一分生子由来の2菌株を選び,これを等量混合して接種に用いる。接種は約 10^6 個/mlに調整した2菌株の分生子懸濁液に展着剤を加え,巻葉に滴下して行う(大久保ら, 2005)。この接種法に適したトウモロコシ黒穂病菌菌株はNARO微生物データベースに登録され,利用することができる(MAFF511454および511455等)。

穂への接種は噴霧接種により行うが,開花して抽出した雌ずいに感染するため,穂が上から半分程度開花したときに接種する。噴霧する分生子懸濁液は,厚膜胞子を発芽させて得たものであれば,必ず発病に必要な交配型が含まれるため,単一の厚膜胞子由来のコロニー上に形成された分生子をそのまま用いることもできる。ギニアグラスなどの牧草類では,展着剤を添加して噴霧後,ビニール袋で穂を1~2日間覆い,その後これを取り外して約1か月後に肥大した感染穂を観察することができる。脱粒性の品種を用いると感染しなかった小穂は成熟

とともに脱落し,感染小穂のみ穂に残る現象が見られることがある。

菌種によっては幼苗から感染することから,ハトムギおよびジュズダマ黒穂病では分生子懸濁液をあらかじめ催芽しておいた子苗の子葉鞘に塗布し,これを殺菌土壤に移植して発病させることができる(兼平ら, 1986)。また,トウモロコシやヒエ等の幼苗の葉鞘内に懸濁液を注射接種して発病させることもできるが,病徴が激しくなることが多い(Tsukamoto et al., 1999)。

発病度の評価は発病株率によることが多いが,菌えいの数や大きさによって発病指数を設け,これにより評価することもある(重盛ら, 2000)。

V 黒穂病の防除

コムギなまぐさ黒穂病菌は関東地方では*Tilletia caries*が優占するが(野田ら, 1998),北海道においては*T. controversa*が分布する(新村・小澤, 2019)。前者は種子伝染および土壤伝染するが,後者は土壤伝染が主体とされる。そのため,*T. caries*にはチウラム・ベノミル剤,イミノクタジン酢酸塩剤の種子粉衣・塗抹処理が有効である。さらに温湯浸漬法による種子消毒法も確立され,温湯処理機を用いて 55°C ・5分間の温湯種子消毒をすると従来法よりも効果が高く, $50\sim 51^{\circ}\text{C}$ の温湯への予備加

熱浸漬を省略できる(横須賀・渡邊, 2004)。しかし, *T. controversa* ではその伝染方法の違いから, *T. caries* とは異なり浸透移行性のあるイブコナゾール剤の種子塗抹処理やプロピコナゾール剤による茎葉散布の防除効果が高い。耕種の対策としては, 連作の回避のほか, 汚染圃場で使用した機械の洗浄, 前作コムギ刈り取り直後の反転耕等が重要となる(野田ら, 1997; 田中, 2019)。

コムギ裸黒穂病は主に種子伝染であるため, チウラム・ベノミル剤の種子粉衣や温湯浸漬法が有効である。オオムギ裸黒穂病では, 穂揃期のプロピコナゾール剤散布およびトリフルミゾール剤, チウラム・ベノミル剤による種子消毒が高い防除効果を示す(山口ら, 2007)。サトウキビやトウモロコシの黒穂病では, 抵抗性系統の利用が主体となるが, トウモロコシの激発圃場では3年以上は他の作物を作付けする, 罹病植物は堆肥にしても厚膜胞子は生き残るため速やかに除去・焼却する, 植物を強健に育てるため窒素肥料の過用を避けること等が推奨されている(西原, 1987; 梶原 編, 2016)。

おわりに

黒穂病は病徴が目立ち, また宿主寄主相互間の密接な関係を保ちながら独自の種分化を遂げた菌群によるため, 世界中で多くの研究が行われてきた病害だが, 発生する植物が雑草などのマイナー植物であることが多く, 農業生産上の防除対策はやや遅れている。近年の北海道でのコムギなまぐさ黒穂病でも対策が苦慮され, 上述し

た様々な防除法が, 試行錯誤の末に確立されてきている。今後も穀類などを中心にこのような重要な黒穂病が発生する可能性があり, 診断・同定法や防除法確立のための試験法について研究を進める必要がある。

引用文献

- 1) BEGEROW, D. et al. (2000): *Mycol. Res.* **104**: 53~60.
- 2) CASTLEBURY, L. A. et al. (2005): *Mycologia* **97**: 888~900.
- 3) GUADET, J. et al. (1989): *Mol. Biol. Evol.* **6**: 227~242.
- 4) HIURA, M. et al. (1977): *日植病報* **43**: 304~305.
- 5) 梶原敏弘 編 (2016): 普通作物病害図説, 養賢堂, 東京, 255 pp.
- 6) 柿脇 真 (2016): *日菌報* **57**: 99~119.
- 7) 兼平 勉ら (1986): 関東東山病虫研報 **33**: 49~50.
- 8) 新村昭憲・小澤 透 (2019): *日植病報* **84**: 85 (講要).
- 9) 西原夏樹 (1987): 原色飼料作物の病害, 雪印種苗, 札幌, 103 pp.
- 10) 野田 聡ら (1997): 関東東山病虫研報 **44**: 25~26.
- 11) ———ら (1998): 埼玉県農業試験場研究報告 **50**: 26~34.
- 12) 大久保博人ら (2005): 畜産草地研究成果情報 **4**: 89~90.
- 13) 境垣内岳雄ら (2019): 砂糖類・でん粉情報 **2019.2**: 48~54.
- 14) 重盛 勲ら (2000): 長野中信農試報 **15**: 107~115.
- 15) 白井光太郎 編 (1917): 訂正増補日本菌類目録第2版, 東京出版社, 東京, 733 pp.
- 16) STOLL, M. et al. (2005): *Mycol. Res.* **109**: 342~356.
- 17) 田中文夫 (2019): *農薬時代* **200**: 12~16.
- 18) TANAKA, E. and Y. HONDA (2017): *Mycoscience* **58**: 445~451.
- 19) ——— et al. (2019): *Antonie Leeuwenhoek* **112**: 599~614.
- 20) TSUKAMOTO, H. et al. (1999): *Ann. Phytopath. Soc. Jpn.* **65**: 537~542.
- 21) 月星隆雄ら (2007): *農環研資料* **30**: 1~168.
- 22) TSUKIBOSHI, T. et al. (2012): *Plant Dis.* **96**: 143.
- 23) VANKY, K. (2002): *Illustrated Genera of Smut Fungi*, St. Paul, MN, USA, APS Press, 238 pp.
- 24) 山口純一郎ら (2007): 九州沖縄農業研究成果情報 **22**: 327~328.
- 25) 横須賀知之・渡邊 健 (2004): 関東東山病虫研報 **51**: 7~9.

植	物	
防	疫	
講	座	

虫害編-19

ヨトウムシ類の発生生態と防除

兵庫県立農林水産技術総合センター や 瀬 じゅん や

はじめに

農林有害動物・昆虫名鑑（日本応用動物昆虫学会，2006）には，センチュウから哺乳類に至るまで合計3,375種の有害動物・昆虫が掲載されている。このうち昆虫類は2,924種と大部分を占めており，その中でもチョウ目種は885種を数え，カメムシ目813種，コウチュウ目689種等を抑えて最も多くの害虫種を含むグループを形成している。チョウ目昆虫は，その幼虫のほとんどが食植性であることが，害虫としての多様性に反映していることがうかがわれる。

「ヨトウムシ」という名称は，生産現場などではチョウ目ヤガ科の害虫に対して使われることがあるが，狭義にはヨトウガという特定の種を指す。そして，「ヨトウムシ類」という場合には，ウワバ類，タバコガ類，ネキリムシ類といったヤガ科のサブグループを含むことがあるが，本稿ではヨトウガ亜科に分類されるヨトウガ *Mamestra brassicae*，ハスモンヨトウ *Spodoptera litura* およびシロイチモジヨトウ *Spodoptera exigua* の3種をとり上げる。

I ヨトウガ

1 概要

ヨトウガはアジア，ヨーロッパに広く分布し，日本では全国的に発生する。広食性だが被害作物はキャベツをはじめとする葉菜類が多い。北海道ではテンサイの害虫として重要種である。

ヨトウムシ（＝夜盗虫）という名称の元祖的存在で，老齢幼虫が昼間は株元に潜んで夜間に食害する生態に由来する。ハスモンヨトウやシロイチモジヨトウの害虫化が，比較的新しい（1960年代以降）のに対して，本種は明治時代の農学書（松村，1899）にすでに掲載されていることから，古くから重要害虫として知られていたこ

Ecology and Management of Major Noctuidae Moths on Vegetables. By Junya YASE

（キーワード：野菜害虫，ヨトウムシ，ハスモンヨトウ，シロイチモジヨトウ，ヨトウガ）

とがわかる。

2 卵～成虫

卵は卵塊で葉裏に産みつけられる（図-1A）。幼虫はふ化後しばらくは集団で食害し（図-1B），被害箇所はカスリ状に白変する（図-1C）。2齢幼虫までは腹脚が2対なのでシャクトリムシ状に歩行する（図-1D）。このためウワバ類の幼虫と間違いやすいが，ウワバ類の幼虫は集団でいることはほとんどない。その後残り2対の腹脚が徐々に発達して4齢時には腹脚が4対になるので，いわゆるイモムシ類のモゾモゾとした歩き方になる。

老齢幼虫（図-1E）の体色は個体変異が大きい。ヨトウムシ類に共通することだが，密度が高い状態のときは体色が濃くなる傾向が見られる。幼虫は6齢を経過したあと土中で蛹になる。

成虫の前翅長は20mm前後。全体的に黒褐色の地味な色彩だが，白色紋が特徴的になる（図-1F）。ヤガ科には本種に酷似したガ類が多いが，ハスモンヨトウやシロイチモジヨトウとは見分けやすい。

3 発生生態

基本的な発生は，春季（4～6月）と秋季（9～11月）の年2回（図-2）。春季の野菜類で発生するヨトウムシ類としては最優占種である。夏季と冬季は蛹で休眠するいわゆる温帯適応を示すが，高緯度地方では夏季に休眠せずに2世代が連続して発生する場合もある。休眠性のない系統もあり（平井，1991），幼虫で越冬している個体もあるので，このような場合は発生回数が増える。

II ハスモンヨトウ

1 概要

ハスモンヨトウはアジアに広く分布し，日本では関東以西で発生が多いが，近年では東北地方でも被害が見られている。本種が属する *Spodoptera* 属には農業害虫として重要な種が多く，後述のシロイチモジヨトウをはじめ，スジキリヨトウ (*S. depravata*) や2019年7月に九州において，日本への侵入が確認されたツマジロクサヨトウ (*S. frugiperda*) 等が含まれる。

極めて広食性で，野菜類のほかにサトイモやダイズの



卵塊。鱗毛で覆われない。

ふ化直後の幼虫。集団でいる。

若齢幼虫の食害。表皮を残したカスリ状に。

2 齢幼虫。腹脚が 2 対でシャクトリ状歩行。

老齢幼虫。体色の個体変異が大きい。

成虫。地味だが白色紋が特徴。

図-1 ヨトウガ卵～成虫

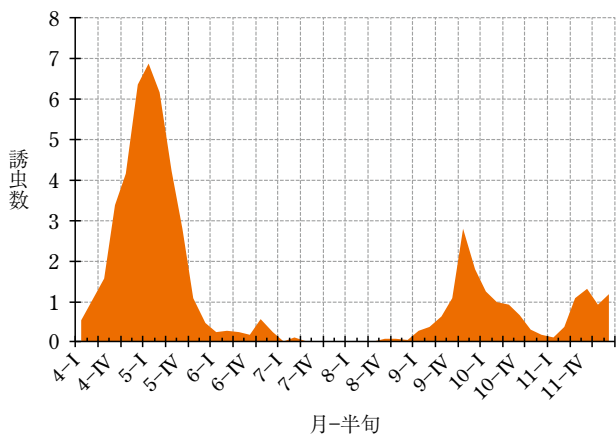


図-2 フェロモントラップによるヨトウガ雄成虫の誘引消長
兵庫県加西市。2009～18年の平均値。

重要害虫としても知られている。休眠性はなく耐寒性は低い。そのため、露地での越冬可能場所は関東以南の温暖地とされている（松浦，1992）。1960年代に害虫として顕在化しており，施設栽培の普及による越冬場所の拡大が主な原因と考えられている（内藤ら，1971）。

2 卵～成虫

卵は雌成虫の鱗毛で覆われた状態で葉裏に卵塊で産みつけられる（図-3A）。ふ化直後の幼虫は，産卵場所付近を集団でカスリ状に食害する（図-3B, C）。施設ではネットやパイプに産卵された卵塊からふ化した幼虫が，自ら出した糸にぶら下がって施設内に侵入することがある。腹脚はふ化直後から4対あり，ヨトウガの若齢と見分

けられる。2齢以降は頭部後方（第1腹節）の1対の黒色斑と頭部に向かって細くなる体型が顕著になる（図-3D）。幼虫は6齢を経過したあと土中で蛹になる（図-3E）。

成虫（図-3F）の前翅長は17mm前後。ヨトウガよりやや小さい。雄は前翅中央に太い帯状の白色紋があるが，雌のそれは雄に比べて細くて筋状である。

3 発生生態

西日本では4月下旬ごろからフェロモントラップへの成虫の誘引が認められるが，春季に幼虫の発生を見ることはほとんどない。成虫の発生は8月中旬以降急増して9月にピークが見られる（図-4）。年間の世代数は4～6回と推定されるが，野外では世代の重なりが生じること，発生量が作付け状況に影響されるので正確な把握は難しい。幼虫の発生は梅雨明け以降にサトイモ，ダイズから見る事が多い。その後多種作物で発生し，9～10月に発生最盛期を迎える。

本種は突発的な発生が見られることがあり，台風などに伴う成虫の長距離飛来の可能性が示唆されている（MURATA et al., 1998）。また，日常的に4km以上の飛翔範囲を持つことが報告されている（八瀬ら，2004）。

III シロイチモジヨトウ

1 概要

シロイチモジヨトウは，1960年代に九州地方のテンサイで発生が見られていたが（堀切，1986），1980年代に全国的にネギで多発して広く知られるようになった。

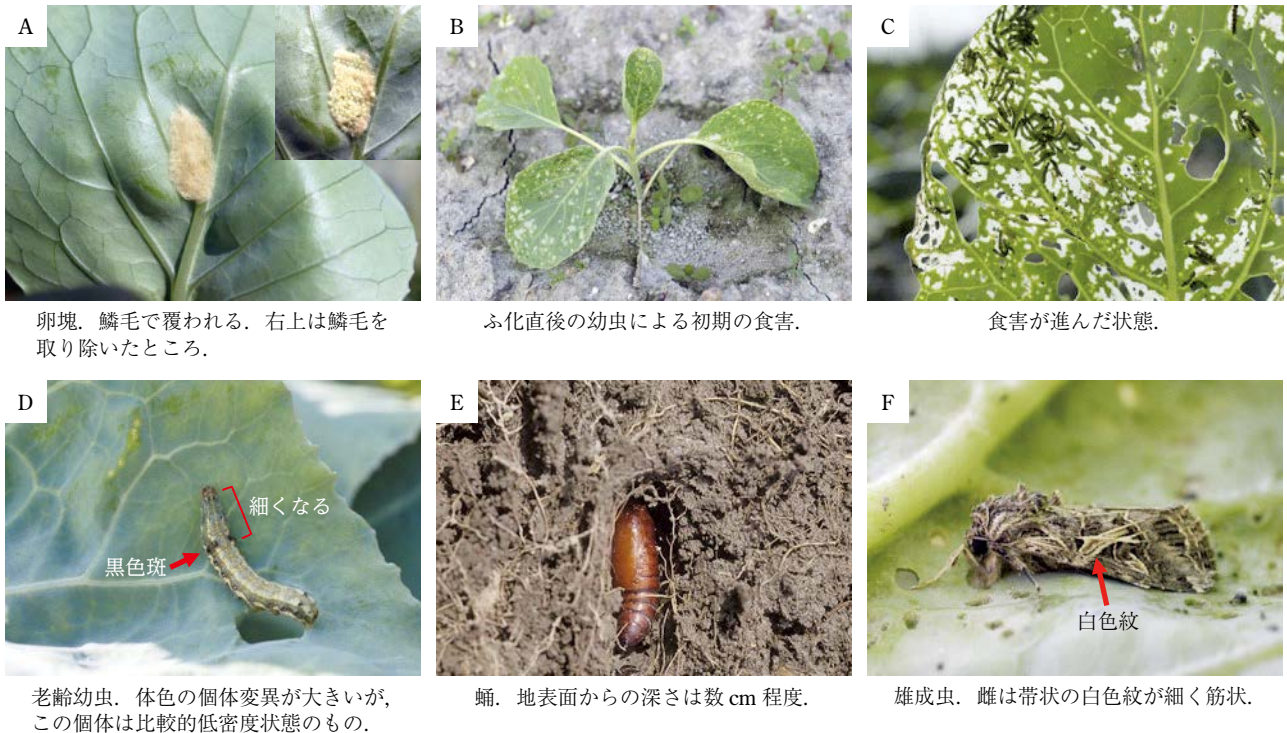


図-3 ハスモンヨトウ卵～成虫

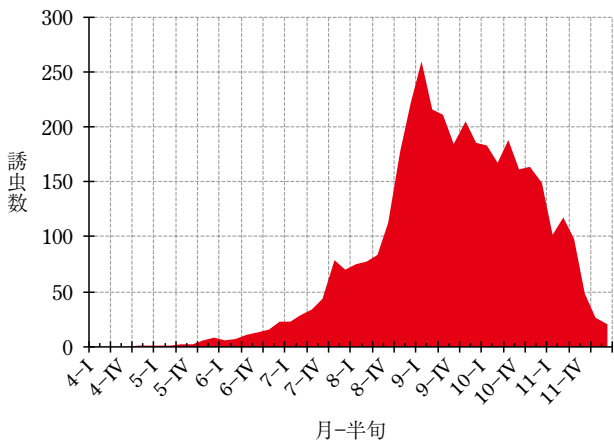


図-4 フェロモントラップによるハスモンヨトウ雄成虫の誘引消長
兵庫県加西市。2009～18年の平均値。

この発生は90年代半ばに終息し、以降約20年間潜在的な存在だったが、2016年ころから西日本を中心に再び多発している。

世界的に著名な野菜害虫で、ハスモンヨトウと同様に広食性であるが、比較的柔らかい部位を好む性質がある。日本ではネギでの被害が多く、エンドウ、カーネーションのほか定植直後のキャベツでも被害が見られている。

休眠性はないが耐寒性は比較的高いと考えられ(柴尾, 2010)、近年の再多発の背景として、急増しているネギの周年栽培が春季からの安定した繁殖源を提供して

いる可能性が指摘されている(富原ら, 2019)。また、本種は長距離移動することでも知られており、海外飛来の関与も疑われている(八瀬, 2019)。

2 卵～成虫

卵は卵塊で通常葉裏に産みつけられる(ネギでは構造上葉表(図-5A))。雌成虫の鱗毛で覆われ、卵数は20～50個程度でハスモンヨトウと比べるとサイズは小さい。

幼虫の腹脚はふ化直後から4対。若齢幼虫は集団で食害するが(図-5B)、キャベツでは単独でハモグリ状に食害する様子も見られる(図-5C)。中・老齢幼虫の体色は変化に富むが、体側の気門に沿った部位の白色線とピンク色の斑紋が特徴(図-5D)。幼虫は5齢を経て土中の浅いところで蛹化する(図-5E)。

成虫(図-5F)の前翅長は12mm前後で、ハスモンヨトウより小型。前翅に内側が橙色の白色の環状紋がある。雌雄で翅の模様には差は見られない。

3 発生生態

西日本では、3月に露地のネギで老齢幼虫の存在が確認されており(徳丸, 私信)、また5月以降に第1世代(越冬世代の次世代)と考えられる幼虫の発生が見られている。年間世代数はハスモンヨトウとはほぼ同じと考えられるが(柴尾, 2010; 八瀬, 2010)、春季から圃場環境で繁殖している様子がうかがわれる。

フェロモントラップへの成虫の誘引は、7月中旬以降急増し9月にピークを迎える(図-6)。秋野菜の作付時

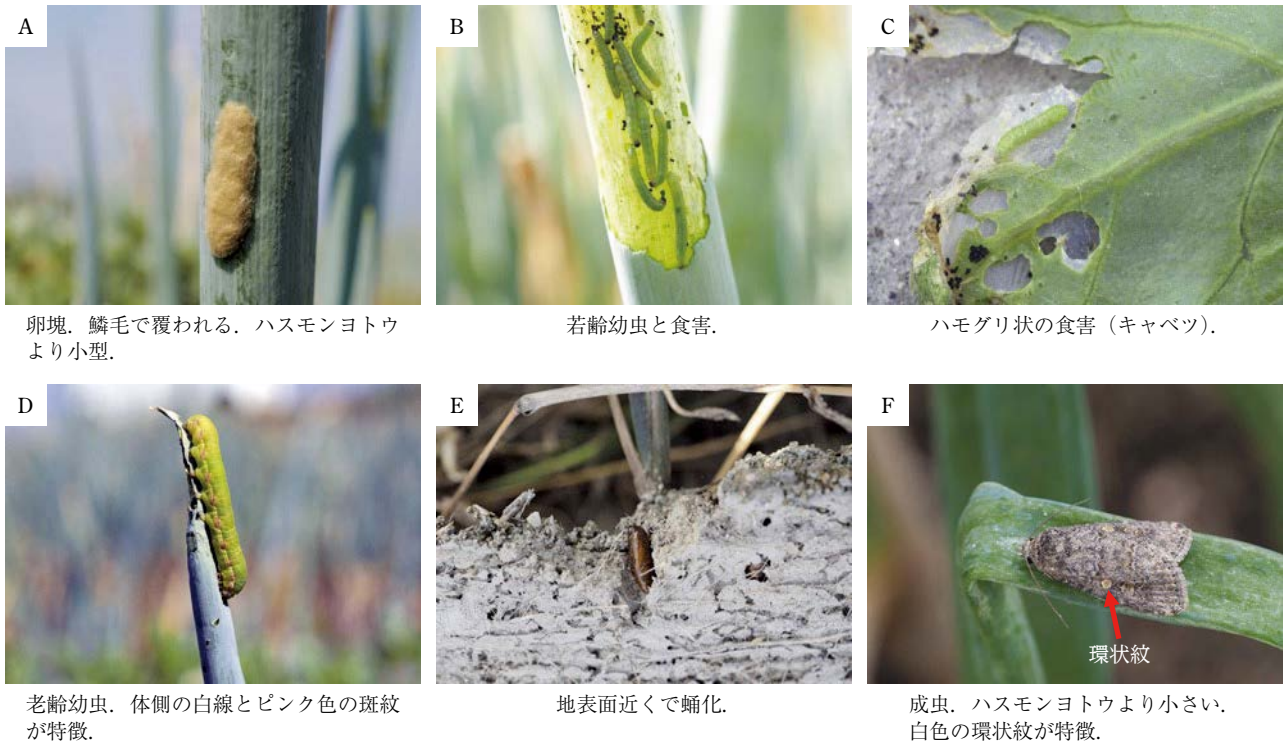


図-5 シロイチモジヨトウ卵～成虫

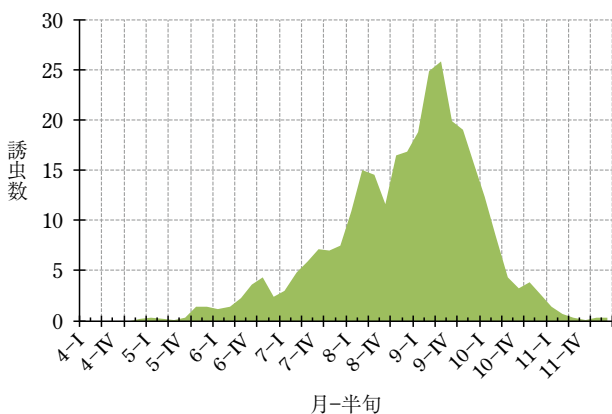


図-6 フェロモントラップによるシロイチモジヨトウ雄成虫の誘引消長
兵庫県加西市. 2009～18年の平均値.

期と重なって被害が拡大するのもこの時期である。

IV 防除対策

1 発生予察 (フェロモントラップの利用)

ヨトウムシ類は食害量が問題となる害虫である。発生初期であれば“まだ間に合う”。

フェロモントラップは、対象害虫の発生量および発生推移の把握、防除時期の決定等に有効な手段で、取り扱いが簡便なことから利用性が高い。本稿の3種それぞれの合成性フェロモンが市販されている (参考:「フェロ

モンによる発生予察法」(日本植物防疫協会 編, 2010), 「野菜害虫発生予察用フェロモントラップに混入する非標的チョウ目昆虫識別の手引」(農業・食品産業技術総合研究機構, 2017) 等)。

2 性フェロモンを利用した防除

交信かく乱法は、性フェロモン成分を空气中に放出して成虫の交尾率を下げることをねらいとしている。主にチョウ目害虫で使われている方法で、ハスモンヨトウとシロイチモジヨトウそれぞれに対応した剤が農薬登録されている。ヨトウガに対しては、本種を含む計7種を対象とした複合交信かく乱剤がある。また、ハスモンヨトウでは、大量誘殺用のフェロモン剤の登録がある (参考:「フェロモン剤利用ガイド」(「フェロモン剤利用ガイド」編集委員会 編, 2000; 八瀬, 2000; 「生物農薬・フェロモンガイドブック 2014」(日本植物防疫協会 編, 2014) など)。

3 防蛾灯 (黄色灯) の利用

夜行性であるヨトウムシ類の成虫が、明るい環境では行動活性が著しく低下する性質を利用し、交尾・産卵阻害をねらいとしている。光源が蛍光灯からナトリウムランプ、そしてLEDへと新しいものへ変遷しているほか、緑色のタイプも開発されている (参考:「黄色灯による農業害虫防除」(江村・田澤 編, 2004) など)。

4 殺虫剤の利用

ヨトウガは古くからの害虫ではあるが、殺虫剤に対する抵抗性や感受性低下に関する報告がほとんどないことから、現在適用のある剤は安定した効果を示すと考えられる。また、発生時期が通常春季と秋季の年2回なので、フェロモントラップなどで防除適期が把握しやすいほか、秋季においては、多くの場合、他のヨトウムシ類を対象とした防除が優先的に行われており、このような環境では本種による被害はほとんど生じない。

ハスモンヨトウとシロイチモジヨトウについては、有機リン剤、合成ピレスロイド剤およびメソミル等の殺虫剤に対する抵抗性発達や感受性低下が報告されている(広瀬, 1997; 高井, 1991)。また、近年では長期効果の期待できるジアミド系殺虫剤が広く使用されており、一部の同系剤に対してシロイチモジヨトウの感受性が低いとの報告もある(徳丸, 2019; 富原ら, 2019)。これら2種のヨトウムシ類については、抵抗性管理についての積極的な配慮が必要であり、同一の作用機構を持つ薬剤の連用を避けるなどの実践が求められる。

圃場におけるハスモンヨトウとシロイチモジヨトウの発生は数カ月以上と長期間に及ぶため、対応がおろそかになりがちである。さらに、多発生期においてはフェロモントラップでも明確な発生ピークが得られにくいいため、防除適期を把握するのが難しい。被害の発生は、作物の定植→成虫の飛来・産卵→孵化→幼虫の食害のパターンで繰り返されるので、多発生期においては定植直後に飛来・産卵があることを前提に、幼虫が集団でいるタイミングを判断して散布することが効率的である。

おわりに

現在、重要害虫とされている種であっても、害虫とし

ての地位を維持し続けるのは結構難しい、というのが筆者の持論である。害虫の発生にかかわる要因は絶えず変動している。ヨトウムシ類は大きなグループなので、発生拡大の機を伺っている種も多いだろう。次に何が来るかを予想することも防除対策として大切なことだと考える。

引用文献

- 1) 江村 薫, 田澤信二 編 (2004): 黄色灯による農業害虫防除, 農業電化協会, 東京, 137 pp.
- 2) 平井一男 (1991): 昆虫の飼育法, 日本植物防疫協会, 東京, p.197~200.
- 3) 広瀬拓也 (1997): 植物防疫 51: 483~487.
- 4) 堀切正俊 (1986): 同上 40: 472~475.
- 5) 松村松年 (1899): 日本害虫 編, 裳華房, 東京, p.203~205.
- 6) 松浦博一 (1992): 植物防疫 46: 60~63.
- 7) MURATA, M. et al. (1998): Appl. Entomol. Zool. 33: 419~427.
- 8) 内藤 篤ら (1971): 植物防疫 25: 475~479.
- 9) 日本応用動物昆虫学会 編 (2006): 農林有害動物・昆虫名鑑 (2006年版), 日本植物防疫協会, 東京, 387 pp.
- 10) 日本植物防疫協会 編 (2010): フェロモンによる発生予察法, 日本植物防疫協会, 東京, 168 pp.
- 11) ————— 編 (2014): 生物農業・フェロモンガイドブック 2014, 日本植物防疫協会, 東京, 281 pp.
- 12) 農業・食品産業技術総合研究機構 (2017): 野菜害虫発生予察用フェロモントラップに混入する非標的チョウ目昆虫識別の手引 (2017年版), 農研機構, つくば, 41 pp.
- 13) 「フェロモン剤利用ガイド」編集委員会 編 (2000): フェロモン剤利用ガイド, 日本植物防疫協会, 東京, 111 pp.
- 14) 柴尾 学 (2010): フェロモンによる発生予察法, 日本植物防疫協会, 東京, p.45~49.
- 15) 高井幹夫 (1991): 植物防疫 45: 239~241.
- 16) 徳丸 晋 (2019): 第24回農林害虫防除研究会沖縄大会講演要旨: 23 p.
- 17) 富原工弥ら (2019): 応動昆虫大会講演要旨 63: 152 (講要).
- 18) 八瀬順也 (2000): フェロモン剤利用ガイド, 日本植物防疫協会, 東京, p.103~104.
- 19) —————ら (2004): 応動昆虫大会講演要旨 48: 17 (講要).
- 20) ————— (2010): フェロモンによる発生予察法, 日本植物防疫協会, 東京, p.41~44.
- 21) ————— (2019): 第24回農林害虫防除研究会沖縄大会講演要旨: 10 p.

農林水産省プレスリリース (2019.6.6~2019.7.9)

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。

- ◆ 「国内産農産物における農薬の使用状況及び残留状況調査の結果について (平成 29 年度) (19/6/7) /syouan/nouyaku/190607.html
- ◆ 「令和元年度病害虫発生予報第 3 号」の発表について (19/6/12) /syouan/syokubo/190612.html
- ◆ 農業用ドローンの普及拡大に向けた官民協議会「農業分野における補助者なし目視外飛行実証プロジェクト」説明会の開催及び一般傍聴について (19/6/26)

- /seisan/gizyutu/190626.html
- ◆ 農業用ドローンの普及拡大に向けた官民協議会「農業分野における補助者なし目視外飛行実証プロジェクト」実証プランの募集について (19/7/4) /seisan/gizyutu/190704_5.html
- ◆ ツマジロクサヨトウ対策について (19/7/9) /syouan/syokubo/190709.html

植物
防疫
講座

農薬編-20

ミトコンドリア電子伝達系複合体I
(NADH 酸化還元酵素) および複合体II
(コハク酸脱水素酵素) に作用する殺菌剤

日本農薬株式会社 富田 啓文・山下 真生

はじめに

生体細胞内の小器官であるミトコンドリアの内膜における呼吸鎖電子伝達系が駆動することによるエネルギー生産系(図-1)は、そもそも生命現象にかかわる根源的なシステムでありほとんどの生物に共通している。このため呼吸阻害剤は、選択毒性の問題で実用化が疑問視される一方で、本質的には広スペクトル性が期待できること、また、1990年代初頭に複合体Iを作用点とする高性能の殺ダニ・殺虫剤が相次いで上市されたことから、

新たな化合物のデザイン合成と生化学的応用による新規な農薬の作用点として早くから注目されていた(三芳, 1995)。実際、その後呼吸系に作用する多くの農薬が開発されており、特に殺菌剤分野では、電子伝達系複合体IIの阻害剤が複合体IIIの阻害剤とともに大きな化合物系統を形成するに至っている。薬剤抵抗性・耐性管理に関連する世界的な機構であるFRACおよびIRAC (Fungicide/Insecticide Resistance Action Committee) により、ミトコンドリア電子伝達系複合体Iを標的とする殺菌剤は、作用点コードC1, FRACコード39に、複合体IIを

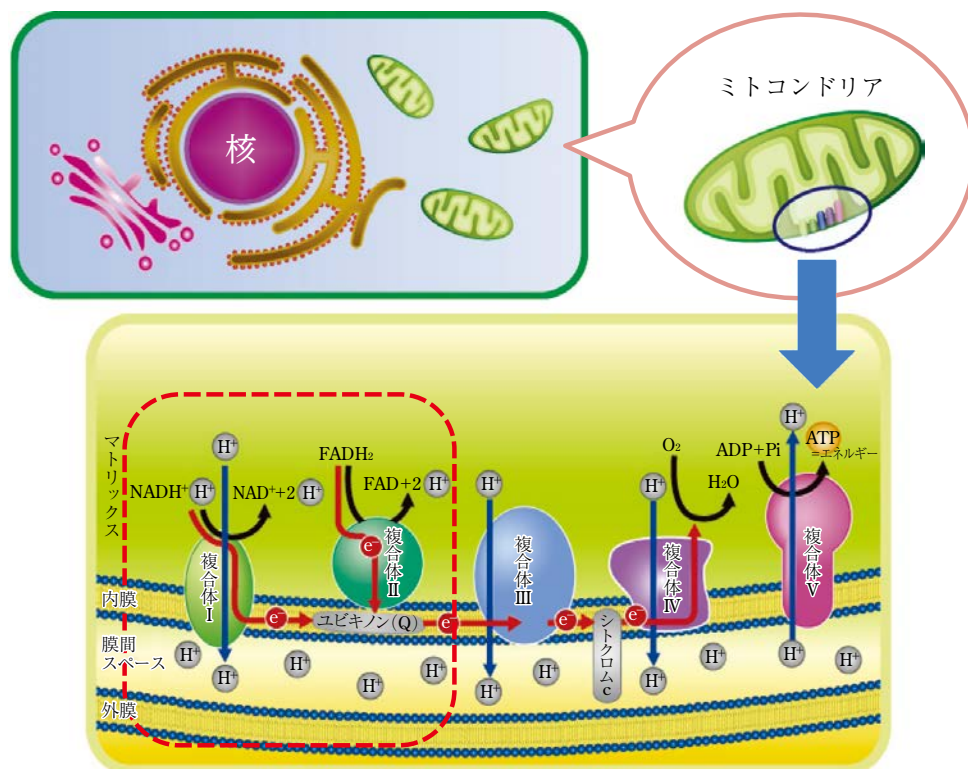


図-1 ミトコンドリア電子伝達系

Fungicides Acting on Mitochondrial Respiratory Complex I and Complex II. By Hirofumi TOMITA and Masao YAMASHITA

(キーワード: ミトコンドリア電子伝達系複合体IおよびII, 殺菌剤, NADH 酸化還元酵素, コハク酸脱水素酵素, SDHI)

標的にする殺菌剤は、作用点コード C2, FRAC コード 7 に分類されている。同様に複合体 I を標的とする殺虫剤は IRAC コード 21, 複合体 II を標的とする殺虫剤は IRAC コード 25 に分類されている (農薬工業会, 2019) (表-1)。本稿では、複合体 I (NADH 酸化還元酵素) および複合体 II (コハク酸脱水素酵素) に作用する殺菌剤について解説する。

I ミトコンドリア電子伝達系複合体 I に作用する殺菌剤

1 開発の経緯

ミトコンドリア電子伝達系複合体 I (NADH 酸化還元酵素) の阻害剤としてはいわゆる METI (Mitochondrial Electron Transport Inhibitors) 剤と呼ばれる殺ダニ・殺

虫剤が重要なグループを形成しているが (表-1, 21A), 殺菌剤分野ではわずかにジフルメトリムとトルフェンピラドが殺虫・殺菌剤として国内での登録を取得している。

ジフルメトリムは、アミノアルキルピリミジン系化合物に属する化合物で宇部興産株式会社によって発明され、日産化学工業株式会社 (現日産化学株式会社) との共同で 1997 年に日本における登録を取得した。その後、2003 年からは株式会社 SDS バイオテックによりピリカット乳剤が花き専用の殺虫・殺菌剤として販売されている。トルフェンピラドは、三菱化成株式会社 (三菱化学株式会社, 現日本農薬株式会社) によって 1988 年に発明されたフェノキシベンジルアミド系化合物で、1996 年から大塚化学株式会社 (現 OAT アグリオ株式会社) との共同で OMI-88 のコード名で開発研究が進められ

表-1 ミトコンドリア電子伝達系複合体 I および II を阻害する殺菌剤と殺虫・殺ダニ剤の作用機構分類 (上段; FRAC, 下段; IRAC)

作用機構	作用点とコード	化学グループ名	有効成分名	農薬名 (例) (剤型省略)	耐性のリスク	FRAC コード			
C: 呼吸	C1: 複合体 I NADH 酸化還元酵素	ピリジンアミン類	ジフルメトリム	ピリカット	耐性菌未発達	39			
		ピラゾールカルボキサミド類	トルフェンピラド	ハチハチ					
		キナゾリン	フェナザキン						
	C2: 複合体 II コハク酸脱水素酵素	ピラゾール-4-カルボキサミド類	フェニルベンズアミド類	ベノダニル フルトラニル メプロニル	モンカット バシタック	中程度から高いリスク 圃場の菌や執権質の変異株のうち、数種の菌種で耐性が知られている。 <i>sdh</i> 遺伝子の標的部位において、例えば、257, 267, 272 で H/Y (あるいは H/L) や P225L の突然変異が認められ、それらの変異は菌種に依る。 FRAC の SDHI 耐性管理ガイドラインを参照	7		
			フェニルオキシエチルチオフェンアミド類	イソフェタミド	ケンジャ				
			ピリジニルエチルベンズアミド類	フルオピラム	オルフィン				
			フランカルボキサミド類	フェンフラム					
			オキサチンカルボキサミド類	カルボキシ オキシカルボキシ					
			チアゾールカルボキサミド類	チフルザミド	グレートム				
			ベンゾピジフルビル ビキサフェン フルインダビル フルキサピロキサド フラメトリル インビルフルキサム イソピラザム ベンフルフェン ベンチオピラド セダキサ						
				N-シクロプロピル-N-ベンジルピラゾールカルボキサミド類	イソフルシプラム				
				N-メトキシ(フェニルエチル)ピラゾールカルボキサミド類	ビジフルメトフェン				
				ピリジンカルボキサミド類	ボスカリド			カンタス	
				ピラジカルボキサミド類	ピラジフルミド			パレード	

標的生理機能	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)
呼吸 エネルギー代謝	21 ミトコンドリア電子伝達系 I 阻害剤 (METI 剤)	21A METI 剤	フェンピロキシメート	ダニトロン
			ピリミジフェン	マイトクリーン
			ピリダベン	サンマイト
	25 ミトコンドリア電子伝達系 II 阻害剤	25A β-ケトニトリル誘導体	テプフェンピラド	ピラニカ
			トルフェンピラド	ハチハチ
			シエノピラフェン	スターマイト
25B カルボキサニド系	シフルメトフェン	ダニサラバ		
	ピフルブミド	ダニコング		

農薬工業会 (2019) の作用機構分類を一部抜粋, 加筆。

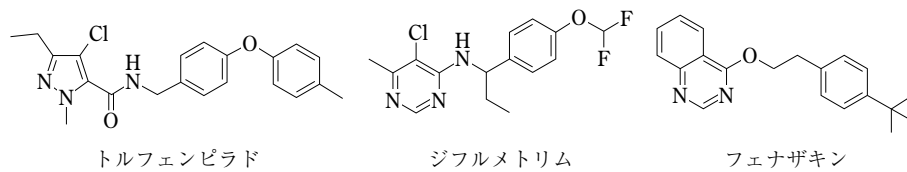


図-2 ミトコンドリア電子伝達系複合体 I を阻害する殺菌剤

た。その結果、野菜、茶、果樹等の鱗翅目や半翅目を中心に主要な害虫に効果を示す広スペクトル型で、既存の薬剤に抵抗性を示す害虫類にも効果を有する新規作用性の殺虫剤として、2002年にハチハチ乳剤が国内登録となった。その後、2003~15年にはうどんこ病、さび病、べと病および褐斑病に対する効果により殺菌剤としての適用拡大が段階的に行われた。なお、世界的にはキナゾリン系殺ダニ剤のフェナザキンが殺菌剤としての登録を有している(図-2)(農薬工業会, 2019)。

2 作用機構

トルフェンピラドの殺虫剤としての作用機構は、ラット肝細胞およびウシ心筋から調製されたミトコンドリア膜画分を用いた酸素電極法により、電子伝達系複合体 I を作用点とすることが報告されている(食品安全委員会「農薬」評価書, 2004)。一方、殺菌剤としての作用機構に関しては、2011年日本農薬株式会社においてトルフェンピラドとジフルメトリムの糸状菌類に対する作用機構が検討された。両剤ともイネいもち病菌の菌糸生育を強く阻害することから、同菌から調製したミトコンドリア粗抽出画分を用いて複合体 I への阻害効果を検討した結果、両剤とも濃度依存的に電子伝達系複合体 I を阻害することが確認され、糸状菌に対しても動物と同じ作用機構により効果を発揮していることが示された(日本農薬株式会社, 未発表)。この結果、トルフェンピラドは FRAC により複合体 I の阻害剤に分類されている(表-1, ピラゾールカルボキサミド類)。

3 作用特性

ジフルメトリム(商品名:ピリカット乳剤)は、花き類のうどんこ病などで効果的な耐性菌対策剤として使用されている。トルフェンピラド(商品名:ハチハチ乳剤)は、子の菌類、担子菌類、卵菌類および不完全菌類に対して幅広い抗菌スペクトルを有しており、野菜類および花き類でのうどんこ病、さび病、べと病等で登録を取得している。このうち、特にキクでの白さび病とアブラムシおよびアザミウマに対しては有効な同時防除剤として使用されている。なお、本剤が孢子発芽を強く抑制する作用機構を持つことから、予防的な散布で高い殺菌効果を発揮する(日本農薬株式会社, 2011)。

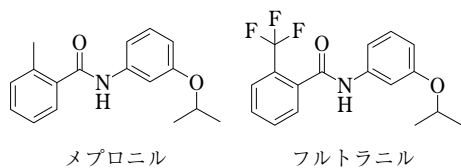
4 耐性菌の現状

電子伝達系複合体 I を作用点とする殺ダニ剤(METI 剤)が、1991年の同系統剤の最初の上市後の比較的短い期間で主要なハダニ類に抵抗性を発達させたこと(小澤, 1994; 古橋, 1994; 佐々木・佐藤, 1994)から、殺菌剤分野でも耐性菌の発達が懸念されたが、現在までジフルメトリムあるいはトルフェンピラドに対する耐性菌の発生は報告されていない(農薬工業会, 2019)。

II ミトコンドリア電子伝達系複合体 II に作用する殺菌剤

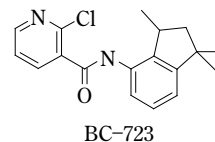
1 開発の経緯

ミトコンドリア電子伝達系複合体 II (コハク酸脱水素酵素) を阻害する殺菌剤(SDHI, Succinate-dehydrogenase inhibitors)の研究開発の歴史は古くは1960年代まで遡る。海外では1966年にカルボキシシンが、国内では1973年に、オキシカルボキシシン(プラントバックス水和剤, 2003年登録失効)がさび病専用剤として登録された。その後、ベンズアニリド系化合物の担子菌類に対する特異的な効果に着目して探索研究が展開された結果、1980年代中ごろ1981年にクミアイ化学工業株式会社によりメプロニル(商品名:バシタック粉剤)が、1985年に日本農薬株式会社により有機フッ素化学の知見を導入したフルトラニル(商品名:モンカット水和剤)が上市され、担子菌類中心のスペクトルを有する第一世代のSDHI剤として登場した(フェニルベンズアミド類, 図-3)。これらにより、当時、防除の重要度を増していたイネ紋枯病防除において、散布剤による使用時期の拡大や優れた残効性が付与され、それまでの主力であった抗生物質(ポリオキシシン, バリダマイシン剤等)の弱点を補うこととなった。その後、1980年代後半にはイネ紋枯病を対象に浸透移行性が付与された第二世代の開発が進められ、1996年に住友化学株式会社によりフラメトピル(商品名:リンバー粒剤(ピラゾール-4-カルボキサミド類, 図-4)や1997年にダウ・ケミカル日本株式会社によりチフルザミド(商品名:グレータム粒剤)が相次いで上市された(チアゾールカルボキサミド類, 図-5)。これらの剤の上市により水稲本田水面施用およ



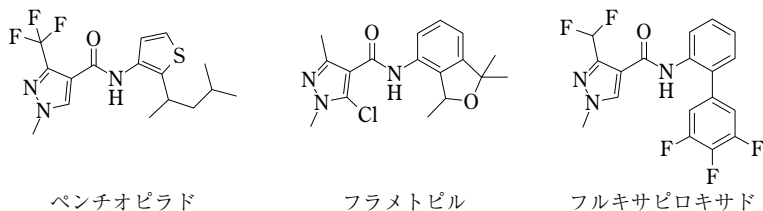
メプロニル フルトラニル

図-3 SDHI：フェニルベンズアミド類



BC-723

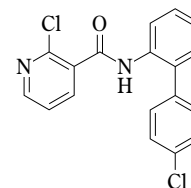
図-6



ペンチオピラド

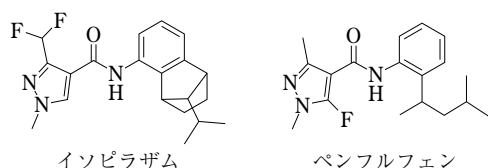
フラメトピル

フルキサピロキサド



ボスカリド

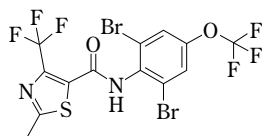
図-7 SDHI：ピリジナルボキサミド類



イソピラザム

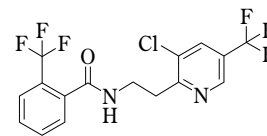
ペンフルフェン

図-4 SDHI：ピラゾール-4-カルボキサミド類



チフルザミド

図-5 SDHI：チアゾールカルボキサミド類



フルオピラム

図-8 SDHI：ピリジニルエチルベンズアミド類

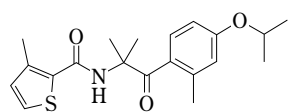
び育苗箱処理による防除効果の安定化や省力化が達成された。

一方、これに先立つ 1980 年代中ごろ、三菱化成株式会社（現日本農薬株式会社）で広範なベンズアニリド系殺菌剤の探索が行われ、それまでの担子菌専用剤から子のう菌や不完全菌類を含めた幅広い病害へも適用が可能な広スペクトル剤として 1986 年に BC-723 が合成された（図-6）。当時、特に欧州のブドウ栽培ではベンズイミダゾール系やジカルボキシイミド系薬剤に対し灰色かび病菌が耐性を発達させており、BC-723 は新規作用性の灰色かび防除剤として期待されたが、毒性などの問題で 1989 年に開発を断念した。BC-723 は登録・上市には至らなかったものの、その後に汎用性殺菌剤として大きな化合物群を形成することになる第三世代 SDHI 剤の端緒となった（ODA et al., 1992；1993 a；1993 b）。BC-723 関連情報の公開も契機として SDHI 系関連の探索研究が加速された結果、2005 年に BASF ジャパン株式会社によりボスカリド（商品名：カンタストライフフロアブル）が国内最初の広スペクトル型 SDHI 剤として登場した（ピ

リジナルボキサミド類、図-7）。これに続いて BC-723 をリード化合物とするペンチオピラド（同、図-4）が三井東圧化学株式会社（現三井化学アグロ株式会社）によって開発され、2008 年にアフエットフロアブルとして登録された（YOSHIKAWA et al., 2011）。これらはその後の急速で多様な展開を遂げることになる第三世代 SDHI 剤の先駆けとなった。これらに続いて国内開発が進められた薬剤の開発経緯はおおむね以下の通りである。

フルオピラム（ピリジニルエチルベンズアミド類、図-8）は、ドイツのバイエルクロップサイエンス社（現バイエル社）により発明・開発され、2013 年にオルフィンフロアブルが登録された。既存の薬剤および他の SDHI 剤の耐性菌にも効果のある特異な作用性を有している（後述）。これは、他の SDHI 剤の多くがベンズアニリドを母核としているのに対して、フルオピラムは SDHI 剤とは作用機構を異にするフルオピコリド（ピリジニルメチルベンズアミド類、FRAC の作用点コード：B5, FRAC コード：43）から誘導されたためと考えられている（波多野, 2016）。なお、本化合物の優れた殺セ

ンチュウ効果が日本農薬株式会社によって発見され、2017年に国内において新規な殺センチュウ剤として、ネマクリーン粒剤(日本農薬株式会社)、ピーラム粒剤(バイエルクロップサイエンス株式会社)の商品名で登録を取得している。イソフェタミドは、石原産業株式会社により殺菌効果を持つ新規母核であるフェナシルアミド系化合物に着目して展開され、2017年にケンジャフロアブルとして登録された(フェニルオキシエチルチオフェン類、図-9)。フルキサピロキサド(図-4)は、ドイツのBASF社により開発され、海外におけるムギ類、ダイズあるいはテンサイ等で幅広い病害に対する殺菌剤として登録され、国内では、2013年に芝用殺菌剤セルカディスフロアブルとして、2019年に小麦、ばれいしょ、てんさいの殺菌剤イントレックスフロアブルとして登録を取得した。イソピラザム(図-4)は、スイスのシンジェンタ社により発明・開発され、海外では2010年にムギ類および果樹・野菜用の広スペクトル剤として英国で最初の登録を取得した。国内では、日産化学工業株式会社(現日産化学株式会社)により野菜・果樹を対象に開発が進められ、2017年にネクスターフロアブルが登録を取得した。ペンフルフェン(図-4)は、ドイツのバイエルクロップサイエンス社(現バイエル社)により発見され、海外ではバレイシヨの種いも処理や植え付け時の散布処理、あるいはダイズ、穀類、ナタネ、棉等の種子処理による担子菌病害用防除剤として、また、国内では、2013年に芝用でオブテインフロアブル、2014年に育苗箱施用の紋枯病用薬剤エバーゴル箱粒剤として登録された。海外では2011年に英国で最初の登録を取得されている。ピラジフルミド(ピラジンカルボキサミド類、図-10)は、日本農薬株式会社によって開発され、2018年にパレードフロアブルとして登録を取得した(Oda et al., 2017)。日本農薬株式会社では2015年にピラゾールカルボキサミド系で電子伝達系複合体 II 阻害を作用機構とする殺ダニ剤、ピフルブミドを登録しており、この探索研究において見いだされた新規な有用中間体が活用されたものである。なお、BC-723の研究者らが2002年の事業統合により日本農薬株式会社に合流したことも



イソフェタミド

図-9 SDHI: フェニルオキシエチルチオフェン類

本剤開発の契機となった。

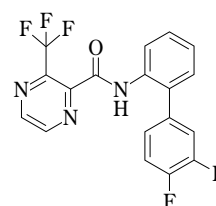
これらの結果、ボスカリドの登場以降、15のSDHI剤が開発され、このうち2019年までに国内登録を取得したSDHI剤は、ボスカリドとペンチオピラドを含めて8剤となっている。なお、ピラゾール-4-カルボキサミド類に属するベンゾベンジフルピル(シンジェンタジャパン株式会社)とインピルフルキサム(住友化学株式会社)の国内登録が申請されている。このように、最近のおよそ10年間で見ると作用機構から最も多くの開発剤を輩出した系統はSDHI剤である(伏木田, 2018)。なお、FRACの作用機構分類では合計23化合物がリスト化されており(農薬工業会, 2019)、カルボン酸側の構造により11グループに整理されている(表-1)。

2 作用機構

ミトコンドリア電子伝達系において、SDHはコハク酸を酸化してフマル酸に、ユビキノンを還元してユビキノールとする反応を触媒する。菌体から抽出したミトコンドリア画分を用いた酵素学的手法により、SDHI剤の作用点がこのSDHにあることが古くから調べられてきた。また、タンパク質三次元構造の解析技術の進展により、SDHIがSDHのユビキノン結合部位(Qp部位)に結合することが確認されている(HORSEFIELD et al., 2006)。SDHはSdhA, SdhB, SdhCおよびSdhDから成る四つのサブユニットで構成されるが、ユビキノン結合部位はSdhAを除く三つのサブユニットで囲まれたポケットの中に存在する。これらサブユニットを形成するアミノ酸のうちSDHIとの結合に重要なアミノ酸が推定されているが、特にSdhCやSdhDのアミノ酸配列の生物種による相違が大きく、SDHIの殺菌スペクトルの違いに影響しているものと考えられる(SIEROTZKI and SCALLIET, 2013)。

3 作用特性

ここでは、2000年代以降に上市されたSDHI剤の特性を中心に述べる。おおむねこれらに共通する特性は、菌核病、灰色かび病およびうどんこ病等を中心として担子菌類、子のう菌類および不完全菌類に起因する幅広い病害に対する防除効果(広スペクトル性)である。また、



ピラジフルミド

図-10 SDHI: ピラジンカルボキサミド類

これらの薬剤は病原菌の孢子発芽、発芽管や菌糸伸長を強く阻害することによる優れた予防・治療・持続効果に特長があり、多くの場合、次世代の形態形成阻害による二次感染の抑制効果を有している。これらの基本的な性能から、ペンチオピラドでは広い防除スペクトルとマイナー作物を含む 40 以上の適用作物との組合せによる高い汎用性が特長となっている(三井化学アグロ株式会社, 2018)。イソフェタミドでは二次感染抑制効果が次世代菌密度低減効果・サニテーション効果として特長化されている(石原産業株式会社, 2017)。また、フルオピラムでは作物表面のワックス層に対する優れた浸達性やその後の浸透移行性により散布むらなどの不良条件にも対応できることが示されている(バイエルクロップサイエンス株式会社, 2018)。ピラジフルミドでは、各種病原菌に対する高い基礎活性のほか安定した長期残効性が特長の一つとなっている。ピラジフルミドの菌核病菌生活環に対する効果を図-11 に示した。子のう孢子の発芽や菌糸伸長に非常に低濃度で効果を示すほか、次世代の菌核形成や子のう盤の発芽抑制が安定した残効性に寄与している(長谷部ら, 2017)。また、多くの SDHI 剤では作物に対する安全性が高く、野菜・果樹・畑作のほか花き類や芝を含めた幅広い範囲に適用できることも特長と言

える。さらに、浸達性や浸透移行性が優れる薬剤においては、国内では土壌処理や株元への灌注処理等、海外においては種いも処理や種子処理等多様な処理方法が可能で、それぞれの薬剤性能に応じた使用が進められている。

4 耐性菌の現状

一般に、殺菌剤の耐性機構には、作用点変異、作用点の発現量増大、菌体からの薬剤排出の関与等が知られている(Lucas et al., 2015)。幅広い殺菌スペクトルを有する第三世代 SDHI 剤の登場後に顕在化した SDHI 剤耐性の多くは作用点変異によるものと考えられている。実際、圃場で確認された耐性菌の SDH コード遺伝子配列を調べてみると、SdhB, C, D のうち、菌種を問わず保存性が高い領域の特定のアミノ酸が共通して変異していることが多い(SIEROTZKI and SCALLIET, 2013; 石井, 2019)。本稿では、我が国でも複数の耐性菌の報告がある灰色かび病菌とキュウリ褐斑病菌を例に耐性菌の現状と交差耐性について述べる。国内外の最新事情を知るには石井の報告を参照いただきたい(石井, 2019)。

灰色かび病菌では SdhB に変異が集中し、272 番目のヒスチジンがチロシンやアルギニンとなった変異(H272Y/R)の検出頻度が高く、225 番目のプロリンがフェニルアラニンとなった変異(P225F)など他の変異

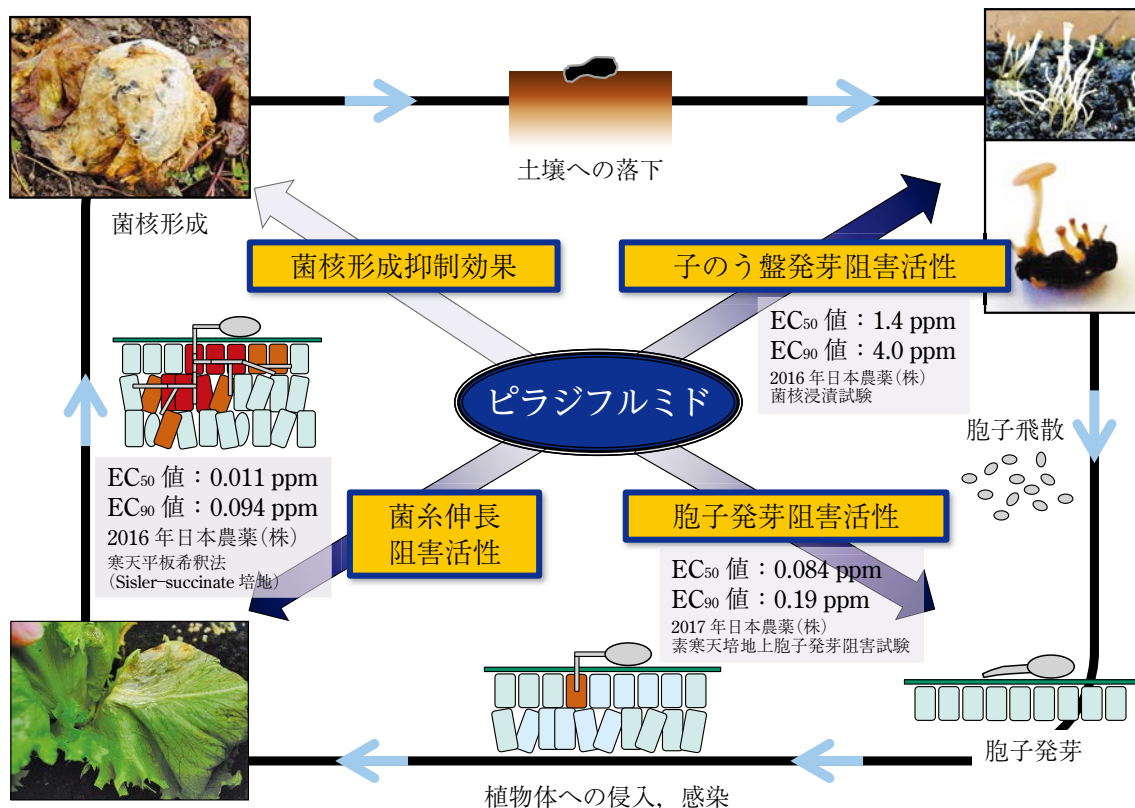


図-11 野菜類菌核病菌の生活環とピラジフルミドの作用部位

はマイナーとされている。H272Y 変異株はボスカリドに高度耐性、多くの SDHI 剤に対し中度耐性を示すが、フルオピラムやイソフエタミドには野生型よりもやや感受性が高まる傾向にある。一方、P225F 変異はいずれの SDHI 剤にも中～高度耐性を示す (AMIRI et al., 2014; 阿部, 2018)。このような SDHI 剤間の交差耐性の違いは、キュウリ褐斑病菌においても認められている。SdhB の H278Y (灰色かび病菌の H272Y に相当) 変異株においても、同様にフルオピラムに対する感受性が低下しない (MIYAMOTO et al., 2010)。これら 2 剤は他の SDHI 剤と異なりカルボン酸側の環構造に窒素原子を含まず、例えばピリジンやピラゾール構造を有する SDHI 剤が相互作用すると考えられるヒスチジンの変異 (SdhB; 灰色かび病菌の H272, キュウリ褐斑病菌の H278) の影響を受けづらいためではないかと想定される (HORSEFIELD et al., 2006; STEROTZKI and SCALLIET, 2013)。さらに、両剤は両端の環構造をつなぐスパーサー構造にも特徴があり、これらの交差耐性への影響も予想される。紙面の都合上割愛するが、上述の SdhB 変異に比べ SdhC や D の変異と交差耐性の関係は総じてさらに複雑である (表-2)。これら変異と SDHI 剤の化学構造の関係は近年発展が著しいドッキングシミュレーションによる解析を待ちたい。

このように、SDHI 耐性菌は変異パターンと SDHI 剤の構造の組合せにより異なるレベルの感受性低下程度を示すため、SDHI 剤耐性菌の存在頻度や変異種の比率により、SDHI 剤の防除効果に及ぼす影響の程度は異なってくるものと予想される。このため、実使用場面においては、感受性モニタリングを行い、得られた耐性菌につ

いては感受性低下程度を変異種別、剤別にチェックすることが必要であろう。

おわりに

殺菌剤におけるミトコンドリア電子伝達系阻害剤のうち、複合体 I を阻害する殺菌剤では、ジフルメトリムが初めて商品化されたことから、殺菌剤の新規な作用点として注目され世界的にも多くの探索研究が行われた。しかし、現在までに国内市場に投入された複合体 I を阻害する殺菌剤 (殺虫・殺菌剤) は、ジフルメトリムとトルフェンピラドのみである。その理由として、実用効果を示す病害の範囲が狭く十分なコストパフォーマンスが確保できないことや毒性問題が推察されている (WALTER, 2007)。一方、1960 年代から担子菌専用剤として使用されていた複合体 II を阻害する殺菌剤 (SDHI 剤) では、担子菌類のほか子の菌類、不完全菌類に起因する幅広い病害へと防除スペクトルが質的に拡大してきた。この間の歴史的経緯は、その他の広スペクトル型の化合物系統 (DMI 剤・QoI 剤) とは大きく異なっている (阿部, 2018)。なお、糸状菌病害の重要な分野を形成している卵菌病害に効果を示す SDHI 剤は開発されておらず、本系統の新規適用分野としての可能性を残しているのかも知れない。SDHI 剤全般の特性面では、予防的で残効性に優れる茎葉散布型から浸透性や浸透移行性による治療効果のある散布剤あるいは土壌散布・種子処理等幅広い適用方法が可能で、それぞれの適用分野別に最適化されている。このように、SDHI 剤は多様な特性を有する重要な作物保護資材であり、今後も新たな視点からの展開

表-2 SDHI 耐性菌が知られている本邦でも発生する病害と Sdh 変異 (抜粋)

病名	学名	Sdh サブユニット変異					
		B			C		D
灰色かび病菌	<i>Botrytis cinerea</i>	H272R/Y/L/V	P225F/L	N230I	P80H	A85V	H132R
キュウリ褐斑病菌	<i>Corynespora cassicola</i>	H278R/Y		I280V	S73P		S89P H105R D95E G109V
キュウリうどんこ病菌	<i>Podosphaera xanthii</i>	H277Y					
ウリ類つる枯病菌	<i>Didymella bryoniae</i>	H277R/Y					
ナスすすかび病菌	<i>Mycovellosiella nattrassii</i>	H268R/Y	R266P	I270V			
リング黒星病菌	<i>Venturia inaequalis</i>		Y137C	T253I	H151R		
アスパラガス葉枯病菌	<i>Stemphylium vesicarium</i>	H272R/Y	P225L				
シバダラースポット病菌	<i>Sclerotinia homoeocarpa</i>	H267Y			G91R	G150R	
バレイショ夏疫病	<i>Alternaria solani</i>	H278R/Y			H134R		T28A D123E A47T H133R
ナタネ菌核病菌	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	H273Y			H146R	G150R	H132R

が期待される。

薬剤耐性の観点から見ると、これまでに国内外の各種病害で SDHI 剤に対する耐性菌が多数報告されている。耐性菌管理の一般的な観点からは、SDHI 剤を長く農業生産現場で使用し続けるためには、FRAC や JFRAC のガイドラインに従う適切な使用と、異なる作用機構を有する薬剤との混合剤化やローテーション使用が求められる。一方、各 SDHI 剤の使用場面における感受性モニタリングや交差性の解析結果からは、複数の作用点における多様な変異が各薬剤に対する耐性発達に関与していることが判明している。実際、実用場面での SDHI 剤の防除効果は病害別にも複雑な様相を呈しており、本系統の耐性菌対策では病害ごとの発生生態や各作物の栽培実態等も踏まえた総合的な解析が必要と思われる (山下, 2018)。これまでに多くの SDHI 剤が開発・上市され、現在も新たな SDHI 剤の開発が進められていることから、今後の耐性菌管理では開発初期段階からの継続的で定点的な感受性モニタリングのほか、メーカー・公的研究機関等によるより積極的な情報の公開と共有が望ましい。

引用文献

- 1) 阿部ゆずか (2018): 農薬の創製研究の動向, シーエムシー出版, 東京, p.71~77.
- 2) AMIRI, A. et al. (2014): *Plant Dis.* **98**: 533~539.
- 3) バイエルクロップサイエンス株式会社 (2018): オルフィンフロアブル技術資料, 同社 HP.
- 4) 伏木田 地 (2018): 農薬の創製研究の動向, シーエムシー出版, 東京, p.43~69.
- 5) 古橋嘉一 (1994): 関東東山病害虫研報 **41**: 267~269.
- 6) 長谷部元宏ら (2017): 日本植物病理学会報 **83**(3): 207~208.
- 7) 波多野広幸 (2016): 第 33 回農業生物活性研究会シンポジウム講演要旨: 17~20.
- 8) HORSEFIELD, R. et al. (2006): *J. Biol. Chem.* **281**: 7309~7316.
- 9) 石原産業株式会社 (2017): ケンジャフロアブル技術資料, 同社 HP.
- 10) 石井英夫 (2019): 第 28 回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講演要旨: 49~57.
- 11) LUCAS, J. et al. (2015): *Adv. Appl. Microbiol.* **90**: 29~76.
- 12) 三井化学アグロ株式会社 (2018): アフェットフロアブル技術資料, 同社 HP.
- 13) MIYAMOTO, T. et al. (2010): *Plant Pathol.* **59**: 873~881.
- 14) 三芳秀人 (1995): 化学と生物 **33**(3): 151~158.
- 15) 日本農業株式会社 (2011): ハチハチフロアブル・乳剤技術資料.
- 16) 農薬工業会 (2019): ウェブサイト, <https://www.jcpa.or.jp/>
- 17) 小澤朗人 (1994): 茶研報 **79**: 1~14.
- 18) ODA, M. et al. (1992): *J. Pestic. Sci.* **17**: 91~98.
- 19) ——— et al. (1993 a): *ibid.* **18**: 49~57.
- 20) ——— et al. (1993 b): *ibid.* **18**: 245~251.
- 21) ——— et al. (2017): *ibid.* **42**(4): 151~157.
- 22) 佐々木正剛・佐藤力郎 (1994): 北日本病害虫研報 **45**: 202~204.
- 23) 食品安全委員会「農薬」評価書 (2004): ウェブサイト, <https://www.fsc.go.jp/hyouka/>
- 24) SIEROTZKI, H. and G. SCALLET (2013): *Phytopathol.* **103**: 880~887.
- 25) WALTER, H. (2007): *Modern crop protection compounds*, Wiley-VCH, Germany, vol.2, p.528~538.
- 26) 山下真生 (2018): 第 28 回殺菌剤耐性菌シンポジウム講演要旨: 30~42.
- 27) YOSHIKAWA, H. et al. (2011): *J. Pestic. Sci.* **36**: 347~356.

新農薬の紹介

新規殺菌剤フルキサピロキサド (Xemium[®], ゼミウム[®]) の特長

BASF ジャパン株式会社 やました 山下 よしあき 慶晃・片山 かたやま ひろふみ 博文

はじめに

フルキサピロキサド (fluxapyroxad) は、カルボキサミド系化合物に属する新規化合物である。なお、表題にある Xemium[®] (ゼミウム[®]) はフルキサピロキサドの商標である。本化合物の高い抗菌活性は BASF 社 (ドイツ) により 2004 年に見いだされた。本化合物は担子菌類、子のう菌類、不完全菌類に広く抗菌活性を有している。また、浸透性を有することで速やかに植物体内に取り込まれることから、各種病害に優れた予防効果および治療効果を示す。さらに有用動植物に対して有害性が低いことが明らかになったことから、2006 年に殺菌剤として本化合物の開発が決定された。同時に安全性を含む各種試験が開始され、2007 年から世界各国の農業分野並びに芝草分野での試験が開始された。日本国内においては 2008 年より社内試験を開始し、この 1 年後から非食用分野の芝でセルカディス[®]フロアブル (試験番号 BAF-0803 フロアブル, フルキサピロキサド 26.5%水和剤), そのさらに 3 年後からは食用分野においてイントレックス[®]フロアブル (試験番号 BAF-1107 フロアブル, フルキサピロキサド 18.3%) 並びにジフェノコナゾールとの混合剤であるアクサー[®]フロアブル (試験番号 BAF-1201 フロアブル, フルキサピロキサド 7.0% ジフェノコナゾール 4.7%) の一般社団法人日本植物防疫協会を通じた新農薬実用化試験が開始された。その後、2013 年 6 月にセルカディス[®]フロアブル, この 6 年後の 1 月にイントレックス[®]フロアブル, 同 2 月にアクサー[®]フロアブルの国内農薬登録を取得した。

I 有効成分とその物理化学的性状

一般名: フルキサピロキサド (fluxapyroxad)

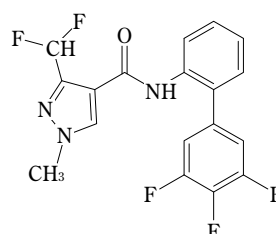
A Novel Fungicide, Fluxapyroxad (Xemium[®]). By Yoshiaki YAMASHITA and Hirofumi KATAYAMA

(キーワード: ゼミウム, フルキサピロキサド, SDHI, アクサーフロアブル, イントレックスフロアブル)

CAS 登録番号: ISO/TC81 N1156

化学名 (CAS 名 和名): 3-(ジフルオロメチル)-1-メチル-N-(3',4',5'-トリフルオロ[1,1'-ビフェニル]-2-イル)-1H-ピラゾール-4-カルボキサミド

フルキサピロキサドの構造式:



分子式: C₁₈H₁₂F₅N₃O

分子量: 381.3

水溶解度: 3.88 mg/l (20℃/蒸留水) カラム溶出法
オクタノール/水分係数 (log Pow): 3.06 (pH7, 20℃)
蒸気圧: 2.7 × 10⁻⁹ Pa (20℃) 8.1 × 10⁻⁹ Pa (25℃)

II フルキサピロキサドの作用機作

本剤は (病原) 菌の細胞内ミトコンドリアで行われる好気呼吸を阻害することによって活性を示す。呼吸鎖の中の ATP 生産に重要な電子伝達系は、電子が NADH 脱水素酵素複合体からユビキノールへ流れる経路とコハク酸脱水素酵素複合体 (SDH) からユビキノールへ流れる経路 (Complex II) が存在する。本剤はコハク酸脱水素酵素複合体の Fe-S 蛋白からユビキノールへの電子伝達 (CoQ) を阻害するコハク酸脱水素酵素阻害剤 (SDHI, Succinate-dehydrogenase inhibitors) であり, FRAC コード 7 に分類される。Complex II は病原菌のエネルギー生産と各種必須アミノ酸および脂質等の合成に重要な役割を担っており, 本剤の作用により菌体は通常の生育ができなくなる。

表-1 フルキサピロキサドの抗菌スペクトラム

作物名	病原菌名	作物名	病原菌名	
小麦	<i>Septoria tritici</i>	なし	<i>Venturia nashicola</i>	
	<i>Puccinia triticina</i>		<i>Gymnosporangium</i> spp.	
	<i>Puccinia recondita</i>		<i>Alternaria kikuchiana</i>	
	<i>Blumeria graminis</i>		<i>Phyllactinia pyri-serotinae</i>	
	<i>Oculimacula</i> spp.	おうとう	<i>Sphaerotheca pannosa</i>	
	<i>Microdochium nivale</i>		<i>Monilinia</i> spp.	
	<i>Fusarium</i> spp.	ぶどう	<i>Erysiphe necator</i>	
	<i>Typhula</i> spp.		<i>Botrytis cinerea</i>	
	<i>Myriosclerotinia borealis</i>	バナナ	<i>Mycosphaerella fijiensis</i>	
	<i>Typhula incarnata</i>	もも	<i>Monilinia fructicola</i>	
<i>Pyrenophora teres</i>	<i>Cladosporium carpophilum</i>			
<i>Rhynchosporium secalis</i>	<i>Phomopsis</i> sp.			
大麦	<i>Puccinia hordeii</i>	マンゴー	<i>Oidium mangifera</i>	
	<i>Ramularia collo-cygni</i>	かんきつ類	<i>Diaporthe citri</i>	
	<i>Cochliobolus sativus</i>		<i>Guignardia citricarpa</i>	
だいず	<i>Phakopsora pachyrhizi</i>	豆類	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	
	<i>Microsphaera diffusa</i>		<i>Isariopsis griseola</i>	
	<i>Cercospora sojina</i>		<i>Botrytis cinerea</i>	
	<i>Septoria glycines</i>	えんどう	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	
	<i>Corynespora cassiicola</i>		<i>Mycosphaerella pinodes</i>	
とうもろこし	<i>Cercospora zea-maydis</i>	レタス	<i>Botrytis cinerea</i>	
	<i>Phaeosphaeria maydis</i>		<i>Ascochyta pisi</i>	
	<i>Kabatiella zea</i>		<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	
なたね	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	ばれいしょ	<i>Sclerotinia minor</i>	
	<i>Leptosphaeria maculans</i>		<i>Rhizoctonia solani</i>	
	<i>Alternaria brassicae</i>		<i>Alternaria solani</i>	
てんさい	<i>Erysiphe betae</i>	トマト	<i>Alternaria solani</i>	
	<i>Rhizoctonia solani</i>	稲	<i>Corticium sasakii</i>	
<i>Mycosphaerella berkeleyii</i>	<i>Cercospora oryzae</i>			
<i>Mycosphaerella arachidis</i>	<i>Cochliobolus miyabeanus</i>			
<i>Sclerotium rolfii</i>	<i>Monographella nivalis</i>			
らっかせい	<i>Rhizoctonia solani</i>		にんじん	<i>Alternaria dauci</i>
	<i>Phoma arachidicola</i>		かぼちゃ	<i>Podosphaera xanthii</i>
	<i>Puccinia arachidis</i>	<i>Golovinomyces cichoracearum</i>		
りんご	<i>Venturia inaequalis</i>	バラ	<i>Sphaerotheca pannosa</i>	
	<i>Podosphaera leucotricha</i>	芝	<i>Sclerotinia homoeocarpa</i>	
	<i>Diplocarpon mali</i>		<i>Rhizoctonia solani</i>	
	<i>Alternaria mali</i>		<i>Curvularia</i> spp.	
	<i>Gymnosporangium yamadae</i>		<i>Bovista dermoxantha</i>	
	<i>Monilinia mali</i>		<i>Zoysia</i> spp.	
	<i>Mycosphaerella pomi</i>		<i>Ceratobasidium</i> spp.	
			<i>Typhula incarnata</i>	

III フルキサピロキサドの作用特性

1 抗菌スペクトラム

本剤の抗菌活性が認められている作物別の植物病原菌を表-1に示す。本剤は担子菌、子のう菌および不完全菌の多くの種に高い活性を示すが、べん毛菌および接合菌には実用的な効果を示さない。

2 フルキサピロキサドの移行性

フルキサピロキサドは親水性と親油性の部分を持つユニークな立体構造を有している。その結果として、導管移行性、浸透性を有する。葉面に散布されたフルキサピロキサドは、速やかに植物体内に取り込まれて葉内を上方移行することが確認されている。図-1にコムギ葉に散布7時間後の本剤の分布を示す。散布されたフルキサピロキサドの66%がワックス層に取り込まれ、ワックス層以外の葉表面には14%が存在、葉内部には20%が存在した。なお、ワックス層に取り込まれたフルキサピロキサドは、持続的にコムギ葉内に供給されることが確かめられており、このような性質が本剤の高い保護効果および治療効果に寄与すると推測される。

3 SDHI 剤耐性菌に対する効果

子のう菌などに高い効果を示すSDHI剤であるボスカリドの開発以降、各社より幅広い抗菌スペクトラムを持つSDHI剤が数多く開発されている。SDHI剤耐性菌の中では、灰色かび病、キュウリ褐斑病等でSDHI剤耐性に関係する多くの遺伝的変異が見つかっており、ボスカリド耐性灰色かび病菌を用いた社内試験の結果では、ボスカリドとフルキサピロキサド間で交差耐性を示す場合と示さない場合が報告されている。これは作用部位の遺伝子の変異の違いによるものと推察されており現在も研究中である。

4 安全性

本剤の哺乳類および鳥類に対する安全性は高く、カイコ、ミツバチ等の有用生物および標的外生物に対しても安全性が高いことが明らかになっている。

おわりに

現在もボスカリドに代表されるような幅広い抗菌スペクトラムを持つSDHI剤の開発が継続して行われている。フルキサピロキサドもその中の一剤であるが、本剤

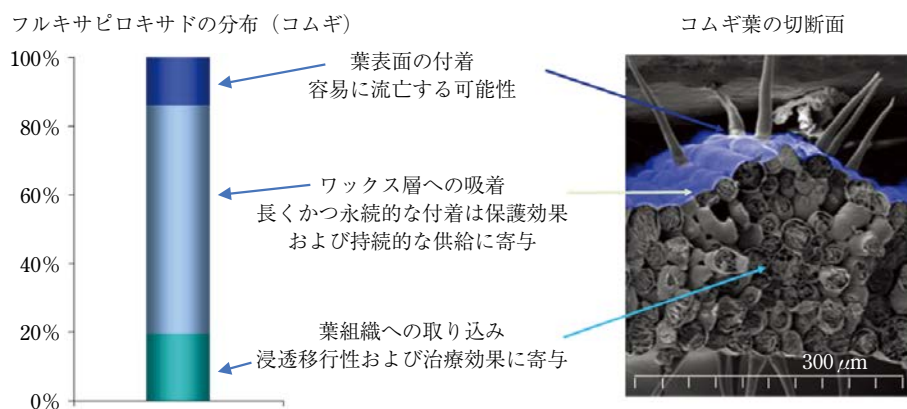


図-1 フルキサピロキサドの葉内における存在部位

表-2 イントレックス®フロアブルの登録内容 (2019年6月1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	フルキサピロキサドを含む農薬の総使用回数
小麦	紅色雪腐病 雪腐小粒菌核病	1,000~1,500倍	60~150 l/10 a	根雪前	4回以内	散布	4回以内 (融雪後は3回以内)
	赤さび病	2,000倍		収穫7日前まで	3回以内		
	赤かび病	1,000倍					
ばれいしょ	黒あざ病	150倍	-	植付前	1回	瞬時~10分間 種いも浸漬	1回
てんさい	根腐病 葉腐病	1,000~2,000倍	100~300 l/10 a	収穫7日前まで	3回以内	散布	3回以内

表-3 アクサー®フロアブルの登録内容 (2019年6月1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	ジフェノコナゾールを含む農薬の総使用回数	フルキサピロキサドを含む農薬の総使用回数
りんご	モニリア病 黒星病 うどんこ病 黒点病 斑点落葉病 赤星病	2,000 倍	200~700 l/10 a	収穫 14 日前まで	3 回以内	散布	3 回以内	3 回以内
なし	黒星病 黒斑病 うどんこ病 赤星病							
もも	灰星病 黒星病			収穫前日まで				
ネクタリン	ホモプシス腐敗病				2 回以内		2 回以内	2 回以内

は導管移行性および浸達性を示すことに大きな特徴がある。この点を活かした種子処理剤も含めた商品を開発中である。フルキサピロキサド単剤として非食用分野ではセルカディス®フロアブル、食用分野ではイントレックス®フロアブル (表-2) が農薬登録を取得した。

フルキサピロキサドは FRAC コード 7 に分類される SDHI 剤であり、その耐性リスクは中~高に分類される。

ジフェノコナゾールは FRAC コード 3 に分類される DMI 殺菌剤であり、その耐性リスクは中に分類される。作用機構の異なるフルキサピロキサドとジフェノコナゾールの混合剤であるアクサー®フロアブル (表-3) は、幅広い各種病害に高い効果を示すだけでなく、耐性菌管理にも有効であると判断している。今後、果樹場面での病害防除資材として大きく貢献できると考えている。

発生予察情報・特殊報 (2019.6.1~6.30)

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。**発生物種：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.jpnn.ne.jp/>) でご確認下さい。

- トマト・ナス：タバコノミハムシ (奈良県：初) 6/3
- アセロラ：炭そ病 (沖縄県：初) 6/3
- ナス・ジャガイモ：タバコノミハムシ (滋賀県：初) 6/12
- バラ：ノイバラハオレタマバエ (和歌山県：初) 6/11
- ナス：タバコノミハムシ (岡山県：初) 6/20
- ブルーベリー：オウトウシヨウジョウバエ (神奈川県：初) 6/28

研究室紹介

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 病害防除体系グループ

病害防除体系グループは、茨城県つくば市にある農研機構中央農業研究センター病害研究領域の一研究グループとして2016年4月に設立され、現在3名の研究職員と3名の契約職員が配属されています。微小害虫などで媒介されるウイルス病害や土壌伝染性細菌病害について、病原体の特性と発生生態、植物または媒介虫との相互作用等を解明するための基礎的研究とともに、診断技術ならびに被害低減のための防除技術を開発しています。こうした試験研究は、公設試験研究機関・民間企業や普及組織とともに、農水省委託プロジェクト研究や農食事業、内閣府戦略的イノベーション創造プログラム(SIP「次世代農林水産業創造技術」)事業などの競争的資金などを活用して実施されてきました。ここでは研究内容の一部を紹介します。

オオバ(青しそ)の主要産地である愛知県や高知県では、葉に退緑や黄化を生じるモザイク病(図-1左)が発生し、大きな問題となっていました。本病の原因がエマラウイルス属と推定されるシソモザイクウイルスの感染によるものであること、ウイルスの媒介虫がフシダニの1種シソサビダニであることを解明しました。また、農食事業などを通じた県・大学との共同研究により、これら病虫害の生態解明を行うとともに、防除技術および検出技術を開発し、農研機構HPよりマニュアルとして公開しています。詳細は本誌5月号をご覧ください。さらに、ニホンナシの葉に退緑斑点などを生じる「モザイク症」(図-1右)についても、ニセナシサビダニに加えて新たなエマラウイルス種が関与している可能性が見いだされたことを契機に、ウイルスの塩基配列解析や検出技術開発等を進めつつ、モザイク症に関する研究会の開催やメーリングリスト(Pear_Mosaic-at-ml.affrc.go.jp)を通じて、研究者間の情報共有や協力体制の構築にも取り組んでいます(メールアドレスは「-at-」を「@」に変換)。

コナジラミ類やアザミウマ類が媒介する野菜や花き類のウイルス病が深刻な被害を全国的にもたらしています。これら微小害虫は薬剤抵抗性が発達した個体群の発生により、殺虫剤のみに頼った防除が困難な状況となっています。トマトではタバココナジラミで媒介されるト



図-1 モザイク病のオオバ(左)と、モザイク症のニホンナシ葉(右)

マト黄化葉巻ウイルスが主要なトマト生産地域において甚大な被害を引き起こしています。当グループでは産学官の連携により、食品添加物を主成分とする新規コナジラミ類忌避剤を利用して、保護対象の植物から媒介虫のタバココナジラミを忌避させ、ウイルス感染を抑制する技術開発に携わりました。その中で、トマト耐病性品種を併用することにより、ウイルスの2次感染が抑制される効果を明らかとしました。

トマト青枯病は地域や作型を問わず被害が発生し、防除が困難な土壌伝染性の細菌病です。これまでに当グループでは公設試験研究機関、大学、民間企業等と連携して、高接ぎ木栽培などの防除技術の開発や、土壌のより下層部まで消毒効果が得られる土壌消毒法の開発を進めてきました。その中で、土壌中の青枯病菌を高感度に検出して定量的に病原菌密度を解析・評価する系を確立しました。これら防除技術の施用により、土壌中の青枯病菌の密度が抑制されることを明らかとし、防除効果の持続性についても評価することが可能となりました。当グループが産学官の連携により他機関とともに開発に携わった、新規資材による土壌還元消毒法とこれを主体とするトマト地下部病害防除体系に関する技術はマニュアルとして公開されています。

当研究グループは、植物病原体の特性などの基盤研究とともに、環境負荷が少ない手法で、持続的な農業生産を実現するための技術開発を進めていきたいと考えております。

(病害防除体系グループ長 大西 純)

研究室紹介

長崎県農林技術開発センター 果樹・茶研究部門 カンキツ研究室

長崎県農林技術開発センター果樹・茶研究部門は、カンキツ、ナシ、ブドウ等の産地である大村市の丘陵地に位置し、昭和29年（1954年）に長崎県農業試験場大村園芸分場として発足しました。昭和36年（1961年）に機構改革により長崎県総合農林センター果樹部となり、昭和45年（1970年）に長崎県総合農林試験場果樹部と改称しました。昭和47年（1972年）に長崎県果樹試験場として独立し、平成21年（2009年）に総合農林試験場、畜産試験場と統合、農林技術開発センター果樹研究部門となりました。その後、平成27年（2015年）の組織改正により研究調整室、カンキツ研究室、ビワ・落葉果樹研究部の3室に東彼杵町の茶業研究室を加え、果樹・茶研究部門となり、現在に至っています。

果樹関係の試験研究では長崎県特産のビワとカンキツの新品種育成、新素材、新栽培法による果実品質向上、貯蔵・鮮度保持技術の開発、環境と調和した病害虫管理技術の開発等に取り組んでいます。

現在の果樹・茶研究部門果樹研究施設の職員体制は事務職1名、研究職14名、農事員4名、嘱託3名で計22名が在籍しており、カンキツ研究室には栽培担当2名、育種担当2名、病害担当1名、虫害担当1名の研究員が在籍しています。ここでは現在取り組んでいる病害虫関連の試験研究課題の一部を紹介します。

1 果樹ウイルス抵抗性健全母樹の育成と特殊病害虫調査

カンキツの主要な品種や今後登録を進める系統について



果樹・茶研究部門の庁舎



露地ビワで問題となる果実腐敗

て、無毒化による健全母樹の育成を行っているほか、果樹で異常発生および新規発生した病害虫や近年本県で導入されている各種新果樹および新作型における病害虫の防除対策確立に取り組んでいます。

2 腐敗の出にくいビワ栽培環境の解明と耕種的防除技術の確立

露地栽培ビワの生産上の課題である果実腐敗対策のため、これまでに腐敗果抑制のための有効薬剤・散布時期の検討や新たな防除機械（レインガン）による防除作業の効率化・省力化を検討してきました。現在は腐敗にかかわる樹体条件の解明や栽培環境改善等耕種的防除技術を機軸とした腐れにくいビワ栽培技術の開発に取り組んでいます。

3 インセクタリアープラントを活用した中晩生カンキツ草生栽培技術の確立

これまでにカンキツの栽培環境に適する天敵温存植物を数種選定しており、現在は中晩生カンキツにおける天敵温存植物の活用と草生栽培の組合せにより、土着天敵、放飼天敵の増強による化学農薬使用回数の低減、除草労力の軽減による圃場管理の省力化、果実品質の向上を目指した栽培技術を検討しています。

4 カンキツ病害虫の防除法・落葉果樹の重要病害虫防除法（委託）

カンキツ、ビワ、落葉果樹の主要な病害虫に対する新農薬の実用化や有効な防除法の確立のため、日本植物防疫協会、九州病害虫防除推進協議会から委託を受けて試験を実施しています。試験の中で得られた結果をもとに防除効果が高く、より安全な薬剤を選定して県病害虫防除基準に採用しています。

当研究室では今後も生産者に役立つような成果を提供できるように、生産現場と直結した試験研究を行い、新たな技術開発に取り組んでいきます。

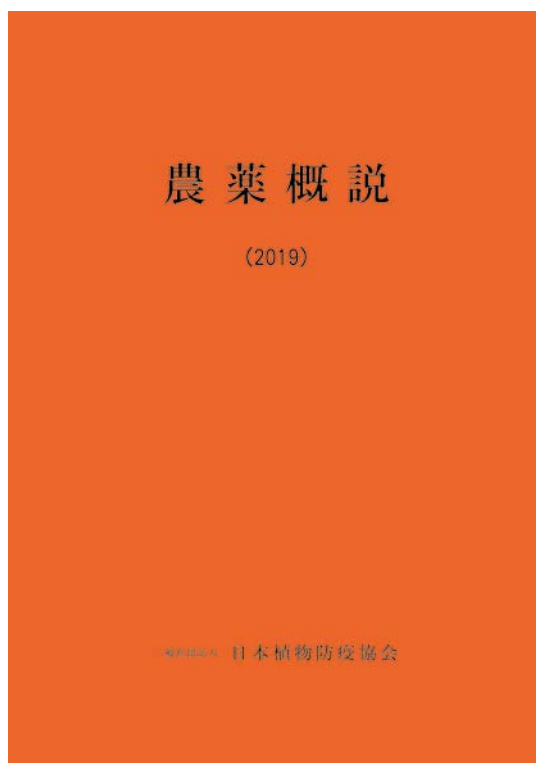
（研究員 柴田真信）

〒856-0021 長崎県大村市鬼橋町1370
TEL 0957-55-8740

農薬概説 2019

B5判 本文373頁
本体1,800円＋消費税，送料実費

一般社団法人 日本植物防疫協会 編



本書は、農薬使用者に必要な行政情報，農薬の使用法や安全性・適正使用，防除対象となる病害虫・雑草に関する情報を網羅した解説書です。

2019年版では、主に次のような改訂を行いました。

- ・農薬取締法の改正に伴い、改正の概要を解説し記述を変更しました。
- ・無人航空機に関連する情勢を変更、追記し航空法、航空施用規則など関連資料を加え充実させました。
- ・農薬の安全、適正使用に関する解説を最新に変更しました。
- ・「農薬の作用機構分類」は IRAC・FRAC・HRAC とともに最新版に更新しました。
- ・その他全般にわたって記述が古くなっている点等を見直しました。詳細は下記よりご確認ください。

<http://www.jppa.or.jp/shuppan/tosho.html>

農薬取扱業者用テキストのみならず、一般向けのテキストとしても利用できる内容となっています。

◆ お問い合わ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/>

■訂正

73巻6月号、盛朝子氏の「センサーデータとAIを活用した病害感染リスク予測」54頁右段2行目以降に誤りがありました。訂正してお詫びいたします。

原文：本研究は、農研機構生研支援センター「革新的技術開発・緊急展開事業（うち人工知能未来農業創造プロジェクト）」および「イノベーション創出強化研究推進事業」の支援を受けて実施しているものである。

訂正：本研究は、農林水産省委託プロジェクト研究「人工知能未来農業創造プロジェクト」および農研機構生研支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業」の支援を受けて実施しているものである。

73巻7月号、次号予告66頁に誤りがありました。

八瀬順也泉→八瀬順也

訂正してお詫びいたします。

学会だより

○2019年度日本線虫学会第27回大会案内

開催日程：2019年9月11日（水）～9月13日（金）

会場：大会 文部科学省研究交流センター

〒305-0032 茨城県つくば市竹園2-20-5

TEL 029-851-1331

http://www.mext.go.jp/a_menu/kokusai/kouryucenter/

懇親会 つくば国際会議場内エスポワール

〒305-0032 茨城県つくば市竹園2-20-3

TEL 029-850-3266

http://www.epochal.or.jp/floor_guide/food/index.html

広告掲載会社一覧（掲載順）

- BASF ジャパン(株) …… アクサー
- 日産化学(株) …… グレーシア
- サンケイ化学(株) …… 主要品目
- バイエルクロップサイエンス(株) …… ナティーボ
- 住友化学(株) …… 主要品目
- フェニックス普及会 …… フェニックス
- 日本曹達(株) …… ピシロック
- 石原バイオサイエンス(株) …… ペミデタッチ
- 石原バイオサイエンス(株) …… テッパン
- アグロカネショウ(株) …… 主要品目

大会事務局：農研機構 中央農業研究センター虫・鳥獣害研究領域 線虫害グループ

〒305-8666 茨城県つくば市観音台2-1-18

TEL 029-838-8839

（合同事務局：森林研究・整備機構 森林総合研究所 森林病理研究室）

○EBC研究会ワークショップ2019

日時：2019年9月18日（水）10時～17時

場所：東京大学農学部1号館2階8番教室

参加申し込み：8月23日（金）までに電子メール「宛先：日本植物防疫協会 沼田京太 k-numata@jppa.or.jp」にてお願いします。

次号予告

次号2019年9月号の主な予定記事は次のとおりです。

施設栽培において飛ばないナミテントウの生存・発育を増強する ブラインシュリンプ耐久卵 世智智一ら	ヒサカキワタコフキコナジラムの発生と防除 岩崎 剛
千葉県秋冬どりニンジン産地におけるしみ症の発生実態と品種 間差異について 中村耕士ら	ネギハモグリバエの新たな遺伝的系統と被害様相・分布 徳丸 晋
ナシ黒星病の落葉処理による被害軽減効果 イネばか苗病の増加要因とその対策について 藤 晋一	植物防疫講座 病害編 白絹病菌による病害の発生生態と防除 越智 直
奈良県における土着天敵ヒメハナカメムシ類に対する殺虫剤の圃 場影響調査に基づく露地ナスの天敵保護体系の改良 井村岳男	植物防疫講座 虫害編 野菜のアザミウマ類の発生生態と防除 柴尾 学
音声入力およびスタイラスペンの利用による病害虫調査の省力化 浅野峻介ら	新農業の紹介：コナジラム類行動制御剤、アセチル化グリセリド の特長と使い方 加嶋崇之
新害虫ネギネクロバネキノコバエ <i>Bradysia odoriphaga</i> と混発する クロバネキノコバエ類の現場における簡易な見分け方 小俣良介ら	研究室紹介：農研機構 果樹茶業研究部門 生産・流通研究領域 病害ユニット 大田将禎 岩手県農業研究センター 生産環境研究部 病理昆虫 研究室 熊谷拓哉

植物防疫

第73巻 2019年7月25日印刷

第8号 2019年8月1日発行

（通算872号）

2019年
8月号

（毎月1回1日発行）

編集発行人 藤田 俊一

印刷所 三美印刷(株)

東京都荒川区西日暮里5-9-8

定価947円

本体877円

2019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）

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。

チョウ目害虫防除に!

殺虫剤

フェニックス®

顆粒水和剤

フロアブル



71作物に登録。
幅広く使えて、効きめが長く続く!



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)

フェニックス普及会

日本曹達株式会社

事務局 日本農薬株式会社

東京都中央区京橋1丁目19番8号

- 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。

べと病、疫病、白さび病を ピシッとロック!

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



【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
トマト、ミニトマト、たまねぎ、だいこん、てんさい



HPはこちらから

🔒 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)



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
<https://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。

コナジラミ類成虫忌避剤



ベミデタッチ®

®は登録商標

[グリセリン酢酸脂肪酸エステル乳剤]



**ベミデタッチ®を処理することで
コナジラミ類成虫は宿主植物(トマト)を認識しにくくなります**

①

新しいタイプの薬剤

コナジラミ類成虫の飛来、吸汁、
交尾を阻害する**行動制御剤**です。

②

植物ウイルス媒介抑制効果

ウイルス感染の危険性が高い定植
初期からの利用で、難防除である
ウイルス病の蔓延を防ぎます。

③

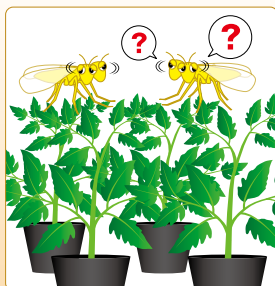
植物由来成分

使用回数の制限がなく、有用生物
への影響も少ないので作期を通し
て安全に使用できます。

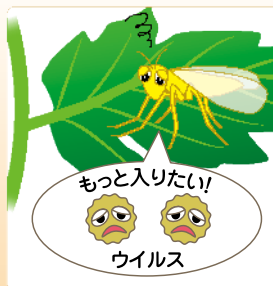
Q:ベミデタッチ®はなぜ植物ウイルスに効果的なの?



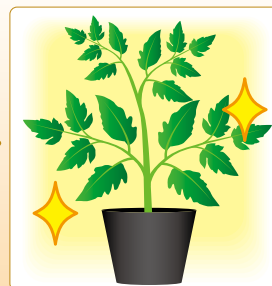
ベミデタッチ®を散布します



成虫が宿主植物(トマト)を認識
しにくくなります



成虫の吸汁が抑制されます



感染・発病するトマトが少なくな
ります

●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。
●空容器は圃場などに放置せず、3回以上水洗し、適切に処理してください。洗浄水はタンクに入れてください。

ISK 石原産業株式会社

ISK 石原バイオサイエンス株式会社

〒102-0071 東京都千代田区富士見2丁目10番2号

ホームページ アドレス <http://ibj.iskweb.co.jp>



本製品は、理化学研究所の特許実施許諾を受けています。



戦略的イノベーション創造プログラム
Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program

本商品は、内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP)
「次世代農林水産業創造技術」の研究成果を活用しています。



[シクラニリプロール(通称:サイクラプリン®)]

害虫防除のテッパン技



- 幅広い殺虫スペクトラムで重要害虫の同時防除が可能
- 害虫の幅広いステージで安定した効果を発揮
- 速やかな食害抑制効果
- 優れた耐雨・残効性
- 作物に対する高い安全性



チョウ目



アザミウマ目



ハエ目

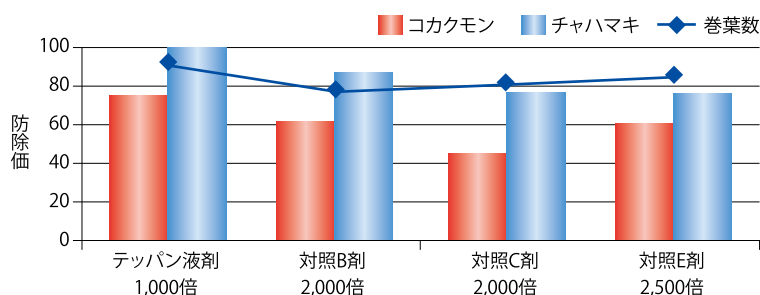


カメムシ目

複数の害虫に対する同時防除効果<茶樹>

石原産業株式会社 中央研究所 (2017年)

● チャノコカクモンハマキ、チャハマキに対する効果



試験場所: 静岡県菊川市
試験時期: 秋期防除期
品 種: やぶきた
発生状況: 少発生(コカクモン)
極少発生(チャハマキ)
散 布: 8月8日
調 査: 9月7日
試験面積: 5m×1.8m(9m²)
3区制



●使用前に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。●空容器は圃場などに放置せず、3回以上水洗し、適切に処理してください。洗浄水はタンクに入れてください。

いい土から、いい作物。



アグロカネショウの土壤消毒剤

絆
Ba N D
バスアミド ネマキック D-D

で土壌を守る。

線虫問題にケリをつける!!

土壌病害・雑草防除に!

土壌センチウ防除に!



ネマキック
粒剤



バスアミド
微粒剤

D-D

アグロ カネショウ
の
土壌分析

化学性や生物性の土壌診断を行います。

土壌の
養分分析

線虫や
菌の密度

土壌分析の詳細や申込みについては▼

アグロ カネショウ土壌分析室 [0296-21-3108] まで



アグロ カネショウ株式会社
東京都港区赤坂4-2-19
<http://www.agrokanesho.co.jp>

■製品のお問い合わせ
アグロ カネショウ(株)お客様相談係
04-2944-1117

