

植物防疫

Plant Protection

11
2023
VOL.77

特集：現場における薬剤抵抗性管理



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

速く効く。
あの害虫にも効く。
だから、
収量に差がつく。

*2

*1

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

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。

野菜・
茶用
殺虫剤

グレーシア[®] 乳剤



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

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



お客様窓口

TEL.03-4463-8271
(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

■・BASF
We create chemistry

農林水産省登録 第24439号

サンケイ **コテツ**[®] ベイト

難防除害虫 ホウレンソウケナガコナダニに効く

® = BASF社の登録商標

コナダニ防除の常識は ベイトで変える。

特長

- 難防除害虫である
ホウレンソウケナガコナダニに卓効
- 害虫を誘引し食毒により防除
- 混和する必要なく、処理が簡便
- 優れた残効性



ベイト粒



圃場に撒くだけで害虫を誘引



ホウレンソウ
ケナガコナダニ



サンケイ化学株式会社

本社 〒891-0122 鹿児島県鹿児島市南栄二丁目9番地 ☎099-268-7588
東京本社 〒110-0005 東京都台東区上野7-6-11 ☎03-3845-7951

水稻防除の コアだ!

いもち病・
初期害虫に対して
安定した効果!
しかも、低コスト!

- 移植3日前から
移植当日まで使用可能
- 高密度播種にも対応



ルーチン®
コア
箱粒剤

製品情報は
こちら



ルーチンはバイエルグループの登録商標

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

バイエル クロップサイエンス株式会社

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

お客様相談室 ☎0120-575-078 9:00~12:00、13:00~17:00
土日祝日および会社休日を除く

ハダニ防除に 新たな一手!

特長

- ★既存剤に対して感受性の低下したハダニ類に優れた効果を示します。
- ★各種ハダニ類の全ステージに活性を示します。
- ★気温による効果変動が小さく、安定して高い効果を示します。
- ★天敵・有用昆虫に対する影響の少ない薬剤です。
- ★登録作物への高い安全性が確認されています。

農林水産省登録
第24213号

適用作物が
続々追加!



製品情報はこちらから



殺ダニ剤 アシノナピル水和剤

ダニオーテ®フロアブル



●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。



日本曹達株式会社

〒100-8165 東京都千代田区大手町2丁目2番1号
お問合せ (03) 3245-6178
(平日9~12時、13~17時、土日祝祭日を除く)

目次

巻頭言

新しい防除技術の黎明期に思うこと	菅 康弘	1
------------------	------	---

特集：現場における薬剤抵抗性管理

殺菌剤耐性菌管理の考え方	鈴木 啓史	2
殺虫剤抵抗性管理を行動に移す—薬剤抵抗性発達レベル指標とリスク評価—	山本 敦司	6
兵庫県における殺菌剤耐性菌の発生要因解析と発生後の対応	内橋嘉一・松本純一・岩本 豊	11
三重県における薬剤抵抗性管理の取組および殺虫剤抵抗性リスク評価表の防除指導への導入について	田中千晴・西野 実・佐々木彩乃	17
佐賀県におけるメタラキシル M 耐性タマネギベと病菌の現況と新たな防除対策に対する取り組み	古田 明子	24

総説

ビワ果実腐敗を防ぐ総合的防除マニュアルの作成について	小嶺 正敬	30
----------------------------	-------	----

研究報告

メッシュ農業気象データを用いたイネ縞葉枯病の薬剤散布適期判定システム	柴 卓也	34
生物農薬を活用したブロッコリー花蕾腐敗病およびキャベツ黒斑細菌病の防除対策	石山佳幸・藤永真史	38

時事解説

世界の生物農薬ビジネスの動向について	田中 栄嗣	45
--------------------	-------	----

植物防疫講座

虫害編（物理的・耕種的防除編）-2 水稻を加害するスクミリンゴガイの物理的・耕種的防除	清水 信孝	51
---	-------	----

研究室紹介

山口県農林総合技術センター 農林業技術部 柑きつ振興センター	岡崎 芳夫	55
佐賀県茶業試験場	中村 典義	56

農林水産省プレスリリース（2023.9.1～2023.9.30）	50
新しく登録された農薬（2023.9.1～2023.9.30）	5
登録が失効した農薬（2023.9.1～2023.9.30）	33
発生予察情報・特殊報（2023.9.1～2023.9.30）	54

【表紙写真】

左段：タマネギベと病の被害株と分生孢子

右段（上）：いもち病による被害と病斑

右段（下）：ネギアザミウマ成虫とネギの被害葉

大地を守る！

倒してきた線虫の数に、
自信あり。

殺線虫剤

石原

有効成分：ホスチアゼート…1.5%

ネマトリン[®]エース
粒剤

®は登録商標



特設ページ
はこちら

ネマトリンエース粒剤は、高品質な作物づくりをしっかりと支えます。

👑 優れた殺線虫効果

線虫と薬剤が接触することで線虫の活動を阻害し、殺線虫効果を発揮します。

👑 土壌条件に左右されにくい

土性の違いや処理後の土壌水分の変動による影響が少なく、安定した効果を示します。

👑 簡便な作業性

揮発性がなくガス抜き作業が不要のため、処理直後から播種や定植が可能です。



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

ISK 石原産業株式会社

ISK 石原バイオサイエンス株式会社
〒102-0071 東京都千代田区富士見2丁目10番2号

ホームページ アドレス <https://ibj.iskweb.co.jp>

巻頭言

新しい防除技術の黎明期に 思うこと

長崎県農林技術開発センター 菅

やす 康 ひろ 弘



近年の病害虫防除技術のキーワードとして、総合防除、スマート農業、省力化などが挙げられるが、とりわけ、ドローン利用には注目が集まっている。産業用ドローンの農業利用は、平成20年代の後半ごろから主に水稻で無人ヘリと併用する形で始まり、当初は無人ヘリの登録農薬を読み替えて使用しながら、並行してドローンで散布した場合の防除効果やドリフトの問題など技術的に不足する知見を着実に検証し、散布実績が積み上げられてきた。一方、露地野菜での利用は、近年進みつつあるものの、まだまだ登録農薬数は少なく、防除効果やドリフトに関連する知見の集積を行っている段階にあり、作期を一貫してドローンで防除できるような品目はいまだ現れていない。

ドローン散布に関する薬剤試験は、現在、日植防がその標準的な試験方法を模索している状況にある。筆者は、これまでジャガイモで無人ヘリ散布の試験やドローン散布の試験にも携わってきたが、どうしても試験圃場が大規模になってしまうことや、試験の実施自体が天候（風）に左右されることが多くその都度オペレーターの手配をやり直さなければならないことなど、発病調査以外のことで苦労が多かった。このため、現在はドローンオペレーターの技能認定を受け、自身でドローンを飛ばして試験散布を行っている。オペレーターとして実際にドローンを飛ばして薬剤散布を行うと、散布にかかる労力軽減や圃場条件に応じた散布技術などが体験的に理解することができ、防除指導の際に自身の体感を交えて話ができる点はメリットかもしれない。

露地野菜類においてドローンが新しい防除器具であるように、施設野菜類では常温煙霧法が注目され、害虫に対する天敵と併せて施設野菜類の省力的な防除技術として期待が高まっている。常温煙霧法自体は昭和50年代には確立されていたが、これまで、登録農薬が少ないことや、イニシャルコストが高いことなどの点から広く普及するまでに至らず長らく放置されていた技術である。近年、現在の防除作業の省力化の必要性から再度注目され、徐々にではあるが農薬登録が進むようになっている。

ドローンも常温煙霧も濃厚少量散布の技術として括ることができる。筆者は先輩研究者から、農薬の試験散布

にあたって「大量の薬液で洗い流すかのようにしっかりと掛けなさい」と習った世代であるが、時代は移り、これまでの、広い畑の中や暑いハウスの中で重いホースを引きずりながら散布する時代から、新たな散布器具の導入により濃厚少量散布を実現する時代へ変わろうとしている、いわば新しい防除技術の黎明期ともいえるのではないだろうか。

ところで、筆者の所属する長崎県のような地方自治体では、人口減少対策が専らの課題となっている。このことは、すなわち農業者の人口減も意味しており、その結果、近い将来には一人当たりの耕作面積が増加する一方で作付けに対する農作業は減少しないので、必然的に機械化を軸とした省力化と作付け体系の粗放化が進行することが想定される。農水省の示す「みどり戦略」では、このことを織り込んだ形でスマート農業を推進している（と思う）が、個々の農業者の中にはITCなどの高度な専門知識や技術を理解し率先して使いこなす人材は稀有であり、スマート農業の導入は小規模の経営体にとってはハードルが高い状態となっている。このため、農業技術の革新に歩調を合わせた人材の育成・確保が急務といえるが、一方で、時代の趨勢に置いて行かれる農業者も出てくるのが危惧される。これらのことは、単に生産者の「経営規模の拡大」が望まれるという言葉では足りず、我が国の「農業という産業が新しいカタチに生まれ変わる必要がある」ということを暗示している。この点でも、新しい農業の黎明期にあるといえよう。

我々、病害虫防除技術の研究開発に携わる立場にあつては、今まさに、人口減少下の農業の礎となり得る病害虫防除技術について大いに議論し、研究開発につなげるべきではないだろうか。また、みどり戦略に対応する「みどり戦略」ともいえるべき視点で、個々の技術開発の彼方に、今後想定される農業の場面で開発した技術を一般化するための方策を見据え、これに立脚した研究の方向性を描くことが重要ではないかと考える。

（九州病害虫研究会 会長）

特

集

現場における薬剤抵抗性管理 殺菌剤耐性菌管理の考え方

三重県農産園芸課 ^{すず}鈴 ^き木 ^{ひろ}啓 ^{ふみ}史

はじめに

殺菌剤耐性菌研究会は、「殺菌剤耐性菌研究に携わる研究者（関係者）を広く集め、情報交換を行う中で、特に研究手法、薬剤感受性の判定基準等の統一を図り、耐性菌発生の回避対策に資すること」を目的としている。その活動の中で、各種薬剤の使用ガイドラインを策定している。後に述べるが、このガイドラインやそれを基に構築した防除計画（暦）を耐性菌対策に用いてほしいと考える。その対策には総合的病害虫管理（Integrated Pest Management：IPM）の考え方を取り入れ、さらに、その実践には農業生産工程管理（Good Agricultural Practices：GAP）の考え方が有効である。筆者はこのことをこれまでに様々な場面で述べてきたが（鈴木，2019）、本稿では、今一度、本研究会とその考え方を簡潔に記す。

このような耐性菌対策の考え方はこれまで多くの方達によって著されてきたが、本稿では事前の計画に基づいた予防が重要であることを述べたいため、近年の現場における耐性菌対策の実例を挙げながら、耐性菌対策について、その発生前と発生後に分けて紹介する。

I 殺菌剤耐性菌研究会の取組み

現場における殺菌剤耐性菌対策を実践するためには、耐性菌に関する情報整理が必要なため、石井氏ら有志により殺菌剤耐性菌研究会が1991年に設立された。本研究会では、情報交換の場として「殺菌剤耐性菌シンポジウム」を毎年開催しており（鈴木，2021）、今年度も、2024年3月16日に第33回シンポジウムを計画している。本シンポジウムでは、新規殺菌剤が上市される前に、感受性検定法とその検定法による感受性のベースラインが講演され、薬剤感受性の判定基準の統一が図られている。これら検定方法は、おおむね10年ごとに「植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル」として再編集され関係者が

利用しやすいようにしている。なお、2015年に都道府県に対して、農林水産省が行ったアンケート調査がある。今後の薬剤抵抗性対策において、何が必要かをアンケートしたところ、「薬剤感受性検定結果に関する情報共有体制は重要である」との回答があった。また、同アンケート調査では、薬剤感受性検定の課題として、薬剤ごとの検定方法や評価方法についての情報が不足していることが挙げられた（岡田・井田，2022）。殺菌剤耐性菌研究会の活動は、このニーズに応えるものとなっている。

また、本研究会のHPでは、殺菌剤耐性菌に関する「文献集」を掲載し情報を一元化している（<http://www.taiseikin.jp/abstract/>）。さらに、この知見を集約して「各種薬剤耐性菌対策のための薬剤使用ガイドライン」を策定している（<http://www.taiseikin.jp/guidelines/>）。

耐性菌が顕在化する前に、これらガイドラインを防除計画に組み込み、実践することを本研究会では提案している。

本研究会を知らない人には知っていただき、知っている人にはよりよい内容をお伝えできるように、引き続き取り組んでいきたい。

II 現場における殺菌剤耐性菌管理

1 耐性菌発生前の殺菌剤耐性菌管理

（1）殺菌剤耐性菌管理の啓発

殺菌剤耐性菌管理は、未然の対策が重要であることを、技術指導員や生産者に、繰り返し伝えることで理解を得る。耐性菌が発生せず、確立された防除体系を継続できることは、生産者にとってもメリットが大きいことを伝える。

（2）耐性菌の発生状況の把握

殺菌剤耐性菌が、どの作物で何の殺菌剤で発生しているのか知ることが重要である。農林水産省において、全国薬剤抵抗性病害虫・雑草調査が実施されている（岡田・井田，2022）。

また、殺菌剤耐性菌研究会において、QoI（Quinone outside Inhibitor）剤とSDHI（Succinate DeHydrogenase Inhibitor）剤について、海外事例も含めた「作物別・病

Concept of Fungicide Resistance Management. By Hirofumi SUZUKI

（キーワード：殺菌剤，耐性菌，耐性菌対策，防除計画，防除暦，複合リスク表，GAP）

原菌別耐性菌発生リスク表」(<http://www.taiseikin.jp/mwbhwp/wp-content/uploads/649741680793376b39c22404c6022459.pdf>)を作成している。

(3) 農薬の作用機構分類(RACコード)を活用した防除計画(暦)の作成

RACコードは、作用性の種類ごとに付けられた農薬のコード番号のことである。また、殺菌剤抵抗性対策の基本は、作用性の異なる農薬をローテーションで使うことである。防除計画の作成にあたっては、真に効率的でムダのない防除体系を組み立てることはもとより、使用する薬剤については、FRAC(Fungicide Resistance Action Committee)コードによる意味のあるローテーション散布や混用を組み込むことで、特定の化学的作用点が連続しないようにする。さらに、IPMを組み込むことで、化学的作用点だけでなく、物理的、生物的、耕種的なあらゆる作用点を活用する。FRACコードについて、農薬工業会のリーフレットを用いて説明するとわかりやすい(<https://www.jcpa.or.jp/assets/file/labo/books/leaf20.pdf>)。

(4) 殺菌剤流通量の把握

農薬の使用量が増えれば耐性菌の発生確率も高くなると考えられることから、殺菌剤の地域内流通量を把握することで、耐性菌管理が必要なリスクの高い殺菌剤を知ることができる。特に注意すべき殺菌剤を絞り込めるのは、現場の殺菌剤耐性菌管理に活用できる。

2 耐性菌発生後の殺菌剤耐性菌管理

(1) 殺菌剤耐性菌分布の確認、耐性菌発生圃場の特徴を整理

殺菌剤耐性菌が確認された場合、その発生が一部の圃場に限られた点での発生か、広域的な圃場で広がりのある面的な発生か、確認が必要である。限定的か、広域的かで、その後の対応が変わる。

広域で発生が確認された場合は、その発生圃場の特徴を整理することで、耐性菌対策が見いだせることもある。

青森県における薬剤耐性リンゴ黒星病菌の発生圃場では、①重点防除時期における薬液の散布量が標準散布量に比較して2~4割少ない、②圃地の周縁部(樹)、暴風網の隣接樹、道路際等、SSの散布ルートから外れた場所(樹)で発生が目立つ、③枝量が多く葉が混在している圃地で発生が多い、といったことが共通しており、これらによって生じた散布ムラが二次感染を引き起こし、さらに被害が拡大したと、要因分析されている(赤平ら、2021)。

このことから、基本的な防除手法の励行が重要なことがわかる。

(2) 代替殺菌剤の検討

殺菌剤耐性菌が確認されると、殺菌剤による効果が期待できないため、その殺菌剤の使用を中止するしかない。中止すると、その殺菌剤が担ってきた病害に対する代替防除手段が必要となる。

実際に和歌山県におけるQoI剤耐性ウメ黒星病菌の発生対策として、代替剤への変更および伝染源となる発病枝のせん除など耕種的防除の励行が紹介されている(武田ら、2022)。

殺菌剤耐性菌が確認されると、否応なしに代替剤へ変更し、耕種的防除を駆使することとなる。代替剤があればよいが、登録農薬が少ない作目では、代替剤を検討する余地もなく、化学的防除無しで対策せねばならず、問題はより深刻である。

千葉県では、DMI(sterol DeMethylation Inhibitor)剤耐性菌の発生リスクを軽減するため、各種の病害に対する防除効果を損なうことなく、DMI剤の使用回数を年3回から2回に削減した新たな防除体系の構築に取り組んでいる(青木、2021)。耐性菌が発生する前にDMI剤の使用回数を削減することを目的とした優良事例である。青木氏が、未然の対策にこだわるのは、耐性菌が発生した薬剤を、他系統薬剤に置き換えれば、その薬剤への負荷が増大し、新たな耐性菌の発生リスクも高まるためである。

(3) 耐性菌の発生した殺菌剤の使用中止による感受性の回復の定期的なモニタリング

耐性菌の発生した殺菌剤について、使用中止や使用制限を行った場合、その対応を解除するタイミングが求められる。そのため、定期的に感受性モニタリングを実施し、その後の感受性および分布の推移を把握する。

このように、殺菌剤耐性菌の発生前と発生後の耐性菌対策を紹介した。未然にできる対策はあるが、発生後は使用中止しかなく、いかに未然の対策が重要であるかを理解いただけたと思う。

III 殺菌剤耐性菌管理の実践

殺菌剤が植物病害に対して防除効果を示すかどうかは、①適切な薬剤の選択ができたか、②適切な防除タイミングを設定できたか、③適切な散布法で実施できたかによる(田代、2007)。そして、これら防除効果を高める三つの管理を実践することが、現場における殺菌剤耐性菌管理でもある(山本、2018)。

さらに、化学的防除だけでなく、物理的、生物的、耕種的な防除も含め、病害虫の発生しにくい環境の整備、防除要否およびタイミングの判断、多様な手法による防

表-1 GAP の必須項目

1	農業管理責任者の農業に関する知識向上
2	IPM の実践のための取組を文書化し、結果を把握することにより次年度計画に活かす
3	農業使用計画の文書化
4	RAC コードの確認による耐性・抵抗性の防止
5	農場管理の改善のため、年 1 回以上管理点の自己点検の実施
6	自己点検の結果、不適合だった項目の改善
7	(認証を取得する場合) 年 1 回、第三者認証機関による認証審査による確認・是正

除の三つの取り組みを行うことが IPM の基本である。

これを具体的に個々の農業者が自身の圃場で実行できるような IPM プログラムとして防除計画に落とし込むことが (長坂, 2023)、現場における殺菌剤耐性菌対策と考える。

また、殺菌剤耐性菌管理は実践することが必要である。生産者の実践の仕組みとして、生産工程管理 (GAP) を推奨する (表-1)。GAP の取組により、殺菌剤耐性菌対策およびヒューマンエラーの抑制が期待される (鈴木, 2019)。

IV 殺菌剤耐性菌管理の検証

殺菌剤耐性菌管理が機能しているのかどうか、検証が必要である。防除計画に基づき防除を実践すれば、病害被害を抑制し、かつ殺菌剤感受性に変化がないことを、殺菌剤感受性モニタリングにより検証する。

この殺菌剤感受性モニタリングは、労力のかかる作業であり、昨今の人員不足の中、網羅的に行うことは困難である。

そこで、殺菌剤、病原および栽培リスクの 3 要素から構成する複合リスク表を用いたリスク管理 (田辺, 2013; 鈴木, 2019) をおすすめる。この複合リスク表を用いて、該当する作物や地域において、殺菌剤リスク、病原菌リスク、栽培管理リスクを複合的にリスク評価し、その評価の高いものに絞って、殺菌剤感受性モニタリングを行う。

また、殺菌剤耐性菌モニタリングを実施する場合は、技術指導者や病害虫防除に関する関係機関の集まりの中で、モニタリングの目的と耐性菌が検出された際の対応について合意を得て実施することで、その後の対応が容易かつ迅速となる。

おわりに

最近の月刊「植物防疫」において、「病害虫防除暦」の考え方が、シリーズ化されている。

その一つ、鳥取県におけるニホンナシ病害虫防除暦作成の考え方 (山田, 2023) では、防除暦に薬剤耐性・抵抗性対策を反映させることも重要と考えられ、高リスク薬剤を中心に使用回数の制限や作用機構の異なる剤との混用・ローテーションでの記載を検討し、多発前の使用を呼びかけている。

また、静岡県におけるカンキツ病害虫防除暦作成の考え方 (増井, 2023) では、防除暦モデルは、総合的病害虫管理の考え方にに基づき、生物的防除法や物理的防除法も掲載し、薬剤抵抗性対策や IPM の思想を反映させたものとなっており、この防除暦モデルを作成した考え方を指導員や生産者と十分に共有する必要があることを指摘している。

茨城県におけるナシ病害虫防除例作成の考え方 (小笠原, 2023) では、生産者の化学農薬への過度な依存を防ぐとともに、IPM に対する意識向上のため、防除例には農薬以外の防除法として、多目的防災網の設置、落葉処理、粗皮削り、病斑除去、捕殺等の防除法を記載し、病害虫密度の積極的な低減を呼びかけている。また、薬剤耐性菌や抵抗性害虫に関する生産者の意識を高めるため、防除例に FRAC, IRAC (Insecticide Resistance Action Committee) コードを記載し、追加防除を行う際に同一系統薬剤の連用防止を図っている。

一方で、防除暦に対して、否定的な意見が聞かれる場合がある。スケジュール散布が、過剰散布や必要のない散布につながるという意見である。

確かに、新たに導入した作目の防除体系は手さぐりの状態で作られたものや、完璧な対策を求めるあまり過剰な防除体系になっている防除暦も見受けられる。

しかし、発生生態に基づく防除対策の最適化が図られ、さらに耐性菌対策を考慮した防除暦は、農業者にとって、防除対策の一つ一つの意味について理解でき、耐性菌対策に導く術を示す、最適な指導書と言える (守川, 私信)。この指導書の意味を、現場の指導者や生産者においても理解する必要がある、単なるスケジュール散布にしないことが肝要である (川嶋, 2022)。

このように有効な防除技術は、単独では成り立たず、防除体系という考え方が重要な意味を持っている。この防除体系をムダなく、もれなく実践するためには、事前に防除計画を作成し準備することが重要である。この防除計画を用いて殺菌剤耐性菌発生リスクを見える化する

ことで、現場の指導者や生産者がその考え方を共有し、実践されることを望む。

引用文献

- 1) 赤平知也ら (2021): 植物防疫 **75**: 242~247.
- 2) 川嶋浩三 (2022): 同上 **76**: 325~327.
- 3) 増井伸一 (2023): 同上 **77**: 276~279.
- 4) 長坂幸吉 (2023): 同上 **77**: 299.
- 5) 岡田和秀・井田 仁 (2022): 同上 **76**: 312~318.
- 6) 小笠原孝司 (2023): 同上 **77**: 226~229.
- 7) 鈴木啓史 (2019): 同上 **73**: 614~622.
- 8) ——— (2021): 同上 **75**: 413.
- 9) 武田智明ら (2022): 関西病虫研報 **64**: 75~80.
- 10) 田辺憲太郎 (2013): 農薬時代 第195号: 18~24.
- 11) 田代暢哉 (2007): だれでもできる果樹の病害虫防除, 農山漁村文化協会, 戸田, p.30~32.
- 12) 山本敦司 (2018): 害虫防除技術の最前線: 47~52.
- 13) 山田高之 (2023): 植物防疫 **77**: 336~341.

新しく登録された農薬 (2023.9.1~2023.9.30)

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

「殺菌剤」

●ピリダクロメチル水和剤

24777：フセキフロアブル（住友化学）2023/9/27

ピリダクロメチル：35.0%

小麦：紅色雪腐病：根雪前

だいず：紫斑病：収穫前日まで

てんさい：褐斑病：収穫7日前まで

「除草剤」

●ピラクロニル・フェンキノトリオン・プロピリスルフロ ン・ブロモブチド粒剤

24772：ギガゼータ1キログラム（住友化学）2023/9/6

ピラクロニル：2.0%

フェンキノトリオン：3.0%

プロピリスルフロ：0.90%

ブロモブチド：9.0%

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

直播水稻：一年生雑草，マツバイ，ホタルイ，ミズガヤツリ，ウリカワ，ヒルムシロ，セリ，アオミドロ・藻類による表層はく離

●ピラクロニル・フェンキノトリオン・プロピリスルフロ ン・ブロモブチド水和剤

24773：ギガゼータフロアブル（住友化学）2023/9/6

ピラクロニル：3.7%

フェンキノトリオン：5.5%

プロピリスルフロ：1.7%

ブロモブチド：16.5%

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

直播水稻：一年生雑草，ホタルイ，ミズガヤツリ，ウリカワ，ヒルムシロ，セリ，アオミドロ・藻類による表層はく離

●ピリフタリド・メソトリオン・メタゾスルフロ ン粒剤

24774：アクシズMXジャンボ（シンジェンタ）2023/9/6

ピリフタリド：8.0%

メソトリオン：3.0%

メタゾスルフロ：2.7%

移植水稻：一年生雑草，マツバイ，ホタルイ，ウリカワ，ミズガヤツリ

●ピロキサスルホン・メトブロムロン水和 剤

24775：ローレスフロアブル（ホクサン）2023/9/27

ピロキサスルホン：3.5%

メトブロムロン：25.9%

ばれいしょ：一年生雑草

●ピリフタリド・メソトリオン・メタゾスルフロ ン粒剤

24776：アクシズMXエアー粒剤（シンジェンタ）

2023/9/27

ピリフタリド：8.0%

メソトリオン：3.0%

メタゾスルフロ：2.7%

移植水稻：一年生雑草，マツバイ，ホタルイ，ウリカワ，ミズガヤツリ

特

集

現場における薬剤抵抗性管理

殺虫剤抵抗性管理を行動に移す

—薬剤抵抗性発達レベル指標とリスク評価—

日本曹達株式会社 やま山 もと本 あつ敦 し司

はじめに

農業生態系において、「そもそもなぜ薬剤抵抗性管理が必要なのか？そしてそれを現場で実践するには、何をどうすればよいのだろうか？」本稿ではこれらの疑問を、いわゆる「ゼロ発想」で現場目線から考え情報提供・共有したい。

農林害虫防除研究会の専門委員会「殺虫剤抵抗性対策タスクフォース（2019年設立）」の諸活動は、殺虫剤抵抗性管理が生産現場へ伝わりミスのない病虫害防除に貢献すること目的としている。これまで、殺虫剤を含めた薬剤抵抗性管理に関して、基本的な事項（定義、用語整理、抵抗性問題の重要性、問題解説のための抵抗性リスク分析、抵抗性対策ツール、薬剤ローテーション・混用、および薬剤抵抗性リスクコミュニケーション等）（山本，2012；2017；2019；2020；2023）や、殺虫剤抵抗性リスク評価表（山本・土井，2021）について解説してきた。

本稿では上記の基本的な諸点を理解したうえで、薬剤抵抗性管理を「実践行動へ促す道筋」に視点を置き解説する。本稿の考え方を反映した現場の殺虫剤抵抗性管理の事例が、三重県（田中ら，2023）から報告されているので参照されたい。また本稿では、広い意味で「薬剤抵抗性」という用語を用いるが、「殺虫剤抵抗性」に置き換えても問題はない。

I 薬剤抵抗性管理の実践サイクル

1 薬剤（殺虫剤）抵抗性とは

殺虫剤を含む薬剤抵抗性の定義（FAO，2012；IRAC，2023）は、やや難解であり生産者には伝わりにくい。そのため、この定義を本質から外れずに殺虫剤のケースでわかりやすく説明し直すと、「殺虫剤抵抗性とは、害虫

に対してうっかりと“適切でない方法”で同じ作用機構の薬剤を繰り返し使い続けると、常用薬量でも圃場で防除できなくなってしまう、やっかいなことに、次の世代（子・孫・ひ孫……）へ“遺伝して”伝わってしまう現象だ」となる（山本，2020）。

2 薬剤抵抗性管理とは

薬剤抵抗性管理の本質をよりわかりやすく説明すると、「薬剤抵抗性管理は、病虫害・雑草と折合いをつけて農業に強くさせない（次世代に遺伝させない）防除の大戦略、抵抗性を発達させない上手な防除へ導く道筋」である。これには「自然環境に配慮しながら、病虫害・雑草を防除し尽くすのではなく、農作物に被害を出さない程度に抑える」という、IPM（総合的病虫害・雑草管理）や生物多様性管理（KIRITANI，2000）の考え方が反映されている。

3 薬剤抵抗性管理の実践サイクル

薬剤抵抗性管理を現場の行動へ結びつける方法として、図-1に示すように、薬剤抵抗性対策ツールを活用して実践サイクルを回すことが効率的である。①まず現状を把握するために、薬剤感受性検定を実施し、「抵抗性発達段階・レベルの区分指標」を利用して該当地域の抵抗性発達レベルを薬剤ごとに判断する。②次に、抵抗性リスクを見える化し抵抗性対策方法の選択判断をするために、薬剤抵抗性リスク評価表を現場ごとに作成し、生産者との薬剤抵抗性リスクコミュニケーションに活用する。③それに基づいて既存の防除体系・抵抗性対策法を見直して、新たな薬剤抵抗性管理ガイドラインに則り、抵抗性対策を踏まえたIPM基盤の防除を実施する。

4 薬剤（殺虫剤）抵抗性管理を踏まえた防除の基本

病虫害防除では病虫害を「圃場に入れない、増やさない、圃場の外に出さない」の基本3原則があり、これは薬剤抵抗性管理を踏まえた防除にも応用できる。例えば、殺虫剤抵抗性対策と防除の基本は次の5点である（山本，2019）。

(1) [入れない] 初期防除・予防を行い、抵抗性害虫

Basic Concept of Practical Insecticide Resistance Management Strategy : Based on Integrated Pest Management. By Atsushi YAMAMOTO

（キーワード：殺虫剤抵抗性管理，抵抗性発達レベルの区分，薬剤抵抗性リスク評価）

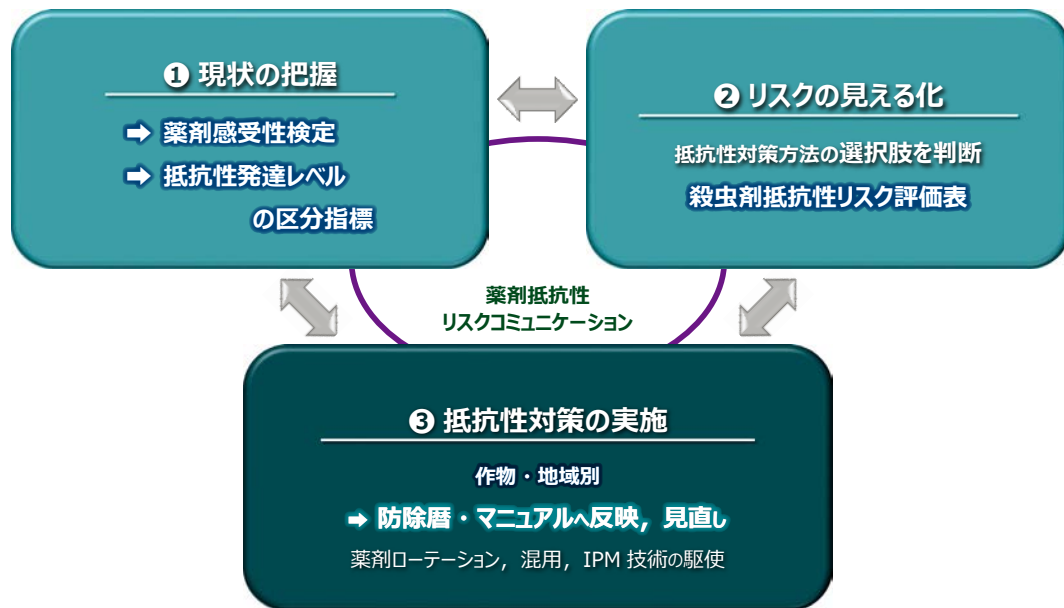


図-1 薬剤抵抗性管理の実践サイクル
山本ら（2022 a）を改訂。

を圃場に持ち込まない。

(2)〔増やさない①〕害虫の連続した世代への同一系統の薬剤施用を避け、抵抗性遺伝子 R を遺伝させない。

(3)〔増やさない②〕追加防除で害虫個体数を十分に少なくし、抵抗性遺伝子 R そのものを徹底的に減らす。

(4)薬剤感受性が復元する環境を整える。そのために、圃場外から感受性ホモ個体 SS を移入、あるいは圃場内の感受性ホモ個体 SS を保護し、抵抗性ホモ個体 RR と交尾・繁殖させる。その結果、圃場内の抵抗性遺伝子 R の頻度を下げる。

(5)〔出さない〕最終防除を行う。害虫防除が終わった抵抗性遺伝子 R 頻度の高い圃場から、圃場外の周辺環境へ抵抗性ホモ個体 RR を移出させないように残渣処理などの最終防除を追加する。

II 薬剤感受性検定

1 薬剤感受性検定で現状を把握

薬剤抵抗性管理の実践サイクルのステップ1「現状の把握」のツール（道具）が、薬剤感受性検定であり、抵抗性リスク評価の入り口である（図-1）。その目的は、①防除を行う前に薬剤の効果のレベルを地域ごとにあらかじめ知ること、②薬剤使用の前後やその過程で、抵抗性発達レベルの変化・推移を知ること、である。薬剤感受性検定には、圃場から採集した害虫を室内で薬剤処理する生物検定法や、薬剤抵抗性原因遺伝子を検出する遺伝子診断法がある。また、感受性検定ではないが、使用者へ防除効果を聞き取るアンケートも参考になる。

薬剤感受性検定は、研究者だけでなく現場指導員も実施できればより望ましい。それは、抵抗性問題を指導員自身のこととして捉え、自分の経験や言葉で農業生産者へ伝えられるメリットとスピード感があり、薬剤抵抗性リスクコミュニケーションを進める上でも有効だからである（群馬県の事例：内堀・原澤，2022）。

2 実施上の課題

一方、次のような課題もある。薬剤感受性検定（生物検定）や遺伝子診断は煩雑で結果が迅速に出ず、次の防除に反映できない場合が多い。それは、①時間・手間・コストがかかるため、すぐにかつ大量に実施できない、②技術習得が必要なため、誰にでも簡単にできない、③専用の機器が必要な場合もあり、どこでもできるわけではない、という技術的な課題が残されているからである。このような課題を踏まえて、現場指導員や生産者でも実施できる「簡易」感受性検定法が、例えばハダニ類（藤原・鹿島，2019）、アブラムシ類（溝部ら，2017）およびアザミウマ類（藤森・井村，2023）等で提案された。

III 殺虫剤抵抗性発達レベルの区分

1 区分する4基準

薬剤抵抗性の現状把握をわかりやすく集約するために、その区分が必要である。そのためには先述の「殺虫剤抵抗性の定義」の本質の理解が必須である。この定義から抵抗性発達区分の判断に必須なキーワードを明確にすると、「①実用量で使用しても、②圃場で期待される③防除効果がなくなる」と下線で強調した3語が抽

出される。

「感受性、感受性低下、抵抗性」の抵抗性発達レベルの用語を区分するには、次の4点が必須な基準となる。それは、当該薬剤の実用薬量での、①使用前と使用後の効果の変化、②圃場の防除効果と室内感受性検定の効果を併せた感受性変化の総合判断である。さらに、③薬剤使用の前と後の比較（時間的変化）や、標準的な感受性系統の個体群との比較をするためには、まず薬剤感受性のベースライン（薬剤使用前の感受性、基本性能）を知る必要がある。そして、④殺虫剤抵抗性の各地域・圃場での広がりの様相（フェーズ）を、薬剤感受性検定やアンケート等で把握し、総合的に抵抗性発達レベルを判断する。

2 区分の判断指標

殺虫剤抵抗性管理には、評価薬剤・害虫の各地域や個別圃場における抵抗性発達レベルの適切な判断が重要な基本である。一方、現状では現場でどう判断したら良いのかという切実な疑問があり、それに加え、例えば「感受性低下」「抵抗性が疑われる」と「抵抗性」は本来異なるが、同義とする判断ミスや用語の使用ミスの報告が散見される。これは、生産者へ誤った防除情報を発信するリスクにつながる。

そのため農林害虫防除研究会/殺虫剤抵抗性対策タスクフォースでは、殺虫剤抵抗性の定義に従い、殺虫剤抵抗性の発達段階・レベルを区分する指標を作成し用語を

明確にした（山本ら，2021 b）（表-1）。作成にあたり、「殺菌剤耐性菌発達レベルの定義と指標/殺菌剤耐性菌研究会」（石井，2010）を参考にした。さらに、「遺伝子診断を用いたリスクレベル区分/農研機構」（山村ら，2019）と「抵抗性広がりフェーズ区分/農林水産省植防課」（白石，2017；鈴木，2019）の各指標も、殺虫剤抵抗性発達レベルの区分指標の重要な項目として対応させ明記した。

3 殺虫剤抵抗性発達レベルの3区分

上記4点を踏まえて、抵抗性リスクを評価したい地域・圃場の害虫個体群における「感受性、感受性低下、抵抗性」のレベルを以下のように区分した（山本ら，2021 b を改訂）。

抵抗性：抵抗性遺伝子頻度が十分に高く、抵抗性個体群が広域に広まっている状態。実用薬量で圃場の防除効果でも室内の生物検定等でも効果が不十分な段階。

感受性低下：抵抗性遺伝子頻度が高まりつつあるが、抵抗性個体群の広まりは限定的な状態。室内の生物検定等で実用薬量や低薬量で効果がベースラインよりも不十分な場合もあるが、圃場では実用薬量の防除効果がある段階。

感受性：抵抗性遺伝子は薬剤使用前と同じく低頻度であり、抵抗性個体群の広まりも見られていない状態。室内の生物検定等でベースラインと同等であり、圃場でも防除効果がある段階。

表-1 薬剤抵抗性の発達レベルの区分指標（殺虫剤抵抗性を例として）
山本ら（2021 b）を改訂

殺虫剤抵抗性の発達レベルの区分		殺虫剤抵抗性発達に関する様々な指標	
抵抗性発達のレベル	①圃場：防除効果 実用薬量・濃度 ②室内：薬剤感受性検定（生物検定） 薬剤感受性ベースライン*）との比較	遺伝子診断による 抵抗性リスクレベル （農研機構）	都道府県下での 抵抗性の広がりフェーズ （農水省植防課 三重県植防会議）
抵抗性	①圃場：防除効果不十分、なし ②室内：効果無し、不十分	リスクレベル 3 高：R 遺伝子頻度 既に抵抗性が発達	フェーズ III：都道府県下で広域に広がる フェーズ II：ある程度の面積規模に広がる
感受性低下	①圃場：防除効果あり ②室内：効果不十分**）	リスクレベル 2 中～低：R 遺伝子頻度 抵抗性が発達中	フェーズ I：一部の圃場の現象にとどまる
感受性	①圃場：防除効果あり ②室内：効果あり（ベースラインと同等）	リスクレベル 1 極めて低：R 遺伝子頻度 抵抗性は未発達	フェーズ 0-a：感受性低下は認められない 他の都道府県では発達あり フェーズ 0-b：感受性低下は認められない
参考：非感受性	もともと効果がない	—	—

*）薬剤感受性ベースライン：薬剤使用前の個体群，あるいは標準感受性個体群における薬剤感受性。

**）生物検定：実用薬量やそれよりも低い薬量で効果があっても、ベースラインと比較して効果が不十分であれば「感受性低下」となる。
引用：農研機構：山村ら（2019），農水省植防課：白石（2017），三重県植防会議：鈴木（2019）。

4 区分上の留意点

圃場での抵抗性発達レベル区分の判断の留意点を述べる（山本ら，2021 b）。まず，①圃場の防除効果を十分に考慮せずに，主に室内の生物検定等に頼り切った判断をしがちな点である。次に，②薬剤の圃場防除効果へ影響する気象条件（好天続きによる光分解や降雨影響による薬剤流亡など）や防除タイミングが合わずに防除が不十分であった場合に，抵抗性発達と勘違いし判断する場合もある。さらに，③生物検定や遺伝子診断した害虫個体群の採集場所が限られていたり，採集個体数が少なかったりすれば，その地域全体の薬剤感受性の状況を反映しているとは言えず，いわゆるサンプルサイズにも留意する必要がある。この3点をあわせて留意し判断すると判断ミスがなくなり，現場指導員・生産者へ適切な情報提供ができる。

一方，個々の殺虫剤の「薬剤感受性ベースライン」データの設定方法やそのデータの共有方法については，現場だけでなく研究者間でも十分に議論されていない。この課題は，農林害虫防除研究会/殺虫剤抵抗性対策タスクフォースにて検討中である。

IV 殺虫剤抵抗性リスク評価表

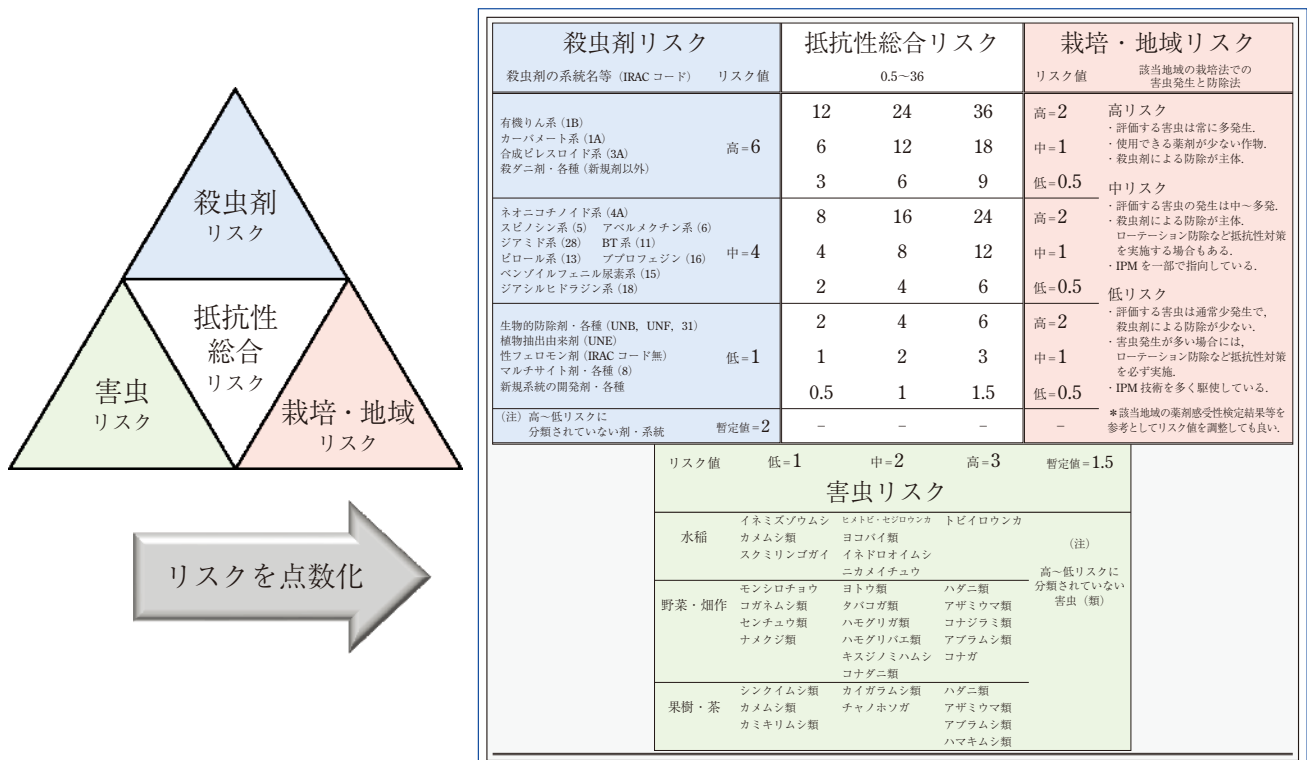
1 殺虫剤抵抗性リスク評価表とは

薬剤抵抗性管理の実践サイクルのステップ2「リスクの見える化」のツール（道具）が，殺虫剤抵抗性リスク評価表である（図-1）。害虫や雑草の薬剤抵抗性や病原菌の薬剤耐性の発達パターンと薬剤感受性レベルは農作物や地域により異なる（山本・土井，2021）。一方，普及指導員や農業生産者にとっては，防除を行う前に「薬剤抵抗性リスクが高いのか低いのか？」をあらかじめ予測し判断できるわかりやすくして簡単なツールが欲しい。薬剤抵抗性リスク評価表（以下，リスク評価表）は，薬剤抵抗性リスクの「高い，低い」を点数化し見える化した表であり（図-2），これまでの病虫害防除を見直すきっかけになる。

害虫の殺虫剤抵抗性リスク評価表は2020年に農林害虫防除研究会の殺虫剤抵抗性対策タスクフォースにて作成され，リスク評価基準も含めて解説されている（山本・土井，2021；農林害虫防除研究会 HP）。

2 抵抗性リスク評価表の目的と作成対象者

抵抗性リスク評価表の目的の中で，次の3点がキープ



抵抗性総合リスク値 = 殺虫剤リスク値 × 害虫リスク値 × 栽培・地域リスク値

図-2 殺虫剤抵抗性リスク評価表 (Ver.2-3)

引用：山本・土井 (2021)。

レーズとなる。

- (1) 地域の自然環境の異なる農業生産現場ごとに、
- (2) IPM 基盤の薬剤抵抗性対策を前もって考えたミスのない薬剤防除を行うために、
- (3) 抵抗性リスクをあらかじめ知る(予測する)こと。

栽培・地域リスクは地域や圃場により異なるため、リスク評価表は同じ作物・害虫の組合せであっても、地域や圃場ごとにいくつあってもかまわず、むしろそのほうがよい。

リスク評価表の使用対象者すなわち作成者は、主に現場の指導員等を含めた関係者と生産者である。そして、先述の「薬剤抵抗性リスクコミュニケーション」で活用できる。

3 抵抗性リスク評価表の作成事例

薬剤抵抗性リスク評価表の現場での作成事例はまだ多いとは言えないが、現場の薬剤感受性検定や作物の栽培状況等を考慮して作成された事例がある。例えば、2021～23年の各種学会大会等において、ナミハダニ(土井ら, 2021; 山本ら, 2021 a), コナガ(山本ら, 2022 b), ネギアザミウマ(窪田ら, 2022; 山本ら, 2022 c; 田中ら, 2023) およびチャノコカクモンハマキ(田中ら, 2023) で報告された。さらにトビイロウンカ等の飛来性害虫でも検討が始まった(山本ら, 2023)。また、和歌山県のJAながみねのかんきつ防除暦(2021年)に、チャノキイロアザミウマ等各種害虫を対象としたリスク評価表が記載された。これは現場の指導員によって初めて作成されたものである。

V みんなが得する薬剤抵抗性管理

薬剤抵抗性管理の実践サイクルのステップ3「抵抗性対策の実施」のポイントは何か?(図-1) 薬剤抵抗性管理のリスク分析を行い、いくら研究をやって施策を作っても、生産者へ伝わり行動に結びつき実践されなければ意味がない。では、伝わるにはどうするか、抵抗性発達をこじらせる防除のヒューマンエラーをどう減らすか。この問題を解決するため、現場の普及指導者を情報の流れの中核とした、生産者と技術者との3者間の情報共有システムを提案している。この薬剤抵抗性管理の対話ツールが、「薬剤抵抗性リスクコミュニケーション」であり、その考え方の基本(山本, 2020)と成功事例からは学ぶ点が多い(田中ら, 2023; 山本, 2023)。薬剤抵抗性管理はIPMの一環であり防除の成功につながる。農業生産に関わる者が所属の枠を超えてワンチームとなり、「みんなが得する薬剤抵抗性管理」(山本, 2019)への

のビクトリーロードを駆け抜けた!

おわりに

本稿では、殺虫剤抵抗性管理を行動に移すための要点を解説した。一方、作物生産現場にとっては、殺菌剤耐性や除草剤抵抗性も現場の重要な問題であり、今後は各専門家・団体とも連携をとりセットで農業生産現場へ貢献したい。本稿の内容は、農林害虫防除研究会/殺虫剤抵抗性対策タスクフォースの活動の一環であり、7名の委員(所属・敬称略: 井口雅裕, 刑部正博, 清水 健, 田中千晴, 土井 誠, 野田隆志, 山我岳史)の諸氏と協働したものであるとともに、執筆にあたり多くの協力および示唆をいただいた。厚く御礼申し上げる。

引用文献

- 1) 土井 誠ら (2021): 日本ダニ学会誌 **31**: 21~22.
- 2) FAO (2012): Guidelines on Prevention and Management of Pesticide Resistance, International Code of Conduct on the Distribution and Use of Pesticides.
- 3) 藤森颯太・井村岳男 (2023): 第27回農林害虫防除研究会和歌山大会 講演要旨: 13.
- 4) 藤原 聡・鹿島哲郎 (2019): 関東病虫研報 **66**: 118~122.
- 5) IRAC (2023): IRAC Mode of Action Classification Scheme, Ver. 10.5.
- 6) 石井英夫 (2010): 第20回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講演要旨集: 1~10.
- 7) KIRITANI, K. (2000): Integrated Pest Management Reviews **5**: 175~183.
- 8) 窪田直也ら (2022): 第66回日本応用動物昆虫学会大会講演要旨集, W1101: 166.
- 9) 溝部信二ら (2017): 応動昆 **61**: 252~255.
- 10) 農林害虫防除研究会 HP: <http://agroipm.org/>
- 11) 白石正美 (2017): 植物防疫 **71**: 269~277.
- 12) 鈴木啓史 (2019): 同上 **73**: 615~622.
- 13) 田中千晴ら (2023): 同上 **77**: 605~611.
- 14) 内堀知佳・原澤亮太 (2022): 第2回殺虫剤抵抗性対策シンポジウム 講演要旨, 農林害虫防除研究会: 21~29.
- 15) 山本敦司 (2012): 日本農薬学会誌 **37**: 392~398.
- 16) ——— (2017): 植物防疫 **71**: 337~346.
- 17) ——— (2019): 同上 **73**: 766~773.
- 18) ——— (2020): 関東病虫研報 **67**: 1~8.
- 19) ——— (2023): 「化学農薬・生物農薬およびバイオスティミュラントの創製研究動向/シーエムシー出版」: p.516~550.
- 20) ———・土井 誠 (2021): 植物防疫 **75**: 16~24.
- 21) ———ら (2021 a): 日本ダニ学会誌 **31**: 22.
- 22) ———ら (2021 b): 第1回殺虫剤抵抗性対策シンポジウム 講演要旨, 農林害虫防除研究会: 1~8.
- 23) ———ら (2022 a): 第2回殺虫剤抵抗性対策シンポジウム 講演要旨, 農林害虫防除研究会: 1~4.
- 24) ———ら (2022 b): 第66回日本応用動物昆虫学会大会 講演要旨集 O234: 43.
- 25) ———ら (2022 c): 同上 W1103: 168.
- 26) ———ら (2023): 第27回農林害虫防除研究会和歌山大会 講演要旨: 24.
- 27) 山村光司ら (2019): 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/農研機構): p.16~29.

特

集

現場における薬剤抵抗性管理

兵庫県における殺菌剤耐性菌の発生要因解析と発生後の対応

兵庫県立農林水産技術総合センター うちし か いち まつもと じゅんいち いわもと ゆたか
内橋 嘉一・松本 純一・岩本 豊

はじめに

兵庫県は、北は日本海、南は瀬戸内海（太平洋）に面しており、多彩な農林水産業が営まれている。農業産出額のうち、水稻が約30%を占めており、その栽培面積は35,800 haである（R3 県農産園芸課調べ）。コシヒカリ13,228 ha、キヌヒカリ5,072 ha、ヒノヒカリ6,871 haの3品種が、主食用米の約8割を占めており、他に山田錦を中心に酒米が4,533 ha作付けされている。地理的にみると県北部はコシヒカリ、県西部はキヌヒカリ、ヒノヒカリ、県東部はコシヒカリ、キヌヒカリおよび山田錦、県南部はキヌヒカリが主要品種となっており、これらの水稻栽培を支える採種産地は県内3つのエリアに約300 haある。兵庫県では近年の消費者ニーズの多様化に対応して、地産地消を目指した新品種の開発や環境への負荷軽減に配慮した環境創造型農業の拡大に取り組んでいる。また、吟醸酒ブームや日本酒の輸出増等に伴い需要が増加している山田錦等の酒米の高品質・安定生産にも重点を置いている。担い手や生産基盤の面では、第2種兼業農家の割合が約70%と全国（58%）よりも高く、1戸当たりの経営耕地面積は全国（1.96 ha）の半分程度であり、小規模な経営が大半を占めている。

水稻病害のうち、殺菌剤耐性が問題となるのはいもち病とばか苗病である。殺菌剤耐性いもち病菌は、1980年代のカスガマイシン剤に始まり、近年ではQoI剤でその発生が全国的に問題となった（表-1）。また、種子消毒剤ではペフラゾエート耐性ばか苗病菌が兵庫県において最近問題となった。

QoI剤耐性いもち病菌のケースを例にとると、まずその発生要因を解明したうえで、発生を未然に防ぐために普及センターやJAなど現地指導機関と連携して採種園を含む防除暦の策定や耐性菌のモニタリング調査および

表-1 兵庫県で発生した水稻病害の殺菌剤耐性菌

病害名	薬剤名	発生年
いもち病	カスガマイシン剤	1980年代
	IBP剤	1983年
	MBI-D剤	2003年
	QoI剤	2013年
ばか苗病	ベノミル剤	1987年
	トリフルミゾール剤	1993年
	ペフラゾエート剤	2021年

新たな防除手段の開発を行ってきた。

そこで、本稿では兵庫県におけるMBI-D剤耐性いもち病菌、QoI剤耐性いもち病菌およびペフラゾエート剤低感受性ばか苗病菌の発生経過、発生要因解析および発生後の対応について報告する。

I 殺菌剤耐性イネいもち病菌の発生要因解析と発生後の対策

1 MBI-D耐性イネいもち病菌 (*Pyricularia oryzae*)

カルプロパミドは、シタロン脱水酵素阻害型メラニン合成阻害作用をもつ剤（MBI-D剤）の代表的な殺菌剤の一つである。MBI-D剤は、1998年のカルプロパミド剤を筆頭に、2000年、2001年にそれぞれジクロシメット剤、フェノキサニル剤が上市された。兵庫県内でもカルプロパミド箱粒剤の普及が進み、上市から3年を経た2002年時点で約12,000 haに使用された。

しかし、これらの薬剤に耐性を有するいもち病菌の発生が2001年に初めて佐賀県で確認され、翌年には九州全県に広がり、その後、近畿中四国地域を中心に拡大し、さらに東北地域まで広がった。

兵庫県でも2003年にいもち病の発生が多く確認され、カルプロパミド剤を施用していたにもかかわらず発生が認められたことから、耐性菌の分布を調査したところ、広域で発生が確認された。2003年の結果を受け、MBI-D剤の使用を停止したことにより（岩本ら、2007）、耐性菌は年を経るごとに減少し、2009年には検出されなくなった（図-1）。

Analysis of Factors Contributing to Occurrence of Fungicide-Resistant Fungus and Post Occurrence Responses in Hyogo Prefecture.
By Kaichi UCHIHASHI, Junichi MATSUMOTO and Yutaka IWAMOTO

（キーワード：水稻，殺菌剤耐性菌，要因解析，耐性リスク，GAP）

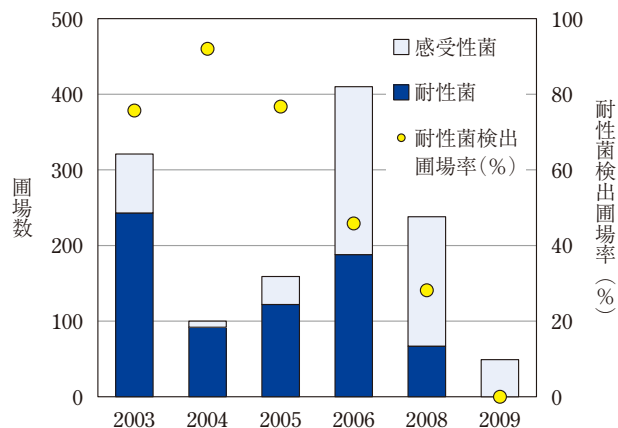


図-1 兵庫県における MBI-D 剤耐性いもち病菌の検出状況

カルプロパミド剤の普及後 3～4 年で耐性菌が発生した佐賀県の事例と同様に兵庫県においても薬剤処理による菌の選抜が起こったと考えられた。また、県内広域で発生した理由として、耐性菌を保菌した種子の流通による拡散の可能性が考えられた。

2 QoI 剤耐性イネいもち病菌の発生とその後の対策

(1) 発生状況

兵庫県の重要施策である環境創造型農業を進めるため、施用する殺菌剤の成分数を減らす必要があることから、いもち病と紋枯病を同時防除できるオリサストロビン剤等の QoI 剤の普及が 2009 年から本格化した。

QoI 剤は省力化を求める生産者のニーズに応え、JA 育苗施設等で播種時処理されたことなどから、2013 年には 22% まで使用面積率を伸ばした。しかし、2013 年の QoI 剤耐性菌の発生に伴い、使用自粛が要請されたため、翌年以降、ほぼ使用がなくなり代わって抵抗性誘導剤のシェアが増えた。

2012 年の QoI 剤耐性いもち病菌の検定は(株)BASF が PCR-RFLP 法を用いて行い、2013 年以降は兵庫県立農林水産技術総合センターが主に培地法(宮川・富士, 2013)を用いて行った。その結果、QoI 剤耐性いもち病菌は、2012 年には 87 圃場で検出されなかったものの、2013 年には圃場率 71% と高い割合で検出された(図-2; 内橋ら, 2014 a; 2014 b)。その後、使用自粛となり、4 年後の 2017 年には 9% と大きく低下した。このことから、耐性菌は感受性菌よりも生存能力が低い可能性があると考えられた。

地域ごとに見ると、県東部、西部および南部の各地域では葉いもちで高率で耐性菌が見られたのに対して、北部では低率であった。また、西部ではいもち病が激しく発生した圃場が多く見受けられた。



図-2 QoI 剤耐性いもち病菌が引き起こした葉いもち

(2) 各地域のオリサストロビン使用量といもち病発生量

このように、地域間の耐性菌発生状況に大きな差が見られたことから、その発生拡大要因を明らかにするため、発生年である 2013 年のオリサストロビンの使用量といもち病発生量の関係について検討した。2012 年のオリサストロビンの販売量から 2013 年の地域ごとの使用面積と面積率を推定すると、県北部では 33%、県東部では 16%、県西部では 31% および県南部では 12% となった。このように、いもち病だけでなく、紋枯病にも卓効を示すオリサストロビンは使用剤数を減らす目的で広く普及し、県内 13JA のうち 10JA で栽培暦に採用されていた。

鈴木ら(2017)は、2007～14 年(8 年間)の耐性菌の発生確率を目的変数に、2007～12 年(6 年間)のオリサストロビンの累積使用面積率を説明変数とするロジスティック回帰モデルにより、2014 年の QoI 剤耐性菌の発生確率 50% と推定できるオリサストロビン累積使用面積率は 2012 年(6 年目)までに 68% であると報告している。これは、使用面積率 10% 以上で連用した場合に 5～6 年で耐性菌が発生するおそれがあることを意味している。

販売量からオリサストロビンの推定使用面積率を算出したところ、2010～13年の累計で75%となったことから、高い面積率でのオリサストロビンの連用が耐性菌の発生につながったものと推察された。

しかし、県北部に注目すると、2013年のオリサストロビン使用面積率が高い割合であったにもかかわらず、耐性菌検出圃場は穂いもちの1圃場にとどまり、葉いもちでの発生が多く、圃場で見られた他地域と発生状況が大きく異なった。

また、7月の地域ごとの葉いもちの発生圃場数を見ると耐性菌が多発した県西部では、発生圃場率60%となったのに対して県北部では発生圃場率13%と低かった。

(3) 耐性菌発生拡大要因の解析

県北部でオリサストロビンの使用面積率が高いにもかかわらず、いもち病発生圃場率が低いのは、この剤の防除効果が十分にあった、つまり耐性菌の存在が少なかったことが大きな要因であると考えられる。では、なぜ県北部と他の地域で耐性菌の検出率やいもち病の発生量にこのような差が生じたのだろうか。いもち病の伝染経路は主に種子伝染であり、県内広域に耐性菌が確認されたことから、一因として保菌種子の流通状況の違いが関与している可能性が考えられた。

そこで、耐性菌が発生した2013年に葉いもちから分離したQoI剤耐性菌の個体群解析（フィンガープリント解析、以下FPとする）をpot2-rep PCRを用いて行った。その結果、耐性菌を検出した圃場では同じFPの耐性菌が観察され、それらは県西部、東部および南部に広く分布した（内橋ら、2016）。

高橋ら（2010）は、2005～07年にかけて岩手県内で採取したMBI-D耐性菌のFP解析を行った結果、特定のFPの耐性菌（Iwa3）が優占していることや採種圃場種子からもIwa3が分離されたことから耐性菌の発生拡大は保菌種子由来であると推察している。

これらのことから、特定の産地で生産された種子に何らかの要因で耐性菌が感染し、各地域での耐性菌の発生につながった可能性があると考えられた。県内種子生産圃場では、これまでQoI剤は使用されていない。しかし、種子生産圃場以外ではQoI剤が使用されている場合があり、さらに種子生産圃場がいもち病発生リスクがある地域に位置する場合があるため、気象条件によっては周辺圃場からの飛び込みが起きやすく、2012年に行ったモニタリングでは検出できなかった耐性菌が存在した可能性がある。

また、県西部ではオリサストロビンの施用圃場で移植直後に筋状に激しく発病したケースが観察され、種子由

来の耐性菌が育苗施設で拡大したものと推察された。佐々木らはMBI-D剤耐性いもち病菌を保菌した苗にMBI-D剤を処理すると定植後の圃場で耐性菌が優占することと、種子の保菌率が高いと初発日が早いことを報告している（佐々木・猫塚、2009）。

一方、山下ら（2014）は、抵抗性誘導型箱施薬剤は効力発現までにやや長期間を要することから、育苗期のいもち病防除に適さないことを報告している。

これらのことから、何らかの箱施薬剤が散布されていてもQoI剤耐性いもち病菌に感染した種子等が伝染源となって育苗時にいもち病が蔓延したことが、広域に拡大する要因のひとつになったものと考えられた。

以上のことから、QoI剤耐性いもち病菌の発生・拡大を防ぐため、次の対応が必要であったと考えられた。

- ① QoI剤の使用面積が一定レベルを超えないようにアラートを出す。
- ② QoI剤のように耐性菌リスクの高い箱施薬剤の播種時処理は避ける。
- ③ いもち病に卓効があるベノミル剤による播種直後の防除を行う（内橋ら、2014）。

(4) 発生後の対応

兵庫県病害虫防除所（2013）は、耐性菌が発生した直後に、県内全域でのQoI剤使用を自粛を要請した。耐性菌の発生がほとんどなかった県北部では、発生後もオリサストロビン剤の使用を続ける可能性が考えられた。しかし、県北部での同剤の使用面積率が高いことに加えて、県西部や県東部などの隣接地域に耐性菌が発生しており、使用を続けた場合、早期の耐性菌の拡大が推測された。

これらのことから、発生直後の県全域に対するQoI剤使用自粛要請は県北部の被害を未然に回避した点で、適切な対応だったと考えられた。

また、兵庫県は県外にも種子を出荷しているため、県農作物改良協会は耐性菌の拡大を未然に防ぐため、2013年度産種子の出荷前に、取引先に耐性菌発生県であることを周知した。

II 殺菌剤低感受性イネばか苗病菌の発生と その後の対策

イネばか苗病は、*Fusarium fujikuroi*を病原とする種子伝染性病害であり、開花期に感染した種子が保菌して翌年の伝染源となる。育苗期に発生した場合は種子生産者に対するクレームの対象となり、防除対策が必要とされる病害である（藤、2018）。

本病は1980年代末から90年代初めころまで多発して

いたが、効果の高い種子消毒剤（DMI 剤）の使用で 2000 年代後半までほとんど発生が見られなくなっていた。しかし、その後の生物農薬や温湯消毒の普及や多様な品種の導入により、発生が顕在化した。

そこで、県内で長年使用されているペフラズエート（Pf）剤を用いて、ばか苗病菌の Pf 剤に対する感受性を調査した。兵庫県内で発生したばか苗症状個体から常法に準じて分離し、それを形態観察と PCR-RFLP（SUGA et al., 2014）あるいはリアルタイム PCR（AMATULLI et al., 2012）で同定を行った。

その結果、2018 年は 149 菌株、2019 年は 188 菌株のばか苗病分離菌（*F. fujikuroi*）株を得た。Pf への薬剤感受性検定は WADA et al.（1990）に準じて最小生育阻止濃度（Minimum Inhibitory Concentration, MIC）法で行った。その結果、2018 年、2019 年の MIC 値はいずれも $12.5 \mu\text{g/ml}$ を頂点とする一峰性の感受性分布であり、WADA et al.（1990）が報告している本薬剤が上市されたころの $1.56 \mu\text{g/ml}$ を頂点とする一峰性の感受性分布と比較すると、ピークの値は 4～8 倍高濃度側に移行していた（図-3）。

次に、2019 年は 9 菌株、2020 年は 3 菌株を、イネ品種「短銀坊主」に減圧接種して、これらを健全種子に 30% 混和し、各剤の防除効果を検討した。その結果、各菌株の Pf 剤に対する感受性の低下が認められた（表-2）。一方、これらの菌株に対するフルジオキシニル・ペフラズエート C（C + Fl + Pf）剤とイプコナゾール C（Ip + C）剤の防除効果はともに高かった。

Pf 剤は 1992 年ころより 30 年近く兵庫県内で広く種子消毒剤として使用されてきた。このような広域での連用が、感受性低下菌出現の要因と考えられた。

この結果を受けて、兵庫県では、Pf 剤の使用を中止し、代替剤に切り替えるとともに、代替剤の感受性低下を避けるため、原種圃場や採種圃場で C + Fl + Pf 剤と Ip + C 剤が交互に使用される仕組みを導入した。

III 水稻病害の耐性リスク対策

兵庫県では以下の 3 点に重点をおき、採種圃場を中心に、水稻病害の耐性菌対策を推進している。

1 複合リスクにもとづく耐性リスクを意識

防除暦などの防除スケジュールを作成する際、複数の病害に対して適切な時期に適切な剤を施用する必要がある、労力やコストも勘案するとパズルのように難しい作業になる。

その際に強く意識するのは、複合リスクにもとづく耐性リスクである（Japan FRAC, 2019）。水稻防除に用いられる殺菌剤リスクは、QoI 剤や MBC 剤で高、SDHI 剤で中～高、DMI 剤では中である。一方、病原菌リスクは、イネいもち病で高、イネばか苗病で中、イネごま葉枯病や紋枯病で低となる。さらに、これらに栽培リスクを考慮したものが複合リスクである。

例えば、いもち病に QoI 剤を使用し、栽培リスクが高い状態であると、複合リスクは最も高くなる。そのため、採種圃場では防除スケジュールを作成する際、まず使用する剤のリスクを把握し、殺菌剤リスクの高い剤を使

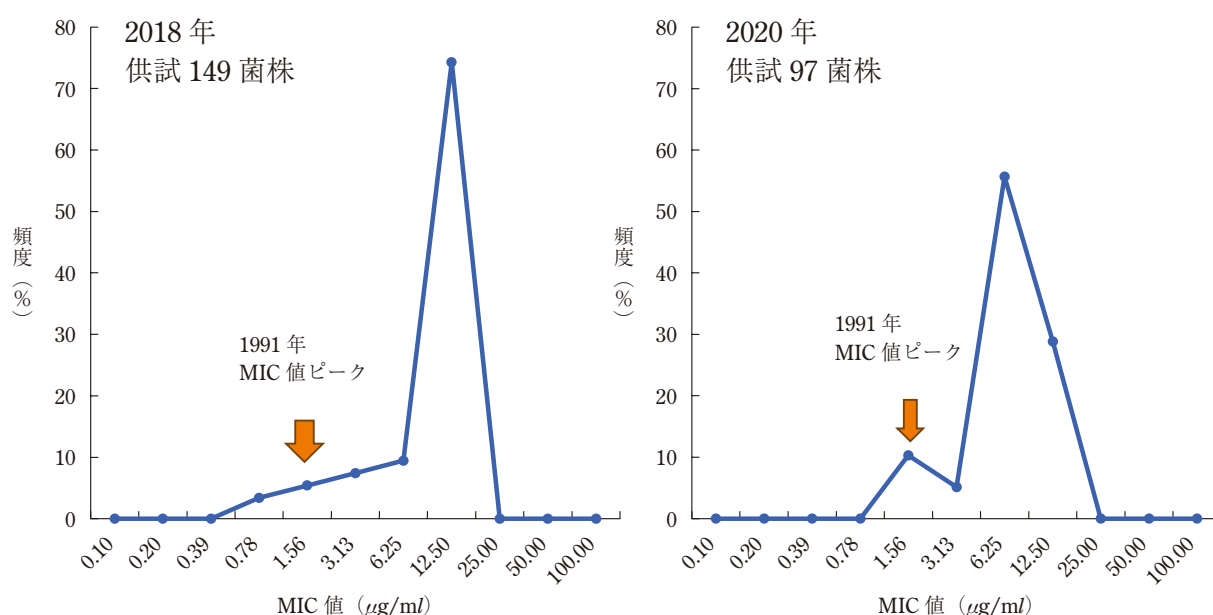


図-3 イネばか苗病菌のペフラズエートに対する感受性分布

表-2 兵庫県内のイネばか苗病に対する各殺菌剤の防除効果

菌株	採取年度	採取地域	培地法でのMIC値 (mg/l)		育苗法による各剤の防除価 ¹⁾		
			ペフラゾエート	イブコナゾール	Pf 剤 ²⁾	C + Fr + Pf 剤 ²⁾	Ip + C 剤 ²⁾
1	2019	A	12.5	1.57	38.6	100.0	99.6
2	2019	A	12.5	1.57	29.6	100.0	98.5
3	2019	A	12.5	1.57	61.2	100.0	100.0
4	2019	A	12.5	1.57	74.4	99.4	99.0
5	2019	B	0.78	0.39	97.6	100.0	100.0
6	2019	B	12.5	1.57	62.8	100.0	100.0
7	2019	C	1.57	0.78	98.2	100.0	100.0
8	2019	D	1.57	0.39	92.7	100.0	96.0
9	2019	D	1.57	1.57	95.2	100.0	100.0
10	2020	B	12.5	0.78	98.3	100.0	100.0
11	2020	B	12.5	1.57	10.7	100.0	97.2
12	2020	B	12.5	1.57	68.9	99.5	100.0

¹⁾ 無処理区を含む各処理区の徒長苗率（出芽した苗のうち徒長した苗の割合）を算出して、防除価は以下の式で計算した。

（無処理区の徒長苗率－処理区の徒長苗率）÷無処理区の徒長苗率×100。

²⁾ Pf 剤：ペフラゾエート乳剤，C + Fr + Pf 剤：銅・フルジオキシニル・ペフラゾエート水和剤，Ip + C 剤：イブコナゾール・銅水和剤。

種子消毒はいずれの薬剤も200倍希釈液に浸種前24時間種子浸漬処理した。

供試品種は‘短銀坊主’で、健全種粳：イネばか苗病菌分離株減圧接種粳＝7：3に混合して供試した。

用しないことに加え、多肥や風通しの悪い圃場の選定を避けるなど、病原菌リスクの高いもち病などの栽培リスクをつくらないように留意することになる。

2 ガイドラインの遵守と IPM (Integrated Pest Management) の実践

水稻栽培は種子生産組織によって支えられており、耐性菌を発生させない高度な管理を行っている。種子生産者には、殺菌剤耐性菌研究会が作成した各剤グループのガイドラインの遵守を求めている（鈴木, 2019）。例えば、DMI 剤ガイドラインでは、DMI 剤耐性ばか苗菌の発生を避けるため、採種圃での長期残効型 DMI 剤の使用は避けることとしている（殺菌剤耐性菌研究会, 2018）。

また、耐性菌の発生を避け、効果的な防除を実現させるためには、化学的防除だけに頼らず、耕種的、物理的、生物的な防除法を統合した対策が有効となる（鈴木, 2021）。そのため、水稻の各病害の生態を基に予防・観察・対策の3ステップを組み込んだ IPM の実践を推進している。

3 GAP (Good Agricultural Practice : 農業生産工程管理) の活用と推進

農業者が耐性リスクを踏まえた防除計画の作成と実践を確実に行うには、GAP に取り組むのが近道である（図-4）。農業者は適切な薬剤の選択、農薬使用計画、適切なタイミングの設定、適切な散布法の実施および農薬の使用記録の作成を実施する。農薬使用計画を作成する

際、事前に耐性リスクなどに関して外部アドバイザーとのリスクコミュニケーションを行う（鈴木, 2021；山本, 2019）。

さらに、水稻病害ではいったん発生した耐性菌は周辺エリアに影響を及ぼすことから、農業者単独で取り組むのではなく、地域や産地全体での取り組みが求められる。兵庫県では種子予措から播種作業のチェックリストを作成し、実践している。これらの取り組みを起点に今後の GAP の導入につなげていきたい。

おわりに

水稻の採種圃場での病害対策や耐性菌対策は、水稻の一般栽培で病害防除を成功させるための効率的で効果的なシステムである。これをうまく機能させるために、農業者、産地および指導機関が定期的な耐性リスクが高い剤の使用を避ける等、チェックを怠らないことが肝要である。この点で年1回の点検が求められる GAP を導入することにより、これらの仕組み化が期待できる。

また、種子生産者を栽培指導する技術者の側では、担当者が替わっても知識や技術が伝承できるよう、現場で活用できる技術者向けマニュアルの充実・強化を図るとともに、前述の取組を継続するための行政への提案を続けていくことが必要と考えられる。

謝辞 本稿に関するデータを提供いただいた BASF 株式会社、JA 全農兵庫、兵庫県農作物改良協会、ならび

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举（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（重要管理点）か？
作付け圃場の選定	近隣に病害虫の常発田がある	No	事前に農薬を使わない圃場などの情報収集を行い、持ち主との話し合いや栽培圃場の変更を行っている		
農薬受け入れ	必要な殺菌剤を購入しておらず、手持ちの殺菌剤を使用	No	事前に防除プランを作成している	事前の計画	
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散布	No	作付け前に病害虫防除に詳しい外部アドバイザーの意見を聞いて防除プランを作成し、チェックを受けている		
播種	育苗時のいもち病の発病	No	卓効のある薬剤を準備		
防除判断・防除指示書	圃場（周辺を含む）の観察を行わず発病が進んでからの防除	Yes	防除適期（初発）の見逃し	BLASTAM の感染好適条件をチェックし、周辺を含む圃場の観察を毎日実施し、記録する	CCP
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	効果的な実践	
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調製することで管理できている		
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		

図-4 水稻種子生産における GAP の活用イメージ

にサンプルを提供いただいた兵庫県内の農業改良普及センター等指導機関および水稻生産者の皆様に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 1) AMATULLI, M. T. et al. (2012): EJPP 134: 401~408.
- 2) 藤 晋一 (2018): 植物防疫 72: 254~258.
- 3) 兵庫県病害虫防除所 (2013): 病害虫発生予察技術情報 第 1 号 (QoI 剤耐性いもち病菌に関する速報).
- 4) 岩本 豊ら (2007): 関西病虫研報 (49): 17~18.
- 5) Japan FRAC (2019): 殺菌剤の耐性リスク評価方法について.
- 6) 宮川典子・富士 真 (2013): 第 23 回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講要集: 25~36.
- 7) 日本植物病理学会殺菌剤耐性菌研究会 (2018): 耐性菌対策のための DMI 剤使用ガイドライン.
- 8) 佐々木直子・猫塚修一 (2009): 日植病報 75: 215 (講要).
- 9) SUGA, H. et al. (2014): Fungal Biology 118: 402~412.
- 10) 鈴木文彦ら (2017): 関東東山病虫研報 (64): 6~9.
- 11) 鈴木啓史 (2019): 植物防疫 73(10): 615~622.
- 12) ——— (2021): 第 1 回殺虫剤抵抗性対策シンポジウム講演要旨.
- 13) 高橋直子ら (2010): 北日本病虫研報 61: 9~13.
- 14) 内橋嘉一ら (2014 a): 日植病報 80(4): 266 (講要).
- 15) ———ら (2014 b): 関西病虫研報 57: 93~96.
- 16) ———ら (2016): 日植病報 82(3): 249 (講要).
- 17) WADA, T. et al. (1990): Ann. Phytopath. Soc. Japan 56: 449~456.
- 18) 山下 亨ら (2014): 植物防疫 68: 108~113.
- 19) 山本敦司 (2019): 同上 73: 766~773.

特

集

現場における薬剤抵抗性管理

三重県における薬剤抵抗性管理の取組および
殺虫剤抵抗性リスク評価表の防除指導への導入
について三重県農業研究所 田中 ち は る に し の み の る さ さ き あ や の
* 彩乃

はじめに

三重県では、病害虫の薬剤抵抗性の発達を未然に防ぐ指導を行うため、農業研究所において薬剤感受性検定を行い、その結果をもとに薬剤抵抗性発達リスクに応じた指導方針を策定している。しかし、実際の生産現場では、薬剤抵抗性管理が十分に実践できているとは言えず、指導面の課題は多い。今回は本県の薬剤抵抗性管理の取組および防除指導の体制について説明する。次に、防除指導の方針を策定する過程と実際の指導状況の事例として、ネギ栽培におけるネギアザミウマ対策と、チャ栽培におけるチャノコカクモンハマキ対策について紹介する。いずれの事例も薬剤抵抗性対策としては途上の段階であるが、課題解決の糸口として新たに提唱された「殺

虫剤抵抗性リスク評価表」(山本・土井, 2021)の導入を試みたことも併せて報告する。

I 薬剤抵抗性病害虫・雑草に対する防除指導の体制と課題

1 三重県植物防疫検討会議の設置と薬剤抵抗性部会の活動

三重県では植物防疫に関する施策を円滑に進めるために、三重県植物防疫検討会議を設置している(図-1)。本会議は県庁の植物防疫担当、病害虫防除所、中央農業改良普及センター、農業研究所で構成され、作業部会として薬剤抵抗性管理の指導を目的とした「薬剤抵抗性部会」や、IPM 実践指標について検討を行う「IPM 部会」、県の防除指針を編集するための「防除の手引き部会」がある。

三重県の薬剤抵抗性管理の体制

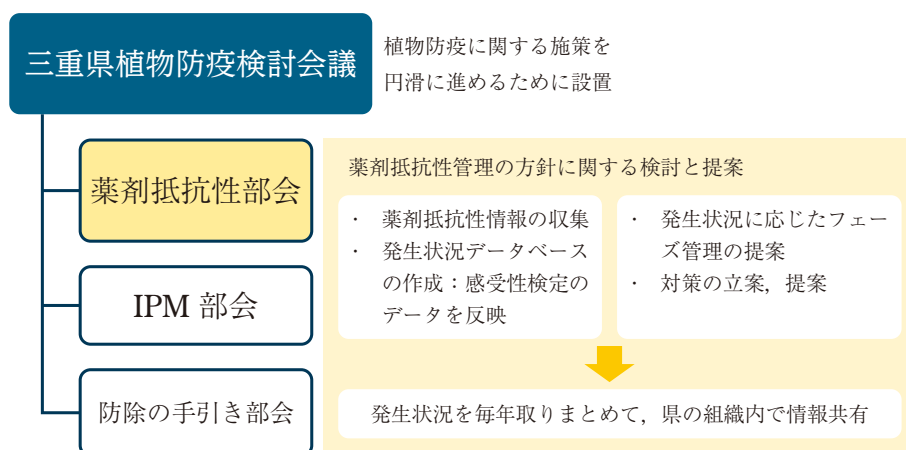


図-1 三重県における薬剤抵抗性病害虫・雑草管理の指導体制

Formulation of Guidance Policy on the Insecticide Resistance Management in Mie Prefecture and Introduction of Diagram of Insecticide Resistance Risk Evaluation into Pest Management Guidance.

By Chiharu TANAKA, Minoru NISHINO and Ayano SASAKI

(キーワード：薬剤抵抗性管理、防除指導、殺虫剤抵抗性リスク評価表、ネギアザミウマ、チャノコカクモンハマキ)

*現所属：伊勢志摩地域農業改良普及センター

薬剤抵抗性部会では、農薬の防除効果を長期にわたって維持できるように、薬剤抵抗性病害虫・雑草対策の指導方針を策定している。本部会は県庁が事務局を務め、病害虫防除所、農業研究所（病害虫および雑草防除担当）と、中央農業改良普及センターの水田作物、野菜、果樹、茶、花き、畜産の各リーダーである農業革新支援専門員（以下、専門員）で構成されており、必要に応じてその他の関係機関にも参加を要請している。これは、薬剤抵抗性の対策は病害虫および雑草の担当者のみで検討しがちだが、栽培技術や経営の指導を総合的に行う専門員の意見を踏まえて、現状に即した指導方針を策定することが目的である。特に昨今は水田を中心に飼料用作物の栽培面積が増加しており、病害虫および雑草被害の顕在化が懸念される。そのため、畜産担当者にも薬剤抵抗性対策の情報を共有し、意見交換を行うことは重要である。現在、本部会は年に2回程度の開催であるが、緊急に対策が必要な場合は、その都度参集している。

本部会の活動内容として、毎年作成および更新している薬剤抵抗性病害虫・雑草発生状況データベースの例を表-1に示した。まず、県内外の薬剤抵抗性病害虫の発生状況を把握するため、県外の状況については病害虫防除所が発生予察情報などをもとに情報収集し、県内の状況については農業研究所が行った薬剤感受性検定の結果を集約する。また、雑草の情報は農業研究所の雑草防除担当が整理する。次に、これらを Excel シートの一覧にまとめた後、農業研究所が各作物－病害虫・雑草－農薬について「現在の状況」と「今後の対応」を後述するフェーズに分類して部会員へ提案する。そして、県庁や中央農業改良普及センターを含めた部会全体で協議しながら、薬剤抵抗性病害虫・雑草に対する指導方針の策定および見直しを行っている。指導方針は2022年現在、虫害145事例、病害92事例、雑草13事例に対して策定されており、対策の概要や特記事項がデータベース状態で整理されている。

2 薬剤抵抗性病害虫・雑草対策のフェーズ管理

薬剤抵抗性病害虫・雑草の「現在の状況」や「今後の対応」の指標であるフェーズ管理表を表-2に示した。本表は農林水産省消費・安全局植物防疫課が公表したものを参考としており、発生状況や対応が厳しくなるほどフェーズが進む。本表において最も重要なポイントはフェーズ0（薬剤抵抗性病害虫・雑草の発生が認められない）であり、農水省版は0～Ⅲの4段階であるのに対して、本県では0Aと0Bに分けた5段階に改変した。これは薬剤抵抗性病害虫・雑草の発生を未然に防ぐためには、県内で発生が認められていない状況であっても、国内で発生があれば情報共有などの警戒が必要（0A）と考え、より重みづけをしたものである。

「現在の状況」におけるフェーズの分類は、単に薬剤感受性検定の結果だけで判断するのではなく、栽培状況などの感受性低下の背景にある要因を考慮しながら行っている。また、「今後の対応」において農薬の使用中止または使用制限を行うことは、各関係者にとって影響の大きい措置である。そのため、対応の協議は薬剤抵抗性部会だけでなく、必要に応じて関係団体にも説明したうえで策定している。さらに、指導を行う際には「当該病害虫・雑草に対する使用を控える」といった表現で要請を行う形であり、使用禁止といった強制を伴うものではない。

3 薬剤抵抗性病害虫に対する防除指導の課題

本データベースの管理には構築当初だけでなく、毎年の更新作業に多大な労力を要するため、作業の軽労化について改善が必要である。しかし、過去の薬剤感受性検定の結果が一覧で把握できることや、寄主植物の範囲が広い病害虫の場合には、他の作目における薬剤抵抗性の発達状況を参照できることが大きな利点である。また、植物防疫に精通した職員数が減少して担当者の世代交代が進む中、これまでの指導の考え方を適切に引き継ぐという点でも重要なツールとなっている。

表-1 薬剤抵抗性病害虫・雑草発生状況データベースの例

No	作物名	病害虫 雑草名	農薬名 (成分名)	RAC コード	作用 機構名	作用機構 における 耐性リスク	他県の 状況	状況の 程度	対策の 程度	対策の概要 (要請内容など)	情報公開	モニタリング	備考	商品名
68	ネギ	ネギアザミウマ	シベルメトリン	3A	ビレスロイド系	未定	秋田県 栃木県 茨城県 大阪府 香川県	II	II	産雄系統が発生している個体群に対して、感受性が著しく低下することが確認されている。効果不足および産雄系統の発生が確認された場合、当剤を含むビレスロイド系薬剤の使用を控え代替剤を使用する。	20200422 病害虫防 除技術情 報第2号	2017, 2018, 2019 採取個 体群7個体群 中3個体群で 感受性低下	産雄単為 生殖個体 で感受性 低下傾向	アグロ スリン

表-2 三重県における薬剤抵抗性病害虫・雑草対策フェーズ管理表（2023年3月現在）

フェーズ	現在の状況	今後の対応
III	県内で薬剤抵抗性が認められ、県内の広域に広がりが ある状況、もしくは広域に広がる可能性が高い状況。	対象薬剤について、県域で対象病害虫雑草に対する使用 中止もしくは使用制限を要請する。
II	県内で薬剤抵抗性が認められ、ある程度の面積で広が りがある状況。	対象薬剤について、地域限定で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、一部の圃場、 地域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 について注意喚起を行う。
0A	県内で薬剤抵抗性が認められていないものの、国内で 発生があり警戒が必要な状況。	薬剤抵抗性発生情報の周知を行いつつ、基本的な対策 (混合散布、ローテーション散布など)により抵抗性 発生を抑制する。
0B	国内で薬剤抵抗性が認められていないものの、薬剤抵抗 性の発生リスクが高いため注意が必要な状況。	技術研修会等で、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。

防除の指導方針を策定した後は、中央農業改良普及センターの専門員がデータベースの中から必要な情報を抜粋して各地域の普及指導員へ周知する。さらに普及指導員は、管内の生産者やJAの営農指導員等の関係者に対して、より理解しやすい形にして指導資料を作成する。近年は、研修を繰り返し行った結果、指導者や生産者のRACコードに対する理解が進んだようであり、防除暦などの資料にRACコード（農薬の作用機構分類コード）が記載される事例が増えてきた。

しかし生産現場では、薬剤抵抗性病害虫の多発がいまだに問題となっており、その対策を適切に実践できているとは言い難い状況である。例えば、薬剤抵抗性病害虫を未然に防ぐための対策を目指しているものの、生産現場では薬剤感受性の低下後に初めて対策の必要性を意識するために、既に対策が困難な状況であることが多い。また、生産現場へ薬剤感受性検定の結果を伝えたことによって、数少ない防除効果の高い農薬の使用頻度が高くなり、感受性低下を進める要因となっている可能性がある。さらに、薬剤抵抗性対策の手法として真っ先に農薬のローテーション散布が提案されるが、散布頻度を減らすなどの防除暦の総合的な見直しに至ることが少ない。これらのことから、現状では「薬剤抵抗性病害虫・雑草の情報共有と指導方針の策定を行う仕組み」はできたものの、それを「生産現場での実践へつなげる仕組み」をどのようにつくるかが課題となっている。

以降は薬剤抵抗性害虫に対する防除指導の事例として、①薬剤感受性検定とその要因の解析による現状把握、②「現在の状況」と「今後の対応」のフェーズの設定および指導方針の策定、③生産現場における防除指導と課題、の順に紹介する。また、薬剤抵抗性対策の実践を促進する目的で④殺虫剤抵抗性リスク評価表（山本・土井，2021）の適用を試みた。リスク評価表は「殺虫剤抵抗性

リスク評価表 リスク評価基準書第2.3版（2021年3月）」（山本・土井，2021）に沿って作成した。なお、リスク評価表は生産現場の状況に応じて個別に作成するものであるため、今回の報告は一つの例として参考いただきたい。

II 防除指導の事例① ネギアザミウマ

1 現状把握・ネギアザミウマの薬剤感受性検定と生殖型の分布調査

県内のネギ産地は沿岸の平坦地域のほか、中山間地域などに点在しており、各産地でネギアザミウマ *Thrips tabaci*（図-2）による被害が問題となっている。本種はネギ類のほか多くの作物を吸汁加害し、かすり状の食痕による品質低下および生育遅延の原因となるほか、植物病原ウイルスを媒介する害虫である。県外では合成ピレスロイド剤（IRACコード3A）のほか、複数の薬剤に対して抵抗性を示す産雄単為生殖型系統（以下、産雄系統）の発生が確認されていたことから、本県でもその発生が疑われた（柴尾・田中，2012；十川ら，2013；相澤，2018）。

そこで、笹山ら（2020）は、2017～20年に県内10地点のネギ類圃場で採取した個体群について、生殖型の調査と薬剤感受性検定を行い、現状の把握を行った。生殖型の調査は相澤（2018）の方法で行い、感受性検定はインゲン葉片を用いた食餌浸漬法とドライフィルム法の併用（渡辺ら，2011）によって行った。

図-3に県内におけるネギアザミウマの生殖型分布を示した。10地点中7地点の多くの個体群で産雄系統の混発が確認され、これらの個体群では産雄系統が高い割合で優占することが判明した。続いて、ネギアザミウマ雌成虫の処理2日後における補正死亡率を表-3に示した。産雄系統が混発した個体群では、シベルメトリン剤（IRACコード3A）のほか、ネオニコチノイド系の3剤（IRACコード4A）などにも感受性低下が認められた。

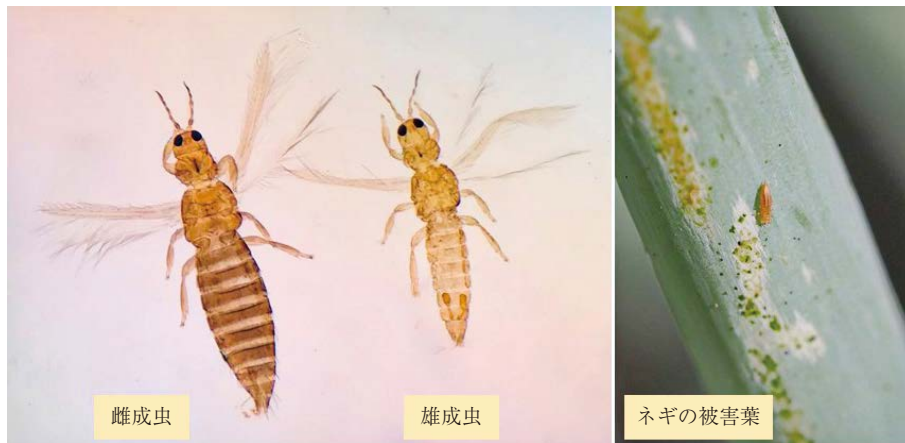


図-2 ネギアザミウマ成虫とネギの被害葉

表-3 ネギアザミウマ雌成虫の処理2日後における補正死亡率

供試薬剤	IRAC コード	希釈倍率 (倍)	雌成虫の補正死亡率 (%)					
			産雄系統混発個体群			産雌系統個体群		
			鈴鹿 (80.0)	津 (92.9)	明和 (88.2)	松阪 (0)	伊勢 (0)	名張 (0)
ダイアジノン水和剤	1B	600	34.5	83.0	94.5	100	100	100
シベルメトリン乳剤	3A	2,000	50.9	40.6	55.0	100	100	100
アセタミプリド水溶剤	4A	2,000	87.7	71.9	86.0	100	—	100
イミダクロプリド水和剤	4A	5,000	72.1	97.1	97.0	100	100	100
ジノテフラン水溶剤	4A	2,000	71.4	70.7	83.5	100	100	100
スピネトラム水和剤	5	2,500	100	97.0	100	100	100	100
スピノサド水和剤	5	2,500	100	100	100	100	100	100
ピリダリル水和剤	UN	1,000	44.4	47.7	60.7	27.0	100	65.6

括弧内は個体群内で産雄系統の個体が占める割合 (%). 笹山ら (2020) の表を改変.

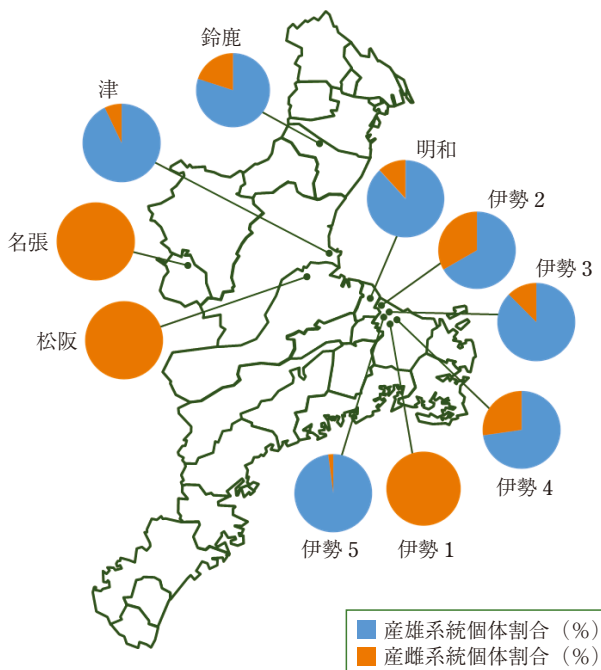


図-3 三重県内におけるネギアザミウマの生殖型の分布 (笹山ら (2020) を改変)

これらの結果から、本県のネギアザミウマでは複数の薬剤に対する感受性低下が進んでおり、その多くは産雄系統の優占に由来するものであることが示唆された。

2 フェーズの設定および指導方針の策定

ネギアザミウマの薬剤抵抗性対策について、フェーズと対策の概要を表-4に示した。現在の状況と今後の対策のうちシベルメトリン剤では「Ⅱ」と設定した。また、感受性低下の認められたネオニコチノイド系の3剤は、現在の状況や今後の感受性低下のリスクを生産現場に伝えるためにフェーズを「Ⅰ」とすべきという意見があった。しかし、部会での協議によってフェーズは「0A」となり、対策欄には「産雄系統の発生および効果不足事例があれば使用を控える」と、引き続き注意が必要であることを記載した。なお、産雄系統の発生は一部の調査地点では確認されなかったが、広域で認められた。このことから、すべての地域で産雄系統が発生する可能性があると考えられたため、これらの指導は県全域を対象に行うこととした。

3 生産現場における防除指導と課題

葉ネギの産地では、定植から収穫前までの2か月近く、

表-4 ネギーネギアザミウマに対する殺虫剤の薬剤抵抗性対策フェーズ管理表および対策の概要

農薬成分名 (IRAC コード)	薬剤抵抗性 フェーズ管理表		対策の概要
	状況	対策	
シベルメトリン (3A)	II	II	効果不足および産雄系統の発生が確認された場合は本種に対する使用を抑える
アセタミプリド (4A) イミダクロプリド (4A) ジノテフラン (4A)	0A	0A	他県では産雄系統が発生している個体群における感受性低下が確認されている 効果不足および産雄系統の発生が確認された場合は本種に対する使用を抑える

表-5 ネギーネギアザミウマに対する殺虫剤抵抗性管理

農薬成分名 (IRAC コード)	薬剤抵抗性 フェーズ管理表		殺虫剤抵抗性リスクの評価				
	状況	対策	害虫 リスク	殺虫剤 リスク	栽培・地域リスク 補正前	補正後	補正後の 抵抗性総合リスク
シベルメトリン (3A)	II	II	高 3	高 6	高 2	2	36
アセタミプリド (4A) イミダクロプリド (4A) ジノテフラン (4A)	0A	0A	高 3	中 4	高 2	1.5	18

殺虫剤または殺菌剤を毎週のように散布することが多い。そのため、普及指導員が生産者向けに作成した資料では、適用のある薬剤に RAC コードを記載し、防除の一例として、9 種類の殺虫剤をローテーションで散布する防除体系が提案された。また防除暦では、感受性の低下した殺虫剤は本種の発生が少ない栽培前半に使用するよう考慮されていた。しかし、実際の農薬散布履歴を確認すると、同一系統の殺虫剤を連用する事例が複数あり、実践レベルではまだ課題があるように感じた。

4 殺虫剤抵抗性リスク評価表の導入

本県の葉ネギ栽培におけるネギアザミウマについて、4 薬剤を対象に殺虫剤抵抗性リスク評価を行った結果を表-5 に示した。殺虫剤抵抗性リスク評価表 リスク評価基準書 (山本・土井, 2021) に基づき、害虫リスクは「害虫の発生が多く、基本的な問題害虫」に相当するため「高=3」、殺虫剤リスクはシベルメトリン剤で「高=6」、ネオニコチノイド系の 3 剤で「中=4」とした。栽培・地域リスクは、県全域で産雄系統の発生リスクがあることから「高=2」を基本としたが、ネオニコチノイド系の 3 剤については、感受性低下の程度を考慮して 0.5 ポイントを減点して「1.5」に調整した。各リスクを乗算した結果、抵抗性総合リスクはシベルメトリン剤で「36」、ネオニコチノイド系の 3 剤で「18」と評価された。本基準書では「抵抗性総合リスクが 12 を超える場合は抵抗性対策の実施が特に重要である」と提案されている。そのため、ネオニコチノイド系の 3 剤はフェーズでは「0A」であるが、殺虫剤抵抗性リスク評価表ではシベルメトリン剤と同様に抵抗性対策が必要であることが

示された。このことから、殺虫剤抵抗性リスク評価表を用いることで、これまでフェーズ管理表だけでは反映しきれなかった殺虫剤抵抗性リスクを表現し得る可能性があると考えられた。

III 防除指導の事例② チャノコカクモンハマキ

1 現状把握・チャノコカクモンハマキの薬剤感受性検定と防除履歴の検証

本県のチャ栽培のうち、県北部では主に被覆栽培であるかぶせ茶を、県中南部では無被覆栽培である深蒸し煎茶や煎茶を栽培しており、防除状況は栽培方法によって異なっている。チャノコカクモンハマキ *Adoxophyes honmai* (図-4) は、本県では年 4~5 回発生するチョウ目害虫であり、幼虫が新葉や旧葉をつづつて食害する。生産現場では一番茶後の 5 月中下旬や、夏期の 8 月に殺虫剤散布によって防除を行っている。しかし、調査を行った 2016 年当時は発生量が年々増加傾向にあり、多発年には防除対策に苦慮していた。また、静岡県では本種のジアミド系殺虫剤 (UCHIYAMA and OZAWA, 2014) (IRAC コード 28) およびジアシルヒドラジン系 IGR 剤 (内山ら, 2013) (IRAC コード 18 以下, DAH 系殺虫剤) 等の複数の殺虫剤に対する感受性低下が確認されていたが、本県では未調査であり、県内での発生量増加との関連が懸念された。

そこで、2016~18 年に県内の主要産地 2~5 地点で採取した個体群について薬剤感受性検定を行い、現状の把握を行った。薬剤感受性検定はチャ葉浸漬法 (小杉, 1998) を一部改編した方法 (内山・小澤, 2017) により

行った。表-6には2017年に行った5地点の個体群に対する常用濃度のジアミド系殺虫剤およびDAH系殺虫剤の処理10日後の補正死亡率を示した。その結果、県北部の個体群では、クロラントラニリプロール剤（IRACコード28）や、テブフェノジド剤（IRACコード18）に対する感受性低下が認められた。それに対して、県中南部の個体群では感受性低下が認められず、薬剤抵抗性の発達程度に地域差があった。

次に、薬剤抵抗性の発達した要因を解析するため、2015年に県北部14件、県中南部6件の生産者における過去1年間の農薬散布履歴や、過去20年間のJA5団体の防除暦から、各薬剤の使用状況や指導状況の変遷を調査した。その結果、県北部における年間の防除回数は県中南部に比べて多い傾向があった。ジアミド系殺虫剤は県全体で使用頻度が高く、約半数の生産者において年2回以上の使用が認められた。また、防除暦の中にはジア



図-4 チャの新葉を加害するチャノコカクモンハマキ幼虫

ミド系殺虫剤を1年間に2回使用する指導があった。そのほとんどは本種以外のチョウ目害虫を目的に散布したものであったが、本種は周年発生するため、間接的に複数回の曝露が起こるおそれがあった。テブフェノジド剤は県全体で使用実態がなかったが、県北部ではDAH系殺虫剤であるメトキシフェノジド剤（IRACコード18）の使用頻度が高いことが判明した。これらのことから、本種における薬剤抵抗性の発達には農薬の使用頻度が影響していると考えられた。

2 フェーズの設定および指導方針の策定

チャノコカクモンハマキの薬剤抵抗性対策について、フェーズと対策の概要を表-7に示した。現在の状況のうち、クロラントラニリプロール剤とテブフェノジド剤に対する感受性や防除の状況は地域によって異なったことから「Ⅱ」、フルベンジアミド剤やシアントラニリプロール剤は「0A」と位置付けた。また、今後の対策は4剤すべてを「Ⅱ」とした。具体的には、県全域を対象にジアミド系殺虫剤とDAH系殺虫剤の使用を最大年1回までとするよう提案した。また、クロラントラニリプロール剤とテブフェノジド剤については、感受性低下の認められた県北部では本種に対する使用を控えるよう要請した。

3 生産現場における防除指導と課題

薬剤感受性検定の結果や今後の対応については、病害虫防除所が発出した技術情報等を用いて生産者や関係者へ周知を行った。さらに、チャ生産者への研修会では薬剤抵抗性対策の基礎として、農薬の作用点による分類を説明し、農薬の商品名50音順にしたRACコードの一覧

表-6 チャノコカクモンハマキ2～3齢幼虫に対する常用濃度の殺虫剤処理10日後における補正死亡率

供試薬剤	IRAC コード	希釈 倍数 (倍)	処理10日後における補正死亡率(%)				
			県北部			県中南部	
			四日市市	鈴鹿市	亀山市	松阪市	度会町
クロラントラニリプロール水和剤	28	2,000	59.5	64.9	63.9	89.7	94.9
フルベンジアミド水和剤	28	2,000	100.0	97.4	94.6	100.0	97.4
シアントラニリプロール水和剤	28	2,000	95.0	100.0	100.0	100.0	100.0
テブフェノジド水和剤	18	1,000	17.9	55.0	41.7	100.0	94.3

田中（2019）の表を改変。

表-7 チャーチャノコカクモンハマキに対する殺虫剤の薬剤抵抗性対策フェーズ管理表および対策の概要

農薬成分名 (IRACコード)	薬剤抵抗性 フェーズ管理表		対策の概要	
	状況	対策	県北部	県中南部
クロラントラニリプロール(28) テブフェノジド(18)	Ⅱ	Ⅱ	チャノコカクモンハマキ に対する使用を控える	同じ系統の農薬使用は 年1回までとする
フルベンジアミド(28) シアントラニリプロール(28)	0A	Ⅱ	同じ系統の農薬使用は 年1回までとする	同左

表-8 チャーチャノコカクモンハマキに対する殺虫剤抵抗性管理

農薬成分名 (IRAC コード)	薬剤抵抗性 フェーズ 管理表		殺虫剤抵抗性リスクの評価								
			害虫 リスク	殺虫剤 リスク	防除圧 高い栽培				防除圧 並の栽培		
					栽培・地域リスク		抵抗性総合リスク		栽培・ 地域 リスク	抵抗性 総合 リスク	
	従来の防除	IPM 技術			従来の防除	IPM 技術					
	補正前	補正後			を導入	(補正後)	を導入				
クロラントラニプロロール (28) テブフェノジド (18)	II	II	高 3	中 4	中 1	1.5	1	18	12	低 0.5	6
フルベンジアミド (28) シアントラニプロロール (28)	0A	II	高 3	中 4	中 1	1	0.5	12	6	低 0.5	6

を配布した。本県のチャ生産者は過去のハダニ類防除において、有機リン剤（IRAC コード 1B）や合成ピレスロイド剤がカブリダニ類などの天敵類に悪影響が大きいことを普及指導員等から学んでいたため、農薬の系統分類に対する関心が高かった。そのため、農薬の作用機構分類（RAC コード）に対する生産者の理解は予想よりも早かった。

現在、生産現場では海外輸出貨向けのチャ栽培を行うため、本種の防除に対して使用可能な殺虫剤の選択肢がさらに限られることから、代替防除技術として性フェロモンによる交信攪乱剤を用いた防除が徐々に導入されるようになっている。そのため、今後は殺虫剤の選択および使用方法について、より慎重な判断が求められ、総合防除技術の導入をいかに推進するかが課題となっている。

4 殺虫剤抵抗性リスク評価表の導入

本県のチャ栽培におけるチャノコカクモンハマキについて、4 剤を対象に殺虫剤抵抗性リスク評価を行った結果を表-8 に示した。殺虫剤抵抗性リスク評価表 リスク評価基準書（山本・土井，2021）に基づき、害虫リスクは「害虫の発生が多く、基本的な問題害虫」に相当するため「高=3」、殺虫剤リスクは4 剤ともに「一部の害虫種または限定的な地域で抵抗性が顕在化したもの」に相当するため「中=4」とした。栽培・地域リスクは、露地栽培であり本種に対する天敵類の発生が認められるため「低～中」と考え、防除圧が高い栽培では「中=1」、防除圧が並の栽培では「低=0.5」とした。さらに、防除圧が高い栽培ではクロラントラニプロロール剤およびテブフェノジド剤で感受性低下が認められたことから、0.5 ポイントを加算して「1.5」に調整した。その結果、抵抗性総合リスクは、防除圧が高い栽培では「12～18」、防除圧が並の栽培では「6」と評価された。防除圧が高い栽培では抵抗性総合リスクが「12」を超えるため、抵抗性対策の実施が特に重要であることが示された。

そこで、防除圧の高い栽培に対して総合防除技術を導

入することで栽培・地域リスクが各 0.5 ポイント減点されると設定した。その結果、防除圧が高い栽培における 4 剤の抵抗性総合リスクは「6～12」に下がると評価された。検証は必要かもしれないが、生産者に対して総合防除技術の導入を勧めるにあたり、各殺虫剤の感受性低下を抑えられる可能性があることを可視化によって伝えられると考えられた。

おわりに

三重県では薬剤抵抗性管理を進めるうえで、これまでフェーズ管理表に基づいた指導方針を策定してきた。しかし、ネギアザミウマやチャノコカクモンハマキに対する対策のように、指導方針の策定はできたものの生産現場で実践していくにはまだ課題が多い。今回、殺虫剤抵抗性リスク評価表を導入するとどのような指導ができるのか試みたところ、今まで薬剤感受性検定による殺虫効果の有無のみが注目されてきたのに対して、普及指導員などが総合防除技術の導入の重要性を伝えるなどの踏み込んだ指導につながるのではないかと考えられた。現在の防除指導の仕組みの中に、殺虫剤抵抗性リスク評価表を活用した指導を組み込むことで、実践につながる指導に貢献できるのか、普及指導員や生産者と意見を交わしながら今後も検討をすすめたい。

引用文献

- 1) 相澤美里 (2018): 香川県農試研報 69: 1～30.
- 2) 小杉由紀夫 (1998): 植物防疫 52: 48～52.
- 3) 笹山哲央ら (2020): 関西病虫研報 62: 161～163.
- 4) 柴尾 学・田中 寛 (2012): 関西病虫研報 54: 185～186.
- 5) 田中千晴 (2019): 日本農業学会誌 44: 232～235.
- 6) 十川和土ら (2013): 植物防疫 67: 18～23.
- 7) 内山 徹ら (2013): 応動昆 57: 85～93.
- 8) UCHIYAMA, T. and A. OZAWA (2014): Appl. Entomol. Zool. 49: 529～534.
- 9) 内山 徹・小澤朗人 (2017): 関西病虫研報 59: 97～99.
- 10) 渡辺丈夫ら (2011): 香川県農試研報 62: 11～21.
- 11) 山本敦司・土井 誠 (2021): 農林害虫防除研究会 URL http://agroipm.sakura.ne.jp/files/kijunsho_v2.3.pdf (2023 年 8 月アクセス)

特

集

現場における薬剤抵抗性管理

佐賀県におけるメタラキシル M 耐性タマネギ
べと病菌の現況と新たな防除対策に対する
取り組み

佐賀県農業試験研究センター 古 田 明 子

はじめに

タマネギべと病は世界各地のタマネギで発生し、糸状菌 *Peronospora destructor* によって引き起こされる古くから知られている重要病害である。茎葉に病斑を生じ、症状がひどい場合には茎葉は枯れ上がり、鱗茎は小玉化し、収量を著しく低下させる。佐賀県内では、有効薬剤であるマンゼブ・メタラキシル水和剤（商品名：リドミル MZ 水和剤）の普及により、1980 年代からは本病が問題となることはほとんどなかった。しかし、2010 年頃から徐々に発生が増加し始め、天候不順となった 2016 年春、本県を含む西日本のタマネギ産地で大発生し、全面が枯れ上がる圃場が出るなど記録的な不作となった。

この大発生の要因として、①圃場内の菌密度の増加、②発生に好適な気象条件、③メタラキシル剤に対する耐性菌の発生、④防除タイミングの遅れ、⑤土壌条件の悪化の 5 点が挙げられている（善・菖蒲，2017）。2016 年の大発生を受け、佐賀県では行政、試験研究、普及が一体となり対策に取り組み、べと病による被害を短期間のうちに抑えることができた（井手，2021 a；2021 b）。

本病は土壌中の卵胞子により一次感染し、感染株上に形成される分生胞子が空気中に飛散することにより二次感染するという、複雑な感染経路を持つ（出水，1963；塩飽・松尾，1972）。このため、本病の防除には一次感染および二次感染に対する対策の両方を行う必要がある。一次感染対策として、これまで、苗床での土壌消毒（図-1 ①：田代ら，2020）や定植前後の薬剤散布（図-1 ②：正司ら，2020）、夏季湛水処理（図-1 ⑤：手塚・福永，2017；國枝ら，2019）が有効であることが明らかになり、本県ではこれらの防除対策を推進しているところである。また、二次感染対策としては、防除薬剤のスク

リーニングの結果、耐性菌が発生したメタラキシルに代わる薬剤として、マンゼブ剤の予防散布の効果が最も優れたことを明らかにしている（図-1 ④：菖蒲・渡邊，2018 a）。

一方で、抜き取った一次感染株（図-1 ③）を野外に放置した場合、それが次作の一次感染源（図-1 ⑤）となるかは明らかにされておらず、さらに、一次感染株を個人で処分する場合はその適切な処分方法も不明であった。さらに、二次感染対策としての薬剤防除（図-1 ④）が卵胞子の形成抑制（図-1 ⑤）、さらには次作の一次感染の抑制につながるかについては、明らかにされていない。

本稿では、筆者らが中心となって行ったメタラキシル M 耐性菌に関する研究成果と、産地に提示した研究成果に基づく新たな一次感染対策について紹介する。

I メタラキシル M の濃度間差の確認

マンゼブ・メタラキシル水和剤は 1980 年代後半に上市されてから、佐賀県のタマネギ産地においては、べと病の防除時期を中心に毎年 2 回程度使用されてきた（菖蒲・渡邊，2018 b）。2016 年の多発生時に佐賀県内各地から採取したタマネギべと病菌のメタラキシルおよびメタラキシル M（メタラキシルの 2 つの鏡像異性体のうち、生物活性が高い D 体を 91% 以上含有した剤（環境省，2011）の感受性を、分生胞子の発芽管生育阻害効果から調査したところ、感受性低下菌が県内広域に発生していることが確認された（菖蒲・渡邊，2018 b）。

また、県内の 3 圃場における防除効果試験を行った結果、1981 年時点のメタラキシルの防除価は 90 以上であったのに対し（松崎・管，1982）、2016 年のメタラキシル M を含む剤（メタラキシル M・TPN 水和剤）は、防除価 20～30 程度であり、防除効果の低下が確認された（菖蒲・渡邊，2018 b；SYOBU and WATANABE，2022）。これらのことから、本県では「平成 28 年度佐賀県施肥・病虫害防除・雑草防除のてびき」からタマネギべと病の項

Current Situation and New Control Measures after the Outbreak of Metalaxyl M-resistant Onion Downy Mildew in Saga Prefecture.
By Akiko FURUTA

（キーワード：タマネギべと病，メタラキシル M，卵胞子）

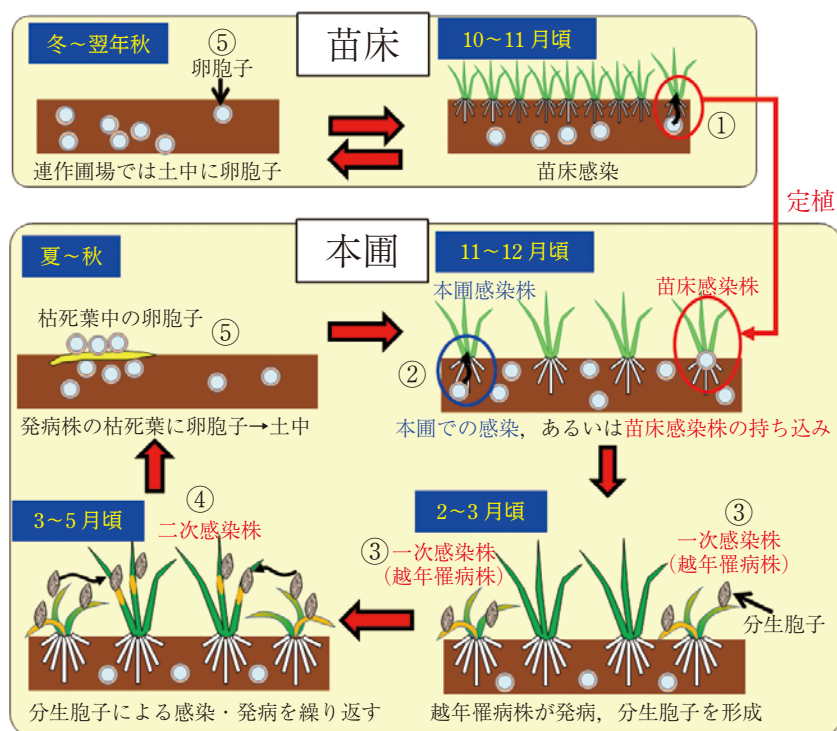


図-1 タマネギベと病の発生生態

表-1 タマネギベと病に対するメタラキシル M の胞子発芽阻害効果^{注1)}

べと病菌 採取地点	メタラキシル M 濃度 (ppm)	発芽管伸長阻害	
		全発芽管長 (μm)	発芽管生育 阻害率 (%)
A 地点	200	34	97.3
	100	84	93.4
	80	93	92.7
	40	1,109	13.1
	20	1,795	0.0
	8		
	無処理	1,276	
B 地点	200	17	99.0
	100	62	96.1
	80	125	92.1
	40	1,315	17.0
	20	1,920	0.0
	8		
	無処理	1,584	
C 地点	200	62	95.8
	100	574	61.0
	80	229	84.4
	40	1,189	19.3
	20	1,102	25.3
	8		
	無処理	1,474	

注1) メタラキシル M の常用濃度は、リドミルゴールド MZ 水和剤 500 倍で 76 ppm、1,000 倍で 38 ppm。

注2) 発芽管生育阻害率 (%) = (1 - 薬剤添加蒸留水中での発芽管長 / 蒸留水中での発芽管長) × 100。

阻害率が負の数値となる場合は、0 と表記した。

目に掲載していたメタラキシル M を含む混合剤を削除するとともに、本成分を含む混合剤については、本病を対象とした防除に使用しないように指導することとした。

耐性菌発生確認から 5 年が経過した 2021 年に、県内のタマネギベと病菌のメタラキシル M に対する感受性の追試験を行った。メタラキシル M (エイプロン 31 (メタラキシル M 濃度: 31.0%, シンジェンタジャパン株式会社による提供品) を各濃度に希釈し、分生胞子の発芽管長を計測した。発芽管長は、各供試菌株とも 80 ppm 以上で発芽管の生育が大幅に抑えられ、濃度が高くなるほど生育阻害率が高くなる傾向が認められた (表-1)。

マンゼブ・メタラキシル M 水和剤 (商品名: リドミルゴールド MZ 水和剤) は発売当初、タマネギベと病への希釈倍数が 1,000 倍 (メタラキシル M 濃度で 38 ppm) での登録であったが、2019 年 7 月に 500~1,000 倍へ適用拡大された。一方で、佐賀県では 500 倍での圃場における防除効果は未検討であったことから、圃場試験を実施した (古田ら, 2022 b)。

2020 年 3~5 月にかけて約 14 日間隔で 5 回の薬剤散布を行ったところ (農薬使用基準では本剤の使用回数は 3 回以内であるが、試験研究の目的で 5 回の散布を行った), 無散布区での発病度が 82 の甚発生条件下において、マンゼブ・メタラキシル M 水和剤 1,000 倍 (メタラキ

シル M の濃度 38 ppm に相当) 散布区では発病度 40, 防除価 51 であったのに対し、本剤 500 倍 (同 76 ppm に相当) 散布区では発病度 20, 防除価 76 と、希釈濃度の違いにより、防除効果に差がみられた (表-2)。

マンゼブ・メタラキシル M 水和剤を高濃度 (500 倍) にすることにより、予防効果に優れたマンゼブについても高濃度 (1,000 倍では 640 ppm であるが、500 倍では 1,280 ppm) となるため、マンゼブの効果でべと病の発病を抑えている可能性も考えられるが、別に行った体系散布の試験では、メタラキシル M 単剤 76 ppm を含めた体系散布の防除効果は、マンゼブ単剤 (500 倍, 1,600 ppm) の体系散布より優れていたという結果を得ている (表-3)。

このことから、感受性低下菌が発生している条件下においても、メタラキシル M の濃度が従来より比較的高濃度 (マンゼブ・メタラキシル M 水和剤の希釈倍数で 500 倍相当) であれば、マンゼブ剤 (単剤) に優る防除効果を期待できることが示唆された。

これらの結果を踏まえ、メタラキシル M に対する耐性菌のモニタリングを行いながら、産地におけるマンゼブ・メタラキシル M 水和剤 500 倍の効果について検証を行う必要があると考える。

表-2 春季の薬剤散布の防除効果と卵胞子形成抑制効果 (2020 年)

薬剤名	希釈倍数	調査日			推定された 1 株当たりの卵胞子数 (個/株)*
		5 月 19 日		5 月 27 日	
		発病度	防除価	10 a 当たり収量 (t)	
マンゼブ (ジマンダイセン) 水和剤	500 倍	32	61	7.0	460,925 bc
マンゼブ (グリーンダイセン) 水和剤	500 倍	35	57	7.5	228,775 c
マンゼブ・メタラキシル M 水和剤	500 倍	20	76	8.4	86,724 c
	1,000 倍	40	51	7.6	140,211 c
フルアジナム水和剤	1,000 倍	49	40	7.0	1,809,333 a
メタラキシル M・TPN 水和剤	800 倍	58	29	7.5	941,811 ab
ピカルプトラゾクス水和剤	1,000 倍	62	25	6.5	773,933 abc
フルオピコリド・ベンチアバリカルブイソプロピル水和剤	3,000 倍	56	32	6.1	889,581 abc
ピコキシストロビン水和剤	2,000 倍	72	12	5.5	1,509,611 ab
無散布		82		5.5	1,774,281 a

※同一アルファベット間には Tukey の多重比較検定で $P < 0.05$ で有意差がないことを示す。

薬剤散布は、2020 年 3 月 10 日, 25 日, 4 月 8 日, 23 日, 5 月 12 日に行った。

発病度: 各区 50 株 (3 反復計 150 株) について、発病指数 (0: 発病を認めない, 1: 病斑面積が株内葉身面積の 5% 未満, 2: 病斑面積が株内葉身面積の 5~25% 未満, 3: 病斑面積が株内葉身面積の 25~50% 未満, 4: 病斑面積が株内葉身面積の 50% 以上~枯死) ごとに調査し、発病度 = $(\sum (\text{発病指数別株数} \times \text{発病指数}) \div (\text{調査株数} \times 4)) \times 100$ により算出した。

防除価 = $(\text{無処理区の発病度} - \text{処理区の発病度}) \div (\text{無処理区の発病度}) \times 100$ により算出した。

表-3 タマネギベと病に対するメタラキシル M 剤を使用した防除体系の効果

試験区 No.	試験区名	薬剤散布日							調査日 (5/13)		
		2/25	3/3	3/15	3/24	4/6	4/16	4/27	発病株率	発病度	防除価
1	リドミルゴールド MZ 2 回	F	F	R	J	R	J	F	8.7	2.5	95
2	メタラキシル M 2 回	F	F	M	J	M	J	F	14.7	3.8	92
3	(対照) マンゼブ区	F	F	J	J	J	J	F	44.0	13.3	73
4	無散布区	—	—	—	—	—	—	—	100.0	48.7	

F：フルアジナム水和剤（商品名：フロンサイド SC（1,000 倍）），J：マンゼブ水和剤（商品名：ジマンダイセン水和剤（500 倍）），R：マンゼブ・メタラキシル M 水和剤（商品名：リドミルゴールド MZ 水和剤（500 倍）），M：メタラキシル乳剤（76 ppm（リドミルゴールド MZ500 倍のメタラキシル M 濃度と同程度の濃度））。

表-4 引き抜いた一次感染株残渣の処理方法の違いが卵胞子の残存数に与える影響

処理方法	10 μ l 中卵胞子数			卵胞子 平均残存数
	i	ii	iii	
① 石灰窒素 100 g/1 袋混和	0	0	0	0
② カーバマナトリウム塩液剤 50 ml/1 袋	0	0	0	0
③ 無処理	0	0	0	0
④ コンポストに投入	0	0	0	0
⑤ 石灰窒素 100 g/約 5 kg 混和	1	0	1	0.7
⑥ 無処理	7	8	2	5.7

注 1) 2021 年 3 月 19 日に現地圃場から採取した一次感染株（1 袋 約 5 kg 入り）を表中の処理方法により 3 月 22 日～5 月 24 日まで約 2 か月間保管した。

5 月 24 日～10 月 7 日までは屋外に設置した平コンテナ内で保管した。

10 月 7 日に各処理区の残渣から卵胞子を抽出し、10 μ l 当たりに残存する卵胞子数を計測した。

注 2) 小数点以下第 2 位を四捨五入している。



図-2 使用したコンポスト

II 抜き取ったタマネギベと病一次感染株の処分方法

本県では、タマネギベと病の一次感染株は重要な二次感染源となることから（図-1 ④），見つけ次第抜き取るよう指導している。また，県内の主産地においては，抜き取られた一次感染株は収集され，産業廃棄物として処分しており，その労力や行政の経費負担が問題となっている。そこで，生産者自身が実施でき，菌の感染能力を低下させ，翌年の感染源となることを防ぐ一次感染株の処分方法を検討した（古田・井手，2023）。抜き取った一次感染株（約 5 kg/袋）に対し，①石灰窒素（100 g/袋）＋ビニル袋密閉，②カーバマナトリウム塩液剤（50 ml/袋）＋ビニル袋密閉，③ビニル袋密閉のみ，④コンポスト（生ゴミなどを投入して発酵，分解させる容器，図-2）投入，⑤石灰窒素混和（100 g/5 kg）→野外放置，⑥野外放置のみの 6 種の方法を検討した。

各処理区の残渣を 3 月 22 日～5 月 24 日まではそれぞれの処理方法で，5 月 24 日以降屋外に放置して越夏させた後，10 月に残渣 1 g 中の卵胞子数を計測したところ，

⑤石灰窒素混和→野外放置区では 0.7 個/10 μ l，⑥野外放置のみ区で 5.7 個/10 μ l の卵胞子が確認されたが，ビニル袋に密閉した区およびコンポストに投入した区の残渣からは，卵胞子は確認されなかった（表-4）。

さらに，各処理の残渣を市販の培土を入れたプランターに埋め込んだ後，10 月 11 日にタマネギを播種し，12 月 9 日以降随時一次感染株の発病状況を調査した。その結果，野外に放置した区においては 30%の発病が見られたが，ビニル袋に密閉した区およびコンポストに投入した区，石灰窒素と混和した区では発病が少なかった（表-5）。

このことから，引き抜いた一次感染株を野外に放置した場合，次作の感染源となること，ビニル袋に密閉あるいは，石灰窒素と混和することで，次作の一次感染を抑制することが実験的に証明できた（古田・井手，2023）。今後，産地と協力しながら普及推進を図る予定である。

III 春季の薬剤防除による卵胞子の形成抑制

タマネギベと病による枯死葉上には卵胞子が多数形成されて，圃場に残存し，次作の感染源となる（塩飽・松

表-5 引き抜いた一次感染株残渣の処理方法の違いが次作の一次伝染に及ぼす影響

			検定株数	12/9	12/23	1/12	2/22	3/2	累計 発病株率（％）
①	ビニル袋に 密閉	石灰窒素 100 g/1 袋混和	198	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5
②		カーバマナトリウム塩液剤 50 ml/1 袋	227	0.0	0.0	0.0	1.8	1.8	3.5
③		無処理	225	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4
④	野外に放置	コンポストに投入	202	0.0	0.0	0.0	2.0	0.5	2.5
⑤		石灰窒素 100 g/約 5 kg 混和	217	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
⑥		無処理	217	6.5	0.5	1.4	12.0	9.7	30.0

注 1) 2021 年 3 月 19 日に現地圃場から採取した一次感染株 (1 袋 約 5 kg 入り) を表中の処理方法により 3 月 22 日～5 月 24 日まで約 2 か月間保管した。

5 月 24 日～10 月 7 日までは屋外に設置した平コンテナ内で保管した。

残渣の混入：2021 年 10 月 7 日，播種：10 月 11 日，品種：‘ターザン’。

注 2) 小数点以下第 2 位を四捨五入しているため，個々の発病株率の累計が一致しない場合がある。

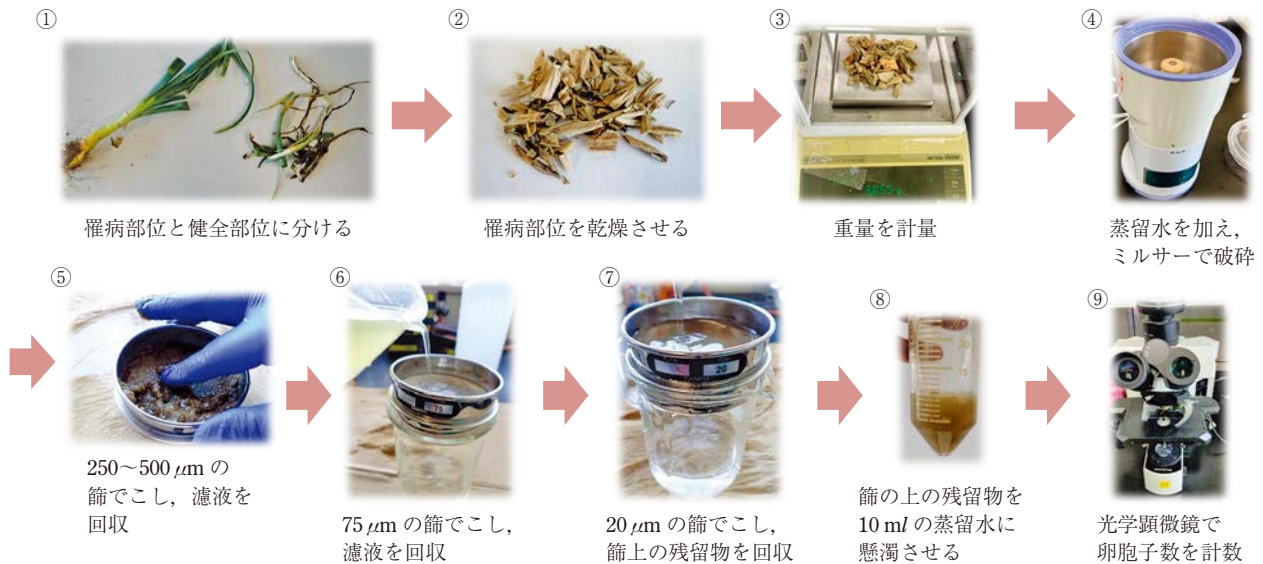


図-3 卵胞子の抽出手順

尾, 1972)。そこで，本病の二次感染期である春季に散布する効果的な薬剤を検討するため，各種薬剤について，卵胞子の形成抑制および次作の一次感染抑制についての効果を調査した。すなわち，マンゼブ・メタラキシル M 水和剤を含む合計 8 薬剤について，3～5 月にかけて約 14 日間隔で 5 回の薬剤散布を行い，各種薬剤による防除効果を検討するとともに，罹病株を採取し，図-3 の方法 (WATANABE and SYOBU, 2022) で卵胞子を抽出，計数し，1 株当たりの卵胞子数を推定した。その結果，生育中後期における薬剤によるべと病の防除効果と卵胞子形成数には関連が認められ，薬剤の防除効果が高いほど卵胞子の形成数は少ない傾向がみられた (表-2)。特に，マンゼブ・メタラキシル M 水和剤については，希釈倍数 500 倍が発病度，卵胞子形成数ともに低く抑えていた。

さらに，薬剤散布による次作の一次感染抑制効果を調

べるため，表-2 で実施したマンゼブ水和剤 (ジマンダイセン水和剤) 散布区，フルアジナム水和剤散布区，無処理区の収穫時の残渣を回収し，プランター試験を行い，翌年の一次感染株の発生に及ぼす影響を調査した。各試験区の収穫時の残渣については，約 50 日間ガラス室内で乾燥させた後，市販の培土を充てんした大型プランターの表層土壌に混和し，越夏させ，10 月にタマネギを播種し，播種約 50 日以降に発病した一次感染の株数を計数した。その結果，一次感染株の発病は，前作の発病度にほぼ比例し，薬剤無処理区残渣混入区では累計約 20% と多くの発病が認められたが，生育中期の薬剤散布により前年の発病度を 49 に抑えたフルアジナム散布区では累計 8.6%，同 32 に抑えたマンゼブ水和剤散布区では累計 2.1% と少なかった (表-6)。これは薬剤処理により，病斑の形成および卵胞子の形成が抑制されたことが影響

表-6 薬剤散布した前作の植物残さの埋設が次作の一次伝染に及ぼす影響

	前作の 平均発病度	検定 株数	12/4	12/15	12/25	1/18	累計発病 株率(%)
マンゼブ水和剤 散布区残さ	32	289	0.0	0.0	1.0	1.0	2.1
フルアジナム水和剤 散布区残さ	49	291	1.0	2.1	1.7	3.8	8.6
無処理区残渣	82	303	2.3	3.6	3.6	10.2	19.8

注 1) 残渣の混入：2020 年 7 月 13 日，播種：10 月 16 日，品種：‘ターザン’。

注 2) 小数点以下第 2 位を四捨五入しているため，個々の発病株率の累計が一致しない場合がある。

していると考えられる。またフルアジナム水和剤散布区においては，形成された卵胞子の生存率が低下していた可能性が考えられる。以上の結果から，一次感染は前作春季の薬剤の防除効果が強く影響することが卵胞子形成と翌年の発病抑制の観点から明らかとなり，二次感染期の適切な防除の実践により，健全葉を確保することが重要であることが確認された（古田ら，2022 a）。

おわりに

2016 年春の本県のタマネギべと病の大発生は，感染に好適な気象条件の頻発やメタラキシル剤に対する耐性菌のまん延などによって引き起こされた。メタラキシル耐性菌のまん延は，当初，本剤の防除効果が高かったために，過度に依存してしまったことが原因と考えられる。このため，現在の佐賀県では，本病がまん延する二次感染期においては，耐性菌リスクの低いマンゼブ剤を中心とした保護殺菌剤による予防防除に指導を切り替えた。予防防除に取り組んだ生産者のほとんどが，防除効果の高さを実感されている。なお，薬剤防除だけでなく，夏季湛水処理による一次感染抑制処理（手塚・福永，2017；國枝ら，2019），生産者による一次感染株のこまめな抜き取りや，育苗床の土壤消毒（田代ら，2020）などの対策，地域ぐるみの防除を行うことによって，現在産地では本病の発生を低く抑えることができている。今

後，他の薬剤に対する耐性菌の発生を繰り返さないためにも，現在の保護殺菌剤による防除体系を基本とし，耕種的な防除を組み入れた総合防除を指導していくとともに，新たな防除対策について産地での実証試験に取り組んでいきたい。

引用文献

- 1) 古田明子ら（2022 a）：日植病報 **88**：226（講要）。
- 2) ———ら（2022 b）：九病虫研報 **68**：83～84（講要）。
- 3) ———・井手洋一（2023）：日植病報 **89**：56（講要）。
- 4) 出水忠夫（1963）：大阪府農業試験場 調査研究報告 第 4 号：1～95。
- 5) 井手洋一（2021 a）：植物防疫 **75**：68～72。
- 6) ———（2021 b）：EBC 研究会ワークショップ 2021 講演要旨 19～33。
- 7) 環境省（2011）：水質汚濁に係る農業登録保留基準の設定に関する資料 メタラキシル及びメタラキシル M。
- 8) 國枝栄二ら（2019）：平成 30 年度佐賀県研究成果情報。
- 9) 松崎正文・管 正道（1982）：九病虫研報 **28**：70～73。
- 10) 塩飽邦子・松尾綾男（1972）：兵庫県農試研究報告 **20**：97～100。
- 11) 菖蒲信一郎・渡邊幸子（2018 a）：日植病報 **84**：67～68。
- 12) ———（2018 b）：第 28 回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講演要旨 43～53。
- 13) SYOBU, S. and S. WATANABE（2022）：Horticulture **8**(7), 578。
- 14) 正司和之ら（2020）：令和元年度佐賀県研究成果情報。
- 15) 田代暢哉ら（2020）：令和元年度佐賀県研究成果情報。
- 16) 手塚敏輔・福永正照（2017）：園芸学会九州支部研究収録 **25**：43（講要）。
- 17) WATANABE, S. and S. SYOBU（2022）：J. Phytopathology **170**：711～723。
- 18) 善 正二郎・菖蒲信一郎（2017）：植物防疫 **71**：264～268。



ビワ果実腐敗を防ぐ総合的防除マニュアルの作成について

長崎県農林技術開発センター 果樹・茶研究部門 小 嶺 まさ ゆき 敬

はじめに

長崎県におけるビワ栽培の歴史は古く、全国一の生産量を誇る特産品であるが、近年、露地栽培のビワにおいて果実腐敗が多発し問題となっている。本県では果実腐敗には数種の菌が関与しており、最も多いのが灰斑病菌（図-1）、次いで炭疽病菌（図-2）である。これらの病原菌による腐敗は果実内部から進行するため、収穫時は外見上健全な果実が、市場出荷後に腐敗する。果実腐敗の発生は産地の信頼を失うことにつながることから、深刻な問題である。このため、本県ではこれまで化学的防除を主体とした防除対策の確立に取り組んでおり、一定の成果が得られた。さらに、温暖化の影響による果実腐敗の発生増加への懸念などから、耕種的防除を機軸とした防除についても研究を進めてきた。今回、紹介するビワ果実腐敗防止マニュアルは、これまでの成果を総合的な防除対策としてまとめたものである。本稿では、近年に成果が得られた項目を主としたマニュアルの内容や現地

でのマニュアルへの取り組みの方向性について紹介する。なお、本マニュアルは長崎県農林技術開発センターのホームページから入手できるので、活用いただければ幸いである。

I ビワ果実腐敗防止マニュアルの内容

1 マニュアルの考え方

本マニュアルは図-3に示すように果実腐敗の問題点、主な病原菌や伝染経路、発生しやすい条件、防除対策（化学農薬による防除、耕種的防除）および腐敗防止のためのチェックシートで構成した。果実腐敗の主な原因菌は、開花期に感染し幼果内部に潜伏後、収穫期以降に腐敗を発生させる（野澤ら、2022；高田ら、2022）。これらの生態的知見をもとに、現地では開花期を主体に果実腐敗の防除を行っているが、腐敗果の発生を十分に抑制できていないため、本マニュアルでは病原菌の生態を踏まえた防除技術の採用や病気の出にくい栽培環境づくりを含めた総合防除を目指している。一例を挙げると、ビ



図-1 灰斑病菌による果実腐敗



図-2 炭疽病菌による果実腐敗



目次	
○果実腐敗の問題点	(2) レインガンによる防除
○主な病原菌や伝染経路	(3) 袋かけ直前の果房スポット散布
○発生しやすい条件	II 耕種的な防除
○防除対策	1. 屋根かけ栽培
I 化学農薬による防除	2. 適正施肥
1. 開花期防除の重要性	3. 樹型の改造
2. 開花期の防除回数	4. 落葉、腐敗果実を園外に持ち出し処分
3. 開花期防除の開始時期	5. 感染のリスクを減らす
4. 防除薬剤	6. 適期の収穫
5. 急傾斜地で動力噴霧器の導入が困難な場合の防除	○腐敗防止のためのチェックシート
(1) ドローンによる防除	

図-3 ビワ果実腐敗防止マニュアルの表紙と目次

Constructing of Integrated Control Manual to Protect Fruit Rot of Loquat. By Masayuki KOMINE
(キーワード：ビワ，果実腐敗，総合防除，マニュアル)

ワ開花前からの早期ビニル被覆は、開花期の花房への降雨を遮断でき、果実腐敗を最も確実に減少させる耕種的防除技術である（菅ら，2009）。このように圃場を病気の出にくい環境にするのが理想的である。一方、本県のビワ圃場の多くが露地栽培であり、降雨を遮断することができないため、感染時期である開花期に殺菌剤を複数回散布し、花房への糸状菌の侵入を防ぐ必要がある。そこで、既存の防除技術に新たに開発された耕種的防除技術等を組合せることにより、様々な栽培様式に対応可能な防除技術としてマニュアル化した。

2 近年の試験結果とその成果を組み入れた防除対策

（1）腐敗果発生環境要因解析

早期の屋根掛け栽培によって、感染時期である開花期に花房への降雨を防ぐことにより、顕著に腐敗果が減少する。このことから推測されるように、降雨が腐敗果の発生に影響を与える大きな要因である。そのほかに、どのような要因がビワの果実腐敗の多発に影響するか、現地や試験場内で調査した結果、気温、葉の灰斑病の発生状況および葉色（SPAD 値）の影響が強かったことから、以下に述べるような気温や施肥に関連した試験を行った。

（2）病原菌の感染リスクの高い時期

近年、開花期以降の気温が平年より高く経過する年が多く、果実腐敗は、先述の発生生態のとおり開花期以降に進展することから、温度変化の影響を受けると考えられる。また、ビワの開花期間は11～1月と長いため、花房によって遭遇する気温が大きく異なる。そこで、開花時期の異なる花房において腐敗果の発生を調査し、感染リスクが高まる時期がいつかを評価した。試験は、1花房の中で完全に開花した花のみを残し、他の蕾や落弁花等を除いた日をその花房の開花日とし、残した花が結実したものについて開花時期別の腐敗果率を調査した。その結果、11～1月にかけて開花結実した果実で果実腐敗の発生が見られ、早い時期に開花結実した果実において果

実腐敗の発生が多かった。また、収穫を遅らせると腐敗果が多かった（図-4）。降雨の影響を受けない施設栽培条件下で灰斑病菌の接種試験を行っても、接種時の気温が高いと果実腐敗の発生割合が高かった（図-5）。ビワの栽培管理には、必要な果実のみを残し肥大を促す摘房、摘蕾の作業がある。そのため、この試験結果から、12月以降に開花する花が十分にある場合は、感染リスクの高い11月までに開花した花の除去および適期の収穫を、耕種的防除法としてマニュアルに記載した。

（3）開花期の3回防除体系における効果の高い防除開始時期

前述したようにビワの開花期間は長いため、生産現場から薬剤散布の適期把握が難しいとの意見が多く寄せられていた。そこで、有効な防除体系の構築のため、開花期間における最も効果の高い防除開始時期や防除間隔について検討した。開花期の薬剤散布回数は、現地での防除回数と腐敗果率の関係を調査した結果から、無散布より有意に果実腐敗の発生を抑えた防除回数（3回）とした。散布開始時期は表-1のとおり摘蕾適期（図-6）のほか、開花初期、開花盛期の3段階の花房進捗で防除を開始し、3回散布防除体系を2～3週間の散布間隔で実施した。果実を収穫後、10日後まで貯蔵し腐敗果の発生を調査した結果、開花直前に当たる摘蕾適期に防除を開始する体系が最も高い防除効果が得られた（表-1）。この試験結果は、前述した果実腐敗の感染リスクの高い時期（11月）と関連すると推測され、長いビワの開花期間のなかでも気温が高い開花初期の時期に重点を置いた防除が有効と考えられる。以上のことから、開花期の防除開始時期についてマニュアルに記載した。

（4）適正施肥による果実腐敗の抑制

施肥と病害の関係については、古くから論じられ、窒素が多いと感受性が高まり病気になりやすいものや逆に窒素成分が少ないと病気になりやすいものもある（浅川，1987）。果実腐敗の主な原因菌である灰斑病菌は、葉に

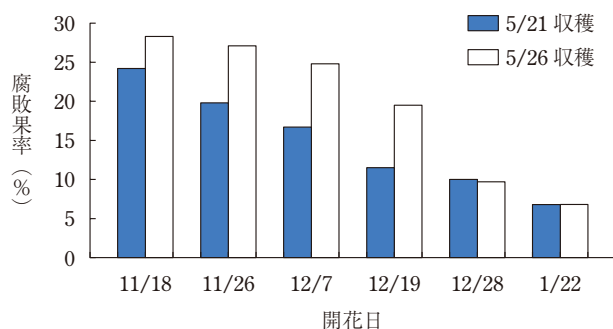


図-4 露地栽培における開花日別の果実腐敗の発生（2021年産）

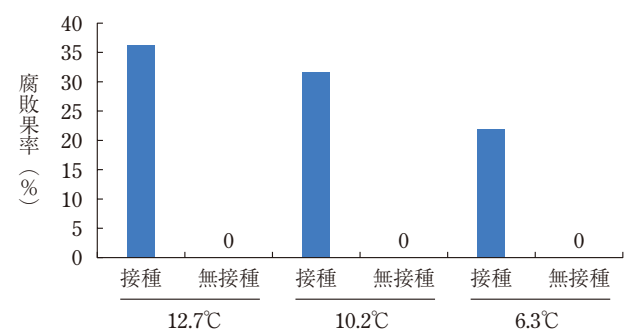


図-5 施設栽培における花への灰斑病菌接種から感染までの気温と果実腐敗の発生（2021年産）



図-6 ビワ花房進度の程度と生育ステージ^{a)}
^{a)} (1: 出蕾始期, 2: 穂軸分化始期, 3: 穂軸分化終期, 4: 摘蕾適期, 5: 花弁見え始め, 6: 開花初期, 7: 開花盛期, 8: 開花終期, 9: 落弁期)。

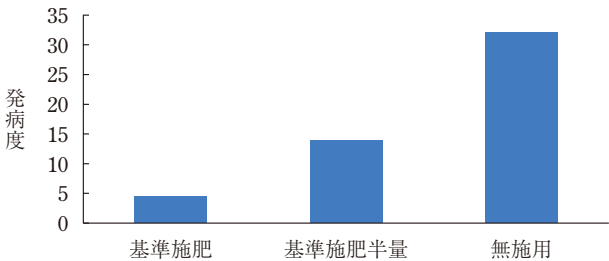


図-7 各施肥量における灰斑病（葉）の発病度

斑点性の病斑を生じさせる。また、落葉を引き起こすことで樹勢に影響を与える病害である。ビワにおける施肥量と葉の灰斑病発生との関連を調べるため、健全苗木をポットに植え付け、長崎県施肥基準の窒素量を基準として、その半量施肥および無施肥の3区を設け、灰斑病の発生経過を3か年にわたり調査した。その結果、半量施肥および無施肥では、基準施肥に比べ、葉における灰斑病の発生が増加した（図-7）。また、薬剤防除と適正施肥の組合せが、果実腐敗の発生に及ぼす影響を圃場において調査した。その結果、開花期の薬剤防除と適正施肥をともに実施する体系は、薬剤防除か適正施肥のどちらか片方を実施する体系および薬剤防除、適正施肥ともに未実施の体系に比べ、果実腐敗の発生を抑制した（図-8）。以上のように、適正施肥による病害が発生しにくい健全な樹体づくりが、腐敗果抑制に有効と考えられることから、マニュアルに記載した。

3 急傾斜地で動力噴霧器の導入が困難な場合の対策

本県のビワ産地は、急傾斜地に立地し、作業道が未整備なため動力噴霧器での防除が困難な圃場も多い。そのような厳しい条件の圃場において利用可能な防除技術

表-1 防除開始時期別の腐敗果発生
 (2017～19年産の3か年の平均値)

各防除体系	防除時の花房進度 ^{a)}			腐敗果率 (%)
	1回目	2回目	3回目	
摘蕾適期開始 (進度4)	4	6	7～8	17.2
開花初期開始 (進度5～6)	5～6	7～8	8	25.4
開花盛期開始 (進度7)	7	8	8以上	25.7
無散布 ^{b)}				48.7

^{a)} 花房進度は図-6を参照。
^{b)} 摘蕾適期、開花初期、開花盛期の3時期を設置した。腐敗果率はその平均値。

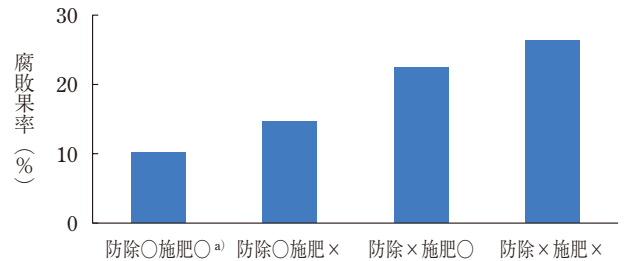


図-8 薬剤防除と施肥の組合せによる果実腐敗の抑制効果^{b)}
^{a)} 防除○は薬剤防除を開花期に3回実施。施肥○は基準量（年間N20kg）を施肥。×は未実施。
^{b)} 腐敗果率は2か年（2019年産、2022年産）の平均値。

（ドローンの利用、レインガン利用および袋かけ直前の市販スプレーを用いた果房へのスポット散布）を記載した。ドローンを用いる場合、アゾキシストロビン水和剤がビワ炭疽病に対して使用可能である。防除効果については、本県での試験において、開花期の散布で炭疽病に対し動力噴霧器の手散布と同等以上の防除効果を確認しており、期待される防除技術である。レインガンは、移動式の大型スプリンクラーであり、短時間で防除が可能である。袋掛け直前の市販スプレーを用いた果房へのスポット散布は、ビワの管理に袋掛けの作業があるが、その直前に行う薬剤散布である。袋掛け直前の1回のみの散布機会しかないが、市販スプレーがあれば、すぐに取り組める簡易な技術である。

II 今後の取り組みの方向性

果実腐敗の防除は、地域的・組織的なまとまりを持って行うことが重要である。本マニュアルの対象は生産者向けで、わかりやすい内容としており、基本的な防除技術の実施を推奨している。防除効果を高めるためには、基本的な防除技術を組合せて確実に実施することが重要

である。そのため、本マニュアルの末尾に果実腐敗防止のためのチェックシートを付けた。まずは、取り組み可能な防除対策から始め、選択する防除対策が増加していくことが期待される。また、高齢化が進むなか、マニュアルの周知と同時に防除の支援体制づくりも重要である。前述したドローンやレインガンは、省力化できる防除法であり広域的な処理が可能であるが、高額な機械の導入を必要とする。現場への普及を図るには、防除請負体制の導入や整備も検討していく必要があると考える。

おわりに

台風や寒害の被害を受けた圃場等、露地ビワ産地の一

部では労力不足から管理放任園が散見される。こうした状況から、産地での果実腐敗の病原菌の密度向上が危惧される。果実腐敗の抑制は、日本一のビワ産地の維持のために最重要な課題である。本稿で示した総合的なビワ果実腐敗防止マニュアルに沿って、病気の出にくい栽培環境づくりと適切な防除対策の導入を進めていく必要があると考える。

引用文献

1) 浅川征男 (1987): 化学と生物 25: 303~310.
2) 野澤俊介ら (2022): 日本植物病理学会報 88: 42.
3) 菅 康弘ら (2009): 九州病害虫研報 55: 52~56.
4) 高田美輝ら (2022): 日本植物病理学会報 88: 42~43.

登録が失効した農薬 (2023.9.1~2023.9.30)

掲載は、種類名，登録番号：商品名（製造者又は輸入者）登録失効年月日。

「殺菌剤」

- トルクロホスメチル粒剤
19008：グランサー粒剤（住友化学株式会社）2023/9/7

「除草剤」

- テニルクロール・ピラゾキシフェン・ブロモブチド水和剤
18337：トクソーワンベストフロアブル（株式会社エス・ディー・エス バイオテック）23/9/1
- オキサジアルギル粒剤
22200：キルクサ1キロ粒剤（クミアイ化学工業株式会社）23/9/12
- シメトリン・ピリミノバックメチル・ベンフレセート・MCPB 粒剤
22353：クミメート SM 1 キロ粒剤（クミアイ化学工業株式会社）23/9/12
- シハロホップブチル粒剤
19188：クリンチャー粒剤（コルテバ・ジャパン株式会社）23/9/13
- イマゾスルフロン・フェントラザミド・ブロモブチド粒剤
22828：マクダス1キロ粒剤（レインボー薬品株式会社）23/9/25
- プロピリスルフロン・ブロモブチド粒剤
23609：マキビシ Z ジャンボ
23611：マキビシ Z 1 キロ粒剤

- （住化農業資材株式会社）23/9/25
- プロピリスルフロン・ブロモブチド水和剤
23610：マキビシ Z フロアブル（住化農業資材株式会社）23/9/25
- イプフェンカルバゾン・イマゾスルフロン・ブロモブチド粒剤
23746：オーリックジャンボ
23756：オーリック 1 キロ粒剤（住化農業資材株式会社）23/9/25
- イプフェンカルバゾン・イマゾスルフロン・ブロモブチド水和剤
23757：オーリックフロアブル（住化農業資材株式会社）23/9/25
- イマゾスルフロン・ピリミノバックメチル・ブロモブチド粒剤
23786：オテゴロ 1 キロ粒剤（住化農業資材株式会社）23/9/25
- プロピリスルフロン・ブロモブチド・ペントキサゾン水和剤
23872：クレバール Z フロアブル（住化農業資材株式会社）23/9/25
- プロピリスルフロン・ブロモブチド・ペントキサゾン粒剤
23874：クレバール Z 1 キロ粒剤
23876：クレバール Z ジャンボ（住化農業資材株式会社）23/9/25

研究 報告

メッシュ農業気象データを用いたイネ縞葉枯病の薬剤散布適期判定システム

農研機構植物防疫研究部門 作物病虫害防除研究領域 ^{しば}柴

^{たく}卓 ^や也

はじめに

イネ縞葉枯病は、イネ縞葉枯ウイルス（RSV）によって引き起こされる水稻の病害で、日本では「ゆうれい病」の通称で知られ 1897 年ころから発生が報告されている。本病は 1960 年代と 1980 年代に国内の稲作に極めて深刻な被害を与えたが、その後発生が徐々に減少し、2000 年ころにはほとんど見られなくなった。しかし、2010 年ころになると本病を媒介するヒメトビウンカの発生が全国的に増加し、これに伴って関東、近畿、九州地方を中心に本病の発生が再び増加した。その後の精力的な防除技術開発の取り組みや新しい化学農薬の開発等により、2023 年現在は以前のような大きな被害が発生する水田は見られなくなったが、国内の発生面積は最近 5 年間で年間 7～11 万 ha で推移しており、引き続き警戒が必要な病害である。

RSV に感染したイネを治療する方法はないことから、本病による被害を回避するためには感染を未然に防ぐことが重要である。具体的な対策としては、媒介虫であるヒメトビウンカを対象とした薬剤防除、イネ縞葉枯病抵

抗性品種の利用、ヒメトビウンカの生息場所や RSV の感染源を取り除く圃場管理を行う。発生地域における本病とヒメトビウンカの発生動態およびそれらに影響を及ぼす作型や周辺環境を考慮し、地域の特徴に応じて複数の防除技術を適宜組合せて実施することが重要である。本稿では、イネ縞葉枯病の被害軽減に効果的な薬剤散布のタイミングを判定する薬剤散布適期判定システムについて解説する。

I イネ縞葉枯病の薬剤防除の考え方

水稻は幼苗期から幼穂形成期までの期間に RSV に感染すると被害が大きくなるため、苗の移植から幼穂形成期の間に水田内で発生するヒメトビウンカを防除する（図-1）。薬剤を使用する場合は、苗箱への播種時または苗の移植時に薬剤処理を行い、必要に応じて本田期の散布を追加すると高い防除効果が期待できる。一方で、苗の移植日が早い水田では、移植からヒメトビウンカの飛来までに間が空くため、播種時や移植時に薬剤処理を行ってもヒメトビウンカが水田に飛来するまでに効果がなくなってしまうことがあり、本田防除のみを実施するほ

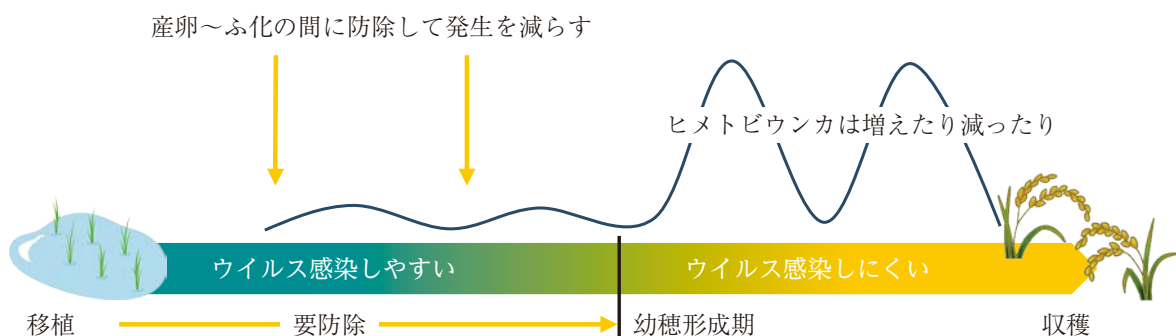


図-1 イネ縞葉枯病の薬剤防除の考え方

要防除期間は移植から幼穂形成期までで、ヒメトビウンカの産卵からふ化の間に薬剤散布すると、その後の個体数の増加を効果的に防ぐことができる。

System for Determining the Optimal Timing of Chemical Application for Rice Stripe Disease Using Agro-Meteorological Grid Square Data. By Takuya SHIBA

（キーワード：イネ縞葉枯病，ヒメトビウンカ，メッシュ農業気象データ，薬剤散布適期判定）

うが適切な場合もある。本田防除の適期は、ヒメトビウンカの産卵からふ化までの間の約1週間である。この期間の防除は、その後に水田で発生するヒメトビウンカを減らし、水田内のRSVの広がりを効率よく防ぐことができる。

II イネ縞葉枯病の薬剤散布適期判定システム

イネ縞葉枯病の薬剤散布適期判定システムは、圃場の位置（緯度経度）・移植日・品種の情報、および、メッシュ農業気象データシステム（農研機構）を利用して、水田1筆単位で水稻の生育予測とヒメトビウンカの発生予測を行い、薬剤散布適期を予測する。スマートフォンやタブレットPCから本システムを利用することで、対象となる圃場におけるイネ縞葉枯病の薬剤散布適期の情報を知ることができる。現在このシステムは、本技術の現地実証試験や試用を目的とした場合には誰でも無償で利用できる。利用を希望する場合は、農研機構HPの問い合わせフォーム（<https://www.naro.go.jp/inquiry/index.html>）から問い合わせしてほしい。

III システムの概要

本プログラムのアルゴリズムを図-2に示す。利用者

はスマートフォンやタブレットPCのwebブラウザから本プログラムにログインして使用する。ログイン後の画面で、地点登録→予測方法選択（今年の気温、平年値、過去年）→移植日→品種選択と進んで必要な情報を入力すると、それらの情報に基づき、メッシュ農業気象データシステムを利用して水稻の生育予測とヒメトビウンカの発生予測を行う。水稻生育予測はWAGRIの生育予測API（参考：農研機構、気象情報とICTを活用した水稻、小麦、大豆の栽培管理支援API標準作業手順書）を利用し、イネ縞葉枯病の多発地域で作付けの多い品種を中心に約30品種を搭載している。ヒメトビウンカの発生予測は、メッシュ農業気象データシステムから取得した1日ごとの最高気温と最低気温のデータを三角法（坂神・是永，1981）により処理して有効積算温度計算を行う。こうして得られた水稻幼穂形成日の予測結果から要防除期間を決定するとともに、その期間内のヒメトビウンカの産卵予測日～1週間を防除適期として表示する。また、予測に用いた条件を登録すると、1日ごとに水稻の生育予測とヒメトビウンカの発生予測を繰り返し行い、最新の予測結果に基づいて防除適期の7日前、3日前、当日にメールで通知する機能を搭載する。

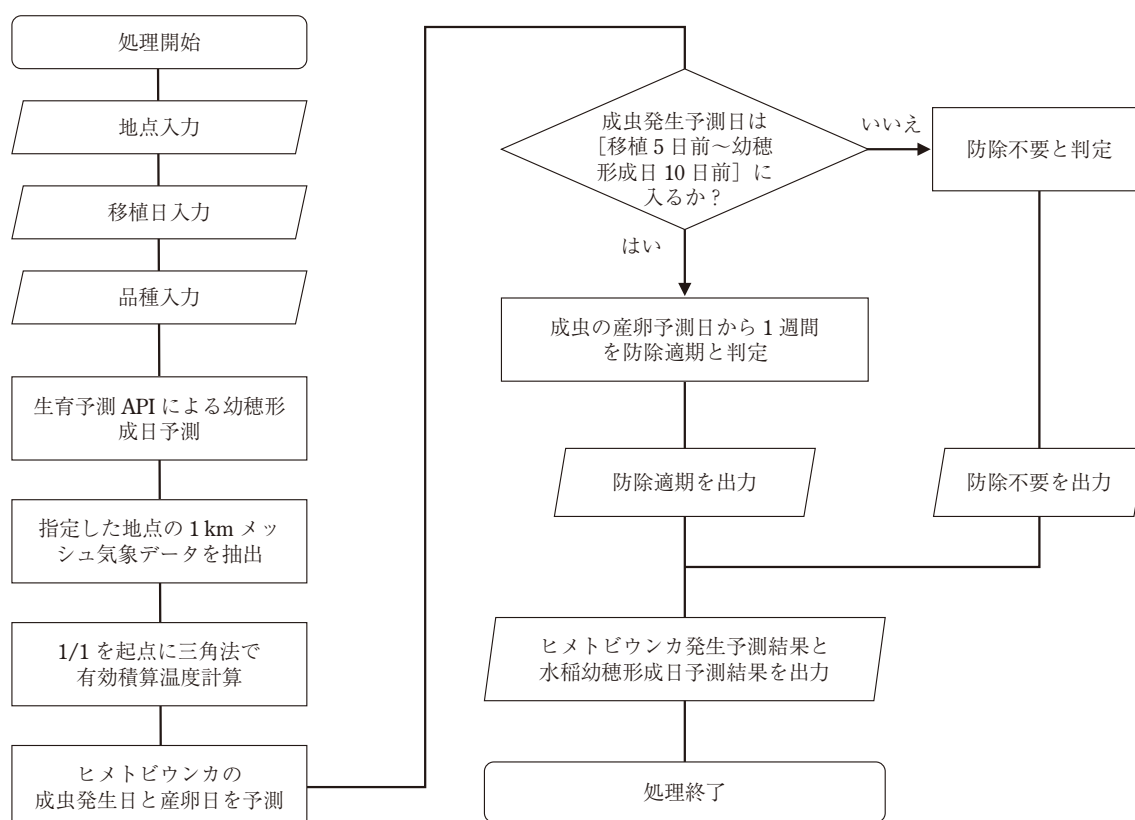


図-2 イネ縞葉枯病薬剤散布適期判定システムのアルゴリズム

Ⅳ 基本操作

- ① 本システムを利用する場合は、ログインIDとしてメールアドレスをシステムに登録する。登録が完了すると、登録したメールアドレスにパスワードとシステムのURLが通知される。
- ② 通知されたシステムのURLにアクセスすると図-3左の画面が表示される。登録したメールアドレスと申請により発行されたパスワードを入力してログインする。
- ③ 表示された地図の上から防除適期を調べたい圃場の位置を選択する（図-3中）。スマートフォン等の位置情報を参照できる場合は、現在地を中心にした航空写真を表示する。位置情報を参照できない場合は、地図右上の四角のアイコンをタップすると背景を地図に切り替えることができるので、地図から目的の圃場を探すと簡単である。圃場の選択が完了後、登録ボタンをタップして次の画面に進む。
- ④ 予測方法、田植え日、品種を選択する（図-3右）。予測方法は「今年の気象で予測」「平年値で予測」「過去

- 年値で予測」の三つから選択できる。「今年の気象で予測」では、入力日1日前までは実測値、入力日から26日先までは予測値、27日先からは平年値を使用して予測する。田植え日はカレンダーから選択する。品種はプルダウンメニューから選択する。条件の選択が完了した後、診断ボタンをタップする。
- ⑤ 予測結果が表示される。上段のグレーの枠に予測に用いた条件が、オレンジの枠に防除適期が表示される（図-4左）。また、中段の登録ボタンで予測に用いた条件を登録すると、次回以降に同じ条件で予測するときに入力を省略することができる。
- ⑥ ヒメトビウンカの発生予測結果と水稻幼穂形成日の予測結果の詳細を表示できる（図-4中）。これにより、薬剤散布適期の予測結果の根拠と妥当性を確認することができる。
- ⑦ 圃場の位置や移植時期によっては防除適期が2回ある場合がある。その場合は、2回の防除適期が表示される（図-4右）。



図-3 イネ縞葉枯病薬剤散布適期判定システムの利用画面例
左からログイン画面、地点選択画面、条件選択画面。



図-4 イネ縞葉枯病薬剤散布適期判定システムの利用画面例

左から防除適期表示画面、ヒメトビウンカの発生予測結果を展開したときの画面、防除適期が2回表示されたときの画面。

おわりに

本稿ではイネ縞葉枯病の薬剤防除において活用できる薬剤散布適期判定システムについて解説したが、イネ縞葉枯病の被害軽減のためには、化学農薬の利用によるヒメトビウンカの防除、イネ縞葉枯病抵抗性品種の利用、圃場管理によるヒメトビウンカの発生抑制、などを組合せて行うことが重要である。抵抗性品種の利用や圃場管理のあり方については、農研機構 HP 上に公開しているイネ縞葉枯病の総合防除マニュアル（農研機構）を参考にしてほしい。

引用文献

- 1) 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構：イネ縞葉枯病の総合防除マニュアル，https://ml-wiki.sys.affrc.go.jp/rsv_web/manual/start
- 2) 農研機構メッシュ農業気象データシステム，<https://amu.rd.naro.go.jp/>
- 3) (2023)：気象情報と ICT を活用した水稻，小麦，大豆の栽培管理支援 API 標準作業手順書，https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/laboratory/naro/sop/158153.html
- 4) 坂神泰輔・是永龍二（1981）：応動昆 25：52～54。



研究報告

生物農薬を活用したブロッコリー花蕾腐敗病 およびキャベツ黒斑細菌病の防除対策

長野県野菜花き試験場佐久支場

石

山

佳

幸*

長野県野菜花き試験場

藤

永

真

史**

はじめに

レタス、キャベツ、ハクサイ等の葉野菜は長野県の野菜生産において重要品目であり、夏季高温期の出荷量が多いことが特徴である。これは、長野県内の葉野菜栽培の中心となっている地域の標高が700～1,000 mと高く、盛夏期でも比較的冷涼なことに起因している。しかし、5～10月は梅雨、秋雨、台風に遭遇することもあり、細菌性病害の発生が問題となる。近年、特にアブラナ科野菜の黒斑細菌病やブロッコリー花蕾腐敗病が多発し、産地で大きな問題となることがある。本稿では、長野県で普及している生物農薬を活用した細菌性病害対策について紹介する。なお、本稿は既報（石山，2018）にデータを追加し、再構成したものである。

I 細菌性病害に対して長野県で利用されている生物農薬

長野県では葉野菜類の細菌性病害対策として、野菜類の軟腐病には非病原性エルビニア・カロトボラ水和剤（商品名：バイオキーパー水和剤）、レタス腐敗病、キャベツ黒腐病、ブロッコリー花蕾腐敗病にはシュードモナス・フルオレッセンス水和剤（商品名：ベジキーパー水和剤）やシュードモナス・ロデシア水和剤（商品名：マスタピース水和剤）が普及している。特にシュードモナス・フルオレッセンス水和剤は当場が開発に携わっていた経緯から、その活用方法に関する試験が数多く実施され、県内にひろく普及が図られている（小木曾，2008；2012）。

これらの生物農薬の有効成分は生菌であり、いずれの剤も病原菌との競合作用が主な作用機構である。生物農

薬は化学合成農薬と比較すると、環境に負荷が少ない農薬として注目されている。従来から露地野菜類の細菌性病害防除には、主に銅剤、抗生物質剤が防除薬剤の中心であるが、これらの剤を収穫期の間近に散布すると薬害症状が発生するリスクがあり、安全使用基準からも散布可能な期間が制限される。しかし、生物農薬ではそれらの制限が少ないという利点もある。一方で、生物農薬の効果を十分に発揮させるためには、その特徴を十分に理解し、また対象の病害を理解したうえで、生物農薬の長所を最大限発揮させる工夫も必要となる。

II 生物農薬を用いたブロッコリー花蕾腐敗病の防除

1 ブロッコリー花蕾腐敗病について

長野県では、ブロッコリーの花蕾に発生する花蕾腐敗病が問題となる。本病は、収穫物が直接被害を受けるため、わずかな発病でも被害は大きくなる。発病初期は花蕾の一部が水浸状に腐敗する程度であるが、徐々に腐敗が周囲に広がり、ひどくなると花蕾全体が黒色から白色に腐敗する（図-1）。本病は、複数の細菌により引き起こされるが、県内では主に軟腐病菌（*Pectobacterium carotovorum*）、黒斑細菌病菌（*Pseudomonas cannabina* pv. *alisalensis*）、*Pseudomonas*属の細菌（*P. viridiflava*、*P. marginalis*等）が単独もしくは重複感染し、花蕾腐敗を引き起こしている。

2 ブロッコリー花蕾腐敗病に対する生物農薬の防除効果

花蕾腐敗病に対する生物農薬の防除効果を明らかにするため、出蕾始期から収穫期にシュードモナス・フルオレッセンス水和剤、シュードモナス・ロデシア水和剤、および対照剤として水酸化第二銅水和剤（商品名：コサイド3000）を散布し、防除効果を検討した。その結果、シュードモナス・フルオレッセンス水和剤およびシュードモナス・ロデシア水和剤散布区は無処理区に対して防除効果が認められたが、水酸化第二銅水和剤と比較すると効果は若干劣った（表-1）。しかしながら、シュードモナス・フルオレッセンス水和剤およびシュードモナ

Biological Control to Head Rot of Broccoli and Bacterial Blight of Cabbage in Nagano Prefecture. By Yoshiyuki ISHIYAMA and Masashi FUJINAGA

（キーワード：生物農薬、ブロッコリー、キャベツ、花蕾腐敗病、黒斑細菌病、*Pseudomonas cannabina* pv. *alisalensis*）

*現所属：長野県野菜花き試験場

**現所属：長野県病害虫防除所



図-1 ブロッコリー花蕾腐敗病の病徴
(左図: *P. carotovorum* と *P. marginalis* 右図: *P. cannabina* pv. *alisalensis*)

表-1 ブロッコリー花蕾腐敗病に対する各種薬剤の防除効果 (2015年 春まき作型)

供試薬剤	希釈 倍率	調査 株数	発病株率 (%) ^{a)}	防除価 ^{b)}	薬害
シュードモナス・ロデシア水和剤	1,000 倍	96	13.5 a	75.9	なし
シュードモナス・フルオレッセンス水和剤	1,000 倍	96	12.5 a	77.8	なし
水酸化第二銅水和剤	2,000 倍	96	4.2 a	92.6	あり ^{c)}
無処理		96	56.3 b		

^{a)} 同一英文字を付した数値間には、Ryan の多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

^{b)} 防除価 = (無処理区の発病株率 - 処理区の発病株率) × 100 / 無処理区の発病株率。

^{c)} 外葉に薬害症状が認められたが、花蕾 (収穫物) には影響はなく、実用上問題なかった。

試験概要

試験場所: 長野県野菜花き試験場内 (塩尻市) 定植: 5月11日 品種: ‘おはよう’。

栽植密度: 45 cm × 40 cm 面積: 7.2 m²/区 40 株 3 反復。

薬剤散布: 6月16日, 22日, 29日に背負式動力噴霧機で所定濃度の薬液を 10 a 当たり 250 l 散布した。

調査方法: 7月6日に各 32 株について、花蕾腐敗病の発病を調査した。

ス・ロデシア水和剤は薬害が認められなかったのに対し、水酸化第二銅水和剤では外葉に薬害症状が認められた。このため、水酸化第二銅水和剤は高い防除効果が認められるものの、薬害のリスクがあるため、注意が必要であると考えられた。なお本試験では花蕾の腐敗部位からは *P. carotovorum* と *P. marginalis* が分離された。

3 ブロッコリー花蕾腐敗病に対して生物農薬を取り入れた薬剤防除体系

これまで長野県内では、花蕾腐敗病だけでなく、黒斑細菌病 (*P. cannabina* pv. *alisalensis*) の発生が問題となっている (石山ら, 2016 a)。なお黒斑細菌病菌は花蕾腐敗病の原因の一つであり、外葉での黒斑細菌病の病斑が多いほど、花蕾の腐敗も増加する傾向がある (石山ら, 2017)。ブロッコリー黒斑細菌病に対してはこれまでに無機銅剤が高い防除効果を有することが明らかになっており (石山ら, 2018)、生産現場では外葉形成期から無機銅剤を中心とした防除が徹底されている。そこで、本

試験ではさらに防除効果を高めるために生物農薬を加えた防除モデルを試案し、表-2の組合せの試験区を設置し、その防除効果について検討した。その結果、出蕾期以降にシュードモナス・フルオレッセンス水和剤のみを散布した試験区 (試験区 III) と比較して、外葉形成期に塩基性硫酸銅水和剤 (商品名: Z ボルドー) を散布し、出蕾期以降にシュードモナス・フルオレッセンス水和剤を散布した区 (試験区 I) またはシュードモナス・ロデシア水和剤を散布した区 (試験区 II) は、黒斑細菌病と花蕾腐敗病ともに高い防除効果が認められ、薬害も見られなかった (表-3)。塩基性硫酸銅水和剤を出蕾期前の外葉形成期のみ散布した試験区 (試験区 V) と出蕾期以降のみ散布した試験区 (試験区 IV) は、ともに高い防除効果が認められたが、出蕾期以降の散布では花蕾に薬害が発生してしまい、商品性が著しく低下した。このため、塩基性硫酸銅水和剤などの銅剤の散布は、収穫物である花蕾への薬害リスクが低い出蕾期前の使用にとどめ

表-2 ブロッコリー黒斑細菌病および花蕾腐敗病に対する体系防除試験 (2016 年 春まき作型)

試験 番号	試験区	6月3日 (外葉形成期)	6月12日 (外葉形成期)	6月21日 (外葉形成期)	6月29日 (出蕾始期)	7月5日 (花蕾肥大期)	7月12日 (収穫期)
I	シュードモナス・フルオ レッセンス水和剤 体系防除区	塩基性硫酸銅 水和剤 ^{a)}	塩基性硫酸銅 水和剤	塩基性硫酸銅 水和剤	シュードモナス・ フルオレッセンス 水和剤 ^{b)}	シュードモナス・ フルオレッセンス 水和剤	
II	シュードモナス・ロデシ ア水和剤 体系防除区	塩基性硫酸銅 水和剤	塩基性硫酸銅 水和剤	塩基性硫酸銅 水和剤	シュードモナス・ ロデシア水和剤 ^{c)}	シュードモナス・ ロデシア水和剤	
III	シュードモナス・フルオ レッセンス水和剤区 (花蕾形成期)	—	—	—	シュードモナス・ フルオレッセンス 水和剤	シュードモナス・ フルオレッセンス 水和剤	最終調 査
IV	塩基性硫酸銅水和剤区 (花蕾形成期)	—	—	—	塩基性硫酸銅 水和剤	塩基性硫酸銅 水和剤	
V	塩基性硫酸銅水和剤区 (外葉形成期)	塩基性硫酸銅 水和剤	塩基性硫酸銅 水和剤	塩基性硫酸銅 水和剤	—	—	
VI	無処理	—	—	—	—	—	

a) 塩基性硫酸銅水和剤は 500 倍液を散布した。

b) シュードモナス・フルオレッセンス水和剤は 1,000 倍液を散布した。

c) シュードモナス・ロデシア水和剤は 1,000 倍液を散布した。

試験概要

試験場所：長野県野菜花き試験場内圃場（塩尻市） 定植：5月16日 品種：‘おはよう’。

栽植密度：45 cm × 40 cm 面積：7.2 m²/区 40 株 3 反復。

薬剤散布：所定日に、背負式動力噴霧機で所定濃度の薬液を 10 a 当たり 250～300 l 散布した。

調査方法：7月12日に各 32 株について、外葉の黒斑細菌病の発病程度、花蕾腐敗病の発病を調査した。

表-3 ブロッコリー黒斑細菌病および花蕾腐敗病に対する体系防除の効果 (2016 年 春まき作型)

試験 番号	試験区	調査 株数	外葉の黒斑細菌病の発病程度			花蕾腐敗病の発病程度		薬害
			発病株率 (%) ^{a)}	発病度 ^{b), c)}	防除価 ^{d)}	発病株率 (%) ^{a)}	防除価 ^{e)}	
I	シュードモナス・フルオレッセンス 水和剤体系防除区	96	0 a	0 a	100	2.1 a	94.4	なし
II	シュードモナス・ロデシア水和剤 体系防除区	96	0 a	0 a	100	1.0 a	97.3	なし
III	シュードモナス・フルオレッセンス 水和剤区（花蕾形成期）	96	26.0 b	12.5 b	0	20.8 b	44.5	なし
IV	塩基性硫酸銅水和剤区 (花蕾形成期)	96	0 a	0 a	100	3.1 a	91.7	あり ^{f)}
V	塩基性硫酸銅水和剤区 (外葉形成期)	96	0 a	0 a	100	2.1 a	94.4	なし
VI	無処理	96	18.8 b	9.7 b		37.5 c		

a) 同一英文字を付した数値間には、Ryan の多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

b) 各株を発病指数別に調査し、以下の式に基づき算出した。

発病度 = Σ (程度別発病株数 × 指数) × 100 / (調査株数 × 3)。

指数 0：発病なし，1：外葉の 1/3 以下が発病，2：外葉の 1/3～2/3 が発病，3：2/3 以上の外葉が発病。

c) 同一英文字を付した数値間には、Steel-Dwass の多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

d) 防除価 = (無処理区の発病度 - 処理区の発病度) × 100 / 無処理区の発病度。

e) 防除価は発病株率から算出した。算出方法は表-1 と同じ。

f) 花蕾（収穫物）に薬害症状が認められ、実用上問題があった。

たほうがよいと判断された。なお本試験において、花蕾の腐敗部位からは *P. carotovorum* と *P. cannabina* pv. *alisalensis* が分離された。

また、県内で病気の発生が多くなる初夏まき作型でも表-4 に示した防除モデルの効果について検討した。本試験では、生育初期から外葉に黒斑細菌病の病斑が多数認められる多発条件下での試験となった。外葉形成期にのみ塩基性硫酸銅水和剤を散布した区（試験区 iv）と比較して、塩基性硫酸銅水和剤とシュードモナス・フルオレッセンス水和剤を散布した区（試験区 i）は黒斑細菌病と花蕾腐敗病の両病害に対して高い防除効果が認めら

れた（表-5）。また出蕾期以降のみ薬剤を散布した区（試験区 ii, iii）は無処理区と同程度の発病が認められ、このような多発条件下では、ブロッコリーの生育初期から収穫期にかけて体系的な薬剤防除が必要であると考えられた。なお本試験で発生した花蕾の腐敗部位からは *P. cannabina* pv. *alisalensis* が分離された。

これらの結果から、ブロッコリーの生育初期にあたる外葉形成期は防除効果の高い塩基性硫酸銅水和剤等の無機銅剤を使用し、栽培中期から後半にあたる出蕾期から収穫期にかけては薬害の発生リスクの低い生物農薬を組合せた防除体系が有効であると明らかになった。

表-4 ブロッコリー黒斑細菌病および花蕾腐敗病に対する体系防除試験（2016年 初夏まき作型）

試験番号	試験区	8月21日 (外葉形成期)	8月29日 (外葉形成期)	9月6日 (外葉形成期)	9月15日 (外葉形成期)	9月24日 (出蕾始期)	10月2日 (花蕾肥大期)	10月11日 (収穫期)
i	全期間防除区	塩基性硫酸銅水和剤 ^{a)}	塩基性硫酸銅水和剤	塩基性硫酸銅水和剤	塩基性硫酸銅水和剤	塩基性硫酸銅水和剤	シュードモナス・フルオレッセンス水和剤 ^{b)}	
ii	花蕾形成期防除区 (塩基性硫酸銅水和剤 + 生物農薬)	—	—	—	—	塩基性硫酸銅水和剤	シュードモナス・フルオレッセンス水和剤	
iii	花蕾形成期防除区 (塩基性硫酸銅水和剤)	—	—	—	—	塩基性硫酸銅水和剤	塩基性硫酸銅水和剤	
iv	外葉形成期防除区	塩基性硫酸銅水和剤	塩基性硫酸銅水和剤	塩基性硫酸銅水和剤	塩基性硫酸銅水和剤	—	—	
v	無処理	—	—	—	—	—	—	

最終調査

a) 塩基性硫酸銅水和剤は 500 倍液を散布した。

b) シュードモナス・フルオレッセンス水和剤は 1,000 倍液を散布した。

試験概要

試験場所：長野県野菜花き試験場内圃場（塩尻市） 定植：8月10日 品種：‘SK9-099’。

栽植密度：45 cm × 40 cm 面積：9.0 m²/区 45 株 3 反復。

薬剤散布：所定日に、背負式動力噴霧機で所定濃度の薬液を 10 a 当たり 250～300 l 散布した。

調査方法：10月11日に各30株について、外葉の黒斑細菌病の発病程度、花蕾腐敗病の発病を調査した。

表-5 ブロッコリー黒斑細菌病および花蕾腐敗病に対する体系防除の効果（2016年 初夏まき作型）

試験番号	試験区	調査株数	外葉の黒斑細菌病の発病程度			花蕾腐敗病の発病程度		薬害
			発病株率 (%) ^{a)}	発病度 ^{b), c)}	防除価 ^{d)}	発病株率 (%) ^{a)}	防除価 ^{e)}	
i	全期間防除区	90	4.4 a	1.5 a	96.2	12.2 a	80.4	なし
ii	花蕾形成期防除区 (塩基性硫酸銅水和剤 + 生物農薬)	90	71.1 c	33.3 c	15.3	66.7 c	0	なし
iii	花蕾形成期防除区 (塩基性硫酸銅水和剤)	90	72.2 c	31.9 c	18.8	72.2 c	0	あり ^{f)}
iv	外葉形成期防除区	90	22.2 b	7.8 b	80.2	33.3 b	46.5	なし
v	無処理	90	85.6 c	39.3 c		62.2 c		なし

a) 同一英文字を付した数値間には、Ryan の多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

b) 指数 0：発病なし、1：外葉の 1/3 以下が発病、2：外葉の 1/3～2/3 が発病、3：2/3 以上の外葉が発病。

c) 同一英文字を付した数値間には、Steel-Dwass の多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

d) 防除価は発病度から算出した。算出方法は表-3 と同じ。

e) 防除価は発病株率から算出した。算出方法は表-1 と同じ。

f) 花蕾（収穫物）に薬害症状が認められ、実用上問題があった。

III 生物農薬を用いたキャベツ黒斑細菌病の防除

1 キャベツ黒斑細菌病について

アブラナ科野菜の黒斑細菌病は、ハクサイ、キャベツ等のアブラナ科野菜全般で発生する (TAKAHASHI et al., 2013)。また、これらは作物の生育ステージに関係なく発病することから、長野県では大きな被害を引き起こす病害となっている。キャベツ黒斑細菌病は、葉に初め水浸状の病斑ができ、後に大型のハローを伴う黒褐色の病斑 (図-2) となる。病気が進行すると葉に穴が開き、葉身部が腐敗し、最終的には葉の大部分が腐敗して、枯死

に至る。キャベツのなかでもボール型キャベツ (グリーンボール) で特に被害が大きくなりやすい。

2 キャベツ黒斑細菌病に対する生物農薬の防除効果

キャベツ黒斑細菌病は、罹病した葉が伝染源となり、降雨により周囲の株に二次伝染し、圃場全体にまん延していく。特に定植後から結球始期までの1か月程度が重点防除期になる (石山ら, 2014 b)。黒斑細菌病に対して、治療効果のある薬剤は見当たらないことから、予防散布が基本となっている。キャベツ (グリーンボール) 黒斑細菌病に対する各種薬剤の防除効果について、感受性の異なる2品種を作付けして調査した。



図-2 キャベツ黒斑細菌病の病徴

表-6 キャベツ黒斑細菌病に対する各種薬剤の防除効果 (2012年 春まき作型)

供試薬剤	希釈倍率	感受性が低い品種‘爽月’					感受性が高い品種‘ブラディボール’				
		調査株数	発病株率 (%) ^{a)}	発病度 ^{b),c)}	防除価 ^{d)}	薬害	調査株数	発病株率 (%) ^{a)}	発病度 ^{b),c)}	防除価 ^{d)}	薬害
塩基性硫酸銅水和剤	500 倍	96	1.7 a	0.6 a	94.1	あり ^{e)}	96	26.7 a	10.6 a	86.4	あり ^{e)}
オキシテトラサイクリン・ストレプトマイシン水和剤	2,000 倍	96	1.7 a	0.6 a	94.1	なし	96	83.3 c	41.7 b	46.4	なし
オキシロニック酸水和剤	1,000 倍	96	5.0 a	1.7 a	82.4	なし	96	64.1 b	46.7 b	39.9	なし
シュードモナス・ロデシア水和剤	1,000 倍	96	10.0 a	3.3 ab	64.7	なし	96	100 c	74.4 c	4.3	なし
無処理		96	28.3 b	9.4 b			96	100 c	77.8 c		

a) 同一英文字を付した数値間には、Ryan の多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

b) 各株を発病指数別に調査し、以下の式に基づき算出した。

発病度 = $\Sigma (\text{程度別発病株数} \times \text{指数}) \times 100 / (\text{調査株数} \times 3)$ 。

指数 0: 発病なし, 1: 外葉の1/3以下が発病, 2: 外葉の1/3~2/3が発病, 3: 2/3以上の外葉または結球葉が発病。

c) 同一英文字を付した数値間には、Steel-Dwass の多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

d) 防除価は発病度から算出した。算出方法は表-3と同じ。

e) 外葉の一部に薬害症状が認められたが、結球葉 (収穫物) にはみられなかった。

試験概要

試験場所: 長野県野菜花き試験場内圃場 (塩尻市) 定植: 5月30日 品種: ‘爽月’ ‘ブラディボール’。

栽植密度: 45 cm × 40 cm 面積: 7.2 m²/区 40株 3反復。

薬剤散布: 6月19日 (外葉形成期), 26日 (外葉形成期), 7月3日 (外葉形成期), 10日 (結球始期) の4回, 背負動噴で所定濃度の薬液を10a当たり200 l散布した。

調査方法: 7月20日に各20株について、黒斑細菌病の発病程度を調査した。

その結果、感受性が低い品種‘爽月’の場合は、いずれの薬剤を散布した試験区でも防除効果が認められたが、感受性の高い品種‘プラディボール’の場合は、塩基性硫酸銅水和剤（商品名：Z ボルドー）のみ高い防除効果が認められた（表-6）。本試験では、塩基性硫酸銅水和剤でのみ外葉の一部に薬害症状が認められた。塩基性硫酸銅水和剤などの銅剤は、防除効果は高いが作物の生育ステージによっては葉に薬害が発生するリスクがあり、結球始期以降の散布が難しくなる。一方、オキシリニック酸水和剤（商品名：スターナ水和剤）およびシュードモナス・ロデシア水和剤は薬害のリスクは低い、感受性の高い品種を栽培している場合や本病の多発条件下では十分な防除効果を発揮できないこともある。したがって、これらを含む登録薬剤の特性を活用し、定植後から結球始期までの時期は、効果の高い薬剤で徹底的に防除し、それ以降は薬害の発生リスクの低い薬剤を用いる防除体系が有効と考えられる。

3 キャベツ黒斑細菌病に対して生物農薬を取り入れた薬剤防除体系

キャベツ黒斑細菌病に対する防除体系において、生物農薬を有効活用するため、前記のブロッコリーと同様に、外葉形成期に塩基性硫酸銅水和剤、結球始期以降にシュードモナス・ロデシア水和剤を散布した区（試験区 A）、栽培期間全般を通じてシュードモナス・ロデシア水和剤を散布した区（試験区 B）、外葉形成期のみ塩基

性硫酸銅水和剤を散布した区（試験区 C）、対照として化学合成農薬のみを散布した薬剤体系区（試験区 D）を設置し、防除効果を検証した（表-7）。

その結果、栽培期間全般を通じて、塩基性硫酸銅水和剤とシュードモナス・ロデシア水和剤を組合せた区（試験区 A）は、シュードモナス・ロデシア水和剤のみを散布した区（試験区 B）や塩基性硫酸銅水和剤のみ散布した区（試験区 C）と比較して高い効果を示し、化学合成農薬のみによる薬剤体系区（試験区 D）とほぼ同等の防除効果が認められた（図-3、表-8）。したがって、キャベツ黒斑細菌病においても、ブロッコリーの場合と同様に、外葉形成期は防除効果の高い無機銅剤を散布し、薬害が問題となってくる結球始期以降は生物農薬を散布する防除体系が有効であることが明らかとなった。

IV 大規模露地野菜の細菌性病害に対する総合的な防除対策

本稿では、無機銅剤と生物農薬を組合せた防除体系を中心に紹介したが、細菌性病害に対しては抵抗性品種の利用や圃場衛生の改善など複数の防除対策を総合的に対処することも必要である。これまで黒斑細菌病に対しては、現地における本病の発生生態を明らかにし、『簡易診断法による発病した苗および株の早期発見・除去（石山ら、2014 a）』、『黒斑細菌病に感受性の低い品種の作付け（石山ら、2013）』、『作物の生育ステージに応じた

表-7 キャベツ黒斑細菌病に対する体系防除試験（2016 年 春まき作型）

試験番号	試験区	6月10日 (外葉形成期)	6月15日 (外葉形成期)	6月22日 (外葉形成期)	7月1日 (結球始期)	7月7日 (結球期)	7月14日 (収穫期)
A	シュードモナス・ロデシア水和剤体系防除区	塩基性硫酸銅水和剤 ^{a)}	塩基性硫酸銅水和剤	塩基性硫酸銅水和剤	シュードモナス・ロデシア水和剤 ^{b)}	シュードモナス・ロデシア水和剤	最終調査
B	シュードモナス・ロデシア水和剤区（栽培期間中）	シュードモナス・ロデシア水和剤	シュードモナス・ロデシア水和剤	シュードモナス・ロデシア水和剤	シュードモナス・ロデシア水和剤	シュードモナス・ロデシア水和剤	
C	塩基性硫酸銅水和剤区（外葉形成期）	塩基性硫酸銅水和剤	塩基性硫酸銅水和剤	塩基性硫酸銅水和剤	—	—	
D	化学農薬体系防除区	塩基性硫酸銅水和剤	塩基性硫酸銅水和剤	塩基性硫酸銅水和剤	オキシリニック酸水和剤 ^{c)}	オキシリニック酸水和剤	
E	無処理	—	—	—	—	—	

a) 塩基性硫酸銅水和剤は 500 倍液を散布した。

b) シュードモナス・ロデシア水和剤は 1,000 倍液を散布した。

c) オキシリニック酸水和剤は 1,000 倍液を散布した。

試験概要

試験場所：長野県川上村現地圃場 定植：5月31日 品種：‘爽月’。

栽植密度：45 cm × 40 cm 面積：8.6 m²/区 48 株 3 反復。

薬剤散布：所定日に、背負式動力噴霧機で所定濃度の薬液を 10 a 当たり 250～300 l 散布した。

調査方法：7月14日に各 36 株について、黒斑細菌病の発病程度を調査した。

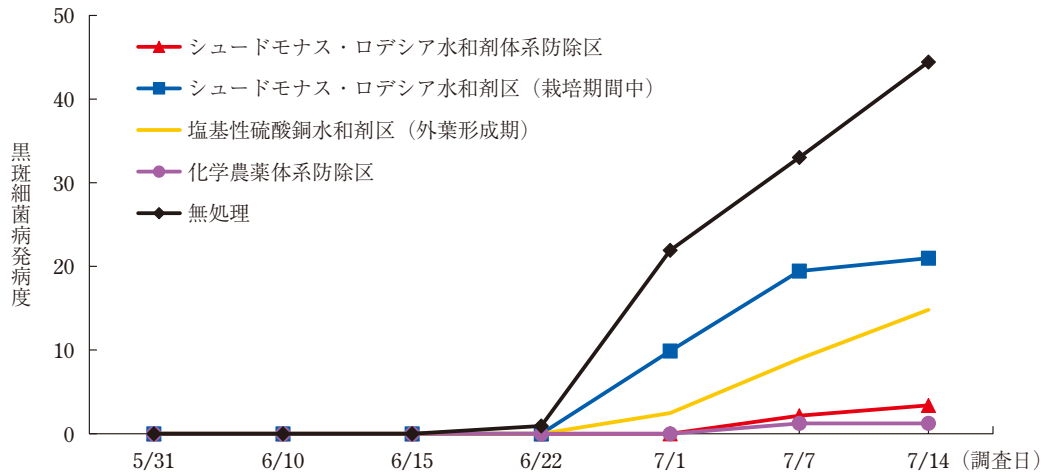


図-3 キャベツ黒斑細菌病に対する各試験区の発病推移 (2016 年)

表-8 キャベツ黒斑細菌病に対する体系防除の効果 (2016 年 春まき作型)

試験 番号	試験区	調査 株数	発病指数				発病株率 (%) ^{a)}	発病度 ^{b),c)}	防除価 ^{d)}	薬害
			0	1	2	3				
A	シュードモナス・ロデシア水和剤 体系防除区	108	99	7	2	0	8.3 a	3.4 a	92.3	なし
B	シュードモナス・ロデシア水和剤区 (栽培期間中)	108	56	41	6	5	48.1 c	21.0 b	52.7	なし
C	塩基性硫酸銅水和剤区 (外葉形成期)	108	72	25	10	1	33.3 b	14.8 b	66.7	なし
D	化学農薬体系防除区	108	104	4	0	0	3.7 a	1.2 a	97.3	なし
E	無処理	108	24	37	34	13	77.8 d	44.4 c		

a) 同一英文字を付した数値間には、Ryan の多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

b) 指数 0：発病なし，1：外葉の 1/3 以下が発病，2：外葉の 1/3～2/3 が発病，3：2/3 以上の外葉または結球葉が発病。

c) 同一英文字を付した数値間には、Steel-Dwass の多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

d) 防除価は発病度から算出した。算出方法は表-6 と同じ。

調査は収穫期の 7 月 14 日に実施した。

薬剤防除』を組合せた総合的な防除技術を確立し（石山ら，2016 b），防除のポイントをまとめたものを黒斑細菌病防除指針（Ver.2）として公表している（<https://www.agries-nagano.jp/wp/wp-content/uploads/2023/03/manualv2-.pdf>）。

おわりに

本稿では、大規模露地野菜に発生する細菌性病害に対し、既存の無機銅剤と生物農薬の組合せによる体系防除について紹介した。細菌性病害は気象要因（特に降雨と気温）の影響を受けることが多く、発病好適条件がそろえば病原菌が急速に増殖し、病勢が進展して壊滅的な被害を受けることもある。今後は、花蕾腐敗病や黒斑細菌病での取組みのように化学合成農薬および生物農薬を組合せた薬剤体系に加え、病害の発生予測に基づいた適期防除、耕種的防除等を組合せた総合的な対策をとること

で、より安定的な生産が可能となり、さらに環境に優しい農業にもつながると考えられる。今後、生物農薬の重要性は増してくると考えられることから、生産現場のニーズも見極めながら技術開発に努めていく予定である。

引用文献

- 1) 石山佳幸ら (2013): 日植病報 **79**: 60～61 (講要)。
- 2) ————ら (2014 a): 同上 **80**: 38 (講要)。
- 3) ————ら (2014 b): 同上 **80**: 285 (講要)。
- 4) ————ら (2016 a): 関東東山病虫研報 **63**: 131 (講要)。
- 5) ————ら (2016 b): 植物細菌病談話会論文集 **27**: 98～106。
- 6) ————ら (2017): 日植病報 **83**: 236 (講要)。
- 7) ———— (2018): 第 2 回日本生物防除協議会シンポジウム講演要旨 21～29, http://www.biocontrol.jp/_src/sc2318/2018_jbca_symposium_vol.02_dl.pdf
- 8) ————ら (2018): 日植病報 **84**: 225 (講要)。
- 9) 小木曾秀紀 (2008): 植物防疫 **62**: 281～285。
- 10) ———— (2012): バイオコントロール研究会レポート **16**: 23～28, http://www.biocontrol.jp/_src/sc1176/vol2016-1.pdf
- 11) TAKAHASHI, F. et al. (2013): J. Gen. Plant Pathol. **79**: 260～269。

時 事 解 説

世界の生物農薬ビジネスの動向について

アリス タ ライフサイエンス株式会社 たなか えいじ 田 中 栄 嗣

はじめに

世界の農業が大きく変わろうとしている。米国は、2020年2月に「農業イノベーションアジェンダ (Agriculture Innovation Agenda)」を発表し、目標として2050年までに農業生産量の40%増加と、エコロジカル・フットプリント50%削減を同時に達成することを掲げている。また、欧州連合 (EU) は、2020年5月に「Farm to Fork (農場から食卓まで) 戦略」を発表し、目標として2030年までに化学農薬の使用量とリスクを50%削減および全農地の少なくとも25%を有機農業とするための開発促進が掲げられている。

日本においても、2021年5月に農林水産省が「みどりの食料システム戦略」を策定し、目標として低リスク農業への転換、総合的病害虫・雑草管理体系の確立・普及に加え、ネオニコチノイド系を含む従来の殺虫剤に代わる新規農薬などの開発により化学農薬の使用量 (リスク換算) を50%低減、耕作面積に占める有機農業の取組面積の割合25% (100 ha) を掲げている。これらミッションを成し遂げることは容易ではなく、投資に見合う価値の創出と様々な技術革新が必要とされており、その中でも重要になるものが生物農薬を利用した総合的病害虫・雑草管理技術の確立と考える。

アリス タ ライフサイエンス株式会社 (以下、アリス タ と称する) は、旧トーマン (現豊田通商) の時代1992年にオランダ・ロッテルダムに本社を置くコパート社 (天敵・マルハナバチでは世界トップのシェアを誇る昆虫・微生物製造の専門企業) と提携を開始し、日本国内において生物農薬ビジネスに着手した。1995年3月にスパイデックス (チリカブリダニ剤)、エンストリップ (オンシツツヤコバチ剤) が天敵殺虫剤として登録されて以降、現在、天敵殺虫剤 (13製品)、微生物殺虫殺菌剤 (1製品)、微生物殺虫剤 (4製品)、微生物殺菌剤

(1製品)、物理的害虫捕獲資材 (黄色・青色粘着板)、受粉資材 (マルハナバチ3製品) のポートフォリオを管理し、生物農薬事業の拡大に向け、事業を継続している。

本文は、世界の生物農薬ビジネスの動向および、生物農薬ビジネスのさらなる発展および今後農業が大きく変化するうえで生物農薬ビジネスが貢献していくための必要な技術革新について、アリス タ ライフサイエンスの30年以上の生物農薬ビジネス経験を踏まえ、情報をまとめたものである。

I 生物農薬ビジネスの動向

生物農薬市場規模をさがしてみると様々な数字が報告されている。特に近年バイオスティミュラントに位置づけられる製品が上市され、生物資材ビジネスの規模や幅が大きくなる一方で、統一性のある数字を把握することが難しくなっている状況である。

図-1は、生物資材をカテゴリー別に整理した図である。植物生育管理で用いる資材と農薬に位置づけられる病害虫・雑草管理で用いられる資材の大きな二つのカテゴリーに分けられる。今回の生物農薬ビジネスの動向は、図-1の右側「病害虫・雑草管理」に分類される「バイオ農薬」および「天敵農薬」に焦点を当てた構成である。本文では、「バイオ農薬」および「天敵農薬」を農薬取締法にしたがい「生物農薬」と総称で呼ぶことにした。なお、日本では、天然由来成分の農薬を生物資材と呼ぶかは議論がわかれるが、海外では生物資材として位置付けており、海外のビジネスを見ていくうえで、このカテゴリーに含めた。

生物農薬市場は、近年15年間にわたり主要国で着実に成長しており、特に直近5年間の成長は著しい。主要国の多くでは、各国において生物農薬事業に取り組んでいる企業によって協議会が発足されている (図-2)。なお、世界の生物農薬市場の80%は、9か国で構成されており、今回報告する定量的な分析は、以下の主要国の協議会情報を参考にしたものである。

Global Biocontrol Market Trend. By Eiji TANAKA

(キーワード: 生物農薬, 天敵農薬, 天敵殺虫剤, 微生物農薬, 微生物殺虫剤, 微生物殺菌剤, 天敵昆虫, 総合的病害虫・雑草管理, IPM)

生物資材									
植物生育管理				病害虫・雑草管理					
バイオ肥料		バイオスティミュラント		バイオ農薬				天敵農薬	
肥料吸収促進剤		植物活性剤		天然由来成分		微生物農薬			
窒素固定	難溶性カリ可溶化	アミノ酸	有機酸	植物抽出	有機酸	細菌	菌類	昆虫	ダニ
リン酸可溶化	その他	微生物	植物・海藻抽出物	体外分泌情報伝達化学物質 (Semiiochemicals)		原生動物	ウイルス	線虫	
						酵母	その他		

図-1 農業で用いられる生物資材
出典：DunhamTrimmer®s' Global Biocontrol Report.

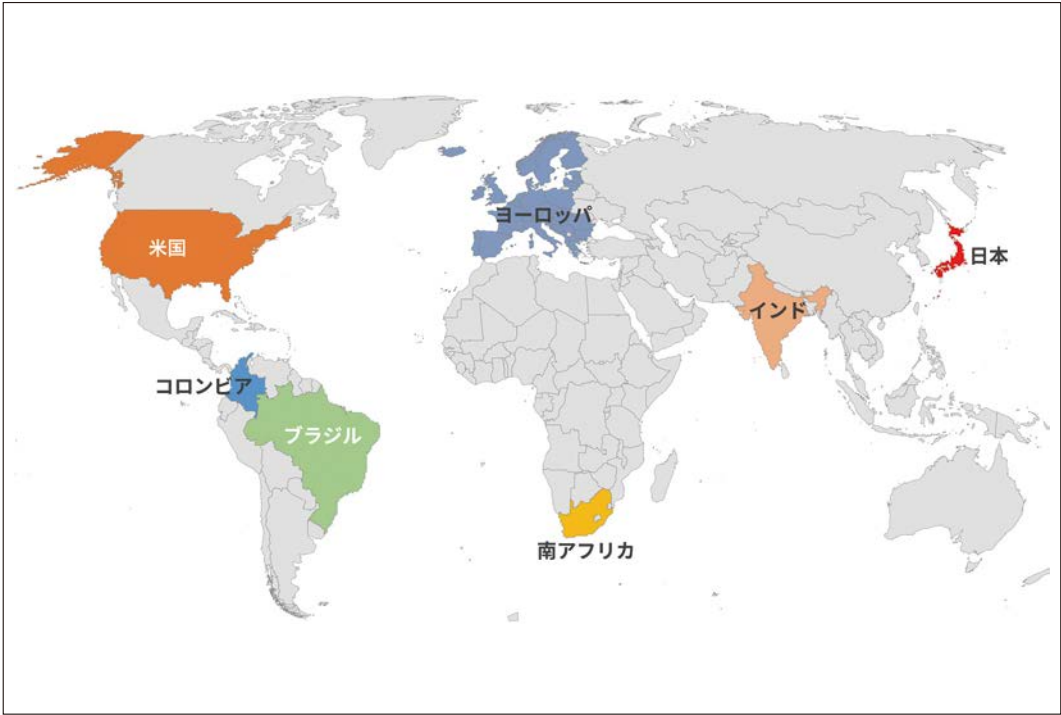


図-2 各国で生物農薬事業に取り組んでいる協議会
出典：DunhamTrimmer®s' Global Biocontrol Report.

〈主要国〉

米国、カナダ、ブラジル連邦共和国、メキシコ合衆国、アルゼンチン共和国、フランス共和国、スペイン王国、イタリア共和国、ドイツ連邦共和国、オランダ王国、中華人民共和国、インド、日本国、オーストリア共和国、南アフリカ共和国

米国

- Biological Products Industry Alliance (BPIA)
- Association of Natural Biocontrol (ANBP)

コロンビア

- Colombia Association of Biological Control Companies (AsoBioCol)

ブラジル

- Brazilian Association of Biological Control Companies (ABCBio)

ヨーロッパ

- International Biocontrol Manufacturers Association (IBMA)

南アフリカ

- South Africa Bioproduct Organization (SABO)

インド

- Pesticides Manufacturers and Formulators Association of India (PMFAI)

日本国

- 日本生物防除部会 (JBCA)

国際連盟

- BioProtection Global (BPG)

図-3 は、生物農薬市場規模を製品カテゴリー別に

2015 年からの推移、2025 年までの予測を表したものである。市場成長率は、16.5% (CAGR (Compound Annual Growth Rate/年平均成長率) 2015-2025) と予測され、さらなる成長が期待されている。

その中でも微生物農薬市場への期待は高く、成長率は 17.3% (CAGR 2015-2025) と予測されている。冒頭に述べた通り、米国や EU が主導し、世界的に減農薬に向けた施策が立案される中、*Bacillus thuringiensis* を有効成分とする殺虫剤や *Bacillus* spp. を有効成分とする微生物殺菌剤が市場を牽引し、成長が期待されている。天敵農薬市場は、カブリダニを含む捕食性昆虫などを有効成分とした製品がカテゴリー内で最も割合が大きく、昆虫病原性線虫市場が大きく成長している。なお、天敵農薬メーカーの多くは、受粉昆虫資材マルハナバチの生産、供給を行っており、天敵農薬の市場の中に含まれていることもある。

図-4 は、生物農薬市場規模を地域別に 2015 年からの推移、2025 年までの予測を表したものである。データの対象となったすべての地域において成長率は 16% (CAGR 2015-2025) を越えており、ラテンアメリカでは 17.9% と高い成長が予測されている。その中でもブラジルは、生物農薬制度の規制緩和や農場内での微生物増殖が推進されており、果樹類や野菜類以外の畑作でも生物農薬の利用機会が増えることが期待されている。アジア太平洋地域は、各国で生物農薬登録制度が大きく異なり、最も生物農薬市場へのアプローチが多様化していると言える。

図-5 は、生物農薬市場規模を使用手法別に 2015 年からの推移、2025 年までの予測を表したものである。市場の約 50% は茎葉処理剤、約 35% は土壌処理剤が占め

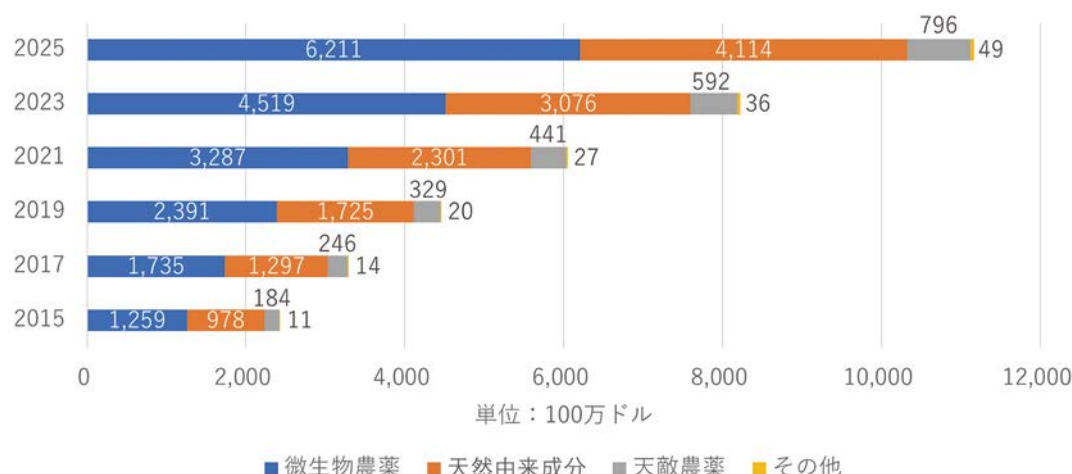


図-3 生物農薬カテゴリー別市場推移・予測

出典：DunhamTrimmer's' Global Biocontrol Report.

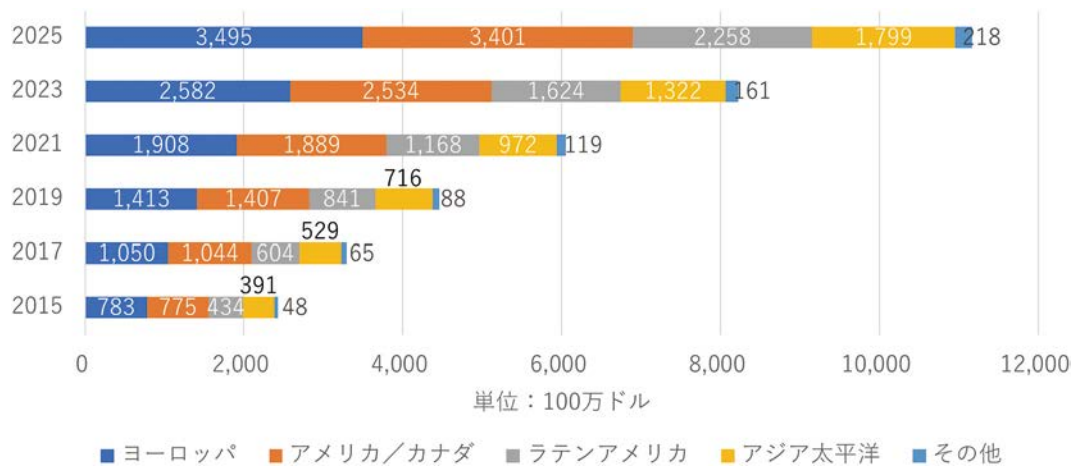


図-4 生物農薬地域別市場推移・予測

出典：DunhamTrimmer®s' Global Biocontrol Report.

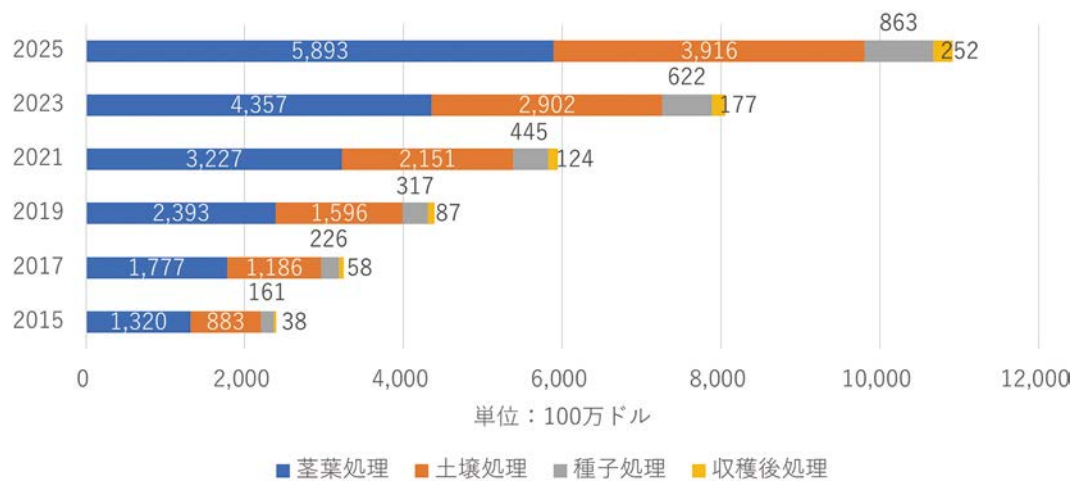


図-5 生物農薬処理方法別市場推移・予測

出典：DunhamTrimmer®s' Global Biocontrol Report.

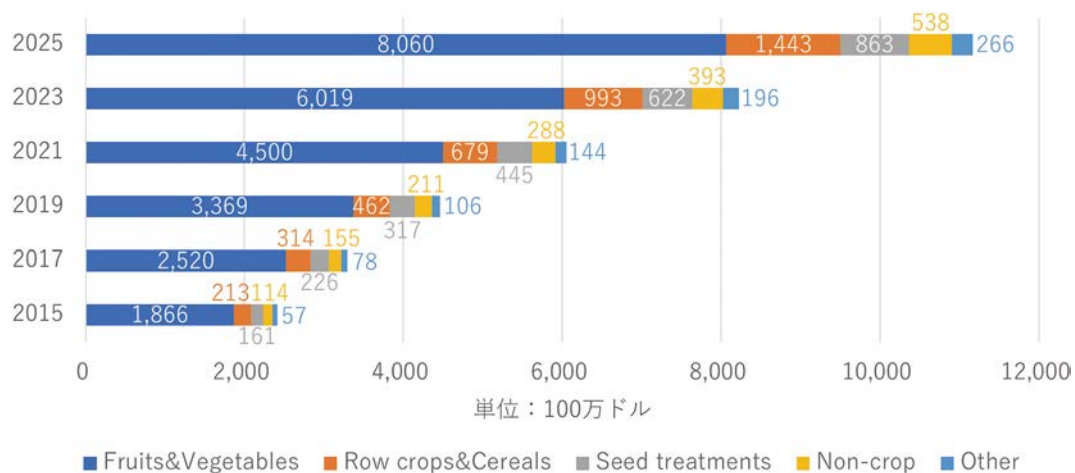


図-6 作物別市場推移・予測

出典：DunhamTrimmer®s' Global Biocontrol Report.

ている。種子処理市場は10%以下ではあるが、成長率は18.3%（CAGR 2015-2025）と高く、大きな成長が期待されている。種子処理剤市場をエリア別でみると米国/カナダが最大の市場であるが、近年ラテンアメリカにおいて、畑作を含め生物農薬の普及が進んでおり、種子処理剤市場での成長率が20%（CAGR 2015-2025）を越えると予測されている。

図-6は、生物農薬市場規模を作物別に2015年からの推移、2025年までの予測を表したものである。市場の約76%は、果樹および野菜類が占有している。一方、畝作物（Row crops）および穀物類および種子処理剤市場の成長は、果樹および野菜類より早く、2025年の畝作物（Row crops）および穀物類および種子処理剤合計の占有率は、市場全体の20%程度になる見込みである。なお、非作物には、衛生害虫、森林、工業での使用を目的とした剤、その他は、大麻、コーヒー、タバコでの使用を目的とした剤が含まれる。

II 生物農薬ビジネスのさらなる発展に必要な技術革新

ここでは、アリストが1992年から継続している天敵農薬事業のさらなる発展に必要な技術について、ふれてみたい。世界における天敵農薬市場の成長率は、15.8%（CAGR 2015-2025）と予測されている。市場占有率は、市場全体の10%以下ではあるものの、生物農薬市場が拡大していく中で、必要不可欠な事業であると考えられる。世界の天敵農薬事業を牽引しているのが、オランダに本社を置くコパート社、ベルギーに本社を置くバイオベスト社である。両社共に天敵農薬、マルハナバチ、微生物などの生物を製造・販売する企業であり、2021年度の売上高は、コパート社3.2億ドル、バイオベスト社0.8億ドルと推測される。冒頭にも述べた通り、アリストは、1992年よりコパート社と提携を開始し、日本国内において総代理店として、天敵・微生物農薬およびマルハナバチの輸入販売を行っている。

2021年1月7日に革新的なチリカブリダニの生産技術（増殖技術）がイスラエルのバイオビー社から報告された（HortiDaily.com 2021）。同社は、40年以上にわたりチリカブリダニの大量増殖を行っている天敵およびマルハナバチの生産企業である。従来のチリカブリダニ生産は、商業供給を考えると不安定であり、安定生産、安定供給が課題であった。そのため、長年に亘りチリカブリダニの安定生産技術開発は、世界の天敵生産企業や研究者の間で試みられていたが、革新的な開発には至らなかった。そんな中、バイオビー社の研究開発部門は、10

年を費やし画期的かつより生産性や供給安定性の高い生産技術の開発に成功し、2020年半ばからバイオビー社は、商業規模の生産を開始した。バイオビー社の最高経営責任者であるRan Gan-El氏は、「この新しい生産技術は、画期的なイノベーションである」と説明し、「バイオビー社の新しい生産技術は、生物農薬業界全体のゲームチェンジャーになる」と付け加えた。

新しい技術で生産されたチリカブリダニ剤は、従来のチリカブリダニ剤と比べ、多くの特長を持っている。

- 有効成分である捕食性天敵チリカブリダニの卵を除く全生育ステージ（幼虫、若虫、成虫）が封入されている天敵殺虫剤である。
- その他有効成分としてチリカブリダニの“餌”が入っており、餌が入っていない従来剤に比べ、輸送中キャップ付近にチリカブリダニが密集することがなく、チリカブリダニへのストレスやお互いへの接触を最小限に抑えられるため、より安定した品質で届けることが可能になった。
- 輸送中、有効成分であるチリカブリダニは容器内に入っている“餌”を捕食しているため、高い活性状態で納品される。放飼後間もなく産卵を開始し、定着性や増殖性に優れ、ハダニを効率的に抑制する。
- 代用餌で増殖された本剤の有効成分であるチリカブリダニの体色は“乳白色”である。納品時には、多くのチリカブリダニの体色は“乳白色”で、圃場に放飼されハダニを捕食すると体色が“オレンジ色または赤色”に変化する。体色の変化によって定着と捕食状況を確認することが可能である（図-7）。

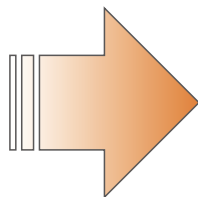
コパート社は、バイオビー社と提携しており、同技術を使用し製品化した「SPIDEX VITAL」を上市した。アリストは、この革新的な技術で生産される白いチリカブリダニが日本の生物農薬業界においてもゲームチェンジャーなり、多くの生産現場において効果的、安定的、持続的な防除体系の構築に貢献できる生物農薬になると考えている。日本国内においても2023年1月11日に登録が完了し、同製品名「スパイデックス®バイタル」として、2023年9月4日から出荷が開始された。

おわりに

世界の生物農薬市場の成長率は、16.5%（CAGR 2015-2025）と予測され、さらなる成長が期待されている一方、日本の生物農薬市場を見ると、ここ数年ほぼ横這いとなっている。その理由としては、微生物農薬市場の低迷が挙げられる。BT剤はほぼ横這い、微生物殺菌剤市場に関しては、いくつかの剤が製造中止されたこともあり、



体色：乳白色（納品時）



体色：オレンジ色または赤色（ハダニ捕食後）

図-7 ハダニ捕食によるチリカブリダニの体色変化
出典：Koppert B.V.

縮小している状況である。「みどりの食料システム戦略」の目標として掲げられている「2050年までに化学農薬使用量（リスク換算）の50%低減を目指す」を達成するために必要な技術として、「新規生物農薬」の技術開発が含まれており、微生物殺虫剤/殺菌剤やバクテリオファージを用いた殺菌剤、生物農薬をより安定・効果的に利用するための総合的病害虫・雑草管理技術、補助資材の開発が重要になると考えられる。また、冒頭にも述べた通り、これら投資に見合う農産物の価値および市場の創出が必要である。日本や米国およびヨーロッパなどの農業先進国は、同じ方向を向いて進んでいる今、化学農薬のみに依存しない総合的な病害虫管理体系が基幹体系になることに強く期待し、UPLグループ^{*1}を含めアリストは、生物農薬事業が農業ビジネスにおいて大きく貢献できるよう、製品・技術開発と普及に引き続き注力する。

^{*1}：アリスタライフサイエンス株式会社は、インドに本社を持つ農薬メーカーである UPL グループの一員です。

引用文献

- 1) Bizzy : <https://bizzy.org/en/be/0893948337/biobest-group/financials>
- 2) Companyweb : <https://www.companyweb.be/en/0893948337/biobest-group>
- 3) DunhamTrimmer®s' Global Biocontrol Report 2019
- 4) HortiDaily.com 2021 : <https://www.hortidaily.com/article/9281782/new-rearing-method-allows-for-better-production-predatory-mite/>
- 5) Koppert B.V., Spidex Vital : <https://www.koppert.com/spidex-vital/>
- 6) https://rocketreach.co/koppert-biological-systems-profile_b5c78bb4f42e0d7f
- 7) 食品安全委員会 : <https://www.fsc.go.jp/fsciis/foodSafetyMaterial/show/syu01380080333>

農林水産省プレスリリース (2023.9.1～2023.9.30)

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。

<https://www.maff.go.jp> の後にそれぞれ該当のアドレスを追加してご覧下さい。

◆みどりの食料システム法に基づく基盤確立事業実施計画の認定について (23/9/8) <https://www.maff.go.jp/j/press/kanbo/bio/230908.html>

◆「令和5年度病害虫発生予報第7号」の発表について (23/9/13) <https://www.maff.go.jp/j/press/syoutan/syokubo/230913.html>

植物
防疫
講座

虫害編（物理的・耕種的防除編）-2

水稻を加害するスクミリングガイの物理的・耕種的防除

福岡県農林業総合試験場 病害虫部 清 水 信 孝

はじめに

スクミリングガイ *Pomacea canaliculata*（通称ジャンボタニシ）（図-1）は南米原産の淡水巻貝の一種で、1980 年ごろに食用目的として養殖業者により日本へ持ち込まれたものが野生化して、国内の水田や用排水路、池、クリーク等で生息するようになった。このうち水田では生育初期のイネの茎葉をおう盛に食害し、欠株や著しい生育不良を引き起こす（図-2）。当初は九州など温暖な地域の水田で本種による水稻の被害が大きな問題となっていたが、近年では関西や東海、関東などでも本種の被害が拡大している。

本種は日本や世界の侵略的外来種ワースト 100 に指定されており、繁殖力が極めて強いことから、被害防止対策は化学農薬だけでなく総合的な対策を講じる必要がある。そこで本稿では、水稻のスクミリングガイに対する化学的防除以外の方法、すなわち物理的防除、耕種的防除について解説する。

I 水路からの侵入防止対策

スクミリングガイは水路を伝って拡散、定着し、これらの一部が隣接する水田内に取水時や多雨による浸冠水によって侵入する。水路は本種の主要な侵入経路となることから、本種の発生が見られる水路から直接取水するような水田では、取水口に網等を設置して本種が水田内に侵入するのを防止する（図-3）。この際、網の目合いが細かすぎると目詰まりしやすく、逆に粗すぎると十分な侵入防止効果が期待できないので、目合いの選定には注意が必要である。山中ら（1989）が行った試験によると、イネ苗に激しい被害を引き起こすスクミリングガイの大きさは殻高 2 cm 以上と考えられる（表-1）ことから、当年の被害回避を目的として網を設置する場合は目

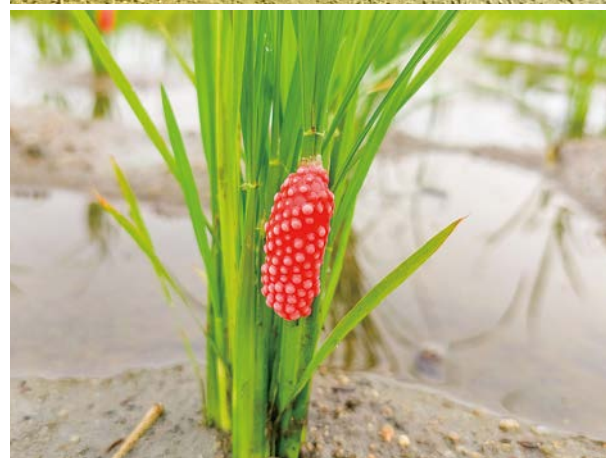


図-1 スクミリングガイ（上：成貝，中：卵塊，下：取水口付近に多数集まっている様子）

Physical and Cultural Control for Apple Snails on Rice Plant.

By Nobutaka SHIMIZU

（キーワード：浅水管理，捕殺，ジャンボタニシ，侵入防止，冬季の耕うん）

表-1 貝の大きさとイネ苗食害状況^{a)} (山中ら (1989) を一部改変)

平均殻高	食害程度別株数 ^{b)}						食害度 ^{c)}
	0	1	2	3	4	計	
1.5 cm	4.4	3.2	1.5	0.9	0	10	19
2.1 cm	1.3	4.1	2.7	1.5	0.4	10	39
3.1 cm	0.6	0.9	1.5	3.5	3.5	10	71
4.0 cm	2.3	3.0	3.2	4.5	7.0	20	64
5.1 cm	1.1	2.2	2.9	6.0	7.8	20	72

^{a)} 7日間加害後の貝1頭当たり平均値。

^{b)} 食害程度 0: 食害なし, 1: 食害葉面積割合が1/3以下, 2: 食害葉面積割合が1/3~2/3, 3: 食害葉面積割合が2/3以上, 4: ほぼ完全に食害。

^{c)} 食害度 = $[\Sigma (\text{食害程度別株数} \times \text{指数}) / (4 \times \text{調査株数})] \times 100$ 。



図-2 スクミリングガイによる水稻の被害
手前側が食害により広く欠株となっている。



図-3 取水口への網の設置事例
奥側の水田内に貝が侵入しないよう取水口に網を取り付けている。

合いを10~15 mmにするのが適当と考えられる。なお、降雨等によって水路の水が直接侵入するような水田では当然ながら網の設置効果は期待できないため、畦を高くするといった事前の対応策が必要となる。

II 貝、卵塊の捕殺

貝や卵塊の捕殺は最も確実な防除方法であるが、捕殺作業には多大な労力を要する。

スクミリングガイが侵入した直後の水田では、発生を認めたら直ちに捕殺して本種が水田内に定着しないように努める。一方、スクミリングガイが既に定着してしまった水田では本種を水田から完全に除去するのは現実的に困難であることから、当年の被害軽減を図ることを目的として、本種が活動を始める入水時からイネの生育初期までの間に殻高2 cm以上の大きな貝を中心に捕殺する。

スクミリングガイはイネ苗よりもナス果やレタス等の野菜に対して高い選好性を示す(福島ら, 1998)。このことから、これら野菜を切って水田内に投入すると本種が野菜に群がるので、貝の捕獲を比較的楽に行うことが

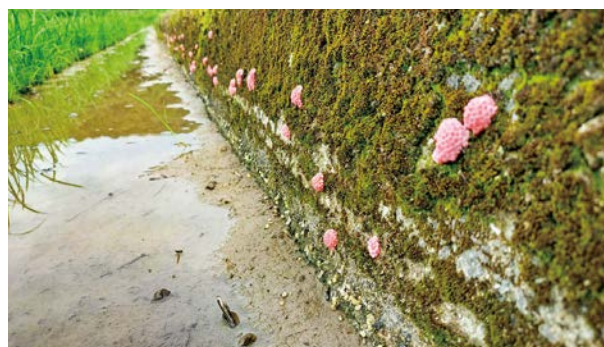


図-4 壁面に産み付けられた卵塊

できる。また、吉田ら(2021)はコイの餌と米ぬか、米麴を重量比1:1:1の割合で混合した餌がスクミリングガイを多く誘引したことを報告しており、この混合餌を野菜の代替として利用してもよい。

卵塊の捕殺は当年の被害回避には直接影響しないが、次年度以降の密度抑制効果が期待される。本種の卵塊は水面上にある植物や人工物など、ふ化した稚貝が水中に落下しやすい場所に産み付けられる(図-4)。産卵してから日数の経過していない濃いピンク色の卵塊は水中

に落とすことでふ化できなくなるが、日数が経過して白っぽくなった卵塊はふ化できるため潰して捕殺したほうが確実である。

Ⅲ 浅水管理

浅水管理は最も効果の高い耕種的防除法として広く実施されている。

スクミリンゴガイは水田内の水深が深いほど活発に活動してイネ苗を激しく加害するが、水深4 cm以下では本種の被害が大きく減少する(小澤ら, 1988)。また、本種の加害によって補植や植え替えが必要となるような激しい被害は移植後間もないイネ苗で見られ、ある程度生育の進んだイネ苗では欠株が生じるような被害はほとんど見られない。山中ら(1989)が行った試験では、5葉期以上のイネ苗になると完全に食害されるものが急激に減少し、6葉期以降のイネ苗では欠株するような食害は認められなかった(表-2)。このことから、6葉期に達する時期(福岡県の移植栽培では移植後約3週間)までの被害防止対策が非常に重要となる。そこで、6葉期に達する時期(移植後約3週間)まではごく浅い水深(4 cm以下、理想は1 cm程度)の浅水で水田を管理(図-5)して本種の活動を抑制し、被害軽減を図る。この際、田面に凸凹があると水深が深い部分ではスクミリンゴガイの食害を受け、田面が水面から露出した部分では除草剤や



図-5 浅水管理

育苗箱施用剤の効果低下や薬害が生じる恐れがある。このため、田面の均平化を図ることが重要なポイントとなる。清水ら(2022)は、機械作業時における機械の操作法や癖が田面の高低差を生み出している可能性を指摘しており、収穫作業も含めた管理作業を見直すことが田面の均平度を保つために有効であると考えられる(図-6)。

Ⅳ 冬季の耕うん

スクミリンゴガイの多くは落水した土中の比較的浅い位置(6 cm以内)に潜入して越冬する(高橋ら, 2002)。本種は寒さに比較的弱いことから、厳寒期(1月中～下旬ごろ)に水田内をトラクターで耕うんして、土中の越冬貝を寒気にさらすとともに貝を物理的に破碎して殺貝する。この際、耕うん深度を浅く、ロータリー回転数を上げて一度に細かく碎土したほうが効率的に殺貝することができる(高橋ら, 2002)。

Ⅴ その他の対策

前述のとおり、水路はスクミリンゴガイの主要な侵入経路となる。このことから、地域全体で広く取り組むこ

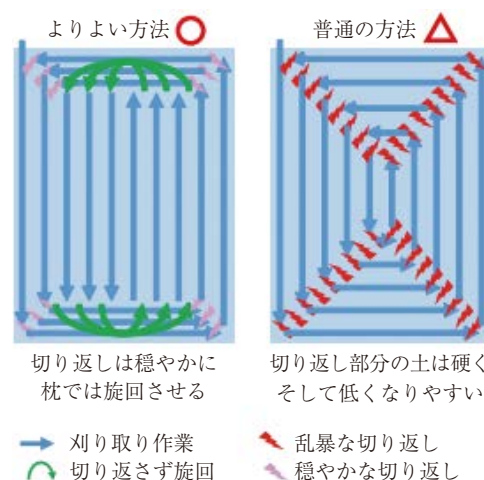


図-6 田面の均平化を図るためのコンバイン操作方法(千葉県(2021)原図)

表-2 イネ苗生育ステージと被害状況^{a)}(山中ら(1989)を一部改変)

葉齢	食害程度別株数 ^{b)}						食害度 ^{c)}
	0	1	2	3	4	計	
2.8 葉	0	0.4	1.0	2.7	25.9	30	95
3.4 葉	0	0.8	0	2.0	17.6	20	96
4.1 葉	0	3.1	1.6	1.7	3.6	10	65
5.2 葉	0.9	7.1	1.1	0.5	0.3	10	31
6.5 葉	0.4	9.2	0.2	0.2	0	10	26
7.6 葉	1.0	8.8	0.3	0	0	10	23

^{a)} 2.8葉区が2日間、3.4葉区が3日間、その他の葉齢区が7日間加害後の貝1頭当たり平均値。

^{b), c)} 表-1と同じ。

とが可能であれば冬季に水路の泥上げを行って土中の越冬虫を取り除き、地域の水路内における本種の生息密度を低減させる。

人為的な侵入経路として、トラクターなどの農業機械に付着した泥と一緒にスクミリンゴガイを水田内へ持ち込むことがあげられる。この対策として、既発生水田で使用した農業機械を未発生水田で使用する際には事前に農業機械を十分洗浄して泥を洗い落とし、未発生水田へ本種を持ち込まないようにする。また、可能であれば作業を行う水田の順番を考慮し、先に未発生水田から作業を行うようにする。

水田内に定着したスクミリンゴガイは、落水すると土中に潜って休止状態となる。本種は乾燥にはある程度強いものの、水がない状態が長期間続くと生存個体数は大きく減少する。このことから、夏作を水稻とダイズなどの畑作で1年ごとに輪換することができれば、水田内における本種の密度低減が期待できる。

おわりに

スクミリンゴガイの野生化が初めて確認されてから

40年が経過し、残念ながら現在では国内の広い地域で本種の発生・定着が認められるようになった。先に述べたとおり、スクミリンゴガイが水田内にいったん定着してしまうと、これを完全に駆除するのはほぼ不可能である。このため、化学農薬だけでなく今回解説した物理的・耕種的防除を組合せた総合的な防除対策を講じて、本種の分布拡大を防ぎつつ、水稻の被害を最小限に抑えていかなければならない。

引用文献

- 1) 千葉県 (2021): 「STOP! ジャンボタニシ被害」リーフレット, 4 pp, https://www.pref.chiba.lg.jp/annou/nouyaku/documents/r3_zyantani_tirashi.pdf
- 2) 福島裕助ら (1998): 福岡農総試研報 17: 32~35.
- 3) 小澤朗人ら (1988): 関東東山病虫研報 35: 221~222.
- 4) 清水 健ら (2022): 千葉農林総研研報 14: 59~63.
- 5) 高橋仁康ら (2002): 農業機械学会誌 64(6): 76~81.
- 6) 山中正博ら (1989): 福岡農総試研報 8: 29~32.
- 7) 吉田和弘ら (2021): 関西病虫研報 63: 151~154.

発生予察情報・特殊報 (2023.9.1~2023.9.30)

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

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

- にら：フシダニ科の一種（栃木県：初）9/1
- アブラナ科野菜：国内未記録種の *Heterodera cruciferae*（千葉県：初）9/4
- サツマイモ：基腐病（佐賀県：初）9/5
- ウメ、オウトウ：モモヒメヨコバイ（長崎県：初）9/8
- サツマイモ：基腐病（山口県：初）9/13
- トマト：立枯病（福岡県：初）9/14
- パセリ：パセリ葉先枯病（仮称）（千葉県：初）9/15

- トマト：立枯病（福井県：初）9/19
- トマトキバガ（侵入警戒トラップでの誘殺）（新潟県：初）9/25
- トマトキバガ（侵入警戒トラップでの誘殺）（山形県：初）9/27
- トマト：トマトキバガ（北海道：初）9/29
- ビスヤアカアシカタゾウムシ（沖縄県：初）9/29

研究室紹介

山口県農林総合技術センター 農林業技術部 柑きつ振興センター

山口県農林総合技術センター 農林業技術部 柑きつ振興センターは、山口県東部に位置し、瀬戸内海で3番目に大きい島である周防大島町に、かんきつの試験研究と生産者子弟の研修を目的に1948年に設立されました。2008年に農業試験場の再編に伴い、大島柑きつ試験場から柑きつ振興センターに名称を変更し、かんきつの品種育成、栽培管理、病害虫の試験研究に6名の職員で取り組んでいます。



柑きつ振興センター本館

現在、山口県育成品種の‘せとみ（商標：ゆめほっぺ）’や‘南津海シードレス’の栽培管理方法、スマート農業の導入として、通信型マルドリシス

テムの開発、夏秋季の高温による日焼け果や秋冬期の高湿多雨で浮皮、こはん症などの果皮障害が増加しており、その対策に取り組んでいます。

また、近年、問題となっている病害虫として、ウンシュウミカンの小黒点症状や陽光面の黒点病、‘せとみ’における緑斑症状やミカンツボミタマバエの花蕾被害、ウンシュウミカンや‘せとみ’の貯蔵病害、ハナアザミウマ等の発生要因と対策について研究し、その成果は現地で普及しています。さらに、農業散布用ドローンでの防除方法、「みどりの食糧システム戦略」に基づき、化学農薬および化学肥料低減を可能とする管理方法を研究しています。

本稿では、近年の研究成果について、下記の通り紹介します。

1 農薬散布用ドローン防除に適したカンキツ樹形

農薬散布用ドローンによるカンキツ防除では、樹冠下部および樹冠内部で付着量は少なく、樹冠上部や赤道部に比べて、防除効果は低くなります。そのため、スプリンクラー防除で開発した樹の3箇所に向かってくさび型の窓を作る「縦開窓樹形」とカンキツの基本樹形である「開心自然形」とで、黒点病の防除効果を比較しました。



農薬散布用ドローンによる防除



縦開窓樹形図



山口県育成品種‘せとみ（商標：ゆめほっぺ）’

2019～21年に農業散布用ドローンで、ジマンダイセン水和剤5倍/4 l/10 aを4回散布し、樹の部位別（上部、中部、下部、内部）に黒点病発病果率を調査し、いずれの樹冠部位とも縦開窓樹形で黒点病の発病果率は低く抑えられました。縦開窓樹形は樹冠内部に空間があるため、樹全体に薬液が付着しやすく、ドローン防除には有効であることが示されました。

2 山口県オリジナルカンキツの貯蔵病害対策

山口県育成の中晩生カンキツ‘せとみ’は消費者から高い評価を得ています。しかしながら、流通過程で果実腐敗が発生すると産地のイメージを損なう恐れのあることから、産地では果実腐敗の発生の軽減対策に注力しています。当センターでは、腐敗の主な原因となる緑かび病菌と青かび病菌をモニタリングするための培地を開発し、‘せとみ’の園地や貯蔵施設、資材、選果施設等における菌の動向を調査することで、圃場衛生の改善等による果実腐敗の軽減効果を明らかにしました。現在は化学合成農薬の使用を減らした農産物の栽培への関心が高まっていることから、貯蔵病害を含む病害虫の低リスク農業を主体とした防除法の開発に取り組んでいます。

（専門研究員 岡崎芳夫）

研究室紹介

佐賀県茶業試験場

佐賀県の茶は、うれしの茶の名称で知られており、栽培面積は約 700 ha です。主に生産されているお茶は、茶葉が勾玉状で旨味がある「蒸し製玉緑茶」や、嬉野発祥とされる香ばしさが際立つ「釜炒り茶」など、全国でも珍しい茶種です。

佐賀県茶業試験場は、佐賀県西部の長崎県との境に位置し、茶主産地である嬉野市にあります。前身は 1929 年（昭和 4 年）、釜炒り茶生産方式の近代化を図るため設立された財団法人佐賀県産業協会「茶業研究所」で、1943 年（昭和 18 年）に県へ移管されて以来、改編を経ながら、現在まで、一貫して釜炒り茶と蒸し製玉緑茶の生産方式と茶園管理技術の研究開発に取り組んできました。

2020 年からは茶担当普及指導員が配置され、茶樹研究担当、製茶研究担当そして普及担当の体制となり、試験研究と普及活動が一体となった強みを活かし、①収益性の高い茶業経営の確立 ②持続性のある茶園づくり ③「うれしの茶」の需要・消費拡大 ④安全・安心な茶生産システムの推進に取り組んでいます。

今回は、ここ 10 年ほどの植物防疫に関する取り組みを紹介いたします。

1 茶園における有機栽培の体系化

安心・安全な茶ニーズの高まりから、有機栽培における病虫害被害軽減技術の体系化に取り組んでいます。

この中では、チャノミドリヒメヨコバイ等の害虫被害の少ない品種の選定、夏季整枝による耕種的な炭疽病の抑制技術開発、マシン油乳剤等 JAS 認定有機資材を活用した病虫害発生抑制効果の確認、そして、これらを組合せた実証試験を行い、マニュアル化を図りました。



試験場全景



茶業試験場のメンバー

2 チャトゲコナジラミ等に対応した効率的な防除体系の確立

平成 26 年、県内で初めてチャトゲコナジラミの発生が確認されました。また、同時期に主要病害虫の一部において、特定農薬に対する防除効果低下も懸念されており、いずれの病害虫に対しても防除効果が高い薬剤選定が必要とされました。そこで、既存の効果的な薬剤を用いた防除体系技術の開発に取り組みました。

ここでは、県内のチャトゲコナジラミと天敵シルベストリコバチの発生分布・消長の掌握、輪斑病やダニの薬剤感受性の確認、少量散布ノズルを使用した傾斜地用自走式薬剤散布機の性能評価、茶株裾部散布機の防除効果検証を行いました。そして、これらの成果を総合した効率的な防除体系を組み立てました。

3 無施肥・無防除栽培技術の確立

近年、需要低迷による茶業経営状況の悪化や労働力不足による耕作放棄園の増加が深刻化していることから、省力低コスト化による茶園維持を目的とし、無施肥・無防除栽培技術の確立に取り組んでいます。

この課題では、慣行栽培から無施肥・無防除栽培への転換においては、収量が半減するが品質への影響は大きくないこと、新芽生育や病虫害発生の変化、土壌や樹体内の成分変化を明らかにしました。また、香りを重視した発酵茶に加工することで、より特徴のある商材ができることを明らかにしました。

現在、厳しい茶業情勢の中、ますます産地の茶業を支援することが重要となってきております。今後も、うれしの茶の振興に向け、現場に寄り添った技術開発に取り組んでいきたいと思っております。

（茶樹研究担当係長 中村典義）

「植物防疫」年間購読のお知らせとお願い

(2024年1～12月号分)

年間購読受付中

本誌をご愛読いただき厚く御礼申し上げます。

第78巻（2024年1月～12月号分）の購読料は下記の通りとなります。また、第77巻全ての掲載記事のPDF版CD-ROMとのセットもご用意しております。引き続きご購入下さいますようお願い申し上げます。



■ 年間購読料

- ・ 前払い：12,540円（割引価格）
- ・ 後払い：13,200円

■ 年間購読料＋第78巻CD-ROM

（78巻1月号に同封）のセット

- ・ 前払い：14,190円（割引価格）
- ・ 後払い：14,850円

■ 税込、送料サービス

なお、本年12月号で誌代切れとなります方には、本11月号の封筒に「12月号で誌代切れ」と印刷させていただいております。

今後の刊行図書

11月13日発売開始



農薬適用一覧表 2023年版

A4判
価格：17,600円
税込、送料サービス

2023年9月30日現在の作物・病虫害別の殺虫剤・殺菌剤、作物別の除草剤、使用目的別の植物成長調整剤について、適用情報を一覧表形式で掲載しました。

11月末発売予定



農薬要覧 2023

A5判
価格：11,000円
税込、送料サービス

農薬の生産・出荷，輸出・輸入，流通・消費など農薬に関する統計資料や，登録されている農薬名の一覧，病虫害の発生・防除面積，関係先名簿等を掲載した資料集です。

上記商品はJPPAオンラインストアよりご予約・注文いただけます。

<https://jppaonlinestore.raku-uru.jp/>

一般社団法人 日本植物防疫協会



学 会 だ よ り

○第3回殺虫剤抵抗性対策シンポジウム開催のお知らせ

農林害虫防除研究会と東京農業大学総合研究所研究会/農薬部会が主催する第3回殺虫剤抵抗性対策シンポジウムは下記のとおり開催いたします。

開催形式：対面・オンライン（ハイブリッド形式）

開催日：2023年12月22日 10:00～17:00

参加費：会員 1,000 円，非会員 2,000 円

情報交換会参加費：4,500 円

開催場所：東京農業大学世田谷キャンパス 国際センター 榎本ホール

プログラム

開催にあたって シンポジウムテーマの視点と殺虫剤抵抗性対策タスクフォースの活動概要

山本敦司・土井 誠・井口雅裕・野田隆志・山我岳史・刑部正博・清水 健・田中千晴（農林害虫防除研究会 殺虫剤抵抗性対策タスクフォース）

講演1 みどりの食料システム戦略と改正植物防疫法の中での薬剤感受性検定（仮題）

岡田和秀・松井稜太郎（農林水産省消費・安全局 植物防疫課）

講演2 岩手県におけるリンゴのハダニ類に対する隔年ローテーションを基軸とした殺ダニ剤抵抗性管理
藤沢 巧（岩手県農業研究センター）

講演3 熊本県での殺虫剤抵抗性対策につながるタバコナジラミ防除の取組み

樋口聡志（熊本県農林水産部）

広告掲載会社一覧 （掲載順）

日産化学(株)……………グレース
サンケイ化学(株)……………コテッ
バイエルクロップサイエンス(株)

……………ルーチンコア
日本曹達(株)……………ダニオーテ
石原バイオサイエンス(株)

……………ネマトリンエース
農薬工業会……………蜜蜂フレンドシップ計画
科研製薬(株)……………ポリオキシシ
日本農薬(株)……………AI診断
クミアイ化学工業(株)……………プロポーズ

講演4 農業用殺菌剤の連続散布と耐性菌マネジメント（殺菌剤耐性菌研究会とのコラボレーション企画）

播本佳明（コルテバ・アグリサイエンス日本(株)）

講演5 薬剤抵抗性管理の実践へ向けた IPM を考慮した発想転換

清水 健（千葉県農林水産部，殺虫剤抵抗性対策タスクフォース）

総合討論 テーマ：「殺虫剤抵抗性管理の現場への普及について（仮）」

連絡先や詳細はホームページをご確認ください。

次号予告

次号 2023 年 12 月号の主な予定記事は次のとおりです。

クモヘリカメムシ（カメムシ目：ホソヘリカメムシ科）に寄生するヤドリバエの種，寄生率および越冬状態 阿南 創ら

日本において *Niphe elongata* とされているイネカメムシの学名に関して 河野勝行ら

高倍率（50×）ルーペを用いたキュウリの斑点性病害の見分け方 畔柳泰典ら

チャの直がけ被覆栽培による炭疽病に対する抑制効果 市原 実ら

大気中からのリンゴ黒星病菌のモニタリング：植物病原菌と大気バイオエアロゾル 小林史尚

菌寄生菌を利用したメロンうどんこ病に対する防除資材としての可能性 野々村照雄

韓国における農業市場と動向 Woo Hyun ら

海外における新規殺菌剤・殺虫剤の開発状況と今後の動向 梅津憲治

研究室紹介：

千葉県農林総合研究センター病理昆虫研究室 塩田あづさ

長崎県農林技術開発センター果樹・茶研究部門 茶業研究室 池下一豊

植物防疫

2023 年
11 月号

（毎月 1 回 1 日発行）

第 77 巻 2023 年 10 月 25 日印刷

第 11 号 2023 年 11 月 1 日発行
（通算 923 号）

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 6-28-1

定価 1,100 円

本体 1,000 円 + 税 10 %

——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)

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。

農業と 自然環境の 共存のために。

蜜蜂をはじめとした訪花昆虫は、農作物の生産や自然環境を維持するために重要な役割を果たしています。JCPA農薬工業会では、訪花昆虫に適切な生息地を提供するために「JCPA VISION 2025」における活動の一環として「蜜蜂フレンドシップ計画」を2020年度から開始しています。現在（2022年度）、会員の工場や研究所の敷地に訪花昆虫が好む植物を栽培し、11会員計30か所で実施しています。



蜜蜂フレンドシップ計画

「蜜蜂フレンドシップ計画」とは蜜蜂をはじめとした訪花昆虫の保護を目的として訪花対象となる花々を栽培する活動です。

<https://www.jcpa.or.jp/about/vision.html>



天然物由来の殺菌剤

ポリオキシンは熊本県阿蘇地方の土壌で発見された微生物を
培養して得られた天然物由来の農薬として誕生しました。

®は科研製薬株式会社の登録商標

混合剤

イミノクタジン
との相乗効果で
病害防除に！



殺菌剤

ダイアメリット®DF

長年にわたる
信頼と実績



ポリオキシンはこの先も生産現場で
お役に立ち続けることができるよう、
作物を守り続けていきます。

他剤抵抗性
ハダニ類を
防除！



殺菌・
殺ダニ剤

デュアルサイド®
水和剤

単剤

独自の作用性
(キチン合成阻害)で、
病害とハダニ類の
同時防除！



殺菌・
殺ダニ剤

ポリオキシン®AL
水溶剤「科研」

環境に対する
安全性が高く
安心して
使用できます。



殺菌剤

ポリオキシン®AL
水和剤「科研」

新しい
ポリオキシシン剤。
ネギの病害を
幅広く防除！



殺菌剤

ジオゼット®
水和剤



科研製薬株式会社 特薬部

東京都文京区本駒込2-28-8 TEL.03-5977-5031

このアプリで一気に問題解決!!

レイミーが
スマートに
解決!



スマートフォン用アプリ

レイミーのAI病害虫雑草診断

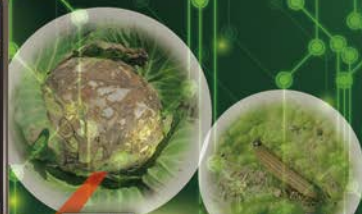
農作物に被害を及ぼす病害虫や雑草を写真からAIが診断し、
有効な薬剤情報を提供する、スマートフォン用の防除支援ツールです。

無料!

通信料を除く



スマートフォン用アプリ



見つけて

AI診断・AI予察で
作物の問題を診断・早期発見



調べて

豊富なデータベースから
問題を検索・確認



対処する

問題に最適な農薬を紹介

無料

ダウンロードはこちら



利用時の通信料はお客様のご負担となります。

日本農業ホームページから
日本農業 検索



■本アプリケーションで使用されているAI診断学習モデルは(株)NTTデータCCSと日本農業(株)の共同開発です。
■本システムは農林水産省の農業界と経済界の連携による生産性向上モデル農業確立実証事業「防除支援システム研究会(H30~R1)」の成果を社会実装したものです。

開発

NICHINO
日本農業株式会社

NTT DATA 株式会社NTTデータCCS

参加

日産化学株式会社

日本曹達株式会社

三井化学クロップ&ライフソリューション株式会社

アイエスアイハイテック

MBC 丸和バイオケミカル株式会社

※画面は開発中のものにつき、
実際の仕様とは異なる場合があります。

殺菌剤



プロポーズ® 顆粒水和剤

べと病・疫病に
2成分で優れた効果

予防

治療

残効性

耐雨性



詳しい使い方、
登録内容とSDSは
こちらから。



100g



500g

JAグループ
農 協 | 全 農 | 経済連

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

®はクミアイ化学工業(株)の登録商標です。

●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。●本剤は小児の手の届く所には置かないでください。●防除日誌を記帳しましょう。