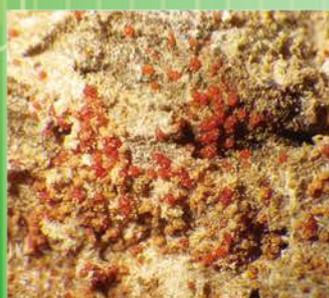


植物防疫

3

Plant Protection

2020
VOL.74



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



生産者と消費者の暮らしを豊かにし、
今、そして未来の進歩を実現することが私たちの使命です。

園芸用殺菌剤

- ゾーベック™ エニベル™
- ゾーベック™ エンカンティア™
- ジマンダイセン™
- グリーンダイセン™ M
- ラリー™
- インダー™
- コサイド® 3000

土壌くん蒸剤

- テロン™
- 旭D-D

園芸用殺虫剤

- トランスフォーム™
Isoclast™ active
- ダブルシューター™
- スピノエース™
- ランネート™
- ファルコン™
- ファルコンエース™
- デリゲート™

水稲用除草剤

- クリンチャー™
- ワイドアタック™

水稲用殺虫剤

- エクシード™
Isoclast™ active
- ゼロカウント™

水稲用殺菌剤

- ビーム™
- ビーム™ エイト

水稲用殺虫殺菌剤

- ビーム™ エイト エクシード™
Isoclast™ active



ダウ・アグロサイエンス日本株式会社 / デュポン・プロダクション・アグリサイエンス株式会社
〒100-6110 東京都千代田区永田町2丁目11番1号 山王パークタワー

™が付記された表示は、デュポン、ダウ・アグロサイエンスもしくはバイオニアならびにこれらの関連会社または各所有者の商標です。



速く効く。
あの害虫にも効く。^{*1}

だから、
収量に差がつく。^{*2}

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。

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。

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、野菜・茶用殺虫剤 グレーシア。

野菜・
茶用
殺虫剤

グレーシア[®] 乳剤



- 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 東京都中央区日本橋二丁目5番1号
(9:00~17:30 土日祝日除く) <https://www.nissan-agro.net/>



 日産化学株式会社



カウンシル® エナジー



®カウンシルはバイエルグループの登録商標
☼はクミアイ化学工業(株)の登録商標



雑草に負けてたまるか！
除草力を鍛えた
“カウンシル エナジー”がある。

新登場



- 1 3成分で高い除草効果
- 2 ノビエへの優れた除草効果
- 3 難防除多年生雑草への高い除草効果
- 4 多年生イネ科雑草に対する高い除草効果
- 5 SU抵抗性雑草に対する高い除草効果
- 6 田植同時散布可能(1キロ粒剤・フロアブル)
- 7 無人航空機での処理可能(1キロ粒剤・フロアブル)
- 8 水口施用可能(移植水稲・フロアブル)
- 9 拡散性に優れたジャンボ剤
- 10 直播水稲への適用性
- 11 新規需要米(WCS、飼料米等)に対する高い安全性

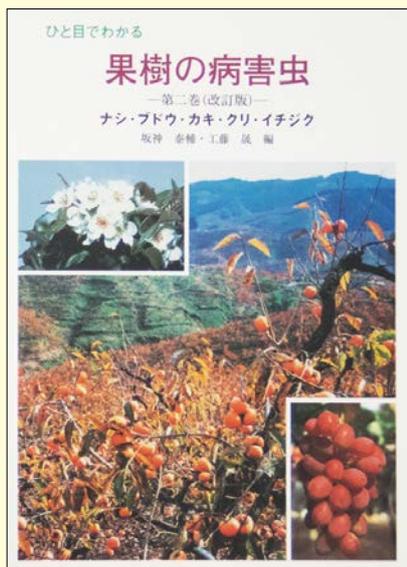
●使用前にはラベルをよく読んで下さい。●ラベルの記載以外には使用しないで下さい。●本剤は小児の手の届く所には置かないで下さい。

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

ひと目でわかる 果樹の病害虫



第二巻 (改訂第二版)

ナシ・ブドウ・
カキ・クリ・イチジク

お待たせ
しました！

25 病害虫を追加

ナシ赤衣病、銀葉病、ブドウ斑点細菌病など 11 病害
ナシヒメボクトウ、フタモンマダラメイガなど 14 害虫

3月10日発売開始

シリーズ好評 第一巻 (改訂第二版) ミカン・ビワ・キウイ他
発売中！ 第三巻 (改訂第二版) リンゴ・モモ・ウメ他

本体：8,200円(予価)＋消費税 送料サービス

一般社団法人 日本植物防疫協会 支援事業部

〒114-0015 東京都北区中里2丁目28番10号
電話 03-5980-2183 FAX 03-5980-6753
<http://www.jpfa.or.jp/order@jpfa.or.jp>

目 次

巻頭言

希有な体験 根岸 寛光 1

研究報告

ナミハダ二個体群構造の遺伝的解析による殺ダニ剤感受性低下個体群の分布要因の推定 羽田 厚 2
DNA 塩基配列を用いたハダニ類の種の識別と系統関係の推定 松田朋子・後藤哲雄 7
国内市販品種からのトマト葉かび病菌レース検定用固定系統の作出 窪田 昌春 13
千葉県南房総地域におけるチャバネアオカメムシの発生量予測とメタアナリシスを用いた
ビワ二重果実袋の被害抑制効果の評価 清水 健 16

調査報告

チバクロバネキノコバエによる作物被害の詳細 小林 政文 24

トピックス

ナス果実の小陥没症とナス褐色斑点病の関係 岩館 康哉 29

時事解説

国際植物防疫年における我が国の取り組み 望月 光顕 33

植物防疫講座

病害編-26 *Fusarium* 属菌の生態・病原性・実験方法と分類に関する近年の状況 外側 正之 36
虫害編-25 ハナバエ科野菜害虫 岩崎 暁生 43
農薬編-24 アセチルコリンエステラーゼ阻害剤—カーバメート系— 林 直孝 54
農薬編-25 ミトコンドリア電子伝達系複合体 III Q_i 部位に作用する殺菌剤 荒木智史・三谷 滋 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 野菜花き研究部門

野菜病害虫・機能解析研究領域 病害ユニット 中保 一浩 65

鹿児島県農業開発総合センター 茶業部 環境研究室 松比良 邦彦 66

農林水産省プレスリリース (2020.1.15~2020.2.5) 67
新しく登録された農薬 (2020.1.1~1.31) 12, 23, 28, 35, 42, 67
登録が失効した農薬 (2020.1.1~1.31) 67
発生予察情報・特殊報 (2020.1.1~1.31) 67

【表紙写真】

上：タネバエ 雄(左)、雌(右)

下段左：チャバネアオカメムシ雌成虫(左)と吸汁加害を受けたビワ果実

下段右：トマト立枯病、そのう穀(左)とセルリー萎黄病



農林水産省登録
第22801号

殺ダニ・殺虫剤

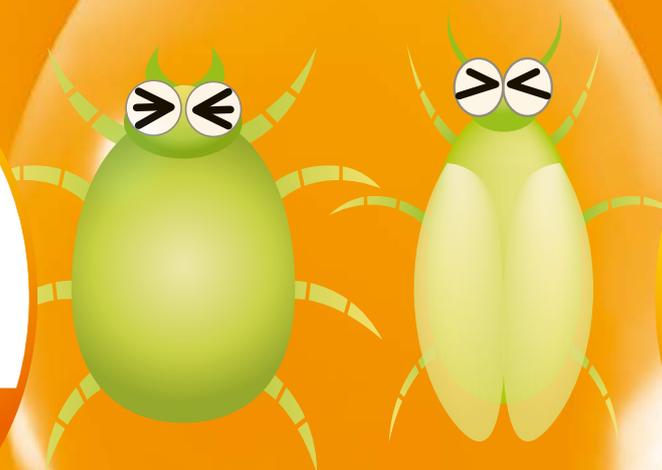
サフオイル[®]乳剤

Suffoil

調合油乳剤 1ℓ入

一歩上の物理防除剤
残効性・殺卵効果もあるんです！

有機JAS
使用可能農薬



天然由来
紅花から抽出



ハダニ類

コナジラミ類

チャノホコリダニ

トマトサビダニ

うどんこ病

サフオイル乳剤の特長

- 物理的に作用する剤であり、抵抗性が発達するおそれが殆どないので連続散布が可能です。
- 既存の薬剤に対して抵抗性の発達したハダニ類及びコナジラミ類にも効果を発揮します。
- ハダニ類への残効性が認められています。
- 殺卵活性も認められ、ハダニ類及びコナジラミ類の全発育ステージに対して有効です。
- 天敵や有用昆虫に対する影響が小さく、IPM(総合的病害虫管理)に適しています。
- 有効成分は食用の植物油なので、安心して収穫前日まで散布可能です。
- 有機農産物の日本農林規格(有機JAS)別表2に適合する農薬です。



本製品は、国立研究開発法人理化学研究所の研究成果が利用されています。



OAT アグリオ株式会社

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

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


 巻頭言

希有な体験



公益社団法人緑の安全推進協会 **ね** **ぎし** **ひろ** **みつ**
根 **岸** **寛** **光**

昨年3月、5年間の役人生活と35年間に渡った教員生活にピリオドを打ち、残る人生を実家の寺の住職業や肩書にある団体にお世話になることで、もうしばらく世の中のお役にくらいに思っていました。昨春今回の寄稿をとの依頼があった折、業績十分な方であればご自身の専門に関するお話でいけたのですが、そんなものは皆無に等しい私は何を書くべきか思い悩みました。その直後、思わぬ経験をするようになりましたので、まるで専門分野とは異なる体験談を少しお話します。

66歳の誕生日目前に強い疲労感が数日継続したため、6月6日に近所の医師の元に走り、気管支炎との応急診断の後に大病院での検査を勧められ、ここで当日中に心筋梗塞の発症が判明し、専門病院に救急搬送されて尿管挿入や点滴を受ける身となりました。入院直後の2~3日はカテーテルによる血流確保や心臓内の血栓溶解等の治療はあるものの家族とも普通に会話しつつ、直近の仕事のキャンセル連絡などを頼みながら、1月ほどで回復という希望的観測を抱いていました。

ところが数日後に心停止の発作を起こして意識を失いました。発作は数回にわたって起こり、その都度心臓マッサージやAED措置で何とか命をつなぐことができたとのことです。この間、当の本人は意識不明で苦痛の記憶は全くありません。ふと目が覚めて「今日は7月19日です」と聞いた時には愕然としました。

意識回復時点で感じたのは全身の筋力低下で、ペンが握れず立つこともできません。その当日から理学療法士によるリハビリ開始、8月1日に除細動器(ICD)の埋め込み手術が行われ、幸いにして術後の経過は極めて順調に推移し8月20日には退院となりました。ただ、立ちくらの頻発や下痢といった状況が退院後の2月ほど続きました。現在も食事に関して塩分制限(6g/日)が強く求められ、喉へのチューブ挿入の後遺症とかで声が出せない状況が続いており、歌はおろか読経もままなりません。心筋は3割方死して復活不能ですので運動はほぼ禁止。万一発作が起これば意識を失いますので運転はご法度です。

ここまでは単なる病気の話で、私の周囲にも似たような経験者が複数いらっしゃり、本稿表題の「希有な」ケースには当たりません。ただ、心停止発作が数回に渡って起こり、その都度死んでいてもおかしくなかったとのこと。いわゆる臨死状態に陥っていました。となると「生

き返った」私には、立花隆いうところの臨死体験とでも言うべき何かがあったのかとも思われるのですが、どうも日頃の信心が足りないせいとか、その体験者がよく(?)語るところの花畑とか光とかは見えず、外からわが身を眺めるといった記憶には全く恵まれませんでした。既に死んだ人からの「まだ早い。帰れ」とのお言葉もいただきませんでした。ただ見たものと言えれば妙な夢ばかりでした。

この夢というのが本当に脈絡のないもので、日本海に浮かぶ船の底での幽閉生活や、現生人類と異なる進化過程を経てきた人間もどきみたいな生物との交流や、韓国での蛇のたたりへの遭遇や、秩父の山荘でご馳走につられての監禁や、京都の山奥の寺に幽閉された後の脱走や、飛行機を操縦しての日本とカナダの間の往復や、演劇コンクールで下の娘の脚本が入賞する話や、変な映画の主役として野山の疾駆や、中東と思しき国の仏教遺跡の発掘での新発見や、日光江戸村での家族での探検や、東南アジアの戦時下での機密指令の実行等が思い出されるころです。何ともそれらしくない臨死体験(?)であります。変なところでは、キティちゃんによる瀕死の私の救助というのがありました。何故キティちゃんなのか不思議だったのですが、主治医の先生のチームの人たちが、何かの応急キットを入れるポシェットにそのアプリケをつけていたためであったらしいことが後に判明しました。意識がないままでも変な観察眼を持っていたようです。夏目漱石レベルの筆力でもあれば「夢…」でもものするところでしたが残念です。この意識不明の間に苦痛はなく、最期の瞬間は何となく特別な苦しみがないままに迎えられる感覚が得られたような気がします。

入院中は関係各方面の方々にご迷惑をおかけしたことをここに改めてお詫び申し上げる次第です。また特に妻には、施餓鬼法要を挟んでの寺務等に多大な負担をかけ、いくら感謝してもしきれぬものではなく、もう一生頭が上がりません。

この稿を入力している最中、お隣の中国ではCOVID-19なるものが発生・まん延して死者も多数、我が国にも既に上陸という状況です。思想信条では防げないのが病気というもので、私の仕事にも多少関係するところですが、これは動物でも植物でも変わるところはありません。いずれにせよ、どうぞ皆様お体を大切に。


 研究
報告

ナミハダニ二個体群構造の遺伝的解析による 殺ダニ剤感受性低下個体群の分布要因の推定

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 ^は羽 ^だ田 ^{ひろし}厚

はじめに

ナミハダニ *Tetranychus urticae* Koch は様々な農業品目を加害する害虫であるとともに、薬剤感受性低下事例が最も多い害虫でもあり、Arthropod Pesticide Resistance Database (<http://www.pesticideresistance.org/>) によると、2019年12月現在で96の農薬成分に対する抵抗性の発達が報告されている。日本国内においても、岩手県はもちろんのこと、最大産地である青森県やその他のリンゴ生産県において、複数の殺ダニ剤に対する感受性が低下したナミハダニ個体群が生息している（木村ら、2005；羽田、2008）。このためリンゴ生産者は年間数回、作用点の異なる複数の殺ダニ剤を使用する必要があり、防除コスト増大の原因となっている。

殺ダニ剤感受性が低下するメカニズムは、殺ダニ剤によって高感受性個体がほぼ絶滅し、低感受性個体が選抜されることであるため、ある園地に生息するナミハダニ個体群の殺ダニ剤感受性は、過去の殺ダニ剤散布実績に強く影響される。岩手県内のリンゴ園地では、基本的に農業協同組合単位で使用農薬を検討・決定して防除暦を作成し、その防除暦に基づいて各園地および防除組織が防除を実施していることから、各種の殺ダニ剤に対する感受性については、地域ごとに特徴や傾向が異なるものと予想された。しかし、表-1は岩手県内各地で採集したナミハダニ個体群における実用濃度による各種殺ダニ剤に対する感受性を2008年に検定した結果であるが、採集したほとんどの個体群はエトキサゾールに対する感受性が著しく低下していた。

また、アセキノシルやピフェナゼートのように、どの地域で採集した個体群も、ある程度感受性低下個体群が含まれている事例もあった。このように、殺ダニ剤に対する感受性の低下は、県内でほぼ一様な挙動を示しているように見える。この原因については不明であるが、以

下の2通りの仮説が考えられる。

- ①種苗生産圃で出現した薬剤感受性低下個体群が、苗木などを經由して県内各地に広がった
- ②各園地に生息する地域個体群ごとに独立に薬剤感受性低下個体群が出現し、それぞれの園地で優占した

本稿では、殺ダニ剤の使用体系が異なるいくつかの園地から採集したナミハダニ個体群の個体群構造を、マイクロサテライト DNA マーカーを用いて解析することによって、殺ダニ剤感受性低下個体群が県内全域に生息している原因を考察する（HADA et al., 2016）。マイクロサテライト DNA マーカーの利点は、進化速度が速いため個体群構造の検出能が高いこと、個体群がたどってきた集団遺伝学的な過程を捉えられること、薬剤感受性等、農地での生残率に寄与する遺伝子と連鎖していなければ中立なマーカーとして利用できること等である。マイクロサテライト DNA マーカーの作成や解析手法等については、日本ら（2011）などの先行研究を参照されたい。

I ナミハダニ個体群の遺伝的構造の解析

ナミハダニ黄緑型雌成虫は、2012年8月31日から9月24日にかけて採取した。定期的に殺ダニ剤が散布されている商業的リンゴ園地8地点（AF, KJ, KK, KW, MZ, NG, OTおよびTK）、リンゴ種苗生産圃1地点（SY）、1997年に栽植されて以来、定期的な散布は実施されていない殺ダニ剤試験用のリンゴ園地1地点（IA）、および気門封鎖作用の殺ダニ剤を主体としたハダニ防除が実施されているホップ園地1地点（EH）（表-2、図-1）から、葉当たり1~2個体のナミハダニ雌成虫をサンプリングし、1個体ごとにDNAを抽出し、4種のプライマーセット TuCA12, TuCA25, TuCT04 および TuCT18（UESUGI and OSAKABE, 2007）を用いたPCRによりマイクロサテライト遺伝子座を増幅し、合計11個体群534個体の遺伝子型および遺伝学的パラメータを決定した。

決定した遺伝子型に基づき、固定化指数 (F_{ST}) を算出した。 F_{ST} は、個体群間の遺伝的変異を0から1の間で記述する指数※で、以下の式で算出できる。

$$\text{固定化指数 } (F_{ST}) : (HT - HS) / HT$$

Genetic Analysis of Acaricide-resistant Two-spotted Spider Mite Populations in Apple Orchards. By Hiroshi HADA

(キーワード：ナミハダニ、薬剤感受性、個体群構造、マイクロサテライト DNA マーカー)

表-1 岩手県内各地のリンゴ園地で採集したナミハダニの殺ダニ剤感受性 (2008)

採取地域	採集市町村	個体群 コード	IRAC Mode of action classification group No.										下段：処理濃度
			上段：有効成分					中段					
			10B 100 mg/l	6 10 mg/l	12B 480 mg/l	UN 200 mg/l	13 100 mg/l	BPPS 12C 300 mg/l	25A 200 mg/l	23 150 mg/l			
県北部	一戸町	KT	○	△	○	○	○	×	○	○	×	○	○
	二戸市	YD	○	×	○	○	○	△	○	○	○	○	○
	岩手町 1	IK1	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○
	岩手町 2	IK2	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	軽米町	KN	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	滝沢市	MT	○	×	△	△	△	△	○	○	○	○	○
	盛岡 1	KK	×	×	×	×	△	△	△	○	○	○	○
	盛岡 2	MI	○	△	△	○	○	×	○	○	○	○	○
	盛岡 3	HG	○	×	○	×	○	×	○	△	○	○	○
	盛岡 4	OO	○	×	○	×	○	○	○	○	○	○	○
県中部	矢中町	HM	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○	○
	紫波町	NG	○	×	○	○	○	△	○	○	×	○	○
	花巻市 1	GD	△	×	○	○	×	×	△	○	○	○	○
	花巻市 2	TK	×	×	×	×	△	△	△	○	○	○	○
	花巻市 3	TW	○	×	△	△	×	△	○	×	○	○	○
	花巻市 4	NR1	×	×	×	×	×	×	△	○	○	○	○
	北上市 1	NR2	×	×	△	△	○	○	○	○	○	○	○
	北上市 2	SR	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	奥州市 1	TM	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	奥州市 2	IN	○	×	△	△	○	×	○	○	○	○	○
県南部	一関市 1	OH	△	×	○	○	△	△	○	○	○	○	○
	一関市 2	IC	○	×	○	○	○	○	○	△	○	○	○
	一関市 3	TR	○	×	△	△	○	○	○	○	○	○	○
	一関市 4	OK	○	×	○	○	△	△	○	○	○	○	○
	一関市 5	FJ	○	×	○	○	×	×	○	○	○	○	○
	花巻町	KZ	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	宮古市 1	MY1	○	×	○	○	○	○	○	△	○	○	○
	宮古市 2	MY2	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○

記号は以下の通り。○：[殺卵および殺幼虫率] > 95%，△：[殺卵および殺幼虫率] > 90%，×：[殺卵および殺幼虫率] < 90%，空白：未検定。

表-2 ナミハダニ採集地点の概況

採集地点	個体群コード	緯度	経度	採集日付	定期的にいられる殺ダニ剤の種類と頻度	採集した樹列数	供試個体数
商業的 リンゴ園地	KW	39.6876° N	141.2368° E	2012年8月31日	化学合成殺ダニ剤 年間2~3回	6	53
	NG	39.5759° N	141.2119° E	2012年8月31日		4	49
	AF	39.2356° N	141.1708° E	2012年9月3日		2	26
	TK	39.7579° N	141.0980° E	2012年9月4日		4	37
	MZ	39.1375° N	141.1661° E	2012年9月13日		2	21
	KK	39.6311° N	141.1927° E	2012年9月14日		3	38
	OT	39.6159° N	141.2007° E	2012年9月14日		4	54
	KJ	39.3537° N	141.1071° E	2012年9月19日		4	54
試験用 リンゴ園地	IA	39.3540° N	141.1001° E	2012年9月19日	なし	4	66
リンゴ種苗 生産圃	SY	39.2286° N	141.0169° E	2012年9月24日	化学合成殺ダニ剤 年間2~3回	5	23
ホップ園地	EH	39.2052° N	141.1744° E	2012年9月11日	気門封鎖作用の殺ダニ剤 年間6~7回	8	113

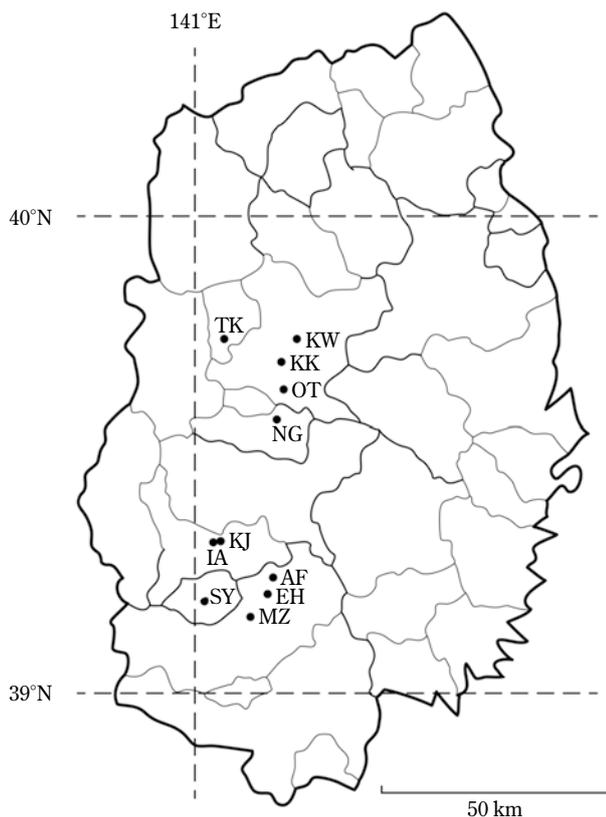


図-1 岩手県各地のナミハダニ採集地点

AF, KJ, KK, KW, MZ, NG, OTおよびTKは商業的リンゴ園地, IAは試験用リンゴ園地, SYは種苗生産圃, EHはホップ園地。

ただし, HS : 個体群内のヘテロ接合度の期待値 HT : 全集団におけるヘテロ接合度の期待値

※個体群が分化していない場合は, $HT = HS$ なので $F_{ST} = 0$ となり, 異なる対立遺伝子が完全に固定しているときは, $HT = 1, HS = 0$ なので $F_{ST} = 1$ となる。

供試個体群間の F_{ST} (表-3 左下), KJ と TK を除くすべての組合せについて, 個体群間の差異は有意であった。最も高い F_{ST} は $SY - MZ$ で観察された 0.162 であり, 最も低い F_{ST} は $IA - KJ$ で観察された 0.011 であった。地理的な分布と個体群間の遺伝的な差異との相関を調べるため, 個体群間の $F_{ST}/(1 - F_{ST})$ を, 対数変換した地理的距離と比較した結果 (図-2), これらの間には正の相関が認められた。

種苗生産圃に殺ダニ剤感受性が低下したナミハダニ個体群が生息していれば, 県内各地の商業的リンゴ園地に生息するナミハダニ個体群の遺伝的多様性は低くなり, すべて種苗生産圃に生息するナミハダニ個体群と遺伝的に近縁な個体群が優占するものと予想できた。しかし, 今回調査した個体群は遺伝的に独立しており, 弱いながらも有意な距離による遺伝的隔離が確認された (図-2)。また, SY 個体群で観察された F_{ST} は $0.88 \sim 0.132$ と比較的高く有意であることから, この個体群は種苗生産圃に由来する個体群であるが, 遺伝的に他の個体群から, より独立していると考えられる (表-3)。このことから, 種苗生産圃由来の個体群が県内各地に生息するナミハダニ個体群の共通の祖先になっている可能性は非常に低く, 表-1 で示したような広範囲での殺ダニ剤に対する

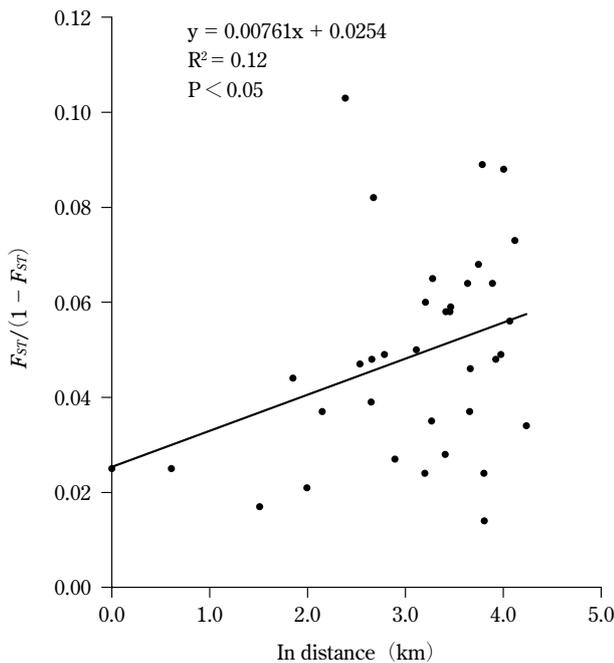


図-2 岩手県内 11 地点で採集したナミハダニ個体群で観察された $F_{ST}/(1 - F_{ST})$ 値と、対数変換した地理的距離 (km) との相関

感受性の低下は、各地の個体群で独立に起こっていることが推察された。

ベイズ法に基づくクラスター分析によると、供試個体群は起源的には二つの集団に属していたことが推定された。図-3 に二つの推定集団からの個体別の由来を示した。EH 個体群の多くの個体はバープロットが黒の推定集団に割り振られたが、その他の個体群はバープロットが白と黒の二つの推定集団に割り振られた。このことは、ホップ園地に由来する EH 個体群は、リンゴ園地由来の個体群とは過去の分布変遷が異なる可能性が高いことを示している。

寄主植物の種の違いや植栽様式は、寄生するハダニ個体群の動態に大きな影響を及ぼすことが示されている (GOTOH et al., 1993 ; NAVAJAS, 1998 ; GOKA, 1999 ; van den BOOM et al., 2003 ; NISHIMURA et al., 2007)。このことから、EH 個体群とリンゴ園で採集した個体群の構造の相違には、使用されている殺ダニ剤だけでなく、リンゴとホップという寄主植物や植栽様式の相違も影響しているものと考えられる。

表-3 F_{ST} (左下) と地理的距離 (右上, km) との比較

	KW	NG	AF	TK	MZ	KK	OT	KJ	IA	SY	EH
KW	-	12.61	50.59	14.17	61.44	7.34	8.57	38.78	38.95	54.38	53.90
NG	0.045**	-	38.01	22.45	48.87	6.36	4.54	26.31	26.52	42.06	41.33
AF	0.046**	0.06**	-	58.41	10.87	44.03	42.36	14.26	14.51	13.34	3.36
TK	0.038**	0.047**	0.053**	-	69.18	16.23	18.05	44.94	44.93	59.20	61.77
MZ	0.068**	0.060**	0.093**	0.033**	-	54.90	53.23	24.53	24.66	16.37	7.55
KK	0.021**	0.042**	0.082**	0.047**	0.081**	-	1.84	31.72	31.86	47.19	47.36
OT	0.036**	0.017*	0.064**	0.026*	0.046**	0.025**	-	30.23	30.40	45.81	45.69
KJ	0.033**	0.033**	0.048**	0.012	0.029**	0.049**	0.029**	-	0.61	15.60	17.70
IA	0.044**	0.061**	0.074**	0.020*	0.050**	0.056**	0.051**	0.011**	-	15.88	17.48
SY	0.110**	0.097**	0.088**	0.110**	0.162**	0.100**	0.096**	0.110**	0.132**	-	13.84
EH	0.073**	0.089**	0.120**	0.101**	0.083**	0.089**	0.083**	0.087**	0.092**	0.155**	-

F_{ST} は個体群ごとに 9,999 回並べ替えて算出した。

* : $P < 0.05$, ** : $P < 0.01$.

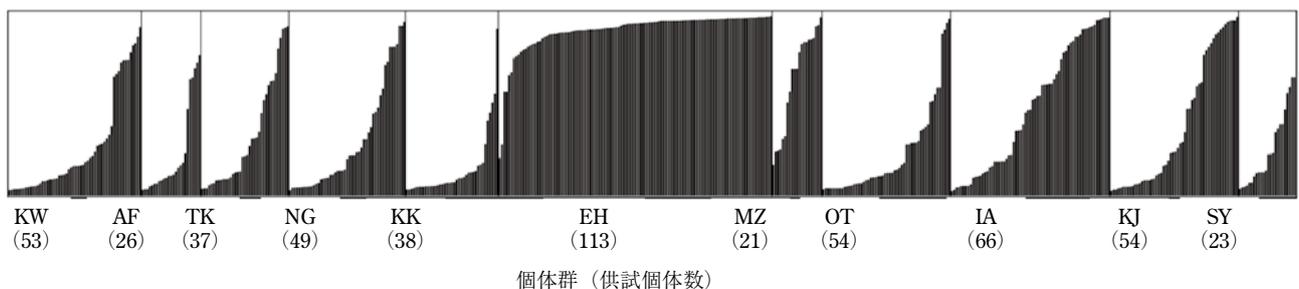


図-3 岩手県内の 11 地点で採集したナミハダニ個体群 534 個体の遺伝的構成
x 軸は一つのバープロットが単一の個体に相当し、y 軸は個々の二つの推定集団への割り振り確率である。バープロットの黒白は各推定集団に由来する確率を示す。

おわりに

化学合成殺ダニ剤の使用直後は、ハダニ個体群の密度は極端に低下する。しかし、極少数の個体が生き残り、次世代の始祖個体群となるため、遺伝的多様性が低下すると考えられる。この場合、生き残った始祖個体群は当然殺ダニ剤に対する感受性の低い個体の頻度が高いことから、次世代以降は結果的に殺ダニ剤感受性の低い個体群となる。

なお、岩手県内のリンゴ園地では、使用する殺ダニ剤が特定のものに偏ることによって、その剤に対する感受性低下個体群の出現を誘導していたことから、感受性低下個体群の出現を遅延させるため、各種の殺ダニ剤を基幹防除剤と補完防除剤に分け、それぞれを複数年単位でローテーションする防除体系を指導している。このローテーション体系を実践し続けた場合、数年後には各殺ダニ剤の総使用回数が、すべての園地でほとんど同じになってしまう。表-1に示したように、県内全域において各種殺ダニ剤に対する感受性が低下していた原因として、各殺ダニ剤をすべての園地で規則正しくローテーション使用することによって、各殺ダニ剤の総使用回数が各地域でほとんど同じになった可能性も考えられる。それゆえ、今後は従来のローテーション散布ではない、新たなハダニ類の防除対策を考える必要がある。つまり、薬剤感受性低下個体群の出現をいかにして遅らせるかが最大のポイントである。岩手県で実施されている殺ダニ剤のローテーション使用体系は、元来は感受性低下個体群の出現を遅らせる手段として1985年ころから指導されてきた防除体系である(鈴木, 2010)。しかし、薬剤感受性低下個体群の出現を遅らせる対策として薬剤のローテーション体系を実施する前提として、薬剤による選択圧がかからない条件下において、薬剤感受性低下個体が感受性個体と比較して生育速度が遅いなどの原因によって淘汰され、薬剤感受性低下個体の密度が低下して、個体群の薬剤感受性が回復することが理論的な基礎条件になっている(鈴木, 2012)。残念ながら、実際に感受性の回復が確認された事例は少ない(山本, 2015)。このことは、岩手県で実施されている殺ダニ剤のローテ-

ション使用体系が、特定の殺ダニ剤に対する感受性低下個体群の出現およびまん延を遅延させる、という目的は達成しているものの、薬剤感受性低下個体群の出現を遅らせる対策としては理にかなったものではないと考えられる。また、本研究で得られたデータは、殺ダニ剤に対する感受性低下個体群が、各園地のナミハダニ個体群において独立に出現していることを示していた。すなわち、各園地のナミハダニ個体群の薬剤感受性は、薬剤散布履歴に最も影響される。このことから、殺ダニ剤に対する感受性低下個体群の出現を遅らせ、薬剤コストを抑え、高い防除効果を得るためには、園地ごとに定期的に薬剤感受性をモニタリングし、効果の高い殺ダニ剤を優先的に使用する方法が優れているといえる。薬剤のローテーション散布については、感受性低下個体群がすでに出現している剤を使わざるを得ない状況を生み出す可能性があることを考慮に入れ、ローテーション散布を実施する必要がある。

ホップ園地で頻繁に用いられる気門封鎖作用の殺ダニ剤は物理的作用によってハダニ密度を下げるため、遺伝的多様性を低下させることはなく、もちろん薬剤感受性低下個体群を出現させることもない。残効期間が極端に短いことは欠点であるが、リンゴ園地においても気門封鎖作用のある殺ダニ剤を効果的に用いたハダニ類の防除体系を考えていくことは、殺ダニ剤に対する感受性低下個体群の出現を遅らせるために重要であると考えられる。

引用文献

- 1) GOKA, K. (1999): *Exp. Appl. Acarol.* **23**: 419~427.
- 2) GOTOH, T. et al. (1993): *Entomol. Exp. Appl.* **68**: 171~178.
- 3) 羽田 厚 (2008): 今月の農業 **52**: 23~28.
- 4) HADA, H. et al. (2016): *Syst. Appl. Acarol.* **21**: 878~888.
- 5) 日本典秀ら (2011): 植物防疫 **65**: 274~279.
- 6) 木村佳子ら (2005): 北日本病虫研報 **56**: 194~197.
- 7) NAVAJAS, M. (1998): *Exp. Appl. Acarol.* **22**: 201~214.
- 8) NISHIMURA, S. et al. (2009): *J. Acarol. Sci. Jpn.* **16**: 109~119.
- 9) 鈴木敏男 (2010): 岩手県農業研究センター研究報告 **10**: 113~126.
- 10) 鈴木芳人 (2012): 植物防疫 **66**: 380~384.
- 11) UESUGI, R. and M. OSAKABE (2007): *Mol. Ecol. Notes.* **7**: 290~292.
- 12) van den BOOM, C. et al. (2003): *J. Appl. Entomol.* **127**: 177~183.
- 13) 山本敦司 (2015): 農業および園芸 **90**: 320~333.


 研究
報告

DNA 塩基配列を用いたハダニ類の種の 識別と系統関係の推定

株式会社日本バイオデータ ^{まつ}松 ^だ田 ^{とも}朋 ^こ子
流通経済大学経済学部 ^ご後 ^{とう}藤 ^{てつ}哲 ^お雄

はじめに

ハダニ類は、ダニ目 Acari, ケダニ亜目 (前気門亜目) Prostigmata, ハダニ上科 Tetranychoidae に含まれるダニであり、本稿で取り上げたハダニ科 Tetranychidae は、日本から 2 亜科 5 族 17 属 96 種 (江原・後藤, 2009; OHASHI et al., 2009; OHNO et al., 2011; ARABULI and GOTOH, 2018; GOTOH and ARABULI, 2019), 世界では 85 属 1,200 種以上が知られている (MIGEON and DORKELD, 2006~2019)。ハダニ科の種はすべて食植性であり、ナミハダニ *Tetranychus urticae* Koch, ミカンハダニ *Panonychus citri* (McGregor), マンゴーツメハダニ *Oligonychus coffeae* (Nietner) 等は、農作物の葉や果実を加害することから、重要な害虫として知られている。本稿では、筆者らがこれまでに取り組んできたハダニ類の DNA 塩基配列による種の識別と系統関係の推定について、これまでの成果を引用しながら紹介したい。

I DNA 塩基配列を用いた種の識別

1 形態による同定の難しさ

ハダニの防除や輸入植物検疫上の問題点として、ハダニは発育速度が速いために殺ダニ剤に対する抵抗性が発達しやすい一方、殺ダニ剤に対する感受性がハダニの種や個体群によって著しく異なること、外来種が輸入植物とともに国内に侵入し、定着すること等があげられる。ハダニの効率的な防除や適切な植物検疫を行うには、迅速かつ正確な種の同定が不可欠である。ところが、ハダニは体サイズが 0.3~0.8 mm と小さく、かつ重要害虫種とそれらの近縁種との形態差がわずかであることから、プレパラート標本を作製して正確に種を同定するには、相当な熟練を要する。また、防除や植物検疫の現場では、

迅速な種の同定が求められるが、ハダニの性比が雌に偏っているため、形態による同定に必要な雄成虫を現場で入手できない場合がある。例えば、日本産 *Tetranychus* 属は 13 種が知られているが、ナミハダニの黄緑型を除く全種の雌成虫が赤い体色であるうえ、形態が互いに酷似している。また 13 種のうち、雌成虫のみで同定できる種はない。特に、カンザワハダニ *T. kanzawai* Kishida とニセカンザワハダニ *T. parakanzawai* Ehara にアララギナミハダニ *T. ezoensis* Ehara を加えた 3 種は、雄成虫の挿入器先端の膨らみの幅で識別できるが、カンザワハダニが 4.0 μm であるのに対して、ニセカンザワハダニとアララギナミハダニはそれぞれ 3.3 μm と 3.5 μm であり、その差は微小である (江原・後藤, 2009)。

2 ミトコンドリア cytochrome c oxidase subunit I (COI) 遺伝子

2003 年に HEBERT らが提唱した DNA バーコーディングは、特定の DNA 領域の塩基配列を用いて生物を識別する方法である (HEBERT et al., 2003 a; 2003 b)。ハダニにおいても、形態に代わる識別法として、分子生物学的手法を用いた方法が試みられているが、従来の研究では *Tetranychus* 属など、ごく一部の害虫種を扱っているに過ぎず、証拠標本に関する記載がない例も多い。塩基配列による識別結果に疑問が生じた場合、標本を再検証する必要があるため、塩基配列データには、証拠標本が紐付けされていることが不可欠である。

筆者らは、ハダニ科のできるだけ多くの属と種について、リボソーム DNA (rDNA) やミトコンドリア DNA (mtDNA) による識別の可否を検討した (MATSUDA et al., 2012; 2013; 2014; SAKAMOTO et al., 2017; ARABULI et al., 2019; GOTOH and ARABULI, 2019)。その結果、mtDNA の COI 遺伝子による分子系統樹に基づく識別が、ハダニ科の広範囲の種に有効であることが明らかになった。これまでの研究で得られたハダニ科 13 属 86 種の COI 遺伝子の塩基配列を用いて、近隣結合法による分子系統樹を推定したところ、2 個体群以上を供試した種のうち 4 種 (カンザワハダニ, ニセカンザワハダニ, ナミハダニお

Species Identification and Phylogenetic Relationships Based on DNA Sequences of the Family Tetranychidae (Acari). By Tomoko MATSUDA and Tetsuo GOTOH

(キーワード: ハダニ, DNA, 識別, トランスクリプトーム, 分子系統解析)

よび *Tetranychus turkestanii* Ugarov & Nikolski) を除くすべての種が単系統になったため、系統樹の単系統性に基づく識別が可能であった (図-1)。また、1 個体群しか供試できなかった種についても、系統樹で他種とともにクレードを形成することはなく、明確に区別できた。

3 カンザワハダニとニセカンザワハダニ

カンザワハダニとニセカンザワハダニは、COI 遺伝子の系統樹で単系統にならず、それぞれ二つのクレードに明確に分岐した (図-1)。カンザワハダニの二つのクレードのうち、Tka1 は北海道から沖縄にわたる広い地域から採集された個体群で構成されていた一方、Tka2 は北海道で採集された個体群のみで構成されていた。同様に、ニセカンザワハダニの二つのクレードのうち、Tpa1 は北海道から本州中部にわたる地域から採集された個体群で構成されており、Tpa2 は沖縄で採集された個体群のみで構成されていた。このように、系統樹におけるクレードに地理的傾向が見られたことから、証拠標本の再検証と交配試験を行った。

まず、Tka1 と Tka2, Tpa1 と Tpa2 の間に形態差がないかどうかを証拠標本により検討したが、形態的な違いは認められなかった。次に、Tka1 と Tka2, Tpa1 と Tpa2 に属する個体群間で交配試験を行った結果、いずれの種の交配試験においても、第 1 世代の子孫が出現しない、あるいは第 1 世代の雌子孫が産卵しても、それらの卵はふ化しなかった (詳細は MATSUDA et al., 2013 を参照)。このことから、カンザワハダニとニセカンザワハダニの各々のクレードに属する個体群間には、明確な生殖的隔離の存在が示された。これらの結果は、カンザワハダニとニセカンザワハダニには、形態では区別できないが、生殖的に隔離されていて、かつ遺伝的に分化している隠蔽種が存在する可能性を示唆している。

4 ナミハダニと *Tetranychus turkestanii*

ナミハダニとその近縁種である海外産の *T. turkestanii* は、COI 遺伝子による系統樹で単系統にならず、同一のクレードに混在した。上述のカンザワハダニとニセカンザワハダニは、それぞれ二つのクレードに分岐したものの、同一のクレードに 2 種が混在することはなかったため識別が可能であるとみなすと、供試した 86 種のうち、ナミハダニと *T. turkestanii* のみが、COI 遺伝子による識別ができないという結果になった。ただし、これら 2 種は、rDNA の internal transcribed spacer 2 (ITS2) 領域で識別できることがわかっている (NAVAJAS and BOURSOT, 2003)。

5 ハダニの DNA バーコーディング

COI 遺伝子による系統樹において、供試した 86 種中

84 種を他種と明確に識別できたことから、ハダニにおいても DNA バーコーディングが有効であることが示された。実際に、種名のわからないハダニの COI 遺伝子の塩基配列を決定して、本研究の塩基配列データとともに系統樹を推定して識別した結果と形態による同定結果を照合させると、高い精度で一致することを確認している。当然、塩基配列が得られていない種や隠蔽種について正確な識別をすることはできないが、少なくとも近縁種の候補を絞り込むことはできる。今後も、海外産の種を含むより多くの種の証拠標本と塩基配列を収集することで、さらに汎用性の高いデータベースの構築を進めると同時に、COI 遺伝子以外のハダニの種の識別に有効な遺伝子領域を探索する必要がある。

II DNA 塩基配列を用いた系統関係の推定

1 従来の形態による分類および系統仮説と分子系統関係

ハダニは、胴部の皮膚条線の走り方 (縦走または横走)、周気管末端部の構造、胴背毛や脚毛の数と長さ、歩行器官である爪間体、そして挿入器等の形態に基づいて分類されている。これらのなかでも爪間体は、属への分類に用いられている形質であるため、特に重要視されている。GUTIERREZ and HELLE (1985) は、属を特徴づける形質である爪間体は系統をよく反映している形質であるとして、爪間体と側肛毛の形質に基づくナミハダニ亜科の系統仮説を示した。一方、分子情報によるナミハダニ亜科の系統関係は、NAVAJAS et al. (1996) による mtDNA の COI 遺伝子を用いた研究が初めてであり、その後、BEN-DAVID et al. (2007) が rDNA の ITS2 領域、ROS and BREEUWER (2007) が COI 遺伝子による系統関係を報告している。しかし、いずれの系統樹においても、分岐の信頼度をあらわすブートストラップ値が低いため、属間の系統関係を明らかにすることはできなかった。したがって、これらの先行研究の結果を、形態による分類や系統仮説の検証に用いるのは望ましくないと考えられる。

2 rDNA の 18S 領域と 28S 領域に基づく系統関係の推定

先行研究と同様に、筆者らが種の識別を目的として推定した COI 遺伝子の系統樹 (図-1) においても、属間の系統関係を明らかにすることはできなかったため、精度の高いナミハダニ亜科の系統樹を推定するためには、他の DNA 領域や遺伝子を検討する必要があった。そこで、ハダニ科 15 属 88 種の rDNA の 18S 領域と 28S 領域の塩基配列を決定し、ビラハダニ亜科を外群として、

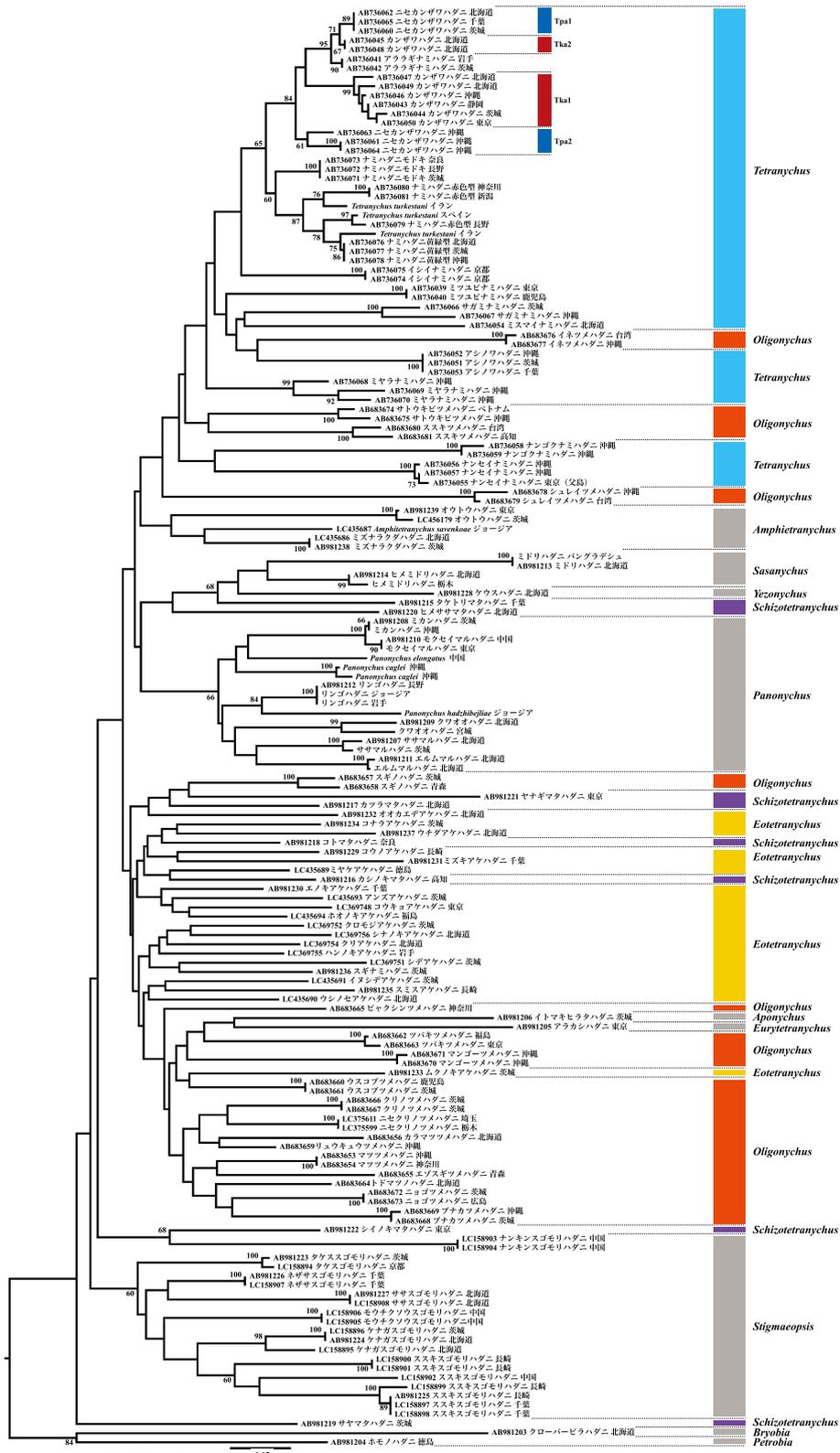


図-1 ミトコンドリア DNA の COI 遺伝子 (318 bases) の塩基配列に基づいて、近隣結合法により推定した系統樹

OTU (Operational Taxonomic Unit) は、国際塩基配列データベースに登録済の個体群の場合は、アクセッション番号、和名および採集地を示し、未登録の個体群の場合は、和名と採集地を示した。属名の左に示したバーは、単系統にならなかった属を色分けして示し、その他の属をグレーで示した。ブートストラップ値 (1,000 反復) が 60 以上の場合のみ、分岐に値を示した。

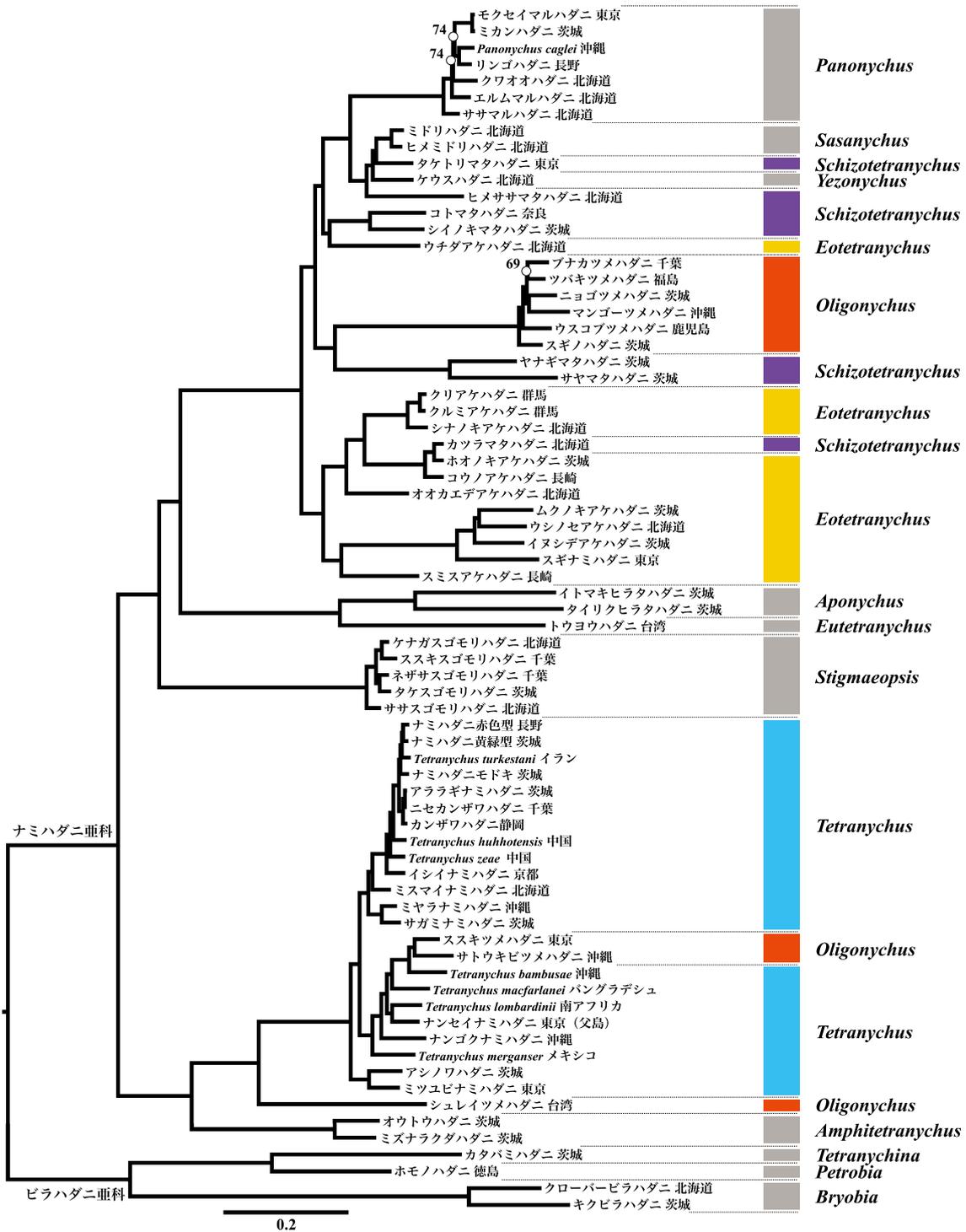


図-2 核タンパク質コード遺伝子 (652 個, 790,047 bases) の塩基配列に基づいて、最尤法により推定した系統樹 (MATSUDA et al., 2018 を改変)

OTU (Operational Taxonomic Unit) は、和名および採集地で示し、属名は系統樹の右側に示した。トランスクリプトームデータは、DDBJ Sequence Read Archive (アクセス番号: DRA007145) に登録した。属名の左に示したバーは、単系統にならなかった属を色分けして示し、その他の属をグレーで示した。三つを除くすべての分岐のブートストラップ値 (100 反復) が 100 であったため、100 ではない場合のみ、分岐に白丸と値を示した。

ナミハダニ亜科内の系統関係を推定した (MATSUDA et al., 2014)。その結果、COI 遺伝子による系統樹よりも分岐の信頼度が高い系統樹を推定することができた。供試した 15 属中 4 属 (*Schizotetranychus* 属, *Eotetranychus* 属, *Oligonychus* 属, および *Tetranychus* 属) が単系統にならなかったことから、形態の類似性によって分類されている属が、分子系統樹では必ずしも単系統にならないことが示された。ただし、ブートストラップ値の低い分岐があるため、一部の属の明確な系統的位置を明らかにすることはできなかった。

3 トランスクリプトームデータに基づく系統関係の推定

次世代シーケンサーが生命科学の様々な分野に普及したことにより、従来よりも低コストで、かつ効率的に DNA 塩基配列を解読できるようになった。トランスクリプトーム解析 (RNA-Seq; 全転写産物解析) は、主に遺伝子発現プロファイリングを目的として行われるが、ゲノム解析よりもコストを抑えて実施できることから、複数の種のオーソログ配列を必要とする非モデル生物の分子系統解析にも適している。筆者らは、より精度の高い系統関係を推定することを目的として、ハダニ科 14 属 72 種のトランスクリプトーム解析を行った。さらに、トランスクリプトームデータから得られた核タンパク質コード遺伝子 652 個に基づいて、ピラハダニ亜科を外群としてナミハダニ亜科内の系統関係を推定した (MATSUDA et al., 2018)。その結果、rDNA による系統樹と矛盾せず、かつほぼすべての分岐が高いブートストラップ値で支持される系統樹を推定できたことから、ナミハダニ亜科の属間の系統関係を明確に示すことができた (図-2)。例えば *Oligonychus* 属は、挿入器の曲がる方向 (背側と腹側) と一致する二つのクレードに明確に分岐し、挿入器が背側に曲がる種は、同じく挿入器が背側に曲がる *Tetranychus* 属と同じクレードに属した。したがって、二つのクレードに所属する種は、同じ *Oligonychus* 属であっても、互いに遠縁な関係にあることが示された。また、*Schizotetranychus* 属と *Eotetranychus* 属は、それぞれ他属の種とともにクレードを形成し、多系統となった。*Schizotetranychus* 属は、五つのクレードに分岐し、そのうち二つのクレードには、*Sasanychus* 属, *Yezonychus* 属, そして *Eotetranychus* 属の種が含まれた。一方 *Eotetranychus* 属は、ウチダアケハダニ *E. uchidai* Ehara を除くすべての種が *Schizotetranychus* 属のカツラマタハダニ *S. cercidiphylli* Ehara と同じクレードに属した。なお、ウチダアケハダニの位置づけは、系統樹の推定法、あるいは用いるデータセットによって異なった (詳細は

MATSUDA et al. (2018) を参照)。本種の系統的位置づけを明らかにするためには、海外産の種を含むできるだけ多くの *Schizotetranychus* 属と *Eotetranychus* 属を入手して、再度分子系統関係を推定する必要がある。

4 形態による分類および系統仮説と分子系統関係の比較

上述の通り、ナミハダニ亜科の分子系統関係は、形態に基づいて設定された属が必ずしも単系統にならないことを示しており、GUTIERREZ and HELLE (1985) による爪間体と側肛毛の形態形質に基づく系統仮説とは、大きく食い違っていた。つまり、従来からハダニの属への分類において重要視され、ナミハダニ亜科の系統をよく反映していると考えられてきた爪間体の形質が、系統を反映していない非相同な形質であることが示唆された。したがって、系統上の近縁性を反映した分類体系を目指すのであれば、ナミハダニ亜科の属への分類は再検討されるべきであろう。今後は、外部形態の分析を詳細に行い、本研究で示された系統上の近縁性を反映している形態形質を抽出する必要がある。

おわりに

近年、分類学者の減少が危惧されており、ダニ類においても例外ではない。したがって、ハダニ科の広範囲にわたる種について、分類学者によって同定された証拠標本とその塩基配列データを紐付けて管理することの重要性はますます高まるものと考えられる。本稿で扱ったサンプルは、同一の個体群から標本用の個体と DNA 分析用の個体をそれぞれ別に取得したが、最近では 1 個体のハダニから、標本と DNA の両方を取得できる方法も開発されている (SAKAMOTO and GOTOH, 2017)。また、筆者らが取得した塩基配列は、国際塩基配列データベース (DDBJ/EMBL/GenBank) や Sequence Read Archive (DRA/ERA/SRA; 次世代シーケンサーで得られたデータの公共データベース) に登録されており、文献に記載されたアクセス番号を検索することで、誰でも利用できる。アクセス番号には、茨城大学農学部応用動物昆虫学研究室で保管している証拠標本番号を紐付けているため、必要に応じて標本にアクセスすることも可能である。これらが種の識別や分子系統解析だけでなく、様々な研究分野に広く活用されることを期待したい。

引用文献

- 1) ARABULI, T. and T. GOTOH (2018): *Zootaxa* **4378**: 563~572.
- 2) ——— et al. (2019): *PLoS ONE* **14**: e0221951.
- 3) BEN-DAVID, T. et al. (2007): *Exp. Appl. Acarol.* **41**: 169~181.

- 4) 江原昭三・後藤哲雄 (2009): 原色植物ダニ検索図鑑, 全国農村教育協会, 東京, p.204~222.
- 5) GOTOH, T. and T. ARABULI (2019): *Zootaxa* **4555**: 1~27.
- 6) GUTIERREZ, J. and W. HELLE (1985): *Spider Mites: Their Biology, Natural Enemies and Control*: 1A. Elsevier, Amsterdam, p.91~107.
- 7) HEBERT, P. D. N. et al. (2003 a): *Proc. R. Soc. Lond. B* **270**: 313~321.
- 8) ———— et al. (2003 b): *ibid.* **270**: S96~S99.
- 9) MATSUDA, T. et al. (2012): *J. Econ. Entomol.* **105**: 1043~1050.
- 10) ———— et al. (2013): *ibid.* **106**: 463~472.
- 11) ———— et al. (2014): *PLoS ONE* **9**: e108672.
- 12) ———— et al. (2018): *ibid.* **13**: e0203136.
- 13) MIGEON, A. and F. DORKELD (2006~2019): *Spider Mites Web: a comprehensive database for the Tetranychidae*, Available from, <http://www.montpellier.inra.fr/CBGP/spmweb> (Accessed 1/XII/2019)
- 14) NAVAJAS, M. and P. BOURSOT (2003): *Proc. R. Soc. Lond. B* **270**: S124~S127.
- 15) ———— et al. (1996): *Bull. Entomol. Res.* **86**: 407~417.
- 16) OHASHI, K. et al. (2009): *J. Acarol. Soc. Jpn.* **18**: 29~31.
- 17) OHNO, S. et al. (2011): *J. Asia Pac. Entomol.* **14**: 281~284.
- 18) ROS, V. I. D. and J. A. J. BREEUWER (2007): *Exp. Appl. Acarol.* **42**: 239~262.
- 19) SAKAMOTO, H. and T. GOTOH (2017): *Appl. Entomol. Zool.* **52**: 661~665.
- 20) ———— et al. (2017): *Syst. Appl. Acarol.* **22**: 91~101.

新しく登録された農薬 (2020.1.1~1.31)

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

「殺虫剤」

●テトラニリプロール水和剤

24317：ヨーバルフロアブル（バイエル）20/1/29

テトラニリプロール：18.2%

きゅうり：コナジラミ類、アザミウマ類：収穫前日まで

メロン：アブラムシ類、コナジラミ類：育苗期後半～定植当日

メロン：アブラムシ類、コナジラミ類、ハモグリバエ類：収穫前日まで

すいか：アブラムシ類、コナジラミ類：育苗期後半～定植当日

すいか：アブラムシ類、コナジラミ類、ハスモンヨトウ：収穫前日まで

なし：ハマキムシ類、シンクイムシ類：収穫前日まで

もも：シンクイムシ類、モモハモグリガ：収穫前日まで

ぶどう：ハマキムシ類：収穫7日前まで

かき：カキノヘタムシガ：収穫前日まで

りんご：ハマキムシ類、シンクイムシ類、ギンモンハモグリガ、キンモンホソガ、ヒメボクトウ：収穫前日まで

小粒核果類（すももを除く）：ケムシ類：収穫前日まで

すもも：ケムシ類、シンクイムシ類：収穫前日まで

おうとう：ハマキムシ類、オウトウショウジョウバエ：収穫前日まで

キャベツ：コナガ、アオムシ、ネキリムシ類、ハイマダラノメイガ、ハスモンヨトウ、アブラムシ類、ネギアザミウマ：育苗期後半～定植当日

キャベツ：コナガ、アオムシ、ウワバ類、ハイマダラノメイガ、ヨトウムシ、ハスモンヨトウ、オオタバコガ、アブラムシ類、アザミウマ類：収穫前日まで

はくさい：コナガ、アオムシ、ハイマダラノメイガ、ヨトウムシ、ハスモンヨトウ、アブラムシ類：育苗期後

半～定植当日

はくさい：コナガ、アオムシ、ハイマダラノメイガ、ヨトウムシ、ハスモンヨトウ、オオタバコガ、アブラムシ類：収穫前日まで

ブロッコリー：コナガ、アオムシ、ハイマダラノメイガ、ハスモンヨトウ、アブラムシ類：育苗期後半～定植当日

ブロッコリー：コナガ、アオムシ、ハイマダラノメイガ、ヨトウムシ、ハスモンヨトウ、アブラムシ類：収穫前日まで

非結球あぶらな科葉菜類：コナガ：収穫前日まで

いちご：ハスモンヨトウ、オオタバコガ：収穫前日まで

ねぎ：ネギアザミウマ、ハモグリバエ類：育苗期後半～定植当日

ねぎ：シロイチモジヨトウ、ネギコガ、ハモグリバエ類、アブラムシ類：収穫3日前まで

レタス：ヨトウムシ、ハスモンヨトウ、オオタバコガ、ハモグリバエ類、アブラムシ類：育苗期後半～定植当日

レタス：ウワバ類、ヨトウムシ、ハスモンヨトウ、オオタバコガ、ハモグリバエ類、アブラムシ類：収穫前日まで

非結球レタス：ヨトウムシ、ハスモンヨトウ、オオタバコガ、ハモグリバエ類、アブラムシ類：育苗期後半～定植当日

非結球レタス：ウワバ類、ヨトウムシ、ハスモンヨトウ、オオタバコガ、ハモグリバエ類、アブラムシ類：収穫前日まで

えだまめ：マメシンクイガ、ウコンノメイガ、ハスモンヨトウ：収穫前日まで

だいず：マメシンクイガ、ウコンノメイガ、ハスモンヨトウ：収穫7日前まで

(23 ページに続く)

研究報告

国内市販品種からのトマト葉かび病菌レース検定用固定系統の作出

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
野菜花き研究部門

窪田 まさ春

はじめに

トマトの葉かび病は、葉に黄斑が形成され、その葉裏にカビを生じる病害であり、主に施設栽培で発生する。病斑が多数形成されると、光合成が抑えられて、生産量が低下する被害となる病害である。このトマト葉かび病に対しては、真性抵抗性遺伝子が知られており、国内市販品種にも *Cf-2*, *Cf-4*, *Cf-5*, *Cf-9* の 4 種類が導入されている (窪田, 2009; KUBOTA et al., 2015)。しかし、同病原菌の変異によりレース分化が進み、各抵抗性遺伝子を持つ品種を侵す菌株がまん延している (IIDA et al., 2015)。各産地や施設において抵抗性品種を用いて葉かび病菌を防除しようとする場合、そこで発生しているレースを把握して、適切な抵抗性遺伝子を持った品種を選択する必要がある。また、レース判別によって抵抗性が無効であると判断される場合には、品種の抵抗性以外の適切な防除手段が必要となる。これまでは、このレース判別には海外産の入手困難な品種群が用いられ (窪田, 2009)、国内の公的機関では国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 (以下、農研機構) 野菜花き研究部門のみが行ってきた。現在、国内においても葉かび病菌の多様なレースが発生しており (IIDA et al., 2015)、各産地等においてレース判別を求められる場面が増加している。これに対応するためには、産地に近い

公設試などで広く使用でき、少なくとも国内既導入の抵抗性遺伝子に対応するレースを判別できるトマト系統が必要である。このレース判別用の系統は、遺伝的に固定され、公設試などの各機関で自家採種・増殖でき、維持可能なことが望ましい。そこで、国内の市販品種を基に、上記の性質を持つ系統を作出したので紹介する (窪田・飯田, 2019)。本研究の一部は、農林水産省平成 23~26 年度発生予察の手法検討委託事業で行われた。

I 固定系統の作出

抵抗性遺伝子 *Cf-2* を持つと考えられる市販品種‘サターン’、*Cf-4* を持つ‘桃太郎ファイト’、*Cf-5* と *Cf-9* を持つと考えられる‘麗容’、*Cf-9* を持つ‘フルティカ’から自殖を 8 回繰り返して各系統を作出した (図-1) (窪田, 2009; KUBOTA et al., 2015; 窪田・飯田, 2019)。トマトの染色体は 12 本であり、理論的には自殖を 8 回繰り返すと、ヘテロ染色体の確率が 5% 未満となる。この自殖繰り返しの過程の中で、*Cf-2* を固定するための‘サターン’由来の後代の各世代ではレース 4.9.11, *Cf-4* の‘桃太郎ファイト’後代の各世代ではレース 2.9, *Cf-5* の‘麗容’後代の各世代ではレース 4.9.11, *Cf-9* の‘フルティカ’後代の各世代ではレース 2.4 に抵抗性を示した各 1 個体を選抜し、その個体について自殖・採種して次の世代を得た。‘サターン’後代では自殖第 4 世代で、上述のレース

抵抗性 遺伝子	検定 レース	市販品種 (F1)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8						
			R : S 選抜系統No.	系統												
<i>Cf-2</i>	4.9.11	サターン	19:7	17	22:7	17-05	22:6	17-05-07	24:0	17-05-07-10	32:0	17-05-07-10-09	20:0	17-05-07-10-09-07	29:0	NIVFS-Cf-2
<i>Cf-4</i>	2.9	桃太郎ファイト	19:15	02	30:0	02-16	24:0	02-16-18	27:0	02-16-18-11	27:0	02-16-18-11-12	25:0	02-16-18-11-12-11	21:0	NIVFS-Cf-4
<i>Cf-5</i>	4.9.11	麗容	15:3	14	30:0	14-05	30:0	14-05-01	27:0	14-05-01-07	23:0	14-05-01-07-18	20:0	14-05-01-07-18-01	16:0	NIVFS-Cf-5
<i>Cf-9</i>	2.4	フルティカ	22:4	20	26:0	20-01	16:0	20-01-01	8:0	20-01-01-06	30:0	20-01-01-06-11	35:0	20-01-01-06-11-02	30:0	NIVFS-Cf-9

図-1 トマト葉かび病抵抗性遺伝子を持った市販品種からの自殖世代更新によるレース判別系統の作出

市販 F1 品種から自殖を繰り返して、各抵抗性遺伝子を固定した系統 (S8 : 自殖第 8 世代) を作出する。S : 各自殖世代, R:S : 検定レース菌株を用いた接種試験による抵抗性 : 罹病個体比, 選抜系統 No. : 各世代で選抜した抵抗性 1 系統 (個体), Cf-9 脱 : PCR-RFLP による *Cf-9* 脱落の確認, S7 の任意個体からの自殖世代をレース検定用系統とする。

Tomato Fixed Lines for Identifying Races of the Leaf Mold Pathogen. By Masaharu KUBOTA

(キーワード : トマト葉かび病, レース検定, 固定系統)

4.9.11 を用いた抵抗性検定において全個体が抵抗性を示し、*Cf-2* がホモに固定されたと考えられた。同様に、‘桃太郎ファイト’、‘麗容’、‘フルティカ’の後代では、いずれも自殖第2世代で各抵抗性遺伝子が固定されたと考えられた。‘麗容’は、*Cf-5* のほかに *Cf-9* も持つと考えられているが (KUBOTA et al., 2015), PCR-RFLP による *Cf-9* のマーカーを用いた試験により (福田ら, 2012), 自殖第5世代以降における *Cf-9* の脱落が確認された。

このように各抵抗性遺伝子を固定した自殖第6世代までを選抜し、その自殖種子を第7世代とし、その第7世代での抵抗性を検定・確認し、さらに任意の個体から自殖・採種して増殖させた系統を、それぞれ「NIVFS-

Cf2」, 「NIVFS-*Cf4*」, 「NIVFS-*Cf5*」, 「NIVFS-*Cf9*」の各系統とした。

作出されたこれらの系統にレース既知のトマト葉かび病菌 89 菌株を接種したところ、各菌株に対して、それぞれの抵抗性遺伝子に対応した罹病・抵抗性の反応が示されたことから、これらの系統群が同菌のレース判別に用いることができると考えられた (表-1)。

II レース検定

レース検定のための罹病・抵抗性の判定は、通常のトマト葉かび病の接種条件で行える。同病の発病適温は 20~25℃ であり、おおむね 15~30℃ の温度条件で、葉

表-1 作出系統にトマト葉かび病菌各レースを接種した場合の発病の有無

レース	接種 菌株数	系統				
		ポンテローザ	NIVFS- <i>Cf2</i>	NIVFS- <i>Cf4</i>	NIVFS- <i>Cf5</i>	NIVFS- <i>Cf9</i>
0	18	●	×	×	×	×
2	14	●	●	×	×	×
2.4	2	●	●	●	×	×
2.4.11	2	●	●	●	×	×
2.5.9	1	●	●	×	●	●
2.9	21	●	●	×	×	●
4	12	●	×	●	×	×
4.5.9	2	●	×	●	●	●
4.9	17	●	×	●	×	●
4.9.11	2	●	×	●	×	●
4.11	6	●	×	●	×	×
9	1	●	×	×	×	●

● : 発病あり, × : 発病なし, ポンテローザ : 抵抗性遺伝子を持たない固定品種.

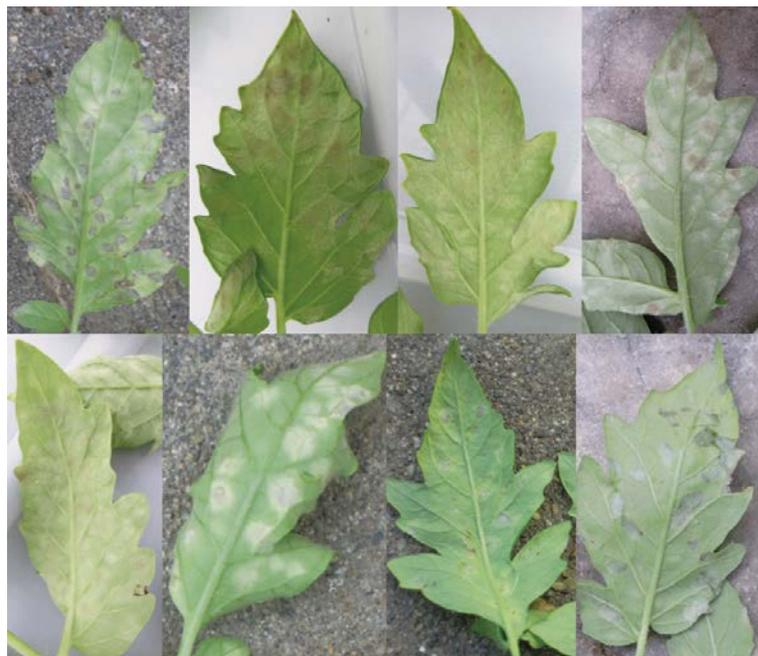


図-2 親和性菌株による異なる病徴 (原図: 窪田・飯田, 2019)



図-3 「NIVFS-Cf4」における非親和性菌株による偽病斑の例
(原図：窪田・飯田，2019)
左写真：黄斑（左：葉表，右：裏），右写真：葉裏の白斑。

裏への噴霧接種直後の2日間ほどは湿室に保ち、その後、極端に乾燥しない条件ならば、接種11日後以降に病徴が現れる。第1, 2本葉では本病の病斑が明瞭でなく、分生子形成も不良であるため、接種試験には第3本葉以上が展開した苗を用いる。菌株により、現れる病徴の形状や発病のタイミングが異なるので(図-2)、レース検定時には、「ポンテローザ」などの抵抗性遺伝子を持たない品種を罹病性の対照として比較に用いる。

「NIVFS-Cf4」では、非親和性菌株の接種によって、葉に黄～白色の、分生子形成を伴わない偽病斑が形成される場合がある(図-3)。この場合、病斑の形状を罹病性品種のものと十分比較するとともに、葉裏での病斑上の分生子形成、すなわちカビの発生の有無を慎重に確認する必要がある。海外では、トマト葉かび病に対する真性抵抗性遺伝子 *Cf-4E* が *Cf-4* の近傍に座乗して連鎖するとされているが、「NIVFS-Cf4」では *Avr4* 変異型・*Avr4E* 野生型の菌株接種により発病したことから、当系統は *Cf-4E* を持たないと考えられる。

今回、作出された系統群は、トマト葉かび病に対する真性抵抗性遺伝子として既報の *Cf-4E*, *Cf-6*, *Cf-11*, *Cf-19* を持たないため、これらの抵抗性遺伝子に対応するレースの検定はできない。*Cf-6*, *Cf-11*, *Cf-19* は生産栽培用の市販品種には未導入である(窪田, 2009; ZHAO et al., 2016)。また、国内に発生した多数のトマト葉かび病菌の *Avr* 遺伝子型の調査結果から、国内の *Cf-4* を持つ品種の多くは *Cf-4E* を保有していないと思われる(IDA et al., 2015)。そのため、国内においては、抵抗性品種の利用も含めた防除の観点からは、今回作出された系統群によって検定できるレースの確認が必要十分と

思われる。

おわりに

今回作出された系統の種子は農研機構 野菜花き研究部門から配布が可能である。育種への利用や再配布の禁止、不足分は自家採種するなどの条件は、配布手続き時に送られる書類の記載に従うものとする。

これまで、国内では *Cf-2*, *Cf-4* を侵すレースが、それぞれ1990年代, 2000年代にまん延し(窪田, 2009)、現在は *Cf-9* を侵すレースの発生が拡大している(IDA et al., 2015)。この *Cf-4* や *Cf-9* を侵すレースは、これらの抵抗性遺伝子を持つ品種が導入されて2, 3年で発生しており(SATOU et al., 2005; ENYA et al., 2009)、単一抵抗性遺伝子を持つ品種の利用による葉かび病の防除は困難である。一方, *Cf-5* と *Cf-9* の二つの抵抗性遺伝子を持つと考えられる「麗容」の場合、導入以降10年程度は当品種を侵すレースの出現が認められず(KUBOTA et al., 2015)、比較的抵抗性が長く維持された。しかし、「麗容」を侵す二つのレースがほぼ同時に現れ、一方は *Cf-2*, *Cf-5*, *Cf-9* の三つの抵抗性遺伝子、もう一方は *Cf-4*, *Cf-5*, *Cf-9* の3遺伝子による抵抗性を侵せるレースであった(KUBOTA et al., 2015)。また、これまでに見つかっている *Cf-9* を侵すレースのほとんどは *Cf-2* または *Cf-4* を同時に侵せる遺伝子型であり(IDA et al., 2015)、抵抗性品種のみによる葉かび病の防除は、さらに難しくなっている。

しかし、農業生産現場における環境負荷低減のためにも、抵抗性品種を有効に利用することは今後も必要であり、適切な品種を選択するため、あるいは品種抵抗性の利用以外の防除対策要否の判断のために、ここで紹介したトマト葉かび病菌レース判別用系統群が有効に利用されることを期待する。

引用文献

- 1) ENYA, J. et al. (2009): J. Gen. Plant Pathol. 75: 76~79.
- 2) 福田至朗ら (2012): 愛知農総試研報 44: 1~6.
- 3) IDA, Y. et al. (2015): Plos One 10: e0123271.
- 4) 窪田昌春 (2009): 植物防疫 63: 357~360.
- 5) ———・飯田祐一郎 (2019): 関西病虫研報 61: 55~60.
- 6) KUBOTA, M. et al. (2015): J. Gen. Plant Pathol. 81: 320~323.
- 7) SATOU, M. et al. (2005): ibid. 71: 436~437.
- 8) ZHAO, T. et al. (2016): BMC Plant Biol. 16: 51.

研究報告

千葉県南房総地域におけるチャバネアオカメムシの発生量予測とメタアナリシスを用いたビワ二重果実袋の被害抑制効果の評価

千葉県農林総合研究センター 暖地園芸研究所 生産環境研究室 しみず 清 みづ 水 けん 健*

はじめに

チャバネアオカメムシ *Plautia stali* Scott は果樹類の果実を吸汁加害する重要害虫である (図-1 左)。本種は1970年代からしばしば全国的に多発し甚大な被害を及ぼしているが、多発して果樹に多大な被害を与える年がある一方、ほとんど発生しない年があり、その発生数の年次変動は極めて大きい (守屋, 1995)。

千葉県は、全国第2位、年間約8億円 (平成29年) を出荷するビワの産地であり、そのほとんどが南房総地域で生産される。ビワは主に5~6月に収穫されるが、越冬後に活動を始めたチャバネアオカメムシを主とした果樹カメムシ類の成虫によって吸汁被害を受ける (図-1 右, 下)。チャバネアオカメムシは広葉樹林の落葉中で成虫越冬するが (守屋・志賀, 1986)、ビワ園は落葉が豊富な山林内に立地することが多いため、越冬場所から離脱した成虫の被害を受けやすい。実際、地域におけるチャバネアオカメムシの発生量とビワの反収との間には負の相関関係が見られる (図-2)。そのため、翌年の越冬成虫の発生量を早期に予測し、特に発生が多いと予測された年には、殺虫剤や他の防除資材の手配等の防除対策を講じることが重要である。

千葉県ではチャバネアオカメムシの生態に基づいて発生量予測モデルを開発するとともに、二重構造の果実保護袋によるカメムシ被害の抑制効果について評価試験を行い、ビワにおけるカメムシ被害を防ぐための技術を開発した。本稿ではその一部を紹介する。

I チャバネアオカメムシの生態

千葉県におけるチャバネアオカメムシのおおまかな生

Prediction of the Abundance of *Plautia stali* and a Meta-analysis of the Damage Suppression Effect of a Double-layer Fruit Protection Bag on Loquat. By Ken SHIMIZU

(キーワード: チャバネアオカメムシ, スギ雄花生産量, 発生量予測, ビワ, 二重果実袋, メタアナリシス)

*現所属: 同センター 病理昆虫研究室

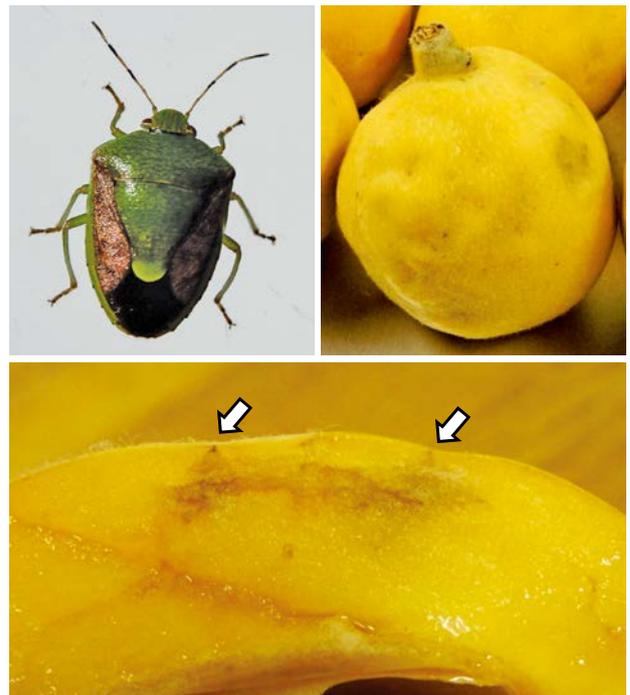


図-1 チャバネアオカメムシ雌成虫 (左) と吸汁加害を受けたビワ果実外観 (右) および吸汁痕の断面 (下・矢印)

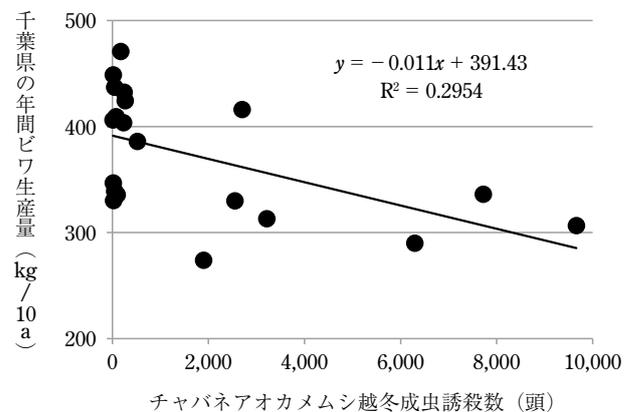


図-2 ある年の越冬成虫 (4~7月に誘殺) の誘殺数の平均値とその年のビワの生産量には負の相関が認められる。OHTANI et al. (2017) を改変。

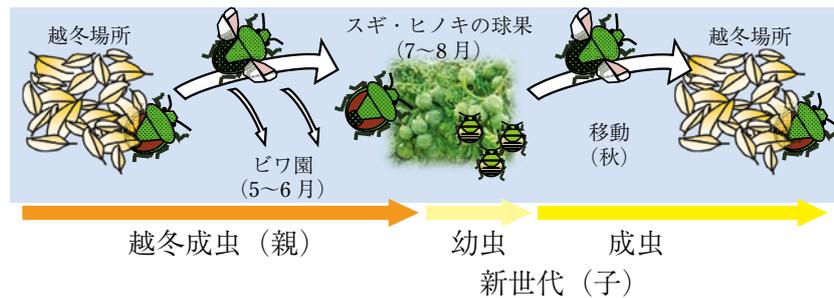


図-3 チャバネアオカメムシの生活環

越冬場所から離脱した越冬成虫は5～6月にビワ園へ飛来して果実を加害する。その後、スギやヒノキの球果が充実するとそれを餌に性成熟して繁殖する。生まれた次世代も同様に球果を餌に生長し、その後、秋になると再び越冬場所へと移動する。

生活環を図-3に示す。成虫は山林の落葉下で越冬し、春になると移動を始め、5～6月ごろにビワ園に飛来して果実を加害する。しかしここでは繁殖はせず、その後、スギやヒノキ等の針葉樹球果内の種子が成熟するのを待ち、それを餌として7～8月ごろに産卵する。越冬成虫は繁殖を終えるとほとんど死んでしまう。卵からかえった幼虫は7～8月に、球果内の種子を餌として発育し、おおむね8月以降に新成虫として羽化する。羽化した新成虫は秋が深まるにつれて再び落葉下へと移動して越冬し、翌年に再び発生する。新世代成虫は第1世代だけでなく第2世代以降の発生があると考えられる報告もあるが(守屋, 1995; 森下ら, 2001), ここでは越冬した親世代と子(孫)世代が同じ餌資源をめぐる対立する関係にあるという点が重要である。

II チャバネアオカメムシの発生量予測と従来の予測モデルにおける盲点

我が国におけるチャバネアオカメムシの発生量予測に関する研究は多く、それらの多くでは、本種の繁殖の際の餌資源となるスギ *Cryptomeria japonica* D. Don およびヒノキ *Chamaecyparis obtusa* Endl. の球果の豊凶が翌年の発生量に関与することが報告されている(森下ら, 2007)。球果の生産量が多い年には多くの新世代成虫が羽化し、これが翌年の越冬成虫となって多発生するというわけだ。なお、広域な調査域で球果量を把握することは困難であるため、花粉症対策として各地で実施されている針葉樹の花粉飛散量を球果結実量の指標として果樹カメムシ類の発生量を予測する試みが広く行われ、成果を上げている(森下ら, 2001)。花粉の飛散が多い年には、より多く球果が結実するという相関関係があるためである。

しかし、チャバネアオカメムシの発生量予測の精度を向上させるためには、花粉飛散量以外の要因も考慮する必要がある。例として、果樹カメムシ類が多発生する際

には、昆虫全般に見られる密度効果が強く働き、同世代内または世代間で餌資源を巡る競争が激化することが予想される(OHTANI et al., 2017)。特にチャバネアオカメムシでは、先述のように成虫と幼虫が同じ餌資源を利用するため、越冬成虫が先に餌を利用してその資源価値を下げてしまうと、その後に発生する新世代の幼虫は大きな負の影響を被る。餌の摂取を制限された本種幼虫では、体サイズが小さくなるなどの悪影響が現れることも室内試験において確認されている(Toyama et al., 2013)。また、本種は年間の発生世代数が限られているため(Numata and Nakamura, 2002)、越冬成虫の発生量と新成虫(=翌年の越冬成虫)の発生量は負の相関を示す可能性が高い。したがって、餌資源量(正の要因)と越冬成虫の発生量(負の要因)の両方を考慮した解析によって、より精度の高い予測が可能になると期待される。

III スギ雄花生産量とフェロモントラップ誘殺数から翌年の発生量を予測する

そこで、千葉県南房総地域において、集合フェロモントラップを利用して本種の発生量を調査するとともに、スギ花粉飛散量の指標となるスギ雄花生産量を平成10年から調査した(調査は現在も継続中である)。南房総地域の3地点(図-4)にチャバネアオカメムシ用合成フェロモン(サンケイ化学株式会社製)をルアーとした水盤式トラップを設置し、4～11月まで毎週2回ずつ、誘殺された個体数を計数した。多発生年の7月ともなると、1箇所のトラップに一晩で1,000頭を超えるチャバネアオカメムシ成虫が誘殺されることもある(図-5)。スギ雄花生産量については、毎年11～12月、南房総地域の3箇所の調査林分(図-4)においてそれぞれ40個体のスギの雄花の着生状況から着花指数を算定し、その値を別途調査したスギ雄花の乾燥重量調査の結果と照らし合わせて(OHTANI et al., 2017)、翌年の雄花生産量推定値

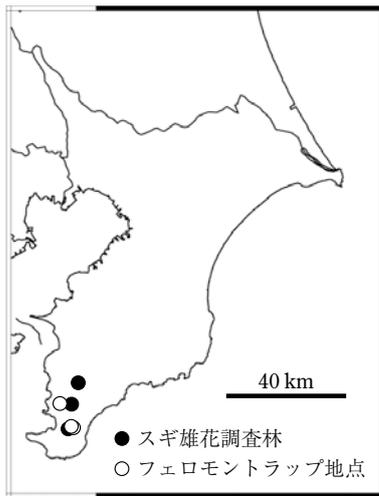


図-4 スギ雄花着生量調査林分とフェロモントラップ調査地点
OHTANI et al. (2017) を改変。

(g/m^2) を算出した (図-6a)。

4~7月にかけてフェロモントラップに誘殺されたチャバネアオカメムシ成虫を越冬成虫と見なして解析した結果、ある年の越冬成虫の誘殺数は非常に多い年と非常に少ない年との差が激しいこと、そして、おおむね前年のスギ雄花生産量の増減を追うように発生量が変化することが明らかとなった (図-6b)。一方で、前年のスギ雄花生産量を参考にしただけでは翌年の越冬成虫の発生量を完全には予測することができず、雄花生産量が同じくらいの年であっても、それぞれの翌年の越冬成虫の誘殺数は大きく異なる場合が散見された。

そこで、ある年のチャバネアオカメムシの越冬成虫の発生量 (Z 頭) を予測するために、負の要因である前年の越冬成虫の発生量 (X 頭) と、正の要因であるスギ雄花生産量 ($Y \text{ g}/\text{m}^2$) とを組み込んだ「重回帰モデル」を作成し、予測の有効性を検証した。その結果、以下の予測式によって、本種の越冬成虫発生量の増減がうまく説明されることが明らかとなった。

$$\log Z = a \log X + b Y + c$$

ここで c は定数、 a と b がそれぞれの要因の効果の大きさを示す「重回帰係数」である。予想通り、毎年更新されたすべての予測モデルにおいて、 a は負の値を、 b は正の値を示し、その傾向が有意であることが統計的に示された (OHTANI et al., 2017)。南房総地域のビワ産地では、この越冬成虫の誘殺数が 100 頭未満の年には果実被害がほとんど発生せず、反対に 1,000 頭を超える年には被害が発生する園が多くなることが知られている。そこで



図-5 フェロモントラップに誘殺された果樹カメムシ類
チャバネアオカメムシだけでなく、ツヤアオカメムシ、クサギカメムシも誘殺される。

「来年は 100 頭未満の少発生年か、1,000 頭以上の多発生年か」を事前を知ることが求められる。この予測モデルの精度は非常に高く、これまでチャバネアオカメムシ越冬成虫の少発生年と多発生年の予測を見事的中させている (図-6c)。

IV ビワにおけるカメムシ類に対する物理的防除 「ビワ二重果実袋」

このモデルを用いて発生量の予測を行う際、変数「スギ雄花生産量」は毎年 1 月には算出が完了し、変数「チャバネアオカメムシの当年の誘殺数」は毎年 7 月に計測が完了するため、毎年 8 月には翌年の予測値が出力される。この時期は十分に早く、たとえ翌年に多発生が懸念されたとしても防除手段を調えるには十分な時間的余裕がある。しかし一方で、南房総地域における多くのビワ園は傾斜の急な山の斜面に位置するため、もともと殺虫剤散布が難しく、殺虫剤を準備する時間はあっても、そもそも散布機材を持たない生産者も多い。文字通り「農薬に頼らない防除手段」が必要とされている。そこで千葉県では、ビワ栽培において使用される「果実袋」に着目し、その種類とカメムシ被害抑制効果について検証試験を進めた。

ビワは外果皮が弱く、傷つき易い果物であるため、生産者は風擦れや日焼け等の物理的損傷から果実を保護する必要がある。千葉県の産地では毎年 3~4 月ごろ、クラフト紙製で封筒状の果実袋 (図-7a) を用いて幼果を個々に被覆し、5~6 月ごろに収穫するまでの期間、果実を保護している。ところが、袋の中で膨らむ果実の表面は果実袋の内側に常に接している状態となり、カメムシ類はここを狙って袋の外から果実を吸汁加害する。

我々が着目したのは、新たに開発された「二重果実袋」

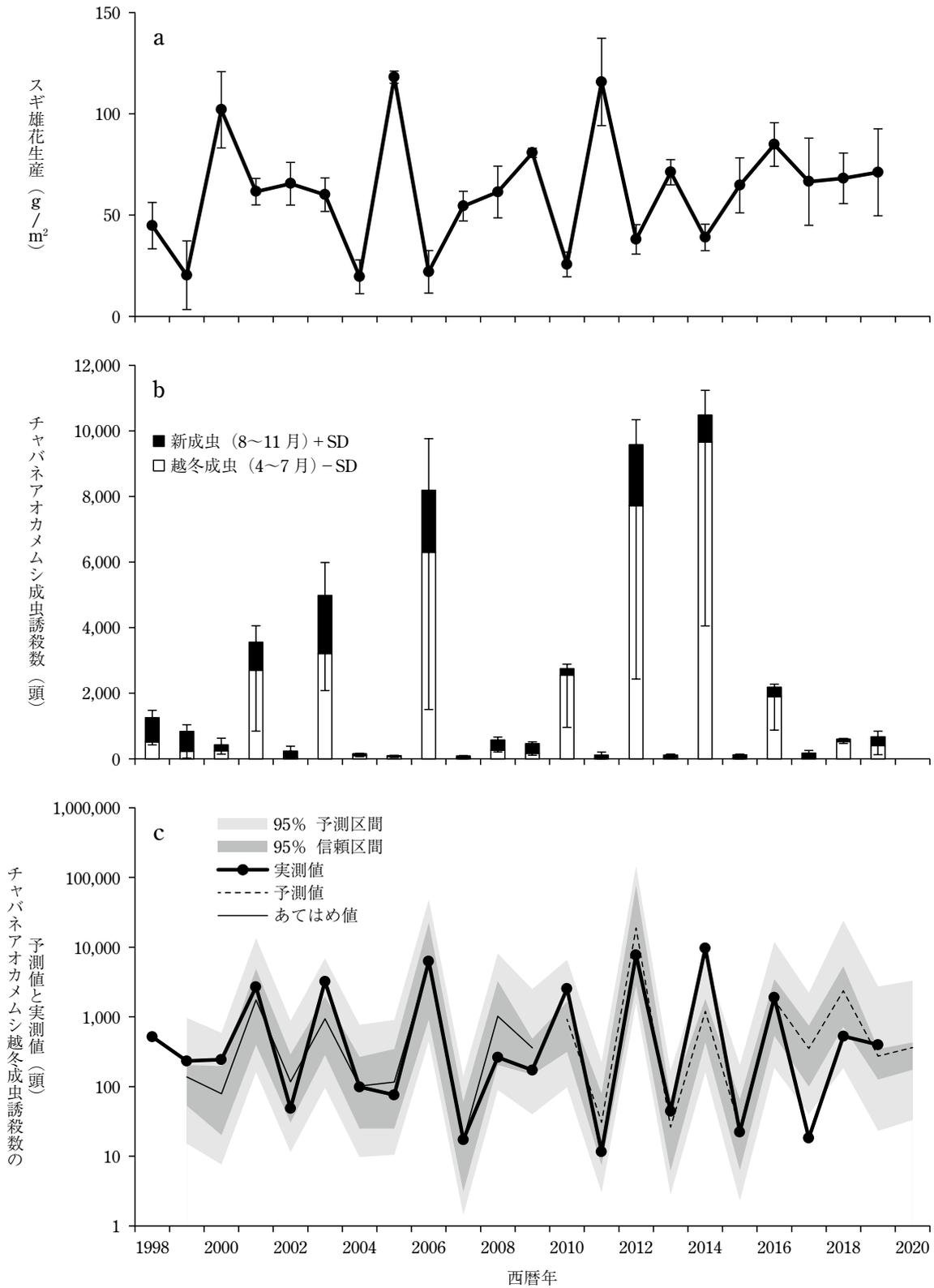


図-6 千葉県南房総地域におけるスギ雄花生産量推定値 (a), フェロモントラップによるチャバネアオカメムシ成虫累積誘殺数 (b), 越冬後成虫誘殺数 (4~7月) の予測モデルへのあてはめ値*・予測値・実測値 (c)
*あてはめ値は 2009 年時点での予測モデルによる。以後の予測値は毎年更新された予測モデルからの推定値。
a, b の縦棒は標準偏差を示す。OHTANI et al. (2017) を改変。

(小林製袋産業株式会社)によるカメムシ被害抑制効果である。二重袋は慣行の一重袋の内側にパラフィン紙製の層を挿入した二重構造となっており(図-7b)、慣行の一重袋と比べてカメムシ類が口針を貫通させにくい構造となっている。また、クラフト紙とパラフィン紙の間には空隙ができるため、カメムシの口針が果実表面に届きにくくなる。被害対策を第一に考えれば、慣行の一重袋ではなく二重袋を使用すべきであると考えられる。なお、二重袋、一重袋それぞれを被覆した場合の果実品質の差異は小さい。

二重袋は資材費が一重袋よりも高いが、果実袋の値段は収穫される果実の値段に比べると微々たる額であり、被害抑制効果が認められるのであれば資材費は決定的な



図-7 慣行のビワ果実袋(a)と二重果実袋(b)の外観と内観
二重袋はクラフト紙製の一重袋(慣行袋)の内側にパラフィン紙の層が挿入され、カメムシによる吸汁被害を防ぐ構造となっている。

SHIMIZU et al. (2019) を改変。

デメリットにはならない。しかし、袋の構造が複雑であるため被覆作業に時間がかかるうえに、作業上のミスも多くなる。限られた期間内に非常に多くの果実をひとつひとつ被覆しなくてはいけない生産者にとって、特に作業効率にまつわるデメリットは二重袋の使用をためらう原因となっていた。

V ビワ二重果実袋のカメムシ被害抑制効果に関するメタアナリシス

生産現場において二重袋を使用するかどうかは、先述のモデルから得られたチャバネアオカメムシの予測発生量条件下において、二重袋のメリット(カメムシ被害抑制効果)とデメリット(作業効率の低下)のトレードオフを考慮して個々の園ごとに検討する必要がある。そのためには、一重袋と比較した二重袋のカメムシ被害抑制効果を「定量的」に評価しなければならない。そこで、南房総地域のビワ園において、複数年にわたり様々な条件下で一重袋または二重袋を使用して栽培する試験を19回行い、それぞれにおいて販売可能なビワ果実(可販果)がどのくらい収穫できるかを比較した。収穫した果実はカメムシの被害程度に応じて可販か否かの判別を行った(図-8)。各試験の結果は図-9に示す通りである。慣行の一重袋を使用した場合の可販果収穫割合は0%から99.8%、二重袋を使用した場合は19.6%から100%の間でばらつき、二重袋においてより多くの可販果が収穫される傾向が明らかとなった(SHIMIZU et al., 2019)。

このような「2水準の処理が事象の発生比率に及ぼす影響」を検定する場合には、1回の試験結果であればカイ二乗検定やFisherの正確確率検定が適用される。一方で、独立した複数の試験結果を統合的かつ定量的に評価する場合、近年ではメタアナリシスが広く用いられている(田代, 2005; 川口, 2012)。得られた試験結果について、統計解析環境R(R Foundation for Statistical

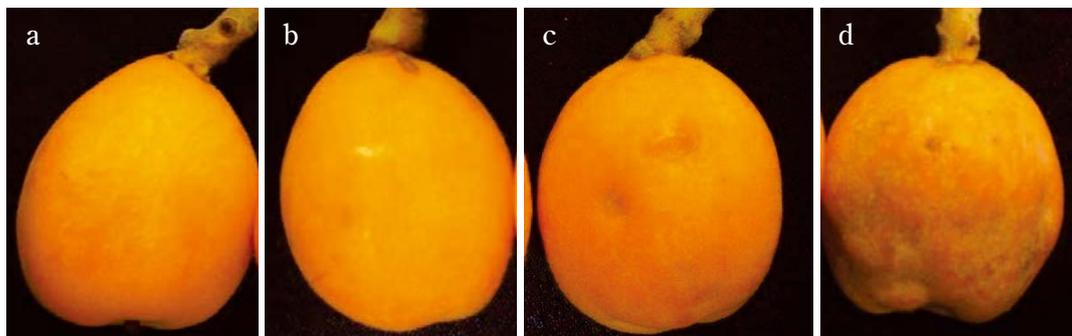


図-8 ビワ果実におけるカメムシ類による被害程度(a:被害なし, b:軽い食害がある, c:2~3箇所に食害痕や水浸がある, d:食害痕が多く陥没や変形がある)
a, bが販売可能な果実, c, dが販売できない果実. SHIMIZU et al. (2019) を改変。

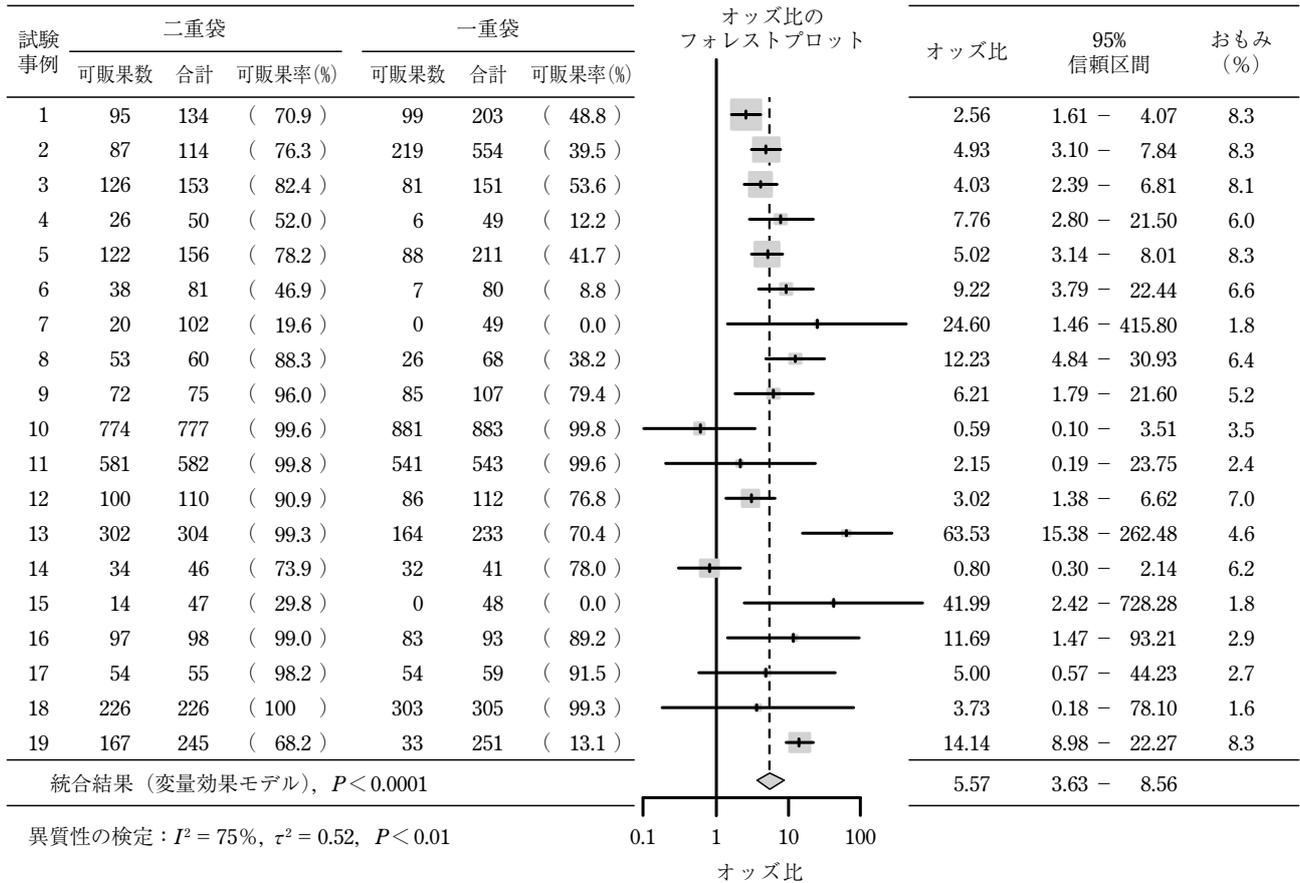


図-9 ビワ果実のカメムシ類被害抑制効果に関するメタアナリシス (統計ソフト EZR による出力を表示, 一部和訳)
一重袋と二重袋を用いてビワを栽培する試験を 19 回行い, それぞれでの可販果率 (%) に及ぼす袋の種類の効果を検定した。統合結果のオッズ比 (5.57) は 95% 信頼区間に 1 を含まないため, 二重袋では有意に可販果収穫率が高いと結論付けることができる。SHIMIZU et al. (2019) を改変。

Computing, Vienna, Austria) の追加機能パッケージ R コマンド上で作動する統計ソフト EZR (KANEDA, 2013) を用いて, 変量効果モデルのメタアナリシスを行ったところ, 一重袋に比べて二重袋によるカメムシ被害抑制効果は有意に高く, 統合された可販果収穫確率に関するオッズ比は 5.57 と算出された (図-9)。

VI メタアナリシスから算出されるオッズ比から防除効果を評価する

算出されたオッズ比が具体的に何を意味する数字なのかを理解することによって, メタアナリシスの結果を更に有効に活用することが可能となる。一重袋を使用した場合の可販果率を x (%), 二重袋の可販果率を y (%) としたとき, それぞれの果実袋における可販果収穫確率のオッズやオッズ比 (OR) はそれらの定義から以下の式で表される。

$$\begin{aligned} \text{一重袋のオッズ} &: x / (100 - x) \\ \text{二重袋のオッズ} &: y / (100 - y) \end{aligned}$$

$$OR = [y / (100 - y)] / [x / (100 - x)]$$

この式に解析から得られた $OR = 5.57$ を代入し, y について陽に展開すると, 以下の式が与えられる。

$$y = 557x / (100 + 4.57x)$$

すなわち, x が変化する条件ではそれに伴って y も変化し, 両者の関係は xy 平面上に曲線で表される。この曲線は実際の 19 回の試験結果の散布図によく当てはまる (図-10)。

回帰曲線の形状は「上に凸」であり, このことから常に二重袋において一重袋よりも多くの可販果が収穫されることが予想される。なお, オッズ比の絶対値が大きいほど曲線はより凸になり, 逆にオッズ比が 1 になると回帰曲線は直線 $y = x$ に重なり, 二重袋による相対的な被害抑制効果はゼロとなる。カメムシの発生が少なく一重袋でも多くの可販果が収穫できるような状況下においては二重袋でも当然多くの可販果が収穫できる (図-10, 横軸右端)。逆に, 一重袋で多くの被害が発生する状況下では二重袋を用いてもやはり多くの被害が発生してし

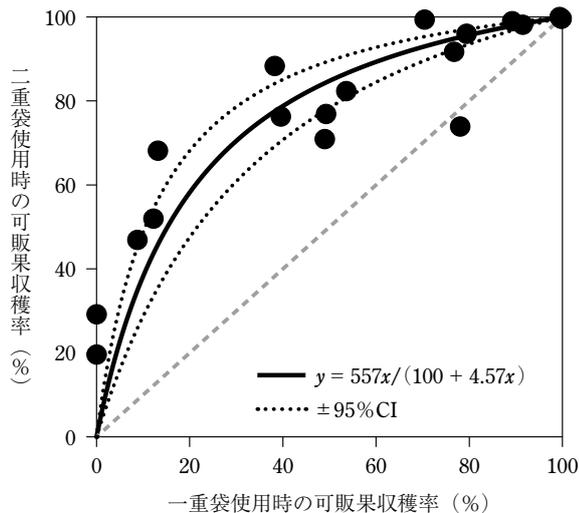


図-10 各果実袋使用時の可販果収穫率の関係性を示す散布図とメタアナリシスから算出されたオッズ比を展開して得た回帰曲線
 オッズ比 = $[(y/(100-y)) / (x/(100-x))]$ (x : 一重袋使用時の可販果収穫率, y : 二重袋使用時の可販果収穫率) に、オッズ比 5.57 を代入し、 y について陽に展開して回帰曲線の数式を得た。SHIMIZU et al. (2019) を改変。

まう (図-10, 横軸左端)。チャバネアオカメムシは時間を費やせば二重袋の上からでもビワ果実を加害するため、加害圧が極めて高い条件下においては被害をゼロにするまでの効果は期待できないためである。この試験におけるメタアナリシスの結果をリスク比ではなくオッズ比を用いて考察する理由もここにある。リスク比による解析では、一重袋で全く可販果が収穫できないような高加害圧条件下においても「二重袋ではある程度の可販果が確実に収穫される」ことを前提にしてしまうため、現実にはそぐわない。

ここからさらに踏み込むと、予想された様々な x 条件下において二重袋の作業効率にかかわるデメリットを考慮して果実袋の選択をすることが可能となる (図-11)。例えば、一重袋を使用したときに 70% の可販果が収穫されると見込まれる場合、一重袋 100 枚を使用した場合と同じ数 (70 個) の可販果を収穫するためには 75.4 枚の二重袋が必要となる (図-11a)。二重袋によるデメリット (作業効率低下) を考慮しても同じ時間で 75.4 枚以上の二重袋が使用できるのであれば二重袋を使用するほうが経済的である。同様に、一重袋で 30% や 10% しか可販果の収穫が見込まれないような加害圧が高い状況下では、それぞれ 42.6 枚、26.2 枚の二重袋が使用できるのであれば二重袋を使用すべきである。このような高加害圧な状況はカメムシの多発生年には実際に起きうるうえ (図-10), 一重袋 100 枚を使用するのと同じ時間内

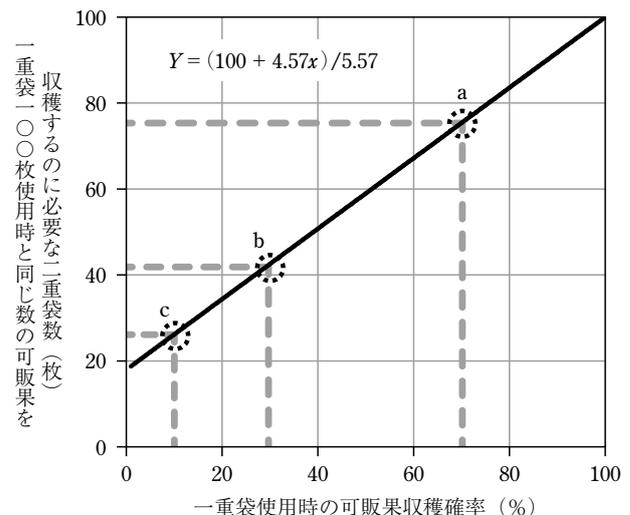


図-11 一重袋使用時の可販果収穫率と一重袋 100 枚使用時と同等の可販果を収穫するために必要な二重袋の枚数との関係
 一重袋を使用したときの可販果収穫率 (% : 100 枚使用したときに収穫できる可販果の数) が (a) 70, (b) 30, (c) 10 のとき、二重袋ならばそれぞれ (a) 75.4 枚, (b) 42.6 枚, (c) 26.2 枚を使用すれば、一重袋 100 枚使用時と同等数の可販果を収穫することができる。SHIMIZU et al. (2019) を改変。

に二重袋 42.6 枚を使用することはかなり現実的である。ただし、カメムシの予測発生量が大きく、被害が多くなることが予想される年に十分な収入を得るためには、雇用を増やすことによってすべての果実を二重袋で被覆したり、その年だけでも薬剤散布を併用したりすることが望ましい。

おわりに

開発された発生量予測モデルによってチャバネアオカメムシの発生量は事前にかんがりの精度でわかるようになっている。しかし、モデルによって予測されるのはあくまでも「地域全体の発生量の代表値」である。現実には、地域内でのチャバネアオカメムシの発生量はばらつき、発生が特に多い傾向にあるビワ園や、逆に少ない傾向にある園も存在する。そのため、個々の園においてどの程度の被害が発生するかは各園の生産者とその年の予測値と過去の発生状況から経験的に推測する必要があるが、実際にはこれは非常に難しいプロセスである。そのため、こうした解析はしばしば「数字遊び」と揶揄される。一方で、ある防除手段の効果を適切に、かつ定量的に評価する方法がほかになさそうなことも事実である。Evidence-based Control (EBC: 根拠に基づいた防除) (川口, 2012) に近づくことが理想であるが、せめて Evidence-based Conviction (根拠に基づいた説得) によ

って生産者との議論が深まることを期待したい。

引用文献

- 1) KANDA, Y. (2013): Bone Marrow Transpl. **48**: 452~458.
- 2) 川口 章 (2012): 植物防疫 **66**: 450~455.
- 3) 森下正彦ら (2001): 日本応用動物昆虫学会誌 **45**: 143~148.
- 4) ————ら (2007): 同上 **51**: 21~27.
- 5) 守屋成一 (1995): 沖縄農試特報 **5**: 1~135.
- 6) ————・志賀正和 (1986): 日本応用動物昆虫学会誌 **30**: 106~110.
- 7) NUMATA, H. and K. NAKAMURA (2002): Eur. J. Entomol. **99**: 155~161.
- 8) OHTANI, T. et al. (2017): Appl. Entomol. Zool. **52**: 369~377.
- 9) SHIMIZU, K. et al. (2019): ibid. **54**: 247~254.
- 10) 田代暢哉 (2005): 植物防疫 **59**: 69~73.
- 11) TOYAMA, M. et al. (2013): Appl. Entomol. Zool. **48**: 461~467.



(新しく登録された農業 12 ページからの続き)

さといも：ハスモンヨトウ：収穫前日まで
 未成熟とうもろこし：アワノメイガ：収穫前日まで
 なす：ハスモンヨトウ，ハモグリバエ類，アブラムシ類，コナジラミ類：育苗期後半～定植当日
 なす：ハスモンヨトウ，オオタバコガ，アブラムシ類：収穫前日まで
 トマト：ハモグリバエ類，アブラムシ類，コナジラミ類：育苗期後半～定植当日
 トマト：ハスモンヨトウ，ハモグリバエ類，アブラムシ類：収穫前日まで
 ミニトマト：ハモグリバエ類，アブラムシ類，コナジラミ類：育苗期後半～定植当日
 ミニトマト：ハスモンヨトウ，ハモグリバエ類，アブラムシ類：収穫前日まで
 ピーマン：アブラムシ類，コナジラミ類：育苗期後半～定植当日
 ピーマン：オオタバコガ，アブラムシ類，コナジラミ類：収穫前日まで
 きゅうり：ハモグリバエ類，アブラムシ類：育苗期後半～定植当日
 きゅうり：ハスモンヨトウ，ウリノメイガ，ハモグリバエ類，アブラムシ類：収穫前日まで
 茶：チャノコカクモンハマキ，チャハマキ，チャノホソガ，ヨモギエダシャク：摘採7日前まで
 花き類・観葉植物：ハスモンヨトウ：発生初期
 樹木類：ケムシ類：発生初期
 ●テトラニリプロール水和剤
 24318：兼商ヨーバルフロアブル（カネシヨウ）20/1/29
 テトラニリプロール：18.2%
 レタス：ヨトウムシ，ハスモンヨトウ，オオタバコガ，ハモグリバエ類，アブラムシ類：収穫前日まで
 非結球レタス：ヨトウムシ，ハスモンヨトウ，オオタバコガ，ハモグリバエ類，アブラムシ類：育苗期後半～定植当日
 非結球レタス：ウワバ類，ヨトウムシ，ハスモンヨトウ，オオタバコガ，ハモグリバエ類，アブラムシ類：収穫前日まで
 えだまめ：マメシンクイガ，ウコンノメイガ，ハスモンヨトウ：収穫前日まで
 だいず：マメシンクイガ：収穫7日前まで

キャベツ：コナガ，アオムシ，ネキリムシ類，ハイマダラノメイガ，ハスモンヨトウ，アブラムシ類，ネギアザミウマ：育苗期後半～定植当日
 キャベツ：コナガ，アオムシ，ウワバ類，ハイマダラノメイガ，ヨトウムシ，ハスモンヨトウ，オオタバコガ，アブラムシ類，アザミウマ類：収穫前日まで
 はくさい：コナガ，アオムシ，ハイマダラノメイガ，ヨトウムシ，ハスモンヨトウ，アブラムシ類：育苗期後半～定植当日
 はくさい：コナガ，アオムシ，ハイマダラノメイガ，ヨトウムシ，ハスモンヨトウ，オオタバコガ，アブラムシ類：収穫前日まで
 ブロッコリー：コナガ，アオムシ，ハイマダラノメイガ，ハスモンヨトウ，アブラムシ類：育苗期後半～定植当日
 ブロッコリー：コナガ，アオムシ，ハイマダラノメイガ，ヨトウムシ，ハスモンヨトウ，アブラムシ類：収穫前日まで
 非結球あぶらな科葉菜類：コナガ：収穫前日まで
 いちご：ハスモンヨトウ，オオタバコガ：収穫前日まで
 ねぎ：ネギアザミウマ，ハモグリバエ類：育苗期後半～定植当日
 ねぎ：シロイチモジヨトウ，ネギコガ，ハモグリバエ類，アブラムシ類：収穫3日前まで
 レタス：ヨトウムシ，ハスモンヨトウ，オオタバコガ，ハモグリバエ類，アブラムシ類：育苗期後半～定植当日
 レタス：ウワバ類：収穫前日まで
 だいず：ウコンノメイガ，ハスモンヨトウ：収穫7日前まで
 さといも：ハスモンヨトウ：収穫前日まで
 未成熟とうもろこし：アワノメイガ：収穫前日まで
 なす：ハスモンヨトウ，ハモグリバエ類，アブラムシ類，コナジラミ類：育苗期後半～定植当日
 なす：ハスモンヨトウ，オオタバコガ，アブラムシ類：収穫前日まで
 トマト：ハモグリバエ類，アブラムシ類，コナジラミ類：育苗期後半～定植当日
 トマト：ハスモンヨトウ，ハモグリバエ類，アブラムシ類：収穫前日まで

(28 ページに続く)

チバクロバネキノコバエによる作物被害の詳細

一般社団法人 日本植物防疫協会 茨城研究所 小林 まさふみ

はじめに

クロバネキノコバエ類は、ハエ目クロバネキノコバエ科 (Sciaridae) の昆虫であり、園芸作物では主にチバクロバネキノコバエ *Bradysia impatiens* (Johannsen) による被害が問題となっている (図-1)。本種による被害は施設園芸作物や露地野菜で報告され、特に促成栽培のキュウリにおいて被害が大きい (笹川・赤松, 1978; 中込, 1980; 笹川, 1985)。近年ではイチゴの被害が多く報告され、各県から特殊報が出されるなど、全国的な問題になっている (三重県病害虫防除所, 1998; 長野県病害虫防除所, 2004; 長崎県病害虫防除所, 2008; 佐賀県農業技術防除センター病害虫防除部, 2010; 茨城県病害虫防除所, 2014)。

本種によるイチゴへの被害の詳細は上記の特殊報の中で報告されている。これまでに行われてきた本種を対象とした薬剤効果試験では、生息する成虫および幼虫を計数することで薬剤の効果を評価していたが、被害程度に基づく薬剤評価は行われていなかった。そこで本研究では、報告のあった被害を念頭に置き、本種の薬剤効果試験における生息場所や被害を基にした効率的な調査部位の検討に寄与するため、室内でイチゴ株に放飼して、被害の詳細を調査したので紹介する。

また、カブ、キャベツ、ナス、キュウリ、ネギ、ニラ、ニンジンへの被害調査も行ったので、併せて紹介する。

I イチゴにおける被害

本研究では、2017年3月よりナタネ油粕を混和した土壌を用いて累代飼育した個体群を供試虫とし、2018年10月に購入したイチゴ (とちおとめ) 苗を供試作物とした。供試作物は15 cm プラスチックポットに鉢上げしたものと、5 cm 幅の金属枠をガラス板 (15 cm × 15 cm) で挟み込んだもの (以降、ガラスポット) に鉢上げしたものをを用いた (図-2)。ガラスポットは地際部



図-1 チバクロバネキノコバエ幼虫



図-2 被害調査試験に用いたイチゴ株 (上: プラスチックポット, 下: ガラスポット)

Details of Damage by Dark-winged Fungus Gnats *Bradysia impatiens* (Johannsen). By Masafumi KOBAYASHI
(キーワード: クロバネキノコバエ, 加害部位, 被害調査)

を観察するために使用した。鉢上げ時に使用した土壌は、一般社団法人日本植物防疫協会茨城研究所内圃場より採集した土壌（黒ボク土）とタキイ育苗培土（タキイ種苗株式会社製）を用いた。イチゴ苗の株元にはナタネ油粕を株当たり 2g 施用し、十分に灌水した。

昆虫飼育用プラスチックケージ（縦 35 cm × 横 22 cm × 奥行 22 cm）に同じ容器に鉢上げしたイチゴ苗を三つ格納し、ケージ内に羽化直後～数日後の成虫を雌雄合わせて 100 頭程度放飼した。飼育ケージは $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、16L8D 条件下に設置し、乾燥しないように灌水は 2 日ごとに行った。放飼後、2 日間隔で幼虫の生息位置、被害の有無、被害状況等を観察した。

成虫放飼数日後に土壌間隙に雌成虫の死骸とともに多くの卵を確認した。その数日後から、微少な若齢幼虫が比較的水分の多い土壌の間隙に多数確認できた。成虫放飼 8 日後から中齢幼虫が土壌表面に多く生息しているのが観察された。ナタネ油粕を用いたため、土壌表面には餌資源が多く、幼虫は比較的浅い土壌に多く生息していた。プラスチックポットとガラスポットの間で幼虫発生に目立った差は見られず、土壌種類による違いも見られなかった。

成虫放飼 12 日後には新芽およびクラウン周辺に黒ず



図-3 イチゴの黒ずみ被害（上：新芽，下：クラウン周辺）

みが確認され、黒ずみ周辺に本種幼虫の寄生を確認した（図-3）。クラウン周辺にも本種幼虫が多く確認できるようになると、ナメクジの這い跡のような粘性性の膜が多く見られるようになった（図-4）。また、成虫放飼 20 日後から新成虫を確認した。これは、石原・田上（2019）の報告した発育期間とおおむね一致する。

放飼 30 日後には次世代の幼虫が見られるようになり、クラウン付近の黒ずみが強くなった。イチゴの生育が不良になるにつれて、幼虫がイチゴ株上にも多く見られるようになった。特に枯死寸前の株を抜根し、根域およびクラウンを解体すると多くの幼虫が認められたため、直接的な被害は軽微だと考えられるが、発生数が多いと植物体に寄生し、地際および比較的浅い根域を加害することが明らかになった。加えて、ケージ内湿度が高まると、クラウンや新葉部よりもさらに上に登り、花蕾・花弁を加害することが確認され、接地した過熟果および土壌表面にも寄生した（図-5）。

これらの観察から、本種成虫がイチゴ栽培で確認された際にイチゴ株周辺およびマルチ被覆内の土壌表面に前述の粘性性の膜が見られれば、幼虫が生息している可能性が高い。また、施設内の温湿度条件が本種に対して好適であれば、土壌に接触していない果実にも幼虫が寄生する可能性がある。

過熟果などが土壌に接触する場面はイチゴ栽培でままた見られるが、腐敗果になるまで放置していると本種の増加につながる。本種の被害抑制を考えるうえでは、枯死株および過熟果の処分を速やかに行う必要があると考えられる。

以上のことから、クラウン周りに本種幼虫が多数寄生している場合には、新葉の被害や花蕾・果実の被害も十分に確認することができ、被害調査も可能であると考えられる。しかし、1 頭当たりの被害は軽微であるため、発生状況を問わず試験区内の生息数調査は必須である。



図-4 脱落・腐敗したイチゴ茎部に寄生するチバクロバネキノコバエ幼虫およびその周辺（粘性性の膜が見られる）



図-5 地際部以外の被害（上：花蕾，下：土壌に接触した熟果）



図-6 カブ実生苗の被害（地際部および土壌に触れた茎葉）

II その他作物における被害

2019年2月にカブ、キャベツ、ナス、キュウリをポットに播種し、実生苗になるまで23℃の植物育成室で育苗した。本葉数枚程度になった後、株元に1g程度のナタネ油粕を施用し、ポットを25℃の昆虫飼育室に持ち込んで本種幼虫を放飼（ナタネ油粕を混和した土壌で飼育した個体群を土壌ごと水道水に懸濁し、それをポットに注いだ）した後、経時的に観察した。なお、灌水は1日2回、過灌水条件とし、常時湿潤な環境に設定した。カブおよびキャベツの被害は、地際部に集中しており、特にむき出しの根に寄生する傾向が見られた（図-6，7）。また、土壌に触れた茎葉を加害し、茎部は加害痕から腐敗が始まり、脱落が促進された。なお、本供試植物のポット内には他害虫は生息していなかった。

ナス、キュウリ苗の場合では、株周辺の土壌に生息はしているものの、植物体への顕著な被害は見られなかった。

2019年2月に、殺虫剤を使用しないで栽培したネギ（収穫間近）、ニラ（収穫期）、およびニンジン（根部肥大期）の無被害の株を露地圃場ないし施設圃場より掘り取り、プランターに植え替えた後、施設内に設置した。



図-7 キャベツ実生苗の被害（土壌に触れた茎葉）

設置したプランターにナタネ油粕を株元に1g程度施用した後、本種幼虫を放飼し（放飼方法はポット試験と同様）、被害を観察した。なお、灌水は1日2回、過灌水条件とし、常時湿潤な環境に設定した。



図-8 ネギの被害（地際部および薄皮内に生息）

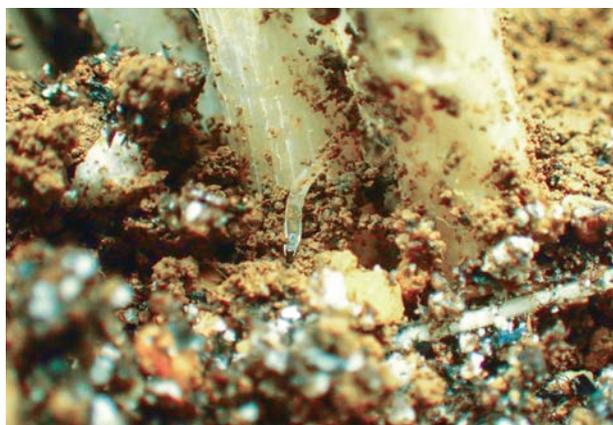


図-9 ニラの被害（地際部および薄皮内に生息）



ネギおよびニラの場合では、比較的短時間で幼虫の寄生が確認でき、外葉が土壌と接地する部分、または地際部に生息していた（図-8, 9）。ネギとニラの植物的な特徴から、加害された表皮が痛むとそこから食入し、薄皮内に寄生することも確認できた。ただし、その数は少なく、表皮加害から偶発的に内部に進んだものだと考えられる。

ニンジンの場合、放飼後から株周辺の土壌に幼虫が生息はしているものの、植物体への顕著な被害は見られなかった。これまでに本種によるニンジンへの被害報告はないが、ネギネクロバネキノコバエの被害のある地域では本種が混発している状況がある。チバクロバネキノコバエが単独で加害する可能性は低いが、ネギネクロバネキノコバエの混発を想定して、人為的に傷を付けたニンジンへの加害を調査した。一度掘り取ったニンジンに、カッターナイフで根部に数箇所傷を付けた後、再度植え付けたところ、数日後に裂傷部に本種幼虫が寄生していることが確認された。裂傷部が腐敗し始めると寄生数が増加し、裂傷部の陥没、腐敗が進んだ（図-10）。



図-10 根部に傷を付け、チバクロバネキノコバエ幼虫を放飼して加害させたニンジン

おわりに

以上の結果から、本種が周辺土壤に生息すると被害の出やすい作物の場合には、地際部や土壤に触れた部分に被害が出ることがわかった。また、被害が出にくい作物であっても傷や痛んだ部分があると、そこに寄生する場合があると考えられる。他の栽培作物・品種での検討はしていないが、おおむね似た傾向になると予想できる。今回の調査を基にさらに検討を進め、効率的かつ実用に即した被害調査方法の確立を目指したい。

引用文献

- 1) 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)
- 2) 石原由紀・田上陽介 (2019): 応動昆 **63**: 57~67.
- 3) 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.jppn.ne.jp/cgi-bin/bbs/cgi/p5-2-2.cgi?IDX=7102413379034b327f1d1b7368115823681247237612&choice=3> (2017 年 10 月 30 日閲覧)
- 4) 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)
- 5) 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.jppn.ne.jp/nagasaki/pdf/yosatu_ka-ko/22tokusyu/22tokusyu03.pdf (2017 年 10 月 30 日閲覧)
- 6) 中込暉雄 (1980): 植物防疫 **34**: 155~159.
- 7) 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)
- 8) 笹川満廣・赤松 学 (1978): 京都府立大学学術報告, 農學 **30**: 26~30.
- 9) ——— (1985): 今月の農業 **29**(12): 56~60.

(新しく登録された農薬 23 ページからの続き)

ミニトマト：ハモグリバエ類，アブラムシ類，コナジラミ類：育苗期後半～定植当日
 ミニトマト：ハスモンヨトウ，ハモグリバエ類，アブラムシ類：収穫前日まで
 ピーマン：アブラムシ類，コナジラミ類：育苗期後半～定植当日
 ピーマン：オオタバコガ，アブラムシ類，コナジラミ類：収穫前日まで
 きゅうり：ハモグリバエ類，アブラムシ類：育苗期後半～定植当日
 きゅうり：ハスモンヨトウ，ウリノメイガ，ハモグリバエ類，アブラムシ類，コナジラミ類，アザミウマ類：収穫前日まで
 メロン：アザミウマ類，コナジラミ類：育苗期後半～定植当日
 メロン：アブラムシ類，コナジラミ類，ハモグリバエ類：収穫前日まで
 すいか：アブラムシ類，コナジラミ類：育苗期後半～定植当日
 すいか：ハスモンヨトウ，アブラムシ類，コナジラミ類：収穫前日まで
 なし：ハマキムシ類，シンクイムシ類：収穫前日まで
 もも：シンクイムシ類，モモハモグリバエ：収穫前日まで
 ぶどう：ハマキムシ類：収穫 7 日前まで
 かき：カキノヘタムシガ：収穫前日まで
 りんご：ハマキムシ類，シンクイムシ類，ギンモンハモグリバエ，キンモンホソガ，ヒメボクトウ：収穫前日まで
 小粒核果類（すももを除く）：ケムシ類：収穫前日まで
 すもも：ケムシ類，シンクイムシ類：収穫前日まで

おうとう：ハマキムシ類，オウトウショウジョウバエ：収穫前日まで
 茶：チャノコカクモンハマキ，チャハマキ，チャノホソガ，ヨモギエダシャク：摘採 7 日前まで
 花き類・観葉植物：ハスモンヨトウ：発生初期
 樹木類：ケムシ類：発生初期

「殺菌剤」

●ジチアノン・フルキサピロキサド水和剤
 24314：セルカディス D フロアブル (BASF ジャパン)
 24315：日曹セルカディス D フロアブル (日本曹達)
 20/1/15
 ジチアノン：42.0%
 フルキサピロキサド：4.7%
 りんご：モニリア病，黒星病，斑点落葉病：収穫 60 日前まで
 なし：赤星病，黒斑病：収穫 60 日前まで
 もも：灰星病：収穫 7 日前まで
 ネクタリン：灰星病：収穫 14 日前まで

「殺虫殺菌剤」

●エトフェンプロックス・ジノテフラン・ミルベメクチン・ベンチオピラド水和剤
 24316：アースガーデン 4 (アース) 20/1/15
 エトフェンプロックス：0.020%
 ジノテフラン：0.010%
 ミルベメクチン：0.0005%
 ベンチオピラド：0.010%

(35 ページに続く)



ナス果実の小陥没症とナス褐色斑点病の関係

岩手県農業研究センター 岩 だて 康 哉

はじめに

岩手県のナス栽培において、果実表面に小さな「くぼみ」が多数発生する障害が発生し、問題となっている。本症状は現在、小陥没症と呼称されているが、現地農家の多くは「ボツボツ」と呼んでいる。本症は2008年に本県で確認されたのが最初と思われ、本症が発生した果実は、外観品質が著しく低下するため、出荷不能となる(図-1)。

果実の小陥没症の発生は、露地ナスの場合、秋期に多い。また、その発生様相を見ると気温の低下や降雨が見られた後に本症の発生が多いこと、その症状が貯蔵中の低温障害であるピットティング(阿部, 1974)に似ていることから、原因は当初、低温障害などの非生物的要因によるものと考えられていた。そのため、岩手県農業研究センターでは、低温障害の可能性のほか、栽培環境による影響等、非生物性要因による可能性を検討したが、本症との関連は認められなかった(岩館, 2019)。

その後の調査により、本症が発生した圃場では、必ず葉に褐色斑点病(病原菌: *Thanatephorus cucumeris* (無性世代: *Rhizoctonia solani*))の病斑が認められることから、現在、本症は褐色斑点病菌の感染によって生じるものと推定されている(図-2)。しかし、これまでのところ、ナス褐色斑点病菌の果実への直接接種による小陥没症の再現には至っておらず、本症の詳細な発生メカニズムは未解明である(岩館・佐々木, 2019)。

そこで本稿では、ナス果実の小陥没症の特徴と、これまでに実施してきた原因解明および発生抑制対策の取り組みを紹介する。

I 小陥没症の特徴と被害

典型的な小陥没症の果実表面には、数mm程度の「く

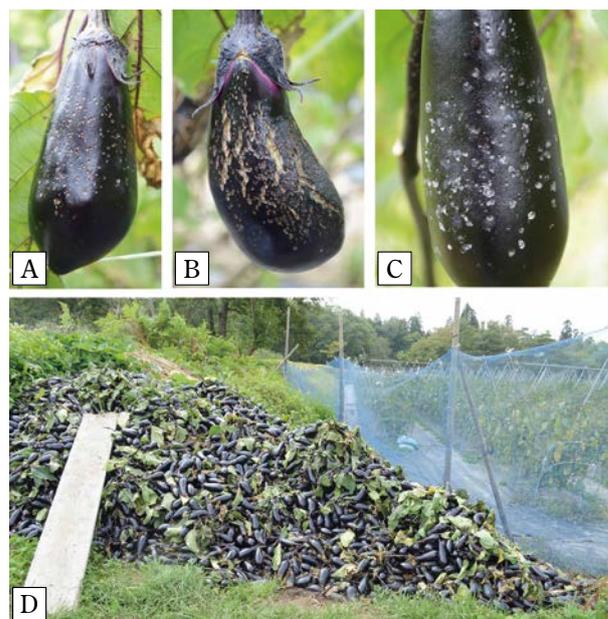


図-1 ナス果実の小陥没症

A: 典型的な果実の小陥没症。B: 発症果の肥大に伴う裂果。C: 発症部位に見られる液状物質の乾固跡。D: 小陥没症の多発により廃棄された果実。



図-2 推定されるナス果実の小陥没症発生サイクル

ぼみ」が数個から多数発生する(図-1A)。「くぼみ」は、果実の片面に集中して発生することが多く、その後には拡

The Relationship between Chilling Injury-like Fruit Surface Pitting of Eggplant and Brown Leaf Spot Disease Caused by *Thanatephorus cucumeris*. By Yasuya IWADATE

(キーワード: *Thanatephorus cucumeris*, *Rhizoctonia solani*, Chilling injury, ピットティング, 低温障害)

大や腐敗することはほとんどない。果実に発生した「くぼみ」は、日数が経過するとかさぶた状になる場合や、果実の肥大に伴い裂果の原因となる場合も見られる(図-1B)。発症初期の「くぼみ」には白濁した液体が見られる場合もあるが、のちに乾固する(図-1C)。

小陥没症は、4月中旬～下旬に定植する露地栽培ナスの夏秋どり作型において、8月中旬ころから9月下旬の収穫最盛期から収穫終盤にかけて発生する。つまり、本症は収穫開始期から盛夏期にはあまり見られず、盛夏期を過ぎ、気温が低下してくる時期に多くなる。また、その被害は露地栽培で多く、施設栽培で少ない。このため、本症は露地ナスにおける重要な減収要因であり、生産振興上の課題となっている。多発圃場では、本症発生時期において、収穫果実の約7割を廃棄した事例も認められるなど被害は大きい(図-1D)。

II 小陥没症の再現試験

小陥没症発生圃場では葉に褐色斑点病の病斑が認められることから、本病菌の関与が疑われている(岩館, 2019)。そこで、ナス果実の小陥没症および褐色斑点病の発生前歴がない岩手県農業研究センター(北上市)の露地ナス圃場において、褐色斑点病を多発させることにより果実の小陥没症の再現が可能か検討した。供試品種は‘くろべえ’とし、2018年6月18日に定植した。7月10日から8月8日までの期間中に計4回、岩手県農業研究センター保存のナス褐色斑点病菌 IER1 株および IER6 株の含菌寒天片を全株の上位葉2枚に付傷接種した。また、7月25日から8月22日までの期間中に計6回、ナス褐色斑点病の現地多発圃場(一関市花泉町)より採集した褐色斑点病の罹病葉を試験区内の全株に株当たり2~3枚の割合で上位葉付近に配置し、夕方に圃場全面に灌水して感染を促した。接種区から約120m離れた地点に無接種区を設けた。7月10日より約7日間隔で各区10株、無作為に抽出した株当たり10枚の中位葉について、褐色斑点病の発病の有無を調査し、褐色斑点病の発病葉割合を算出した。果実の小陥没症は、発生の有無を随時観察し、本症の初発が認められた9月12日から10月26日までは、6~9日間隔で各区の成熟果を全果採集し、小陥没症の発生果割合を算出した。その結果、初回接種から64日後の9月12日以降、継続して小陥没症の発生が確認された(図-3)。褐色斑点病の発病ピークは9月27日(発病葉割合75.3%)、果実の小陥没症の発生ピークは、9月20日(発生果割合92.9%)であった。褐色斑点病菌接種区から約120m離れた無接種区では、調査期間を通じて褐色斑点病および果実の小陥没症の発

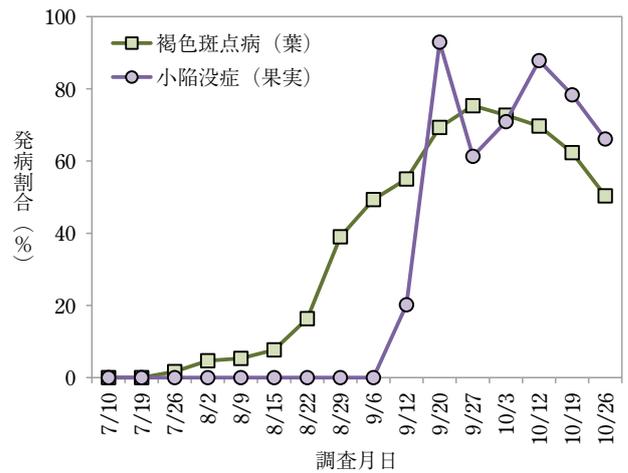


図-3 ナス褐色斑点病菌接種圃場における褐色斑点病および小陥没症の発生推移(2018, 岩手県北上市)

ナス褐色斑点病および小陥没症の発生前歴がない圃場で試験を実施。

ナス褐色斑点病菌の含菌寒天片による付傷接種: 7月10日, 同13日, 同18日および8月8日の計4回。

ナス褐色斑点病罹病葉設置による接種: 7月25日, 8月2日, 同9日, 同13日, 同17日および同22日の計6回。

生は確認されなかった(データ省略)。

このように、接種によりナス褐色斑点病を多発させることで、果実の小陥没症が生じることが確認された(図-3)。接種圃場では、8月下旬以降、褐色斑点病の罹病葉の葉裏に、白色粉状の本菌の子実層(担子胞子を形成する器官が層状に並んだもの、図-2右上)形成が認められた。現地の小陥没症発生圃場においても、褐色斑点病の罹病葉直下の果実で本症の発生が多いこと、罹病葉の葉裏には子実層形成が認められることから(岩館, 2019)、本症の発症には、褐色斑点病菌の担子胞子が関与していると推定される(図-2)。

III 小陥没症果実からのリゾクトニア属菌の分離

小陥没症の再現試験圃場で採集した発症果実から褐色斑点病菌の分離を試みた。発症確認当日、発症10日後および発症20日後に本症発生果実を15果採集し、採集した果実の表面を70%エタノールで表面殺菌したのち、小陥没症部位を5mm角程度に切り出した。1果実から小陥没部位2片を切り出し、素寒天培地に置床した。25℃散光下で管理し、置床3~5日後に伸長した菌糸片をPDA培地に移植し、25℃暗黒下で3週間培養後に培養菌叢、菌核を観察した。あわせて、素寒天培地上に移植し伸長した菌糸を観察し、リゾクトニア属菌の属徴(三澤, 2015)を有する菌株の分離頻度を調査した。その結果、発症確認当日のサンプルからはリゾクトニア属菌が93%と高頻度で分離されたが、発症10日後の分離

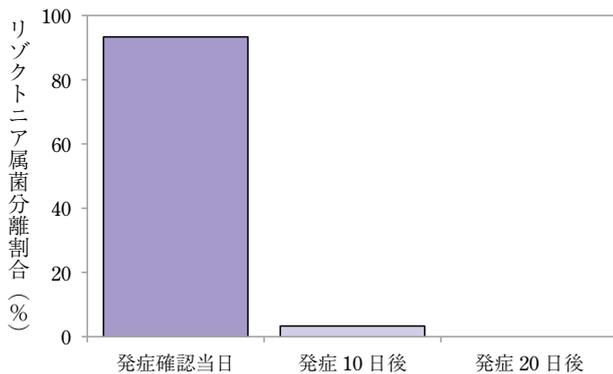


図-4 小陥没症発症後の経過日数と果実からのリゾクトニア属菌の分離割合

割合は3%、発症20日後サンプルでは0%であった(図-4)。なお、分離菌株はナス葉に病原性を示したことから、果実から分離されたリゾクトニア属菌はナス褐色斑点病菌と判断された。

本症発症果実では小陥没部位の拡大や腐敗の進行がほとんど見られない。これは発症直後のサンプルほどリゾクトニア属菌の分離割合が高く、日数が経過すると分離されなくなることが影響していると考えられる。このように小陥没症はこれまで観察された果実の症状(堀本・児玉, 1983; 堀江・飯島, 1990)とは明らかに異なる。したがって、小陥没症が本病の症状の一つであるかどうかについてはさらに検討が必要である。

IV 果実への袋かけによる小陥没症の発生抑制効果

果実の袋かけにより本症の発生を抑制できるか検討した。ここでは、小陥没症の再現試験圃場において、2018年9月20日~10月18日までリング用の果実袋を用い果実長1~2cmの幼果に袋かけを実施した。10月18日に試験区内の果実を採集し、小陥没症発生果割合を算出した。試験区は、1区約30果の3反復とし、対照として無処理区も設けた。その結果、袋かけ無処理区では、小陥没症発生果割合は77%であったが、袋かけ実施区では果実の小陥没症の発生は確認されなかった(図-5)。

このことから、本症はナス褐色斑点病菌が果実表面に感染することによって生じている可能性が高く、果面を保護して感染リスクを低減することで本症の発生も抑制できると思われた。

V 薬剤による小陥没症の抑制効果

例年本症が発生する岩手県一関市の現地圃場において2018年に試験を実施した。褐色斑点病に効果のあるフルジオキシニル水和剤(酒井ら, 2001)の1,500倍液を供試薬剤として選定し、本剤の継続的な散布により、本

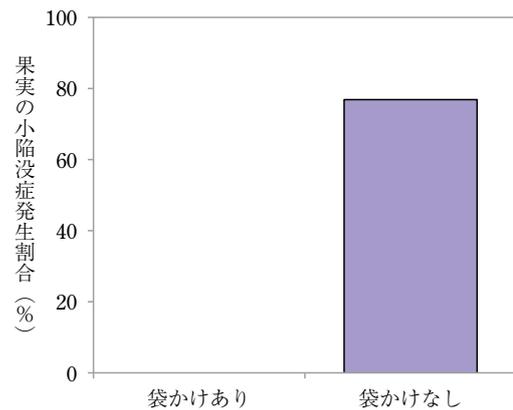


図-5 果実への袋かけによる小陥没症発生抑制効果(2018, 岩手県北上市)

袋かけあり: 小陥没症発生圃場において9月20日に果実長1~2cmの幼果への袋かけを実施(袋かけ期間は9月20日~10月18日)。

症の発生を抑制可能か検討した。試験では薬剤散布区と無処理区を設け、薬剤散布区では本剤を2018年8月29日から10月3日まで5~8日間隔で6回散布した。9月13日から10月10日まで褐色斑点病発病葉割合、罹病葉での子実層形成割合を経時的に調査した。また試験圃場において本症の発生が確認された9月6日以降、10月19日まで5~9日間隔で各区適熟果を採集し、発生果割合を算出した。その結果、試験期間を通じて薬剤散布区では無処理区に比較し、褐色斑点病の発病葉割合および子実層形成割合は低く推移した(図-6A, B)。小陥没症の発生について見ると、無処理区での累積発生果割合は62.1%、薬剤散布区では8.3%(防除価87)と、本剤散布により本症の発生が抑制された(図-6C)。このことから、果実の小陥没症対策として、葉に発生する褐色斑点病に効果のある薬剤の散布が有効と思われた。

試験期間中の9月26日、10月3日、同10日には、収穫後果実が保存中に小陥没症を発症する可能性を検討するため、各区の無病徴果実20果程度を採集し、ビニール袋に入れ、25℃で7~9日間静置した。結果、静置後の各区の小陥没症平均発生果割合は、無処理区43.3%、薬剤散布区では0.8%(防除価98)となった。現地ではこれまでのところ、出荷後に本症が発生しクレームにつながった事例はないようである。しかし、今回の結果からすると収穫時に外観上無病徴の果実であっても、収穫後の管理状況によっては貯蔵中に本症を発症する可能性のあることが示唆された。また、栽培期間中の有効薬剤の継続的な散布により収穫後貯蔵中の発症も抑制可能であることが示された(図-6D)。

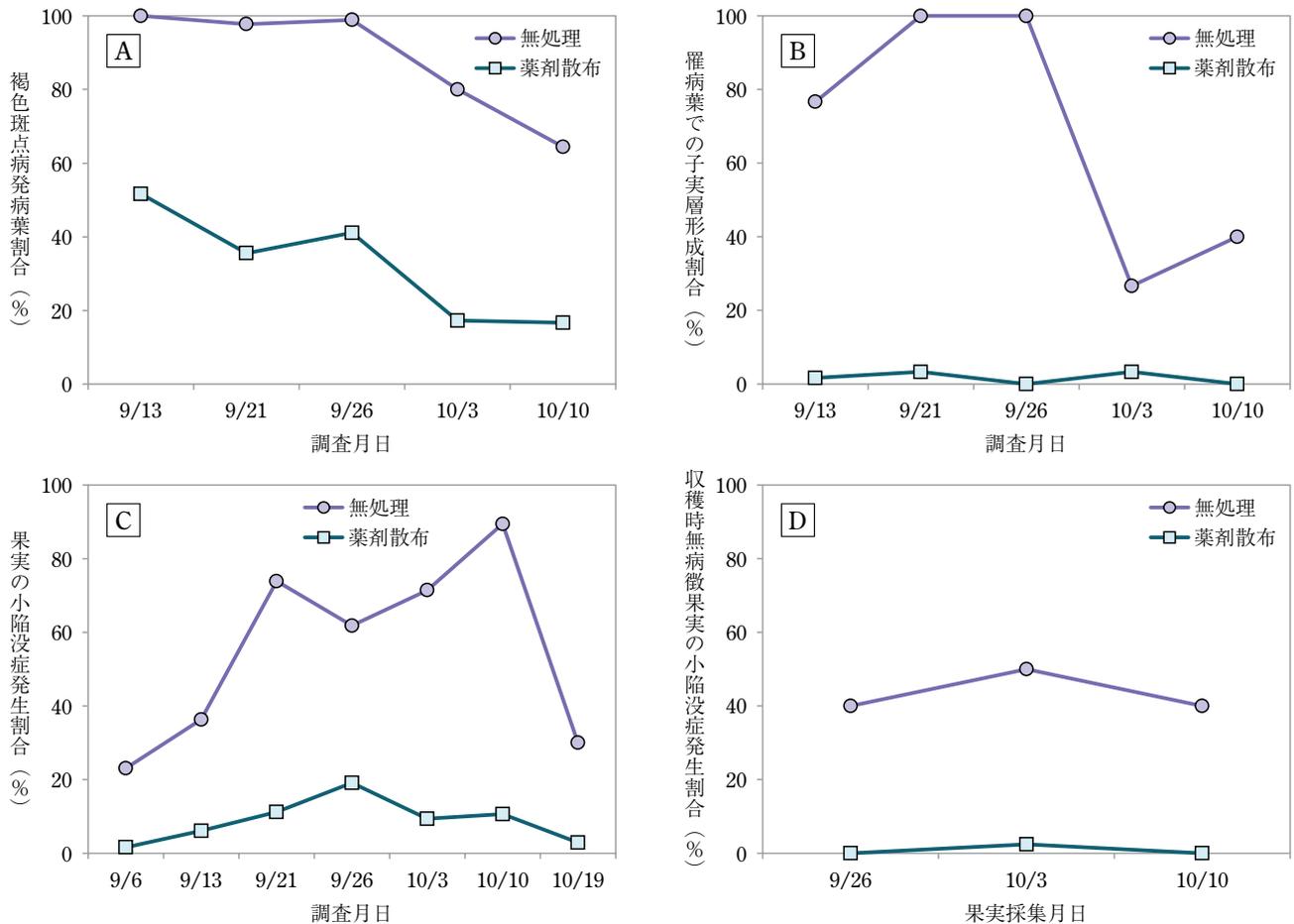


図-6 フルジオキシニル水和剤散布による小陥没症の抑制効果 (2018, 岩手県一関市)

A: 褐色斑点病発病率割合の推移. B: 罹病葉での子実層形成割合の推移.

C: 果実の小陥没症発生割合の推移. D: 収穫時無病徴果実における室温放置後 (25℃, 7~9日間) の小陥没症発生割合.

フルジオキシニル水和剤 (1,500倍) 散布日: 8月29日, 9月6日, 同13日, 同21日, 同26日および10月3日の計6回.

おわりに

ナス果実の小陥没症は当初, 褐色斑点病との因果関係が判然としなかった (岩館, 2019)。その理由は, ①褐色斑点病の病徴として本症の報告がないこと (堀本・小玉, 1983; 堀江・飯島, 1990), ②本症発症部位から褐色斑点病菌がほとんど分離されないことが挙げられる。今回の調査により, 本症の発症確認当日の果実サンプルから高頻度でリゾクトニア属菌が分離されること, 発症後に日数が経過すると菌の分離割合が低下することが明らかとなった。このことが, これまで本症発症部位から病原菌がなかなか分離されず, 病害によるものと診断されてこなかった要因の一つと推察された。

小陥没症の発生圃場では, 褐色斑点病罹病葉の葉裏に, 白色粉状の本菌の子実層 (図-2 右上) が容易に認められる。このことから, 葉裏に形成された子実層から

担子胞子が離脱し, 果実表面に付着することで, 小陥没症が生じるものと推定している (図-2)。現在のところ, ナス褐色斑点病菌の担子胞子接種による本症の再現は成功していない。そのため, 今後も小陥没症の発生メカニズムおよび効果的な発生防止対策について検討を続ける予定である。また, 褐色斑点病や果実の小陥没症に農薬登録 (病害適用) のある薬剤はないことから, 有効薬剤の検索と農薬の適用拡大についてもあわせて検討を進めたい。

引用文献

- 1) 阿部一博ら (1974): 園学雑 42: 402~407.
- 2) 堀江博道・飯島 勉 (1990): 東京農試研報 22: 81~96.
- 3) 堀本圭一・小玉孝司 (1983): 奈良農試研報 14: 66~70.
- 4) 岩館康哉 (2019): 農耕と園芸 74(1): 16~19.
- 5) ———・佐々木陽菜 (2019): 北日本病虫研報 70: 76~79.
- 6) 三澤知央 (2015): 植物防疫 69: 88~91.
- 7) 酒井 宏ら (2001): 関東東山病虫研報 48: 19~21.

時事解説

国際植物防疫年における我が国の取り組み

農林水産省消費安全局植物防疫課 望 月 光 顕

はじめに

2020年は国連が定めた「国際植物防疫年 (International Year of Plant Health 2020)」である。本稿では、国際植物防疫年が採択された背景や国際的な取り組みおよび日本における取り組みをご紹介します。

I 国際植物防疫年について

国際植物防疫年は、植物病害虫のまん延防止の重要性に対する世界的な認識を高めることを目的としており、2018年12月の国連総会において採択された(図-1)。このときに採択された国連決議において、植物病害虫のまん延防止は、飢餓や貧困の撲滅など、2015年9月の国連サミットで採択された「持続可能な開発目標 (SDGs)」の達成のために重要であることが強調されている。

国際植物防疫年には副題「Protecting Plants, Protecting Life」が付されているが、ここで示されているように植物は生命と密接なかわりがある。国連食糧農業機関 (FAO) によると、世界の食料の80%以上が植物由来であり、植物病害虫の被害により世界の食料生産の20%~40%が損失しているとされている。

歴史的に見ても、植物病害虫は、食料安全保障にとって大きな脅威となる場合があり、例えば、1845年、ジャガイモ疫病が原因でアイルランドにおいて主食のジャガイモの収穫がほとんどできなくなり、100万人以上が餓死した事例もある。

一度植物病害虫が新たな地域に侵入・まん延すると、根絶することは非常に難しく、また、根絶できたとしても多額の費用や長い年月が必要になるため、植物病害虫の侵入・まん延を未然に防ぐための取り組みが非常に重要である。実際、日本においても、大正時代に初めて南西諸島に侵入した重要害虫であるウリミバエを根絶するために20余年の歳月と204億円もの費用がかかった事例がある。



国際植物防疫年
2020

図-1 国際植物防疫年 2020 のロゴマーク

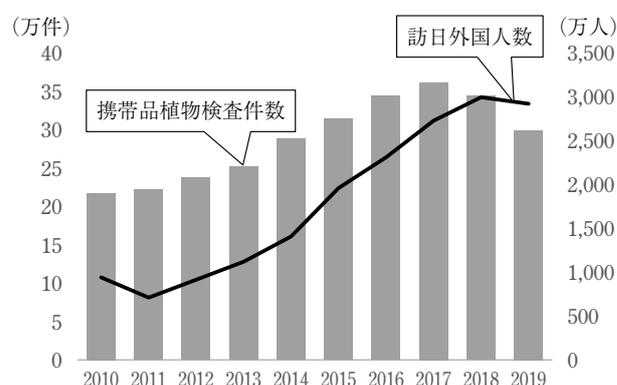


図-2 訪日外国人数と携帯品植物検査件数
※携帯品植物検査件数および訪日外国人数ともに2019年は11月末までの速報値。

近年、海外からの入国者の急激な増加などにより、病害虫の侵入リスクも高まっている。2020年は東京オリンピック・パラリンピックの年でもあり、さらに多くの外国人が訪日することが見込まれており、植物防疫の重要性はますます高まっている(図-2)。

2020年の国際植物防疫年の機会に、国際的に複数の活動が行われる予定であるが、農林水産省としても日本国内において、旅行者や消費者等幅広い方々に植物防疫の重要性を周知したいと考えている。本稿においては、国際植物防疫年に関する国際的な取り組みに加え、国内での取り組みを紹介する。

II 国際的な取り組み

国際植物防疫年に関する活動は、FAOおよびFAO内に事務局が設置されている国際植物防疫条約 (IPPC)

Activities on International Year of Plant Health in Japan. By Mitsuaki MOCHIZUKI
(キーワード: 国際植物防疫年, 植物防疫, 植物検査, IYPH2020)



図-3 国際植物防疫年開始イベント（2019年12月，ローマ）

が主導している。具体的な取り組みとしては、国際植物防疫年のロゴ、ショートビデオ、ポスター等の広報資料が作成されているほか、複数の記念イベントが開催される。

まず2020年に先立ち、昨年12月にローマのFAO本部において国際植物防疫年開始イベントが開催され、FAO事務局長や複数国の農業担当大臣が出席するとともに、グテーレス国連事務総長からのメッセージが紹介された（図-3）。また、2020年6月まで国際植物防疫年に関する国際写真コンテストが実施されており、優秀作品には賞が授与される予定である。2020年4月2日には、ローマにおいてIPPC総会関係会合の開催が予定されており、本関係会合において、IPPCの今後10年間の活動方針をまとめた「IPPC戦略的フレームワーク2020-2030」が採択される見込みである。また、2020年10月5日～9日、フィンランドにおいて、500人以上の参加が見込まれる大規模な国際カンファレンスが開催される予定となっており、本カンファレンスにおいては、植物防疫に関連する規制、科学、貿易等のテーマごとに複数のシンポジウムやワークショップが開催されることとなっている。さらに、2020年12月または2021年1月に、ローマで国際植物防疫年の終了イベントが開催される見込みである。なお、現在、FAOにおいては、国際植物防疫年を記念して国際植物防疫日（International Plant Health Day）を制定することも検討されている。

米国、中国、EU等の各国・地域においても、国内でのワークショップの開催や新聞、雑誌等のメディアを活用した広報活動などが実施される見込みである。

III 日本における取り組み

農林水産省においては、これまでも植物病害虫による農業被害を防ぐため、港や空港での輸入検疫による侵入防止や、日本から諸外国に植物を輸出する際の輸出検査、

国内で発生した病害虫の防除等に取り組んでいる。また、港や空港において植物の輸出入に関する制度の周知活動を実施しているが、必ずしも植物防疫の重要性や植物防疫制度が国内の多くの方に十分認知されているとは言えない状況である。このため、農林水産省では、国際植物防疫年の機会を活用し、植物防疫の重要性について国内に幅広く周知する活動を実施することとしている。

この取り組みの一環として、国際植物防疫年に貢献する関係企業・団体や研究・教育機関等を農林水産省がオフィシャルサポーターとして認定する制度を実施している。農林水産省は、オフィシャルサポーターが実施した取組を農林水産省ホームページなどで紹介する。関係企業・機関等が行う取組としては、①企業などのホームページ、SNS、広報誌等で国際植物防疫年を紹介すること、②植物防疫に関する広報資料の配布・掲示を行うこと、③イベント、セミナー、研修、講座等を開催すること、④航空機内や空港等で持ち込み禁止植物に関するアナウンスを実施すること等が想定される。オフィシャルサポーター制度を通じて、旅行者のみならず、農業関係者に対しても植物防疫の重要性をより深く知っていただく機会になることを期待している。農業関係者に対しては、特に、①個人で種苗類を海外から購入する場合も必ず植物検疫が必要であること、②見慣れない病害虫の被害を発見した場合は都道府県に早急に報告すること、③病害虫防除にあたっては、最新の知見や発生予察情報に基づく適切な防除や、環境負荷を軽減した総合的病害虫防除が重要であること、④諸外国も病害虫の侵入リスクを懸念しており、日本の農産品を輸出する場合も輸出相手国の要求事項に沿った検疫が必要であること、⑤外国人技能実習生が輸入禁止・規制植物を日本に持ち込むことがないように注意すること、等を周知することが重要と考える。本稿をご覧の農業関係企業・団体や研究・普及機関の皆様においても、オフィシャルサポーターへの応募をご検討いただければ幸いである。詳しくは「国際植物防疫年オフィシャルサポーター」で検索していただきたい。

また、農林水産省では、WEB広報、テレビ番組、SNS等の政府広報を通じた周知活動も実施している（図-4）。1月11日（土）には、BS-TBSの政府広報番組で国際



図-4 国際植物防疫年についての農水省ウェブサイトへのリンク

植物防疫年 2020 が紹介された。ご関心があれば以下の URL でバックナンバー「その果物と野菜 持ち込み禁止です！ ～2020年国際植物防疫年」をご覧ください。

<https://nettv.gov-online.go.jp/prg/prg20080.html>

さらに、本年 10 月には国際植物防疫年を記念した郵便切手が発行される予定であり、機会があれば郵便局や日本郵便のホームページで記念切手のデザインをご覧ください（デザインは本年 8 月ころに公表予定）。

おわりに

国際植物防疫年という貴重な機会を捉えて、一年間を通して、植物防疫に関する認識を高める年にしたいと考えているため、関係者の皆様にもご支援、ご協力をいただければ幸いです。

国際植物防疫年 2020 に関する主要スケジュール

2019 年 12 月 2 日 IYPH2020 開始会合（ローマ）

2019 年 12 月 11 日～2020 年 12 月 国際植物防疫年 2020 オフィシャルサポーター制度実施（国内）

2019 年 12 月 2 日～6 月 15 日 IYPH2020 写真コンテスト（FAO 主催）

2020 年 4 月 2 日 国際植物防疫条約総会閣僚級会合（ローマ）

2020 年 10 月 5 日 国際植物防疫年 2020 記念切手発行（国内）

2020 年 10 月 5 日～9 日 IYPH2020 国際カンファレンス（ヘルシンキ）

2020 年 12 月または 2021 年 1 月 IYPH2020 終了会合（ローマ）

（新しく登録された農薬 28 ページからの続き）

ばら：アブラムシ類、カンザワハダニ、アザミウマ類、クロバネキノコバエ類、コガネムシ類、ハスモンヨトウ、うどんこ病、黒星病：発生初期

カーネーション：アブラムシ類、ナミハダニ、アザミウマ類、クロバネキノコバエ類、ハスモンヨトウ、うどんこ病：発生初期

パンジー：アブラムシ類、アザミウマ類、クロバネキノコバエ類、ハスモンヨトウ、うどんこ病、灰色かび病：発生初期

ペチュニア：アブラムシ類、アザミウマ類、クロバネキノコバエ類、ハスモンヨトウ、うどんこ病、灰色かび病：発生初期

花き類・観葉植物（ばら、カーネーション、パンジー、ペチュニアを除く）：アブラムシ類、アザミウマ類、クロバネキノコバエ類、ハスモンヨトウ、うどんこ病：発生初期

樹木類（つばき類、さくらを除く）：アブラムシ類、ケムシ類、ヒロヘリアオイラガ、うどんこ病：発生初期

つばき類：アブラムシ類、ケムシ類、ヒロヘリアオイラガ、うどんこ病：発生初期

さくら：アブラムシ類、オウトウハダニ、ケムシ類、ヒロヘリアオイラガ、うどんこ病：発生初期

●テトラニリプロール・イソチアニル粒剤

24319：ヨーバルトップ箱粒剤（バイエル）20/1/29

テトラニリプロール：1.5%

イソチアニル：2.0%

稲（箱育苗）：いもち病、イネドロオイムシ：は種前

稲（箱育苗）：いもち病、イネドロオイムシ：は種時（覆

土前）～移植当日

稲（箱育苗）：苗腐敗症（もみ枯細菌病菌）：は種前

稲（箱育苗）：苗腐敗症（もみ枯細菌病菌）、白葉枯病、苗立枯細菌病：は種時（覆土前）

稲（箱育苗）：白葉枯病、苗立枯細菌病、内穎褐変病、もみ枯細菌病、ツマグロヨコバイ、コブノメイガ、イネツトムシ、ニカメイチュウ、イネミズゾウムシ、フタオビコヤガ：は種前

稲（箱育苗）：内穎褐変病、もみ枯細菌病、ツマグロヨコバイ、コブノメイガ、イネツトムシ、ニカメイチュウ、イネミズゾウムシ、フタオビコヤガ：は種時（覆土前）～移植当日

稲（箱育苗）：穂枯れ（ごま葉枯病菌）：移植当日

「除草剤」

●トリアファモン・ピラクロニル・ベンゾビスクロン粒剤

24320：アシュラジャンボ（協友アグリ）20/1/29

トリアファモン：1.25%

ピラクロニル：5.0%

ベンゾビスクロン：5.0%

移植水稻：一年生雑草、マツバイ、ホタルイ、ウリカワ、ミズガヤツリ、ヘラオモダカ、ヒルムシロ、セリ、オモダカ、クログワイ、コウキヤガラ、アオミドロ・藻類による表層はく離

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、ヒルムシロ、セリ

（42 ページに続く）

植	物	
	防	疫
講	座	

病害編-26

Fusarium 属菌の生態・病原性・実験方法と分類に関する近年の状況

静岡県農林技術研究所（静岡県病害虫防除所） 外 側 正 之

はじめに

Fusarium 属菌に関する解説書は既に刊行されている。松尾卓見氏らによる「作物のフザリウム病」および、その改訂版として出版された駒田 旦氏らによる「フザリウム—分類と生態・防除—」である。植物病原菌の中で、特定の属に絞った日本語による単行本が発行される事例は極めてまれであるが、幸いにも *Fusarium* 属菌はそのまれな例であることから、上記2冊を読んで貰えば、本属菌に関する情報は「生態と防除法」を含めて十分に得られる。しかし、前者は既に絶版であり、後者は本属菌を研究テーマにしている者であっても通読するのは容易ではない程ボリュームが多い。一方、筆者は既に本誌57巻4月号（外側, 2003）において土壌伝染性 *Fusarium* 属菌について、また、本誌59巻10月号（外側, 2005b）において、通称「赤色系フザリウム」と呼ばれる一群について各々総説を述べている。さらに前者は、「植物防疫」特別増刊号（No.15）の中にも再録され、現在も入手可能な状態になっている。実験手法に限れば、日本菌学会の会員の方は、日本菌学会誌ニュースレターのバックナンバー（外側, 2005a）でも閲覧が可能である。

そこで以下では、上記文献中に既に記したことの中でも、特に重要な箇所を確認の意味で再度記すとともに、上記の記載以降に明らかになってきた情報を加味するという形をとった。そのため、教科書のような系統だった記載ができなかったことを、まずはご了解いただきたい。

I *Fusarium* 属菌全般の生息場所について

植物病原菌としての *Fusarium* 属菌に触れる前に、まずは記しておきたいことがある。*Fusarium* 属菌は非常に生息範囲の広い菌であり、農作地だけでなく、林地や海中にも分布しているし、中には人や昆虫の病原菌とし

て知られる種もある（例：チャの害虫クワシロカイガラムシの寄生菌として知られる *F. coccophilum* は、胞子塊の鮮やかな色調から「猩紅菌」と呼ばれる）。家庭内でも、ごく普通に空気中や壁等から分離される（高鳥, 2002）。要は、極限環境でなければ、どこにでもいる菌と考えたほうが早い（極限環境下における生態は極めて興味深い課題ではあるが現在のところ未知の状態にある）。また、農作地においても、農作物に病原性を示さない非病原菌も多い。というより、土壌中や植物体上には非病原性の *Fusarium* 属菌が、ごく普通に普遍的に生息している。こうしたことは、*Fusarium* 属菌を分離した経験が豊富にある者にとっては常識的なことであるが、長年、本属菌についての相談を受けていて、「*Fusarium* 属菌＝すべて植物病原菌 or 少なくとも植物に必ず関係している菌」と思い込んでいる方が少なからずいるので、認識を改めていただきたい。

II 植物病原菌としての *Fusarium* 属菌

日本植物病理学会編「日本植物病名目録」（2019年9月版）によれば、*Fusarium* 属菌による病害は、現在までに63科199作物に合計293種類の病名が記載されている（注：集計に際して、記載内容から日本国内における発生ではないことが明らかな病名は除いた。逆に、完全時代しか記載がない病名の中で、不完全時代が *Fusarium* 属菌であることが明らかな病名は集計に加えている。）が、この数字だけでも非常に広範囲の植物に病原性を有している菌であることが窺える。もっとも、この範囲の広さが、「*Fusarium* 属菌＝すべて植物病原菌」という誤解を生んでいるのかもしれないが。

一つの作物で多くの病名が記載されているものとしては、イネ・トマトで5病害、キク・サツマイモ・ダイズ・シンビジウム・カラマツ・トウガラシで4病害が記載されている。また、一つの病害に多くの種が関与している例も多い。トウモロコシ赤かび病・ジャガイモ乾腐病における5種を筆頭に、イネ赤かび病・コムギ赤かび病・ベントグラスフザリウム病・メロン褐色腐敗病・マ

Fusarium : Ecology · Pathogenicity · Experiment Methods and Recent Information about Taxonomy. By Masayuki TOGAWA

（キーワード：フザリウム, 生息場所, 病原性, 診断, 実験法, 分類）

ツ類苗立枯病では4種が関与している。一方、登場してくる種名の中で最も多いのは、*F. oxysporum* であり、137種類の病害に関与している。*Fusarium* 属菌による全病害の中で46.8%とほぼ半数に関与している。

しかし、なかにはアブラナ科のハクサイやブロッコリーのように、栽培年数や面積は全国で見れば相当あると思われるような作物でも、いまだに *F. oxysporum* をはじめとするフザリウム病の記載がない作物もある。

ただし、いずれにしても、*Fusarium* 属菌による病害は圧倒的に草本性植物に多いことは明らかである。木本性植物にも多くの病名記載があるものの、ほとんどは苗の病害であり、成木での病害は極めてまれである。*Fusarium* 属菌が俗に「畑の菌」と言われる所以であろう。実際には、春先に切り株からの樹液に多量の *Fusarium* 属菌 (*F. aquaeductuum* が主要菌とされている) が繁殖している事例がよく知られているように、林地でも一般的に生息していることは確かなのであるが。

III フザリウム病の診断

1 非病原性 *Fusarium* 属菌との区別

繰り返しになるが、まず第一に、植物体上には多くの非病原性 *Fusarium* 属菌が生息していることを念頭に観察すること。具体的には、罹病部位に白色・クリーム色・オレンジ色の孢子塊が見られ、顕微鏡観察で三日月・舟型・鎌型の孢子が見えたとしても、焦って *Fusarium* 属菌による病気と断定しないこと。確かに、ウリ類つる割病などでは、病勢が進展すると地際部の茎上に病原菌の孢子塊が観察されるが、一方で *Fusarium* 属菌の孢子塊は他の原因で枯死した植物体上にも容易に形成さ



図-1 トマト立枯病で、地際部付近の茎上に形成された子のう殻 (子のう殻の直径は約 0.3 mm)

れる。以前に「土壌病害の見分け方」(外側, 2012)にも記したが、*Fusarium* 属菌による病害を正確に診断しようと思うなら、まずは *Fusarium* 属菌以外の原因がないかを注意深く観察する必要がある。

なお、ガーベラ株枯病やトマト立枯病における地際部の赤～オレンジ色の粒々、ムギ類赤かび病やカーネーション立枯病における病斑上の濃紺色 (肉眼的には黒色) の粒々は、*Fusarium* 属菌による病害の完全世代 (有性世代) である子のう殻が形成されたものである (図-1)。顕微鏡で子のうや子のう孢子が観察できれば、筆者の経験からは、ほぼ間違いなく診断 (病名) を確定してよいと考える。

2 症状からの種の推定

次に *Fusarium* 属菌が原因である可能性が高くなったら、発病部位をていねいに観察したい。そのためには、発病初期のサンプルを多数集めてていねいに植物表面を洗浄し、ルーペを用いて病原菌が最初にどこから侵入しているかを観察する。

例外はあるものの、

①根から発病が始まり、主根やクラウン内の維管束が褐変し、その褐変が地上部の茎内を下から上に伸びている場合は、*F. oxysporum* による病害の可能性が高い (図-2)。
②地際部付近 (おおよそ地表面から 10 cm くらいの間) の植物体表面から発病が始まり、腐敗・枯死が内部に進んでいる場合および植物体内は維管束のみならず髓部を含めて腐敗が起きている場合は、*F. solani* (分子系統学的解析手法による種の細分化が進み、最近の原著論文な



図-2 *F. oxysporum* による維管束褐変の例 (写真は「セルリー萎黄病」)

どでは *F. solani*-complex と記載される場合が多い。complex は「複合体」と訳される。) による病害の可能性が高い。

③地上部の比較的高い部位に病斑が形成される場合や、病気の広がり方から空気伝染が強く疑われる場合は、*Gibberella fujikuroi*-complex (イネばか苗病菌など、従来 *F. moniliforme* と呼ばれていた種が含まれる) や、小型分生孢子 (= 小型分生子, 小分生子) を形成せず大型分生孢子 (= 大型分生子, 大分生子) のみを形成し、培地上で赤色 (褐色, 黄色) を呈するグループ (従来, Snyder-Hansen および松尾の分類で *F. roseum* と呼ばれていた種) による可能性が高い。

もちろん、例外は多数ある。苗のような軟弱な状態では、*F. oxysporum* や旧 *F. roseum* による苗全体の腐敗も起きるし、*F. oxysporum* の孢子が空気伝染して地上部の途中から植物体内に侵入する例などもあるが、まずは上記の原則を頭に入れて次の分離・培養作業に進む。

3 病原菌の分離

植物体内で生存している *Fusarium* 属菌は *Pythium* 属菌や *Phytophthora* 属菌と異なり、各種薬品による表面消毒に強いので、一般的な「組織分離法」でよい。病斑上の孢子塊を滅菌水に懸濁し粗く画線培養することによって、一段階のみで単孢子分離株を得る方法もあるが、既述したように、非病原性 *Fusarium* 属菌による孢子塊の場合も多いので、サンプルを十分に水洗した後、植物体内の健全部と罹病部の境界を切り出し、エタノールなどで表面殺菌してから培地に置床する「組織分離法」のほうが確実に病原菌を分離できる。表面消毒の時間や消毒に用いる薬品の種類は、分離切片の汚染度や切片の大きさ・材質で変わる。これは自身で経験して習得するしかない。

なお、培地に置床する前に、滅菌ろ紙で余計な水分を除去することは、細菌によるコンタミを防ぐために重要な点である。ストレプトマイシンやクロラムフェニコール等の抗生物質を培地に添加することでも細菌によるコンタミは防げるが、それでも余計な水分を除去してから置床したほうが分離効率がよい。

培地については、PDA, PSA 培地を使うことが多いと思われる。色調観察を行い種名の推定をするには最も使いやすい適当な培地であることは確かなのだが、一方で、*Fusarium* 属菌は栄養豊富な培地上では極めて変異を起こしやすいことで知られている。そこで、菌糸が生育してきたら、まずはその先端を切り取り、保存用培地 (SNA; Synthetic low-Nutrient Agar) に移しておくことを強く勧めたい。同定用の培地であると同時に、保存用

培地としても優れた SNA 培地の処方 は以下の通りである。SNA 培地で培養後は、乾燥を防ぎ 5℃ 付近で保存すれば、10 年以上にわたって、孢子の形態をはじめコロニー性状や病原性にも変異を起こさないことを、最近セルリー萎黄病菌 (*F. oxysporum* f.sp. *apii*) で確認した (外側, 未発表)。

SNA 培地: KH_2PO_4 : 1 g, KNO_3 : 1 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: 0.5 g, KCl : 0.5 g
 グルコース: 0.2 g, スクロース: 0.2 g, 寒天: 20~23 g, 蒸留水: 1 l,
 pH: 調整は特に必要ない。6~7 付近になるはずである。
 すべての試薬が完全に溶けてからオートクレーブで滅菌する。

SNA 培地での培養を始めながら、PDA・PSA 培地での培養も続け、色調変化を観察する。シャーレ裏面から観察して、始め「白色」で次第にコロニー中心付近から不連続的に「赤紫色」「青紫色」を帯びるようになったら、いわゆる「白色系」と呼ばれる *F. oxysporum*, *F. solani*-complex, *Gibberella fujikuroi*-complex のいずれかである可能性が高い。次に小型分生孢子が形成され観察出来る時期を待つ。

一方、シャーレ裏面の色調が早い段階から「赤色 (紅色・オレンジ色や、黄色の混じった赤色になることも多い)」を示すようになったら、いわゆる「赤色系」と呼ばれ、従来の分類で *F. roseum* と呼ばれていた一群 (代表的なものがムギ類赤び病菌の *F. graminearum*) の可能性が高い。培養日数が経っても大型分生孢子しか形成しない場合は、この一群であると判断してよいので、SNA 培地 (孢子形成を促進する目的で培地上に滅菌ろ紙を並べてから菌を接種する) や CLA 培地 (Carnation Leaf Agar) といった *Fusarium* 属菌同定用の培地で培養し、形成された大型分生孢子の形態を観察する。なお、三日月型の大型分生孢子のほかに、洋梨型や球状の小型分生孢子を形成するものがあれば、「赤色系」の中で *F. roseum* グループに入らない、*F. tricinctum*, *F. poae*, *F. sporotrichioides* といった種である可能性が高い。これらも SNA 培地や CLA 培地といった *Fusarium* 属菌同定用の培地で培養し、形成された小型分生孢子の形態を観察することで同定を行う。

では PDA・PSA 培地上で黄色~褐色を示した場合は? これは、「白色系」「赤色系」両方の可能性がある。筆者の経験では、小型分生孢子を形成する場合は *F.*

solani-complex, 培養10日目を過ぎるころになっても大型分生孢子しか形成しない場合は、赤色系の *F. roseum* と呼ばれていた一群の可能性が高い。

なお、赤紫色を帯びる白色系に関し、赤色系との区別が難しい菌株があるとの声を聞くことがある。この場合、赤色がくすんでいたり紫色が混じっているような場合は「白色系」（筆者の経験では、*F. oxysporum* である場合がほとんど）、鮮やかな赤色（というより紅色）を呈する場合は、「赤色系」である。文章で書くとなかなか難しいので実際に分離・同定を繰り返して見慣れて欲しい。また、赤色系は気中菌糸の生育が白色に比べて旺盛で、しばしばシャーレの上ふたに接する程になることも知っておくと便利であろう。

最後に、大型分生孢子すら形成しない場合について述べる。植物病原菌の取り扱いに慣れてくると、菌糸生育の状況から「多分、*Fusarium* 属菌だろうなあ〜」と想像はつくものの、三日月型の大型分生孢子を形成しないために、*Fusarium* 属菌という確証さえ得られない場合がある。「赤色系」でしばしば見られる状態である。迅速な診断結果が求められる都道府県の試験場や病害虫防除所では診断の当たりが付けられずにヤキモキするであろう。この場合、SNA・CLA培地を用いた培養でも菌株によっては、培養数日で大型分生孢子塊である白色・クリーム色・オレンジ色の孢子塊（図-3）を形成するので、それで確証が得られることもあるが、孢子形成までに1週間以上を要する菌株も少なくない。最も確実なのは、OMA（オートミール）培地を使うことである。溶かしてオートクレーブするだけで使える出来合の培地が市販されている。培養1~2日で豊富な気中菌糸を生じるので、これを滅菌した白金耳で引っ搔いて取り除き、培地表面も軽く擦る（図-4）。孢子形成を促進するために蛍



図-3 CLA培地のカーネーション葉上に形成された *F. graminearum*（広義）の子のう殻と大型分生孢子塊

光照明下やBLB照射下で培養すると、翌日か遅くとも2日後には多量の孢子が形成される（図-5）。照明下での培養が難しい場合、真冬でなければ日光が差し込む窓際に置いてよい。ただし、OMA培地上に形成される孢子は、形・大きさが極めて不均一であるので、同定には決して使わないこと。

4 孢子の顕微鏡観察

Fusarium 属菌の同定にはSNA・CLA培地による培養が必要と既述したが、検出頻度の高い「白色系」と呼ばれる *F. oxysporum*, *F. solani-complex*, *Gibberella fujikuroi-complex* の小型分生孢子の形成状況については、PDA・PSA培地で培養した状態でも当たりを付けるには十分である（注：大型分生孢子の形態、大きさの確認にはSNAかCLAが必須である）。

培養数日後から徐々に小型分生孢子が気中菌糸上に形成され始める。注意点としては、

- ・ *F. oxysporum*：菌糸の途中に短い柄（専門用語で「担子梗」という）を形成、その先端に小型分生孢子が塊になって（擬頭状、擬頭状と表現される）生じる。柄は小型分生孢子の長径の1~3倍程度で短い（図-6右）。
- ・ *F. solani-complex*：菌糸の途中に長い柄を形成、その先端に小型分生孢子が擬頭状になって形成される。柄は



図-4 OMA培地上に形成された気中菌糸の白金耳を用いた掻き取り作業



図-5 OMA培地上に多量に形成された大型分生孢子塊
bar = 5 mm.

小型分生胞子の長径の3倍以上。ただし、短い柄も必ず混じっていることに注意。途中で分岐している長い柄があれば、ほぼ確実である。

・ *Gibberella fujikuroi*-complex：小型分生胞子を短い柄の上に、疑頭状および連鎖状に形成する(図-7)。連鎖状に形成するだけではないことに注意。さらに、まず最初に疑頭状に形成され、しばらく経ってから連鎖状に形成される柄が現れる場合が多いことに注意する。よって、焦ると *F. oxysporum* と間違える。また、イネばか苗病菌のように連鎖が長いものばかりでなく、短い連鎖しか形成しない種も見つかったので注意が必要である。

次に、赤色系を観察するときの注意を記す。ポイントは、カバーガラスを被せたり、スライドガラスに垂らした水中に菌糸をかき混ぜてから観察するようなことはしないこと。

赤色系は大型分生胞子の形態が同定の決め手であるが、培地上にベタッと貼り付くように形成されるタイプの胞子(「分生子座性分生子」と呼ぶことがある)と、気中菌糸上に形成されるタイプの胞子とで形態や形成様式が異なる種がある。カバーガラスを被せたり、水中の



図-6 *F. oxysporum* の大型分生胞子(左)、短担子梗上の小型分生胞子(右)

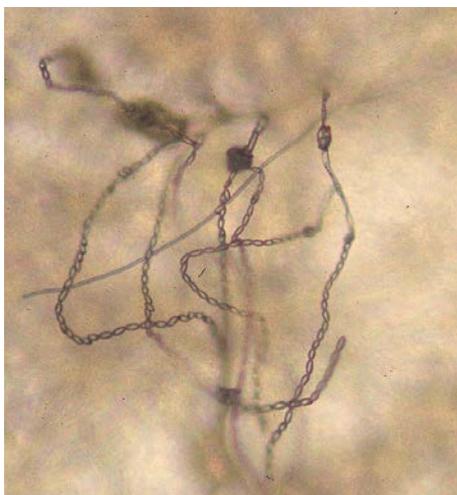


図-7 *G. fujikuroi*-complex が形成する連鎖状の小型分生胞子

菌糸をかき混ぜると、この2種類の胞子が混ざり合い、正確な同定ができなくなる。*F. incarnatum* (旧 *F. semitectum*) が気中菌糸上に作る rabbit-ears-like と表現される大型分生胞子の形成状態は、この典型である。また、ムギ類赤かび病やカーネーション立枯病を起こす種の一つとして知られる *F. avenaceum* は mesoconidia (中生子と訳される場合がある) と呼ばれるタイプの胞子を気中菌糸上に形成することがあり、この観察のためにも上記の点は重要である。

5 接種試験

診断に際しては最終的に接種試験が必要な場合もある。方法については、最初に記した2冊の専門書のほかにも、「作物病害研究技法の基礎」(大畑ら, 1995) もあり、個別にはそれらを参照願いたい。2点注意を記したい。

・ 接種試験中の温度：これはアブラナ科野菜における分化型 (f.sp.) 決定試験の際に気付いた点であるが、温度が高すぎると寄主範囲が不明瞭になり、f.sp. を決めるのが難しくなる。おそらく菌の有する病原力以外にも、高温による植物側のストレスがかかわってきってしまうためだろう。あくまで、試験している作物の生育に適する温度で試験をすべきである。アブラナ科であれば、高くても 20~23°C 前後を保ち、昼夜 25°C を超えているような状態は避けるべきである。

・ *F. solani*-complex や赤色系：*F. oxysporum* と異なり、日和見的な面が多分にある。これらの菌を病原菌として学会発表等まで持ち込む場合には、繰り返しのいいない接種試験が必須と考える。もしくは、イチゴ乾腐病(舟久保ら, 2008)で肥料過多が発病を促進する要因であると発表されたように、環境要因を明確にしておかないと、後の人が再試を行う際に難儀することになる。

IV Fusarium 属菌の分類について

かつて、*Fusarium* 属菌の分類が、大きくまとめる「ランパー派」と細かく分ける「スプリッター派」に二分されていたことはよく知られている。実際は、その中間的な分類を提唱する研究者もおり、駒田氏の言葉を借りれば「まさに百家争鳴の様相を呈するに至った」状態が続いた。日本では、信州大学の松尾卓見氏が「ランパー派」の代表である、いわゆる Snyder-Hansen 方式を引き継ぎ、それに日本独自の1種を加えた「9+1システム」を採用し、国内で長らく使用されてきた。しかし、1980年代に入り、Snyder-Hansen の直系の弟子であったペンシルバニア大学のグループが、その分類体系を放棄した。この時期は、遺伝子 DNA の配列解析を基にした分子系統学的解析手法が導入され始めたことも重なって、

Fusarium 属菌の分類は次第に「スプリッター」に収束していくことになる。上記したように、日本では「ランパー」派の分類体系を長らく使用していたため、「スプリッター」への転換は、現場を預かる都道府県の病害担当者に種々の戸惑いを生じさせたことは私の記憶に鮮明に残っている。特に、顕微鏡による形態観察だけでは区別が付かず、分子生物学的手法でしか区別できない種名の登場は、*Fusarium* 属菌の同定を、それまで以上に困難なものと印象づけてしまった感が否めない。

以下にいくつかの具体例をあげてみたい。

1 *F. graminearum* の細分化

F. roseum を分割することは病原性の明瞭な *F. graminearum*, *F. avenaceum*, *F. culmorum* と非病原菌（日和見菌）を分ける意味で、現場でも理解が得られていたと考えるが、*F. graminearum* の細分化（当初 9 系統に分割、現在では 12 種に分割）は現場に戸惑いを生じさせた。特に、2002 年、厚生労働省によるカビ毒 DON の暫定基準値が設定され、いわゆる「赤かび粒混入 0.0%」基準が現場に突きつけられた時期に重なったため、原因菌の特定が顕微鏡観察だけでは不可能な分類体系の導入に対する抵抗はかなりのものであったと記憶している。それでも、第 7 系統の *F. graminearum*（狭義）は東北・北海道といった寒冷地に多く、第 6 系統の *F. asiaticum* は気温の高い西日本に多いという、地理との関連づけがなされているなど、遺伝子配列の違い以外の特徴があることから、徐々に現場にも受け入れられるようになってきたと感ずる。ただし、系統と毒素産生能との関連は現在までのところないようである。また、細分化にあたり *F. graminearum* という学名を残したため、学名を記す際に、細分化される前の *F. graminearum* なのか細分化後の *F. graminearum* なのかを区別するために、前者を *F. graminearum*（広義）、後者を *F. graminearum*（狭義、または「狭義」を示す「sensu stricto」を略して「s.str.」と記す。）と毎回記さねばならない点は誠に厄介である。また、文献によっては、広義・狭義どちらを指しているのか判断に窮する場合も少なくない。この点は、旧 *F. moniliforme* を細分化し、*Gibberella fujikuroi*-complex とする過程で、旧 *F. moniliforme* を *F. verticillioides* に移行した（植物病原菌類談話会、2010）のは混乱を避ける意味で賢明な措置であったと考える。

2 小型分生胞子も形成する赤色系は系統を反映していなかった

形態のみで同定していたころは、赤色系の中で小型分生胞子も形成する種である、*F. tricinctum*, *F. poae*, *F. sporotrichioides* は分類学的位置が近いという考えの元に

「*Sporotrichiella* Section（節）」にまとめられていたが、系統樹を作成した結果、*F. poae*, *F. sporotrichioides* は近い関係にあったものの、*F. tricinctum* はかなり離れた位置にあることが明らかになった。形態のみによる分類が人為的なものであり、系統を必ずしも反映していない例と言えるだろう。

3 *F. oxysporum* の細分化

旧 *F. moniliforme* と旧 *F. solani* は既述したように既に細分化され、各々 *Gibberella fujikuroi*-complex, *F. solani*-complex というグループ名で記されるようになったが、遂に現場で最も出現頻度の高い *F. oxysporum* の細分化が始まったとの情報が入ってきた（青木ら、2019）。この研究会の資料は公開されてないため、その内容をここに転載することはできないが、細分化に関する重要論文二つ（LOMBARD et al., 2019；MARYANI et al., 2019）を紹介するとともに、農業生物資源ジーンバンクでも保存菌株の再解析を開始していることを紹介しておく。いうまでもなく、*F. oxysporum* では病原性と直結する分化型（f.sp.）との絡みをどうするかという大問題がある。*F. oxysporum* の細分化は *F. graminearum* の細分化を遙かに上回る混乱を現場に引き起こすことが想定される。日本植物病理学会が、これらの動きをいつごろどこまで採用するのか、今後、注目される。

分類に関する既述を終えるにあたり、百家争鳴の状態にあった各分類学派の記載した学名の「対比表」が「フザリウム—分類と生態・防除—」の付表として掲載されていることを記しておきたい。青木孝之氏による労作である。*Fusarium* 属菌に関する文献を読む際に手助けとなる資料であり、大いなる活用を願いたい。

おわりに

本シリーズの目的の一つである「防除」については、全く踏み込まずに記載を終えることをお詫びしたい。199 種類もの作物に多種多様な病害を起こす *Fusarium* 属菌に関し、数ページの記述で「防除」全般について語ることは、結局のところ筆者の力では無理であった。その代わりになるかどうか不明だが、土壤病害の「生態と防除」ならこの 1 冊という書籍を紹介したい。「野菜の土壤病害」（駒田 旦著、タキイ種苗(株)広報出版部）である。残念ながら、この本も現在絶版となっているが、これほどまでに代表的な土壤病原菌の生態と防除を分かりやすくていねいに紹介した本を私はほかに知らない。正に名著である。何らかの形で再出版されることを強く望みたい。

* 培地についての確認

- ・ PDA, PSA 培地：コロニーの色調，生育温度を調べるのに適する
- ・ SNA, CLA 培地：同定，保存に適する
- ・ OMA 培地：短期間に多量の胞子を形成させるのに適する（同定には使わない！）

引用文献

- 1) 青木孝之ら (2019): 第 12 回フザリウム研究会資料集, p.14~27.
- 2) 舟久保太一ら (2008): 日植病報 74(3):180.
- 3) 駒田 且 (1998): 野菜の土壌病害, タキイ種苗(株)広報出版部, 京都, 127 pp.
- 4) ———ら (2011): フザリウム一分類と生態・防除一, 全国農村教育協会, 東京, 773 pp.
- 5) LOMBARD, L. et al. (2019): *Persoonia* 43: 1~47.
- 6) MARYANI, N. et al. (2019): *Studies in Mycology* 92: 155~194.
- 7) 松尾卓見ら (1980): 作物のフザリウム病, 全国農村教育協会, 東京, 502 pp.
- 8) 日本植物病理学会 (2019): 日本植物病名目録 (2019年9月版), 日本植物病理学会, 東京, 2123 pp.
- 9) 植物病原菌類談話会 (2010): 現場で使える植物病原菌類解説, 植物病原菌類談話会, つくば, p.77~80, p.83~85.
- 10) 大畑貫一ら (1995): 作物病原菌研究技法の基礎, 日本植物防疫協会, 東京, 342 pp.
- 11) 高鳥浩介 (2002): かび検査マニュアル カラー図譜, 株式会社テクノシステム, 東京, p.334~339.
- 12) 外側正之 (2003): 植物防疫 57(4): 28~31.
- 13) ——— (2005 a): 日本菌学会ニューズレター, 2005年4月号, p.7~11.
- 14) ——— (2005 b): 植物防疫 59(10): 5~8.
- 15) ——— (2012): 植物防疫増刊号 (No.15) 「土壌病害の見分け方」, 日本植物防疫協会, 東京, p.87~90.

(新しく登録された農薬 35 ページからの続き)

● トリアファモン・ピラクロニル・ベンゾビシクロン粒剤

24321: アシュラ 400FG (協友アグリ) 20/1/29

トリアファモン: 1.25%

ピラクロニル: 5.0%

ベンゾビシクロン: 5.0%

移植水稻: 一年生雑草, マツバイ, ホタルイ, ウリカワ, ミズガヤツリ, ヘラオモダカ, ヒルムシロ, セリ, オモダカ, クログワイ, コウキヤガラ, アオミドロ・藻類による表層はく離

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, ヒルムシロ, セリ

● トリアファモン・ピラクロニル・ベンゾビシクロン粒剤

24322: アシュラ 1 キロ粒剤 (協友アグリ) 20/1/29

トリアファモン: 0.50%

ピラクロニル: 2.0%

ベンゾビシクロン: 2.0%

移植水稻: 一年生雑草, マツバイ, ホタルイ, ウリカワ, ミズガヤツリ, ヘラオモダカ, ヒルムシロ, セリ, オモダカ, クログワイ, コウキヤガラ, アオミドロ・藻類による表層はく離

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, ヒルムシロ, セリ

● テフリルトリオン・ピラクロニル・プロピリスルフロ

24323: アットウ Z ジャンボ (協友アグリ) 20/1/29

テフリルトリオン: 0.50%

ピラクロニル: 5.0%

プロピリスルフロ: 2.25%

移植水稻: 一年生雑草, マツバイ, ホタルイ, ウリカワ,

ミズガヤツリ, ヒルムシロ, セリ, オモダカ, クログワイ, コウキヤガラ, アオミドロ・藻類による表層はく離

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, ヒルムシロ, セリ

● テフリルトリオン・ピラクロニル・プロピリスルフロ

24324: アットウ Z400FG (協友アグリ) 20/1/29

テフリルトリオン: 5.0%

ピラクロニル: 5.0%

プロピリスルフロ: 2.25%

移植水稻: 一年生雑草, マツバイ, ホタルイ, ウリカワ, ミズガヤツリ, ヒルムシロ, セリ, オモダカ, クログワイ, コウキヤガラ, アオミドロ・藻類による表層はく離

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, ヒルムシロ, セリ

● テフリルトリオン・ピラクロニル・プロピリスルフロ

24325: アットウ Z1 キロ粒剤 (協友アグリ) 20/1/29

テフリルトリオン: 2.0%

ピラクロニル: 2.0%

プロピリスルフロ: 0.90%

移植水稻: 一年生雑草, マツバイ, ホタルイ, ウリカワ, ミズガヤツリ, ヒルムシロ, セリ, オモダカ, クログワイ, コウキヤガラ, アオミドロ・藻類による表層はく離

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, ヒルムシロ, セリ

(67 ページに続く)

植	物	
防	疫	
講	座	

虫害編-25

ハナバエ科野菜害虫

地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 中央農業試験場 いわ さき あけ お
岩 崎 暁 生

はじめに

タネバエ、タマネギバエ等ハナバエ科に属する農業害虫は、国内ではこれら2種にダイコンバエ、ヒメダイコンバエ、ハコベハナバエを加えた *Delia* 属の5種と *Pegomya* 属のアカザモグリハナバエ、テンサイモグリハナバエ、ジャガイモモグリハナバエ（日本応用動物昆虫学会, 2006）、ヒメモグリハナバエ（北海道病害虫防除所, 2009）の4種を加えた9種が記録されている（表-1）。ハナバエ類に対して登録がある防除薬剤は限られ、タネバエ、タマネギバエ、テンサイにおけるテンサイモグリハナバエを除く種については、防除に際しての選択肢はそれほど多くはない。そのため本稿では、これらのうち主要な7種について、同じ作物を加害する種間の識別点、これまでに判明している発生生態や被害作物を主体に、防除対策上の要点などについて紹介する。

I 被害作物, 被害症状

1 タネバエ

タネバエは、広範な作物を加害する。ダイズ、アズキ、インゲンマメ等の豆類、トウモロコシ、ホウレンソウ、ウリ科作物等では、発芽前の種子や生育初期の胚軸部等を加害して欠株にさせたり、子葉や初生葉に対する加害により初期生育を阻害したりする（図-1~4）。また、キャベツ、ハクサイ、ホウレンソウ等の葉菜類では、発芽・定植後の苗の根や胚軸、まれには生長点付近を食害して株を枯死させたりする（図-7, 9~10, 19）。さらに、ハクサイの結球部に食入して商品価値を損ねることもある（図-8）。ダイコンでは、播種後20日程度経過した以降の根に幼虫が食入して孔を開けたり（図-12~13）、根の表面を溝状に食害する（図-14）。根に見られる食入孔は、収穫直前に食入した場合は幼虫の体幅に近い2mm程度で、早期に食入した場合は、以後収穫までの期間の根の肥大に伴い開口部の広い漏斗状を呈する（図-12）。ネギやタマネギでは、近縁のタマネギバエ（図-5）と同

表-1 農作物を加害するハナバエ科害虫

種名	学名	被害作物				
		マメ類	ネギ類	アブラナ科 野菜	ホウレン ソウ	ジャガイモ
タネバエ	<i>Delia platura</i> (Meigen)	○ ¹⁾	○	○	○ ¹⁾	
タマネギバエ	<i>Delia antiqua</i> (Meigen)		○			
ダイコンバエ	<i>Delia floralis</i> (Fallén)			○		
ヒメダイコンバエ	<i>Delia planipalpis</i> (Stein)			○		
ハコベハナバエ	<i>Delia echinata</i> (Séguy)				○ ²⁾	
アカザモグリハナバエ	<i>Pegomya exilis</i> (Meigen)				○ ²⁾	
テンサイモグリハナバエ	<i>Pegomya cunicularia</i> (Rondani)				○ ²⁾	
ヒメモグリハナバエ	<i>Pegomya flavifrons</i> (Walker)				○ ²⁾	
ジャガイモモグリハナバエ	<i>Pegomya dulcamarae</i> Wood					○ ²⁾

¹⁾ 発芽時. ²⁾ 潜葉.



図-1 大豆のタネバエ被害



図-2 インゲン胚軸のタネバエ被害



図-3 小豆子実のタネバエ被害



図-4 小豆胚軸のタネバエ被害



図-5 タマネギのタマネギバエ被害



図-6 ネギのタマネギバエ被害



図-7 ハクサイ生長点のタネバエ被害



図-8 ハクサイ結球部のタネバエ被害



図-9 キャベツ生長点のタネバエ被害



図-10 キャベツ胚軸のタネバエ被害



図-11 ブロccoli根部のヒメダイコンバエ被害



図-12 ダイコンのタネバエ被害



図-13 ダイコンのタネバエ食入孔



図-14 ダイコンのタネバエによる溝状被害



図-15 ダイコンのダイコンバエ被害



図-16 ダイコンのヒメダイコンバエ被害



図-17 ホウレンソウのアカザモグリハナバエ被害



図-18 ホウレンソウのヒメモグリハナバエ被害



図-19 ホウレンソウ生長点のタネバエ被害



図-20 ジャガイモのジャガイモモグリハナバエ被害



図-21 タネバエ雌(左)・雄成虫



図-22 タマネギバエ雄成虫



図-23 ヒメダイコンバエ雌成虫

様に茎盤部（出根部）や葉鞘内を食害して欠株や商品価値の低下を招く。

2 タマネギバエ

タマネギバエは、ネギ、タマネギ、ニラ、ニンニク等ネギ類（ヒガンバナ科ネギ（*Allium*）属）のみを加害する狭食性種である。定植後早期のネギ、タマネギ苗の茎盤部から食入して苗を枯死させたり（図-5）、ネギでは収穫近い株の茎盤部や地中の葉鞘部内に食入して商品価値を損ねたりする（図-6）。

3 ダイコンバエ・ヒメダイコンバエ

ダイコンバエ、ヒメダイコンバエは、アブラナ科植物のみを加害する。被害部は根で、ダイコンでは多数の幼虫が集団で加害することが多く、被害根はかなり大きな亀裂状の食害部を伴い（図-15～16）、この症状は常に単独で加害するタネバエによる場合と比較して激しい。ブロッコリーなど葉菜類は、食害により細根が欠失することにより地上部の生育が停滞するとともに、株が容易に引き抜けるようになって枯死に至ることもある（図-11）。

4 ハコベハナバエ、ヒメモグリハナバエ

ハコベハナバエは、ナデシコ科のカスミソウ、カーネーション、ヒユ科のハウレンソウの成長点に潜食したり、ハウレンソウでは葉の内部に潜って白色の潜葉痕（マイン）を形成する。ヒメモグリハナバエは、ハコベハナバエと同様にナデシコ科植物の葉を潜孔加害する一方、北海道でハウレンソウへの潜孔加害事例（図-18）がある。潜葉痕は、最初は緑色もしくは白色を呈し、後に枯凋する。ハコベハナバエは葉面に白色長楕円形の卵を1粒ずつ産卵する。

5 アカザモグリハナバエ、テンサイモグリハナバエ

Pegomya 属に属するこれら2種は、前述の2種と同様に、ハウレンソウの葉の内部に潜って袋状の潜葉痕（図-17）を形成する。両種ともに葉の裏面に白色長楕円形の卵を数粒の卵塊となるように産卵する。

6 ジャガイモモグリハナバエ

本種は、ジャガイモの葉の内部に潜って袋状の潜葉痕を形成する（図-20）。ジャガイモ以外には、ナス科雑草のイヌホオズキにも同様の寄生が見られる。卵は白色長楕円形で、数粒の卵塊を形成する。ジャガイモにはまれにハモグリバエが潜孔することがあるが、袋状の潜葉痕を形成するのは本種のみである。年2世代を経過する。なお、多発事例のない本種に対する登録薬剤はない。

II 識 別 点

ここでは、複数種の被害を受けるネギ類、ハウレンソウ、アブラナ科野菜における加害種の識別点を紹介する。

1 ネギ類（タマネギバエ・タネバエ）

（1）幼虫・囲蛹

終齢の3齢幼虫の前気門孔数は、タネバエでは5～8個であるのに対し、タマネギバエでは9～12個（図-34）で、後者が明らかに多い（加藤，1953）。タネバエでは気門孔数は6個程度であることが普通なので、幼虫または囲蛹を実体顕微鏡で観察することにより両者を識別することができる。

なお、ネギ類には両種のほかにハナアブ科のハイジマハナアブ *Eumerus strigatus* も加害することがある。本種幼虫は尾部中央にキチン化の強い赤褐色筒状の後気門が認められることでハナバエ科2種との違いは明白である。

（2）成虫（図-21，22）

タネバエ雄成虫（図-35）は、後脚脛節の後下（腹）方に、脛節の全長に渡って、やや粗い櫛の歯状に刺毛が20本以上、整然と配列している（図-32）。この刺毛は脛節の太さよりやや長い程度の長さ、刺毛基部の間隔は刺毛の長さよりもやや短い程度である。これに対してタマネギバエ雄成虫（図-37）の後脚脛節の後下方には、中央部、脛節全長の1/3～1/2程度の範囲にわたって同様の刺毛が配列するのみである。タネバエに見られるこの特徴は顕著であるが、視角によって見落とすことがあるので、実体顕微鏡下で虫体を回転させて観察するとよい。なお、タネバエ雄成虫の左右の複眼は頭部正面で接しているのに対し（図-24左）、タマネギバエ雄成虫は複眼間に狭いながら額帯が認められ（図-25左）、その幅は単眼の径と同じ程度である。両種の雌成虫（図-36，38）では、中脚脛節の前上方に見られる剛毛の数がタネバエでは1本、タマネギバエでは2本という相違点がある（加藤，1951）。この違いは微細なので、複数個体を観察することが望ましい。

一般的には、タマネギバエはタネバエよりもわずかに体サイズが大きい。雌成虫の体色は、タマネギバエではやや黄色みを帯びた灰色で（図-38）、タネバエでは灰黒色である（図-36）。

2 ハウレンソウ（ハコベハナバエ・ヒメモグリハナバエ・アカザモグリハナバエ・テンサイモグリハナバエ）

ハコベハナバエ、ヒメモグリハナバエはともに囲蛹尾部の後気門周辺に顕著な肉状突起を伴う。また、成虫は雌雄ともに脚が黒色である（図-39～40，49～50）。これら2種は、ハコベハナバエが雌成虫の額部に一對の額帯交叉剛毛を持ち（図-27右）、雄成虫は第3，4腹板側縁に長剛毛を伴うこと（Suwa, 1974）、ヒメモグリハナバエはこれらを欠く（図-30右）ことで識別できる。



図-24~30 ハナバエ類成虫の頭部 (左:雄, 右:雌)

24: タネバエ, 25: タマネギバエ, 26: ヒメダイコンバエ, 27: ハコベハナバエ, 28: アカザモグリハナバエ,
29: テンサイモグリハナバエ, 30: ヒメモグリハナバエ.

図-31 ジャガイモモグリハナバエ雄成虫頭部



図-32 タネバエ雄成虫の後脚脛節



図-33 雌成虫の第7腹板 テンサイモグリハナバエ (左)、アカザモグリハナバエ (右)



図-34 タマネギバエ幼虫の前気門

Pegomya 属のアカザモグリハナバエ、テンサイモグリハナバエは、幼虫や蛹（囲蛹）では、尾部に顕著な肉状突起を伴わないことで前述の2種と識別が容易である。成虫は、脚全体もしくはその一部が黄褐色であること（図-45～48）で上記2種（図-39～40, 49～50）と異なる。アカザモグリハナバエは雌成虫の第6腹板に生じる剛毛が短く直立することで、同所の剛毛が長く後傾するテンサイモグリハナバエと識別可能である（図-33；諏訪, 1970；1978）。

なお、ホウレンソウには、ハナバエ類以外にもハモグリバエ科の2種（アシグロハモグリバエ *Liriomyza huidobrensis*, ナスハモグリバエ *L. bryoniae*）が潜葉加害する。これら2種は葉脈沿いを中心に形成される幅2mm未満の細い線状潜孔に加え、雌成虫が葉面に直径1mm程度の白点となる食痕・産卵痕を多数残すことにより、ハナバエ類との識別は容易である。

3 アブラナ科野菜（タネバエ・ダイコンバエ・ヒメダイコンバエ）

（1）幼虫

終齢の3齢幼虫の前気門孔は、タネバエでは5～8個であるのに対し、ダイコンバエ、ヒメダイコンバエでは8～12個で（Brooks, 1951）、これら2種はタネバエより

も明らかに多い。そのため、アブラナ科作物を加害している種に限れば、実体顕微鏡下での幼虫または囲蛹の観察によってタネバエと他の2種とを識別することは容易である。ダイコンバエとヒメダイコンバエを幼虫や囲蛹で識別することは難しい。

（2）成虫

タネバエ雄成虫は、ネギ類の項に記したように後脚脛節の刺毛配列が顕著な特徴（図-32）により、ダイコンバエ、ヒメダイコンバエと見分けられる。ダイコンバエとヒメダイコンバエの雄成虫について、ダイコンバエ（図-41）は後脚脛節の全長に渡って前下方に一直列に配列する長剛毛を伴うのに対して、ヒメダイコンバエでは長剛毛は後脚脛節の先端付近にとどまる（加藤, 1939）。これら2種の識別については加藤（1939）に詳しい。実際には、後述するようにダイコンバエが年1世代であるのに対し、ヒメダイコンバエは年間数世代を経過すること、ヒメダイコンバエは発生地域が北海道東部の限られたエリアにとどまることから、発生種の判断に迷うことは少ない。

III 発生生態と防除法

1 タネバエ

（1）発生生態

タネバエは、本稿に挙げたその他のハナバエ類害虫とは異なり、生植物ではなく腐敗しかけた有機物に対する依存度が高い（桑山ら, 1970）。北海道のコムギやテンサイ圃場で捕獲される中・大型ハエ類の中ではタネバエの個体数が最多で（岩崎ら, 2006）、タネバエは農耕地内において発生するハエの優占種と位置付けることもできる。本種は発芽前に種皮が菌により犯された種子に対して加害するとする知見（Finch, 1989）もあり、圃場に発生しているタネバエの大半は、植物の分解物などを餌





図-35~51 ハナバエ類成虫全形図

35: タネバエ雄, 36: 同雌, 37: タマネギバエ雄, 38: 同雌, 39: ハコベハナバエ雄, 40: 同雌, 41: ダイコンバエ雄 (青森県病害虫防除所原図), 42: 同雌 (同原図), 43: ヒメダイコンバエ雄, 44: 同雌, 45: アカザモグリハナバエ雄, 46: 同雌, 47: テンサイモグリハナバエ雄, 48: 同雌, 49: ヒメモグリハナバエ雄, 50: 同雌, 51: ジャガイモモグリハナバエ雄.

にしているものと推察される。耕起直後の圃場では、碎土された土壌から生じる臭気に誘引された多数のタネバエ成虫が土壌表面を歩き回る姿が観察される。豆類では、播種時の土壌水分が多かったり、低温などによって播種から発芽までの期間が長引いたりすると被害が大きくなる傾向がある。

豆類の被害は、発芽前の子実が土中で加害されることによる不発芽や生長点の欠失 (いわゆる「ポーズ症状」) (図-2) が一般的である一方、頻度は低いものの発芽後に地際の胚軸内を加害されることによる立ち枯れ症状

(図-2, 4) となることもある。これら症状の違いは、土中の有機物から植物体へのタネバエ幼虫の摂食対象の切り替えタイミングの違いに起因するようと思われるが、その具体的な原因は不明である。

タネバエは年間複数の世代を経過する。一方、本種は20℃を上回る温度条件では発育が停滞する (桑山ら, 1970; 柳ら, 1974)。冷涼な北海道では、5月下旬から10月まで5世代を経過する一方、盛夏の平均気温が20℃を上回る期間には第3~4世代の発生量が減少し、この間の世代の経過が不明瞭となる (岩崎ら, 2006) (図-

52)。本州以南では、4～7月上旬の期間に成虫の発生が多い。7～9月にかけて夏季には発生が認められない期間があり、その期間は南方に向かうほど長くなる（富岡、1977）。

(2) 防除法

タネバエは上述のように分解中の植物体など、未熟な有機物を餌にしている。野菜類などでの本種被害の突発は、聞き取ってみると播種・定植前に有機物を施用していたという事例が少なくない。魚粕や油粕を含む肥料は本種に対する誘引性が強い（木村、1997）。被害を誘起しやすい未熟な有機物は、栽培直前の施用を避けるべきである。防除薬剤は、土壤施用粒剤や、豆類やトウモロコシを対象にした種子塗沫剤がある。チアメトキサム水和剤の種子塗沫は防除効果が高く、北海道で同剤登録後の近年、タネバエによる豆類の被害は少ない状態が続いている。ダイコンでは、播種後30日程度以降経過して肥大開始した根に中齢以上の幼虫が食入する被害が見ら

れ、播種時の土壤施用粒剤の効果は及ばないことが普通で、このような時期の被害を茎葉散布で軽減することは難しい。

2 タマネギバエ

(1) 発生生態

タマネギバエは、北海道において年間2～3世代を経過する。越冬蛹からの羽化成虫は5月中旬頃から6月にかけて出現する。定植後早期の苗が受けて欠株をまねくこの時期の被害が重要である。第1世代の成虫は7月中旬から8月下旬にかけて出現する（図-53）。長ネギでは、夏以降に発生した幼虫が培土内の葉鞘の内側、いわゆる“白根”部分に食入する被害も重要である。なお、ネギ類にはタマネギバエに加えてタネバエも発生、加害することがある。ただし、タネバエによる被害は一般的には定植後早期の場合が多いようである。

(2) 防除法

タマネギバエによる生育初期の被害は、定植苗の根や

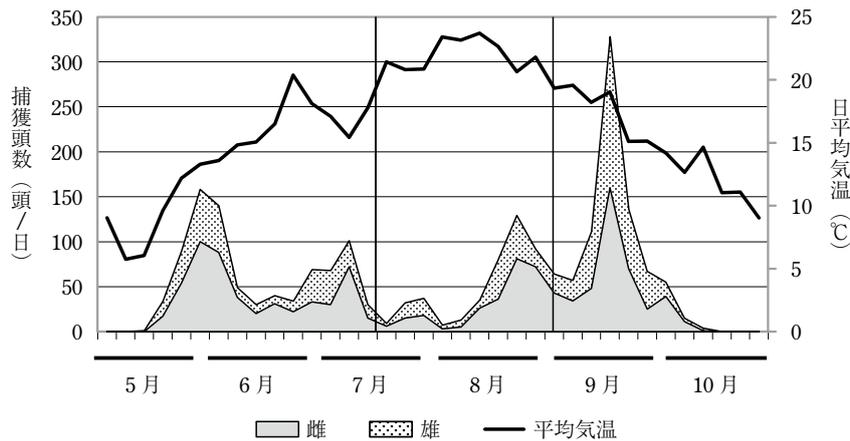


図-52 北海道におけるマレーゼトラップによるタネバエ成虫の捕獲消長と日平均気温
垂直線の間は日平均気温が20℃以上の期間を表す。

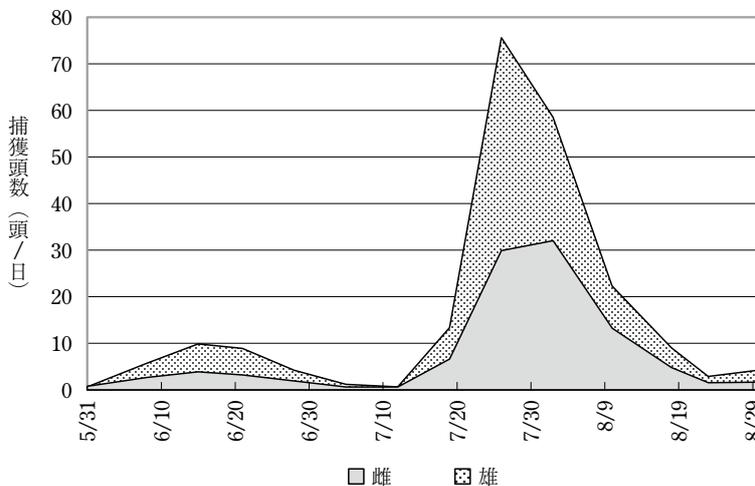


図-53 北海道におけるマレーゼトラップによるタマネギバエ成虫の捕獲消長

茎盤部に傷がある場合に生じるという知見がある(岡田, 1965)。被害軽減には、健全な苗を定植し、苗の活着を良好にすることが望ましい。防除薬剤は、土壤施用粒剤、かん注剤、茎葉散布剤等がある。茎葉散布剤については、高い被害軽減効果を得た事例が少なく、定植後に被害が認められた場合の臨機での対応は難しい。

3 ハコベハナバエ, ヒメモグリハナバエ, アカザモグリハナバエ, テンサイモグリハナバエ

(1) 発生生態

これらの種の多くは、詳しい発生経過が明らかになっていない。テンサイモグリハナバエは、北海道においてテンサイに寄生し、年間3世代、一部は秋に4世代目を経過する(奥, 1961)。無防除条件での被害葉率が50%を上回るような多発事例も過去にはあったが、近年、そのような多発生は見られなくなっている。それ以外の種についても年3世代程度を経過するものと思われる。アカザモグリハナバエは北海道では圃場周辺のアカザに普通に寄生が認められるとともに、ハウレンソウでも発生事例が少なくない。一般的には、食葉性チョウ目幼虫などの他害虫防除を実施している条件下ではいずれの種も発生が少ないようである。

(2) 防除法

ハウレンソウでは、播種から発芽時に種子や稚苗を加害するタネバエ以外に登録薬剤はない。タネバエに対しては土壤施用粒剤の登録がある。一作の栽培期間が短いハウレンソウは、タネバエ以外の潜葉種に対しては収穫によるかく乱の影響が大きい。この効果を維持増強させるため、収穫後の残渣は速やかに処分することが望ましい。また、栽培圃場周辺に自生しているアカザやハコベ等寄主となる雑草は適正に管理する。

4 ダイコンバエ・ヒメダイコンバエ

(1) 発生生態

ダイコンバエは、北日本の北海道、青森県で発生が知

られる。年間1世代の発生で、成虫は8~9月に出現し、秋ダイコンなどで被害が発生する。ヒメダイコンバエの分布は北海道東部の釧路、根室、オホーツク地方東部に限られる。同じ北海道東部でも、より中央寄りに位置する十勝地方などでは発生確認事例がない。本種は、越冬世代成虫が5~6月に出現した後、秋までに3世代程度経過する。

(2) 防除法

ダイコンバエに対する登録薬剤はない。近年、北海道東部でダイコン、ブロッコリー等に対する被害の問題が顕在化しているヒメダイコンバエは、ブロッコリーに対して育苗トレイに対するかん注剤としてクロラントラニリプロール・ジノテフラン水和剤が登録された。本剤はヒメダイコンバエに対して高い防除効果を示している。

引用文献

- 1) BROOKS, A. R. (1951): *The Canadian Entomologist* **83**: 109~120.
- 2) FINCH, S. (1989): *Ann. Rev. Entomol.* **34**: 117~137.
- 3) 北海道病害虫防除所 (2009): 北農, 札幌 **76**: 187~202.
- 4) 岩崎暁生ら (2006): 北日本病虫研報 **57**: 145~147.
- 5) 加藤静夫 (1939): 植物及動物 **7**: 1367~1376, 1529~1538.
- 6) ——— (1951): 防疫時報 **22**: 28~35.
- 7) ——— (1953): 応用昆虫 **8**(4): 152.
- 8) 木村勇司 (1997): 今月の農業 **1997**(3): 58~62.
- 9) 桑山 寛ら (1970): 農事試験調査資料125, 北海道農業試験場, 札幌, 98 pp.
- 10) 日本応用動物昆虫学会 (2006): 農林有害動物・昆虫名鑑 増補改訂版, 日本応用動物昆虫学会, 東京, 387 pp.
- 11) 岡田利承 (1965): 北日本病虫研報 **16**: 70~71.
- 12) 奥 俊夫 (1961): 北海道立農試集報 **8**: 49~57.
- 13) 諏訪正明 (1970): *Kontyu* **38**: 146~161.
- 14) Suwa, M. (1974): *Insecta Matsumurana*, n.s. **4**: 247 pp.
- 15) 諏訪正明 (1978): 植物防疫 **32**: 480~486.
- 16) 富岡 暢 (1977): 同上 **31**: 206~209.
- 17) 柳 武ら (1974): 関東東山病虫研報 **21**: 170~177.

植	物	
	防	疫
講	座	

農薬編-24

アセチルコリンエステラーゼ阻害剤

—カーバメート系—

OAT アグリオ株式会社 研究開発部 はやし 林なお 直 たか 孝

はじめに

カーバメート系殺虫剤はIRAC (Insecticide Resistance Action Committee) による作用機構分類のグループ1, アセチルコリンエステラーゼ阻害剤に属する殺虫剤群である。グループ1はサブグループとして1Aと1Bに分かれており, 1Aがカーバメート系殺虫剤, 1Bが有機リン殺虫剤と分類されている(表-1)。

サブグループ1Bの有機リン殺虫剤は本紙2019年6月号ですでに解説されており, 本稿ではカーバメート系殺虫剤の歴史, 作用機構, 薬剤特性, 抵抗性および今後について解説する。本解説にてカーバメート系殺虫剤の理解が深まることを期待する。

I カーバメート系殺虫剤の歴史

カーバメート系殺虫剤の起源は, 西アフリカのカラバル地方に産するカラバル豆 (*Physostigma venenosum*) という天然物である。カラバル豆には古代より毒性がある

ことが知られており, 現地での神明裁判などにも使われていたが, 今から約150年前にその毒性成分がフィゾスチグミンというアルカロイドであることが判明した(表-2)。

このフィゾスチグミンや類縁体のプロスティグミンはカリフォルニア大学のR. L. METCALF et al. (1950) により, 昆虫のコリンエステラーゼ阻害活性を有することが発見された。フィゾスチグミンは生体内にてイオン化されるため, イオン障壁で覆われた中枢神経には到達せず, 殺虫活性はなかったが, 殺虫剤としての可能性を求めて応用研究が進められた。また, ガイギー社のMertin GYSIN (1952) は芳香族カーバメート化合物が殺虫活性を有していることを発見し, Dimetan, Pyrolan, Isolan を合成した(表-2)。これらは殺虫剤として使用されることはなかったが, これらの発見を基に, その後様々なカーバメート系殺虫剤が合成され, 開発されることになった。

農業用殺虫剤として初めて実用化されたのはNAC (カルバリル) である。NACはユニオンカーバイド社によ

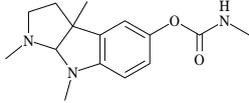
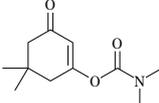
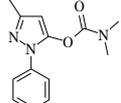
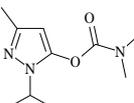
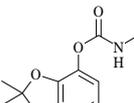
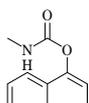
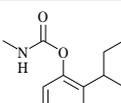
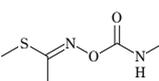
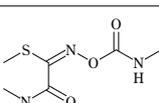
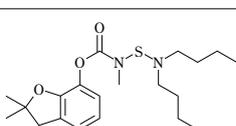
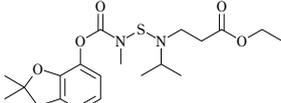
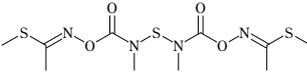
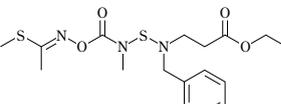
表-1 日本における農業殺虫剤の作用機構 (一部抜粋)

主要グループと一時作用部位	サブグループ あるいは 代表的有効成分	有効成分	農業名(例) 剤型省略	標的 生理機能
1 アセチルコリンエステラーゼ (AChE) 阻害剤 神経作用	1A カーバメート系	アラニカルブ	オリオン	神経
		ベンフラカルブ	オンコル	
		NAC (カルバリル)	デナボン	
		カルボスルファン	アドバンテージ, ガゼット	
		BPMC (フェノカルブ)	バッサ	
		メソミル	ランネート	
		オキサミル	バイデートL	
	チオジカルブ	ラービン		
	1B 有機リン系			

A Review of Acetylcholine Esterase Inhibitor ; Carbamate Insecticide. By Naotaka HAYASHI

(キーワード: アセチルコリンエステラーゼ阻害剤, カーバメート系殺虫剤, 殺虫剤, 作用機構)

表-2 カーバメート系化合物の構造と登録年度

名称	構造	日本国内登録年	開発会社名
フィゾスチグミン		-	天然物
Dimetan		-	ガイギー社 (現シンジェンタ社)
Pyrolan		-	ガイギー社 (現シンジェンタ社)
Isoran		-	ガイギー社 (現シンジェンタ社)
カルボフラン		-	FMC 社
NAC (カルバリル)		1959	ユニオンカーバイト社 (現バイエル社)
BPMC (フェノブカルブ)		1969	クミアイ化学工業(株)
メソミル		1970	デュポン社
オキサミル		1981	デュポン社
カルボスルファン		1983	FMC 社
ベンフラカルブ		1986	大塚化学(株) (現 OAT アグリオ(株))
チオジカルブ		1989	ユニオンカーバイト社 (現バイエル社)
アラニカルブ		1993	大塚化学(株) (現 OAT アグリオ(株))

り 1958 年に米国にて実用化され、1959 年には同社の技術提供により日本にも導入された。NAC は散布剤、粒剤等の剤型により、水稻のツマグロヨコバイに対して防除効果が認められることから広く使用された。また、1963 年ころに出現した有機リン抵抗性のツマグロヨコバイに対しても NAC が有効であることから（風野ら、1969）は、さらにその防除面積を増やし、有機リン系殺虫剤から切り替わる形で殺虫剤として注目されることとなった。このため、各農薬メーカーがカーバメート系殺虫剤の研究開発を開始し、1960 年代はこのコンセプトにて開発されたフェニルカーバメート系殺虫剤が国内で数多く開発・実用化された。現在でもそのうち比較的安全性の高い BPMC（フェノブカルブ）や上記の NAC（カルバリル）は実用場面において使用されている。

これらの殺虫剤とほぼ同時期の 1969 年に、カルボフランが米国で登録上市された。カルボフランは、それまで開発されてきたカーバメート系殺虫剤がフェニルカーバメートであったのに対して複素環であるベンゾフラン環を有しており、哺乳動物に対する毒性は高かったものの、カメムシ目、コウチュウ目、アザミウマ目およびセンチュウ類に対して優れた殺虫活性を示した。日本で登録は取得されなかったが、その後、カルボフランの低毒性化プロドラッグであるカルボスルファンやベンフラカルブがそれぞれ 1983 年、1986 年に登録・上市された。

1970 年に開発されたオキシムカーバメートを有するメソミルはチョウ目に対しても優れた効果を示すが、カルボフランと同様に哺乳毒性が非常に高く使用場面は限られていた。メソミルも同様にプロドラッグ化することによって低毒性化が図られ、チオジカルブやアラニカルブがそれぞれ 1989 年、1993 年に登録上市された。

2000 年以降は新しく登録されたカーバメート系殺虫剤は見られない。

II 作用機構

カーバメート系殺虫剤の作用機構は、アセチルコリンエステラーゼの阻害である（Tomlin, 2006）。

昆虫をはじめ各種動物において、アセチルコリンは中枢神経系の重要な神経伝達物質である。神経軸索にて電気信号として伝達された興奮は、アセチルコリンとしてシナプス前膜から放出される。このアセチルコリンはシナプス後膜の受容体に結合して興奮が伝達されるが、受容体に伝達されたアセチルコリンはアセチルコリンエステラーゼによって速やかに加水分解され、受容体から脱落して興奮の伝達は終了する。このようにシナプス間の神経伝達はアセチルコリンによって制御されているが、

カーバメート系殺虫剤により機能が阻害されたアセチルコリンエステラーゼは、アセチルコリン受容体に結合したアセチルコリンを分解することができずに昆虫に興奮を与え続け、痙攣や麻痺症状を引き起こして昆虫は死に至る。

有機リン系殺虫剤は同じ作用機構を有しており、この二剤の症状はよく似ている。ただ、その結合様式は若干異なることがわかっている。カーバメート系殺虫剤はアセチルコリンエステラーゼの 245 番目のセリン残基をカルモビル化し機能を阻害するのに対して、有機リン系殺虫剤は同じセリン残基をリン酸化することにより阻害する。カーバメート系で見られるカルモビル化セリン残基は比較的不安定であり酵素活性が回復することがあるのに対して、リン酸化されたセリン残基の結合強度は強く機能は不可逆的に阻害されるので、酵素活性の回復はあまり期待できない。

III 薬剤特性

1 殺虫スペクトル

カーバメート系殺虫剤の殺虫スペクトルは剤によって異なるが、チョウ目、カメムシ目、コウチュウ目、アザミウマ目、ハエ目、センチュウ類等かなり広範囲にわたる。いずれの害虫に対してもその効果発現は即効的であり、薬剤を処理したのち、1 時間以内に痙攣症状が発現し、処理した翌日には薬剤効果が確認できるといった特徴がある。そのため、遅効性の剤と比較して植物への加害が最小限で済むという利点がある。

広いスペクトルを有するカーバメート系殺虫剤であるが、一部の剤では天敵であるクモ類に対しては影響が少ないことが圃場試験にて明らかにされている（安富ら、1992）。

また、接触毒、食毒、双方の作用を有しており、根からの浸透移行性、進達性に優れるものが多いため、殺虫剤としての剤型は散布剤、粒剤、ベイト剤等多岐にわたり、その利便性のよさから諸外国においても穀物、野菜、果樹等様々な分野において使用されている（梅津ら、2003）。

2 カーバメート系殺虫剤におけるブレイクスルー

カルボフランやメソミルは殺虫効果が高い反面、哺乳動物に対して非常に高い急性毒性を有することはすでに述べた通りである。カルボフランはその毒性ゆえに日本をはじめ、いくつかの国では登録には至らなかった。

カリフォルニア大学の T. R. Fukuto のグループは、これらカーバメート系殺虫剤で問題とされていた哺乳毒性を軽減するべく、低毒性有機リン剤のマラチオンの代謝

機構をモデルをヒントに化合物の設計を行った。マラチオンのような P=S 型有機リンはアセチルコリンエステラーゼを直接的には阻害しないが、昆虫体内のミクロソーム代謝酵素によって速やかに酵素阻害活性の高い P=O 化合物 (マラオキソン) に変換される。一方、動物体内ではマラオキソンに代わるより早く動物体内に大量に存在するカルボキシエステラーゼによって酵素阻害活性のないマラチオンモノアジドに変換される (図-1)。

このように昆虫-動物選択性がはっきりしている代謝モデルを応用し、カルバミル基の N 位に種々の置換基を導入した化合物を合成した。それらの中で、カルボフランのカルバミル基の窒素原子にイオウを介してジアルキルアミンを結合させた dialkylaminosulfenyl 誘導体は親化合物に由来する殺虫活性を維持されたまま哺乳動物に対する毒性が著しく軽減されていた (FAHMY et al., 1970)。

この発見により、カーバメート系殺虫剤においても有機リン殺虫剤と同様に低毒化できることが判明したので、その後も N-置換アミノ酸エステルとその類縁体を結合させた新しいタイプのアミノスルフェニル誘導体が精力的に合成され、これらの化合物でも同様に昆虫-動物間の選択性が確認された (UMETSU et al., 1992)。

これらの誘導体では昆虫体内において N 部位の酸化によって代謝され、代謝物はカルボフランになるため、殺虫活性はカルボフランとほぼ同等か若干低い程度であるのに対して、マウスに対してはカーバメートのエステル部位が加水分解され、フェノールとなるので極めて低い毒性を示していることも判明した (FUKUTO, 1977)。

これら低毒性機構の発見が元になり、FMC 社のグループによりカルボスルファンが、大塚化学株式会社のグループによりベンフラカルブといった低毒性 N-メチルカーバメート剤が発見された。これらの 2 化合物は、当時

日本で難防除害虫として問題となっていたイネミズゾウムシ、ミナミキイロアザミウマに対して卓効を示し、また、各種薬剤に対して抵抗性が発達したコナガに対しても高い活性を示した。一方で、カルボフランにて問題となっていた哺乳動物に対する毒性は著しく軽減されており、現在でも日本をはじめ世界各国にて使用されている。

また、脂溶性が高い置換基の修飾により親化合物のカルボフランと比較して、水溶性が低くなっていることから粒剤として使用された場合でも、土壌からの流亡が少なく、親化合物よりも長期間効果が持続するといった利点も明らかになった (梅津ら, 2003)。

IV 抵抗性機構

このように優れた特性を持ったカーバメート系薬剤であるが、多くの殺虫剤同様、薬剤抵抗性が報告されている。

1960 年中ごろからカーバメート系殺虫剤が水稲のツマグロヨコバイ防除に本格的に用いられるようになって以降、しばらくの間は感受性低下が認められなかったものの、1969 年に愛媛県の中川原でカーバメート抵抗性昆虫が出現し、カルバリル、BPMC に対する LD₅₀ 値は、その後の 4 年間で 10 倍以上の増大を示した (吉岡ら, 1972)。

その後も西日本では本種の感受性低下が進み、1975 年ごろには西日本のほとんどの地域のツマグロヨコバイはカーバメート抵抗性とみなされる状態となった。

一般的に殺虫剤の抵抗性のメカニズムとして、薬剤代謝酵素の増大、皮膚透過性の低下および作用点の遺伝子変化が報告されているが、カーバメート系殺虫剤も薬剤代謝酵素であるチトクローム P450 がイエバエの殺虫剤抵抗性に関与しているといった報告 (TSUKAMOTO et al., 1967 a ; 1967 b) や、カルボキシエステラーゼの酵素活

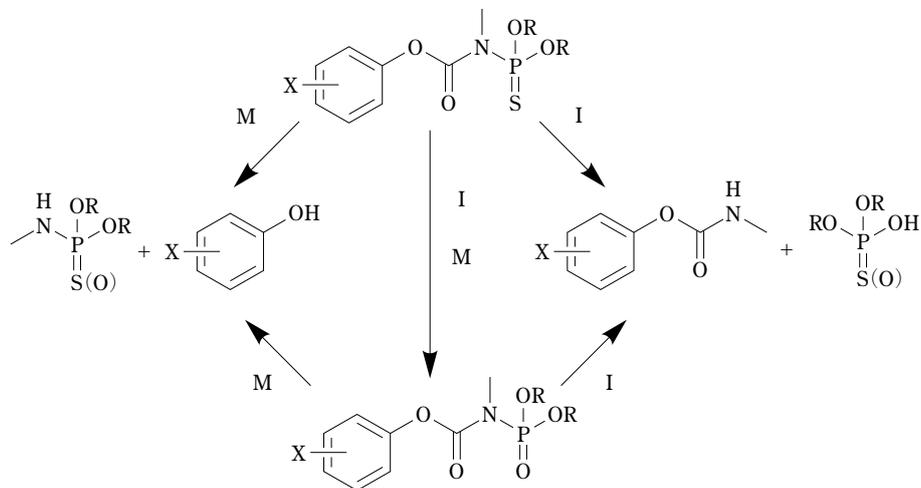


図-1 有機リン系殺虫剤における哺乳類 (M)、昆虫 (I) の代謝機構

性が增大していたという報告がある (Ku et al., 1967; MATSUMURA et al., 1968)。また, MUTERO et al. (1994) はキイロシヨウジョウバエのカーバメート抵抗性にはアセチルコリンエステラーゼのアミノ酸変異が関与していることを報告している。

高い殺虫活性から水稲分野にて多く使用されてきたベンフラカルブ, カルボスルファンにおいてもイネドロオイムシに対して 1992 年に抵抗性が千葉県にて報告されて (大谷, 1995) 以降, 各地で同様の抵抗性が報告された。

このようにカーバメート系殺虫剤の抵抗性が確認されているものの, 初めて上市されてから 60 年以上経った現在でも使用されていることを考えると他の殺虫剤に比較して抵抗性の発達は非常に遅い系統であると考えられる。

おわりに

EU や米国では農薬有効成分の再評価の導入に伴って多くの有効成分が失効したが, 依然, アジアをはじめとする発展途上国では, 2000 年以前に開発された薬剤が多くの地域で使用されている。

カーバメート系殺虫剤は, 基幹殺虫剤として 1980 年～1990 年代に使用され, 世界の食糧生産に寄与したが, その後開発された高性能な薬剤の出現, 哺乳毒性の懸念等によりその使用量は徐々に減少している。2019 年の Agbiocrop の調査によると, 2017 年には全世界でカーバメート系薬剤は 786 \$m 販売されており, 世界の殺虫剤市場の 4% を占めている。一部の地域では依然重要な害虫防除剤として使用されている。

卓効を示す化学合成殺虫剤でも連用を続けると, 薬剤抵抗性昆虫が出現し, 防除効果が不十分となる事例が有機リン, ピレスロイド, ネオニコチノイド等で多く認められている。

新しい農薬は発見から上市に至るまで毒性試験や環境に対する影響試験等で, 10 年以上の年月および多額の資金を要し, 1 剤の農薬を新規開発するには数 10 億円

から数 100 億円が必要であると言われている。

このような新農薬が抵抗性の出現により使用できなくなることは, 生産者・消費者・農薬メーカーそれぞれにとって不利益であり, 近年では薬剤抵抗性昆虫出現防止のためにローテーション防除法やブロック防除法等の防止策が推奨されている。

作用点の異なる薬剤をローテーションで使用するには薬剤を複数準備しておく必要があり, 近年登録が取得された高性能の薬剤だけでは不十分である。その中でカーバメート系殺虫剤は, そのうちの 1 剤として利用が可能である。

スペクトラムの広さ, 使いやすさ, 価格および抵抗性の出現しにくさ等殺虫剤として優れた特性を持ったカーバメート系殺虫剤は化学農薬黎明期を支え, これからも世界の食糧生産を支えていく薬剤の系統であると思っ

引用文献

- 1) Agbiocrop (2019): The global crop protection market, Midlothian, U.K.: 1228.
- 2) FAHMY, M. A. H. et al. (1970): J. Agric. Food Chem. **18**: 793~796.
- 3) FUKUTO, T. R. (1977): J. Pesticide Sci., **2**: 541~548.
- 4) GYSIN, M. (1952): Patent, Geigy, Swiss, p.279533, p.282655.
- 5) 風野 光ら (1969): 応動誌 **13**(4): 191~199.
- 6) Ku, T. et al. (1967): J. Econ. Entomol. **60**: 1328~1332.
- 7) MATSUMURA, F. et al. (1968): ibid. **61**: 598.
- 8) METCALF, R. L. et al. (1950): J. Econ. Entomol. **43**: 670.
- 9) MUTERO, A. et al. (1994): Proc. Natl. Acad. Sci. USA **91**: 5922~5926.
- 10) 大谷 徹 (1995): 関東東山病害虫研報 **42**: 185~190.
- 11) TOMLIN, C. D. S. (2006): The pesticide manual, 14th Ed., British crop protection council, Hampshire, U.K., 1349 pp.
- 12) TSUKAMOTO, M. et al. (1967 a): Nature **213**: 49~51.
- 13) ——— et al. (1967 b): J. Econ. Entomol. **60**: 617~619.
- 14) 梅津憲治ら (2003): 日本の農薬開発, 日本農薬学会, 東京, p.131~148.
- 15) UMETSU, N. et al. (1992): Rational Approaches to Structure, Activity and Ecotoxicology of Agrochemicals, CRC Press, Boca Raton, p.251~274.
- 16) 安富範雄ら (1992): 関病虫研報 **34**: 43~44.
- 17) 吉岡清治郎 (1972): 四国植防研究 **7**: 5.

植	物
防	疫
講	座

農薬編-25

ミトコンドリア電子伝達系複合体 III Q_i 部位に作用する殺菌剤

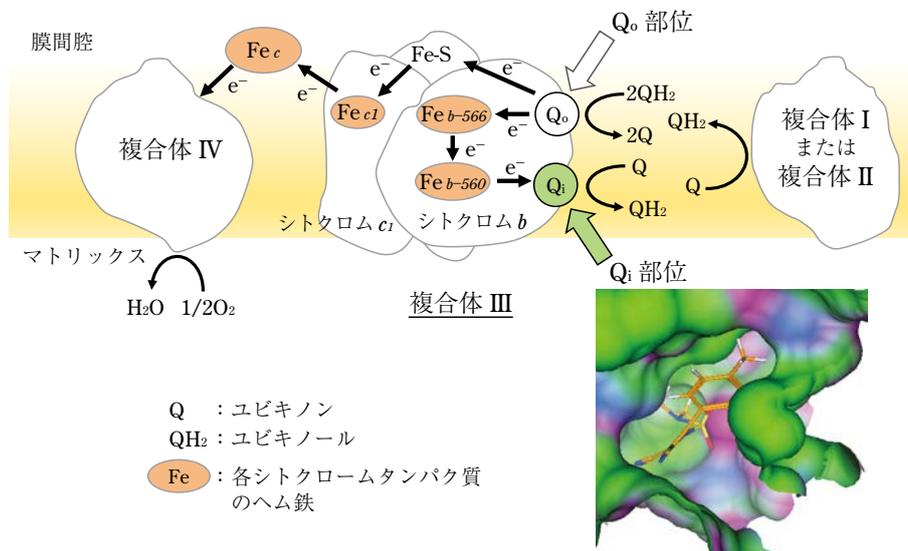
石原産業株式会社 ^あ荒木 ^さ智史・^み三谷 ^し滋

はじめに

真核生物では、細胞内小器官であるミトコンドリアが主たるエネルギー生産の場となっている。ミトコンドリア内膜に存在し、電子駆動型ポンプとして機能する呼吸鎖電子伝達酵素は、酸化リン酸化を担い、ATP合成酵素とともに好氣的生物の生物共通のエネルギー通貨とも呼ばれるATP生合成を支えている(三芳, 2005)。ミトコンドリア電子伝達系は複合体I~IVと呼ばれる4種のタンパク質複合体から構成され、多くの農薬の標的となってきた。複合体IIIは、電子供与体であるユビキノールから電子受容体であるシトクロムcへの電子の伝達を触媒し、同時にプロトンをマトリックス側から細胞質側に能動輸送する。この複合体IIIは、分子量が54~6.4 kDaの11種のサブユニットから成り、これらのサブ

ユニットはミトコンドリア内膜で1個ずつ会合して分子量約240 kDaの酵素単量体を形成している(図-1)(三木, 2005)。

複合体IIIの電子移動機構は一般にQサイクル説が広く支持されている。この理論によると、ミトコンドリア内膜の細胞質側(Q_o部位)でユビキノールがユビキノンに酸化され、マトリックス側(Q_i部位)でユビキノンがユビキノールに還元される(Trumpower, 1990; Link et al., 1993)。複合体IIIを標的とする殺菌剤は、ストビリン系殺菌剤を始めとするFRACコード11(作用点コードC3)に分類されるQ_o部位に結合するQ_oI剤、Q_i部位に結合するQ_iI剤(FRACコード21, 作用点コードC4に分類)(表-1)、Q_o部位中のステイグマテリン結合部位に結合するアメトクトラジン(Q_oSI剤, FRACコード45, 作用点コードC6に分類)の3種に大別され、



熱動力学シミュレーションによるQ_i部位におけるシアゾファמיד結合モデル

図-1 ミトコンドリア内膜電子伝達系と複合体IIIのユビキノン結合部位

Review of Mitochondria Complex III Ubiquinone Reductase Inhibitors at Q_i Site. By Satoshi ARAKI and Shigeru MITANI

(キーワード: ミトコンドリア複合体III, ユビキノン還元酵素阻害, Q_iI剤, 殺菌剤, 作用機構)

表-1 FRAC 作用機構分類 (農業工業会, 2019 を一部抜粋, 改変)

作用機構	作用点コード	グループ名	化学グループ名	有効成分名	日本での農薬名 (例, 剤型省略)	耐性リスク	コード
呼吸	C4 複合体 III ユビキノン還元酵素 Q _i 部位	Q _{ii} 殺菌剤 (Q _i 阻害剤)	シアノイミダゾール	シアゾファミド	ランマン	不明であるが中〜高と推測。	21
			スルファモイルトリアゾール	アミスルブロム	ライメイ		
			ピコリナミド	フェンピコキサミド	なし (日本ではインポートトレランス申請のみ)	フェンピコキサミドとシアゾファミド・アミスルブロムのスペクトラムは重複しない。	

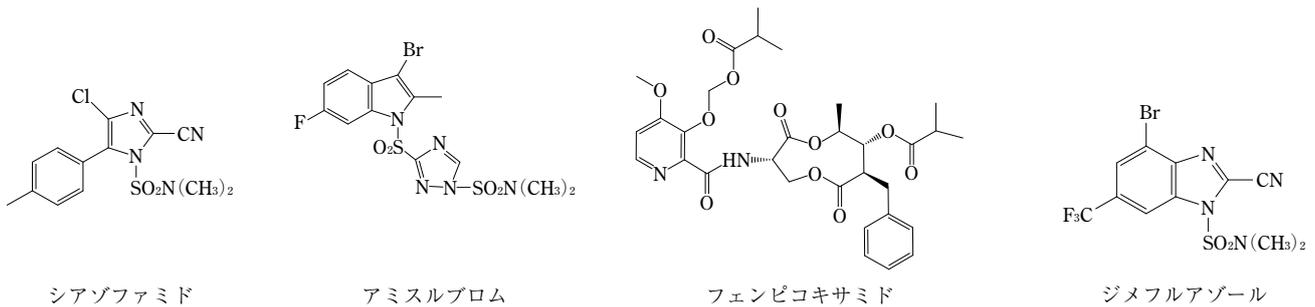
図-2 ミトコンドリア電子伝達系複合体 III Q_i 部位に作用する殺菌剤

図-3

QoI 剤, QiI 剤および QoSI 剤は複合体 III での結合部位が異なる。本稿ではシアゾファミド, アミスルブロム, フェンピコキサミドから構成される QiI 剤 (図-2) について解説する。

I 開発の経緯

1 シアゾファミド・アミスルブロム

シアゾファミドは世界で初めてミトコンドリア電子伝達系複合体 III Q_i 部位に作用する農薬として 2001 年に英国で登録・販売, 日本では 2001 年にランマンフロアブルとして上市された (MITANI et al., 2002)。本剤は, 商業化に至らなかったジメフルアゾール (図-3) (PILLONEL, 1995) の周辺化合物を参考とし, 各々スルファモイルイミダゾールやトリアゾール誘導体として数多く合成された関連化合物の中から, 種々の生物性能に加え, 安全性, 経済合理性を総合的に評価され, 最終的に選抜された。

シアゾファミド (商品名: ランマンフロアブル) は, バレイショ疫病やブドウベと病等経済的に重要な病気を引き起こす病原菌を含む卵菌による植物病害と, 難防除とされる土壌病害のアブラナ科野菜の根こぶ病に特異的に優れた防除効果を示す (MITANI et al., 1998; 2002; 2003)。同グループに属するアミスルブロムも卵菌病害と土壌病害であるアブラナ科野菜の根こぶ病に特異的に効果を示す農業用殺菌剤であり, 2008 年に日本で最初の登録を取得している (本田・若山, 2008)。本剤は国

内においては茎葉処理用のフロアブル製剤 (商品名: ライメイフロアブル), 土壌処理用の粉剤および顆粒水和剤 (商品名: オラクル粉剤, 顆粒水和剤) 等適用場面に応じた製剤品が開発されている (本田・若山, 2008; 若山, 2012)。

2 フェンピコキサミド

アンチマイシン A に構造が類似している天然生理活性物質 UK-2A もまた複合体 III の Q_i 部位に結合し強い阻害活性を示すが, 農業用途としては残効性に問題があった。フェンピコキサミドは UK-2A をプロドラッグ化した化合物であり (YOUNG et al., 2018), *Zymoseptoria tritici* によって引き起こされるコムギ葉枯病に対して 100 gai/ha 処理で 10 試験の圃場試験平均が 82.1% の良好な防除効果を示した (OWEN et al., 2017)。シアゾファミド, アミスルブロムの効果は卵菌類に特異的であるが, フェンピコキサミドは卵菌類対象には実用レベルの効果を示さず, 特定の子のう菌への活性が高く, 穀類および果樹対象の殺菌剤として開発された。欧州においては農薬登録を取得している。本邦ではインポートトレランス設定が申請されている。

II 作用機構

1 シアゾファミド・アミスルブロム

シアゾファミドは *Phytophthora infestans* 遊走子の遊泳運動を強く阻害し, その後, 遊走子の崩壊を誘導したこ

とから、呼吸およびエネルギー生産系への作用が想定された。そこで、酸素電極法により *Pythium spinosum* 菌体の呼吸への影響を測定したところ顕著に酸素消費を阻害した。次に、*P. spinosum* 菌体からミトコンドリア画分を調整し、ミトコンドリア電子伝達系の阻害部を調べた結果、シアゾファミドの作用点はミトコンドリア複合体 III であり、I₅₀ 値は 40 nM と高い阻害活性を有することが判明した。上述の Q サイクル説よりミトコンドリア複合体 III には 2 箇所の酸化還元部位（各々 Q_o および Q_i 部位）が存在するとされている（TRUMPOWER, 1990；LINK et al., 1993）。複合体 III におけるシアゾファミドの作用部位を調べるためにチトクロム *b* ヘムの還元速度を調べたところ、本剤は複合体 III の Q_i 部位に作用することが判明した（MITANI et al., 2001 b）。一方、卵菌類に属さない *Botrytis cinerea*、酵母 (*Saccharomyces cerevisiae*)、バレイショ塊茎、ラット肝臓から調整したミトコンドリアの電子伝達はシアゾファミドにより全く影響を受けず、本剤は酵素阻害レベルで Q_i 部位への生物間の選択性を有していることが明らかになっている。このように標的レベルでの選択性を有し、複合体 III の Q_i 部位に作用する農業用殺菌剤はシアゾファミドが初めてであり、本剤が人畜や有用生物への高い安全性を有する理由と考えられた（MITANI et al., 2001 b）。ジメフルアゾールの研究では、シアゾファミド、アミスルプロムとも共通する化学構造であるジメチルスルファモイル部分で標的タンパク質に結合していることが示されている（PILLONEL, 1995）。

2 フェンピコキサミド

一方、リード化合物がシアゾファミドとは異なりアンチマイシン類似物質（UK-2A）から展開されたフェンピコキサミドはコムギ葉枯れ病菌 *Z. tritici* や *S. cerevisiae* の複合体 III に結合可能であり、幅広いスペクトラムを示す（OWEN et al., 2017；YOUNG et al., 2018）。

アンチマイシン A 類縁化合物の活性発現には 3-ホルミルアミノ基やフェノール性水酸基の存在が必須であるが（MIYOSHI et al., 1995）、ジメチルスルファモイルを化学構造の一部に持つシアゾファミドとアミスルプロムとの間には、同じ Q_i 部位に結合する殺菌剤の間であっても生物種間の結合ポケットの構造や化合物の結合様式が異なることが推測され興味深い。

ミトコンドリア電子伝達系複合体 III を作用点とする農業用殺菌剤の開発成功例としては、ストロビルリン系殺菌剤などの QoI と呼ばれる薬剤群およびアメトクトラジン（QoSI）が知られているが、これら薬剤群と QII 剤は複合体 III における結合部位が異なることから交差

耐性を示さない（FEHR et al., 2016；YOUNG et al., 2018）。

III 作用特性

1 シアゾファミド・アミスルプロム

シアゾファミドは、現在、欧州、北米、南米、日本、アジア等 59 か国で農薬登録されている。本剤は従来の殺菌剤とは異なる化合物グループに属し、各種べと病、疫病を代表とする卵菌類による病害やアブラナ科の根こぶ病に特異的に高い防除効果を示す。例えばバレイショ疫病に対する標準処理薬量は 80 gai/ha と低薬量である。さらに本剤はバレイショ地上部への散布により、地下部の疫病由来の塊茎腐敗にも高い防除効果を発揮することは特筆される（MITANI et al., 1998）。

シアゾファミドの植物中の移行性は、維管束系を介した求頂的移行や、求基的な移行のいずれも認められないが、局所的な移行性として浸達性（葉表から葉裏、葉裏から葉表への移行）を示し、キュウリべと病などに対しては中程度の治療効果が認められる（MITANI et al., 2002）。薬剤処理後 30 分の降雨でも効果の低下が認められない強い耐雨性を示し、本剤が強固にクチクラ層に結合していることが推察される。

シアゾファミドの *P. infestans* 生活環における影響を確認した結果、遊走子のう発芽、遊走子遊泳、被のう胞子発芽、菌糸伸長、卵胞子形成、被のう胞子形成の各生育ステージを極めて低濃度で阻害した（図-4）（MITANI et al., 2001 a）。病原菌の二次感染源を撲滅することは病気のまん延を防ぐうえで極めて重要であるが、本剤は強い遊走子のう形成阻害活性を有していた。この特性が圃場の病原菌密度を低下させ、病原菌が作物に感染する機会を抑制していると思われる（MITANI et al., 2002）。全身移行性を有しないにもかかわらず、本剤が茎葉散布によって塊茎腐敗を防除可能な機構として新たな遊走子のう形成を阻害する、二次感染源の密度低減効果、土壌表面での遊走子のうの発芽阻害により、地上部で感染源密度が低減され、地下部の塊茎への感染を防い

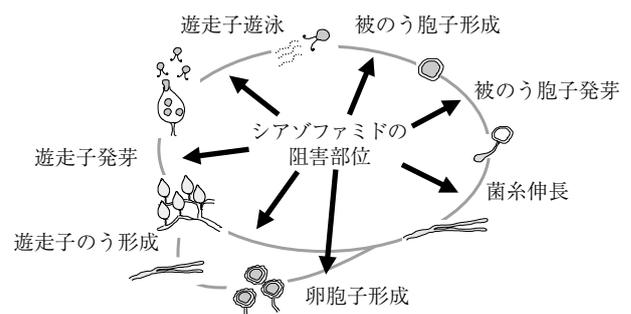


図-4 シアゾファミドの疫病菌生活環阻害部位

でいると考えられている (図-5)。

また、作用特性の異なる側面として、バレイショ疫病での防除試験において、本剤散布後に新たに生育した、薬剤が処理されていない葉でも防除効果を示すことが圃場において確認された (図-6)。そこで新展開葉への効果を推察するために、放射性同位体で標識されたシアゾファミドをトマト幼苗に処理し、生育に伴う薬剤分布を調べた。標識シアゾファミドを展開葉にスポット処理を行ったところ、葉の成長に伴ってシアゾファミドの薬剤分布が大きくなった (図-7)。他方、求頂的な移行を示す薬剤分布は認められず、ポット試験で全身移行性を示さない結果を裏付ける結果が得られた。次に未展開葉部

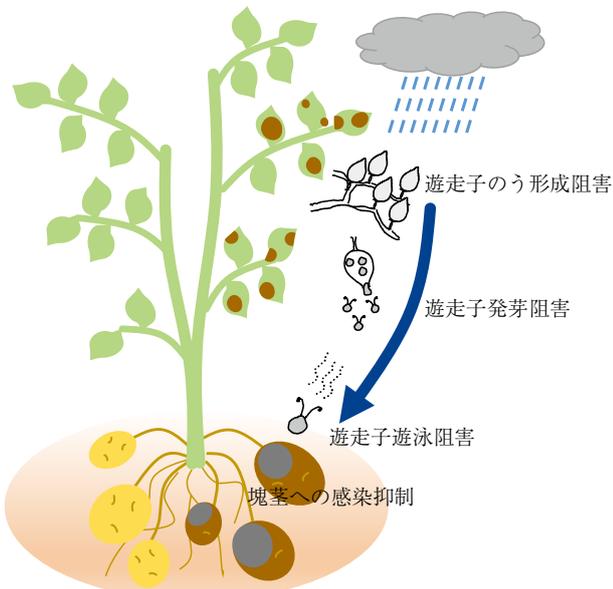


図-5 シアゾファミドによる塊茎腐敗防除機構 (仮説)

に同様にスポット処理を行い、葉の展開時の薬剤分布を経時的に追跡したところ、茎頂の未展開葉に処理された本剤が処理7日後、14日後の葉の展開後も疫病菌を防除可能な濃度で残存していることが確認された (図-8)。クチクラ層への強い吸着により薬剤が葉の成長に伴って分布が拡大、葉の展開により薬剤が希釈されるが、本剤の低濃度まで防除効果を示す基礎活性の高さと、残効性により、新展開葉で防除効果を示すものと考えられる (MITANI et al., 2008)。

本剤はマルハナバチ、ミツバチ等の花粉媒介昆虫やオンシツヤコバチ、カブリダニ類等の天敵類にもほとんど影響がなく、環境負荷低減による環境保全の目的によく適合することから総合的有害生物管理 (IPM) 型農業にも使用できる (MITANI et al., 2002)。また、省力化・省コスト化が実現できるセルトレイ育苗の苗に本剤を処理するアブラナ科野菜の根こぶ病防除技術が世界で初めて開発された (MITANI et al., 2003)。本剤は、より効果的であつ安全で環境に優しい使用方法を検討することに

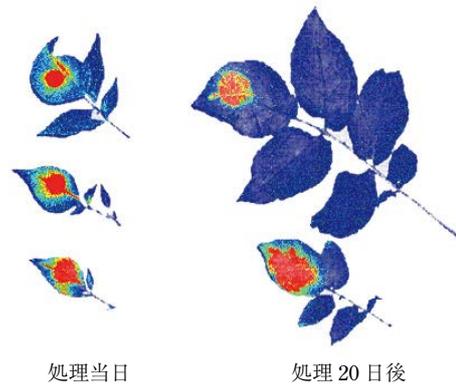


図-7 処理葉におけるシアゾファミドの分布

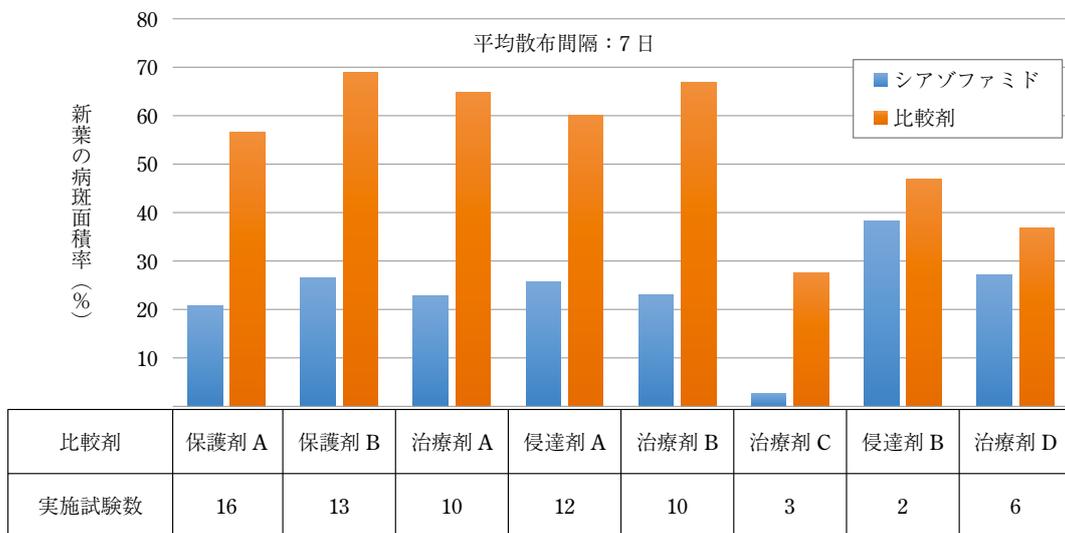
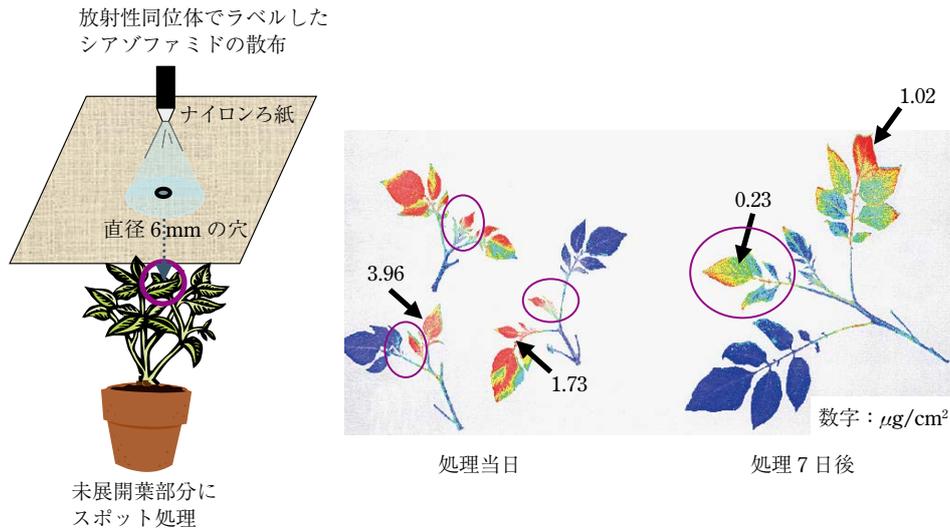


図-6 バレイショ疫病圃場試験における新展開葉の発病抑制



より、環境負荷低減に貢献しつつ農家に高い収益性を約束する具体的な使用方法が期待されている。

同じ作用機構グループに属するアミスルブロムも各種疫病やべと病等、多発すると壊滅的な被害を生じる世界的に重要な病害から作物を守るために貢献できる（本田・若山，2008）。また、土壤殺菌剤としても IPM プログラムに組み込むことができ（若山，2012）、同剤を組み込んだ様々な病害防除技術の提案が期待されている。

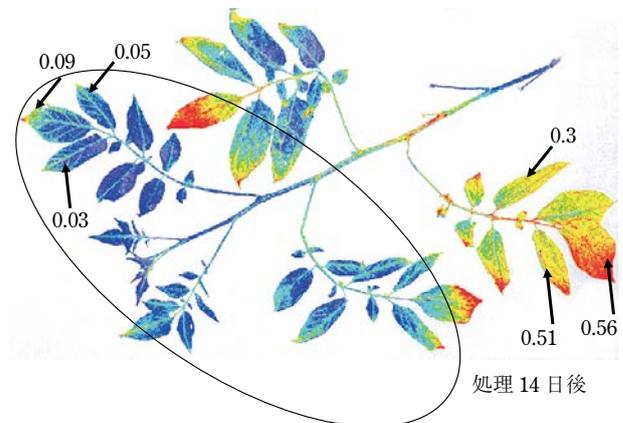
2 フェンピコキサミド

フェンピコキサミドは、糸状菌 *Z. tritici* が引き起こす欧州におけるムギ類の重要病害の一つである葉枯病に対し高い防除効果を示す。本病害対象に従来使用されてきたエルゴステロール生合成阻害剤や、ミトコンドリア電子伝達系複合体 III の Q_i 部位や複合体 II に作用する剤に対する薬剤耐性菌が次々に出現して防除効果の低下が問題となっているなかで（LUCAS, 2003；COOLS and FRAAIJE, 2013）、本剤はそれらとは異なる新しい作用点を持つ葉枯病防除剤として使用者に受け入れられると予想される。

IV 耐性菌の現状および対策

シアゾファミドは Q_i 部位での阻害において、高い生物間の選択性を有することから、モデル生物を用いた既存の阻害剤の知見から剤の耐性菌リスクを推測することが不可能であった。このため、FRAC では *S. cerevisiae* への突然変異の誘発によりチトクロム *b* 遺伝子にアミノ酸置換を有するアンチマイシンやジウロンへの感受性低下株が得られたことを根拠として（DI RAGO and COLSON, 1988）、Q_i 剤の耐性菌リスクは不明としながらも、中～高と設定し耐性菌リスク管理を推奨している。

石原産業株式会社は、国内では 1998 年より主にパレイショから疫病菌を収集し、シアゾファミドの感受性検



図中数字：検出された放射線量から換算されたシアゾファミド量 ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)

図-8 新展開葉でのシアゾファミドの分布

定を継続している。遊走子遊泳阻止濃度を用い、最低阻止濃度（MIC）で判定したところ、実施年のすべてで中心値は 5 ppb であり、感受性のシフトは認められていない（図-9）（常松ら，2014）。加えて、圃場での効果低下の報告も全くない。一方、欧州では 2017 年にブドウべと病菌 *Plasmopara viticola* でチトクロム *b* 遺伝子に変異を有する Q_i 剤耐性菌が報告された（l'Institut français de la vigne et du vin, 2018）。耐性菌対策として、一般的に作用機構の異なる剤の組合せの混合剤が有効とされているが、国内ではシアゾファミド・TPN 混合剤（商品名：ドーシャスフロアブル）、シアゾファミド・ポリオキシシン D 混合剤（商品名：グリーンワーク水和剤）を、アミスルブロム・シモキサニル混合剤（商品名：ダイナモ顆粒水和剤）が上市され、欧州ではシアゾファミド・亜リン酸ナトリウム塩混合剤およびアミスルブロム・フォルペット混合剤がブドウべと病防除の分野で販売されている。

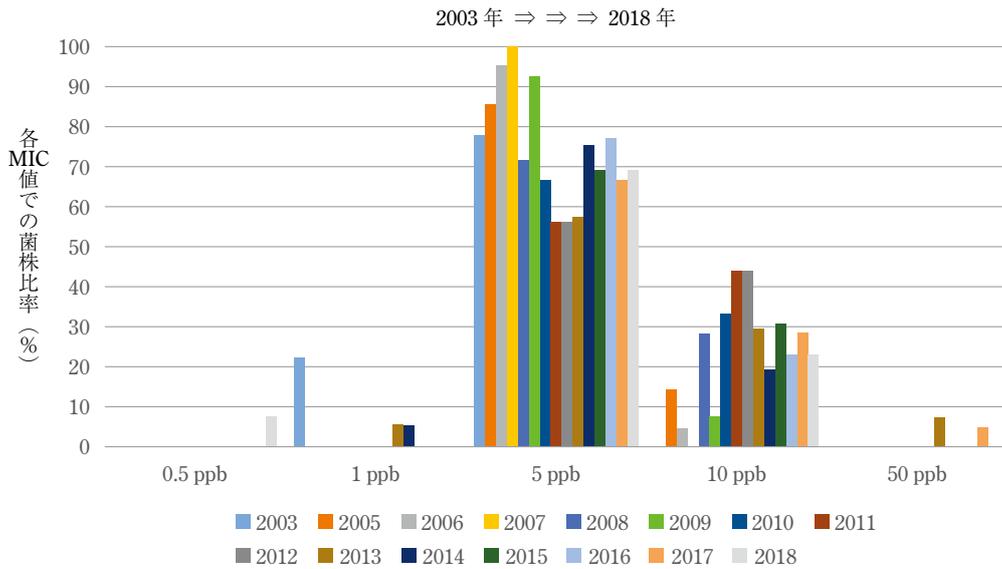


図-9 圃場から採取された *P. infestans* のシアゾファミドへの感受性分布

おわりに

シアゾファミドの開発、上市から20年以上経過した現在でも卵菌類対象のQ_iI剤はアミスルブロムを加えた2剤のみである。また、1990年代初め、選択的なQ_i部位阻害剤として抗生物質である天然物のアンチマイシンAがその高活性から注目され、類縁化合物の合成展開と農薬への適用が試みられた。しかし、哺乳類に対しても選択性がなく強い毒性を示したことから、農薬としては環境中での安定性が十分ではなく、実用化には至らなかった。しかしアンチマイシン類似物質(UK-2A)の研究がブレイクスルーとなり、子のう菌類対象のフェンピコキサミドの開発につながった。

電子伝達系を阻害する殺菌剤としてQ_oI剤やSDHI剤(コハク酸脱水素酵素阻害剤)は多くの化合物が開発、販売されて基幹剤となっているが、卵菌類、子のう菌類および重要病原菌の一部では耐性菌の発達が比較的早かったこともあり、異なる作用機構を有する剤を組み入れた耐性菌管理が必要である。シアゾファミドとアミスルブロムは対象病害が卵菌類のみであることから複数病害を対象にした防除体系への導入が容易であること、フェンピコキサミドは穀類分野で初のQ_iI剤であることから基幹防除剤として今後も重要な位置づけを示すと考えられる。

引用文献

- COOLS, H. J. and B. A. FRAAIJE (2013): *Pest Manag. Sci.* **69**: 150~155.
- DI RAGO, J. P. and A. M. COLSON (1988): *J. Biol. Chem.* **263**(25): 12564~12570.
- FEHR, M. et al. (2016): *Pest Manag. Sci.* **72**(3): 591~602.
- 本田 卓・若山健二 (2008): *植物防疫* **62**: 440~444.
- LINK, T. A. et al. (1993): *J. Bioenerg. Biomembr.* **25**: 221~232.
- l'Institut français de la vigne et du vin (IFV) et al. (2018): ワーキンググループ HP, https://www.r4p-inra.fr/wp-content/uploads/2018/03/NC2018_mildiou_oidium_botrytis_vigne.pdf
- LUCAS, J. (2003): *Pestic Outlook* **14**: 268~270.
- 三木俊明 (2005): *農薬誌* **30**(3): 269~271.
- MITANI, S. et al. (1998): *Brighton Crop Prot. Conf. -Pests Dis.* **2**: 351~358.
- et al. (2001 a): *Pestic. Biochem. Physiol.* **70**: 107~115.
- et al. (2001 b): *ibid.* **71**: 70: 92~99.
- et al. (2002): *Pest Manag. Sci.* **58**: 139~145.
- et al. (2003): *ibid.* **59**: 287~293.
- et al. (2008): *J. Plant Pathol.* **90**: (2, Supplement), S2.81~S2.465.
- 三芳秀人 (2005): *農薬誌* **30**(2): 127~132.
- MIYOSHI, H. et al. (1995): *Biochim. Biophys. Acta*, **1229**: 149~154.
- 農業工業会 (2019): 国内既登録殺菌剤の作用機構による分類FRACコード表, <http://www.jcpa.or.jp/lab0/jfrac/code.html>
- OWEN, W. J. et al. (2017): *Pest Manag. Sci.* **73**(10): 2005~2016.
- PILLONEL, C. (1995): *Pestic. Sci.* **43**: 107~113.
- TRUMPOWER, B. L. (1990): *J. Biol. Chem.* **265**: 11409~11412.
- 常松孝祐ら (2014): *日植病報* **80**(1): 59.
- 若山健二 (2012): *植物防疫* **66**: 573~581.
- YOUNG, D. H. et al. (2018): *Pest Manag. Sci.* **74**(2): 489~498.

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 野菜花き研究部門 野菜病害虫・機能解析研究領域 病害ユニット

農研機構野菜花き研究部門病害ユニット（所在地：安濃野菜研究拠点，三重県津市安濃町）は，昭和48年に国の野菜研究の中核機関として設置された旧農林省野菜試験場環境部病害第二研究室に端を発し，平成13年農研機構野菜・茶業研究所果菜育種部病害研究室，平成18年野菜IPM研究チーム（虫害研究分野と統合）を経て，平成28年の改組により現行の研究体制となりました。現在，当ユニットでは，研究員5名，再雇用職員1名，博士研究員3名，非常勤職員4名の計13名が所属し，ナス科野菜青枯病などの土壌病害，うどんこ病や葉かび病の糸状菌病害，昆虫媒介性ウイルス病害および有機質肥料活用型養液栽培等の研究課題を実施しています。

土壌病害防除では，圃場の深層部に分布している青枯病菌などの消毒のため，可溶性の有機物（糖）を含む新規資材（糖含有珪藻土や糖蜜吸着資材）を用いた土壌還元消毒技術を開発し，トマト青枯病対策技術の「高接ぎ木栽培」と組合せた総合防除体系を構築しました。本成果は「新規土壌還元消毒を主体としたトマト地下部病害虫防除体系マニュアル」として公開し（農研機構HP），各地の公設試とともに技術普及を進めています。

糸状菌病に関する研究では，イノベーション創出強化研究推進事業の支援を受け，微生物殺虫剤の病害に対する防除効果と作用機作を解析しています。そのうちボタニガードESは令和元年11月に適用病害虫として「野菜類うどんこ病」が登録され，微生物殺虫・殺菌剤として利用することが可能となりました。また，トマト葉かび病に関してはレースの多様化により市販の抵抗性品種



研究対象のトマト葉かび病（左），トマト青枯病（中），
トマト黄化病（右）

がすべて打破され，化学殺菌剤に対する耐性菌の発達も著しいことから，生物防除剤としての利用が期待される菌寄生菌に関する研究や，本菌のレース分化を決定するエフェクターの解析を通じて，新規抵抗性遺伝子の探索，SNPs解析に基づいたジェノタイプングによる菌株間の遺伝的背景の解析等に取り組んでいます。

ウイルス病では，微小害虫のコンナジラミ類で媒介されるトマト黄化葉巻病（病原ウイルス：TYLCV），トマト黄化病（同：ToCV）やメロン退緑黄化病（同：CCYV）等の診断技術の開発や育成した抵抗性品種の選抜（育種グループと連携）について，基礎・応用の両面から研究に取り組んでいます。有機質肥料活用型養液栽培では，本栽培技術と，それを応用した土壌の人工創出技術の開発を進めています。一般に水耕栽培では有機物を添加すると腐敗し，根が傷害を受け植物が生育できません（アンモニアから硝酸化成が起きないことが原因）。当ユニットでは，水中でも硝化が進む無機化法を開発することで有機質肥料活用型養液栽培技術を確立しました。現在，本養液栽培の普及に努め，無機化法を応用した発病抑止土壌の人工創出に取り組んでいます。

当ユニットでは，野菜病害に対する環境保全型の総合的防除技術の開発とその普及を進めるとともに，安濃野菜研究拠点所在の利点を活かし野菜育種分野との連携を強化した病害防除研究に取り組んでいきたいと考えています。

（病害ユニット長 中保一浩）



農研機構野菜花き研究部門安濃野菜研究拠点の庁舎

〒514-2392 三重県津市安濃町草生360
TEL 059-268-1331（代表）

研究室紹介

鹿児島県農業開発総合センター 茶業部 環境研究室

鹿児島県は静岡県に次ぐ全国2位の茶産地である。本県の茶栽培は、平坦で広大な畑地を活かした乗用型管理機による栽培体系や‘やぶきた’に偏重しない多様な品種構成が特徴である。茶業部は様々な時代背景に影響されながらも現在は主産地の南九州市知覧町に移り、令和元年で約80年が経過した。知覧町は鹿児島市から1時間ほど離れた薩摩半島中南部に位置し、太平洋戦争末期の沖縄戦に向けて飛び立った特攻隊（陸軍特別攻撃隊）の出撃基地があったことでも知られている。茶業部の研究室は、栽培、加工、環境の三つで構成され、大隅半島に分場がある。環境研究室は病害虫3名、土壌肥料1名の計4名の研究員と技術補佐員1人が在籍している。茶の病害虫試験で特筆されるのは、被害評価が生鮮物（生葉）だけにとどまらず、荒茶加工後に品質評価を実施することもある（図-1）。

さて、これまで当研究室の病害虫に関して以下の代表的な研究成果がある。①炭疽病の被害解析やベンゾイミダゾール、ストロビリリン系薬剤の耐性菌発見とその対策、②かいよう病、天狗巣病、輪紋葉枯病、赤焼病、コウノシロハダニ等の新規病害虫の生態解明と対策、③ハマキムシ類に対する顆粒病ウイルスを利用した防除技術の開発、④カンザワハダニの被害解析とカブリダニの保護防除体系の開発等。特に、③は、乗用型防除機（図-2）により化学薬剤と同様なウイルス散布ができたこと、国庫事業導入でJAなどにウイルス増殖施設が整備され、安価なウイルス資材が供給できたこと等により、本技術は県内茶園の9割程度まで普及した。このことは、昆虫病原ウイルスによる害虫防除が、大面積で普及した事例として、当時、全国的に注目された。これら業績は、新植や新たな茶園造成等、生産が盛んな時代の研究成果であった。現在の茶業界はリーフ茶の消費減少により、以前のような良質茶が高値で売買されることがなくなった。消費スタイルはペットボトルに代表されるように、原料がドリンク茶仕向けの比率が高くなってきた。また、昨今の需要に応じ、有機栽培や輸出向けの茶生産に取り組む農家も年々増えている。同時に、これまでの煎茶に加え、抹茶の原料となる碾茶など、新たな茶種に取り組む動きも盛んになってきた。現在の病害虫研究テーマは、「有機」、「輸出」、「碾茶」がキーワードとなっている。平成30年度の研究成果に以下がある。

「秋芽生育期のチャ炭疽病等に対する作用の異なる殺菌剤の混用散布効果」[要約] 秋芽生育期において残効性の高い予防剤と治療効果に優れたEBI剤を混用して2~4葉期に1回散布することで炭疽病、新梢枯死症、網もち病を効果的に防除することができる。「ジアミド系



図-1 防除試験にかかわる品質評価



図-2 全県下で普及している乗用型防除機

薬剤に対する抵抗性チャノホソガの出現」[要約] 南薩地域の一部で、ジアミド系薬剤のサムコルFL10に対して抵抗性を有したチャノホソガの発生が認められ、同一系統のフェニックスFLでは効果がなく、エクシレルSEでも効果が低下している。「チャノホソガ成虫期での防除効果」[要約] 網掛け条件下でディアナSCを茶株面へ散布し、チャノホソガ成虫を放虫した場合、幼虫の被害である三角巻葉はほとんど認められず、本剤は成虫期での防除効果が見られる。「チャトゲコナジラミの天敵シルベストリコバチの早期定着を図る放飼地点間隔」[要約] 放飼したシルベストリコバチは、1年後には500m程度放射状に分散することから、現地で放飼を行い地域単位で早期の定着を図るには、放飼地点を1km間隔にするとよい。このほか、輸出相手国のMRL（残留基準値）をクリアする防除体系の確立がある。成果ではないが、最近の現場課題としては、有機栽培で過去に使用したある特定の農薬の成分が微量ながら長期に残留し、出荷できない事案がたびたび発生しているが、技術的な解決が困難で悩ましい。

末筆になるが、茶業部は本年4月1日に南九州市知覧町から耕種部門が集約された南さつま市金峰町に移転する。全国的に茶病害虫研究者が少ない中、主産県である鹿児島県の茶病害虫研究は今後も重責を担うと考える。今後も国の研究機関や静岡県等茶関係府県と連携・協力のうへ、時代に即した試験研究を効率的に進める必要があると感じる。

（環境研究室 松比良邦彦）

(新しく登録された農薬 42 ページからの続き)

●テフリルトリオン・ピラクロニル・プロピリスルフロ
ン水和剤

24326：アットウ Z フロアブル（協友アグリ）20/1/29

テフリルトリオン：3.8%

ピラクロニル：3.8%

プロピリスルフロ
ン：1.7%

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

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，ヒルムシロ，セリ

●イマズスルフロ
ン・テフリルトリオン・ピラクロニル
粒剤

24327：キラリ 1 キロ粒剤（協友アグリ）20/1/29

イマズスルフロ
ン：0.90%

テフリルトリオン：2.0%

ピラクロニル：2.0%

移植水稻：一年生雑草，マツバイ，ホタルイ，ウリカワ，
ミズガヤツリ，ヒルムシロ，セリ，オモダカ，クログワ
イ，コウキヤガラ，アオミドロ・藻類による表層はく離

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，ヒルムシロ，セリ

農林水産省プレスリリース (2020.1.15～2020.2.5)

農林水産省プレスリリースから，病虫害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。

◆「第9回ジャガイモシロシストセンチュウ対策検討会
議」の開催について (20/1/15) /syouan/syokubo/
200115.html

◆「第6回テンサイシストセンチュウ対策検討会議」の
開催について (20/1/22) /syouan/syokubo/200122.
html

登録が失効した農薬 (2020.1.1～1.31)

掲載は，種類名，登録番号：商品名（製造者又は輸入者）登録失効年月日。

「殺虫剤」

20/1/30

●MPP 粒剤

13932：バイジット粒剤（バイエルクロップサイエンス）
20/1/14

●ピリミホスメチル乳剤

21913：ST アクテリック乳剤（住友化学）20/1/15

「殺菌剤」

●フェンアミドン水和剤

21561：ピトリーンフロアブル（バイエルクロップサイ
エンス）20/1/30

●フェンアミドン・ホセチル水和剤

21562：レイデン水和剤（バイエルクロップサイエンス）

「殺虫殺菌剤」

●石灰硫黄合剤

11501：塩山石灰硫黄合剤（宮内硫黄合剤）20/1/7

●ジノテフラン・メトミノストロピン粒剤

21887：バイエルイモチエーススタークル粒剤（バイエ
ルクロップサイエンス）20/1/30

「除草剤」

●DCMU 水和剤

22298：サンケイ カーメックス D（琉球産経）20/1/8

発生予察情報・特殊報 (2020.1.1～1.31)

各都道府県から発表された病虫害発生予察情報のうち，特殊報のみ紹介。発生作物：発生病虫害（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虫害。

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

■ブドウ：斑点細菌病（秋田県：初）1/9

■アスパラガス：褐斑病（秋田県：初）1/28

■ネギ：ネギハモグリバエ別系統（東京都：初）1/28

■トマト：トマト黄化病（香川県：初）1/30

学会だより

○第4回 植物病理を紡ぐ会

日時：2020年3月18日（水）14:30～17:30

会場：かごしま県民交流センター 中ホール
〒892-0816 鹿児島市山下町14-50

*日本植物病理学会大会会場と同じ会場です。

参加費無料

詳細告知用WEBサイト

<https://www.facebook.com/植物病理を紡ぐ会-811362728949422>

参加登録フォーム

<https://docs.google.com/forms/d/1HFPRK9ZiIY125EWNmuHIB23miWuDSdNbbTxLvz92qKw>

プログラム

- ・CGIARでの研究生活：東南アジア編 湊 菜未
- ・育種から見る病理を紡ぐ大切さ 加野彰人
- ・トウモロコシ黒穂病菌のエフェクター機能と進化 田中茂幸

特別講演

Fusarium（フザリウム）属菌における種の捉え方について 青木孝之

○関西病虫害研究会第102回大会

日時：2020年5月28日（木）9:30～16:00頃

広告掲載会社一覧（掲載順）

- ダウ・アグロサイエンス日本(株) …… 主要品目
- 日産化学(株) …… グレーシア
- バイエルクロップサイエンス(株) …… カウンシルエナジー
- OATアグリオ(株) …… サフオイル
- 日本曹達(株) …… ピシロック
- 日本農薬(株) …… パレード
- アース製薬(株) …… フェロモンEBC
- 三井化学アグロ(株) …… 主要品目
- サンケイ化学(株) …… 主要品目
- (株)エス・ディー・エス バイオテック …… 主要品目
- クミアイ化学工業(株) …… 主要品目

場所：ホテルセントノーム京都「平安の間」

〒601-8004 京都市南区東九条東山王町19-1
TEL：03-3626-9974

特別講演

ウリ類炭疽病菌の感染器官形成と病原性 久保康之
害虫の季節適応の解明から防除適期の予測と発生予察を考える 武田光能

次号予告

次号2020年4号の主な予定記事は次のとおりです。

平成31年度植物防疫事業・農業安全対策の進め方について 植物防疫課・農業対策室	新規SDHI殺菌剤ピラジフルミドの葉菜類セルトレイ灌注処理による病害防除 西村 昭ら
平成31年度植物防疫研究課題の概要 農林水産技術会議	植物防疫講座 病害編 根こぶ病菌による病害の発生生態と防除 田中秀平
気温上昇がイネ紋枯病の発病に与える影響 宮野法近	植物防疫講座 虫害編 野菜のオオタバコガ類 八瀬順也
ナミハダニ黄緑型に対する時刻と殺卵の概念を用いた薬剤防除方法 堀川英則	植物防疫講座 農薬編 菌類の細胞壁合成を阻害する殺菌剤～キチン合成阻害剤, セルロース合成阻害剤～ 前川大輔ら
殺虫剤のローテーションの正しい理解と抵抗性管理防除暦 鳥 克弥	研究室紹介：農研機構 果樹茶業研究部門 金谷茶業研究拠点 茶業研究領域茶病害虫ユニット 佐藤安志
オウトウ輸出に対応した防除体系の検討 伊藤慎一	山口県農林総合技術センター農業技術部資源循環研究室 村本和之
トマト黄化えそウイルス(TSWV)によるダリア輪紋病の防虫ネットと発病株除去による防除 浅野峻介ら	

植物防疫

第74巻 2020年2月25日印刷
第3号 2020年3月1日発行
(通算879号)

定価965円
本体877円

2020年分購読料
前払11,000円、後払11,580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

2020年
3月号
(毎月1回1日発行)

編集発行人 早川 泰弘
印刷所 三美印刷(株)
東京都荒川区西日暮里5-9-8

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

べと病、疫病、白さび病を ピシッとロック!

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



HPI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。

新登場

豊かな収穫へ行進!!

野菜用殺菌剤

パレード20® フロアブル



(写真はイメージです)

菌核病、灰色かび病、
うどんこ病など

葉菜・果菜の幅広い病害に高い効果を発揮!!
適用作物への薬害リスクが極めて低い!

果樹用に
パレード15
もあります!

●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ところには置かないでください。



日本農薬株式会社



斑点米の原因となる アカスジカスミカメの発生予察に

発生予察用フェロモン製剤
フェロモンEBC
アカスジカスミカメ用



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



発生予察用
フェロモン製剤

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

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

捕獲効力データ

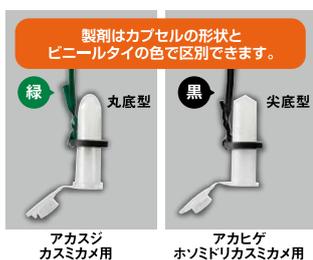
アカスジカスミカメの水田内における捕獲消長
地独) 青森県産業技術センター 農林総合研究所 (2014年)



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

仕様

商品名	適用作物	内容	有効期間	使用時期	使用量の目安
フェロモンEBC アカスジカスミカメ用	稲	誘引カプセル12個 ゴムバンド12個 ビニールタイ12本	野外で 約1~1.5カ月	出穂5~7日前から 黄化期まで	1個/10アール
商品名	内容	使用期間	商品名	内容	サイズ
フェロモンEBC 捕獲用粘着ネット	捕獲用粘着ネット6枚 ビニールタイ18本	1.5~2カ月	フェロモンEBC 捕獲粘着ネット用フレーム	フレーム6本	幅120mm 高さ580mm



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

明日の「農」を支える力でありたい。

自然の恵みをうけて、大きく育つ農作物。そんなみずみずしい生命を守り、
支え、確かな実りに結ぶ三井化学アグロの技術。
自然との調和を基本に、三井化学アグロはより豊かな農業のために、
より安全性の高い農薬の提供をつづけています。

殺虫剤

三井薬工 **アルバリン**® 顆粒水溶剤・粒剤
粉剤DL・箱粒剤

トレボンスター® フロアブル
粉剤DL

コロマイド® 水和剤
乳剤

スタークル® 顆粒水溶剤

トレボン® 乳剤・EW・MC・粉剤DL
粒剤・エアー・スカイMC

ミルベノック® 乳剤

スタークルメイト® 1キロH粒剤
液剤10

アズキ® 乳剤

キックオフ® 顆粒水和剤

殺菌剤・殺虫殺菌剤・土壌消毒剤

アフエット® フロアブル

フルーツセイバー

モンガリット® 1キロ粒剤
粒剤

タチガレン® 粉剤
液剤

サンブラス® 粒剤

サントリプル® 箱粒剤

三井薬工 **クロールピクリン**

ベジセイバー®

ネビジジ® 粉剤

サンリット® 水和剤

タチガレエース® M 粉剤
液剤

ガッツスター® 粒剤

サンフェスタ® 箱粒剤

三井 **ソイリーン**®

ピカット® フロアブル

ネビリュウ®

テーク® 水和剤

タチガレファイト® 液剤

トリプルキック® 箱粒剤

ツインキック® 箱
粒剤

サンスパイク® 箱
粒剤

除草剤

アールタイプ® 1キロ粒剤・ジャンボ
フロアブル

キクンジャベ® Z 1キロ粒剤・ジャンボ
フロアブル

サンバード® 粒剤

草枯らし MIC®

セカンドショット® SジャンボMX

シュイデン® 1キロ粒剤・ジャンボ
フロアブル

イネキング® 1キロ粒剤・ジャンボ
フロアブル

ワイドアタック™ SC

アトカラ® SジャンボMX

トドメMF® 1キロ粒剤・乳剤

アルファプロ® 1キロ粒剤75/51・ジャンボH/L
フロアブルH/L

フォローアップ® 1キロ粒剤



●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。



三井化学アグロ株式会社

東京都中央区日本橋1-19-1 日本橋ダイヤビルディング
ホームページ <http://www.mitsui-agro.com/>



SANKEI
ECO PRODUCTS



植物油脂パワー！
サンクリスタル乳剤



チョウ目害虫退治の生物農薬！
サンケイ
サブリーナフロアブル



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
グムラス



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 鹿児島県鹿児島市南栄二丁目9番地
東 京 本 社 〒110-0005 東京都台東区上野7-6-11

☎(099) 268-7588
☎(03) 3845-7951

消費者・生産農家の立場に立って、安全・安心な食糧生産や環境保護に貢献して参ります。

Quality & Safety



ライフサイエンス分野での技術力をベースに、安全で有用な製品を創出・提供します。

製品群

殺菌剤

ダコニール関連製品

ダコニール1000	プロポーズ顆粒水和剤
ダコニールエース	シトラノフロアブル
パスポート顆粒水和剤	ドーシャスフロアブル
ダコニール粉剤	ベジセイバー
ダコソイル	ブリザード水和剤
ダコレート水和剤	フォリオゴールド
ダコニールターフ	アミスターオプティフロアブル
ダコグリーン顆粒水和剤	ダコニールジェット

ペフラゾエート関連製品

ヘルシード乳剤	ヘルシードTフロアブル
モミガードC・DF	モミガードC水和剤

ジフルメトリム関連製品

ピリカット乳剤

無機銅関連製品

クプロシールド

殺虫剤

カウンター乳剤

土壌・殺線虫・殺菌剤

D-D関連製品

DC油剤 ソイリン

その他農業資材

粘着トラップ	スプレー式粘着のり
ニュー金竜	金竜スプレー

緑化関連除草剤

塩素酸塩関連製品

クロレートS クロレートSL

カルブチレート関連製品

バックアップ粒剤	シタガリンD
バックアップフロアブル	クサトルマン粒剤
ツインカム	オールキラー粒剤
ピラメイトフロアブル	

カフェンストール関連製品

ラボストフロアブル

フルセトスルフロン関連製品

ブロードケア顆粒水和剤

メチオゾリン関連製品

ポアキュア

アミカルバゾン関連製品

アミカル顆粒水和剤

トリアジフラム関連製品

ファルクス イデトップフロアブル

グリホサート関連製品

クサトリナー

特殊化学品関連製品

工業用防霉剤 木材保存剤

ショウサイドT	リダノケア
ショウサイドF	

水稲除草剤(原体)

ダイムロン関連製品

カフェンストール関連製品

ベンゾビスクロール関連製品

テニルクロール関連製品

生物農薬

B.T.関連製品

チューンアップ顆粒水和剤 (殺虫剤)

バシレックス水和剤 (殺虫剤)

天敵線虫関連製品

パイオセーフ (殺虫剤)

パチルス関連製品

インプレッションクリア (殺菌剤)

タラロマイセス関連製品

タフブロック (殺菌剤)

タフブロックSP (殺菌剤)

タフパール (殺菌剤)

植物成長調整剤

ブトルアリン関連製品

イエローリボンS

微生物資材

バイオシュートEX



〒103-0004 東京都中央区東日本橋一丁目1番5号 TEL: 03-5825-5522 FAX: 03-5825-5502

<http://www.sdsbio.co.jp>

自然に学び 自然を守る



育苗箱施用剤

ウンカ類・いもち病・チョウ目・初期害虫

アンコール®

ウンカ類・いもち病・紋枯病・チョウ目・初期害虫

フルスロトル®

ウンカ類・チョウ目・初期害虫

セクサロンパティート™

新規有効成分配合

ピラキサルト™

抵抗性

ウンカに 効き目抜群

powered by PYRAXALT™ powered by CYAZYPYR® ACTIVE INGREDIENT powered by RYNAXYPYR® ACTIVE INGREDIENT

™が付記された表示は、デュポン・ダウ・アグロサイエンスもしくは、バイオニアならびにこれらの関連会社または各所有者の商標です。CYAZYPYR®、RYNAXYPYR®、パティート®は、FMC Corporationまたは、その米国およびその他の国の子会社・関連会社の登録商標です。フルスロトル®、アンコール®はクミアイ化学工業(株)の登録商標

植物防疫

VOL.74 No.3

2020年3月1日 発行 (毎月1回1日発行) 定価 965円 本体 877円 (送料サービス)
一般社団法人 日本植物防疫協会

〒114-0015 東京都北区中里2丁目28番10号
電話 03(5980)2181 FAX 03(5980)6753

<http://www.jpipa.or.jp/>



自然に学び 自然を守る
クミアイ化学工業株式会社
本社：〒110-8782 東京都台東区池之端1-4-26 TEL.03-3822-5036
ホームページアドレス <https://www.kumiai-chem.co.jp>

