

植物防疫

10

Plant Protection

2019
VOL.73



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

キレイなりんご作りを目指す皆さまへ。
BASFジャパンの農薬ラインナップ。

殺菌剤



アクサー[®]フロアブル

新成分「ゼミウム[®]」を含む2成分で、幅広い病害を抑える

殺菌剤



ナリア[®]WDG

優れた殺菌剤2成分で、主要な夏期病害を防除

殺虫剤



ガステード[®]乳剤

ハマキムシ類、キンモンホソガ、ギンモンハモグリガの防除に

除草剤



バスタ[®]

りんご園の安心・安全な下草管理に

「今日もキレイだね」

「りんごのりんご? ……私のこと?(笑)」

■・BASF

We create chemistry

BASFジャパン株式会社

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

®=BASF社の登録商標

気門封鎖剤の性能に、 展着剤(殺虫剤・殺菌剤)の性能が プラスされました。

**1000倍希釈で
効かせます!**

- ◆野菜類のハダニ類・アブラムシ類・コナジラミ類を効果的に防除する気門封鎖剤です。
- ◆うどんこ病も同時防除します。
- ◆りんご・かんきつにも使えます。



**殺虫・殺ダニ剤(気門封鎖剤)
殺菌剤・展着剤**

有効成分が害虫を
すばやく狙いうち!

フーモン®

農林水産省登録 第23741号

フーモンは日本化薬株式会社の登録商標です。

気門封鎖剤とは! ▶ 害虫の気門(空気の出入り口)をふさぐことで、窒息死させる薬剤です。

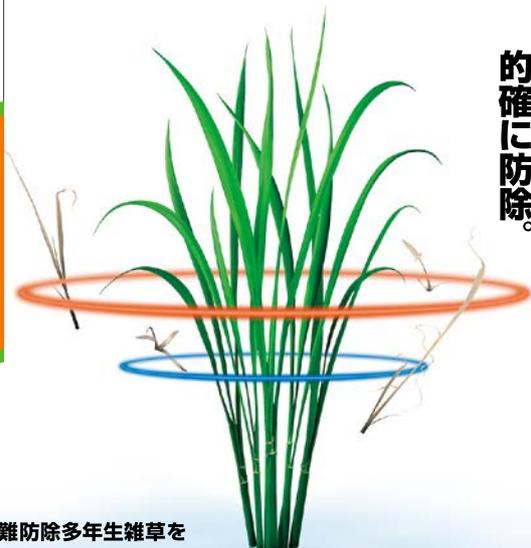
●使用前にはラベルをよく読んでください。 ●ラベルの記載以外には使用しないでください。 ●小児の手の届く所に置かないでください。

 **日本化薬株式会社**

東京都千代田区丸の内二丁目1番1号(明治安田生命ビル)
TEL.03-6731-5321 FAX.050-3730-7867
ホームページアドレス <https://www.nipponkayaku.co.jp/agro/>



ボデーガードプロ



2成分で 稲を守る。プロ。 高葉齢ノビエも難防除雑草も、 的確に防除。



一発でノビエ、難防除多年生雑草を
しっかり除草。
鉄コーティング直播栽培にも対応。
次世代の水稲用除草剤
「ボデーガードプロ」は
多角化・大規模化に貢献します。



JAグループ
農協 全農 経済連



●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。 ㊞はバイエルグループの登録商標

バイエル クロップサイエンス株式会社

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

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



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
クムラス**



安定した銅の効果！
サンボルドー



キュウリ・カボチャのうどんこ病に！
ハッパ乳剤



硫黄と銅の強力タッグ！
園芸ボルドー



サンケイ化学株式会社

本社 〒891-0122 鹿児島市南栄 2 丁目 9 ☎(099) 268-7588
東京本社 〒110-0005 東京都台東区上野 7-6-11 ☎(03) 3845-7951

目次

巻頭言

私の植物防疫・農薬との関わりと最近思うこと……………大森 茂 1

薬剤抵抗性研究の最前線

チャノコカクモンハマキにおけるジアシルヒドラジン系 IGR 剤 (テブフェノジド剤)
抵抗性発達メカニズムの解明と診断法の開発……………浅野(内堀)美和・上樂明也・内山 徹・篠田徹郎 2

総説

薬用作物(トウキ・トリカブト・オウギ)における栽培と病害虫防除……………櫻井 美希 7
GAP における IPM と薬剤抵抗性病害虫管理……………鈴木 啓史 13

研究報告

イチゴ炭疽病の伝染源としての雑草の評価……………平山 喜彦 21
秋田県の秋冬ネギにおけるネギ葉枯病の発生実態と防除対策……………齋藤隆明・藤井直哉・松田英樹 27

調査報告

タイにおけるサトウキビ白葉病の発生生態と防除……………小堀 陽一 33

トピックス

日本におけるテンサイシストセンチュウの発生と緊急防除……………農林水産省 消費・安全局植物防疫課 38
近年のシロイチモジヨトウの発生状況と薬剤感受性……………太田 泉・河野勝行 42

植物防疫講座

病害編-22 疑似紋枯症の発生生態と防除……………野津 あゆみ 47
虫害編-21 野菜・花きのハモグリバエ類の発生生態と防除……………徳丸 晋 51
農薬編-21 抵抗性誘導剤(プラントアクチベーター)……………梅村 賢司 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 生物機能利用研究部門
昆虫制御研究領域 昆虫機能制御ユニット……………田中 良明 64
佐賀県農業試験研究センター 病害虫・有機農業研究担当……………井手 洋一 65

農林水産省プレスリリース (2019.8.5~2019.9.6) 46
新しく登録された農薬 (2019.8.1~8.31) 26, 41
登録が失効した農薬 (2019.8.1~8.31) 32
発生予察情報・特殊報 (2019.8.1~8.31) 37

【表紙写真】

上段左: サトウキビ白葉病の被害

上段右: トリカブト栽培状況

下段左: ネギ葉枯病, 斑点病斑

下段右: マメハモグリバエの成虫と被害

私たちの多彩さが、
この国の農業を笑顔にします。



殺虫剤

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

殺菌剤

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

殺虫殺菌剤

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

水稲用除草剤

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

植物成長調整剤

ジベレリン協和® ロミカ®

®は登録商標です。

●使用前にはラベルをよく読んでください。●ラベルの記載以外には使用しないでください。●小児の手の届く所には置かないでください。●空袋・空容器は圃場等に放置せず適切に処理してください。

〒104-8260 東京都中央区新川1丁目27番1号 お客様相談室



0570-058-669

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



大粒のめぐみ、まっすぐ人へ
SCG GROUP



住友化学


 巻頭言

私の植物防疫・農薬との関わりと最近思うこと

全国農薬協同組合 理事長
(山陽薬品株式会社 代表取締役会長)

おおもり 大森 しげる 茂



この度、一般社団法人日本植物防疫協会（以下、日植防）の理事に、全国農薬協同組合（以下、全農薬）理事長という立場で選任いただきました。私自身、植物防疫の一端を担う農薬に関する仕事に従事したのは、今から39年前の昭和55年4月のことでした。

それまで学生時代は工学部で卒論のテーマは「目標計画法を使って事業の最適化を図ること」について、そして社会に出て5年間は医薬品の工場・生産部門で作業標準書作りや原価低減。そして、その当時導入されたGMP（製造所における製造管理、品質管理の基準）への対応業務などが主業で、まったく農業・農薬とは縁がありませんでした。

その後、農薬営業部門に異動、内勤業務半年、現場の技術普及担当を2年間経験後退社し、山陽薬品に入社しました。それまでの間、農薬については、レイチェルカーソンさんの『沈黙の春』（1962年）や有吉佐和子さんの『複合汚染』（1975年）を通して知ったぐらいです。

メーカーでの思い出は、昭和56年当時、岡山県児島湖において、魚毒性ランクがBsのPAP剤使用が原因でボラが浮いたというニュースを社内で小耳に挟む程度。現場においては、シクラメンの灰色カビ病防除のために使用した農薬で軸割れ症状が出た件で農家対応した件、海外からの進入害虫のイネミズゾウムシ対策での現地薬効調査等が記憶に残っております。

また、当時は有人ヘリで農薬散布をしており、滋賀県内でその空散現場に立ち合ったことなども印象に残るひとつの思い出です。

日植防さんとのご縁は、メーカーにいた当時、ずぶの素人の私が農薬要覧の統計数字を基に、県別農薬出荷量などを会議資料に加工して活用させていただいたことがかわりの最初かと思えます。

その後、地元岡山県にもどり、農薬卸会社の社員として、当時、全農薬が日植防さんをお願いして代々木の国立オリンピック記念青少年総合センター施設で開催していた植物防疫研修会を昭和58年に受講し、大変お世話になりました。

この業界で、約40年暮らしていると、いろいろなことを経験し、様々な話を耳にします。現在の農薬事情について理不尽に思うことは、

- ・現場では決められた使用法であれば安全だと信じて販売していた製品が、経済的な理由とのことで突然販売を止めて登録失効とすること。
- ・ある農薬が疫学的な理由で安全性に懸念を持たれ、メ

ーカーの自主的判断でその農薬の販売を止めて在庫回収まですること。

- ・農薬登録をとらない、もしくは登録失効した成分のニセ農薬が、防除効果と安全性を謳い大手を振って流通しているのに行政的に何も対応できないこと。
- ・科学的な観点ではなく、政治的な判断で理不尽な規制が加えられたりすること。

このように、一時流行した「安全・安心」という言葉すら、時代遅れの感がする今日このごろですが、このように感じるのは私だけでしょうか。

私は、4年前になります。全農薬の安全協全国集会の特別講演をお願いした東京大学名誉教授の唐木英明先生に、反農薬を謳う団体のグリーンピースが唱える予防原則（怪しきは使わない）と農薬の関係をお聞きしました。唐木先生は、「農薬は各種試験を通して、定められた使用法で安全性は担保されており、予防原則の前提条件である怪しいものではないので、問題ないですよ。」と即座に返答されました。

一方で、私が経験した現場での農薬に対するこれからの課題をいくつかあげると

1. 新たな再評価制度というハードルが加わり、生産現場としては栽培に必要な農薬が今後も確保できるかどうか。
 2. 農産物の国際間の流通を考える場合、残留基準値を国際的に統一することはできないのか。
 3. 消費者の安心感を高めるために、農薬を規制するだけでなく、農薬の販売だけでなく使用者の資格制度を考えてはどうか。
 4. 病害虫発生予測・診断に、AI的な発想・技術を現場レベルに持ち込める技術開発が早急にできないか。
- 等々、数えれば課題は沢山あります。

最後に、私は農薬そして農産物こそ健康の大元であり、地域性も様々違う中で環境と共存し、後継者も含めて持続的な仕組み作りが必要な産業かと思っています。

今、日本は高齢化や人口減少という流れで、世界の中でもその最先端を経験している国として、その中で今後も持続的な農業生産を支えるために必要な団体の一つとして、一般社団法人日本植物防疫協会の果たす役割はますます重要なものになると思います。

私は理事として、日植防の発展のため貢献できるよう努力する所存です。

(日本植物防疫協会 理事)

薬剤抵抗性研究の最前線

チャノコカクモンハマキにおけるジアシル
ヒドラジン系 IGR 剤 (テブフェノジド剤)
抵抗性発達メカニズムの解明と診断法の開発国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
生物機能利用研究部門あさの うちぼり みわ じょうらく あきや
浅野 (内堀) 美和・上樂 明也静岡県農林技術研究所茶業研究センター うち やま とおる
内 山 徹福島大学 農学群 食農学類 しの だ てつ ろう
篠 田 徹 郎

はじめに

チョウ目ハマキガ科に属するチャノコカクモンハマキ *Adoxophyes honmai* Yasuda は、幼虫がチャの葉を綴り合わせて食害し、新芽の生育を遅延させ、収量や品質を著しく低下させるチャの重要害虫である。静岡県ではハマキガ類を防除するために、1995年頃からジアシルヒドラジン系昆虫成長制御剤（以下、DAH系IGR剤）を基幹剤の一つとして、幼虫の発生時期に合わせて年数回にわたり複数の薬剤を散布していた。しかし、DAH系IGR剤に対する感受性は、使用開始からわずか1~2年後に低下し始め、13年後には常用濃度200 ppmで散布しても全く効かないほど著しく低下した（小杉，1999；内山ら，2013）。

チャノコカクモンハマキは、関東以西の本州、四国、九州に広く分布しており、他地域でもDAH系IGR剤に対する抵抗性発達が懸念されたため、そのメカニズムの解明と、簡易な抵抗性個体識別手法の開発が急務と考えられた。そこで筆者らは、農林水産省委託プロジェクト「ゲノム情報等を活用した薬剤抵抗性管理技術の開発」の中で、DAH系IGR剤の一つであるテブフェノジド剤に対する抵抗性の発達メカニズムの解明に取り組み、作用点変異と解毒分解酵素の高発現が抵抗性発達に関与しており、特に前者が主要因であることを明らかにした。さらに作用点変異をターゲットにした遺伝子診断法を開

Mechanisms of Tebufenozide Resistance in the Smaller Tea Tortrix, *Adoxophyes honmai* Yasuda and Development of Molecular Diagnostic Method. By Miwa UCHIBORI-ASANO, Akiya JOURAKU, Toru UCHIYAMA and Tetsuro SHINODA

（キーワード：ジアシルヒドラジン系昆虫成長制御剤，テブフェノジド剤，チャノコカクモンハマキ，PCR-RFLP法，エクジソン受容体）

発し、本手法を用いて、国内のチャ産地から採集した本種個体群におけるテブフェノジド剤抵抗性遺伝子頻度について調査を行ったので紹介する。

I テブフェノジド剤の作用機構

テブフェノジド剤は、昆虫の脱皮、変態を促進する脱皮ホルモンと同様の活性を有する殺虫剤である。昆虫の脱皮時には、脳から分泌される前胸腺刺激ホルモン（prothoracicotropic hormone, PTTH）の作用により、前胸腺で脱皮ホルモン（エクジソン）が生合成され体液中に放出される（図-1）。エクジソンは、脂肪体などの組織で代謝されて活性型の20-ヒドロキシエクジソン（20-hydroxyecdysone, 20E）となる。20Eが標的細胞核内に存在するエクジソン受容体タンパク質（ecdysone recep-



図-1 テブフェノジド剤の作用機構

通常の脱皮時（左）には、脱皮ホルモン（20E）がエクジソン受容体（EcR）と結合し、20E初期応答遺伝子の発現を促進し、正常な脱皮を誘導する。

テブフェノジド剤散布時（右）には、テブフェノジドがEcRと結合することにより、本来とは異なるタイミングで異常な脱皮が誘導され、致死する。

tor, EcR) に結合すると, EcR はウルトラスピラクルタンパク質 (ultraspiracle, USP) と複合体を形成する。この複合体が DNA 上の特定の塩基配列に結合し, 下流の応答遺伝子の転写を活性化することで脱皮や変態が誘導される。一方, テブフェノジド剤が EcR に結合すると, 本来とは異なるタイミングで強制的に脱皮を促進し, 摂食の停止や異常脱皮を引き起こして死に至らしめる。なお, 20E と DAH 系 IGR 剤では, EcR 中の結合ポケットはほぼ同じ位置にあるが, 相互作用するアミノ酸残基が一部異なっている (BILLAS et al., 2003)。

II テブフェノジド剤に対する抵抗性メカニズムの解明

一般に昆虫の殺虫剤抵抗性発達の主な原因として, ①作用点変異, ②解毒分解酵素による殺虫剤代謝活性の増大, ③皮膚透過性の低下が挙げられる。このうち, 既知の抵抗性の多くは作用点変異と解毒分解酵素による代謝のいずれか, または両方が主要因である。これらはゲノム上の遺伝子変異や RNA の発現量, 殺虫剤の代謝活性と殺虫剤抵抗性との関連の調査等で明らかにすることができる。

筆者らは, まず, ゲノム上でテブフェノジド剤抵抗性の原因となる遺伝子変異が含まれる領域を絞り込むために, 抵抗性系統と感受性系統の交配後代 (F₂ 世代) の集団を用いた連鎖解析*を, ddRAD-seq** (double digest restriction-site associated DNA sequence) 解析を利用して行った (UCHIBORI-ASANO et al., 2019 a)。その結果, テブフェノジド剤抵抗性と非常に強く連鎖する領域が第

17 連鎖群***に, やや強く連鎖する領域が第 12 連鎖群に同定された。

さらに, 新規に解読した本種の全ゲノム配列情報を利用して解析した結果, 第 17 連鎖群内で抵抗性との連鎖が最も強い領域には, テブフェノジド剤の作用点である EcR タンパク質をコードする遺伝子が座乗していることが判明した。そこで感受性系統と抵抗性系統の EcR 遺伝子 (cDNA) の塩基配列を比較した結果, 抵抗性系統では 1,244 番目の塩基がシトシン (C) からチミン (T) に置換 (C1244T) されることにより, 415 番目のアミノ酸がアラニン (A) からバリン (V) に置換 (A415V) されていた (表-1)。さらに組換えタンパク質を作製して EcR/USP 複合体とテブフェノジド剤との結合親和性を調べた結果, 抵抗性型 EcR とテブフェノジド剤の結合親和性は, 感受性型 EcR に対して 5 倍低かった。以上の結果から, EcR の 1 アミノ酸の違い (A415V) がテブフェノジド剤抵抗性に関与することが示唆された。ニセアメリカタバコガの EcR の 384 番目 (チャノココクモンハマキでは A415V 部位と隣接する 414 番目に相当) のアミノ酸であるバリン (V) はチョウ目昆虫の種間でよく保存されており, さらにその隣の 383 番目 (チャノココクモンハマキでは 413 番目に相当) のアルギニン (R) は脱皮ホルモン (ポナステロン A) と水素結合を形成することが報告されている (BILLAS et al., 2003)。A415V 変異はエクジソン結合ポケットの立体構造に, 天然エクジソンの結合には影響を与えず, テブフェノジド剤の親和性のみを下げるような絶妙な変化をもたらしていることが推定され, 今後の詳しい立体構造の解明が待たれる。

表-1 チャノココクモンハマキのエクジソン受容体 (EcR) のアミノ酸配列と塩基配列の比較

アミノ酸の残基番号	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420
テブフェノジド感受性系統	S agc	E gag	V gta	M atg	M atg	L ctc	R cga	V gta	A gcg	R cgg	R cgg	Y tac	D gac	A gcg
テブフェノジド抵抗性系統	S agc	E gag	V gta	M atg	M atg	L ctc	R cga	V gta	V gtg	R cgg	R cgg	Y tac	D gac	A gcg

UCHIBORI-ASANO et al. (2019 a) を改変。

各段の上段はアミノ酸配列, 下段はコドンの塩基配列を示す。

黄色のセル: 赤字で示した SNP (C1244T) にコードされるアミノ酸。

緑色のセル: チョウ目昆虫間で保存されているアミノ酸。

水色のセル: ニセアメリカタバコガの EcR において脱皮ホルモンと水素結合するアミノ酸。

連鎖解析*: 遺伝子マーカー (生物個体の遺伝的性質の目印となる DNA 配列) を利用して生物の表現型 (薬剤抵抗性や疾患等) の原因となる遺伝子の染色体上の位置を探索する遺伝統計学的手法のこと。

ddRAD-seq**: ゲノムを 2 種類の制限酵素で消化し, 全ゲノムのうち, 切断サイトの近傍の配列のみを次世代シーケンサーで決定する手法のこと。多検体を対象に, 多数の SNP を同定, 比較し, 抵抗性の要因となる遺伝子変異などを含む領域を特定できる。
連鎖群***: 同一染色体上の遺伝子のグループのこと。

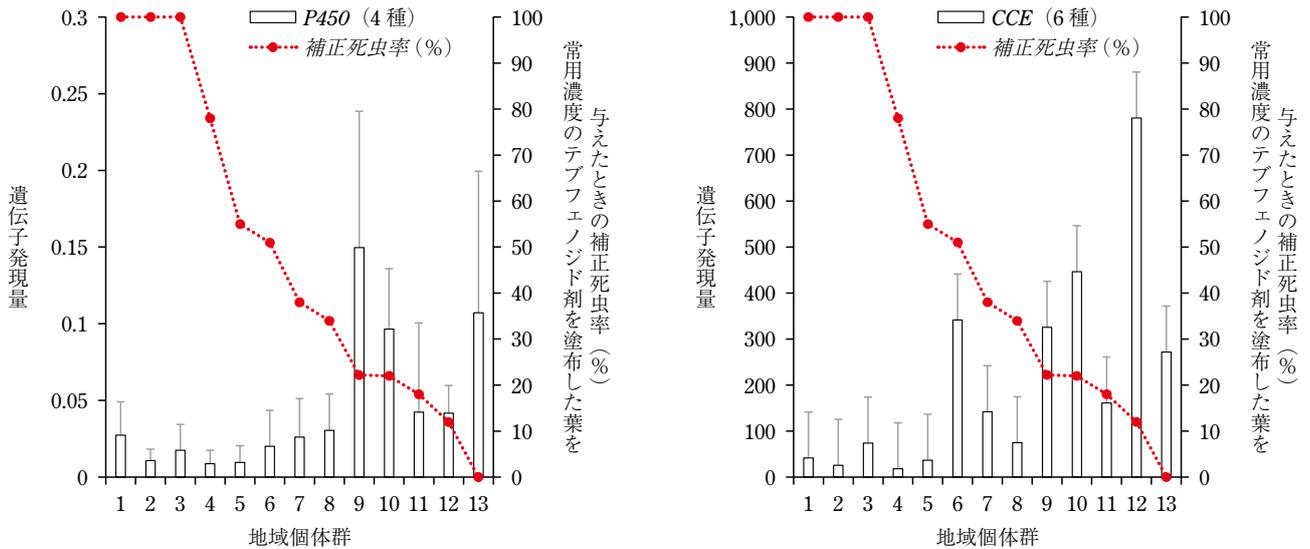


図-2 地域個体群の解毒分解酵素遺伝子 (*P450*, *CCE*) の発現と常用濃度のテブフェノジド剤を塗布した葉を与えたときの補正死亡率

各棒グラフは数字で示した地域個体群における各遺伝子の発現量 (平均+標準偏差) を示す。

左図) 4 種の *P450* 遺伝子/*rp49* 遺伝子. 右図) 6 種の *CCE* 遺伝子/*rp49* 遺伝子。

UCHIBORI-ASANO et al. (2019 a) を改変。

一方、第 12 連関群内で抵抗性ととの連鎖が最も強い領域には 8 種の *P450* 遺伝子が座乗していた。そこで、RNA-seq****による発現変動解析を行った結果、解毒分解酵素として 9 種の *P450* 遺伝子 (第 12 連関群の該当領域に座上する *P450* 遺伝子のうち 2 種を含む)、6 種の *choline/carboxylesterases* (*CCE*) 遺伝子、1 種の *glutathione S-transferase* (*GST*) 遺伝子が抵抗性系統で発現上昇していた。定量 RT-PCR 法により、地域個体群の各遺伝子の発現量を解析し、常用濃度のテブフェノジド剤に対する補正死亡率との相関を調査した (図-2)。その結果、4 種の *P450* 遺伝子について有意な相関 (スピアマンの順位相関係数 $r = -0.7845$, $p < 0.005$) が確認された。さらに、6 種の *CCE* 遺伝子についても有意な相関 (スピアマンの順位相関係数 $r = -0.7624$, $p < 0.005$) が確認されたことから、これらの解毒分解酵素の発現上昇がテブフェノジド剤抵抗性に補助的に関与する可能性が示唆された。このようにチャノコカクモンハマキのテブフェノジド剤抵抗性に、作用点変異と複数の解毒分解酵素の過剰発現が関与していることは、内山と小澤 (2016) によって明らかにされた遺伝様式 (常染色体性の複数因子による不完全優性の遺伝様式) とも合致すると考えられる。

RNA-seq**** : mRNA や miRNA の配列を次世代シーケンサーにより解読して、発現量の定量、新規転写配列を同定する手法のこと。薬剤抵抗性解析では、標的遺伝子上の変異や過剰発現している解毒分解酵素の同定等に活用できる。

III 抵抗性遺伝子診断法の開発

チャノコカクモンハマキのテブフェノジド剤抵抗性遺伝子頻度を判定する遺伝子診断法として *EcR* 遺伝子の塩基配列の違い (C1244T) を利用する PCR-RFLP (polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphism) 法を開発した (UCHIBORI-ASANO et al., 2019 b ; 農研機構, 2019)。遺伝子診断法は生物検定法と異なり、供試虫を飼育してステージを揃える必要がなく、生死に

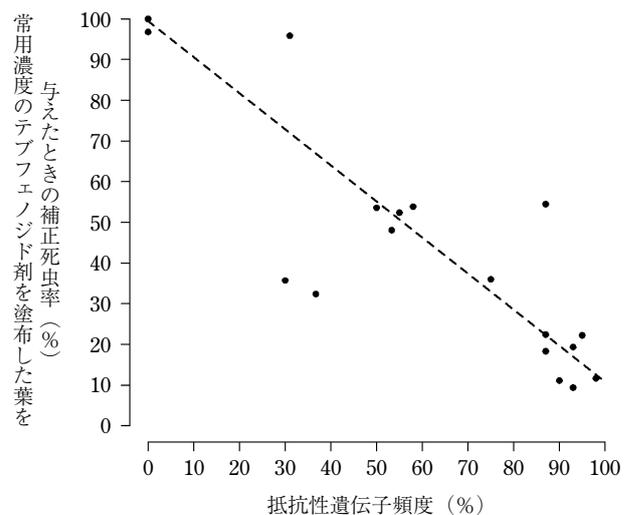


図-3 地域個体群のテブフェノジド剤に対する抵抗性遺伝子頻度と常用濃度のテブフェノジド剤を塗布した葉を与えたときの補正死亡率

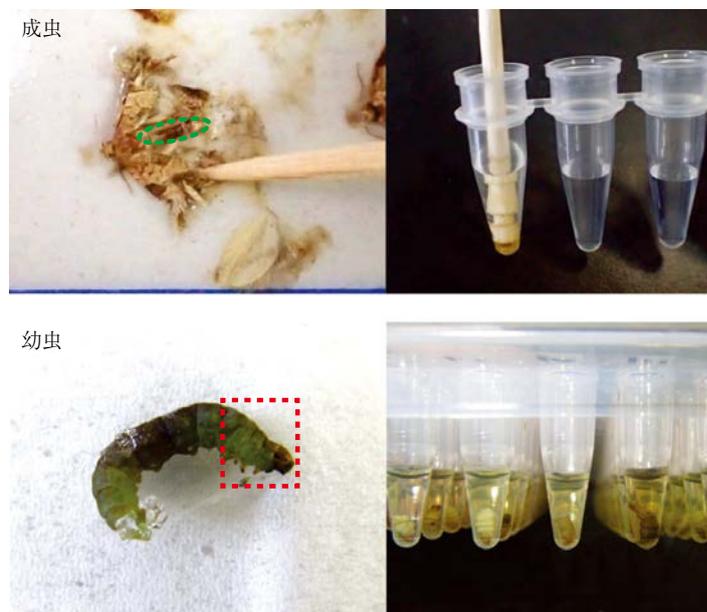
UCHIBORI-ASANO et al. (2019 b) を改変。

かかわらず抵抗性を正確に判別することができるため、迅速かつ低コストな手法と言える。本手法により算出した地域個体群の抵抗性遺伝子頻度と、生物検定法により算出した補正死虫率の間には高い相関 (スピアマンの順位相関係数 $r = -0.8970$, $p < 0.0001$) が認められた (図-3)。そこでこの結果に基づき、抵抗性遺伝子頻度を用いて、テブフェノジド剤抵抗性のリスクレベルを判定し、リスクレベルに応じた望ましい対策を行うための抵抗性管理ガイドライン案を策定した (農研機構, 2019)。ガイドライン案では、抵抗性遺伝子頻度に応じてリスクレ

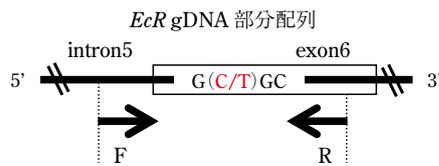
ベルを3段階に分け (5%未満: リスクレベル1, 40%未満: リスクレベル2, 40%以上: リスクレベル3), 段階に応じて他の代替殺虫剤への切り替えや交信攪乱フェロモン剤, BT 剤等の導入の検討などの対策を記載している。

具体的な抵抗性遺伝子診断法の実験の流れを図-4に示した。まず、フェロモントラップで捕殺したチャノココクモンハマキのオス成虫の腹部, あるいは幼虫の頭胸部からゲノム DNA (gDNA) をアルカリ抽出法により抽出する。DNA 抽出の動画を農研機構のホームページ

1) 簡易 DNA 抽出



2) PCR



4) 電気泳動

3) 制限酵素処理

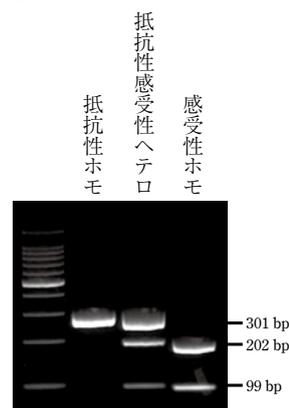
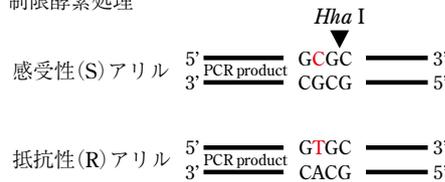


図-4 チャノココクモンハマキのテブフェノジド剤抵抗性遺伝子診断法 (PCR-RFLP 法) の流れ

1) 成虫の腹部 (緑破線) あるいは幼虫の頭胸部 (赤破線) を溶解バッファー (50 mM NaOH, 0.2 mM EDTA) に入れる。成虫の腹部は爪楊枝の柄で軽く破砕する。95°C, 10 分間インキュベートした後, 中和バッファー (0.2 M Tris-HCl, pH 8.0) を加え, DNA 溶液とする。2) PCR を行い, *EcR* 遺伝子の gDNA 上の C1244T (赤字) を含む領域を増幅する。3) PCR 産物に制限酵素 *Hha* I を加え, 感受性 (S) アリル上の GCGC を特異的に切断する。4) 2%アガロースゲルを用いて電気泳動し, バンドパターンにより遺伝子型を判別する。抵抗性ホモ (R/R) 個体は 1 本のバンド (301 bp), 感受性ホモ (S/S) 個体は 2 本のバンド (99 bp, 202 bp), 抵抗性感受性ヘテロ (R/S) 個体は 3 本のバンドが検出される。UCHIBORI-ASANO et al. (2019 b) を改変。

上 (https://www.naro.affrc.go.jp/laboratory/nias/contents/files/C7_1.mp4) にて公開しているので参考にいただければ幸いです。次に、*EcR* 遺伝子の gDNA 上の C1244T を挟む 2 種のプライマー (F, R) を用いて PCR を行う。PCR 産物は制限酵素 *Hha* I で消化し、電気泳動によりバンドパターンを確認する。*Hha* I は感受性 (S) 個体の塩基配列 GCGC を特異的に認識して切断するため、感受性ホモ (S/S) 個体では制限酵素による切断を受けて 2 本のバンド (99 bp, 202 bp) が、抵抗性ホモ (R/R) 個体では制限酵素により切断されないため 1 本のバンド (301 bp) が、抵抗性感受性ヘテロ (R/S) 個体では 3 本のバンドが (99 bp, 202 bp, 301 bp) 検出される。判定結果を用いて、テブフェノジド剤抵抗性遺伝子頻度 (%) を次式で算出する。なお、5% 以上の抵抗性遺伝子頻度を判定するためには 16 個体の個体別の解析でよいが、5% 未満の抵抗性遺伝子頻度を十分な精度で判定するためには、1 地点 80 個体以上 (10 個体の混合サンプル × 8 試験グループ) のグループテストングが必要である (農研機構, 2019)。

$$\text{抵抗性遺伝子頻度 (\%)} = \frac{\text{抵抗性ホモ型の個体数} \times 2 + \text{抵抗性感受性ヘテロ型の個体数}}{\text{バンドが検出できた全個体数} \times 2} \times 100$$

IV 地域個体群のテブフェノジド剤抵抗性遺伝子頻度

国内のチャ産地 60 地点において、フェロモントラップによりチャノコカクモンハマキを捕殺し、上述の PCR-RFLP 法を用いてテブフェノジド剤抵抗性遺伝子頻度を調査した (UCHIBORI-ASANO et al., 2019 b; 農研機構, 2019)。その結果、抵抗性遺伝子頻度は同じ県内であっても茶園や地域で異なっており、40% 以上が 29 地点、5% 以上～40% 未満が 7 地点、5% 未満が 24 地点であった。最終的に、抵抗性個体は 60 地点中 39 地点において確認され、テブフェノジド剤に抵抗性を持つ個体が広範囲に分布していることが明らかになった。

さらに、テブフェノジド剤を散布していない同一の地域において 2016～18 年にかけて抵抗性遺伝子頻度を調査した結果、抵抗性遺伝子頻度の年次変動は少ないという特徴が見られた (農研機構, 2019)。したがって、抵

抗性遺伝子診断を越冬世代あるいは前年のいずれかの世代を用いて実施することにより、当該年の抵抗性管理対策を事前に講じることが可能である。

おわりに

2004～08 年にかけて、テブフェノジド剤の散布を規制していない同一地域のチャノコカクモンハマキの感受性検定試験を行った結果、テブフェノジド剤に対する抵抗性比は 1 年を経過するごとに 2.3 倍も発達した (内山ら, 2013)。今回の調査では 60 地点中 31 地点の抵抗性遺伝子の頻度が 40% 未満であったが (UCHIBORI-ASANO et al., 2019 b; 農研機構, 2019)、これらの抵抗性遺伝子頻度の低い地域でも DAH 系 IGR 剤に依存した防除を続けると、抵抗性発達が急激に進むことが危惧される。抵抗性管理には、圃場で抵抗性発達が顕在化する前にその兆しを検出することが重要である。本稿で述べた抵抗性遺伝子診断法を活用してリスクレベルを判定し、ガイドライン案 (農研機構, 2019) を抵抗性管理対策の実施に役立てていただければ幸いです。また、リスクレベルの高低にかかわらず、農薬の散布むらを少なくすることや同系統農薬の連用を避ける等の基本的な防除対策を徹底し、交信攪乱フェロモン剤の利用などの総合的害虫管理 (IPM) 技術を積極的に取り入れることで、DAH 系 IGR 剤だけでなく他の殺虫剤の大幅な「延命」が期待される。

最後に、供試虫の採集にご尽力いただいた各府県の地方公設研究機関および農業大学校の関係者各位に感謝の意を表す。本研究は、農林水産省委託研究プロジェクト「ゲノム情報を活用した農産物の次世代生産基盤技術の開発」のうち「ゲノム情報等を活用した薬剤抵抗性管理技術の開発 (PRM02)」により実施した。

引用文献

- 1) BILLAS, I. M. et al. (2003): *Nature* **426**: 91～96.
- 2) 小杉由起夫 (1999): 関東病虫研報 **46**: 123～126.
- 3) 農研機構 (2019): 薬剤抵抗性農業害虫管理のためのガイドライン案, <http://www.naro.affrc.go.jp/laboratory/nias/contents/files/PRMfull.pdf>
- 4) UCHIBORI-ASANO, M. et al. (2019 a): *Sci. Rep.* **9**: 4203.
- 5) ————— et al. (2019 b): *Appl. Entomol. Zool.* **54**: 223～230.
- 6) 内山 徹・小澤朗人 (2016): *植物防疫* **70**: 309～314.
- 7) —————ら (2013): *日本応用動物昆虫学会誌* **57**: 85～93.



薬用作物（トウキ・トリカブト・オウギ）における栽培と病害虫防除

株式会社ツムラ さくら 櫻 い 井 み 美 き 希

はじめに

漢方製剤は、自然界にある植物や鉱物等に由来する生薬を組合せて作られた薬である。原料となる生薬は、大きく分けて動物・鉱物・植物由来の三つに分類され、動物・鉱物由来の生薬には、牡蠣の貝殻である牡蛎（ほれい）、セミの抜け殻である蟬退（せんたい）等がある。植物由来の生薬は最も種類が多く、使用される部位も果実、種子、根や樹皮、葉等様々である。代表的なものには、ウコギ科の人参（にんじん）、セリ科の当帰（とうき）等が挙げられる（厚生労働省、2016）。なお、医薬品原料として使用するためには、「医薬品、医療機器等の品質、有効性及び安全性の確保等に関する法律」（厚生労働省、1960）の第41条に基づき、定められた日本薬局方などに規定された基準に適合する必要がある。

当社では現在、植物由来の生薬 110 品目、動物・鉱物

由来 9 品目の合計 119 品目を原料生薬とし、それらを組合せることで 129 種類の漢方製剤を製造している。使用している原料生薬は、日本で約 15%、中国で約 80%、その他の国から約 5%の割合で調達している。ここ数年、中国の著しい経済発展や中国国内での生薬需要の高まりを受け、中国産生薬の価格が高騰しており、日本で栽培可能な生薬並びに既存品目の生産数量拡大について検討している。本稿では、薬用作物の栽培と防除についてトウキ、トリカブト、及びオウギを例に紹介する。

I 薬用作物の国内での栽培状況

国内で原料生薬として使用されている 264 品目のうち 84 品目が国内で栽培されているが、その自給率は 10%程度であり、その中で国内生産量が多い品目はコウイ、センキュウ、トウキである（表-1；山本ら、2019）。また全国各地で薬用作物の栽培は行われており、特に大分

表-1 生薬、医療用および一般用漢方製剤、生薬製剤で使用されている原料生薬の使用量

生薬名	薬用作物名	総使用量 (トン)	うち国内産 (トン)	割合 (%)
センキュウ（川芎）	センキュウ	558.6	469.3	84.0
トウキ（当帰）	トウキ・ホツカイトウキ	873.4	233.4	26.7
チンピ（陳皮）	ウンシュウミカン	334.7	112.0	33.5
ボウイ（防已）	オオツツラフジ	133.2	107.2	80.5
クマザサ	クマザサ	102.9	102.9	100
クロモジ	クロモジ	75.3	75.3	100
コウボク（厚朴）	ホウノキ	199.2	57.2	28.7
キジツ（枳実）	ダイダイ・ナツミカン	108.3	57.2	52.8
ブシ（附子）	オクトリカブト・ハナトリカブト	108.5	42.4	39.1
コウベイ（梗米）	イネ	108.5	41.3	38.0
ソヨウ（蘇葉）	シソ	108.8	37.6	34.6
シャクヤク（芍薬）	シャクヤク	1,513.7	34.3	2.3
オウギ（黄耆）	キバナオウギ・ナイモウオウギ	356.1	24.6	6.9
サイコ（柴胡）	ミシマサイコ	608.6	11.6	1.9
オウバク（黄柏）	キハダ	175.7	2.9	1.6
ジオウ（地黄）	アカヤジオウ・カイケイジオウ	424.3	2.5	0.6

※平成 28 年度生薬総使用量上位 60 品目のうち日本産の使用量（コウイ除く）が 1 トン以上ある品目を抽出。

※「日本における原料生薬の使用量に関する調査報告（山本ら、2019）」から作成。

Cultivation and Control of Pests and Diseases in Medicinal Crops.

By Miki SAKURAI

（キーワード：薬用作物，病害虫防除，トウキ，トリカブト）

表-2 都道府県別の栽培面積および主な生産品目

都道府県	栽培面積 (ha)	主な生産品目
大分県	454.9	大麦若葉, クワ, ハトムギ
富山県	328.8	シャクヤク, ハトムギ, トウキ
北海道	282.0	センキュウ, トウキ, トリカブト
和歌山県	170.6	サンショウ, ウヤク, トウキ
高知県	104.0	サンショウ, ダイダイ, ミシマサイコ
島根県	95.2	ハトムギ, ショウガ, モロヘイヤ
鹿児島県	92.3	大麦若葉, ガジュツ, ミシマサイコ
栃木県	74.8	ハトムギ, サイコ, ヨロイグサ
熊本県	65.4	ミシマサイコ, ショウガ
沖縄県	59.9	ウコン, ヨモギ, グァバ

※公益財団法人日本特産農産物協会「地域特産作物（工芸作物、薬用作物及び和紙原料等）に関する資料（平成29年産）」より上位10位を抜粋。

表-3 主要薬用作物の国内栽培面積

薬用作物名	栽培面積 (ha)	主な産地
ハトムギ	564.9	富山県, 島根県, 栃木県
サンショウ	221.1	和歌山県, 高知県, 奈良県
ミシマサイコ	145.9	熊本県, 高知県, 愛媛県
センキュウ	114.0	北海道, 岩手県
トウキ	91.4	北海道, 群馬県, 長野県
ウコン	56.4	沖縄県, 鹿児島県, 宮崎県
トリカブト	37.5	北海道, 岩手県
ガジュツ	35.5	鹿児島県
ダイダイ	27.5	高知県, 静岡県, 和歌山県
シャクヤク	26.9	秋田県, 富山県, 奈良県
カンゾウ	23.9	北海道, 青森県, 岡山県
ウド	19.9	秋田県
ウヤク	17.2	和歌山県
オウギ	14.2	北海道
ダイオウ	14.1	北海道
シソ	13.6	北海道, 岩手県, 愛媛県

※公益財団法人日本特産農産物協会「地域特産作物（工芸作物、薬用作物及び和紙原料等）に関する資料（平成29年産）」より抜粋。

県, 北海道, 富山県で栽培面積が大きく, 品目としてはハトムギ, サンショウ, ミシマサイコ, センキュウ等が上位を占める(表-2, 表-3; 公益財団法人日本特産農産物協会, 2019)。

当社の国内での主要生産拠点は北海道(夕張ツムラ), 岩手県, 群馬県, 和歌山県, 高知県, 熊本県の6箇所であり, それぞれで契約栽培を行い, 国内栽培の強化を図っている。また安全な生薬の安定確保のため, 生薬の収量向上や品質安定化のための研究も行っている。

II 薬用作物栽培の特徴

これまでの栽培は手作業で賄える程度の小面積である

ことが多く, 栽培方法についても生産者のノウハウに頼っていたのが現状であった。昨今, 薬用作物の栽培を普及促進する動きが高まっているが, 薬用作物は下記の点で一般作物と異なるため, 栽培の拡大や新規導入を進めるうえでの障害となっている(薬用作物産地支援協議会, 2017)。

- ・栽培期間が長いものが多く, 畑の利用効率が悪い。
- ・種苗の入手先が限られており, 正しい基原植物の種苗を入手することが難しい品目が多い。
- ・多くの品目で品種化されていない。
- ・使用可能な農薬が少ない品目が多い。
- ・多くの作業が人力・手作業に依存しており, 機械化が遅れている。
- ・収穫後に乾燥・調製の工程が必要になる。
- ・医薬品としての品質基準(日本薬局方, 日本薬局方外生薬規格など)をクリアする必要がある。
- ・農作物のように市場がなく契約栽培が主流である。

III 薬用作物の栽培と防除

1 トウキ

トウキはセリ科の植物で, 根を生薬「当帰(とうき)」として使用し, トウキ(*Angelica acutiloba* Kitagawa)とホッカイトウキ(*A. acutiloba* Kitagawa var. *sugiyamae* Hikino)が基原植物として定められている(図-1)。

4~6月に播種し, 約1年間育苗した苗を暖地では3~4月に, 寒冷地では4~5月に定植する。収穫は暖地では11~12月に, 寒冷地では10~11月に行う(薬事日報社, 1992)。秋に苗を定植し1年後に収穫する秋植え栽培を行う地域もある。採種する場合は, 晩秋に収穫しないで越冬させ翌年(定植2年目)の夏に開花・結実させ採種を行う。収穫した根を通例, 湯通しして乾燥させたものが生薬「当帰」となる。体を温め血の巡りをよくする効果があるため, 婦人系の処方に使用されている。古くから北海道, 群馬県, 奈良県等, 全国で栽培されており, 栽培の歴史は長い。

(1) トウキに発生する病害虫

1) 発生害虫

トウキに発生する害虫の中で最も問題となるのがキアゲハの幼虫(図-2)であり, 特に定植後の生育期に発生する。北海道では5~9月ころまで発生し, 新芽や葉を食害し生育に影響を与える。また, 本州の比較的暖かい地域ではクロモンシロハマキが発生する。4~5月ころから発生し, ふ化した幼虫が株元近くの芽や葉柄基部から侵入し根部まで食害する。ひどい場合には, 株全体が枯死する場合があるが, 軽微な場合は症状がわかりにく



図-1 トウキ栽培風景



図-2 トウキに発生したキアゲハ



図-3 トウキに発生したアカスジカメムシ

く、収穫後、食害跡が見つかることも多い。そのほかにアブラムシ類やハダニ類も発生する。採種株に発生し、問題となる害虫として、アカスジカメムシ（図-3）がいる。定植2年目のトウキが開花し始める6月から発生し、果実を吸汁するため、吸汁された種子はしいなや実の入りが悪くなり採種量や種子の品質が低下する。

登録農薬としては、キアゲハにデブフェノジド水和剤、採種用とうきに対しエトフェンプロックス乳剤がある。アブラムシ類にはモスピラン水溶剤と顆粒水溶剤、ハダニ類にはクロルフェナピル水和剤が登録されている。クロモンシロハマキ、アカスジカメムシを防除する登録農薬はない。

2) 発生病害

育苗期によく見られる病害として *Rhizoctonia solani* による苗立枯病がある（前川・相野，1999）（図-4）。また *Didymella* sp. による根腐病も発生するが（阿部ら，1980；利根川ら，2019），症状が根部にでるためわかりずらく、収穫して初めて根部の腐敗が見つかることが多い。



図-4 トウキ苗立枯病

地上部に発生する病害として、*Plasmopara* 属菌によるべと病（栢森ら，2019）があり、6月ころから北海道などの冷涼地で発生する。同じセリ科のセンキュウでは大きな被害が報告されている。また、葉に斑点が生じる斑点

病 (*Didymella* sp. 根腐病菌とは種が異なる) (図-5) が年間を通じて発生する (川部ら, 2016; 利根川ら, 2019)。

登録農薬には、べと病が対象のマネップ水和剤があり、その他、野菜類としてべと病やリゾクトニア菌による苗立枯病等を対象とした登録農薬がある。

2 トリカブト

トリカブトはキンポウゲ科の植物で、塊根を生薬「附子(ぶし)」として使用し、ハナトリカブト (*Aconitum carmichaeli*) とオクトリカブト (*A. japonicum*) が基原植物として定められている (図-6)。塊根を種芋とする栄養繁殖で、種芋を9~10月に植え付け、翌年の9~10月に収穫する (薬事日報社, 1999)。アルカロイド系の成分を持つため毒草のイメージが強いが、乾燥させた塊根を「修治(しゅうち)」と呼ばれる高温高压処理を行い減毒処理をする。鎮静作用が強く、利尿、強心等にも効果がある。冷涼地を好むため、北海道や岩手県等で栽

培されている。

(1) トリカブトに発生する病虫害

1) 発生害虫

鱗翅目の幼虫やハモグリバエ類等による食害が見られるが、大きな被害はあまり見られない。

2) 発生病害

Verticillium dahliae による半身萎凋病 (白石・賛田, 1985), *Plectosporium tabacinum* による株枯病 (富岡ら, 2008) や *Rhizoctonia* 属菌による立枯病 (図-7) (森ら, 2018) が報告されている。また、キュウリモザイクウイルス (CMV) による葉のモザイク症状 (図-8) が発生する (FUKUMOTO et al., 2008)。東北以南では、7~9月ころ *Sclerotium rolfsii* による白絹病 (図-9) が発生する (岩館・菅, 2018)。

トリカブトに登録のある殺菌剤、殺虫剤はない。そのため生育期間中に半身萎凋病などの土壤病害が発生しても罹病株を抜き取る程度の対応しかできない。



図-5 トウキの斑点病



図-7 トリカブト立枯病



図-6 トリカブト栽培風景

3 オウギ

オウギはマメ科の植物で、根を生薬「黄耆（おうぎ）」として使用し、キバナオウギ (*Astragalus membranaceus*) とナイモウオウギ (*A. mongholicus*) が基原植物として定められている (図-10)。4~5月に播種 (直播) し10月に収穫する (薬事日報社, 1996)。また、採種の場合

は定植2年目の株を使用する。生薬「黄耆（おうぎ）」は収穫した根を乾燥させたもので利尿作用等がある。主に北海道で栽培されている。

(1) オウギに発生する病害虫

1) 発生害虫

オウギに発生する害虫として、ヤガ類の幼虫やアブラ



図-8 トリカブトのモザイク症状



図-9 トリカブト白絹病



図-10 オウギ栽培風景



図-11 オウギに発生したアブラムシ類



図-12 オウギに発生したハダニ類

ムシ類、ハダニ類等がある（図-11, 12）。ヤガ類による食害はオウギが出芽し始める5月ころから発生し、株数が減少するため影響が大きい。

登録農薬としては、アブラムシ類にフルシトリネート液剤があり発生する5月以降適宜散布する。

2) 発生病害

オウギに発生する病害として、地際部が褐変し立枯れ症状を引き起こす *Rhizoctonia solani* による茎腐病（福田ら, 1990）が出芽初期の5月ころから発生する。また、白絹病やうどんこ病（福田ら, 1990）、さび病（福田ら, 1987）の報告があるが、生産現場では大きな問題になっていない。

オウギに対する殺菌剤の登録はないが、野菜類で登録のあるチウラム水和剤等で種子消毒を行う場合がある。

おわりに

ここ数年、薬用作物の国内生産拡大のため、国の補助事業等により栽培技術の確立、機械化による効率化、優良種苗の確保など様々な取組みが活発に行われている。病害虫の分野では、特に病害の調査が遅れており、佐藤・一木（2018）によれば10種の薬用作物について病原別に病害数をまとめた結果、その半数が2010年以降に新たに明らかとなった病害と報告している。また、カンゾウやカノコソウのように2009年以前は病害の報告が全くなかったものもあり、これまで栽培されてきた作物でも調査不足が栽培関係者の認識不足につながっていたり、診断や防除に関する情報が栽培関係者に行き届いておらず、ありふれた病害が見過ごされ防除が徹底されていないことも少なくないと指摘している。これまで我が国では生薬原料の約8割を輸入に頼ってきたこともあり、薬用作物の病害を専門とする研究者や防除指導員はほとんどいなかった。

本稿で取り上げたトリカブトについても、雪解け後、

気温がまだ低い4~5月ころから葉が褐変し始め、最終的に地上部が枯れ上がる原因不明の症状が北海道等の生産現場で大きな被害をもたらす問題となっている。また、オウギでも根の一部が褐変し地上部が生育不良となる原因不明の症状が発生しており、原因究明が急務である。

当社でも生薬栽培の効率化、機械化による大規模栽培や優良品種の育成などに取り組むとともに、生産者と協力して病害虫の発生調査や農薬の登録試験等がスムーズに行えるよう、国や都道府県の試験機関、自治体に協力をお願いし様々な活動を行っている。今後は病害虫の発生実態調査をさらに積み重ね、地域に合った防除体系を提案できるよう尽力したい。

引用文献

- 1) 阿部秀夫ら（1980）: 日植病報 46(1): 102~103.
- 2) 福田達夫ら（1987）: 同上 53(3): 385~386.
- 3) ———ら（1990）: 同上 56(1): 148.
- 4) FUKUMOTO, F. et al. (2008): J. Gen. Plant Pathol. 74: 88~90.
- 5) 岩館康哉・菅 広和（2018）: 日植病報 84(1): 54.
- 6) 栢森美如ら（2019）: 平成31年日本植物病理学会大会要旨: 85.
- 7) 川部眞登ら（2016）: 日植病報 82(3): 231~232.
- 8) 公益財団法人 日本特産農産物協会（2019）: http://www.jsapa.or.jp/pdf/Acrop_Jpaper/nousakumotchousah29.pdf
- 9) 厚生労働省（1960）: https://www.mhlw.go.jp/web/t_doc?dataId=81004000&dataType=0
- 10) ———（2016）: 第十七改正日本薬局方: p.7, p.1731~1940.
- 11) 前川和正・相野公孝（1999）: 日植病報 65(3): 409.
- 12) 森 万葉実ら（2018）: 同上 84(1): 59.
- 13) 佐藤豊三・一木珠樹（2018）: JATAFF ジャーナル 6(12): 30~35.
- 14) 白石俊昌・贅田裕行（1985）: 日植病報 51(3): 332.
- 15) 利根川千枝ら（2019）: 同上 85(1): 54.
- 16) 富岡啓介ら（2008）: 同上 74(3): 181.
- 17) 薬事日報社（1992）: 薬用植物 栽培と品質評価 Part 1: p.41~47.
- 18) ———（1996）: 同上 Part 6: p.15~21.
- 19) ———（1999）: 同上 Part 8: p.43~49.
- 20) 薬用作物産地支援協議会（2017）: 薬用作物 栽培の手引き (2): p.1.
- 21) 山本 豊ら（2019）: 生薬学雑誌 73(1): 16~35.



GAP における IPM と薬剤抵抗性病害虫管理

三重県中央農業改良普及センター ^{すず} 鈴 ^き 木 ^{ひろ} 啓 ^{ふみ} 史

はじめに

GAP (Good Agricultural Practice : 農業生産工程管理) とは、農業において食品安全、環境保全、労働安全等の持続可能性を確保するための生産工程管理の取り組みである。各工程にリスク分析に応じた対策を実施することで、IPM (Integrated Pest Management) や薬剤抵抗性病害虫管理の推進などを図ることができる。第三者機関の審査により、GAP が正しく実施されていることが確認された場合、農業者は GAP 認証を取得することができる。

この GAP 認証が、2020 年東京オリンピック・パラリンピック競技大会における食材調達基準において、持続可能性に配慮した農産物の調達基準の要件として、採用されたことで注目されている。

また、2018 年 6 月に食品衛生法が改定され、原則としてすべての食品事業者に HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point) に沿った衛生管理の実施が求められることになった (制度化)。HACCP では、フードチェーンの生産・加工・流通・小売組織の各工程の食品安全に責任を持ち、適切な管理を行うことが求められる。一方で、その源流である農業現場において農産物の安全が守られていなければ、食品安全は保証できない。今後ますます、農作物の安全が問われることが想像される (GAP の導入拡大)。

農林水産省の施策では、2020 年までに、GAP 指導員数を全国で 1,000 人以上育成確保し、さらに、2030 年までに、ほぼすべての国内の産地で国際水準の GAP を実施することを目標としている。現在の GAP 認証には、第三者機関の審査による JGAP, ASIAGAP, GLOBALG. A.P と、都道府県の審査による農林水産省ガイドライン準拠 GAP がある。

本稿では、この GAP を薬剤抵抗性病害虫管理の実践に

活用するための考え方と実施手順などについて紹介する。

I GAP における薬剤抵抗性病害虫管理の要点

ここでは、薬剤抵抗性病害虫管理のために有効な 5 つの要点を紹介する。5 つの要点を現場の対策に落とし込み、GAP の管理点を追加・強化することによって、薬剤抵抗性病害虫の発生リスクを低減することが可能となる。

1 薬剤抵抗性病害虫問題の重要性の認識

薬剤抵抗性病害虫が発生したら、その農薬を使用中止して代替農薬を使用する。代替農薬があればよいが、なければその被害を受け入れるしかなく、農業経営に深刻な影響を及ぼしかねない。よって薬剤抵抗性病害虫の発生は、残留農薬などと同様に持続的な営農にとっての重大なリスク要因と考えられる。さらに、薬剤抵抗性病害虫管理では、個々の農業者の取り組みの成否が地域全体の問題へと波及する場合もあり、公的機関が大いにかかわるべき分野でもある。

2 農薬使用ガイドラインの実践

薬剤抵抗性病害虫管理が課題となる農薬については、農薬使用ガイドラインが作成されている場合が多い。ガイドラインの内容は、その農薬の使用回数の制限や、発病前散布などが書かれている。

農薬工業会 Japan FRAC (<http://www.jcpa.or.jp/labofrac/guidelines.html>)

殺菌剤耐性菌研究会 (<http://www.taiseikin.jp/guidelines/>)

薬剤抵抗性農業害虫管理のためのガイドライン案 (2019 年 3 月 20 日版) (<https://www.naro.affrc.go.jp/laboratory/nias/contents/files/PRMfull.pdf>)

3 RAC コードの活用

薬剤抵抗性病害虫管理では、ローテーション散布も有効である。ローテーション散布を実践するにあたっては、同じ作用点の農薬を連続使用しないように注意する必要がある。農薬の作用点を知るのに便利なのが RAC (Resistance Action Committee) コードである。連続して同じ RAC コードの農薬を使用しないことは、ローテーション散布の基本である。

IPM and Resistant Pest Management in GAP By Hirofumi SUZUKI

(キーワード: GAP, IPM, 薬剤抵抗性病害虫, リスク分析, モニタリング計画)

殺菌剤の場合、多作用点接触活性剤（M1～M11）は、複数の作用点があることから抵抗性発達リスクが低いと推測され、連用使用が可能である。また、多作用点接触活性剤と耐性菌リスクの高い殺菌剤との混用散布で耐性菌発生リスクを低減できるとされている。

農薬工業会 FRAC コード (<http://www.jcpa.or.jp/labof/frac/code.html>)

IRAC コード (https://www.jcpa.or.jp/labof/pdf/2019/mechanism_irc02.pdf)

RAC コード検索表 (<http://www.jcpa.or.jp/labof/mechanism.html>)

4 IPM 技術の活用

IPM は、経済性を考慮しつつ適切な防除手段を総合的に講じるものであるが、その際、病害虫・雑草の発生状況に応じて、化学農薬などの使用を含む多様な防除手段の中から最も適当なものを選択して、適切に講じることが求められる。この防除手段の中に、生物的・物理的防除法を組合せて防除することは、どの化学作用点とも異なり、抵抗性病害虫発生リスクを大きく軽減できる。

しかし、IPM は総合防除として、何でも組合せて防除すればよいという訳ではない。IPM は、病害虫の生態を正しく捉えたうえで、無駄のない効率的に統合された防除のことを言う。

5 殺菌剤使用量のモニタリング

農薬の使用量の実績から、耐性菌発生リスクの大きさを評価できる。

例えば、QoI 剤耐性菌の発生確率を予測するロジスティック回帰モデルにより、オリサストロピンの累積使用面積率が 68% に達した時点で、QoI 剤耐性菌の発生確率は 50% と解析されている（鈴木ら、2017）。

農薬の使用量が増えれば、抵抗性病害虫の発生確率も高まると考えられることから、単純に農薬の流通量を把握することで、リスク評価を実施できる。

II GAP を利用した薬剤抵抗性病害虫管理の実施例

GAP 認証は、食品安全と労働安全と環境保全が認証対象であって、収量・品質向上への取り組みは直接的な認証の対象ではない。この守備的な経営改善から、攻めの経営改善につなげるためには、例えば収量向上を目指したいのであれば、生産工程ごとに多収阻害要因を抽出し、そのリスク分析に応じた対策を実施することが必要である。つまり、GAP という仕組みをどう使うかで経営改善効果も期待できる。ここでは、GAP という仕組みを、薬剤抵抗性病害虫管理に使ってみる。

GAP の仕組みは、生産原料と生産工程に潜在的に潜

んでいる危害要因を洗い出し、その危害要因の管理計画を立て、その計画を実行し、その結果を検証し、さらに管理計画を改善していくことが骨格である。

抵抗性発達は薬剤防除のやり方の良し悪しで引き起こされるため、ヒューマンエラーとも言える。リスク分析に取り組むことは、ヒューマンエラーとしての抵抗性発達を直視し、その遅延・抑制につながる（山本、2018）。

例としてトマトのフローダイヤグラム（図-1）において、灰色かび病菌に対して考えてみる。

1 フローダイヤグラムの作成と現場確認

トマトを生産するために必要な、圃場（ロックウール）、水、苗、肥料等、農薬を横一列に並べて、圃場での作業の流れを中心に作業の流れの中で、横に並べた資材などがいつ利用されるかを線でつないで、作業工程の流れを整理した図をフローダイヤグラムという。

このフローダイヤグラムを書き上げたら、生産工程に漏れがないか現場で確認する。

2 生産工程に基づく潜在的な危害要因の抽出

フローダイヤグラムに基づき生産工程をリスク評価表（表-1）に書き出し、その生産工程ごとに潜在的な危害要因を列挙する。

3 リスク管理対策の策定

抽出した危害要因が重要かどうか判断する。重要な場合は、その危害の発生要因を特定し、その危害要因の管理手段を定める。一方、重要でないと判断した場合は、重要でない根拠を記載する。それは普通、一般的衛生管理プログラムで対応済みの場合が多く、逆に、一般的衛生管理プログラムの重要性に気付くことができる。

4 殺菌剤・病原菌・栽培に基づくリスク評価表

殺菌剤の種類によって耐性菌の発生程度は大きく異なるため、FRAC コード表の耐性菌発生リスクから殺菌剤のリスクを評価する。また、胞子形成が多い、世代交代が速いといった特性や、耐性菌の発生状況等に基づいて病原菌リスクを評価する。さらに、気象条件、栽培品種、栽培方法等の違いによる栽培地域の発病程度の差や、IPM 技術の導入程度等により、栽培リスクを評価する。これら三つのリスクに基づく複合リスクを評価する（表-2）。

複合リスクが高い場合には、以下の対応をとる。①散布回数を制限する。②使用時期を制限する（予防時のみの使用）。③防除対象病害に対して有効な殺菌剤と混合する。④ローテーション散布を実施する（体系防除を実施する）。⑤感受性モニタリングを実施して、耐性菌の発生状況を把握する（田辺、2013）。

5 防除プランに基づくリスク評価表

防除プラン（図-2）に基づくリスク評価表を作成する。

単なる農薬散布スケジュールにならないように、防除プランの中に IPM の計画を書き込み、実施すべき内容とそれをいつ実施すべきかを把握する。また、FRAC コードを書き込むことで、意味のあるローテーション散布に

なっているか確認する。さらに、FRAC コードごとの殺菌剤リスクと、病原菌ごとの病原菌リスクを掛け合わせることで、複合リスクとして見える化ができる。

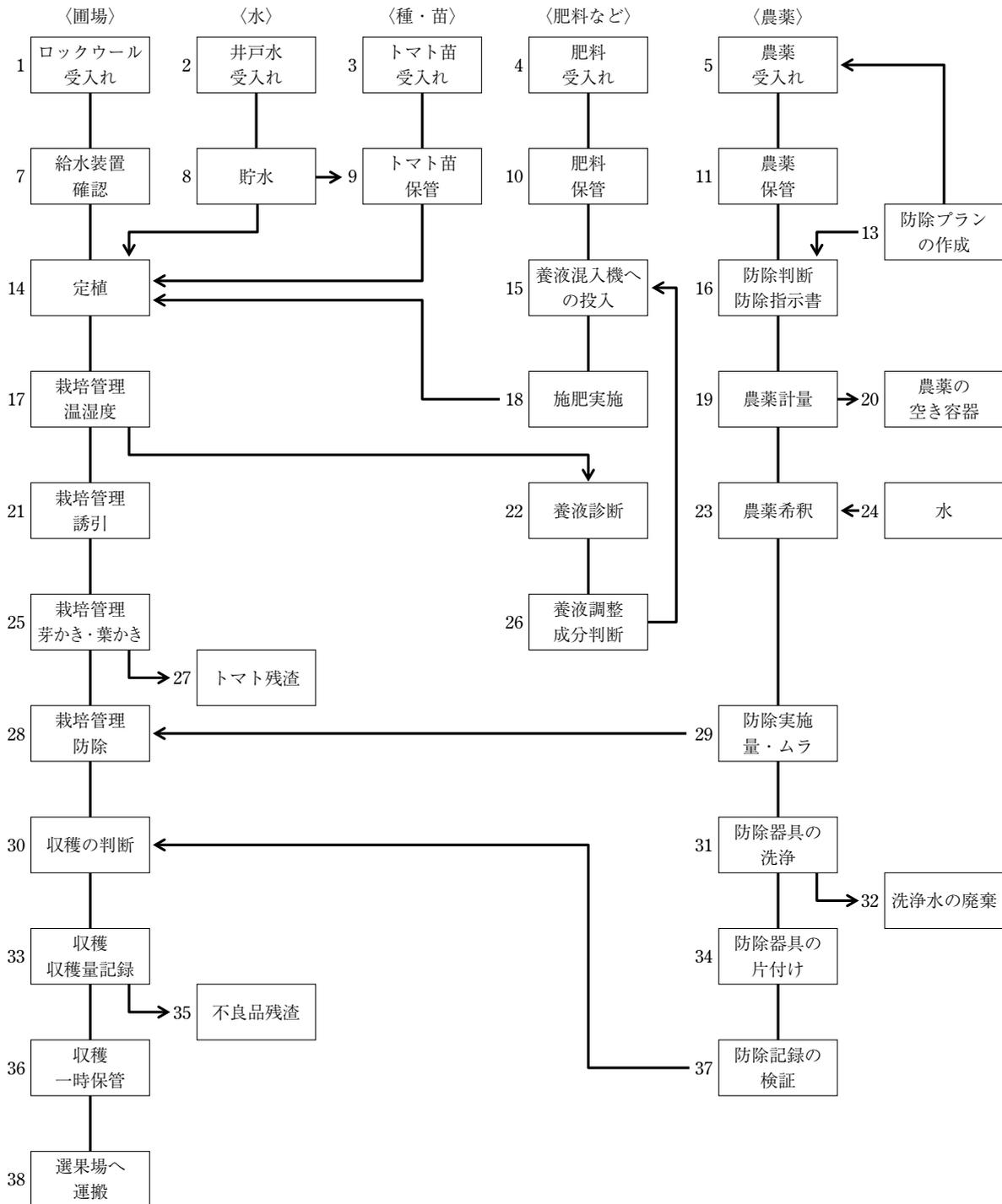


図-1 トマト生産工程のフローダイアグラム (例)

フローダイアグラム (生産工程一覧図) とは、危害要因分析を容易かつ正確にするため、危害要因分析に先立ち、投入資材の受入れから農産物の出荷に至る一連の工程の流れをまとめた図のことである。トマトの生産工程の場合、圃場での一連の生産工程の流れに、受入れられた水や苗、肥料、農薬が、どの工程で投入されるのか、矢印で把握できる。重要な工程が見落とされていたら、その問題点が議論されなくなるため、フローダイアグラムに誤りや不足がないか現場確認することが重要である。

表-1 リスク評価表(例)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
原材料 /工程	この工程で混入、増大する危害要因管理すべき潜在的な危害要因を列挙(食品[生物, 化学, 物理], 労働, 環境, 品質)	その危害要因は重要か? Yes / No	第(3)の欄の決定の根拠 Yesの場合: 発生要因の特定 Noの場合: 重要でない根拠を記載	重要な危害要因の管理手段の特定	この工程はCCPか?
5 農薬受入れ	必要な殺菌剤を購入していないことによる, あり合わせの殺菌剤の連用	No	防除プランを事前に作成し, 必要な殺菌剤を事前に購入している		
13 防除プランの作成	防除プランが計画されていないことによる, IPM技術および, RACコードに基づく薬剤ローテーションの未実施	No	作付け前に, 外部のアドバイザーの支援を得て必ず作成している		
14 定植	灰色かび病菌の伝染源である罹病残渣にできた菌核や菌糸の存在	No	収穫終了後に清掃する, 定植前に清掃する, 作業ルールで管理できている		
16 防除判断 防除指示書	農場の観察を行わず発病が進んで, 病原菌が増殖してからの薬剤散布	Yes	防除適期(初発)の見逃し	農場の観察を毎日実施し, 記録する	
17 栽培管理 温湿度	灰色かび病菌は, 23℃前後の温度と結露するような高湿度時に感染拡大	Yes	温湿度 温度: 23℃前後 湿度: 結露, 湿度 80 以上	換気装置, 循環扇, 暖房装置等を積極的に活用し, 病害の発生しにくい温度・湿度管理を行う	CCP
19 農薬計量	農薬の濃度不足による防除効果の低下	No	防除指示書に基づき計量することで管理できている		
23 農薬希釈	農薬の濃度不足による防除効果の低下 農薬の濃度が濃いことによる薬害 農薬の濃度が濃いことによる残留事故	No	防除指示書に基づき散布液を作製することで管理できている		
25 栽培管理 芽かき・ 葉かき	芽かき・葉かきを行ったときに皮が削げた傷	No	皮が削げないようにハサミを使う, 作業ルールで管理できている		
27 トマト 残渣	取り除いた発病部位が, ハウス内やハウスの近くに放置された状態	No	一時保管場所, 処分方法(廃棄物リスト)を作業ルールで管理できている		
29 防除実施 量・ムラ	散布量が足りないことや, 散布ムラによる防除効果の低下	No	防除指示書に基づき散布することで散布量を管理できている 農薬散布手順書に基づき散布することでムラのない散布ができている		

(様式: 一般財団法人 日本食品分析センター HACCP 講習会資料より)

表-2 殺菌剤, 病原菌, および栽培リスクに基づく複合リスク表 (JFRAC, 2018 a を改変)

殺菌剤の系統例 FRAC コード) グループ名	殺菌剤 リスク	複合リスク			栽培 リスク
【高】 4) フェニルアミド 1) MBC 殺菌剤 10) N-フェニルカーバメート 11) QoI 殺菌剤 25) グルコピラノシル抗生物質 41) テトラサイクリン抗生物質 【中~高】 7) SDHI 21) QiI 殺菌剤 45) QoSI 殺菌剤 2) ジカルボキシイミド 49) OSBPI 【中】 50) アリルフェニルケトン 9) アニリノピリミジン 24) ヘキソピラノシル抗生物質 3) DMI 殺菌剤 19) ポリオキシシン 16.2) MBI-D 【低~中】 22) チアゾールカルボキサミド 12) フェニルピロール 6) ホスホロチオレート, ジチオラン 14) AH 殺菌剤 28) カーバメート 17) ケト還元阻害剤 40) カルボン酸アミド 27) シアノアセトアミド=オキシム 【低】 29) フルアジナム P7) ホスホナート M) 多作用点接触活性	高 = 6	6	12	18	高 = 1
		3	6	9	中 = 0.5
		1.5	3	4.5	低 = 0.25
	中 = 4	4	8	12	高 = 1
		2	4	6	中 = 0.5
		1	2	3	低 = 0.25
	低 = 1	1	2	3	高 = 1
		0.5	1	1.5	中 = 0.5
		0.25	0.5	0.75	低 = 0.25

病原菌リスク→ 低 = 1 中 = 2 高 = 3

病原菌グループ→	低 = 1	中 = 2	高 = 3
イネごま葉枯病	イネばか苗病	イネいもち病	
イネ紋枯病	オオムギ編斑病	ムギ類うどんこ病	
ムギ類裸黒保病	ムギ類眼紋病	ブドウべと病	
ムギ類なまぐさ黒穂病	ムギ類紅色雪腐病	リンゴ黒星病	
ムギ類さび病	ダイズ紫斑病	リンゴ斑点落葉病	
モモ萎縮病	核果類黒星病	ナシ黒斑病	
リンゴうどんこ病	ナシ黒星病	ウリ類等うどんこ病	
菌核病	ブドウうどんこ病	ウリ類つる枯病	
白絹病	チャ輪斑病	ウリ類べと病	
つる割病	テンサイ褐斑病	キュウリ褐斑病	
苗立枯病	トウモロコシすす紋病	灰色かび病	
土壌病害	ジャガイモ疫病		
Fusarium 病害	ジャガイモ夏疫病		
Rhizoctonia 病害	イチゴうどんこ病		
	アスパラガス斑点病		
	ナスすすかび病		
	ピーマンうどんこ病		
	青かび病		
	緑かび病		
	炭疽病		
	灰星病		
	べと病 (一部作物)		

※殺菌剤リスクの数字は, FRAC コードの耐性リスクに基づき, 高 6, 中高 5, 中 4, 低中 3, 低 1 とした.

※病原菌リスクの数字は, 表-2 (JFRAC, 2018 a) から引用し, ないものは中 2 とした.

月	9月				10月				11月				12月					1月											
	2	9	16	23	7	14	21	28	4	11	18	25	2	9	16	23	30	6	13	20	27								
IPM	○当該圃場で問題となる病害を把握し、抵抗性を有する台木に接ぎ木を行う。 ○防虫ネットの展張により、害虫の侵入を防止する。 ○黄色粘着板でタバココナジラミが1頭でも確認されたら防除する。				○換気装置、循環扇、暖房装置等を積極的に活用し、病害の発生しにくい温度・湿度管理を行う。灰色かび病の発生を抑制するには湿度80%を目標に管理する。 ○すすかび病の防除は、定植初期から予防効果の高い殺菌剤を散布する。				○かいよう病を媒介しないよう、器具や手の洗浄等の衛生管理を行う。 ○発病株（土壤病害、かいよう病、黄化葉巻病）は、発見次第、早期に抜き取って圃場外へ持ち出し、適切に処分する。				○IPM研修会などに参加する。 ○灰色かび病に対し、パチルス・ズブチリス剤等の生物農薬を利用する。					○病害虫の発生状況を記録する。 ○病害虫防除所が発表する発生予察情報などを入手し、確認する。											
殺菌剤 散布薬剤	ダコニール1000 ×10000		ダコニール1000 ×10000		ベンコゼブフロアブル ×10000				ベルコートフロアブル ×40000				フルピカフロアブル ×20000					ファンタジスタ顆粒水和剤 ×20000				ロブラール水和剤 ×10000				セイビアフロアブル20 ×10000			
FRACコード	M05				M05				M07				9					11				2				12			
殺菌剤リスク	1				1				1				4					6				5				3			
病原菌 リスク																													
灰色かび病	高：3		3		3		3		3		12		18					15				9							
葉かび病	中：2		2		2		2		2		2		12																
うどんこ病	中：2		2		2		2		2		2		12																
すすかび病	中：2		2		2		2		2		2		12																
菌核病	低：1												6																
その他	疫病		疫病		疫病		疫病		斑点病		斑点病		斑点病					斑点病				斑点病							

月	2月				3月					4月				5月															
	3	10	17	24	2	9	16	23	30	6	13	20	27	4	11	18	25	27											
IPM	○灰色かび病の発生源となる花卉や葉先枯れ、枯死葉等を除去する。				○マルハナバチや天敵に考慮した薬剤を選択する。					○施設内への雑草種子の持ち込みを防ぎ、雑草を発生源とする害虫（コナジラミ類など）の施設内への飛び込みを抑制するため、周辺の雑草防除を行う。				○施設内を閉め切って害虫の施設外への逃亡を防止するため、蒸し込みを行う。 ○施設周辺の収穫残渣はコナジラミ類の発生源やトマト黄化葉巻病の伝染源となるため、速やかに処分する。															
殺菌剤 散布薬剤	ピクシオDF ×20000				ロブラール水和剤 ×10000				セイビアフロアブル20 ×10000				アフエツトフロアブル ×20000				ベルコートフロアブル ×40000				ベンコゼブフロアブル ×10000					サンヨール ×5000			
FRACコード	17				2				12				7				M07					M03				-			
殺菌剤リスク	3				5				3				5				1					1				-			
病原菌 リスク																													
灰色かび病	高：3		9		15		9		15		3		3					○				114							
葉かび病	中：2								10		2		2					○				34							
うどんこ病	中：2								10		2		2					○				18							
すすかび病	中：2								10		2		2									34							
菌核病	低：1		3						5				5									14							
その他					斑点病						斑点病		斑点病					疫病											

図-2 ミニトマト防除プラン（例）

※表中の数字は、殺菌剤リスクとその殺菌剤に登録のある病原菌リスクを掛け合わせた数字。

※この表では栽培リスクを計算していない。抵抗性品種などIPMへの取り組み程度や気象条件等農場ごとにリスク評価が必要。

※〈注意〉農薬を散布する際には、最新の農薬登録情報を確認して行う。

6 リスク管理対策の周知

以上のリスク評価に基づく防除対策を、作業員全員に周知するための取り組みが必要である。例えば、①防除プランの作成・周知、②農薬の散布指示書による指示の徹底、③5S実践のための清掃ルール、④病害虫発生場所の調査記録を朝礼で確認する等である。

III GAPによる薬剤抵抗性病害虫管理の確立に向けて

リスク分析に基づいた薬剤抵抗性病害虫管理を実践するために、以下の取り組みや体制構築が将来に向けて必要である(OIE, 2001)。

1 モニタリング方法の調和—殺菌剤感受性検定法—

殺菌剤感受性検定は、現場の防除手段の判断や、病原菌の感受性推移のモニターに利用され、殺菌剤のリスク評価に重要な情報となる。そのため、比較・統合するために、標準化した感受性検定法が必要である。例えば、病原体の分離法、検定に用いる菌量、培地組成、担体、殺菌剤の量、培養の条件(時間、温度、光の有無等)等である。

FRACによる植物病原菌の殺菌剤感受性モニタリング方法(JFRAC, 2018b)を見ると、マイクロプレート試験が多い。一方で、耐性機構をコードしている遺伝子が知られている場合は、遺伝子検定が効率的である。また、耐性菌研究会による編集で、冊子「植物防疫」に、植物防疫基礎講座 植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル2016として掲載されている。

今後、各調査・研究ごとに異なるモニタリング手法を比較し、使われた手法に違いがあっても複数のデータを活用できるようにする(調和する)ことが不可欠と考える。

2 モニタリング方法の教育訓練

—教育訓練プログラム—

正確かつ再現性のある成績を保証するために、感受性検定法についての教育訓練の場が重要である。日本植物病理学会主催による植物病害診断教育プログラムの中で、耐性菌検定によるモニタリング手法の教育訓練が行われた会もあった(第10回神戸大学、第13回佐賀大学)。今後も、教育訓練の場が提供される必要がある。

3 モニタリング結果をどう活かすか

—データの解析—

耐性菌のモニタリング結果は、感受性の動向把握に利用され、リスク分析の資料として重要である。活用方法として、①耐性菌の発生を検出し耐性菌の伝播を制限する、②現場で有効な殺菌剤を選定する処方上の判断の指針、③責任ある慎重な殺菌剤使用に関するガイドライン作成の情報源、④ガイドラインによる薬剤抵抗性病害虫

管理が機能しているのかの検証等が考えられる。

正確なリスク分析を実行するためには、サンプリングの基準を記載し、統計学に基づく信頼限界を示すことが求められる。この作業を行うための予算や行政機関等の体制を検証し、抵抗性病害虫のデータ解析に関する専門家を育てる必要がある。

4 モニタリング結果のデータベース化

—未来に残す—

モニタリングのデータベースとして、サンプリングの基準(サンプリングの日付、作目名、サンプリングの目的、植物の生育ステージ等)や、検査記録の基準(検査室、分離日、報告日、菌種、検査法、殺菌剤に対する表現型(ベースライン)、定量データ(MIC、菌糸伸張等)等を記録する。

これら感受性の動向調査結果や耐性菌発生の情報を収集・評価し、報告書を毎年作成する行政機関などが必要である。

5 モニタリング計画を検証する体制の確立

サンプリング対象作目を何にするか、どう収集するか。分離すべき菌種、検定に用いる殺菌剤は何か。その検定方法、検定実施の品質管理。データの分析と解釈、報告方法等を定めたのが、モニタリング計画である。

そのモニタリング計画が現場に役立つものであるかどうか、検証体制を確立することが重要である。

そのため、モニタリング計画を決定するためにリスク分析(殺菌剤の使用量、地域振興作目、被害の程度)を行って、耐性菌の相対的重要性を判断する検証体制の構築が必要である。

6 事例：三重県におけるモニタリング計画の検証体制

三重県では、三重県植物防疫検討会議が県におけるその中心的な役割を果たしている。モニタリング結果などの情報をもとに、三重県における薬剤抵抗性病害虫の発生状況のフェーズ管理(表-3)を行っている。

IV GAPにおける薬剤抵抗性に関連する管理点とは

GAPにおけるIPMとは、利用可能な病害虫抑制技術すべてについて注意深く考察したうえで、病害虫の増加を抑える適切な方法を統合し、植物保護資材やその他の手段による介入を経済的に正当化できるレベルに保ち、人の健康や環境へのリスクを最低限に抑えることであると定義されている。

GLOBALG.A.P.の管理点は約218項目あるが、薬剤抵抗性病害虫管理の具体的な取り扱いCB 6.5の1項目だけである(GLOBALG.A.P., 2017)。

表-3 薬剤抵抗性病害虫雑草対策フェーズ管理表

2015.10.15 三重県植物防疫検討会議

フェーズ番号	状況	対応
III	県内で薬剤抵抗性が認められ、県内の <u>広域に広がり</u> がある状況、もしくは <u>広域に広がる可能性が高い</u> 状況	対象薬剤について、 <u>県域で</u> 対象病害虫雑草に対する <u>使用中止もしくは使用制限</u> を要請する。
II	県内で薬剤抵抗性が認められ、 <u>ある程度の面積で広がり</u> がある状況	対象薬剤について、 <u>地域限定で</u> 対象病害虫雑草に対する使用中止もしくは使用制限を要請する。
I	県内で薬剤抵抗性が認められたものの、 <u>一部の圃場、地域</u> での現象にとどまっている状況	対象薬剤について、県域で対象病害虫雑草に対する使用について <u>注意喚起</u> を行う。
0A	県内で薬剤抵抗性は認められていないものの、 <u>国内で発生があり</u> 警戒が必要な状況	薬剤抵抗性発生情報の周知を行いつつ、基本的な抵抗性対策（混合散布、ローテーション散布等）を励行する。
0B	国内で薬剤抵抗性は認められていないものの、 <u>薬剤抵抗性の発生リスクが高い</u> ため注意が必要な状況	技術研修会などで、薬剤および病害虫雑草のそれぞれの薬剤抵抗性の発生リスクを周知する。

CB6.5 ラベル等にかかれた抵抗性を生じさせないための推奨事項を守り、農業及び特定防除資材の効力を保つようになっていますか。

この管理点に適合するためには、病害虫や雑草等への防除が繰り返し必要なとき、抵抗性を生じさせないために推奨される方法（そのような方法がありその有効性が確認されている場合）に従っているという証拠がある。

しかし、CB 6.1～6.4 までのIPMによる管理が前提になっていることに注目すべきである。

CB6.1 IPM システムの実施に対する支援を、教育訓練やアドバイスを通じて得ていますか。

この管理点に適合するためには、外部のアドバイザーが支援を行っている場合、アドバイザーの技術面の力量を示せることが、農業者自身が農場の技術責任者である場合は、技術的な知識や、IPMの実践によって裏打ちされた経験を示すことが、それぞれ求められている。

以下に該当するIPM実践の証拠を示すことができますか。

CB6.2 「予防」に分類できる活動。

この管理点に適合するためには、病害虫被害の発生や程度を低減し、それによって介入の必要性を下げるような生産方式の選択といったような活動を、各登録品目につき少なくとも二つ行っている証拠を示すことが求められる。

CB6.3 「観察とモニタリング」に分類できる活動

この管理点に適合するためには、a) いつ、どの程度、病害虫やその天敵が存在するかを判断するための活動を

登録品目につき最低二つ実施し、b) それを利用して必要な病害虫防除技術を見極めるための計画をたてる活動を行っている証拠を示すことが求められる。

CB6.4 「介入」に分類できる活動

この管理点に適合するためには、病害虫が農作物の経済的価値に悪影響を及ぼす場合、特定の防除手段による介入を行うという証拠を示すことが求められる。

おわりに

これまで述べてきたように、IPMは薬剤抵抗性病害虫対策そのものである。GAPにおいて、IPMと薬剤抵抗性病害虫管理は一体的に扱われている。

IPMは持続的に利益を得るための防除方法であり、その技術開発は、我々植物防疫関係者が社会的責任を果たすべき重要な課題である。

薬剤抵抗性病害虫管理の推進は、いままで啓発的な内容に終始した。今後、GAPの仕組みに取り入れることで、薬剤抵抗性病害虫管理の実践、あるいはヒューマンエラーの抑制につながることを大いに期待している。

引用文献

- 1) GLOBAL G.A.P. (2017): INTEGRATED FARM ASSURANCE CHECKLIST VERSION 5.1.
- 2) J FRAC (2018 a): 農業用殺菌剤耐性菌：どのように対策するのか?, http://www.jcpa.or.jp/lab0/jfrac/pdf/documentation_pdf01.pdf
- 3) ——— (2018 b): FRACによる植物病原菌の殺菌剤感受性モニタリング方法, http://www.jcpa.or.jp/lab0/jfrac/pdf/documentation_pdf02.pdf
- 4) OIE (2001): OIE, Scientific and Technical Review 20(3): 797～870.
- 5) 鈴木文彦ら (2017): 関東東山病害虫研究会報 64: 6～9.
- 6) 田辺憲太郎 (2013): 農業時代 第195号: 18～24.
- 7) 山本敦司 (2018): 害虫防除技術の最前線: 47～52.

イチゴ炭疽病の伝染源としての雑草の評価

奈良県農業研究開発センター 平 山 よし 彦

はじめに

奈良県のイチゴ栽培は、県育成品種の‘アスカルビー’や‘古都華’を中心に作付けされており、独自ブランドを活かした多様な販売や観光農園を行う生産者が増えている。しかし、奈良県で主要なイチゴ品種の多くはイチゴ炭疽病に弱く、生産拡大の制限要因となっている。本病はイチゴ育苗期に発生が多く、いったん発病すると最終的には枯死するため、苗不足を招くなど被害が大きい。本病の主要な伝染源は潜在感染株やその罹病残渣が知られている。そのため、本県では親株の保菌検定、被害残渣の除去に加えて、雨よけ栽培や予防中心の薬剤防除等が実施されている(平山, 2009)。しかし、一部圃場では、このような対策を実施しても本病が発生する事例が見られたことから、他の伝染源の存在が疑われていた。そのころ現地圃場において本病の発生調査を実施した際に、雑草に近接したイチゴ株に発生しているのをいくつかの圃場で観察することがあった。

これまでイチゴ炭疽病菌が数種雑草に感染あるいは病原性を示すことは報告されており(岡山・辻本, 1994; FREEMAN et al., 2001), 伝染源としての可能性は示唆されてきた。しかし、現地における雑草の本菌による汚染状況や伝染源となる条件等詳細な知見はなかった。そこで、イチゴ炭疽病菌の伝染源として雑草の役割を調査するために、①現地のイチゴ生産圃場の雑草の本菌による感染状況、②雑草に対する本菌の病原性と感染性、③除草剤処理が本菌の活性に与える影響について調べたので紹介する。

I イチゴ育苗圃場における雑草の感染状況

雑草がイチゴ炭疽病の伝染源になると仮定すると、現地圃場において雑草が本菌に感染している事例があると考えられる。そこで2005~08年に奈良県内6市町ののべ31箇所のイチゴ育苗圃場において、計13種541株の

無病徴の雑草葉を無作為に採取して本菌の感染状況を調査した(図-1)。採取時期は生育時期が異なる多くの種の雑草が採取できる5月と11月に行った。採取した雑草葉は *Colletotrichum* 属菌選択培地(Tu, 1985)に置床し、本属菌を分離した(図-2)。分離菌株は、まず *C. gloeosporioides* 種複合体検出用プライマー(MILLS et al., 1992)を用いたPCRにより菌種を絞り込み、次に *C. fructicola* 種検出用プライマー(GAN et al., 2017)を用いたPCRにより種を特定した。なお、イチゴ炭疽病菌には複数種あるが、本県では *C. gloeosporioides* 種複合体の *C. fructicola* が優占種であることが事前の調査で明らかになっていた



図-1 イチゴ育苗圃場での雑草の発生状況

図-2 選択培地での雑草からの *Colletotrichum* 属菌の検出状況

Evaluation of Weeds as the Potential Inoculum Source for Strawberry Anthracnose. By Yoshihiko HIRAYAMA
(キーワード: イチゴ炭疽病, 雑草, 伝染源)

ため、本種を検出の対象とした。分離菌株は、イチゴ‘アスカルビー’株への分生子の噴霧接種により病原性についても調査した。

その結果、採取した雑草のうち *C. gloeosporioides* 種複合体が15.9%、*C. fructicola* が5.7%で検出された(表-1)。つまり分離された *C. gloeosporioides* 種複合体のうち約36%が *C. fructicola* であった。また、分離された *C. fructicola* 菌株のすべてがイチゴ株に対する病原性を有しており、イチゴ炭疽病菌であることが明らかになった。なお、分

離された *C. gloeosporioides* 種複合体のうち *C. fructicola* 以外の菌株は、イチゴに対して病原性は示さなかった。つまり、今回雑草から分離したイチゴ炭疽病の病原菌種は *C. fructicola* のみであった。この結果は、本県のイチゴから分離される菌種とほぼ一致するものであった。また、のべ31圃場のうち9圃場から炭疽病菌が検出され、雑草での炭疽病菌の感染圃場率は29%であった。

雑草種別の検出頻度では、イチゴ炭疽病菌は13種中6種に感染し、イヌビユでは採取したサンプルのうち

表-1 奈良県内のイチゴ育苗圃場およびその周辺に生育する雑草からの炭疽病菌の検出 (HIRAYAMA et al., 2018 を一部改変)

採取時期	採取数	検出率 (%) ^{a)}		イチゴへ病原性を示す菌株の分離率 (%) ^{b)}	
		<i>C. gloeosporioides</i> 複合種	<i>C. fructicola</i>		
2005年11月	橿原市1	60	35.0	21.7	21.7
2006年5月	〃	70	1.1	1.1	1.1
2007年5月	香芝市1	18	0	0	0
	〃 2	24	12.5	4.2	4.2
	〃 3	16	0	0	0
	〃 4	10	0	0	0
	〃 5	10	0	0	0
	上牧町1	10	0	0	0
	河合町1	12	0	0	0
	葛城市1	12	0	0	0
	〃 2	12	0	0	0
	広陵町1	12	25.0	0	0
	〃 2	14	35.7	5.6	5.6
2007年11月	香芝市1	8	0	0	0
	〃 2	16	68.8	15.0	15.0
	〃 3	16	18.8	0	0
	香芝市4	12	0	0	0
	〃 5	14	0	0	0
	上牧町1	24	58.3	37.5	37.5
	河合町1	12	0	0	0
	葛城市1	16	6.3	0	0
	〃 2	7	0	0	0
	広陵町1	10	30.0	0	0
	〃 2	20	60.0	20.0	20.0
2008年11月	香芝市1	6	0	0	0
	〃 2	16	31.3	6.3	6.3
	〃 5	12	0	0	0
	上牧町1	8	0	0	0
	河合町1	14	0	0	0
	葛城市1	8	25.0	0	0
	〃 2	14	0	0	0
	広陵町1	14	14.3	0	0
	〃 2	14	14.3	7.1	7.1
合計	541	15.9	5.7	5.7	

a) 雑草からの分離菌について *C. gloeosporioides* 複合種および *C. fructicola* の各検出用プライマーを用いたPCRを実施。

b) 雑草からの分離菌についてイチゴ‘アスカルビー’苗に対する病原性を確認。

17.9%から検出され、最も検出頻度が高かった。続いて、ハキダメグサとセイタカアワダチソウが8.1%、メヒシバ5.5%、ヒメジョオン4.8%、ノゲシ4.3%であった(表-2)。一方、カヤツリグサ、スベリヒユ、ノボロギク、ホトケノザ、スズメノテッポウ、ナズナ、オランダミミナグサの7種からは本菌は検出されなかった。感染が確認された6種雑草のうち5種は、春から秋にかけて発生する雑草であり、低温期に生息する越冬雑草から検出されることは少なかった。本病はイチゴ育苗期にあたる高温期に発生が多く、菌糸伸長や分生子形成が活発になるこの時期に生育する雑草で感染が多くなったと考えられた。

以上の生産圃場におけるイチゴ炭疽病菌の雑草での感染状況調査により、自然条件において、本菌が雑草に感染していることが明らかになった。

II 雑草に対する病原性

イチゴ炭疽病菌の周辺株への伝染は、病斑上に大量に形成された分生子が雨や灌水等の水跳ねにより飛散して起こる。そのため単に感染しているだけでは雑草が伝染源になるとは言えない。そこで、優占種であるイヌビユ、メヒシバ、ノゲシ、ハキダメグサおよびスベリヒユの5種雑草に対する本菌の病原性を調査した。病原性試験は、当センター保存のイチゴ炭疽病菌 *C. fructicola* を用いて、分生子の噴霧による無傷接種と針による有傷接種で行った。

その結果、感染頻度が高かったイヌビユで病徴が認められ、無傷接種では葉に褐点症状のみを示し、有傷接種では葉に褐色の大型病斑が観察された(図-3)。一方、

表-2 雑草種別のイチゴ炭疽病菌の分離頻度 (HIRAYAMA et al., 2018 を一部改変)

雑草種	科	主な生育時期 (月)	採取数	イチゴへ病原性を示す 菌株の分離率 (%)
温暖期生育種				
イヌビユ	ヒユ	3~11	56	17.9
ハキダメグサ	キク	4~10	37	8.1
セイタカアワダチソウ	キク	4~10	74	8.1
メヒシバ	イネ	5~10	128	5.5
カヤツリグサ	カヤツリグサ	4~10	24	0
スベリヒユ	スベリヒユ	3~10	16	0
低温期生育種				
ノゲシ	キク	11~7	70	4.3
ノボロギク	キク	12~7	26	0
ホトケノザ	シソ	11~6	20	0
スズメノテッポウ	イネ	10~6	18	0
ナズナ	アブラナ	11~6	16	0
オランダミミナグサ	ナデシコ	11~6	14	0
周年生育種				
ヒメジョオン	キク	通年	42	4.8
合計			541	5.7

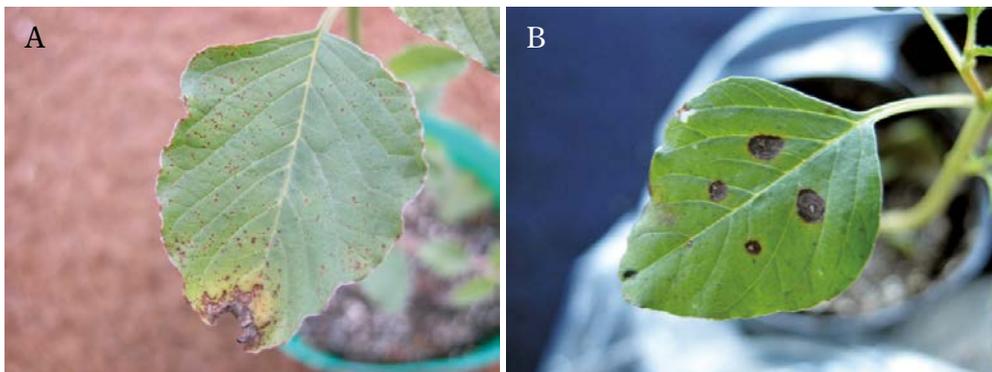


図-3 イチゴ炭疽病菌のイヌビユでの病徴
A: 無傷接種, B: 有傷接種.

イチゴでは無傷接種で小葉での薄墨色の斑点、葉柄の褐変等の症状が発生し、ひどい場合には株が枯死することから、本菌はイヌビユに対してはイチゴのような強い病原性はないと考えられた。その他雑草に対しては病斑は形成しなかった。このことからイチゴ炭疽病菌はイヌビユでは発病し、イチゴへ感染する可能性が示唆されたが、他の雑草では感染するが病徴が伴わないため、分生子飛散によりイチゴへ感染する可能性は低いと考えられた。

III イヌビユとメヒシバでの感染率の推移

イチゴ炭疽病菌によって発病するイヌビユと、発病しないメヒシバについて、本菌接種後の感染率の推移について比較検討した。イチゴ炭疽病菌の分生子液を通常では発病しないレベルの濃度である 10^3 分生子/ml に調整し、それぞれの雑草に噴霧接種した。比較対照としてイチゴ株‘アスカルビー’を用いた。接種株はビニールハウス内で管理し、灌水は点滴チューブを用いて行った。接種直後、2, 4, 6 および 8 週間後にそれぞれの葉を採取し、表面殺菌後に *Colletotrichum* 属菌選択培地に置床して出現したコロニーを計測し、感染率を求めた。

イヌビユでの炭疽病菌の感染率は、8 週間後においても 80% 以上の高頻度での感染を維持していた (図-4)。このイヌビユの感染率は、比較対照のイチゴの感染率と同様に高い値であった。一方、メヒシバでは、接種直後はイヌビユと同様に高い感染率であったが、その後徐々に低下し 8 週間後には 22% に低下した。しかし、メヒシバの感染率は低下するものの 8 週間後でも本菌が生存することが明らかになった。また、イチゴ炭疽病菌を接種して 24 時間後の雑草葉を染色して顕微鏡観察したところ、発芽管と付着器の形成が確認できた (データ未記

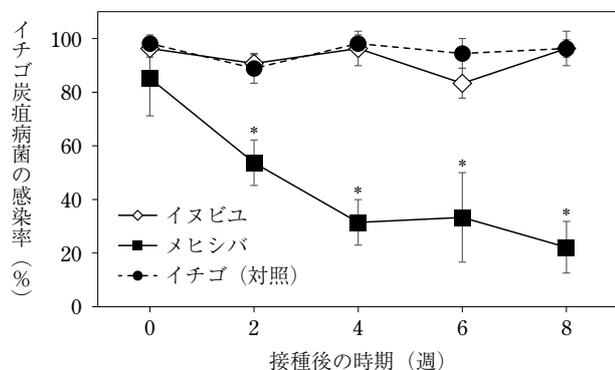


図-4 雑草葉でのイチゴ炭疽病菌の感染率の変化 (HIRAYAMA et al., 2018 を一部改変)

感染率は炭疽病菌が検出された葉切片数の割合から算出。
*はイチゴに対して有意差あり (X_2 -test, $P < 0.05$).
垂線は標準誤差。

載)。これによりいったん雑草に感染したイチゴ炭疽病菌は、少なくとも約 2 か月間は無病徴で生存できることがわかった。

IV 除草剤処理による分生子形成

雑草が除草剤に晒されると潜在的に感染していた植物病原菌が顕在化することは他の植物病害で知られている (SCHLATTER et al., 2018)。また、イチゴ育苗圃場やその周辺の畔では、雑草管理のために除草剤を使用されることがよくある。そこで、除草剤を処理した雑草およびイチゴ‘アスカルビー’での炭疽病菌の分生子形成能を調査することとした。雑草にはイヌビユ、メヒシバ、ノゲシを用いた。雑草およびイチゴ苗に本菌を 10^3 分生子/ml の低濃度で噴霧接種し、2 週間後に、除草剤グリホサートカリウム塩 1 ml/株を噴霧処理した。対照として除草剤グリホサートカリウム塩を処理しない区を設けた。除草剤処理の 7 日後に雑草およびイチゴ苗が枯死しているのを確認し、それぞれの葉を採取して 1 cm^2 に切り分けた。5 切片を 10 ml の滅菌蒸留水で 2 分間激しく振とうした後、振とう液を *Colletotrichum* 属菌選択培地に塗布し、暗黒下で 25°C 、7 日間培養した。培養後、培地上に出現したコロニー数を計測し、炭疽病菌の菌数を求めた。また、同時に葉上での分生子形成を光学顕微鏡下で観察した。

炭疽病菌の生菌数は、グリホサートを処理しない場合には、すべての雑草で 10^1 個/ cm^2 以下であったが、処理した場合には 10^4 個/ cm^2 レベルに増加した (図-5)。このとき生菌数は雑草の種類に関係なく、イチゴと同等の数であった。また、グリホサートを処理した葉上には分生子塊が点在して観察され、多くの分生子が形成された (図-6)。このことから、選択培地上で出現したコロ

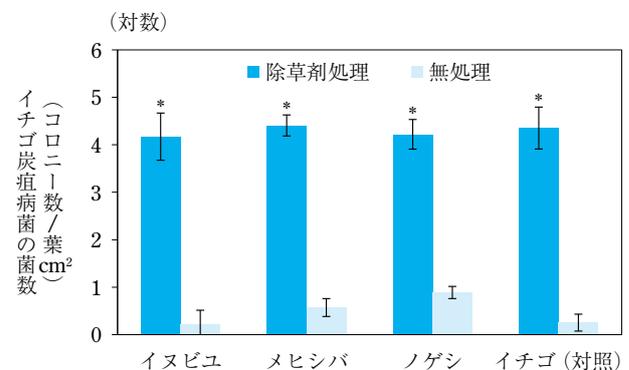


図-5 除草剤処理した雑草葉でのイチゴ炭疽病菌の菌数 (HIRAYAMA et al., 2018 を一部改変)

菌数は *Colletotrichum* 属菌選択培地を用いた希釈平板法により求めた、葉 1 cm^2 当たりの菌数を常用対数に変換して表示。
*は除草剤無処理区に対して有意差あり (X_2 -test, $P < 0.05$).
垂線は標準誤差。

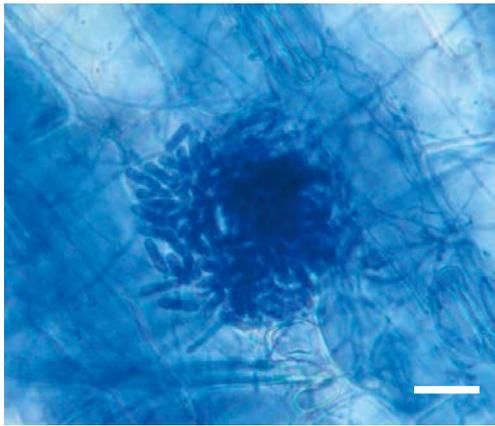


図-6 除草剤処理7日後のメヒシバ葉上に形成されたイチゴ炭疽病菌の分生子塊 (bar: 50 μm)

ニは分生子由来によるものと考えられ、雑草が除草剤で枯死した場合には、雑草種に関係なく、本菌は大量の分生子を形成することが明らかとなった。以上の結果から、イチゴ圃場やその周辺に生息する雑草とイチゴの間では、図-7のようなイチゴ炭疽病菌の交差感染が成立すると考えられる。イチゴ株が発病した場合には、病斑上に形成された分生子が雨滴伝播し、周辺の雑草に感染する(①)。一方、雑草では生育期には炭疽病菌が無病徴感染し、除草剤が処理されて枯死すると大量の分生子を形成し、イチゴに感染する(②)。また、枯死した雑草上で形成された分生子は、その周辺の雑草にも感染すると考えられる(③)。イチゴ炭疽病菌の分生子の飛散距離は、強い風雨時には3 m以上になる(岡山, 1994)ことから、このような交差感染はイチゴ圃場内だけでなく、隣の圃場にも及ぶ可能性がある。このように雑草では炭疽病菌が感染や分生子形成を繰り返しながら定着しており、イチゴ炭疽病の伝染源になりうると考えている。

V イチゴ炭疽病菌に対する各種雑草の感受性

雑草はイチゴ炭疽病菌に対する感受性によって三つのグループに分けることができる。一つは、本菌に対して常に感受性が高く、感染後に病徴を現すイヌビユのようなグループである。これらは病斑上に大量の分生子を形成し、生育時にも分生子飛散するため感染源となる。二つ目は、ハキダメグサやメヒシバのように感染はするが病徴が現れず、感染後に感染率が低下するグループである。このグループは、雑草が生育中には感染源としての役割は低いが、除草剤を処理し雑草が枯死した場合には、大量の分生子を形成し、感染源として働く。実際の栽培場面において、雑草の症状が肉眼で判断できないため、抜き取りが行われず、除草剤処理により枯らされる

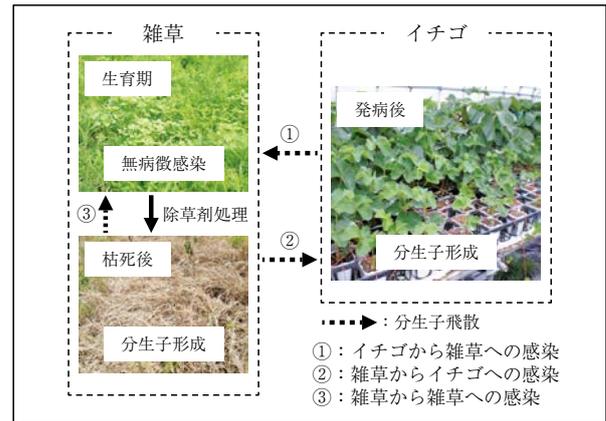


図-7 雑草とイチゴにおけるイチゴ炭疽病菌の交差感染(概略図)

ことで被害を広げてしまうリスクがあると考えられる。三つ目は、カヤツリグサのように本菌に抵抗性が感染しないグループであり、このグループの雑草種は本菌の感染源になる可能性は低いと考えられた。

おわりに

今回、現地圃場での本病の発生状況から、雑草が本病の感染源になりうるとの仮説を立て、現地での感染状況調査、本菌の雑草での生存性、病原性、分生子形成条件を明らかにすることで、その仮説を検証した。優占雑草種であるイヌビユでは、イチゴとは異なる褐点症状を呈し、有傷では大型病斑に進展した。しかし、その他多くの雑草において、本菌は無病徴感染し、病徴を呈しないことがわかった。感染源になりうるための必要条件である大量の分生子形成は、除草剤処理により雑草を枯死させることで成立することが明らかとなった。現地圃場において雑草がイチゴ炭疽病の伝染源になる事例がどの程度起こっているかは詳細な調査が必要であるが、前作に炭疽病が発生した圃場や、育苗圃内やその周辺に雑草が多く生育している圃場で、雑草での本菌の感染が多く見られた。このような圃場では次作で本病が発生する事例が多く、除草剤の使用方法を含めた雑草管理にも注意を払う必要があると思われる。

Colletotrichum 属菌を含む内部寄生菌は宿主の老化により、腐生的に適応して生存する (PROMPUTTHA et al., 2007)。そのため、本研究で示したように除草剤処理により枯死させる場合だけでなく、雑草が結実した後に自然に枯死する場合にも大量の分生子を形成することが考えられる。本菌は自然条件下においても寄生生活と腐生生活を繰り返しながら、イチゴ以外の植物で長期間生存する可能性がある。今後は雑草上での越冬を含めた長期

耐久性や雑草の感染源としての重要度についても明らかにし、その対策についても検討していく必要がある。

引用文献

- 1) FREEMAN, S. et al. (2001): *Phytopathology* **91**: 986~992.
- 2) GAN, P. et al. (2017): *J. Gen. Plant Pathol.* **83**: 14~22.
- 3) 平山喜彦 (2009): *植物防疫* **63**: 494~498.
- 4) HIRAYAMA, Y. et al. (2018): *J. Gen. Plant Pathol.* **84**: 12~19.
- 5) MILLS, P. R. et al. (1992): *FEMS Microbiol. Lett.* **98**: 137~143.
- 6) 岡山健夫・辻本 昭 (1994): *日植病報* **60**: 617~623.
- 7) ——— (1994): 同上 **60**: 113~118.
- 8) PROMPUTTHA, I. et al. (2007): *Microb. Ecol.* **53**: 579~590.
- 9) SCHLATTER, D. C. et al. (2018): *Phytopathology* **108**: 582~594.
- 10) TU, J. C. (1985): *Microbis* **44**: 87~93.

新しく登録された農薬 (2019.8.1~8.31)

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〕

●シアントラニリプロール水和剤

24257：フォルテンザ FS（シンジェンタ）19/8/28

シアントラニリプロール：48.0%

直播水稻：イネミズゾウムシ：は種前

〔殺菌剤〕

●オキサチアピプロリン水和剤

24253：ゾーベックエニケード OD（デュボン）19/8/7

オキサチアピプロリン：10.2%

ばれいしょ：疫病：収穫7日前まで

トマト：疫病：収穫前日まで

きゅうり：べと病：収穫前日まで

はくさい：べと病：収穫前日まで

レタス：べと病：収穫前日まで

ぶどう：べと病：収穫14日前まで

●オキサチアピプロリン・ファモキサドン水和剤

24254：ゾーベックエンカンティア SE（デュボン）19/8/7

オキサチアピプロリン：2.8%

ファモキサドン：28.0%

ばれいしょ：疫病：収穫14日前まで

レタス：べと病：収穫7日前まで

はくさい：べと病：収穫14日前まで

●オキサチアピプロリン・マンゼブ水和剤

24256：ゾーベックエニベル顆粒水和剤（デュボン）19/8/7

オキサチアピプロリン：0.60%

マンゼブ：60.0%

トマト：疫病：収穫前日まで

きゅうり：べと病：収穫前日まで

ぶどう：べと病、晩腐病：収穫45日前まで

〔除草剤〕

●グリホサートイソプロピルアミン塩液剤

24250：アース草消滅（三井化学アグロ）19/8/7

グリホサートイソプロピルアミン塩：0.41%

果樹類（かんきつ、パイナップルを除く）：一年生雑草、多年生雑草

かんきつ：一年生雑草、多年生雑草

だいず：一年生雑草

えだまめ：一年生雑草

かんしょ：一年生雑草

野菜類（えだまめ、キャベツ、はつかだいこん、だいこん、とうがらし類、にんじん、ピーマン、ねぎ、たまねぎ、アスパラガス、オリーブ（葉）、きゅうり、しゃくやく（薬用）、たらのき、トマト、なす、びわ（葉）、ほうれんそう、レタス、薬用にんじんを除く）：一年生雑草

とうがらし類：一年生雑草

にんじん：一年生雑草

ピーマン：一年生雑草

アスパラガス：一年生雑草

オリーブ（葉）：一年生雑草

きゅうり：一年生雑草

しゃくやく（薬用）：一年生雑草

たらのき：一年生雑草

トマト：一年生雑草

なす：一年生雑草

びわ（葉）：一年生雑草

ほうれんそう：一年生雑草

レタス：一年生雑草

薬用にんじん：一年生雑草

キャベツ：一年生雑草

だいこん：一年生雑草

はつかだいこん：一年生雑草

ねぎ：一年生雑草

たまねぎ：一年生雑草

樹木類：一年生雑草

樹木等：一年生雑草、多年生雑草

(41 ページに続く)

研究 報告

秋田県の秋冬ネギにおけるネギ葉枯病の発生実態と防除対策

秋田県農業試験場 さいとう 齋藤 たかあき 隆明・ふじい 藤井 なおや 直哉・まつだ 松田 ひでき 英樹

はじめに

秋田県におけるネギの作付面積は、2006年の447 haに対して2016年は543 haと、ここ10年で約100 ha増加している（秋田県，2018）。

本県の主な作型は7～9月に収穫する夏どり作型（以下、夏ネギ）と10～12月に収穫する秋冬どり作型（以下、秋冬ネギ）に大別され、後者が全体の約7割を占めている。近年、秋冬ネギでは出荷部位であるネギ中心葉に黄色のまだら症（以下、黄色斑紋症状）が発生し、商品価値の低下が大きな課題となっている。本症状の程度が大きい場合はネギの品質規格を下げて出荷する、または規格外品となり出荷できないこともあるため、農業者の所得に大きな影響を与えている。本症状は、一見すると生理障害のようであるが、三澤（2008）により、ネギ葉枯病菌が関与する新しいタイプの病斑「黄色斑紋病斑」であることが明らかにされた。

ネギ葉枯病は *Stemphylium* 属菌による病害であり、先枯れ病斑（図-1a）、斑点病斑（図-1b）、黄色斑紋病斑（図-1c）を形成することが知られている（三澤，2009）。先枯れ病斑と斑点病斑では、葉枯病菌が葉身に感染し、葉上で旺盛に生育することにより形成される。一方、黄色斑紋病斑ではネギ中心葉（上位4葉）への分生子の付

着・感染に対してネギ葉が反応し、黄化する現象と推察されている（三澤，2012）。なお、先枯れ病斑と斑点病斑は黒斑病の病徴に酷似しており、検鏡による病斑上の分生子柄や分生子の確認を行わないと識別することができない。本県では、これまで両病斑については葉枯病ではなく黒斑病が主であると認識して防除対策が講じられてきたが、両病害の発生実態を調査した事例はなく、秋冬ネギにおける黄色斑紋症状への葉枯病の関与は不明であった。本稿では、2015～17年の3か年にかけて葉枯病の発生実態の調査を行い、防除対策に関する試験を実施したので、その概要を紹介する。なお、本稿の内容の一部はすでに公表している（齋藤・藤井，2017；齋藤ら，2017）。本研究を実施するにあたり、資料の提供やご助言をいただいた北海道立総合研究機構・道南農業試験場（現在：北海道立総合研究機構法人本部）三澤知央博士に深く感謝申し上げます。

I 発生実態調査

2015年に夏ネギ圃場（8～9月収穫）、2015と2016年に秋冬ネギ圃場（10～11月収穫）の各10圃場（県北部7圃場、県南部3圃場）を対象とし、夏ネギは2015年6～8月、秋冬ネギでは2015年と2016年の7～10月におおむね14日間隔で調査した。その結果、夏ネギ圃場と秋



図-1 葉枯病菌が関与して形成された各病斑（a：先枯れ病斑，b：斑点病斑，c：黄色斑紋病斑）

Field Survey and Control of Leaf Blight of Welsh Onion Harvested during Autumn and Winter in Akita prefecture, Japan. By Takaaki SARTO, Naoya FUJII and Hideki MATSUDA

（キーワード：ネギ，葉枯病，黄色斑紋病斑，発生実態，薬剤防除）

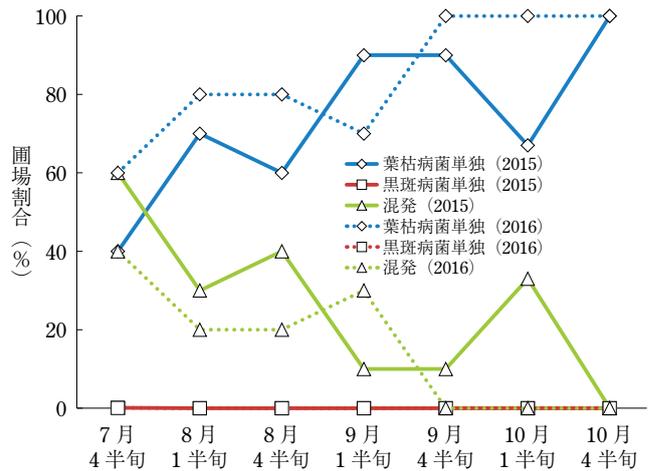
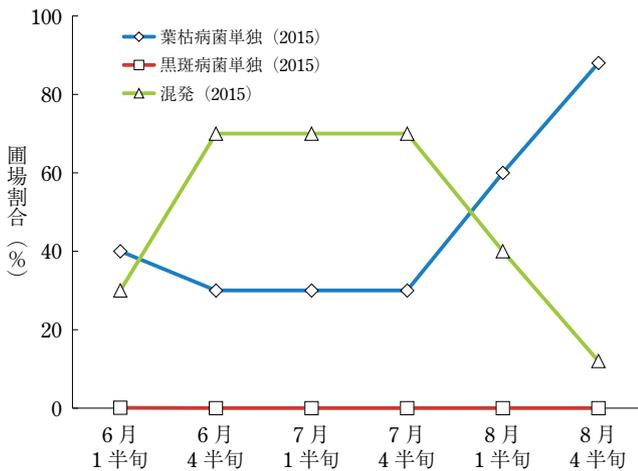


図-2 各作型における葉枯病と黒斑病の発生状況 (左図：夏ネギ, 右図：秋冬ネギ)

2015年は先枯れ病斑または斑点病斑が形成された葉を5枚、2016年は10枚を調査圃場から採取し、病斑上を検鏡した結果、葉枯病菌のみ：葉枯病菌単独圃場、黒斑病菌のみ：黒斑病菌単独圃場、両病害：混発圃場とみなし、それぞれの圃場割合を算出した。



図-3 現地圃場から採取した罹病葉から分離した葉枯病菌を接種して形成された黄色斑紋病斑

冬ネギ圃場ともに8月以降葉枯病菌のみが確認された圃場の割合が高かった (図-2)。また、秋冬ネギ圃場の約4割は栽培期間を通じて葉枯病菌のみが確認された (データ未掲載) ことも踏まえると、秋田県では8月以降葉枯病が優占している圃場が多いことが明らかとなった。黒斑病菌のみが確認された圃場が今回の調査では確認されなかったが、両病害が混発している圃場も見られたため、本県における夏ネギと秋冬ネギでは両病害に対する防除対策を講じる必要があると考えられた。

2016年10月4半旬に秋冬ネギ10圃場から黄色斑紋症状を呈した中心葉を1圃場当たり5枚採取して組織分離を行ったところ、すべての葉から葉枯病菌が分離され、分離菌を接種した結果、黄色斑紋症状が再現され、症状を呈した部位からは接種した菌が再分離された (図-3)。このことから、秋田県におけるネギの黄色斑紋症状に葉枯病菌が関与していることが明らかとなり、秋

冬ネギでは黄色斑紋病斑の発生を抑えるための防除対策を構築する必要があると考えられた。

II 秋冬ネギにおける各病斑の発生推移

2015~17年に秋田県農業試験場内圃場 (以下、秋田農試)、2016~17年は一般農家圃場 (以下、現地) において約10日間隔で調査を行い、各病斑の発生推移を調査した。なお、2017年の現地は慣行の薬剤防除が行われているが、その他は無防除である。

(1) 先枯れ病斑 (2015年)：6月下旬ころより発生し、一時停滞するが、8月下旬ころから再び増え始め、9月上旬以降病勢が大きく進展し、9月下旬以降はすべての株で発病が確認される (図-4)。窒素過多や土寄時の断根等で発生する葉先枯れが多いネギ圃場では常に病斑が存在する場合がある。

(2) 斑点病斑 (2015~17年)：先枯れ病斑と同様に、6月下旬ころより発生が見られるが、8月下旬まで発生がほとんど増加しない場合が多い。9月上旬以降になると病勢が大きく進展し、10月中旬ころに発病がピークを迎え、その後は停滞~減少する (図-5)。

(3) 黄色斑紋病斑 (2015~17年)：8月下旬より発生が確認されるが、この時期の発生は品質に影響するほどの発病程度が高い事例はほとんどない。本病斑の発生好適温度は15~20℃であり (三澤, 2012)、秋田県では9月以降の平均気温は約20℃以下となり、先枯れ病斑や斑点病斑の発生も多くなるため、発病が大きく増加する。9月下旬より品質に影響を及ぼす株 (発病程度3~4) の割合が高くなり、10月下旬にピークを迎え、その後は停滞する (図-6)。

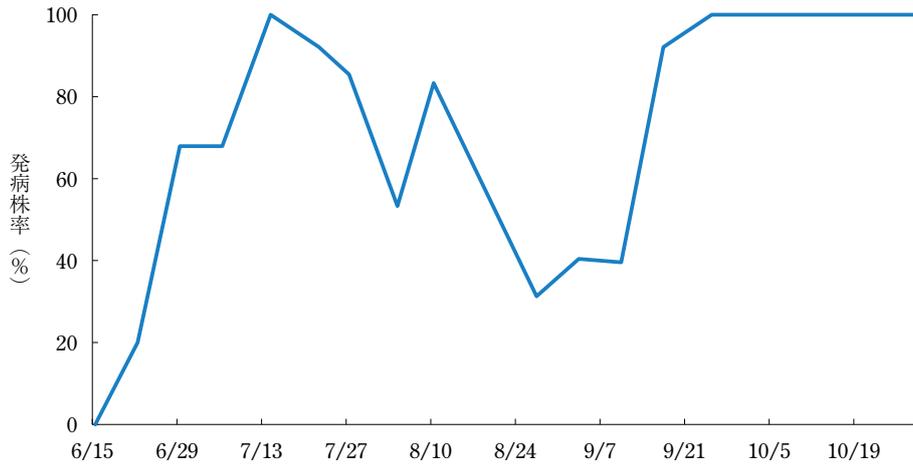


図-4 先枯れ病斑の発生推移 (2015年)
(調査場所: 秋田農試, 品種: '夏扇パワー')

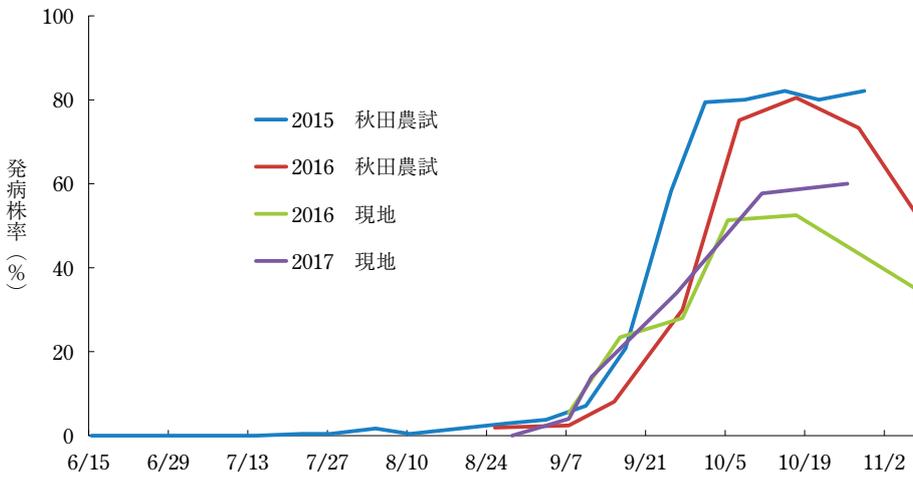


図-5 斑点病斑の発生推移 (品種: '夏扇パワー')

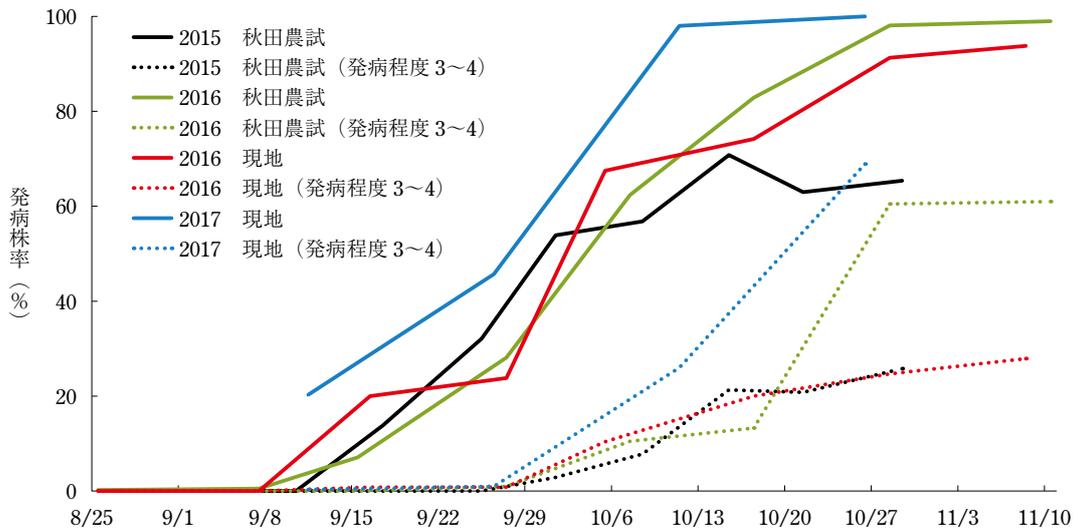


図-6 黄色斑紋病斑の発生推移 (品種: '夏扇パワー')
調査は三澤 (2009) の調査基準にしたがって調査を行った。
発病程度 3~4 の発病株は規格を下げる, または規格外品となる。

表-1 各種薬剤のネギ葉枯病（斑点病斑）に対する防除効果

供試薬剤	他病害に対する登録		希釈倍数	2016年			2017年		
	べと病	さび病		発病株率(%)	発病度	防除価	発病株率(%)	発病度	防除価
シメコナゾール・マンゼブ水和剤	○	○	600	10.5	2.0	86.2	—	—	—
アゾキシストロビン水和剤	○	○	2,000	11.9	3.1	78.9	42.5	11.2	67.8
ベンチオピラド水和剤	×	○	2,000	26.2	7.7	47.2	55.0	16.7	52.0
TPN 水和剤	○	○	1,000	10.5	2.7	81.3	53.0	13.7	60.6
無処理				40.5	14.6		96.3	34.8	

2016年：品種‘夏扇パワー’，播種日4月4日，定植日5月30日，2017年：‘MSI-953’，播種日4月13日，定植日5月25日。
 栽植距離：畝幅100cm，株間5cm，チェーンポット（264穴/枚，2粒/穴）育苗。
 2016年：少発生，2017年：中発生。
 防除価：100 - (処理区の発病度/無処理区の発病度) × 100。

表-2 各種薬剤のネギ葉枯病（黄色斑紋病斑）に対する防除効果

供試薬剤	希釈倍数	2016年			2017年		
		発病株率(%)	発病度	防除価	発病株率(%)	発病度	防除価
シメコナゾール・マンゼブ水和剤	600	22.4	7.3	79.7	—	—	—
アゾキシストロビン水和剤	2,000	29.0	9.9	72.5	55.4	19.3	49.6
ベンチオピラド水和剤	2,000	38.1	12.7	64.7	50.0	16.7	52.0
TPN 水和剤	1,000	20.0	8.8	75.6	45.4	13.4	65.0
無処理		77.6	36.0		86.7	38.3	

耕種概要は表-1と同様。
 2016年：中発生，2017年：中発生。
 防除価：100 - (処理区の発病度/無処理区の発病度) × 100。

III 各種薬剤の防除効果

2015と16年に秋田農試で，ネギ葉枯病（斑点病斑と黄色斑紋病斑）に対する4種殺菌剤の防除効果を評価した。秋田県では，葉枯病の発生が多い時期はさび病やべと病の発生も多くなるため，今回の試験で供試薬剤を選定するにあたり，さび病，またはべと病に対して登録がある殺菌剤を選定した。薬剤散布は葉枯病の発生が多くなる9月上旬から約7日間隔で3回実施し，最終散布約7日後に三澤（2012）の行った発病程度の調査基準にしたがい発病状況を調査し，発病度を基に防除価を算出して各薬剤の防除効果を評価した。斑点病斑に対する防除効果は，シメコナゾール・マンゼブ水和剤（SM剤）が最も効果が高く，次いでアゾキシストロビン水和剤（A剤），TPN水和剤（T剤）が高かった。ベンチオピラド水和剤（P剤）では防除効果は認められるが，その程度はやや低かった（表-1）。

黄色斑紋病斑に対する防除効果は，SM剤とT剤の2剤で高かった。P剤では防除効果は認められるがその程度はやや低く，A剤は防除効果が低い事例があった（表-2）。

表-3 各試験圃場における試験区の構成

試験区	薬剤散布日					
	9/7 (9/7)	9/15 (9/16)	9/26 (9/27)	10/5 (10/5)	10/17 (10/17)	10/28 (10/28)
1	T	SM	T	A		
2	T	SM		A		
3		SM	T	A		
4 (現地慣行)		TE		A		
5 無処理	M	SM	T	SM	A	P

a) A：アゾキシストロビン水和剤，SM：シメコナゾール・マンゼブ水和剤，M：マンゼブ水和剤（葉枯病に登録を有していないが，高い防除効果を確認している（データ未記載），TE：テブコナゾール水和剤，P：ベンチオピラド水和剤，T：TPN水和剤。

b) 上段の日付が秋田農試，下段の()内の日付が現地の薬剤散布日。

IV 薬剤散布適期の検討（2016年）

秋田県のネギ主要産地では，9月中旬と10月上旬に主にさび病を対象に薬剤防除を行っている。そこで，9月中旬と10月上旬の薬剤防除を前提として，9月以降の薬剤防除について9月上旬から殺菌剤を組合せて薬剤散布適期を検討した（表-3）。この結果，9月上旬から葉

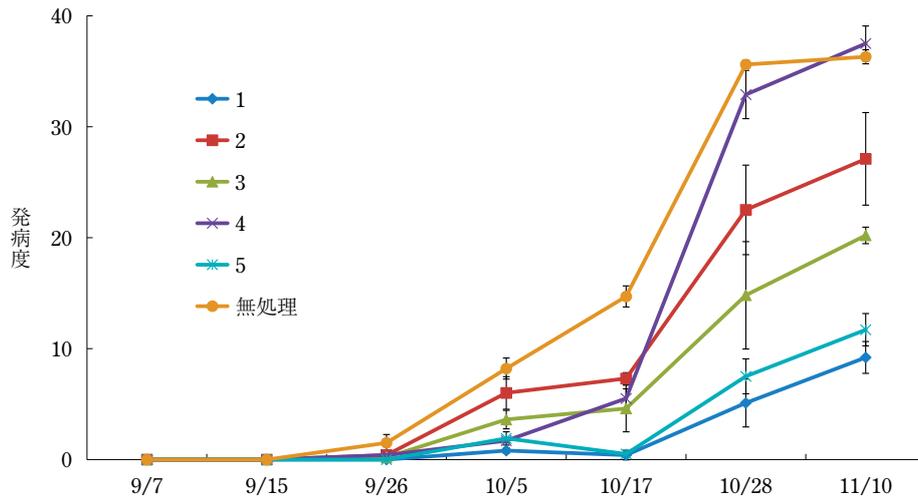


図-7 各防除体系における黄色斑紋病斑の発病度の推移（秋田農試）

図中のエラーバーは標準誤差を表している（ $n=3$ ）。

品種‘MSI-953’，播種日4月12日，定植日6月2日。

栽植距離：畝幅100 cm，株間5 cm，チェーンポット（264穴/枚，2粒/穴）育苗。

試験区1～5の薬剤防除歴は表-3参照。

黄色斑紋病斑の調査基準（株の上位4葉で発病程度の最も大きい葉を発病指数とした）。

発病度 = Σ （程度別発病株数 × 指数） × 100 / （調査株数 × 4）。

指数0：斑紋を認めない，または小型の斑紋があるが，散見される程度であり，出荷上は問題とならない。

指数1：大型（25 mm²程度）で明瞭な斑紋，または小型の斑紋が多く見られ，出荷できないことがある。

指数2：大型（25 mm²以上），または小型の斑紋がかなり多く見られ，出荷できない。

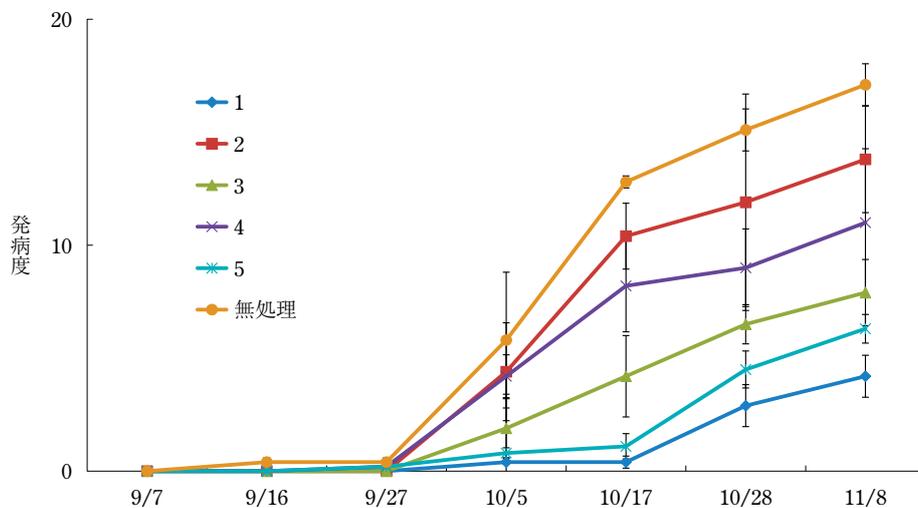


図-8 各防除体系における黄色斑紋病斑の発病度の推移（現地）

a) 図中のエラーバーは標準誤差を表している（ $n=3$ ）。

品種‘夏扇パワー’，播種日3月30日，定植日5月26日。

栽植距離：畝幅100 cm，株間5 cm，チェーンポット（264穴/枚，2粒/穴）育苗。

試験区1～5の薬剤防除歴は表-3参照。

黄色斑紋病斑の調査基準は秋田農試の試験と同様。

剤防除を実施した1区と5区では斑点病斑と黄色斑紋病斑の発病度を低く抑えることができ，防除効果が認められた。9月上旬または下旬に薬剤防除を省略した場合は黄色斑紋病斑の発病度が高くなり，特に9月下旬に行わなかった2区と4区では防除価が顕著に低かったことか

ら，9月下旬の薬剤防除の有無がそれ以降の病勢進展の違いに大きく影響したと考えられる（図-7，8，表-4）。これらのことから，秋田県では9月上旬～10月上旬が黄色斑紋病斑に対する重点防除期間であり，A剤，SM剤，T剤を組合せておおむね10日間隔で薬剤防除を行

表-4 各試験区における葉枯病（斑点病斑，黄色斑紋病斑）に対する防除価

試験区	秋田農試		現地	
	斑点病斑	黄色斑紋病斑	斑点病斑	黄色斑紋病斑
1	82.5	74.7	69.6	75.4
2	52.5	25.3	47.8	19.3
3	71.7	44.4	63.0	53.8
4	40.8	0	57.2	35.7
5	91.0	67.8	76.1	63.2

a) 防除価は最終調査日の発病度を基に算出している。

うことが有効であることが明らかとなった。ただ、5区では1区よりも薬剤防除回数が多く、10月中旬と下旬に薬剤散布を行ったにもかかわらず、黄色斑紋病斑の発生の増加が認められたため、この要因は今後詳細に検討する必要がある。

おわりに

本稿で紹介した内容は秋田県における試験事例であるため、各地域での検討が必要と思われる。秋田県では、黄色斑紋病斑の発生を抑え、ネギ品質の低下を抑えるためには9月上旬～10月上旬がネギ葉枯病の重点防除期間となり、この期間での約10日間隔の薬剤防除が有効

である。近年、黒斑病ではなく葉枯病が優占している事例は北海道、富山県、宮城県で報告があるが（三澤，2012；守川ら，2013；千葉，2017），他の地域でも同様の事例が確認されてきている（私信，2018）。そのため、ネギの品質低下を防ぐためにも各地域に応じた防除対策の確立が急務である。また、黄色斑紋病斑の形成機構はまだ解明されていないが、本機構が明らかになれば防除対策を構築するうえで非常に重要な知見になるであろう。

秋田県ではネギ葉枯病に対する9月以降の定期的な薬剤防除の有効性を示したが、本県は稲作が中心であり、収穫作業が9月下旬から始まるため、防除を十分に行うことができないことも想定される。また、この時期はさび病やべと病の発生も多いため、他病害を含めたより効率的な防除法の確立に向けて取り組む必要がある。

引用文献

- 1) 秋田県 (2018): 秋田県農林水産業累年統計表, <https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/32183>
- 2) 千葉研一郎 (2017): 北日本病虫研報 **68**: 65~69.
- 3) 三澤知央 (2008): 日植病報 (講要) **74**: 82.
- 4) ——— (2009): 植物防疫 **63**: 513~517.
- 5) ——— (2012): 道総研農試報 **132**: 1~90.
- 6) 守川俊幸ら (2013): 富山県農総セ農研研報 **5**: 17~22.
- 7) 齋藤隆明・藤井直哉 (2017): 北日本病虫研報 **68**: 70~73.
- 8) ———ら (2017): 同上 **68**: 258.



登録が失効した農薬 (2019.8.1~8.31)

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」

- CYAP 水和剤
22678：ホクサンサイアノックス水和剤（ホクサン）
19/8/1
- 貯穀用除虫菊剤
11192：マルカ PGP（国際衛生）19/8/28

「除草剤」

- ピラゾレート・ベンゾピシクロン・ペントキサゾン粒剤

23126：科研クサスイープ1キロ粒剤（科研製薬）19/8/21

「フェロモン剤」

- ピーチフルア剤
16057：シンクイコン（信越化学工業）19/8/6
- マシニッサルア剤
23396：ヘタムシコン（信越化学工業）19/8/6

調査報告

タイにおけるサトウキビ白葉病の発生生態と防除

国立研究開発法人 国際農林水産業研究センター 小堀 陽一
生産環境・畜産領域

はじめに

タイは、ブラジルに次ぐ世界第2位の砂糖輸出国であり、その主な原料となるサトウキビの生産量は世界第4位である (FAOSTAT, 2018)。また、日本にとって、砂糖輸入量のうち約50%を占める重要な輸入先国となっている (農畜産業振興機構, 2018)。タイで最もサトウキビ生産量が多い地域は東北部であり、国内総生産量の約45%を占める。同地域では、雨季が終わる10月上旬ころから種苗の植え付けを行う、秋植えと呼ばれる栽培体系を取る。萌芽した株は4月ころまで続く乾季を経て、新たな雨季が始まると急速に生長を開始する。収穫は、当年12月～翌年4月ころに行われる。なお、タイ中部では、雨季に植え付けを行う春植え栽培が行われている。

サトウキビは栄養繁殖性植物であり増殖率が低い。そのため、新植圃場を設営するためには、種苗の準備に大きなコストがかかる。タイでは、一般に新植圃場の面積の約10%に相当する面積分のサトウキビを種苗として準備する。したがって、地上部の茎を収穫した後に土壤中の腋芽を萌芽させて再生株を利用する株出し栽培の実施可能回数が、その生産性を大きく左右する。世界各地のサトウキビの主要産地における平均的な株出し回数は3～5回であるが、タイにおける最大のサトウキビ産地である東北部においては、1回程度にとどまる。その主な理由の一つが、虫媒伝染病であるサトウキビ白葉病 (以下、白葉病) の感染である。本稿では、タイおよび近隣諸国のサトウキビ生産において重要な阻害要因となっている白葉病について、その発生生態と防除技術開発の現状を報告する。

なお、以下の内容には、タイ国農業協同組合省農業局 (以下、農業局)・コンケン大学農学部と筆者らの共同研究で得られた成果が含まれている。

Ecology and Management of the Sugarcane White Leaf Disease in Thailand. By Youichi KOBORI

(キーワード：虫媒伝染病、タイワンマダラヨコバイ、ヤマトヨコバイ、ファイトプラズマ、健全種苗生産)

I 白葉病の発生生態と被害

1 病徴発現と拡散様式

白葉病の病原体はファイトプラズマであり、サトウキビの様々な生育段階で発病する。発病初期には、生育速度が低下するとともに葉が黄化することが多く、その後、葉の白化を経て枯死する (図-1)。また、生育中期までに発病した場合、葉がブッシュ状になることがある。激発地では、罹病率がほぼ100%に達し収穫が不可能となる圃場も現れる (図-1)。

白葉病は二つの要因で拡散する。第1の要因は、媒介虫による拡散である。媒介虫としては、タイワンマダラヨコバイ *Matsumuratettix hiroglyphicus* およびヤマトヨコバイ *Yamatotettix flavovittatus* が知られている (HANBOONSONG et al., 2002; 2006)。ヤマトヨコバイは、日本でも沖縄から東北地方まで広く分布しており、ススキなどの葉上で見られる。両種のサトウキビ以外の寄主植物については不明な点が多いが、それぞれ、サトウキビの近縁種上で世代を繰り返せることが明らかになりつつある。第2の要因は、白葉病に感染したサトウキビが種苗として利用されることに起因する垂直伝搬による拡散である。タイ東北部の複数のサトウキビ圃場で白葉病の空間分布を調べたところ、畝方向に列状に分布している例が多く見られた (図-2)。タイでは、サトウキビを手植えする場合、



図-1 白葉病がまん延した圃場と病徴



図-2 白葉病の典型的な空間分布
畝方向に列状に分布している。長さは種苗と同程度の
2~2.5 mであることが多い。

畝間に種苗となるサトウキビの茎を置いた後、3芽程度に切り分けて覆土する。近年、急速に普及している機械植え付けの場合、前進する植え付け機に作業員が乗り込み、植え付け用の茎をセットする。セットされた茎は植え付け機によって切断されながら土壤に置かれてゆく。これらの植え付け方法から推察すると、白葉病感染株の列状分布は、種苗として用いた茎が既に白葉病に感染していたことを示唆している。

生育に好適な環境下での室内実験によって、生育初期である月齢3か月程度までのサトウキビが白葉病に虫媒感染した場合、潜伏期間は1~3か月と推定されているが、ばらつきが大きい。なお、この生育段階のサトウキビでは、任意の展開葉に虫媒接種された病原体は1.5か月程度で全身に移行することが明らかになっている (RODDEE et al., 2018)。一方、生育中後期のサトウキビが虫媒感染した場合、潜伏期間がより長くなる可能性が高い。そのため、潜伏期間中のサトウキビを種苗として使用してしまう事例が頻発し、このことが本病の拡散に大きく寄与していると考えられる。また、タイ東北部の圃場では、種苗が既に白葉病に感染していた場合、生育がほぼ止まる乾季に発病する個体は少なく、多くは雨季が始まり生育が加速される4~7月ころに発病すると考えられる。

2 タイにおける分布と被害

タイでは、1956年に白葉病が発見された (MARTIN, 1964)。その後しばらくは、発生地での被害は深刻であるものの (RISHI and CHEN, 1989)、タイ東北部および北部に位置する数県程度で局所的に発生する風土病と考えられてきた。しかし、近年、白葉病はその分布域を急速に拡大させており、タイ東北部のほぼ全域に拡大したほか、

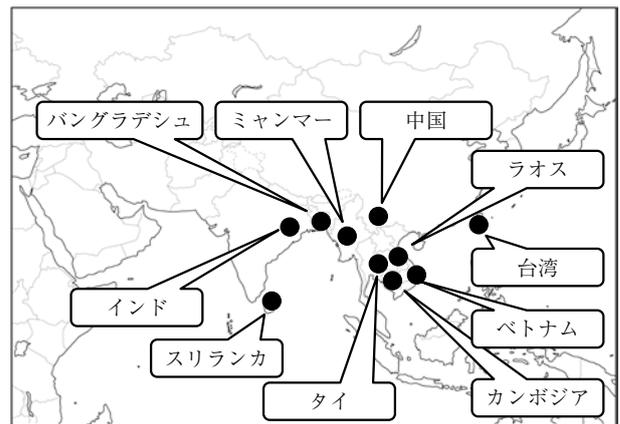


図-3 2019年8月現在の白葉病分布国 (既報の論文および各国の研究者からの情報に基づき筆者が作成)
白葉病は、日本にも侵入した記録があるが、根絶されたと考えられる。

北部および中部のサトウキビ産地でも広い範囲で見られる状態となった。その結果、白葉病はタイのサトウキビ生産にとって最も深刻な影響を及ぼす病害となり、コンケン大学農学部および農業局による推計では、サトウキビの減収額が約30~40億円/年 (HANBOONSONG et al., 2016)、周辺産業への影響を含めた総被害額は最大でその10倍程度とされている。

3 アジアにおける分布

タイに加えて、台湾でも古くから白葉病の分布が確認されており (LING, 1962)、サトウキビの重要な生産阻害要因と考えられていた。しかし、サトウキビ栽培面積の大幅な減少に伴い、現在では経済的被害は減少している。日本では、1986年に種子島で発生が確認されているが (荒井・氏原, 1989)、初期段階で抜き取りなどの積極的な対策が取られ、2シーズンで根絶したと考えられる。2000年代に入ると、タイの近隣諸国を中心に、多くの被害が報告されはじめた。2001年にはスリランカで発生が報告され (KUMARASINGHE and JONES, 2001)、その後、サトウキビの生産量が世界2、3位であるインド・中国でも発生報告が出された (RAO et al., 2005 ; WANG et al., 2014)。加えて、ベトナム・ラオス・ミャンマー等でも被害が確認されている (図-3)。

II 防除技術開発に関する研究

1 病原体に関する研究

潜伏株などからの検出は、以前は16S-23SrRNA遺伝子を増幅するPCR法により行われていた。しかし、プライマーの特性に問題があると考えられたことから、近年では病原体の膜タンパクをコードするSecA遺伝子を増幅するプライマーが用いられている (SAKUANRUNGSIRIKUL

et al., 2013)。また、定量 PCR 法も開発が進み、徐々に研究に用いられ始めている（例えば、RODDEE et al., 2018）。

過去には、温湯浸漬による種苗の無病化が検討され、少なくとも発病遅延などの限定的な効果があることが確認された（Liu et al., 1963）。しかし、農業局による実証試験の結果、栽培現場で実現が難しいレベルの精密な湯温および浸漬時間の管理が必要であること等が判明し、実用化には至っていない。また、SHIKATA et al. (1969) などにより、抗生物質の 1 種であるテトラサイクリンを種苗に処理することで白葉病の病原体を除去する試みも行われた。本技術についても、一定の効果は確認されたが、温湯処理同様、厳密な管理が必要となることに加え、抗生物質の価格などの問題があり、実用化には至っていない。

現在、タイでは、農業局などにより、生長点培養法により無病化された種苗を作出する技術の開発が行われている。生長点を切り出す際の技術的な問題などで無病化に失敗する事例もあるが、上記と類似の抗生物質を用いるなどの汚染リスク低減化技術の開発が図られている（WONGKAEW and FLETCHER, 2004）。

2 媒介虫に関する研究

個体群動態については、複数年・複数個所の定点調査が継続されている。これまでの暫定的な結果から、タイワンマダラヨコバイの発生ピークは 6~7 月、ヤマトヨコバイの発生ピークは 8~9 月であること、タイワンマダラヨコバイの密度が高いことが示唆されている。伝搬能についてもタイワンマダラヨコバイのほうが高いことが示されていることから（HANBOONSONG et al., 2006）、タイではタイワンマダラヨコバイが主要な媒介虫であると考えられる。移動分散能力については、網室内での放飼実験から、両種ともに積極的に飛び回することは少ないと推察されている。加えて、野外で標識再捕獲法による移動距離の定量的推定が行われており、その結果から推定すると、世代あたり平均移動距離は、タイワンマダラヨコバイが約 160 m、ヤマトヨコバイが約 388 m と考えられる（THEIN et al., 2012）。

生活史パラメータや病原伝搬等の詳細に関する研究は、主要媒介虫と考えられているタイワンマダラヨコバイが先行している。タイワンマダラヨコバイについては、内的自然増加率および発育零点等が推定されており（KOBORI and HANBOONSONG, 2017）、タイ東北部での年間世代数は 7 世代程度であることが示唆されている。また、吸汁行動の詳細や、獲得吸汁・接種吸汁に要する時間が明らかになっている（HANBOONSONG et al., 2002 ; RODDEE et al., 2017 ; 2019）。これらの結果から、タイワンマダラヨ

コバイは白葉病の病原ファイトプラズマが存在する部位である師部を吸汁する昆虫であり、病原体を獲得してから伝染源能を持つまでには、約 2 週間を要すると推察された。また、生活史パラメータや吸汁行動の解析結果を利用し、将来的にタイワンマダラヨコバイに対して抵抗性を示すサトウキビ品種を開発するために必要となる、抵抗性評価法の開発が進められている。

タイワンマダラヨコバイについては、室内・圃場実験で、効果が高い薬剤の選抜が行われている（HANBOONSONG and KOBORI, 2017）。その結果、ジノテフランをはじめとするネオニコチノイド系殺虫剤は、高い殺虫効果を比較的長期間持続することが示唆された。現在、選抜された数種の薬剤について、LC₉₀ などで効果を定量的に評価する実験に加え、野外における実証試験が行われている。なお、ヤマトヨコバイについても高い効果を示す殺虫剤の選抜実験が開始されており、タイワンマダラヨコバイと似た傾向を示すデータが得られている。

3 健全種苗増殖圃場における総合的病虫害管理体制の構築

白葉病発病株の空間分布の解析結果から、一般生産者の多くの圃場では、白葉病に感染したサトウキビが種苗として用いられていると推察された。したがって、健全種苗を大量生産し生産者に供給することが白葉病の抑制に有効であると考えられる。一方、サトウキビは増殖率が低いことから、十分量の健全種苗を生産するためには、生長点培養などで作出された種苗を圃場で複数回増殖する必要がある。しかし現状では、実験室内で無病苗が生産されても、その増殖圃場において媒介虫による白葉病の再感染が頻発している。したがって、実験室内の無病化工程の改良に加えて、増殖圃場における虫媒による白葉病の再感染リスクを低減させる技術を開発する必要がある。増殖圃場の管理は重要であるが、サトウキビ栽培の単位面積当たりの収入額は高くないため、防除にかけられるコストは制限される。そこで、健全種苗の増殖段階ごとに圃場衛生レベルを付与し、最も重要である第 1 次増殖圃場（G1）では技術的に可能な限りの管理を行う一方、第 2, 3 次増殖圃場（G2, G3）ではより簡易な方法に限定する体系の構築を試みている（図-4）。

無病苗生産段階（G0）においては、生長点培養法を中心とした無病化技術が確立されつつあり、大量生産が開始されている。しかし、上述の通り、無病化工程での失敗例が散見される。その主な理由は、検出技術にあると考えられる。これまでに、PCR 法を中心とした複数の白葉病検出技術が開発されているが、分子生物学用の研究室および高い精度・確度で診断可能な技術をもつ施

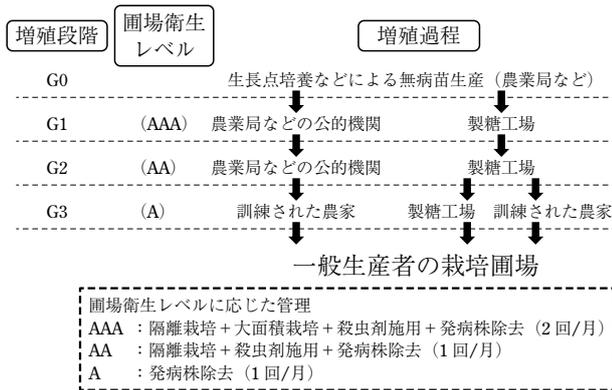


図-4 健全種苗の生産・増殖工程

設は、タイ全土で3施設程度である。一方、近年の白葉病の急激な分布拡大により製糖工場などからの診断依頼が急増し、どの施設でも検出作業が追い付いていない。そのため、無病化工程におけるサンプルの抜き取り検査が適切に行われず、十分な品質管理ができていない。また、無病化したサトウキビを網室などで適切に管理することで、最もコストがかかる生長点培養の工程の実施頻度を削減できる可能性が高いが、そのためには、管理されているサトウキビの定期的な無病確認に加え、発病疑い株を初期段階で迅速に診断する必要がある。そこで現在、LAMP法により、分子生物学用の研究室を持たない機関であっても簡易に白葉病の検出が可能な方法を開発している。

第1次増殖段階（G1）においては、これまでの媒介虫に関する研究で得られた知見から、虫媒再感染リスクを低下させる技術を構築している（図-4）。具体的には、媒介虫の移動分散能が低く、高い効果を示す殺虫剤があることから、他のサトウキビ圃場からなるべく隔離された地域に大面積の増殖圃場を設営し、殺虫剤を適切に施用することにより、媒介虫が侵入した場合でも被害を圃場周縁部にとどめ、内部は低リスク化する方法を検討している。加えて、目視による全株調査を1か月に2回の頻度で実施し、発病株が発見された場合には、抜根処理を行うこととしている。抜根処理の際には、病原体の由来が種苗だった可能性を考慮し、発病株を中心に、畝方向にそれぞれ2.5mの範囲の株をすべて抜き取ることにした。第2、3次増殖圃場（G2, 3）では、管理コストを考慮し、作業項目を減らす等の措置を講じている（図-4）。圃場での増殖段階においてさらに検討が必要な点として、殺虫剤の用法が挙げられる。媒介虫の個体群動態と殺虫剤の残効期間から、サトウキビの生育が進んだ5月以降にも殺虫剤を施用する必要がある。しかし、5月以降はサトウキビの草丈が急速に伸長し人の背丈を超

えることから、背負式の散布機などで液剤を散布しても薬液が十分量付着しない可能性が高く、高い効果は期待できない。現在のところ、粒剤を人手により施用する方法がとられているが、サトウキビは密植されているため施用には多くの労力が必要である。そこで、無人ヘリによる液剤散布などの効率的な薬剤散布法の開発が進められている。

上述の通り、未完成な要素技術もあるが、一連の技術について、既に実用規模の実証試験が開始されている。実証試験圃場では、近隣の一般の生産者の圃場と比較して、白葉病の発生頻度が大幅に下がる結果が得られている。

本技術で生産された健全種苗を普及させるためには、健全種苗の汚染頻度を定量的に評価する方法の開発が必要である。想定される白葉病汚染頻度は数万分の1程度と低頻度であることから、現在、工業製品の欠品率管理技術などを参考とし、白葉病汚染株が一定の頻度以下であることを統計的に保証する方法を検討している。また、白葉病は畝方向に列状に並ぶなど、圃場内で集中分布していることから、圃場からのサンプリング法も検討が必要である。加えて、生産された健全種苗の配布法についても検討が必要である。既に、農業局などで生産された健全種苗の生産者への配布が開始されているが、生産量が限られているため、多くの生産者に少量ずつ配布されているのが現状である。一方、配布された生産者からは、健全種苗を用いても2シーズン程度で白葉病の再感染が進み一般的な種苗との差がなくなる、とのコメントが寄せられている。これは、植え付けられた圃場で白葉病の虫媒再感染が頻繁に起きているためと考えられる。そこで、任意の地域にまとめて大量配布し、その地域のサトウキビをすべて健全種苗に置き換える、等の効率的な配布法を開発する必要がある。製糖工場は、生産者へ配布するための種苗生産や製糖期に原料の工場への投入量を安定化させる、等の目的で広大な自社圃場を維持管理している。そこで、まずは製糖工場が持つ圃場の清浄化から白葉病対策を進めることも検討すべきであろう。

おわりに

タイでは、近年、稲作からの転換作物としてサトウキビ栽培が奨励されており、2010年ころまでは約100万haだった収穫面積を、1.5倍程度まで増加させる政策を進めている。本政策と砂糖の国際価格の上昇が重なり、生産者のサトウキビ栽培意欲が急激に上昇した結果、種苗の確保が困難になる地域が見られた。それらの地域の一部で、白葉病がまん延していた地域から種苗を購入したところ、そのシーズンから白葉病が激発することとな

った。これは、購入した種苗が白葉病に汚染されていたために発生した可能性が高いと考えられる。このような人為的な広域拡散を抑制するためには、上述したような技術開発に加えて、国内における移動制限などを設ける必要がある。

本報では、無病化された種苗を虫媒感染リスクが低い状態で増殖させて供給する技術開発について紹介した。ファイトプラズマについては、近年、多くの基礎研究により、その性状が次々に明らかとなっている（例えば、柿沢（2018））。一方、白葉病の病原ファイトプラズマについては、基礎研究の事例が乏しく、基礎的な生態に不明な点が多い。今後、白葉病の病原体を直接の標的とした防除手段を構築するためにも、分子生物学的な視点からの基礎研究を進める必要がある。

引用文献

- 1) 荒井 啓・氏原邦博 (1989) : 鹿大農学術報告 **39** : 9~16.
- 2) FAOSTAT (2018) : <http://www.fao.org/faostat/en/#home>
- 3) HANBOONSONG, Y. et al. (2002) : Insect Mol. Biol. **11** : 97~103.
- 4) ————— et al. (2006) : J. Econ. Entomol. **99** : 1531~1537.
- 5) ————— et al. (2016) : Proc. ISSCT **29** : 1258~1263.
- 6) ————— and Y. KOBORI (2017) : Sugar Tech **19** : 573~578.
- 7) 柿沢茂行 (2018) : 日本微生物生態学会誌 **33**(2) : 50~55.
- 8) KOBORI, Y. and Y. HANBOONSONG (2017) : J. Asia-Pac. Entomol. **20** : 281~284.
- 9) KUMARASINGHE, N. C. and P. JONES (2001) : Sugar Tech **3** : 55~58.
- 10) LING, K. C. (1962) : Taiwan Sugar **9** : 1~5.
- 11) LIU, H. P. et al. (1963) : Rep. Taiwan. Sugar Exp. Stat. **32** : 103~122.
- 12) MARTIN, J. P. (1964) : A survey of sugarcane disease in Thailand, Sugar Industrial Aid Fund, Bangkok, 40 pp.
- 13) 農畜産業振興機構 (2018) : https://www.alic.go.jp/joho-s/joho_07_001673.html
- 14) RAO, G. P. et al. (2005) : Indian J. Plant Pathol. **23** : 1~21.
- 15) RISHI, N. and C. T. CHEN (1989) : Diseases of Sugarcane, Elsevier Science Publisher, Amsterdam, p.289~300.
- 16) RODDEE, J. et al. (2017) : J. Econ. Entomol. **110** : 893~902.
- 17) ————— et al. (2018) : Sugar Tech **20** : 445~453.
- 18) ————— et al. (2019) : Entomol. Exp. Appl. **167** : 108~117.
- 19) SAKUANRUNGSIRIKUL, S. et al. (2013) : Proc. ISSCT **28** : BP27.
- 20) SHIKATA, E. et al. (1969) : J. Fac. Agric., Hokkaido Univ. **56** : 79~90.
- 21) THEIN, M. M. et al. (2012) : Appl. Entomol. Zool. **47** : 255~262.
- 22) WANG, X. X. et al. (2014) : Trop. Plant Pathol. **39** : 184~188.
- 23) WONGKAEW, P. and J. FLETCHER (2004) : Plant Cell Reports **23** : 426~434.

発生予察情報・特殊報 (2019.8.1~8.31)

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

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

- モモ、ウメ、オウトウ、スモモ、サクラ等：クビアカツヤカミキリ（奈良県：初）8/1
- トウモロコシ：ツマジロクサヨトウ（佐賀県：初）8/5
- トウモロコシ：ツマジロクサヨトウ（高知県：初）8/20
- 飼料用トウモロコシ：ツマジロクサヨトウ（茨城県：初）8/20
- ミニトマト：クロテンコナカイガラムシ（鹿児島県：初）8/23
- 飼料用トウモロコシ：ツマジロクサヨトウ（福岡県：初）8/23
- 飼料用トウモロコシ：ツマジロクサヨトウ（岡山県：初）8/23
- トルコギキョウ（雨よけ栽培）：白さび病（仮称）（広島県：初）8/23
- 飼料用トウモロコシ：ツマジロクサヨトウ（千葉県：初）8/28
- 飼料用トウモロコシ：ツマジロクサヨトウ（山口県：初）8/29
- トルコギキョウ：斑点病（茨城県：初）8/30



日本におけるテンサイシストセンチュウの発生と緊急防除

農林水産省 消費・安全局 植物防疫課

はじめに

テンサイシストセンチュウ *Heterodera schachtii* (以下、Hs) は、ヨーロッパ、米国、カナダ、オーストラリア、韓国等に分布し、しょくようだいおう、ほうれんそう、アブラナ属植物（野沢菜、カリフラワー、ブロッコリー等）およびフダンソウ属植物（てんさいなど）を寄主とする線虫である（CABI, 2017）（図-1）。

我が国においては、2017年9月、長野県諏訪郡原村の一部圃場において、初めてHsの発生が確認された。当該線虫の確認を受けて、ただちにHsのまん延を防止するため、長野県などの関係機関と協力して収穫物、車両または農機具等による土壌の移動防止の徹底を図るとともに、発生状況調査、初動防除を実施し、2018年4月からは、Hsの発生状況などを踏まえ、対策検討会において専門家と検討した結果、植物防疫法に基づく緊急防除を実施しているところである。以下に防除対策の実施状況などについて紹介する。

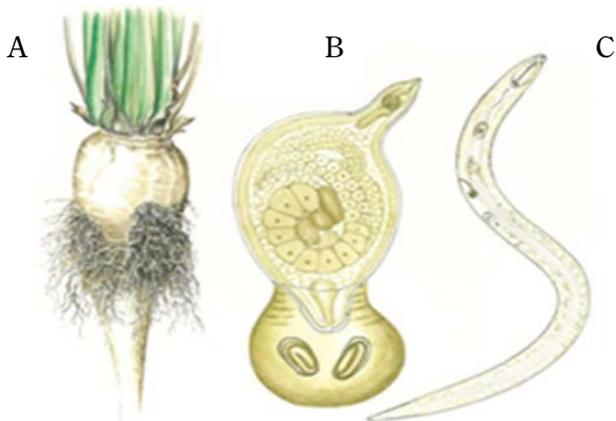


図-1 テンサイシストセンチュウ
A: フダンソウ属の被害根, B: 雌成虫, C: 幼虫。

I テンサイシストセンチュウについて

1 生態

シスト内の卵は寄主植物の根から浸出するふ化促進物質によりふ化し、幼虫は寄主植物の根に侵入する。その後、頭部付近の植物細胞を多核化させ、そこから養分を摂取する。雌成虫は先端部を根に埋め込み虫体を肥大させ、虫体の大部分を根の表面上に露出させる。その後雌成虫は土中に游出した雄成虫と交尾し、500~600の卵を形成する。少数の卵は体外の卵のう内に産下されるが、大半は雌成虫の体内に存在する。その後卵を保持したまま体表が硬化しシストとなる。根から脱落したシストは土壌中に生存し、寄主植物が存在しなくても長期にわたって乾燥や低温等に耐えると言われている（図-2, 3, 4）。

一方で、休耕区または非寄主植物の圃場では、気候や天敵により変動するものの、本線虫数が年間40~60%減少するとの報告がある（STEELE, 1984）。

2 被害

侵入した線虫によって、植物体への養水分の吸収が阻害され、テンサイでは生育の遅れや黄化症状、地上部のしおれ等が見られ、枯死する場合もある。被害株の地下部はひげ根が異常に増え、貯蔵根が奇形となり収量が著しく低下する。また、キャベツなどのアブラナ属植物では、地上部の生育不良、しおれ、減収等を引き起こす（図-5）。



図-2 Hsのシスト

Emergency Control of Beet Cyst Nematoda. By Plant Protection Division, Food Safety and Consumer Affairs Bureau, MAFF
(キーワード: テンサイシストセンチュウ, 緊急防除)



図-3 根に付着したHsのシスト



図-4 土壌より分離されたシスト



図-5 キャベツにおけるHsによる症状（生育不良）

II Hs の 確 認

2017年8月下旬、長野県諏訪郡原村の一部圃場で確認された線虫を鑑定した専門家から、植物防疫所にHsの発生の疑いが認められる旨の情報提供があった。その後、速やかに関係機関で情報共有が行われるとともに、植物防疫所において、同定作業が行われた。同定の結果、同年9月1日、本線虫がHsであることが判明した。なお、Hsの確認は国内で初めてである（農林水産省プレスリリース <http://www.maff.go.jp/j/press/syouan/syokubo/170901.html>）。

III 初 動 の 対 応

Hsの確認を受けて農林水産省では、同年9月7日に開催された対策検討会議における今後の調査・防除対策等の検討を踏まえ、発生範囲の特定調査および全国調査を開始した。

発生範囲の特定調査では、長野県と連携して、発生圃場の近隣地域の合計1,661圃場（約404ha）で土壌検診を実施した結果、合計117圃場（約35ha）でHsの発生を確認した。

また、全国調査では、都道府県と連携して、全国で合計3,879圃場で生育不良の状況に関する調査などを実施し、生育不良が見られた圃場については、土壌検診を実施した結果、Hsの発生は確認されなかった。

さらに、追加調査として、Hsが発見されたキャベツなどを対象に、全国31都府県で2,716件の生育不良に関する聞き取り調査などを実施したが、新たな地域でHsは確認されなかった。

IV 緊急防除の実施

これまでの調査などの結果を踏まえて2018年3月の対策検討会議において、①Hsの発生範囲が現時点で限定的であること、②有効な防除方法があること、③防除区域において寄主植物の作付けの禁止および移動制限の実施が可能であることから、植物防疫法に基づく防除対策は適切とされた。このため、2018年4月、発生が確認されている諏訪郡原村の一部地域において、以下を内容とする植物防疫法に基づく緊急防除を開始した。

1 防除対策

発生圃場において、複数回の土壌消毒などを実施。

2 作付けの禁止

防除区域内の発生圃場においては、原則、ホウレンソウ、アブラナ属植物およびフダンソウ属植物等（以下、寄主植物という。）の作付けを禁止。

3 移動の制限

寄主植物の地下部および土の付着した寄主植物以外の植物の地下部等を防除区域外に移動する場合には、植物防疫官がHsのまん延のおそれがないことを確認したもののみ、移動を許可。

4 緊急防除を行う期間

2019年3月末まで。

V 緊急防除の実施状況（2018年度）

1 防除対策の実施

(1) 発生圃場（117圃場）では、農家の営農実態に



図-6 土壌消毒の実施

合わせて153筆に分け、石灰窒素と土壌くん蒸剤（メチルイソチオシアネート・D-D油剤）による防除を4月から実施した（図-6）。また、昨年の調査で未発生であった圃場のうち、ブロッコリーなどを栽培中に生育不良が確認された4筆でHsが確認されたことから、防除を実施することとした（合計157筆）。

（2）2回の土壌くん蒸の結果、一部の圃場で本線虫が残存していることが確認されたことから、当該圃場では3回目の土壌くん蒸を実施することとした。また、防除方法については、メチルイソチオシアネート・D-D油剤よりも防除効果が高いことが確認されたD-D剤に変更するとともに、処理日数を延長して土壌くん蒸を実施した。

（3）発生圃場における防除は、土壌くん蒸後に土壌検診を実施し、生きたHsが検出されなくなる（検出限界以下になる）まで実施することとしている。

なお、Hsが生きているかどうかの確認は、圃場から採取した土壌からシストを分離し、分離したシストにふ化促進液を添加して、一定期間経過後に幼虫のふ化の有無を確認することにより行っている。

2 移動制限

防除区域内で生産された鉢植えの花きや観賞用植物等、出荷に伴い土壌が区域外に持ち出される可能性のある植物の検査（7件61種113万本）を実施した結果、本線虫のまん延を防止するための適切な措置が講じられていることを確認した。

VI 防除対策を踏まえた対応

1 緊急防除の防除期間の延長

（1）2018年に実施した防除対策の結果、157筆の圃場中148筆（94%）において、Hsの密度が検出限界以

下であることを確認した。

（2）本線虫の密度が検出限界以下になっていない9筆については、2019年3月に開催された第5回対策検討会議において、2019年に寄主植物の作付けを禁止しつつ、適切な地温を確保できる期間中に、D-D剤による土壌くん蒸を実施することとされた。

（3）これらの状況を踏まえ、現行の防除区域において、防除期間を1年間延長（2020年3月末）し、防除対策、移動制限等を継続することとなった。

2 フォローアップ調査の開始

防除対策により、本線虫の密度が検出限界以下であることが確認された圃場では、今後、寄主植物を作付けする場合、作付け後に土壌検診を実施（最大3回）し、Hsが再び検出されないことを確認することとしている。

VII 試験研究の推進

1 「緊急対応研究課題」で得られた成果

Hsについては、海外での情報は得られているものの、日本の環境下および営農体系における発生生態、防除方法、被害状況、検出方法等が不明であったことから、平成29年度農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「緊急対応研究課題」において、緊急的に試験研究を実施した結果、以下の成果が得られた。

（1）侵入経路解明のための遺伝情報を分析した結果、国内初確認種は米国（ハワイ）、韓国等に発生する系統と極めて近縁であることが判明。

（2）まん延防止のための対抗植物を探索した結果、緑肥用ダイコンの一品種について、次世代のシスト形成がなく対抗植物として利用できる可能性を確認。

（3）防除の実施に必要なHsの初期症状、発生圃場内における農機具洗浄の留意点等について、生産者などに周知するための資料を作成。

2 レギュラトリーサイエンス研究委託事業で得られた成果

平成30年度安全な農林水産物安定供給のためのレギュラトリーサイエンス研究委託事業において、以下の成果が得られた。

（1）各種農薬による密度低減効果を検証し、土壌くん蒸剤であるD-D剤のほか、土壌混和剤など数種類についても、殺線虫効果があることを確認。

（2）これまで寄主とされていなかったトマトにもHsが寄生、繁殖できる性質があることを確認。

さらに、日本の営農体系に応じた防除体制を構築するため、令和元年度から3年度まで、イノベーション創出強化研究推進事業「侵入シストセンチュウ類緊急防除終

了後の営農再開・再発防止支援技術の開発」において試験研究を継続している。

おわりに

Hsの発生地域における通常の営農の再開に向けて、生産者、長野県、原村、研究機関等の多数の関係者にまん延防止と防除対策の実施に協力していただいている。これまでの経緯・対応等については、農林水産省公表資料 <http://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/keneki/hs.html> を参照願いたい。

営農の再開には、Hsの密度を検出限界以下に維持するための生産体系の確立が必要不可欠であることから、引き続き、関係者の皆様の協力をいただき、Hsの防除対策、防除技術確立を進めてまいりたい。

引用文献

- 1) CABI (2017): *Heterodera schachtii*, In: Crop Protection Compendium, Wallingford, UK, CAB International.
- 2) STEELE, A. E. (1984): Plant and insect nematodes (NICKLE, W. R. ed.), Marcel Dekker Inc, New York, p.507~569.

(新しく登録された農薬 26 ページからの続き)

●グリホサートイソプロピルアミン塩・フルミオキサジン・MCPA イソプロピルアミン塩水和剤

24252: 草退治メガロング FL (住友化学園芸) 19/8/7

グリホサートイソプロピルアミン塩: 23.0%

フルミオキサジン: 3.0%

MCPA イソプロピルアミン塩: 4.3%

樹木等: 一年生雑草, 多年生雑草

●DCBN 粒剤

24255: シバキープクリーン粒剤 (レインボー) 19/8/7

DCBN: 2.0%

センチピードグラス: 一年生雑草, 一年生イネ科雑草, 一年生広葉雑草

日本芝 (こうらいしば): 一年生雑草及び多年生広葉雑草

樹木等: 一年生雑草及び多年生広葉雑草, スギナ

●オキサジクロメホン水和剤

24258: イーフィールド SC (ZM クロップ) 19/8/28

オキサジクロメホン: 30.0%

日本芝: 一年生イネ科雑草

〔展着剤〕

●展着剤

24251: パレハ (キング園芸) 19/8/7

ポリオキシエチレンドデシルエーテル: 30.0%

グリホサート, グルホシネート, ブロマシル, DCMU, ターバシル・DCMU などの除草剤: 除草剤の登録内容の作物



近年のシロイチモジヨトウの発生状況と薬剤感受性

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 おおた いずみ こうの かつゆき
 野菜花き研究部門 **太田 泉・河野 勝行**

はじめに

シロイチモジヨトウ *Spodoptera exigua* (Hübner) は、チョウ目ヤガ科キリガ亜科スジキリヨトウ族に属する害虫である(枝・四方, 2011; 図-1)。日本を含めた東アジア, 東南アジア, ヨーロッパ, アフリカ, 北アメリカ等に広く生息し, 海外では, テンサイ, ワタの重要害虫とされている(河合, 1991)。また, 日本国内では, ネギ, アブラナ科野菜, キク等 24 種類の作物への加害が確認されている(日本応用動物昆虫学会 編, 2006)。我が国で初めに本種による被害が大きな問題となったのは 1983 年ころとされている(高井, 2009)。鹿児島県や高知県のネギ産地を中心に多発生が始まり, その後は急速に被害域が拡大して, 1990 年ころには 27 府県まで広がった(河合, 1991)。多発生となった要因の一つに, 各種殺虫剤に対する感受性低下が挙げられている。例えば, 高知県で採集された個体群では, 処理 24 時間後の 3 齢幼虫の死亡率(常用濃度の薬液を使用した虫体浸漬法)は, DDVP, サリチオン, CYAP, DMTP, プロチオホス, PAP・BPMC, メソミル, カルタップ・メソミ



図-1 シロイチモジヨトウ幼虫(河野 原図)

Occurrence and Insecticide Susceptibility of the Beet Armyworm *Spodoptera exigua* in Japan. By Izumi OHTA and Katsuyuki KOHNO
 (キーワード: シロイチモジヨトウ, 多発生, 薬剤感受性, ジアミド剤)

ル, ペルメトリン, シベルメトリン, ジメトエート・フェンバレレート, シハロトリン, フルシトリネートで 0~2.0%と報告されており(高井, 1988), 当時の主要な殺虫剤である有機リン系, カーバメイト系, ピレスロイド系, ネライストキシンの殺虫剤に対して極めて高度な薬剤抵抗性を発達させていたことが示されている。しかし, その後は, 散発的な発生は続いたものの, 様々な新しいタイプの殺虫剤が上市されたことに加えて, 合成性フェロモン剤を利用した交信かく乱法や黄色防蛾灯等も普及したことで, 全国的な多発生は見られなくなっていた。

I 近年の多発生状況

2016 年から突然, 西日本地域を中心にシロイチモジヨトウの多発生が再び報告されるようになった。各都道府県から発表される病害虫発生予察情報によれば, シロイチモジヨトウに関する注意報は, 2016 年は徳島県, 香川県, 京都府の 3 件だったが, 2017 年は京都府(2 回), 香川県, 徳島県, 大分県, 愛知県, 和歌山県, 大阪府の 8 件となり, 2018 年には, 京都府(2 回), 香川県, 徳島県(2 回), 大分県, 愛知県, 兵庫県, 神奈川県, 和歌山県, 大阪府, 愛媛県の 12 件まで増加した。2019 年も 7 月末の時点ですでに徳島県と大分県から注意報が発表されている。注意報が出された対象作物は, ネギのほかに, キャベツやブロッコリー等のアブラナ科野菜類, アスパラガス, エンドウ, エダマメやアズキ等のマメ類, サツマイモ, キクやカーネーション等の花き類と広範囲に及んでいる。

シロイチモジヨトウが多発生となる時期は主に夏から秋にかけてであり, 各府県から出された注意報もこの時期に集中している。図-2 は, 2018 年に三重県津市とその近郊にシロイチモジヨトウのフェロモントラップを設置し, 発生消長を調査した結果である。フェロモントラップは, サンケイ化学から販売されているファネルトラップとシロイチモジヨトウ発生予察用性フェロモン剤を使用した。トラップの設置場所は, 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)安

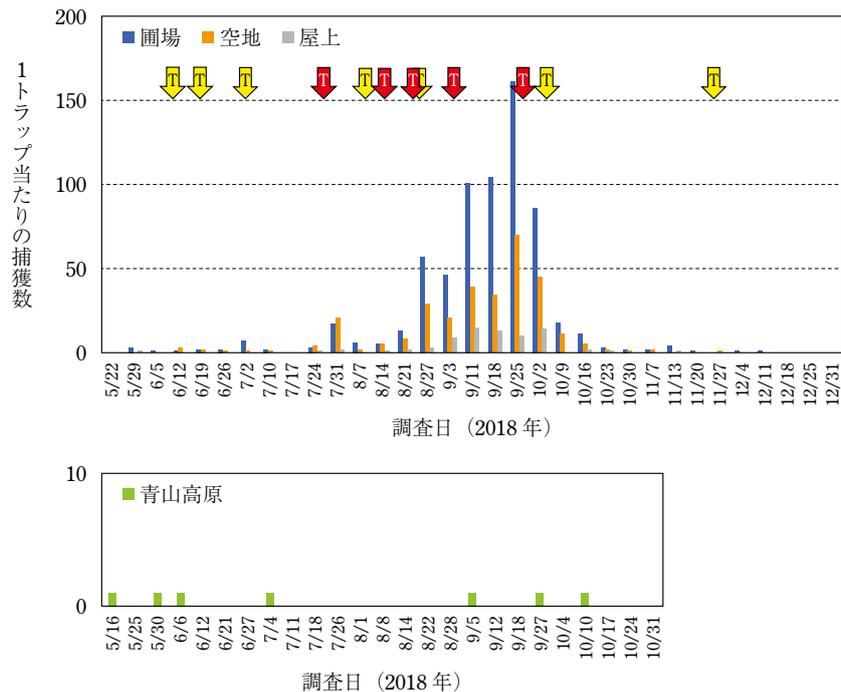


図-2 フェロモントラップに捕獲されたシロイチモジヨトウ雄成虫の消長
 上グラフ：農研機構安濃野菜研究拠点(三重県津市安濃町、標高約60 m)，下グラフ：青山高原山頂小屋(三重県伊賀市青山町、標高約730 m)．サンケイ化学から販売されているファネルトラップとシロイチモジヨトウ発生予察用性フェロモン剤を使用し、フェロモンはおおむね1か月ごとに交換した．上グラフの赤矢印は台風の上陸日、黄色矢印は台風が三重県に最も接近した日を示す．

濃野菜研究拠点(三重県津市安濃町、標高約60 m)内の圃場、空地、建物屋上(地上高約10 m)と、安濃野菜研究拠点から南西に約17 km離れた青山高原の山頂小屋(三重県伊賀市青山町、標高約730 m)の合計4箇所であり、5月下旬から12月末まで(青山高原は10月末まで)の間に捕獲されたシロイチモジヨトウ雄成虫の個体数をおおむね1週間ごとに記録した。まず、農研機構安濃野菜研究拠点では、全期間を通して圃場での捕獲数が最も多く、次いで空地、建物屋上の順となった。シロイチモジヨトウは5月29日から捕獲され始め、8月25日に捕獲数が50個体を超えて、9月25日には162個体まで増加した。その後の捕獲数は急減に減少し、年内の最終捕獲日は12月11日であった。一方の青山高原での捕獲数は非常に少なかった。この調査では、比較のためハスモンヨトウについても同じ方法で調べている(図-3)。捕獲数は、シロイチモジヨトウと同じく、圃場、空地、屋上、青山高原の順に多かったが、捕獲総数はハスモンヨトウのほうがはるかに多く、圃場ではシロイチモジヨトウが合計660頭だったのに対して、ハスモンヨトウは合計7,186頭と約11倍だった。また、捕獲数が最も少なかった青山高原でも合計540頭が捕獲され、シ

ロイチモジヨトウの合計7頭より約77倍も多かった。なお、発生のピークは9月初めから11月上旬まで続き、シロイチモジヨトウよりも長かった。これら2種における捕獲数の違いは、フェロモントラップの誘引性能自体が異なっている可能性も考えられるが、野外に生息している成虫個体は、シロイチモジヨトウよりハスモンヨトウのほうが多く、移動分散もより活発に行われていた可能性が示唆される。

2018年は、例年よりも多くの台風が日本列島に接近、上陸した。本土に接近した台風は7個、上陸したのは5個であり、平年値の5.5個、2.7個より多かった。図-2のシロイチモジヨトウのグラフの中に示した赤色の矢印は台風の上陸日、黄色の矢印は台風が三重県に最も接近した日を示している。7月31日、8月27日、9月11日は、シロイチモジヨトウの捕獲数がその前回の調査日より増加していた日であり、いずれもその数日前に台風が上陸している。したがって、台風の上陸や接近が、シロイチモジヨトウ成虫の活動を活発化させた結果、フェロモントラップへの捕獲数が増加した可能性が考えられる。宮下ら(1991)も、当時の香川県農業試験場(香川県高松市)内に設置された予察灯を用いて、シロイチモジヨト

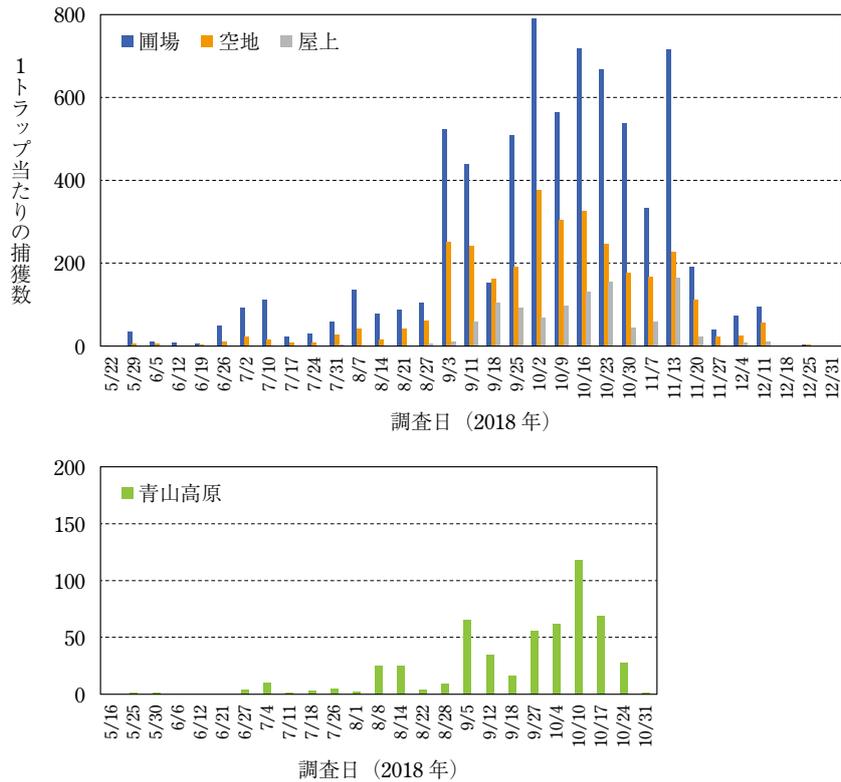


図-3 フェロモントラップに捕獲されたハスモンヨトウ雄成虫の消長
 グラフ上：農研機構安濃野菜研究拠点（三重県津市安濃町，標高約60 m），グラフ下：
 青山高原山頂小屋（三重県伊賀市青山町，標高約740 m）. サンケイ化学から販売さ
 されているファネルトラップとハスモンヨトウ発生予察用性フェロモン剤を使用し，フ
 エロモンはおおむね1か月ごとに交換した.

ウの誘殺消長と気象の関係を調べている。それによ
 と、1981年までは、低気圧（台風）や前線が四国付近
 を通過した前後に本種の誘殺が観察されたが、全国的な
 多発生が始まった1983年以降は、誘殺消長と気象条件
 の間に一定の関係は見いだせなかったとしている。な
 お、フェロモントラップ調査で捕獲されたシロイチモジ
 ヨトウの成虫はすべて雄個体であるため、厳密には、雌
 個体も同様な挙動を示しているのかは不明である。

海外では、シロイチモジヨトウは長距離移動するこ
 も知られている（河合，1991）。吉松（1991）は、1981
 ～87年にかけて東シナ海上の定点（北緯31度，東経
 126度）で採集されたチョウ目害虫をリストアップして
 おり、シロイチモジヨトウの捕獲記録はないものの、ア
 ワヨトウ，イチモンジセセリ，コナガ，コブノメイガ，
 タマナヤガ，タマナギンウワバ等の農業害虫を含めた
 43種のチョウ目昆虫が採集されており，シロイチモジ
 ヨトウも大陸から長距離移動してきている可能性は否定
 できない。現在は，シミュレーションモデルやDNAを
 利用した昆虫の移動解析技術が発達しており，シロイチ
 モジヨトウに関する詳細な解析が待たれる。

II 薬剤感受性

クロラントラニリプロール，フルベンジアミドといっ
 たジアミド系殺虫剤は，2000年代後半に我が国で農業
 登録された薬剤である。特にシロイチモジヨトウを含め
 たチョウ目害虫全般に対する殺虫効果が高い薬剤として
 広く普及している。図-4を見ると，2010年以降のチョ
 ウ目害虫に関する警報・注意報は，2000年前半までと
 比べて明らかに減少しており，これは，ジアミド系殺虫
 剤の普及が要因の一つと考えられる。しかし，2013年
 にはコナガでジアミド系殺虫剤に対する感受性低下が確
 認され，その分布は拡大しつつある（平成26～30年度
 農林水産省委託プロジェクト研究「ゲノム情報等を活用
 した薬剤抵抗性管理技術の開発」コンソーシアム（編），
 2019）。同様に，2016年以降に各地域で多発生している
 シロイチモジヨトウも，ジアミド系殺虫剤に対する感受
 性低下が報告されている。本種が多発生となる前の
 2006年に大分県で採集された個体群では，クロラント
 ラニリプロールやフルベンジアミドを処理した個体の補
 正死亡率はほぼ100%と極めて高い殺虫効果を示してい

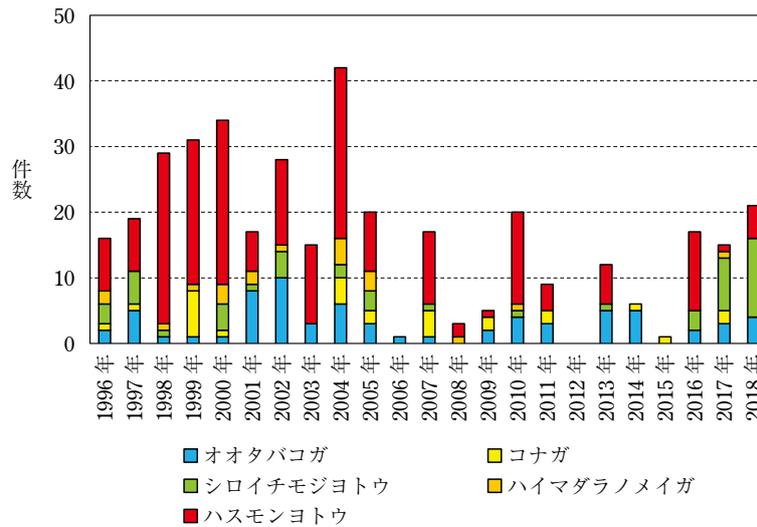


図-4 野菜・花き類を加害するチョウ目害虫5種の年別警報注意報発表件数
各都道府県から発表される病虫害発生予察情報のうち、警報・注意報を
対象とした。

た(小野・山本, 2011)。ところが、同県で2017年に採集された個体群では、補正死亡率は20%前後まで低下し、さらに翌年の2018年には0%となり(大分県農林水産研究指導センター, 2019)、ジアミド系殺虫剤に対する著しい感受性低下が明らかになった。同様に、2017年に和歌山県で採集された個体群では、クロラントラニリプロールの補正死亡率は0~1.8%、フルベンジアミドは3.3~20.0%となり(岡本, 2018)、2018年に京都府で採集された個体群でも、フルベンジアミドの死亡率は20%と報告されている(徳丸, 印刷中)。なお、後発のジアミド系殺虫剤であるシアントラニリプロールについては、上述の2剤に比べてある程度の殺虫効果は維持されているものの、今後の感受性低下が懸念されている。

中国や韓国では、シロイチモジヨトウのジアミド系殺虫剤に対する感受性低下が日本より早く顕在化した。Lai et al. (2011)が行った調査では、2008~10年にかけて中国国内18箇所では採集されたシロイチモジヨトウ個体群は、2001年に採集した後に室内で継代飼育された個体群と比べて、クロラントラニリプロールの抵抗性比が2.8~17.1倍であった。また、Wang et al. (2018)が行った調査でも、2016年に中国国内3地域で採集された個体群の抵抗性比は、2014年の同地域の個体群と比べて、クロラントラニリプロールで173.4~478.3倍に、シアントラニリプロールも175.3~287.6倍に上昇していた。さらに、韓国国内で2017年に採集されたシロイチモジヨトウ個体群でも、2014年の個体群と比べて、クロラントラニリプロールの抵抗性比が1,196.3倍、シアントラニリプロールで105.6倍、フルベンジアミドで

191.6倍の上昇を確認している(Cho et al., 2018)。

一般に、害虫の薬剤感受性低下が発生するメカニズムとしては、①殺虫剤の作用点変異、②解毒分解酵素による代謝活性の上昇、③殺虫剤の体表透過性の低下、④殺虫剤が散布された植物の摂食停止や忌避、が挙げられている(Insecticide Resistance Action Committee, 2019)。中国では、シロイチモジヨトウのジアミド系殺虫剤に対する感受性低下のメカニズム解明に関する研究が多く行われており、その対象は①と②に集中している。①については、今までのところ、コナガのジアミド系殺虫剤抵抗性の主要因の一つとされているリアノジン受容体のアミノ酸変異G4946E(4946番目のアミノ酸がグリシンからグルタミン酸に変異)に相当するものは見つかっていないが、Zuo et al. (2019)は、ジアミド系殺虫剤抵抗性個体から別のアミノ酸変異I4743M(4743番目のアミノ酸がイソロイシンからメチオニンに変異)を発見しており、クロラントラニリプロールの抵抗性比は21倍、シアントラニリプロールで25倍、フルベンジアミドで22倍に上昇し、中程度の抵抗性が示されている。一方、②については、シトクロムP450酸化酵素の活性上昇がクロラントラニリプロールの感受性低下に強く関与している結果が示されている(例えばWang et al., 2015)。現在、西日本地域で発生しているシロイチモジヨトウについても、ジアミド系殺虫剤感受性低下のメカニズム解明が始められている。

おわりに

昨今のシロイチモジヨトウの多発生は、かつて全国的

に大きな被害をもたらした害虫が一度鎮静化し、忘れ去られようとしたところに再び問題化したケースと言える。このような害虫の長期的な発生トレンドにある背景を理解していくことは、他の「昔の害虫」の今後を予想するうえで重要な足掛かりになると考えられる。第63回日本応用動物昆虫学会大会（2019年3月、筑波大学）では、特別小集会「農業生産現場の最前線～昆虫の再流行の要因を考える～」が開催され、多くの学会員が参加して、関心の高さをうかがえた。また、2018年からは、シロイチモジヨトウの多発生に関心のある研究者の有志（仮称：シロイチ友の会）によって、非農耕地を含めた本種のフェロモントラップ調査と定期的な情報交換を行っており、2019年も継続している。

現在、多発生しているシロイチモジヨトウは、ジアミド系殺虫剤に対する感受性低下が顕在化しているとは言え、防除対策は、従来通り薬剤防除が中心になる。幸いにも、ジアミド系以外で本種に対して高い殺虫効果を示す薬剤はいくつかあるので、それらを上手く組合せた防除体系で対応していくのが現実的である。また、かつて1980～90年代にシロイチモジヨトウが多発生した際には、防除効果の高い薬剤がなくなったため、合成性フェロモン剤を用いた交信かく乱法が利用されたが、その後はほとんど実施されなくなったという（高井，2009）。現時点で、本種に対して高い殺虫効果を維持している薬剤を温存するためにも、殺虫剤以外の防除手段の活用が強く望まれる。

文末になるが、本稿を執筆するにあたって有益な助言をいただいた徳丸 晋氏（京都府農林水産技術センター農林センター）と八瀬順也氏（兵庫県立農林水産技術総合センター農業技術センター）に御礼申し上げる。

引用文献

- 1) Cho, S. et al. (2018): Korean J. Appl. Entomol. 57: 43～50.
- 2) 枝 恵太郎・四方圭一郎 (2011): キリガ亜科, 日本産蛾類標準図鑑Ⅱ (岸田泰則 編), 学研教育出版, 東京, p.323～367.
- 3) 平成26～30年度 農林水産省委託プロジェクト研究「ゲノム情報等を活用した薬剤抵抗性管理技術の開発」コンソーシアム (編) (2019): 薬剤抵抗性農業害虫管理のためのガイドライン案, 農研機構, つくば, 232 pp.
- 4) Insecticide Resistance Action Committee (2019), <https://www.ircac-online.org/about/resistance/mechanisms/>
- 5) 河合 章 (1991): 植物防疫 45: 231～234.
- 6) Lai, T. et al. (2011): Pestic. Biochem. Physiol. 101: 198～205.
- 7) 宮下武則ら (1991): 植物防疫 45: 235～238.
- 8) 日本応用動物昆虫学会 (編) (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.
- 9) 岡本 崇 (2018): 関西病虫研報 60: 149～151.
- 10) 小野元治・山本千恵 (2011): 大分県農林水産研究指導センター研究報告 (農業研究部編) 1: 9～15.
- 11) 大分県農林水産研究指導センター (2019): 令和元年度病害虫発生予察注意報第1号 (令和元年7月1日), <https://www.pref.oita.jp/soshiki/15060/cyuihou312.html>
- 12) 高井幹夫 (1988): 高知農林研報 20: 7～10.
- 13) ——— (2009): 植物防疫 63: 53～54.
- 14) 徳丸 晋 (2019): 京都府農林水産技術センター農林センター研究報告 41 (印刷中).
- 15) Wang, X. et al. (2015): Pestic. Biochem. Physiol. 146: 71～79.
- 16) ——— et al. (2018): Acta Entomol. Sinica 58: 281～287.
- 17) 吉松慎一 (1991): 昆蟲 59: 811～820.
- 18) Zuo, Y. et al. (2019): Insect Sci., <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1744-7917.12695>

農林水産省プレスリリース (2019.8.5～2019.9.6)

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

- ◆ 「令和元年度病害虫発生予察第6号」の発表について (19/8/7) /syouan/syokubo/190807.html
- ◆ 令和元年度イノベーション創出強化研究推進事業のうち緊急対応課題の第1回公募について (19/8/13) (maff.go.jp の後)/docs/press/190813.html

- * ツマジロクサヨトウの効率的な発生予察と防除対策の確立に向けた緊急研究
- ◆ 「令和元年度国際植物防疫条約に関する国内連絡会」の開催及び一般傍聴について (19/8/27) /syouan/keneki/190827.html

植物
防疫
講座

病害編-22

疑似紋枯症の発生生態と防除

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 野 津 あゆみ

はじめに

水稻栽培においてイネ紋枯病は、いもち病と並ぶ最重要病害であり、特に西日本以南の地域では大きな減収要因となっている。紋枯病の病原菌は *Thanatephorus cucumeris* (Frank) Donk (*Rizoctonia solani* Kühn) であるが、これ以外の *Rhizoctonia* 属菌および *Sclerotium* 属菌が水稻に菌核性の病害を引き起こすことが知られている。総称して疑似紋枯症（あるいは疑似紋枯病）と呼称される。「疑似」という呼び名から推察されるように紋枯病によく似た斑紋症状を起こす病害と、菌核は形成するものの、いわゆる「紋枯症状」は起こさないものがある。北海道の水稻栽培では一般に紋枯病による被害が少ないこと、および紋枯病と疑似紋枯症の各病害の病徴が類似することから疑似紋枯症の発生生態はこれまで明らかにされていなかった。また、疑似紋枯症の有効薬剤が紋枯病と共通であるため、防除においても紋枯病に対する防除が中心であり、疑似紋枯症は防除対象病害として意識されていない状況である。このため、疑似紋枯症の道内各地での発生生態および防除に関する知見は少なかった。

疑似紋枯症に含まれる病害は、紋枯病同様、いずれも高温性の病害であり、これまで北日本、特に北海道のような冷涼な気候の地域では発生が問題にならなかった。しかし、近年の夏季の高温の影響で、北海道においても疑似紋枯症の一つである赤色菌核病の発生が2013年に初めて確認され（東岱ら、2016）、被害が顕在化した。本稿では、疑似紋枯症に含まれる各病害の特徴を簡単に紹介するとともに、北海道における赤色菌核病の発生生態と防除に関する研究知見について紹介したい。

I 各病害の特徴

疑似紋枯症を構成する病害として、褐色紋枯病、褐色菌核病、赤色菌核病、球状菌核病、灰色菌核病および褐色小粒菌核病の六つの病害が報告されている。



図-1 病原菌のPDA上の菌そう
(上：褐色菌核病菌，左下：紋枯病菌，右下：赤色菌核病菌)

各病害は混発することが多く（稲垣ら、1991）、地域によっても発生菌種は異なる。野中ら（1979）によると、褐色菌核病菌は国内全域で広く分離される。西南地域ではこれに加えて褐色紋枯病菌や赤色菌核病菌、灰色菌核病菌が分離されることが多く、複数病原が分離される傾向が見られた。島根県では6種病原菌すべてが（門脇・磯田、1990）、愛知県では4種菌種が紋枯病菌とともに分離される（稲垣ら、1992）等、5～6種病原が同時に分離される事例も報告されている。東北や北海道では赤色菌核病菌が分離される（三浦ら、1988）（図-1）。また、北海道では球状菌核病菌の発生もごくまれに分離されている。

1 褐色紋枯病（病原菌：*Thanatephorus cucumeris* (*Rhizoctonia solani*))

暗褐色で不整形～楕円形の紋枯病によく似た病斑を形成するが、病斑周縁部は紋枯病よりもやや黒っぽい濃褐色を呈する部分がある。菌核が葉鞘表面に形成されることはなく、まれに1mm程度の濃褐色の菌核を葉鞘の内側に形成する（堀、1991）。

2 褐色菌核病（病原菌：*Ceratobasidium setariae* (*Rhizoctonia oryzae-sativae*))

圃場での初発生は紋枯病よりも遅い出穂期頃である。葉鞘の内側に、組織に区切られた褐色の小さな菌核を形

Occurrence Ecology and Control of Rice Sclerotial Diseases Caused by *Rhizoctonia* and *Sclerotium* spp. By Ayumi Norsu
(キーワード：疑似紋枯症，赤色菌核病)

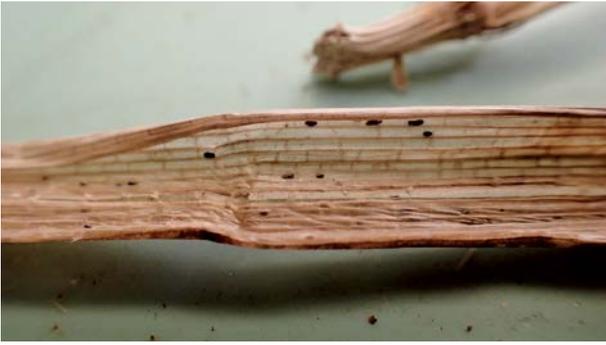


図-2 葉鞘内側に形成された褐色菌核病の菌核



図-3 褐色菌核病では病斑の中心に条状の褐色菌体が見える



図-4 赤色菌核病の病斑



図-5 葉鞘の内側に形成された赤色菌核病の菌核

成するが(図-2)、進展中の病斑では菌核を確認するのは難しい。登熟期の葉鞘に病斑の中心に褐色の菌体が見えるのが特徴的である(図-3)。

3 赤色菌核病(病原菌：*Waitea circinata* (*Rhizoctonia oryzae*))

出穂期以降に発生が目立つ。病斑は紋枯病によく似るが(図-4)、病斑周縁部の褐色部分が紋枯病よりもやや黒みをおびる。登熟期以降に葉鞘病斑部の内側に、組織で区切られた鮭肉色の小型の菌核を形成する(図-5)。菌核は登熟後、稲わらから離脱しやすい。

4 球状菌核病(病原菌：*Sclerotium hydrophilum*)

登熟後期に発生し、紋枯病罹病株やニカメイガの被害茎等に発生しやすいとされる(稲垣, 1983; 堀, 1991)。明瞭な病斑は形成されず、葉鞘が黄化し表面や組織内に0.3~0.5 mmの球形・黒色の菌核を形成する。

5 灰色菌核病(病原菌：*Ceratobasidium cornigerum* (*Sclerotium fumigatum*))

登熟後期に発生しやすい。明瞭な病斑は形成されず、葉鞘が広く赤みをおびて褐色となる。葉鞘の表面や組織内

に0.3~1.5 mm程度の球形~楕円形で白色~灰褐色の菌核を形成する。菌核を形成していない発病株は球状菌核病との見分けがつかないことも多い。

6 褐色小粒菌核病(病原菌：*Waitea circinata* (*Rhizoctonia zae*))

葉鞘に紡錘形の褐色病斑を形成する。病斑部と健全部の境界が不鮮明である。葉鞘の内側に0.1 mm程度の球形~不正形で濃褐色の菌核を形成する(堀, 1991)。

II 赤色菌核病の発生生態

疑似紋枯症は、一般に紋枯病よりも初発が遅く、出穂期以降に確認され、登熟期に病勢が進展することが多い。北海道における赤色菌核病は、7月下旬に初発を認められる(図-6)。

赤色菌核病の初発病斑は紋枯病との見分けが難しく、病勢の進展が激しい場合は節の黒変および折損、出すくみ穂に鮭肉色の菌核の形成が認められる。通常、菌核は登熟期以降に葉鞘の内側に形成される。この菌核は高水分条件で死滅しやすいとされ、秋に刈り株や稲わら残渣に菌核が形成されるが、北海道の圃場では、春の融雪後には菌核が見られなくなる。赤色菌核病は葉鞘部だけで

なく根にも感染し、菌糸の状態でも収穫後も圃場内に残存する。そのため、根などに感染して越冬した菌糸が翌年の伝染源として重要な役割を果たす(野津ら, 2018)。このことが、赤色菌核病の圃場での発生分布を特徴付けている。すなわち、赤色菌核病は前年の被害残渣や刈り株が残る圃場中心部で発生が多くなる傾向が認められる。一方、紋枯病は前年発生株から離脱した菌核が代掻きによって水面に浮遊し、これが圃場の縁に集まるため、発生株も圃場の縁で目立ち、赤色菌核病とは明らかに圃場内発生分布が異なる。



図-6 赤色菌核病の初発病斑(接種)

III 北海道における紋枯病・疑似紋枯症の発生実態と赤色菌核病の被害解析

2015~16年にかけて北海道各地の主要な水田地帯において紋枯病様症状を示したサンプルを採取し、病原菌を分離したところ、褐色菌核病菌がほとんどの地域で最も高頻度に分離された(表-1)。赤色菌核病菌の分離頻度はそれより低く、紋枯病菌が高頻度に分離される道南の渡島・檜山、道央の空知・石狩・後志では少なくなる傾向が見られた。

北海道では、紋枯病による減収被害を防ぐための要防除水準を既往の知見に基づき発病度40(登熟期)と定めている。これまで北海道における疑似紋枯症の病原菌のみが分離される圃場においても、紋枯病の要防除水準である発病度40を超える多発生となる圃場が認められた(データ未記載)。このことから、疑似紋枯症、特にその中でも比較的病原性が強いとされている赤色菌核病(野中ら, 1980)は防除対象になると考えた。

2015~17年に岩見沢市の中央農業試験場の水田で赤色菌核病の被害解析試験を実施した。病原菌を接種し、異なる発病程度の試験区を作成し、収穫後に収量および玄米品質を調査した。赤色菌核病の発病により収量(精玄米重)の減少、屑粒と腹白未熟粒の増加による玄米品質の低下が認められた(表-2)。本試験の結果に基づき、赤色菌核病の要防除水準(減収率5%)を紋枯病と同じく発病度40(登熟期)と設定した(データ未記載)。

表-1 北海道における紋枯病様症状からの各種菌核病菌の分離状況(2015~16年)

振興局	調査圃場数	病原菌分離圃場数					
		紋枯病菌	赤色菌核病菌	褐色菌核病菌	うち混発 ^{a)}		
					(紋+褐)	(赤+褐)	(紋+赤+褐)
渡島	10	8	3	7	3	1	2
檜山	9	1	6	5	0	1	0
空知	26	4	13	24	2	12	0
石狩	7	7	0	2	2	0	0
上川	7	1	3	5	0	1	0
留萌	1	0	1	1	0	1	0
後志	3	2	0	2	1	0	0
胆振	6	0	6	6	0	6	0
日高	19	0	11	14	0	6	0

^{a)} 混発の括弧内は、紋：紋枯病菌、褐：褐色菌核病菌、赤：赤色菌核病菌。

表-2 赤色菌核病の発生と相関のある収量構成要素(北海道2015~17年)

	負の相関	正の相関	備考
赤色菌核病	精玄米重, 株重	屑粒率, 腹白未熟粒率 ^{a)}	少発生の減収傾向は不明瞭

^{a)} 年次変動があるが、年によっては相関あり。



図-7a 要防除水準に達した圃場の様子（収穫期）
止葉の紋枯れ症状が葉鞘まで達している株が散見され、折損した茎も認められる。



図-7b 収穫時の株の様子（上：無発生，下：要防除水準（病斑高率 35%）に達した圃場）

なお、紋枯病や疑似紋枯症の発生状況を把握する調査方法としては、これまで北海道で主に使用されてきた発病度のほか、病斑高率や被害度等がある。生産現場で用いる調査基準としては、株の高さと病斑最上位の高さを計測して算出できる病斑高率が、簡便で判定しやすいと判断した。本試験において、発病度と病斑高率には高い正の相関関係があることが明らかとなり、発病度 40 は病斑高率 35% に相当した。すなわち、北海道において 5% 減収を回避するための要防除水準は紋枯病・赤色菌核病とも、「登熟期の病斑高率で 35%」であった。なお、この「登熟期の病斑高率で 35%」の発生状況は、圃場での観察の目安としては、「収穫期に止葉の葉鞘に紋枯れ症状が散見される程度」である（図-7a, b）。

IV 赤色菌核病の防除法

赤色菌核病による被害を回避するには、薬剤防除を実施することになる。薬剤選択にあたって、紋枯病に登録を有する薬剤は多いが、赤色菌核病あるいは疑似紋枯症

に登録のある薬剤は少ない。このうち、育苗箱施用剤（赤色菌核病に対する有効成分であるフラメトピルまたはペンフルフェンをそれぞれ含有する粒剤）、水面施用剤はフラメトピル粒剤とシメコナゾール粒剤が安定した効果を示すことを確認している（データ未記載）。また、紋枯病に対する茎葉散布の散布適期は出穂 20 日前と出穂期であるが（三澤，2018）、赤色菌核病の散布適期は紋枯病よりも遅く、出穂揃い以降（8 月中～下旬）となる（データ未記載）。イネでは無人ヘリなどを使った計画的な薬剤散布が広く普及している。赤色菌核病の初発は 7 月下旬以降と遅く、防除適期までの発生状況に応じて防除の要否を判断し、防除対応を変更することは難しい。そのため、赤色菌核病が多発した圃場では、前述の通り被害残渣が伝染源となって翌年も同程度の発病をする可能性が高いことから、前述の収穫期の病斑高率 35% を目安に翌年の防除要否を判断することを推奨している。

おわりに

疑似紋枯症は、紋枯病との共通点も多いが、発生生態や防除の適期等異なる点も多い。また、登録農薬も紋枯病に比べ、種類は少ない。北海道では複数の病害が混発していることは認識されているものの、地域によって発生病害が異なっている状況で紋枯病と疑似紋枯症を診断に基づき区別し、個々の病害に対応して防除を行うことは難しい。そのため、これら病害の同時防除が可能な技術開発をさらに検討していく必要がある。また、疑似紋枯症の各病害の診断や特性についても把握されていないのが現状で、これらに対する理解も欠かせないと考える。

本稿で発表したデータのうち発生実態に関するデータは前・道南農業試験場の三澤知央氏・美濃健一氏との共同研究で得たデータである。また、本研究を実施するにあたり名城大学・荒川征夫氏に有益なご助言を賜った。記して感謝申し上げる。

引用文献

- 1) 堀 眞雄 (1991): イネ紋枯病—発生・防除の理論と実際—, 社団法人日本植物防疫協会, 東京, p.235~236.
- 2) 稲垣公治 (1983): 日植病報 49: 736~738.
- 3) ———ら (1991): 関西病虫害研究会報 33: 9~13.
- 4) ———ら (1992): 同上 34: 1~5.
- 5) 門脇義行・磯田 淳 (1990): 日本植物病理学会報 56: 124~125.
- 6) 三澤知央 (2018): 北農 85: 216~219.
- 7) 三浦正勝ら (1988): 北日本病害虫研究会報 39: 84~87.
- 8) 野中福次ら (1979): 九州病害虫研究会報 25: 3~5.
- 9) ———ら (1980): 同上 26: 23~26.
- 10) 野津あゆみら (2018): 北日本病害虫研究会報 69: 201.
- 11) 東岱孝司ら (2016): 同上 67: 77~80.

植	物
防	疫
講	座

虫害編-21

野菜・花きのハモグリバエ類の発生生態と防除

京都府農林水産技術センター農林センター **徳** **丸** **晋**

はじめに

ハモグリバエは、ハエ目 (Diptera)、ハモグリバエ科 (Agromyzidae) に属する小型 (体長 2~3 mm) の昆虫である。ハモグリバエの雌成虫は、葉の組織内に産卵し、幼虫は葉の柵状組織または海綿状組織を食害し、白い筋状の潜孔を形成する。加害が激しい場合に葉は白化する。ハモグリバエの加害により、果菜類では、収穫対象である果実は加害されないため、加害量が少ない場合には生産物の収量と品質に影響はない。しかし、加害量が多くなると、光合成量が低下するため、収量および品質に影響を与える (LEDIEU and HELYER, 1985)。一方で葉菜・花き類では、収穫対象である葉が直接加害されるので、加害量はわずかでも生産物の品質は著しく低下する。

我が国において、野菜・花きを主に加害し、被害が問題になるハモグリバエ類は、*Liriomyza* 属のトマトハモグリバエ *L. sativae* BLANCHARD、マメハモグリバエ *L. trifolii* (BURGESS)、ナスハモグリバエ *L. bryoniae* (KALTENBACH)、アシグロハモグリバエ *L. huidobrensis* (BLANCHARD) およびネギハモグリバエ *L. chinensis* (KATO) ならびに *Chromatomyia* 属のナモグリバエ *C. horticola* (GOUREAU) の 6 種である (徳丸, 2010)。これら 6 種ハモグリバエは、形態および加害様式が酷似しており、肉眼で識別することが極めて困難である (徳丸, 2018)。また、6 種ハモグリバエの発育、増殖能力等の生物学的特性、寄主植物、殺虫剤感受性は異なる (徳丸, 2010)。したがって、ハモグリバエ類の防除対策を構築するには各農作物で発生するハモグリバエの種の把握、生物学的特性および殺虫剤感受性について正しく理解することが重要となる。本稿では、我が国で問題になる 6 種ハモグリバエの発生生態、生産現場での簡易識別法および防除法について紹介する。

Ecology and Management of *Liriomyza sativae*, *L. trifolii*, *L. bryoniae*, *L. huidobrensis*, *L. chinensis*, and *Chromatomyia horticola*.
By Susumu TOKUMARU

(キーワード: ハモグリバエ類, 生態, 防除, ハエ目, *Liriomyza* 属)

I 野菜・花きに発生するハモグリバエ類

1 トマトハモグリバエ *Liriomyza sativae* BLANCHARD (図-1)

原産地はアメリカ大陸であり、ハワイ、グアム、タヒチ (SPENCER, 1973)、アフリカ大陸 (DEEMING and MANN, 1999)、インド、タイ (MARTINEZ, 1994) および中国 (CHEN et al., 1998) へ侵入した。我が国では、1999年に沖縄県、山口県および京都府において初めて発生が確認され (岩崎ら, 2000)、それ以降、東北以南の都府県で発生が確認されている (徳丸, 2008)。本種は、ハモグリバエ類による被害がそれほど問題にならなかったキュウリなどのウリ科作物で多発する (徳丸・阿部, 2001)。主に夏期から秋期にかけて多発し (TOKUMARU et al., 2007)、休眠性はなく (徳丸・阿部, 2003)、暖房設備の整ったハウスで越冬すると考えられている (TOKUMARU et al., 2007)。

2 マメハモグリバエ *Liriomyza trifolii* (BURGESS) (図-2)

トマトハモグリバエと同様にアメリカ大陸を原産地とし、カナダ、アフリカ、ヨーロッパ (MINKENBERG and van LENTEREN, 1986)、台湾 (WANG and LIN, 1988)、インド (LAKSHMINARAYANA et al., 1992) および韓国 (HAN et al., 1996) へ侵入した。我が国では、1990年に静岡県および

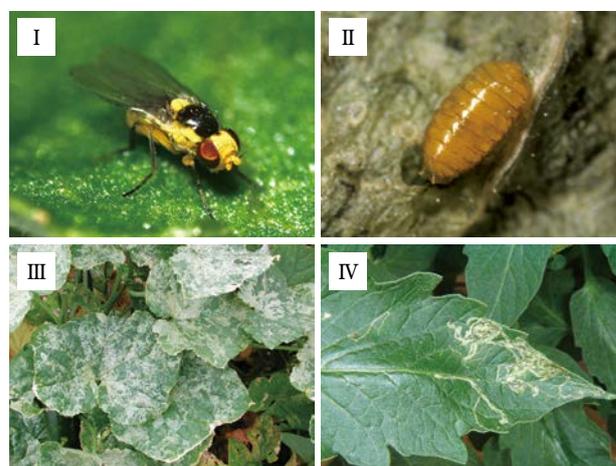


図-1 トマトハモグリバエの成虫 (I)、蛹 (II) およびキュウリ (III) とトマト (IV) の被害葉

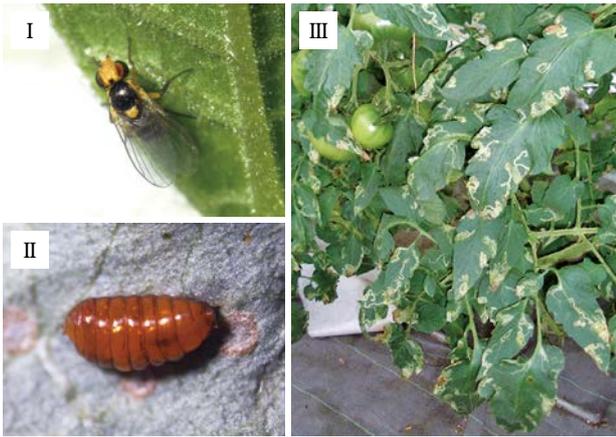


図-2 マメハモグリバエの成虫 (I), 蛹 (II) および
トマトの被害葉 (III)



図-4 ネギハモグリバエの成虫 (I), 潜孔内の幼虫 (II)
およびネギの被害葉 (III)

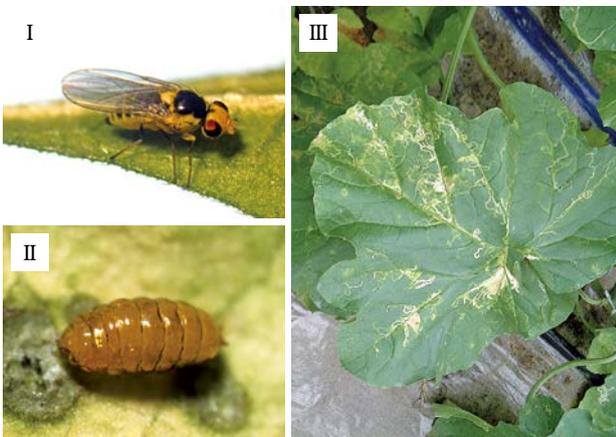


図-3 ナスハモグリバエの成虫 (I), 蛹 (II) および
メロンの被害葉 (III)

び愛知県で初めて発見され (西東, 1992), その後, 本種は九州・沖縄地域から東北地域まで, 一気に地理的分布を拡大させた (小澤, 2000)。主にキク, トマト, ナス, ガーベラ等の作物に大きな被害を与えた (西東, 1993)。京都府では本種の発生は, トマトハモグリバエの侵入後に少なくなっている (TOKUMARU et al., 2007; 徳丸, 2010)。

3 ナスハモグリバエ *Liriomyza bryoniae* (KALTENBACH) (図-3)

ヨーロッパ (SPENCER, 1973), エジプト, イスラエル (MINKENBERG and van LENTEREN, 1986) および台湾 (SHANLEE et al., 1992) に分布し, ヨーロッパでは施設トマトの重要害虫として扱われ (SPENCER, 1973), 台湾では 36 種の農作物において発生が確認されている (SHANLEE et al., 1992)。我が国では, ナスやトマトでの発生が知られ (SASAKAWA, 1954; 笹川, 1966), メロン (池田・大石, 1987), ジャガイモ (春木・富岡, 1962) 等で問題になることがある。本種は, トマトでは主に春から夏にかけて発生する (TOKUMARU et al., 2007)。

4 アシグロハモグリバエ *Liriomyza huidobrensis* (BLANCHARD)

南米大陸を原産地とし, ヨーロッパ (SPENCER, 1973), イスラエル (WEINTRAUB and HOROWITZ, 1995), インドネシア, 台湾 (SHIAO and WU, 2000), 中国 (JIANG et al., 1997) 等へ侵入した。我が国では, 2001 年に北海道および山口県で初めて発生が確認され, これまでに北日本地域のキュウリ, ホウレンソウ, ネギ, カーネーション, キク, テンサイで発生が確認されている (岩崎ら, 2004)。2019 年 8 月現在, 本種の地理的分布は北日本を中心にした一部地域に限定されている。

5 ネギハモグリバエ *Liriomyza chinensis* (KATO) (図-4)

海外では, 中国, マレーシア, シンガポール, タイ (SPENCER, 1973; 1990), ベトナム (ANDERSEN et al., 2002; TRAN and TAKAGI, 2005), バングラデシュ (MAZUMDAR and BHUIYA, 2014), 台湾 (SHIAO, 2004) および韓国 (HWANG and MOON, 1995) においてネギ, タマネギ等のネギ亜科作物の重要害虫となっている。我が国では, 京都府 (徳丸・岡留, 2004 a), 福岡県 (山村, 2004) および大分県 (甲斐, 2002) の葉ネギ栽培地域で多発し, 北海道のタマネギでは幼虫が葉身だけでなく鱗片も加害することが報告されている (北海道立総合研究機構 中央農業試験場病虫予察診断グループ, 2015)。本種はネギでは 6~9 月にかけて発生が多くなる (徳丸・岡留, 2004 b)。また, 本種には遺伝的に異なる系統が存在する (徳丸・上杉, 2019)。

6 ナモグリバエ *Chromatomyia horticola* (GOUREAU)

別名をエンドウハモグリバエとも呼び, エンドウマメ (戸川・水越, 1999), インゲンマメ (香川, 2001) およ

びレタス（豊嶋，2003）での発生が多い。本種は，秋期から発生し，春期に多発する（藤原ら，2007）が，夏期には発生は見られなくなる。

II 生物学的特性

1 発育

表-1に6種ハモグリバエの産卵から羽化までの発育所要日数を示した。産卵から羽化までの発育所要日数は，種によって異なり，6種ともに温度が高くなるほど短くなる。また，産卵から羽化までの発育零点は，トマトハモグリバエが最も高く，マメハモグリバエ，ネギハモグリバエ，ナスハモグリバエ，アシグロハモグリバエ，ナモグリバエの順に低くなり，トマトハモグリバエおよびマメハモグリバエは，他種に比べて，より高温に適応した種であると考えられている。

2 増殖能力

表-2に5種ハモグリバエ雌成虫の総産卵数，寿命および内的自然増加率を示した。総産卵数，寿命および内的自然増加率もハモグリバエの種によって異なり，特に外来種であるトマトハモグリバエおよびマメハモグリバエの増殖能力は高い。

3 寄主植物

6種ハモグリバエのうちトマトハモグリバエ，マメハモグリバエ，ナスハモグリバエ，アシグロハモグリバエおよびナモグリバエは，ナス科，ウリ科，アブラナ科等

の広範囲にわたる農作物を加害する（徳丸，2018）（表-3）。トマトでは，トマトハモグリバエ，マメハモグリバエおよびナスハモグリバエが3種もしくは2種が同時に発生することが確認されている（Abe and KAWAHARA, 2001；Tokumaru et al., 2007）。一方でネギハモグリバエの寄主植物は，ネギ亜科の作物に限定される（表-3）。

III 生産現場での簡易識別法

6種ハモグリバエは，卵，幼虫，蛹および成虫の形態が酷似しており，肉眼で見分けることは非常に困難である（徳丸，2018）。一方で，6種ハモグリバエの生物学的特性および殺虫剤感受性は種により異なる（徳丸，2010）。このためハモグリバエを効率的に防除するためには，正確な発生種の把握が必要となる。

生産現場において，ハモグリバエの種を簡易に識別する方法として，寄主植物によりある程度絞り込むことができる。ネギ亜科のネギ，タマネギ，ラッキョウ，ニラ等を加害するハモグリバエは，ネギハモグリバエに限定される（表-3）。北日本地域ではアシグロハモグリバエが発生する可能性があるが，本種が未発生の地域ではネギハモグリバエである可能性が高い。また，10月から翌年の6月ころまでに栽培されるアブラナ科のハクサイ，ダイコンおよびキャベツ，マメ科のエンドウでは，ナモグリバエが主に発生する。レタスでは，ナモグリバエが主に発生する。しかし，他の寄主植物では，複数種

表-1 6種ハモグリバエの産卵から羽化までの発育所要日数，発育零点および有効積算温度

種名	寄主植物	産卵から羽化までの発育所要日数（日）						発育零点（℃）	有効積算温度（日度）	文献
		15℃	18℃	20℃	25℃	30℃	35℃			
トマトハモグリバエ	インゲンマメ	59.3	30.5	29.9	16.5	13.0	×	10.7	248.1	1
マメハモグリバエ	インゲンマメ	53.1	28.2	25.6	16.5	12.5	×	9.8	251.3	1
ナスハモグリバエ	インゲンマメ	51.6	29.9	25.5	19.3	×	—	8.1	316.5	1
アシグロハモグリバエ	ソラマメ	44.3	—	21.7	14.9	13.5	×	6.1*	307.5*	2
ネギハモグリバエ	ネギ	68.3	46.0	35.7	23.3	19.4	—	9.1	393.6	3
ナモグリバエ	サヤエンドウ	30.4	—	18.8	14.3	—	—	6.0	270.2	4

1：徳丸・阿部（2003），2：Mujica et al.（2017），3：徳丸（2016），4：水越・戸川（1999），×：羽化せず，—：データなし，*：発育所要日数から算出。

表-2 5種ハモグリバエの増殖能力

種名	寄主植物	1雌当たりの総産卵数	雌成虫の平均寿命（日）	内的自然増加率	文献
トマトハモグリバエ	インゲンマメ	639.6	28.1	0.21	1
マメハモグリバエ	インゲンマメ	203.6	18.6	0.17	1
ナスハモグリバエ	インゲンマメ	91.4	9.0	0.12	1
ネギハモグリバエ	ネギ	115.5	12.9	0.11	2
ナモグリバエ	コマツナ	547.6	19.7	—	3

1：徳丸・阿部（2003），2：徳丸（2016），3：MITSUNAGA et al.（2006），—：データなし。

表-3 我が国で確認された6種ハモグリバエの寄主植物

種名	作物名
トマトハモグリバエ	ジャガイモ, ダイズ, <u>インゲンマメ</u> , アズキ, ササゲ, エンドウ, ソラマメ, トウガラシ, ピーマン, <u>ナス</u> , <u>トマト</u> , <u>キュウリ</u> , <u>メロン</u> , シロウリ, マクワウリ, ヘチマ, ズッキーニ, スイカ, カボチャ, ダイコン, ハクサイ, キャベツ, カブ, ブロッコリー, カリフラワー, コマツナ, ミズナ, ミブナ, ゴボウ, <u>シュンギク</u> , オクラ, キク, ペチュニア, ダリア, ヒヤクニチソウ, アスター, キンセンカ, マリーゴールド
マメハモグリバエ	ジャガイモ, ダイズ, <u>インゲンマメ</u> , アズキ, ササゲ, エンドウ, ソラマメ, <u>ナス</u> , <u>トマト</u> , キュウリ, <u>メロン</u> , シロウリ, マクワウリ, スイカ, カボチャ, ダイコン, ハクサイ, キャベツ, <u>チンゲンサイ</u> , カブ, カリフラワー, コマツナ, タマネギ, ネギ, ニンニク, <u>シュンギク</u> , ニンジン, セロリ, オクラ, <u>キク</u> , <u>ガーベラ</u> , アスター, マリーゴールド, ヒマワリ, ホオズキ, シュッコンカスミソウ
ナスハモグリバエ	ジャガイモ, インゲンマメ, エンドウ, ソラマメ, ナス, <u>トマト</u> , キュウリ, <u>メロン</u> , シロウリ, マクワウリ, スイカ, カボチャ, ダイコン, ハクサイ, キャベツ, カブ, カリフラワー, コマツナ, タマネギ, ネギ, ニンニク, シュンギク, セロリ, ダリア, トルコギキョウ, シュッコンカスミソウ
アシグロハモグリバエ	ジャガイモ, ダイズ, インゲンマメ, アズキ, ササゲ, エンドウ, ソラマメ, トウガラシ, ピーマン, <u>トマト</u> , <u>キュウリ</u> , シロウリ, マクワウリ, スイカ, カボチャ, ダイコン, ハクサイ, キャベツ, カブ, カリフラワー, <u>ネギ</u> , ニンニク, <u>タマネギ</u> , レタス, セロリ, フダンソウ, <u>ホウレンソウ</u> , <u>テンサイ</u> , キク, アスター, マリーゴールド, ヒマワリ, トルコギキョウ, カーネーション, セキチク, ナデシコ, シュッコンカスミソウ
ネギハモグリバエ	タマネギ, <u>ネギ</u> , ニラ, ニンニク, ラッキョウ, ワケギ
ナモグリバエ	ダイズ, インゲンマメ, アズキ, ササゲ, <u>エンドウ</u> , ソラマメ, ナス, キュウリ, メロン, ダイコン, <u>ハクサイ</u> , キャベツ, カブ, カリフラワー, <u>ネギ</u> , シュンギク, <u>レタス</u> , マメ科牧草, キク, ダリア, アスター, キンセンカ, マリーゴールド, スイートピー, ストック, ハイビスカス, ムクゲ, フヨウ

二重下線：発生頻度が比較的高い。
徳丸（2018）を一部改変。

	トマトハモグリバエ	マメハモグリバエ	ナスハモグリバエ	アシグロハモグリバエ	ナモグリバエ
食害痕の形状				破線型	
	蛇行型	渦巻き型	破線型		蛇行型
食害痕中の糞の色	濃黒色で線状	薄黒色で線状	薄黒色で線状	薄黒色で線状	薄黒色で点状
蛹化場所	土中	土中		土中	
			葉裏上		葉裏中

図-5 5種ハモグリバエの食害痕と蛹化場所

のハモグリバエが同時に発生する可能性があるため、寄主植物での識別は困難であり、食害痕（徳丸，2005）や葉裏における蛹の有無により識別する（徳丸，2018）。

図-5に5種ハモグリバエの食害痕および蛹化の特徴を示した。5種ハモグリバエのうち、トマトハモグリバエとナモグリバエの食害痕は蛇行型、マメハモグリバエ

は渦巻き型、ナスハモグリバエおよびアシグロハモグリバエは葉の表側や裏側を食害する破線型に分けられる。また、食害痕中の糞の色を観察すると、トマトハモグリバエは濃黒色、マメハモグリバエはトマトハモグリバエよりも薄い黒色、ナスハモグリバエおよびアシグロハモグリバエはマメハモグリバエよりもさらに薄い黒色の糞

を線状に排出する。ナモグリバエの糞は線状ではなく点状に排出される。さらに、葉の裏側で蛹化する場合には、ナスハモグリバエの可能性が高く、ナモグリバエは葉裏の中で蛹化する。

なお、上記の簡易識別法は、生産現場で行うことを目的に示しており、100%識別できる方法ではない。したがって、正確な種の同定は雄成虫の生殖器先端部の形状観察 (ABE and KAWAHARA, 2001; 岩崎ら, 2004) や PCR 法 (NAKAMURA et al., 2012) により行う必要がある。

IV 防除対策

ハモグリバエ類は多発後の防除は困難になる。また、葉菜・花きでは、わずかな食害で生産物の品質は著しく低下する。したがって、ハモグリバエ類の防除は発生初期からの防除が重要となる。また、6種ハモグリバエのうち、トマトハモグリバエ (MASON et al., 1987) およびマメハモグリバエ (MINKENBERG and van LENTEREN, 1986)

は、殺虫剤抵抗性を発達させた個体群の発生が世界各地で問題となっている。我が国では、マメハモグリバエのイソキサチオンに対する感受性低下 (西東ら, 1994) や、ナモグリバエの殺虫剤感受性低下 (SARRO, 2004) がそれぞれ報告されている。さらに、6種ハモグリバエ類には多種類の土着捕食寄生バチの存在が確認されている。このため、土着捕食寄生バチを温存した化学的防除法および物理的防除法を組合せた総合防除を考慮した防除体系を構築する必要がある。

1 化学的防除法

6種ハモグリバエの殺虫剤感受性は、ハモグリバエの個体群、発育段階および殺虫剤の種類により異なる (徳丸, 2010)。また、6種のうち、トマトハモグリバエ、マメハモグリバエ、アシグロハモグリバエ、ネギハモグリバエおよびナモグリバエに対して殺虫効果の高い剤は異なり、限定される (徳丸, 2010) (表-4)。したがって、正確に発生種を把握したうえで殺虫剤の選定を行う。

表-4 6種ハモグリバエの発育段階別の殺虫剤感受性

IRAC コード	殺虫剤名	希釈 倍数	トマト ハモグリバエ			マメ ハモグリバエ			ナス ハモグリバエ			アシグロ ハモグリバエ		ネギ ハモグリバエ			ナモグリバエ	
			卵	幼虫	成虫	卵	幼虫	成虫	卵	幼虫	成虫	幼虫	成虫	卵	幼虫	成虫	幼虫	成虫
			1B	アセフェート水和剤	1,000	×	◎	×	×	◎	×	○	◎	◎	-	-	×	×
	イソキサチオン乳剤	1,000	×	◎	○	◎	◎	○	◎	◎	◎	-	-	×	×	×	◎	◎
	クロルピリホス水和剤	1,000	◎	◎	◎	△	◎	△	○	◎	◎	-	-	◎	×	△	◎	◎
	フェニトロチオン乳剤	1,000	-	○	-	-	△	-	-	◎	-	-	-	-	-	-	-	-
3A	エトフェンプロックス乳剤	1,000	×	△	○	×	◎	○	×	◎	○	-	-	○	×	◎	◎	◎
	シベルメトリン乳剤	1,000	×	○	△	×	○	×	△	◎	◎	-	-	◎ ¹⁾	× ¹⁾	○ ¹⁾	◎	×
	ベルメトリン乳剤	1,000	-	△	-	-	◎	-	-	○	-	-	-	-	-	-	-	-
4A	アセタミプリド水溶剤	2,000	×	×	×	×	△	×	×	×	×	-	-	×	×	×	×	×
	イミダクロプリド水和剤	2,000	-	×	-	-	×	-	-	△	-	-	-	-	-	-	-	-
	クロチアニジン水溶剤	1,000	△	△	×	◎	◎	△	◎	◎	○	×	○ ¹⁾	○	○	×	×	×
	ジノテフラン水溶剤	2,000	△	×	×	○	○	×	◎	◎	×	-	-	△	×	×	△	×
	チアメトキサム水溶剤	2,000	△	△	×	○	△	×	◎	◎	×	-	-	△	×	×	×	×
	ニテンピラム水溶剤	1,000	△	○	×	◎	○	×	◎	◎	△	-	-	○	○	×	×	×
5	スピノサド水和剤	5,000	△	◎	◎	○	◎	○	○	◎	○	-	-	×	×	○	◎	○
6	エマメクチン安息香酸塩乳剤	2,000	○	◎	○	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎	○	×	○	◎	◎
	ミルベメクチン乳剤	1,500	△	◎	×	△	◎	×	○	○	×	-	-	×	×	×	◎	×
13	クロルフェナピル水和剤	2,000	-	◎	-	-	△	-	-	◎	-	-	-	-	-	-	-	-
14	カルタップ水溶剤	1,000	×	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	◎	△
	チオシクロラム水和剤	1,000	◎	◎	◎	×	◎	◎	○	◎	◎	-	-	◎	◎	△	◎	◎
15	フルフェノクスロン乳剤	2,000	△	○	×	×	○	×	×	△	×	○	×	◎	×	×	×	×
	ルフェスロン乳剤	2,000	-	◎	-	-	◎	-	-	△	-	-	-	-	-	-	-	-
17	シロマジン液剤	1,000	×	◎	×	×	◎	×	×	◎	△	◎	×	◎	○	×	◎	×
21A	トルフェンピラド乳剤	1,000	×	△	×	×	○	×	○	◎	◎	-	-	×	×	×	◎	○
un	ピリダリル水和剤	1,000	×	◎	○	×	◎	○	×	◎	○	-	-	△	×	×	○	◎
	文献			1			1			1			2			3		4

◎：死虫率が90%以上，○：70～89%，△：50～69%，×：49%以下，-：データなし。

¹⁾：希釈倍数は2,000。

1：徳丸ら (2005 b)，2：荒川ら (2011)，3：徳丸・岡留 (2004 a)，4：徳丸・山下 (2004)。

2 物理的防除法

ハモグリバエ類の成虫は、黄色に誘引される（西東, 1983; 多々良・古木, 1994）。この習性を利用した黄色粘着ロール（図-6）の施設内外での展張によるハモグリバエ類の侵入抑制効果が確認されている（徳丸ら, 2005 a）。また、防虫ネット（市川ら, 1996）および近紫外線カットフィルム（井口, 2001）の利用によるハモグリバエ類の施設内侵入抑制効果、ならびに太陽熱を利用した土壌消毒（田中ら, 2000）もハモグリバエ類に対する物理的防除法として有効である。

3 生物的防除法

ヨーロッパではハモグリバエ類の捕食寄生バチを用いた生物的防除が行われている。我が国では、施設トマトやキュウリ等で、イサエアヒメコバチ *Diglyphis isaea* (WALKER) とハモグリコマユバチ *Dacnusa sibirica* TELENGA, およびハモグリミドリヒメコバチ *Neochrysocharis formosa* (WESTWOOD) による高い防除効果が確認されている（柴尾ら, 1996; 小澤ら, 2001; 徳丸, 2018）。

また、近年は土着天敵の保護利用の重要性が注目され（広瀬, 2003）、6種ハモグリバエの土着捕食寄生バチ相が精力的に調べられた（表-5）。その結果、トマトハモグリバエ（徳丸・阿部, 2006）、マメハモグリバエ（ARAKAKI and KINJO, 1998; 徳丸・阿部, 2006; 小西, 2011）およびナスハモグリバエ（徳丸・阿部, 2006）では、ハモグリミドリヒメコバチおよびハモグリヤドリヒメコバチ *Chrysocharis pentheus* (WALKER), ネギハモグリバエでは、イサエアヒメコバチ（徳丸, 2006）、*Hemiptarsenus zilahibessi* ERDÖS（山村, 2004）およびカトウヒメコバチ *Pnigalio katonis* (ISHII)（徳丸, 2006）、ナモグリバエ（小西, 2011）では、イサエアヒメコバチおよびハモグリヤドリヒメコバチがそれぞれ優占種として報告されている。



図-6 施設トマト内に設置された黄色粘着ロール

おわりに

我が国の6種ハモグリバエの生態的特性については、マメハモグリバエが我が国に侵入した1990年以降、急速に解明が進んだ。しかし、2003年に我が国で初めて発生が確認されたアシグロハモグリバエについては不明な点が多く、今後詳細に調べる必要がある。また、2019年には、ネギハモグリバエの別系統の発生が京都府、富山県および茨城県で確認されている（徳丸・上杉, 2019）。本系統の生態的特性についても不明な点が多く、今後、従来系統と比較して調べる必要がある。

ハモグリバエ類の防除法については、6種の殺虫剤感受性が種別に調べられ、殺虫効果の高い殺虫剤は農薬登録が進められた。また、6種ハモグリバエの土着捕食寄生バチ相も明らかになり、防虫ネット、黄色粘着ロール等の物理的防除法と組合せた土着捕食寄生バチを最大限活用したハモグリバエ類の総合防除技術の確立に向けた取り組みが進められている。さらに、ハモグリバエ類に対する新しい物理的防除法として青色LEDを使った防除技術（堀, 2018）や捕獲効率の高いエッジ効果を利用した防除技術（弘中ら, 2018）の開発も進められている。

2019年8月現在、我が国におけるハモグリバエ類の発生は1990~2000年代初めころまでに比べると沈静化していると考えられる。今後、本稿が各地域で発生している6種ハモグリバエの効率的な防除に役立てれば幸いである。

引用文献

- 1) ABE, Y. and T. KAWAHARA (2001): Appl. Entomol. Zool. **36**: 277~281.
- 2) ANDERSEN, A. et al. (2002): Trop. Agric. (Trinidad) **79**: 241~246.
- 3) ARAKAKI, N. and K. KINJO (1998): Appl. Entomol. Zool. **33**: 577~581.
- 4) 荒川賢良ら (2011): 植防研報 **47**: 33~36.
- 5) CHEN, Y. et al. (1998): Wuyi Sci. J. **14**: 185~188.
- 6) DEEMING, J. C. and D. J. MANN (1999): Entomologists Mon. Mag. **135**: 205~206.
- 7) 藤原亮介ら (2007): 関西病虫研報 **49**: 97~99.
- 8) HAN, M. J. et al. (1996): Korean J. Appl. Entomol. **35**: 309~314.
- 9) 春木 保・富岡 暢 (1962): 北日本病虫研報 **13**: 103~104.
- 10) 弘中満太郎ら (2018): 植物防疫 **72**: 112~116.
- 11) 広瀬義躬 (2003): 植物防疫 **57**: 491~494.
- 12) 北海道立総合研究機構 中央農業試験場病虫部予察診断グループ (2015): 北農 **82**: 116~133.
- 13) 堀 雅敏 (2018): 植物防疫 **72**: 98~102.
- 14) HWANG, C. Y. and C. MOON (1995): Korean J. Appl. Entomol. **34**: 65~69.
- 15) 市川耕治ら (1996): 愛知農総試研報 **28**: 177~187.
- 16) 井口雅裕 (2001): 関西病虫研報 **43**: 47~48.
- 17) 池田二三高・大石剛資 (1987): 昆虫学会東海支部報 **40**: 8~9.
- 18) 岩崎暁生ら (2000): 植物防疫 **54**: 142~147.
- 19) ———ら (2004): 同上 **58**: 13~19.

表-5 我が国で確認された6種ハモグリバエの主な土着捕食寄生バチ相

科名・種名	トマト	マメ	ナス	アシゲロ	ネギ	ナモグリバエ
	ハモグリバエ	ハモグリバエ	ハモグリバエ	ハモグリバエ	ハモグリバエ	
コマユバチ科 Braconidae						
<i>Dacnusa nipponica</i> ニホンハモグリコマユバチ	-	+	-	+	-	+
<i>Dacnusa sasakawai</i> ササカワハモグリコマユバチ	+	+	+	+	-	+
<i>Opius</i> spp.	+	+	+	+	-	+
ツヤヤドリタマバチ科 Eucolidae						
<i>Kleidotoma</i> sp.	-	+	-	-	-	-
<i>Gronotoma micromorpha</i> コガタツヤヤドリタマバチ	-	+	-	-	-	-
コガネコバチ科 Pteromalidae						
<i>Halticoptera circulus</i> ハモグリコガネコバチ	+	+	+	+	+	+
<i>Sphegigaster hamugurivora</i>	+	+	+	-	-	+
<i>Thinodytes cyzicus</i>	-	-	-	-	-	+
<i>Trichomalopsis oryzae</i>	+	+	-	-	-	+
ヒメコバチ科 Eulophidae						
<i>Ableurotropis kumatai</i>	-	+	-	-	-	-
<i>Asecodes erxias</i>	+	+	+	+	-	+
<i>Asecodes delucchii</i>	-	+	-	-	-	-
<i>Chrysocharis pentheus</i> ハモグリヤドリヒメコバチ	+	+	+	+	+	+
<i>Chrysocharis pubicornis</i>	+	+	+	+	-	+
<i>Chrysocharis ujiyei</i>	-	-	-	-	-	+
<i>Chrysocharis viridis</i>	+	-	-	+	-	+
<i>Cirrospilus vittatus</i> オジマコバチ	-	-	-	+	-	+
<i>Closterocerus lyonetae</i>	-	+	-	+	-	+
<i>Closterocerus trifasciatus</i>	+	+	-	-	+	+
<i>Diglyphus albiscapus</i>	+	+	+	+	-	+
<i>Diglyphus crassinervis</i> ネギハモグリヒメコバチ	-	-	-	-	+	+
<i>Diglyphus isaea</i> イサエアヒメコバチ	+	+	+	+	+	+
<i>Diglyphus minoens</i>	+	+	-	+	-	+
<i>Diglyphus pusztensis</i>	+	+	+	-	-	+
<i>Hemiptarsenus varicornis</i> カンムリヒメコバチ	+	+	-	-	-	+
<i>Hemiptarsenus zilahisebessi</i>	-	-	-	-	+	-
<i>Neochrysocharis formosa</i> ハモグリミドリヒメコバチ	+	+	+	+	+	+
<i>Neochrysocharis okazakii</i>	+	+	+	+	+	+
<i>Neochrysocharis</i> spp.	+	+	+	+	-	+
<i>Oomyzus</i> sp.	-	+	-	-	-	-
<i>Pediobius metallicus</i>	-	+	+	-	-	+
<i>Pnigalio katonis</i> カトウヒメコバチ	-	+	+	+	+	+
<i>Quadrastichus liriomyzae</i>	-	+	-	-	-	-
<i>Quadrastichus</i> sp.	+	+	-	-	-	+
<i>Stenomesisus japonicus</i> キイロホソコバチ	-	+	-	-	-	+

+ : 寄生する。 - : 寄生しないまたは未確認。

徳丸・阿部 (2006), 徳丸 (2006), 小西 (2011), 大井田・河名 (2017) を基に作成。

- 20) JIANG, X. et al. (1997): *Plant Quarantine* **11**, suppl. 20~22.
- 21) 香川晴彦 (2001): 今月の農業 **45**(5): 94~97.
- 22) 甲斐伸一郎 (2002): 同上 **46**(9): 74~78.
- 23) 小西和彦 (2011): 絵かき虫の生物学, 北隆館, 東京, p.144~154.
- 24) LAKSHMINARAYANA, M. et al. (1992): *J. Oilseeds Res.* **9**: 175~176.
- 25) LEDIEU, M. S. and N. L. HELYER (1985): *Agric. Ecosystems Environ* **13**: 103~109.
- 26) MARTINEZ, M. (1994): *Bull. Soc. Entomol. Fr.* **99**(4): 356.
- 27) MASON, G. A. et al. (1987): *J. Econ. Entomol.* **80**: 1262~1266.
- 28) MAZUMDAR, S. and B. A. BHUIYA (2014): *J. Threatened Taxa* **6**: 5894~5899.
- 29) MINKENBERG, O. P. J. M. and J. C. van LENTEREN (1986): *Agric. Univ. Wageningen Papers* **86**(2): 1~50.
- 30) MITSUNAGA, T. et al. (2006): *Appl. Entomol. Zool.* **41**: 277~285.
- 31) 水越 亨・戸川 浩 (1999): 北日本病虫研報 **50**: 169~172.
- 32) MUJICA, N. et al. (2017): *J. Econ. Entomol.* **110**: 1333~1344.
- 33) NAKAMURA, S. et al. (2012): *Mol. Ecol. Resour.* **13**: 96~102.
- 34) 大井田 寛・河名利幸 (2017): 応動昆 **61**: 233~241.
- 35) 小澤朗人 (2000): 農業および園芸 **75**: 174~180.
- 36) ———ら (2001): 応動昆 **45**: 61~74.
- 37) 西東 力 (1983): 関西病虫研報 **25**: 14~15.
- 38) ——— (1992): 植物防疫 **46**: 103~106.
- 39) ——— (1993): 農業および園芸 **68**: 47~50.
- 40) SAITO, T. (2004): *Appl. Entomol. Zool.* **39**: 203~208.
- 41) 西東 力ら (1994): 関西病虫研報 **41**: 243~244.
- 42) SASAKAWA, M. (1954): *Scient. Rep. Saikyo Univ., Agric.* **6**: 106~130.
- 43) 笹川満廣 (1966): 植物防疫 **20**: 181~184.
- 44) SHANLEE, H. et al. (1992): *J. Entomol. Spec. Publ.* **4**: 53~58.
- 45) SHIAO, S. F. (2004): *Appl. Entomol. Zool.* **39**: 27~39.
- 46) SHIAO, S. and W. WU (2000): *Plant Prot. Bull., Taiwan* **42**: 249~254.
- 47) 柴尾 学ら (1996): 関西病虫研報 **38**: 31~32.
- 48) SPENCER, K. A. (1973): *Agromyzidae (Diptera) of Economic Importance*, Dr. W. Junk, The Hague, 405 pp.
- 49) ——— (1990): *Host Specialization in the World Agromyzidae (Diptera)*, Kluwer Academic Publ., Dordrecht, 444 pp.
- 50) 田中 寛ら (2000): 応動昆 **44**: 225~228.
- 51) 多々良明夫・古木孝典 (1994): 関西病虫研報 **41**: 235~237.
- 52) 戸川 浩・水越 亨 (1999): 北日本病虫研報 **50**: 173~175.
- 53) 徳丸 晋 (2005): 第10回農林害虫防除研究会報告—石川大会—: p.29 (講要).
- 54) ——— (2006): 応動昆 **50**: 63~65.
- 55) ——— (2008): 関西病虫研報 **50**: 55~59.
- 56) ——— (2010): 植物防疫 **64**: 782~785.
- 57) ——— (2016): 応動昆 **60**: 189~196.
- 58) ——— (2018): ハモグリバエ防除ハンドブック—6種を見分けるフローチャート付—, 農山漁村文化協会, 東京, 103 pp.
- 59) ———・阿部芳久 (2001): 植物防疫 **55**: 64~66.
- 60) ———・——— (2003): 応動昆 **47**: 127~134.
- 61) ———・——— (2006): 同上 **50**: 341~345.
- 62) ———・岡留和伸 (2004 a): 関西病虫研報 **46**: 23~27.
- 63) ———・——— (2004 b): 京都農研報 **26**: 1~6.
- 64) ———・山下幸司 (2004): 関西病虫研報 **46**: 91~94.
- 65) ———・上杉龍士 (2019): 植物防疫 **73**: 581~583.
- 66) ———ら (2005 a): 関西病虫研報 **47**: 133~135.
- 67) ———ら (2005 b): 応動昆 **49**: 1~10.
- 68) TOKUMARU, S. et al. (2007): *Appl. Entomol. Zool.* **42**: 317~327.
- 69) 豊嶋悟郎 (2003): 今月の農業 **47**(7): 46~49.
- 70) TRAN, D. H. and M. TAKAGI (2005): *J. Fac. Agr. Kyushu Univ.* **50**: 375~382.
- 71) WANG, C. L. and F. C. A. LIN (1988): *J. Agric. Res. China* **37**: 453~457.
- 72) WEINTRAUB, P. G. and A. R. HOROWITZ (1995): *Phytoparasitica* **23**: 177~184.
- 73) 山村裕一郎 (2004): 今月の農業 **48**(12): 46~49.

植	物	
	防	疫
講	座	

農薬編-21

抵抗性誘導剤（プラントアクチベーター）

Meiji Seika ファルマ株式会社 うめ梅 むら村 けん賢 し司

はじめに

抵抗性誘導剤は、プラントアクチベーターとも呼ばれ、植物の病害抵抗性を高めることで防除効果を発揮するタイプの農薬であり、FRAC (Fungicide Resistance Action Committee) の作用機構コードでは「グループ P (宿主植物の抵抗性誘導)」に分類される (農薬工業会, 2019; 表-1)。通常の農薬が対象病害虫を標的とするのに対し、抵抗性誘導剤の防除効果は、植物が本来有している自己防御機構の活性化に基づいており、耐性菌の発生リスクは低いと考えられる。また、非標的病害虫への作用も低いことを含めて、生態系への影響が低いことから、通常の農薬の概念とは異なる防除剤である。このような特徴を有する抵抗性誘導剤の開発研究は、病原菌に対する宿主植物の防御機構の解析研究と併行して行われてきたが、国内で抵抗性誘導剤が普及しているのは、イネいもち病防除場面にほぼ限定される。本稿では、抵抗性誘導剤の創製の経緯、処理方法と普及、安全性、薬剤抵抗性、推定される作用メカニズムについて解説する。

I 創製の経緯

抵抗性誘導剤が実用化されたのは、プロベナゾールがイネいもち病防除剤として 1974 年に登録されたのが最初である。その当時のイネいもち病防除剤は、抗生物質や有機リン系の薬剤が主流であり、いもち病菌に抗菌活性を示さないプロベナゾールの作用メカニズムは不明で、当然ながら抵抗性誘導剤との言葉は存在しなかった。登録翌年の販売から 45 年ほど経過したプロベナゾールであるが、現在でもイネいもち病防除剤として基幹薬剤の地位を保っている。この理由として、①イネいもち病に対して長期間にわたって高い防除効果を示す、②耐性菌が未発生である、③省力化への対応をはじめ、現場で

求められる製剤が適宜開発された、こと等が挙げられる。

表-2 に示すように、プロベナゾール [FRAC コード: P02] が開発されて約四半世紀を経たころから、新たな抵抗性誘導剤が国内で開発されるようになり、1998 年にアシベンゾラル S-メチル [P01]、2003 年にチアジニル [P03]、2010 年にイソチアニル [P03] が、いずれもイネいもち病防除剤として登録された。抵抗性誘導型のイネいもち病防除剤の開発が国内に進んだのは、イネいもち病防除剤の市場規模が大きいことに加え、プロベナゾールの有効性が広く認知されたためと考えられる。その中で、アシベンゾラル S-メチルは、国内登録より 2 年前の 1996 年に、ムギうどんこ病防除剤としてヨーロッパで登録され、現在でもフランス、イタリア、英国、米国、ブラジル等で、べと病や各種細菌病に登録されている。また、国内でも 2018 年までにキャベツやハクサイの黒斑細菌病で登録を取得する一方で、イネいもち病防除剤としての登録は、2006 年にすべての含有薬剤が失効している。このため、現時点での抵抗性誘導剤型のイネいもち病防除剤は、プロベナゾール、チアジニル、イソチアニルの 3 剤である。いもち病防除の主たる防除法である育苗箱への薬剤処理では、播種時～移植当日の期間中に薬剤を処理することで、本田移植後からいもち病の発生しやすい梅雨明けの期間まで薬効を持続させる必要があり、必然的に薬剤選択圧が長期化する。このため育苗箱処理剤として開発された MBI-D 剤 (シタロン脱水酵素阻害型のメラニン生合成阻害剤) や QoI 剤 (ストロビルリン系薬剤) では、その普及に伴って耐性菌が発生した。一方、抵抗性誘導剤では耐性菌の発生が認められていないため、現在の育苗箱処理における抵抗性誘導剤の使用は 7 割を超えている (梅村, 2016)。

欧米では、P01～03 の化学合成系抵抗性誘導剤で登録されているのはアシベンゾラル S-メチルのみであるが、化学農薬の各種規制強化に伴って天然物を利用する流れを受けて、10 年程前から抵抗性誘導剤でも天然系の薬剤が開発されるようになった。2009 年にラミナリン [P04]、2013 年にオオイタドリ抽出物 [P05]、2014 年に酵母 LAS11 株細胞壁 [P06]、2017 年にバチルス・マイコイ

Review of Plant Activators (FRAC Group P: Host Plant Defense Induction). By Kenji UMEMURA

(キーワード: 抵抗性誘導剤, プラントアクチベーター, 宿主植物の抵抗性誘導, プロベナゾール, アシベンゾラル S-メチル, チアジニル, イソチアニル, 全身獲得抵抗性 (SAR), サリチル酸 (SA), エリシター, プライミング効果)

表-1 FRACによる殺菌剤の作用機構分類（一部抜粋，改変）

作用機構	作用点とコード	化学グループ名	有効成分名	農薬名（例） （剤型省略）	耐性のリスク	FRAC コード
P：寄主植物 の抵抗性誘導	P1：サルチル酸 シグナル伝達	ベンゾチアゾール (BTH)	アシベンゾラル S-メチル	アクティガード	耐性は知られていない	P01
	P2：サルチル酸 シグナル伝達	ベンゾイソチアゾール	プロベナゾール	オリゼメート Dr. オリゼ	耐性は知られていない	P02
	P3：サルチル酸 シグナル伝達	チアジアゾールカ ルボキサミド	チアジニル	ブイゲット	耐性は知られていない	P03
			イソチアニル	ルーチン スタウト	耐性は知られていない	
	P4：多糖類エリ シター	多糖類	ラミナリン(海藻抽出物)		耐性は知られていない	P04
	P5：アントラキ ノンエリシター	混合物，エタノール抽出液（アントラキノン類，レスベラトロール）	オオイタドリ抽出液		耐性は知られていない	P05
	P6：微生物エリ シター	細菌 バチルス属 I	バチルス マイコイデス 分離株 J		耐性は知られていない	P06
真菌 サッカロミセス属		サッカロミセス セレビシヤ LAS117 株の細胞壁		耐性は知られていない		
P7：ホスホナート	エチルホスホナート類	ホセチル	アリエッティ	いくつかの病原菌で耐性の報告がある 低い耐性リスク 2018年にUの33から分類変更	P07	
		亜リン酸および塩				

表-2 グループ P に属する殺菌剤の主要対象病害と登録状況

一般名	主要対象病害（作物/病害）	主要対象病害の登録	
		登録国	登録年
アシベンゾラル S-メチル	(イネ/いもち病)	日本	(1998~06年)
	キャベツ・はくさい/黒斑細菌病 小麦/うどんこ病，野菜/斑点細菌病		2018年～
		EU, US	1996年～
プロベナゾール	イネ/いもち病，野菜/軟腐病，黒腐病，斑点細菌病	日本	1974年～
チアジニル	イネ/いもち病	日本，韓国	2003年～
イソチアニル	イネ/いもち病	日本	2010年～
ラミナリン（海藻抽出物）	果樹/火傷病，腐敗病	US	2009年～
オオイタドリ抽出物（植物抽出液）	野菜/うどんこ病，灰色かび病	EU	2013年～
バチルス・マイコイデス分離株 J	てんさい/褐斑病	US	2017年～
酵母 LAS117 株の細胞壁	レタス/べと病	EU	2014年～
ホセチル	野菜 果樹/べと病，疫病	EU	1977年～
		日本	1983年～
亜リン酸および塩	べと病，ピシウム病	US	1997年～

デス分離株 J [P06] が開発され，2019年版 FRAC コード表の「グループ P」に分類されている。植物の防御機構では，病原菌由来の成分（エリシター）を認識することで菌の感染を感知し，自己防御機構を活性化して抵抗

性を獲得するが，P04～06の天然系農薬は，エリシター活性を示す成分を含んでおり，菌の感染をミミック（疑似化）することで防除効果を発揮すると考えられる。一方，P01～03の合成系の抵抗性誘導剤は，防御機構を活

性化するためのシグナル伝達経路に作用すると考えられている。P01～03の作用メカニズムに関しては、III章に記載する。

ホセチルは、主にべと病・疫病用の防除剤として1980年ころから国内外で使用が始まったが、2018年に、亜リン酸およびその塩とともにP07に分類された。亜リン酸は、国内では肥料登録されているが、べと病や疫病の被害を低減する効果が知られている。ホセチルを処理した植物では、細胞壁が強化されることで病害抵抗性が高まると報告されている（GUEST, 1985）が、高濃度処理では孢子形成阻害活性や遊走子阻害活性を示す有機リン系化合物であることから、長い間、FRACでは作用機構不明としていた。P07の抵抗性誘導剤は、標的病原菌に対して直接的な作用を示す点から、P01～06とは性質が異なる。

II 処理方法と普及、安全性、薬剤抵抗性

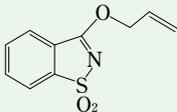
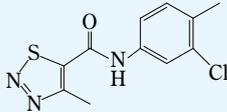
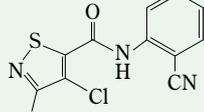
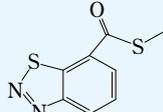
抵抗性誘導剤の普及は、プロベナゾールの現場での使用の変遷でもあることから、プロベナゾール剤の開発経緯をまずは記載する。プロベナゾールは、当初、茎葉散布剤として開発を進めていたが、茎葉散布より経根処理のほうが高い防除効果を示すことを見いだしたことから、粒剤を水面施用剤として開発する方針に変更し、プロベナゾール粒剤を発売した。本田処理剤は散布剤と比較して省力的な製剤であり、プロベナゾールに先行して販売されていた水面施用タイプの防除剤は高い普及率を獲得していた。水面施用剤としては後発のプロベナゾール粒剤であったが、その卓越した防除効果が認識される

のに伴い、全国的に広く普及していった。その後さらに農業従事者の高齢化等の環境変化により、より省力的で簡便な処理方法が求められるようになり、その一つとして登場したのが、育苗箱処理法である。プロベナゾールでも育苗箱処理に 대응べく、プロベナゾールの溶出を制御した長期残効性育苗箱処理剤を1998年に発売すると、本田処理剤と入れ替わるように普及していった。その後原体が開発されたチアジニルとイソチアニルでは、最初から育苗箱処理を対象に製剤開発が行われ、その結果、現在のいもち病防除は育苗箱処理が主流となっている。

その他の省力的な薬剤処理方法として、育苗箱へ種籾を播種する際の処理（播種時処理）、田植え機で苗を移植する際に株元に薬剤を条状に埋め込む処理（側条処理）、種籾への薬剤の塗沫処理（種子処理）、無人ヘリコプターによる空中散布処理（ヘリ散布処理）等も実用化されている。今後の稲作現場では、大規模化に伴って、ロボットやICT等の先端技術を活用した機械化/スマート農業技術が導入されることから、薬剤防除においても超省力化・精密処理・環境負荷低減への対応が求められるであろう。いもち病防除では抵抗性誘導剤が今後も不可欠な資材であることから、製剤化技術での対応とともに、原体ごとに適した処理方法の開発と使用を進めていく必要がある。P01～03の構造式と代表的な物理化学的および土壌での性状データを、表-3に示す。

P01～03は化学合成農薬であるが、その作用メカニズムから推測されるように、環境への影響は低い傾向を示す（梅村ら、2006）。改正農薬取締法では新たなミツバ

表-3 P01～03の化学構造と物理化学的および土壌での性状データ

構造式				
一般名	プロベナゾール	チアジニル	イソチアニル	アシベンゾラル S-メチル
分子量	223	268	298	210
水溶解度 (20℃)	36.6 ppm	13.2 ppm	0.5 ppm	7.7 ppm
Log Pow (25℃)	1.76	3.68	2.96	3.1
加水分解半減期 (pH7)	9.8 時間 (25℃)	866 日 (25℃)	61～71 日 (25℃)	162 日 (20℃)
土壌吸着係数 (Koc)	100～310	998～1,264	497～1,596	490～3,300
土壌半減期 (好氣的土壌運命試験)	5.9 日	27～189 日	62～74 日	1 日未満

データは、各剤の農薬評価書および技術資料から引用

チ影響試験が導入されるように、農薬の環境影響評価は厳格化していくことから、通常の農薬開発では、標的病害虫への選択性をさらに高めていく必要がある。高い選択性を示す条件の一つとして、作用点レベルでピンポイントに作用することが求められるが、作用点変異による耐性リスクは高まることになる。また、一般的に耐性菌は、変異した病原菌が薬剤により選抜されることで顕在化するが、抵抗性誘導剤は防除の際に病原菌を選抜することがないため、耐性菌の出現リスクは極めて低いといえる。このように抵抗性誘導剤は環境影響が低いことと、耐性菌出現リスクが低いことを合わせ備えており、これらの特徴を有する薬剤は農薬として特筆すべき存在といえる。

P04~06の天然系薬剤では、安全性や環境影響のデータは登録要件として多くを割愛できるが、登録データからは高い安全性が確認されており、IPM（総合的病害虫・雑草管理）に使用可能となっている。上市されてから10年以内でもあり、耐性菌の発生は未報告である。

ホセチルは化学農薬として各種試験が実施され、哺乳類への安全性は高いとともに、環境影響は低いことが示されている。ただし、P07の耐性化リスクは、FRACでは「低」としており、実際にホセチルおよび亜リン酸に対する耐性菌が複数の菌種で報告されている（BROWN et al., 2004）。このことは、P07の防除効果は直接的な抗菌活性が関与することを示唆している。

III 推定される作用メカニズム

植物は、病原菌からの感染に対して、自身を護るための防御機構を有している。この防御機構は、病原菌由来のエリシター成分を認識し、様々な防御反応を引き起こすことで病害抵抗性を示す。病害抵抗性は、病原菌の感染を受けた部位だけでなく、植物体全体に誘導される場合は、全身獲得抵抗性（SAR：Systemic Acquired Resistance）と呼ばれる。SARの誘導において、感染部位ではサリチル酸（SA）が蓄積することやSA分解酵素（NahG）遺伝子を導入した組換え植物ではSARが誘導されないこと等から、SAがSARのシグナル因子であることが示されている（GAFFNEY et al., 1993）。

モデル双子葉植物にアシベンゾラル S-メチルを処理すると、SAを蓄積せずに病害抵抗性を誘導すること、NahG組換え植物でも抵抗性を誘導することから、アシベンゾラル S-メチルはSAのアナログとして作用するとされる（FRIEDRICH et al., 1996）。一方、プロベナゾールは、双子葉植物のSA蓄積を誘導してSARを誘導することから、SAの上流でSARを活性化（YOSHIOKA et al.,

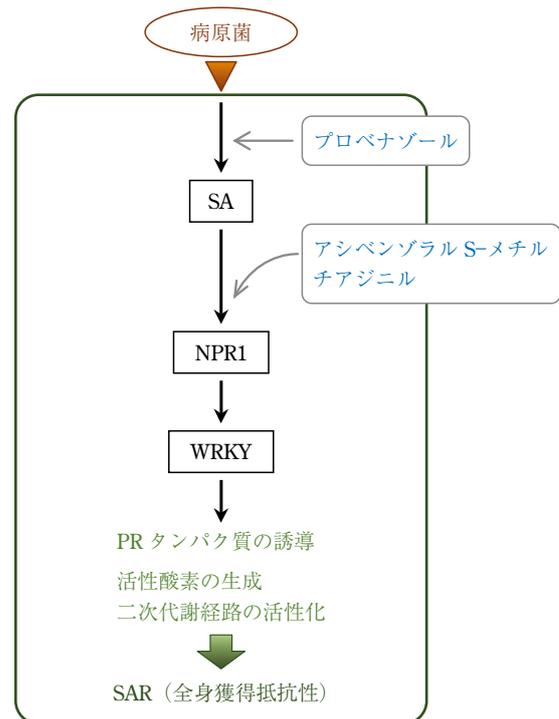


図-1 イネの SAR と抵抗性誘導剤の推定作用点

2001)。また、イネなどの単子葉植物では、定常状態における SA 量は双子葉植物より高いが、①プロベナゾール処理により、SA 量は顕著に上昇しないが、SA を配糖型 SA に変換する SA グルコシルトランスフェラーゼ（SAGT）が誘導されて、配糖型 SA 量が上昇する、② SAGT をノックダウンした組換えイネではプロベナゾールの薬効が有意に低下する、等から、イネにおいてもプロベナゾールは、SAR のシグナル伝達経路において SA の上流で作用すると考えられる（UMEMURA et al., 2009）。チアジニルは、SA 類を蓄積せずにタバコの病害抵抗性を誘導するとともに、NahG 組換えタバコでも抵抗性を誘導する等、アシベンゾラル S-メチルと同じ作用が報告されている（YASUDA et al., 2006）とともに、イネの SAGT 発現を誘導しないことから、イネでも SA アナログとして作用することが示唆される。なお、イソチアニルの SAR シグナル伝達経路上の作用機構として、SA 合成に関与する PAL（フェニルアラニンアンモニアリアーゼ）経路の活性化や病害抵抗性を司る WRKY 型転写因子*に直接作用する可能性が提唱されている（TOQUIN, 2011；

*アミノ酸配列として WARKY（W：トリプトファン，R：アルギニン，K：リジン，Y：チロシン）を含む転写因子が病害抵抗性関連遺伝子群の発現を正に抑制している。イネの WRKY 転写因子は、100 種類ほど存在するとされる。

**DNA 配列の変化を伴わずに、ヒストンへのメチル化やアセチル化やリン酸化等の修飾により、遺伝子の発現が後天的に制御されること。

BEKTAS and EVLGEN, 2015 ; TRIPATHI et al., 2019) (図-1)。

上述の通り、抵抗性誘導剤の植物に対する作用点は必ずしも同一ではないが、菌感染特異的タンパク質（PRタンパク質）を含めた病害抵抗性関連遺伝子群の発現誘導、ファイトアレキシン生成等の二次代謝経路の活性化、活性酸素の生成等の防御反応の誘導は、SARの抵抗性反応として共通に認められる（TSUBATA et al., 2006）。ただし、これらの抵抗性反応は、抵抗性誘導剤を処理したイネでは、いもち病菌の感染を受けると、より速く、より強く誘導される（IWATA et al., 1980 ; TOQUIN et al., 2012）。この「プライミング効果」は、イネにとってエネルギー効率的に有利であるとともに、薬害を回避するうえでも重要な形質と考えられる。プライミングの分子機構は、病原菌に対する植物防御機構の解析を中心に進められているが、抵抗性誘導剤のプライミング効果においてもエピジェネティックな制御**が関与している可能性がある（JASKIEWICZ et al., 2011）。

おわりに

イネいもち病防除用の抵抗性誘導剤は、長年にわたって現場で使用されているにもかかわらず耐性菌が未発生であるのは、いもち病菌に対して直接作用しないことに加えて、イネの様々な抵抗反応を誘導することで、いもち病菌に対して複数の作用点を持つようになることとも

関連するであろう。抵抗性誘導剤の作用メカニズムはいまだに不明な点が多いが、植物の防御機構の全容が明らかになるとともに解明されることを期待したい。優れた浸透移行性や低環境負荷といった抵抗性誘導剤のメリットを活かして、土壌病害やウイルス病害等の難防除病害や常に耐性菌が問題となる病害に対しても有効な抵抗性誘導剤が、新たに開発されることを望んでいる。

引用文献

- 1) BEKTAS, Y. and T. EVLGEN (2015) : *Frontiers in Plant Science* **5** : 1~7.
- 2) BROWN, S. et al. (2004) : *Plant Disease* **88** : 502~505.
- 3) FRIEDRICH, L. et al. (1996) : *Plant J.* **10** : 61~70.
- 4) GAFFNEY, T. et al. (1993) : *Science* **261** : 754~756.
- 5) GUEST, D. D. I. (1985) : *Acta Hort.* **166** : 63~64.
- 6) IWATA, M. et al. (1980) : *Ann. Phytopath. Soc. Japan* **46** : 297~306.
- 7) JASKIEWICZ, M. et al. (2011) : *EMBO Rep.* **12** : 50~55.
- 8) 農業工業会 (2019) : 殺菌剤の作用機構分類 (FRACによる), https://www.jcpa.or.jp/lab/pdf/2019/mechanism_frac.pdf
- 9) TOQUIN, V. (2011) : 第21回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム : p.1.
- 10) ——— et al. (2012) : *Modern Crop Protection Compounds*, Wiley-VCH, Weinheim, p.739~748.
- 11) TRIPATHI, D. et al. (2019) : *Current Plant Biology* **17** : 48~59.
- 12) TSUBATA, K. et al. (2006) : *J. Pestic. Sci.* **31** : 161~162.
- 13) 梅村賢司ら (2006) : *研究ジャーナル* **29**(4) : 23~27.
- 14) UMEMURA, K. et al. (2009) : *Plant J.* **57** : 463~472.
- 15) 梅村賢司 (2016) : *JATAFF ジャーナル* **4**(9) : 15~19.
- 16) YASUDA, M. et al. (2006) : *J. Pestic. Sci.* **31**(3) : 329~334.
- 17) YOSHIOKA, K. et al. (2001) : *Plant J.* **25** : 149~157.

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 生物機能利用研究部門 昆虫制御研究領域 昆虫機能制御ユニット

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構生物機能利用研究部門昆虫制御研究領域は、茨城県つくば市の圏央道つくば中央インターチェンジから降りてすぐの大わし事業場内にあり、4つの研究ユニットから構成されています。昆虫機能制御ユニットは、現在6名の研究員と7名の非常勤職員が所属し、旧農業生物資源研究所時代に蓄積された昆虫遺伝子機能や内分泌制御に関する先端的研究を利用して、環境負荷を少なくした害虫制御法の基盤技術開発や、近年問題となっている農薬に対して抵抗性を示す害虫の出現を早期に検出して被害を防ぐ害虫管理の研究などを進めています。以下、当ユニットで行っている主な研究内容を紹介します。

幼若ホルモンの作用経路を標的とした新規害虫制御剤：幼若ホルモン（JH）は昆虫特有のホルモンで、昆虫が幼虫から幼虫へ脱皮するのを維持し、蛹や成虫への変態を抑制します。JHの分子作用機構は最近10年間で急速に解明が進んでいますが、それには旧農業生物資源研究所時代から進めている当ユニットの研究が大きく貢献しています。現在は、その成果を新しい昆虫成長制御剤（IGR）の開発に応用する研究が進められています。JHと同じ作用を示す殺虫剤は蛹や成虫への変態を阻害することで害虫を駆除することができますが、チョウ目など幼虫期の食害が問題となる害虫に対しては、より大きな幼虫に脱皮してしまいかえって被害を拡大させてしまいます。そこで、当ユニットではJHの作用にかかわる分子の働きを阻害し、幼虫期間を短縮させる抗JH活性をもつ農薬の開発を目指しています。そのために、昆虫のJH受容体遺伝子やJH応答配列を培養細胞に導入して、化合物のJH活性や抗JH活性を検出できるハイスループットスクリーニング系を構築し、化合物のスクリーニングを進めています。チョウ目害虫では食害の約90%は最終齢幼虫によりもたらされますが、抗JH活性をもつ化合物を投与すると最終齢幼虫にならずに小さな蛹や成虫に変態するため（図-1）、被害の軽減に大きく貢献することが期待されます。



図-1 抗JH化合物により最終齢幼虫を経ずに蛹になったカイコ（右）
左は正常な蛹。

薬剤抵抗性害虫の原因遺伝子解明と遺伝子診断法：近年、既存の殺虫剤が効かない薬剤抵抗性害虫による被害

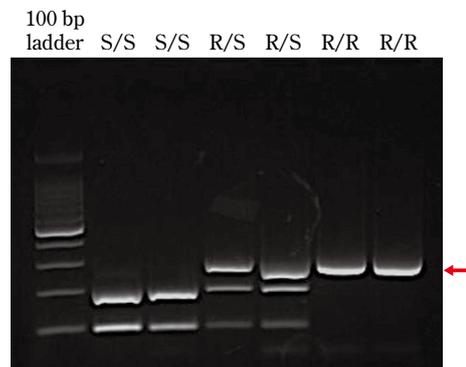


図-2 チャノコカクモンハマキの抵抗性遺伝子診断
赤矢印で示したバンドが増幅した個体は抵抗性遺伝子を保有している。

が増加しています。抵抗性害虫による被害を防ぐには、新規化合物の探索だけでなく、既存の有効成分をできるだけ長く使えるよう適正に農薬を使用することが重要です。そのために、当ユニットでは害虫が薬剤抵抗性を獲得する原因となっている遺伝子の変異を特定し、その変異を検出する高感度かつ簡便な遺伝子診断技術の開発を進めています。例えば、茶の重要害虫であるチャノコカクモンハマキのジアシルヒドロジン系IGRに対する抵抗性の原因が、薬剤の作用点である脱皮ホルモン受容体（EcR）タンパク質のアミノ酸変異によるEcRと薬剤の結合親和性の低下であることを明らかにし、さらに本変異を引き起こすEcR遺伝子の塩基配列の変異を検出する簡便な遺伝子診断法を開発しています（図-2）。この成果を利用して抵抗性原因遺伝子をもつ害虫の地域内への侵入や定着状況をモニタリングすることで、リスクレベルを判断しながら適正に農薬を使用して抵抗性の発達を防ぐことが可能になります。詳細は農研機構が中心となって策定した「抵抗性管理ガイドライン（案）」に掲載されています。

RNA干渉を利用した制御剤や防除技術の開発：RNA干渉は、二本鎖RNAを生物に投与して特定の遺伝子発現を抑制する技術ですが、当ユニットでは、この技術を利用して薬剤抵抗性害虫に対抗する新規の薬剤・防除法の開発を進めています。そのために、新規の農薬開発の標的となりうる遺伝子の探索や、二本鎖RNAを直接散布して害虫に食べさせることで害虫の発育に重要な遺伝子の発現を抑制するための技術の開発を進めています。

薬剤抵抗性の獲得など害虫の進化に対抗するには、害虫をよく知ることが必要です。私たちは昆虫の発育を制御する未知のメカニズムを解明し、それらの知見を利用して新しい害虫防除技術の開発に取り組んでいます。

（昆虫機能制御ユニット長 田中良明）

研究室紹介

佐賀県農業試験研究センター 病害虫・有機農業研究担当

佐賀県農業試験研究センターは、佐賀の南部に位置し、病害虫に関する試験研究は当試験場が設立された明治33年当初から行われてきました。佐賀平野では古くから米作りが盛んで、設立当初から、時代に応じた稲作病害虫の研究課題に取り組み、全国に先駆けて行われた防除暦と発生予察情報に従った適期防除の実践により、病害虫防除の点でも米の増産に大きく貢献し、昭和40年と41年の単位面積当たりの収量は2年連続で日本一となりました。

また、米の減反政策を受け野菜の振興が始まったことから、昭和50年代以降は野菜の研究のウエイトが高まり、露地野菜ではタマネギ、施設野菜では、イチゴ、ナス、アスパラガス、キュウリ等を中心に病害虫の課題に取り組んできました。

近年では、以下の研究課題を中心に取り組んでいます。

1 タマネギべと病

平成20年代に入り、タマネギべと病が常発するようになったことから、べと病対策の課題が始まり、平成28年の過去にない未曾有の大発生を受け、平成28年10月～令和元年9月の3年間、佐賀県、農研機構九州農研、佐賀大学、兵庫県でコンソーシアムを組織し、国の事業による共同研究が行われました。当研究室は、事業の中核機関として携わり、予防散布を中心とした新たな防除体系、土壌中での発生生態に関する成果等を示したところです。本年8月20日には成果発表会が行われ、全国より百数十名の研究者、関係者の方々が参加され、意見



病害虫・有機農業研究担当のメンバー

交換を行ったところです。今後も、さらなる防除技術の改良と生態解明の構築を目指し、研究を継続することとしています。

2 薬剤抵抗性問題に対する対応

本研究室では薬剤抵抗性の問題とその対策に精力的に取り組む、多くの病害虫について、薬剤抵抗性の確認と代替防除技術の提示を行ってきました。特に、病害関係については、薬剤耐性菌研究会と連携しながら、いち早く生産現場への情報提供などを行ってきました。

本県で確認された主な薬剤抵抗性病害虫
(普通作、野菜)

イネ：いもち病、トビイロウンカ

イチゴ：炭疽病、ナミハダニ

タマネギ：べと病

共通：各種灰色かび病、ハダニ類、アザミウマ類、コナジラミ類

3 減農薬、IPMの取り組み

食の安全安心、減農薬、IPM防除技術に対する関心の高まりから、平成16～22年にかけて、各種施設野菜において、佐賀県特別栽培農産物の認証に対応できる防除体系の開発に関する研究に取り組む、イチゴ、キュウリ、ナス、アスパラガス、小ネギについては認証に対応できる減農薬防除体系をホームページ上で提示し、推進を行っています。

ほかにも天敵昆虫の導入、フェロモン資材による交信攪乱、UVカットフィルム利用等の研究も実施しており、最近では、キュウリとアスパラガスを中心に、カブリダニ類やタバコカスミカメの利用についての研究を行っています。

また、平成28年度には、同じ環境農業部であった有機農業研究担当と統合されたことから、現在の「病害虫・有機農業研究担当」の名称となり、有機農業に関する研究にも取り組んでいます。

これまで当研究室の先輩方は、常に現場に貢献できる普及技術の開発、提案を念頭に置き、日々の研究に携わって来られました。先輩方の志を引継ぎ、これからも佐賀の農業振興に貢献できる技術開発に取り組んでいきたいと思っております。

(係長 井手洋一)

学会だより

○令和元年度日本植物病理学会北海道部会

日時：2019年10月17日(木)13:30
 ～10月18日(金)17:00
 会場：北海道立道民活動センター「かでの2・7」
 520研修室
 〒060-0002 札幌市中央区北2条西7丁目
 事務局：(地独)北海道立総合研究機構中央農業試験場
 病虫部 相馬 潤
 TEL：0123-89-2291 FAX：0123-89-2060
 E-mail：souma-jun@hro.or.jp

○令和元年度日本植物病理学会九州部会

日時：2019年11月6日(水)9:00～17:30
 会場：ソレイユ
 〒870-0035 大分市中央町4丁目2番5号
 事務局：日本植物病理学会九州部会事務局
 庶務幹事 飯山和弘
 E-mail：iiyama@grt.kyushu-u.ac.jp

○第29回天敵利用研究会・群馬大会

日時：2019年11月12日(火)13:00
 ～11月13日(水)15:30
 会場：前橋テルサ ホール
 〒371-0022 前橋市千代田町2丁目5番1号
 シンポジウムテーマ
 「天敵利用，普及上の課題と解決に向けたアプローチ」
 事務局：第29回天敵利用研究会群馬大会事務局
 群馬県農業技術センター環境部

広告掲載会社一覧 (掲載順)

BASF ジャパン(株) ……主要品目
 日本化薬(株) ……フーモン
 バイエルクロップサイエンス(株) ……ボデーガードプロ
 サンケイ化学(株) ……主要品目
 住友化学(株) ……主要品目
 フェニックス普及会 ……フェニックス
 日本曹達(株) ……ピシロック
 三井化学アグロ(株) ……主要品目
 日産化学(株) ……グレーシア
 アグロカネショウ(株) ……主要品目

病害虫係 酒井 宏
 群馬県伊勢崎市西小保方町493
 TEL：0270-62-1059 FAX：0270-20-8016
 E-mail：taikai2019@tenteki-ipm.org

○第37回農薬環境科学研究会

日時：2019年11月21日(木)12:30
 ～11月22日(金)15:30
 会場：倉敷せとうち児島ホテル
 〒711-0927 倉敷市下津井吹上303-53
 テーマ：「グリーンケミストリー」—有機化合物の合成と分解に学ぶ Sustainability—
 事務局：山梨大学 生命環境科学部 片岡良太
 TEL/FAX：055-220-8835
 E-mail：rkataoka@yamanashi.ac.jp

次号予告

次号2019年11月号の主な予定記事は次のとおりです。

特集：紫外光照射技術を基幹としたイチゴ病害虫防除体系構築	水稻高密度播種栽培のいもち病防除	萬田 等
紫外光(UV-B)照射技術を基幹とした施設イチゴ病害虫防除体系の構築 佐藤 衛ら	日植防シンポジウム：	
UV-B照射によるハダニ類の防除メカニズムと環境要因 刑部正博	密苗移植栽培技術の普及状況	澤本和徳
植物を元気にして病気を防ぐ～植物活力剤によるイチゴの病害抑制技術～ 鳴坂義弘ら	水稻高密度育苗における箱粒剤の適応性	舟木勇樹
イチゴ施設栽培における超音波を活用した防蟻技術 中野 亮	植物防疫講座 病害編 <i>Fulvia</i> 属菌による病害の発生生態と防除	飯田祐一郎
カメムシ目とコウチュウ目の昆虫における振動を利用した行動制御と害虫管理 上地奈美ら	植物防疫講座 虫害編 コナガ	高篠賢二
日本における除草剤抵抗性雑草の現状 山木義賢	植物防疫講座 農薬編 ミトコンドリアATP合成酵素阻害剤	肥川広樹ら
チャの新害虫ヒサカキワタフキコナジラミの発生生態について 岩崎 剛ら	研究室紹介：農研機構 野菜花き研究部門 花き生産流通研究領域生産管理ユニット	久松 完
露地夏秋キュウリに発生する褐斑病のリスク要因分析 猫塚修一	宮城県古川農業試験場 作物環境部	佐々木次郎

植物防疫

第73巻 2019年9月25日印刷
 第10号 2019年10月1日発行
 (通算874号)

定価965円
 本体877円

2019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

2019年
 10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。

チョウ目害虫防除に!

殺虫剤

フェニックス®

顆粒水和剤

フロアブル



71作物に登録。
幅広く使えて、効きめが長く続く!



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

- 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。

フェニックス普及会
日本曹達株式会社 事務局 日本農薬株式会社
東京都中央区京橋1丁目19番8号

べと病、疫病、白さび病を ピシッとロック!

農林水産省登録 第23952号

殺菌剤 ピカルブトラゾクス水和剤

ピシロック® フロアブル



【登録作物】

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



HPはこちらから

🔒 新規有効成分ピカルブトラゾクス配合!(FRACコード U 17)

🔒 収穫前日まで使える!(はくさいは収穫3日前まで)



日本曹達株式会社

東京都千代田区大手町2丁目2番1号
☎(03)3245-6178 FAX(03)3245-6084
<https://www.nippon-soda.co.jp/nougyo/>



®は日本曹達(株)の登録商標

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

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

三井化学 **アルバリン**® 顆粒水溶剤・粒剤
粉剤DL・箱粒剤

スタークル® 顆粒水溶剤

スタークルメイト® 1キロH粒剤
液剤10

トレボンスター® フロアブル
粉剤DL

トレボン® 乳剤・EW・MC・粉剤DL
粒剤・エアースカイMC

アキ® 乳剤

コロマイト® 水和剤
乳剤

ミルベノック® 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

ベジセイバー®

ピカット® フロアブル

フルーツセイバー

ネビジ® 粉剤

ネビリュウ®

モンガリット® 1キロ粒剤
粒剤

サンリット® 水和剤

テーク® 水和剤

タチガレン® 粉剤
液剤

タチガレエース® M 粉剤
液剤

タチガレファイト® 液剤

サンブラス® 粒剤

ガッツスター® 粒剤

トリプルキック® 箱粒剤

サントリプル® 箱粒剤

サンフェスタ® 箱粒剤

クロピクテープ

三井化学 **クロールピクリン**

三井 **ソイリーン**®

ドロロール

除草剤

アールタイプ® 1キロ粒剤・ジャンボ
フロアブル

シュイデン® 1キロ粒剤・ジャンボ
フロアブル

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

クサトリ-BSX® 1キロ粒剤75/51
ジャンボH/L・フロアブルH/L

キクンジャベ-Z® 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

クサバルカン® 1キロ粒剤・ジャンボ
フロアブル

オシオキ® MX 1キロ粒剤

フォローアップ® 1キロ粒剤

サンバード® 粒剤

ワイドアタック™ SC

草枯らし MIC®

アトカラ® SジャンボMX

セカンドショット® SジャンボMX

●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/>



速く効く。
あの害虫にも効く。^{*1}

だから、
収量に差がつく。^{*2}

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

対象害虫の幅広さ
チョウ目害虫やアザミウマなど幅広い害虫^{*1}に効く。

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

新発売

野菜・
茶用殺虫剤

グレーシア[®] 乳剤



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

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

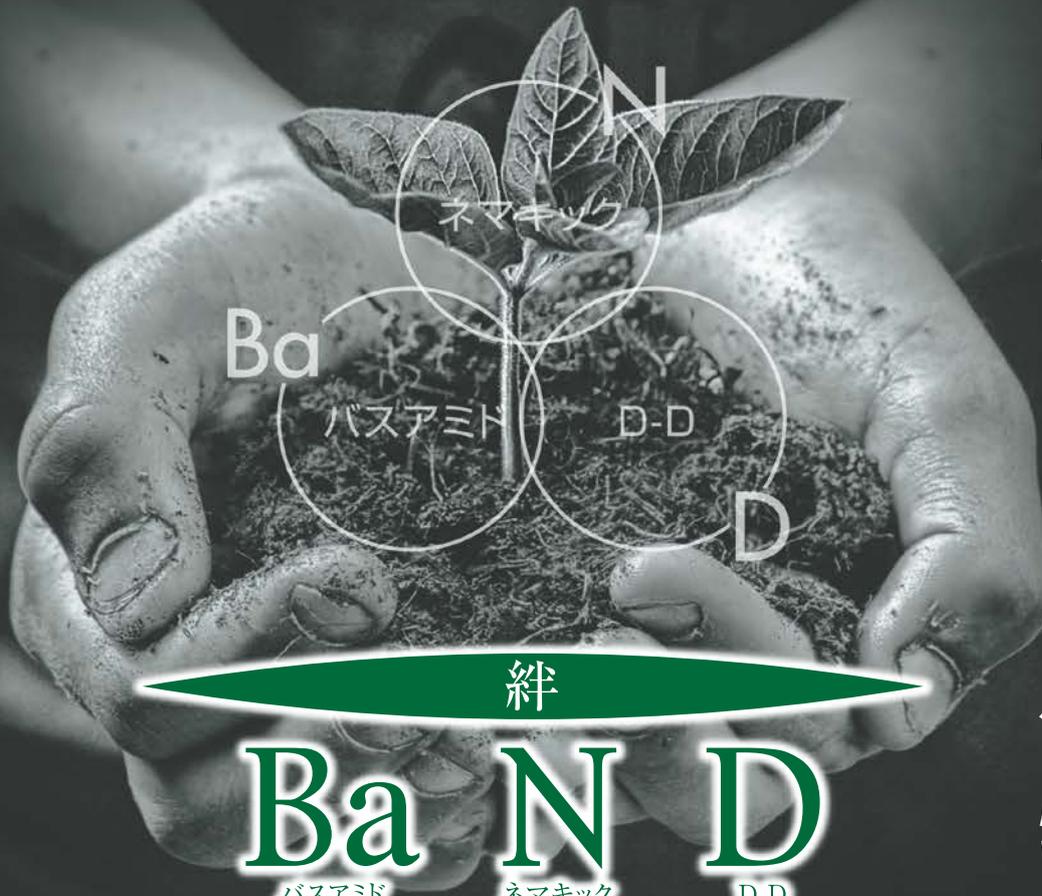


お客様窓口 TEL.03-4463-8271 (9:00~17:30 土日祝日除く)

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

 日産化学株式会社

ここから、ここ作物。



アグロカネショウの土壤消毒剤

絆
Ba N D
バスアミド ネマキック D-D

で土壤を守る。

線虫問題にケリをつける!!

土壤病害・雑草防除に!

土壤センチュウ防除に!



ネマキック®
粒剤



バスアミド®
微粒剤

D-D®

アグロ カネショウ
の
土壤分析

化学性や生物性の土壤診断を行います。

土壤の
養分分析

線虫や
菌の密度

土壤分析の詳細や申込みについては▼
アグロ カネショウ土壤分析室 [0296-21-3108] まで



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

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

