

# 植物防疫

# 11

Plant Protection

2019  
VOL.73

特集：紫外線照射技術を基幹とした  
イチゴ病害虫防除体系構築



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



# 私たちは進歩し続けます

農業——

それは私たちの命を支え 私たちの活動を牽引します  
未来のために作物を育てる 未来そのものを育てる  
協力し合って 暮らしを豊かにする

すべての作物、農地、生産者をより強くすることで 私たちは進歩し続けます  
コルテバ™は、世界で最も革新的で、最も連携を重んじ、  
最もオープンな アグリビジネス企業を目指します

KEEP GROWING.



ダウ・アグロサイエンス日本株式会社/デュポン・プロダクション・アグリサイエンス株式会社

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



速く効く。  
あの害虫にも効く。<sup>\*1</sup>

だから、  
収量に差がつく。<sup>\*2</sup>

**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<sup>\*1</sup>に効く。

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

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

新発売

野菜・  
茶用殺虫剤

# グレーシア<sup>®</sup> 乳剤



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

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



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

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

 **日産化学株式会社**





**カウンシル®**  
コンプリート

除草力の  
“カウンスシル”  
高葉齢ノビエも、難防除も！



ノビエ、難防除多年生雑草を  
「一発処理」で枯らす除草力。  
鉄コーティング直播栽培にも適応。  
多角化・大規模化に貢献できる  
次世代の水稲用除草剤です。



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

バイエル クロップサイエンス株式会社

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

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

## 農薬概説 2019

一般社団法人 日本植物防疫協会 編

### 農薬概説

(2019)

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

2019年版では、主に次のような改訂を行いました。

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

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

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

◆お問い合わせとご注文は下記へお願いします◆

一般社団法人 日本植物防疫協会 支援事業部

TEL 03-5980-2183 FAX 03-5980-6753 Mail [order@jpfa.or.jp](mailto:order@jpfa.or.jp)

B5判 373頁 本体1,800円＋消費税、送料 実費



## 来年度誌代（2020年1～12月号分）のお知らせと誌代ご送金のお願い

本誌ご愛読いただき厚く御礼申し上げます。

来年第74巻（2020年1～12月号分）の購読料（税抜）は、本年と同額でございますので、引き続きご購読下さいますようお願い申し上げます。

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きました。

記

2020年1～12月号誌代

（税込み、送料サービス）

直接前払い購読者 11,000円

### お申込方法

1. 個人でのご購読は、誌代前払いでお願いします。
2. 送付先住所、ご氏名、継続・新規の別をご明記下さい。
3. ご送金方法は、本号はさみ込みの郵便振替用紙をご利用いただきますと振込手数料が不要となります。現金書留を利用される場合は、上記2について必ずご明記下さい。
4. 直接後払い購読については、協会出版担当までお問い合わせ下さい。

## 月刊雑誌「植物防疫」 PDF版のお知らせ

年間購読頂いている皆さんに第73巻（1～12月）12冊全ての掲載記事をPDFファイルでご提供致します。パソコンや携帯型端末で手軽に閲覧頂けます。

本誌11月号に同封の払込取扱票にてお申し込み下さい。

12冊分のPDFファイルをCDに収め、来年1月号と一緒に送り致します。

なお、発送時のトラブルを避けるため、協会から「植物防疫」を直送している購読者のみの販売とさせていただきます。

**価格：第73巻1～12月号12冊分 1,320円（税込み）**

一般社団法人 日本植物防疫協会  
支援事業部 出版担当

TEL：03-5980-2183, FAX：03-5980-6753

mail：order@jppa.or.jp



# 農薬適用一覧表 2019年版

## 農薬適用一覧表

— 2019年9月30日現在 —  
2019年版

2019  
一般社団法人 日本植物防疫協会

A4判 1018頁, 本体 14,000円+消費税  
送料サービス

付録CD-ROM: 農薬適用一覧DB (検索ソフト付き)

『農薬適用一覧表』は, 2019年9月30日現在の作物・病害虫別の殺虫剤・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。

また, 稲用の殺虫・殺菌剤, 種子処理・箱施用剤, 水田用速度連動式少量散布機 (ブームスプレーヤ), 常温煙霧, 空中散布・無人ヘリコプターなど, 用途別の登録薬剤を併せてまとめました。

# 農薬要覧 2019年版 (平成30農薬年度)

## 農薬要覧

— 2019 —

日本植物防疫協会

A5判 781頁, 本体 9,000円+消費税  
送料サービス

『農薬要覧』は, わが国の農薬生産や出荷に関する統計資料の決定版として, 1963年から毎年刊行しており, 植物防疫の関係者に必携の資料としてご活用いただいております。最新版を発行しましたので, 是非ともお買い求めください。

### 掲載内容

- ▶ 農薬の生産・出荷に関する, 総数, 種類別, 剤型別などに区分した数量や金額の一覧表
- ▶ 農薬の流通・消費に関する, 流通機構図, 県別出荷金額・数量, 農家購入価格の推移など
- ▶ 農薬の輸出・輸入に関する, 国別数量・金額, 種類別数量, 会社別農薬取扱金額表など
- ▶ その他関連する資料

一般社団法人日本植物防疫協会 支援事業部

TEL 03-5980-2183

FAX 03-5980-6753

URL: <http://www.jpapa.or.jp/>

E-mail: [order@jpapa.or.jp](mailto:order@jpapa.or.jp)



## 目次

### 巻頭言

空中散布に携わって ..... 齋藤 武司 1

### 特集：紫外光照射技術を基幹としたイチゴ病害虫防除体系構築

紫外光 (UV-B) 照射技術を基幹とした施設イチゴ病害虫防除体系の構築 ..... 佐藤 衛・田中雅也 2  
UV-B 照射によるハダニ類の防除メカニズムと環境要因 ..... 刑部 正博 7  
イチゴ施設栽培における超音波を活用した防蟻技術 ..... 中野 亮 12  
植物を元気にして病気を防ぐ  
—植物活力剤によるイチゴの病害抑制技術—  
..... 鳴坂義弘・鳴坂真理・吉岡博文・吉岡美樹・谷口伸治・石川美友紀・紀岡雄三・野口勝憲 16

### 総説

カメムシ目とコウチュウ目の昆虫における振動を利用した行動制御と害虫管理 ..... 上地奈美・高梨琢磨 21

### トピックス

チャの新害虫ヒサカキワタフキコナジラミの発生生態について ..... 岩崎 剛・小俣良介 26  
露地夏秋キュウリに発生する褐斑病のリスク要因分析 ..... 猫塚 修一 30

### 研究報告

水稻高密度播種栽培のいもち病防除 ..... 萬田 等・矢崎明美・中島宏和・寺岡 豪 35

### 日植防シンポジウムから

密苗移植栽培技術の概要と普及状況 ..... 澤本 和徳 39  
水稻高密度育苗における箱粒剤の適応性 ..... 舟木 勇樹 43

### 植物防疫講座

病害編-23 トマト葉かび病の発生生態と防除 ..... 飯田祐一郎・須志田浩稔 48  
虫害編-22 野菜類に発生するハダニ類の発生生態と防除 ..... 國本 佳範 53  
農薬編-22 ミトコンドリア ATP 合成酵素阻害剤 ..... 肥川広樹・林 敬介 58

### 研究室紹介

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 野菜花き研究部門  
花き生産流通研究領域 生産管理ユニット ..... 久松 完 65  
宮城県古川農業試験場 作物環境部 ..... 佐々木 次郎 66

農林水産省プレスリリース (2019.9.7~2019.10.4) 11  
新しく登録された農薬 (2019.9.1~9.30) 29, 67  
登録が失効した農薬 (2019.9.1~9.30) 42  
発生予察情報・特殊報 (2019.9.1~9.30) 15

#### 【表紙写真】

上段：イチゴ施設栽培の紫外光 (UV-B) 照射  
下段左下：ナミハダニ  
下段左上：ヒサカキワタフキコナジラミ  
下段右：トマト葉かび病



# 明日の「農」を支える力でありたい。

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

## 殺虫剤

三井化学 **アルバリン**® 顆粒水溶剤・粒剤  
粉剤DL・箱粒剤

**トレボンスター**® フロアブル  
粉剤DL

**コロマイト**® 水溶剤  
乳剤

**スタークル**® 顆粒水溶剤

**トレボン**® 乳剤・EW・MC・粉剤DL  
粒剤・エアースカイMC

**ミルベノック**® 乳剤

**スタークルメイト**® 1キロH粒剤  
液剤10

**アキ**® 乳剤

**キックオフ**® 顆粒水溶剤

## 殺菌剤・殺虫殺菌剤・土壌消毒剤

**アフエット**® フロアブル

**フルーツセイバー**

**モンガリット**® 1キロ粒剤  
粒剤

**タチガレン**® 粉剤  
液剤

**サンブラス**® 粒剤

**サントリプル**® 箱粒剤

三井化学 **クロールピクリン**

**ベジセイバー**®

**ネビジジ**® 粉剤

**サンリット**® 水溶剤

**タチガレエース**® M 粉剤  
液剤

**ガッツスター**® 粒剤

**サンフェスタ**® 箱粒剤

三井化学 **ソイリーン**®

**ピカット**® フロアブル

**ネビリュウ**®

**テーク**® 水溶剤

**タチガレファイト**® 液剤

**トリプルキック**® 箱粒剤

**クロピクテープ**

**ドロロール**

## 除草剤

**アールタイプ**® 1キロ粒剤・ジャンボ  
フロアブル

**クサトリ-BSX**® 1キロ粒剤75/51  
ジャンボH/L・フロアブルH/L

**クサバルカン**® 1キロ粒剤・ジャンボ  
フロアブル

**サンバード**® 粒剤

**アトカラ**® SジャンボMX

**シュイデン**® 1キロ粒剤・ジャンボ  
フロアブル

**キクンジャベ-Z**® 1キロ粒剤・ジャンボ  
フロアブル

**オシオキ**® MX 1キロ粒剤

**ワイドアタック**™ SC

**セカンドショット**® SジャンボMX

**アルファプロ**® 1キロ粒剤75/51・ジャンボH/L  
フロアブルH/L

**イネキング**® 1キロ粒剤・ジャンボ  
フロアブル

**フォローアップ**® 1キロ粒剤

**草枯らし** MIC®


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



三井化学アグロ株式会社

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




 巻頭言

## 空中散布に携わって



一般社団法人農林水産航空協会 **さい とう たけ し**  
**齋 藤 武 司**

昨今、農薬散布において、ドローンによる空中散布が注目されている。筆者は、1973年（昭和48年）に農林水産航空協会に入社し、以来、開発・普及畑を歩んで来た。有人ヘリコプターによる空中散布は、1959年（昭和34年）ころには実用化され、現在も水稲病虫害防除や松くい虫防除に利用されている。有人ヘリの実用化から30年後の1989年（平成元年）に無人ヘリコプターによる空中散布が実用化、そしてその30年後の2019年（令和元年）にはマルチローター（通称ドローン）が実用化され事業拡大へと至っている。

空中散布に使用されている航空機は「有人ヘリ」と「無人航空機（無人ヘリとドローン）」に分けられるが、すべて回転翼機である。回転翼（ローター）が下方へ空気を押しやる（風を起こす）ことにより、回転翼機は空を飛び、垂直離着陸、ホバリング（空中停止の浮遊飛行）、前進・後進飛行までできる航空機である。この吹き下ろされる風のことを「ダウンウォッシュ（DW）」という。DWは、ホバリングの場合、回転面からローター直径と同じ程度下方に下がったあたりが、最も発達した強いところとなる。空中散布は、このDWを効率よく利用して散布する技術である。DWは回転翼機の形状、大きさや重量等によって強さが異なるので、散布する際の飛行（散布高度、散布速度、散布幅）は異なってくる。

散布高度は、ほぼローターの直径となるので、有人ヘリで10～15m、無人ヘリ3～4m、ドローン2～3mである。ドローンのDWは、ローター（プロペラ）が複数であることからヘリより複雑になるが、ほぼ同じように考えて間違いではないようである。今後のさらなる研究・調査を期待する。

散布速度であるが、散布の効率を考えれば速いほうがよい。しかし、航空機から農薬を散布すると、散布された農薬は速度が速いほど航空機の後方へと降下して行く。作物などに到達するまでに時間がかかればかかるほど、風の影響を受け、散布精度（均一散布など）の低下や農薬飛散のリスクが高まる。空中散布のように強いDWを利用するときは、馬力を余分に喰っても低速で飛行するほうが好ましいが、航空機の性能や操作性、散布作業の効率性等から散布速度が定められる。

散布幅は、機体に散布装置を取付けて目標とする高度・速度で実際に散布を行い、散布粒子の粒度分布や分散状況を総合的に判断して決める。この段階で散布装置の改善などが必要になることが多々ある。近い将来、い

や現時点ですで行われていると思われるが、DWのコンピューター解析によるシミュレーションがなされ、より精度の高い散布分散などのデータが事前に得られるようになるであろう。重要なことはまだある。航空機（固定翼機、回転翼機）は、翼端に乱流を起こす（WING TIP VORTEX：翼端渦流）。この乱流に散布粒子が撒きこまれると、農薬飛散リスクが高くなる。これを防ぐために、散布ノズルの位置や配列に神経を使うことになる。以上が、農林水産航空協会が行っている航空機・散布装置の性能確認方法の基本である。

さて次は農薬であるが、空中散布に使用されている農薬製剤には、大雑把に区分すると液剤と粒剤がある。ドローンでも使用されている液剤の散布を、私どもは、「液剤少量散布（8倍希釈、8l/ha 液少散布）」と呼び、他の散布と区分している。液少散布は、協会が1972年（昭和47年）に実用化に向けて取組んだ技術である。地上散布で1,000倍濃度にて使用される製剤を、8倍の濃度で使うことにより、対象作物への薬害が懸念された。ポット試験で試み、想定通り薬害が見られた。また特に水和剤の希釈液では、成分の沈殿が速く再分散性も悪かった。総じて希釈液の粘性が高くなり、散布粒子が大きくなる傾向が見られ、効果の面でも不安が膨らんだ。この液少散布の開発目的は、空中散布の主たる事業の水稲のいもち病防除（原液、1l/ha；微量散布）とウンカ・カメムシ等防除（30倍、30l/ha；液剤散布）の同時防除を経済的かつ効率よく散布する技術を確立することであった。したがって、いもち剤と殺虫剤の現地混用が必要となる。混用を試みたが散々たる結果であった。協会は混用の可否を判断する調査法の確立を目指すとともに、農薬メーカーの協力を仰いだ。「農薬のいろはも知らない者が」と批判もいただいた。日本の農薬メーカーの製剤技術は非常に高く、これらの問題点を解決し、また、空中散布専用の製剤開発もなされ、今日に至っている。農薬メーカーの努力に深謝申し上げる。

ドローンの普及に伴い、種々の作物への農薬登録の拡大要望がある。液少散布の開発・普及に携わったひとりとして、一抹の不安があるので、敢えて開発当時の「問題点」を書いた。有人ヘリの液少散布を無人ヘリに適用するにあたって、薬効・薬害・農薬残留試験を行った。一つ一つ試験を積み重ね、「食の安全」を確保できる無人航空機による液少散布の発展を望む。

（一般社団法人農林水産航空協会 会長）

特

集

# 紫外光照射技術を基幹としたイチゴ病害虫防除体系構築

## 紫外光(UV-B)照射技術を基幹とした 施設イチゴ病害虫防除体系の構築

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 野菜花き研究部門 **佐藤 衛\***  
兵庫県立農林水産技術総合センター 農業技術センター **田中 まさや**

### はじめに

平成26～30年度までの5年間、内閣府「戦略的イノベーション創造プログラム（次世代農林水産業創造技術）」「画期的な商品の提供を実現する新たな育種・植物保護技術」「持続可能な農業生産のための新たな総合的保護技術の開発」（管理法人：国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 生物系特定産業技術研究支援センター）が実施され、多様で革新的な研究が行われた。本稿では、このプロジェクトで重点的に取り組まれた三つの体系化グループの一つ、「紫外光照射技術を基幹としたイチゴ病害虫の新防除体系の開発（通称：イチゴ体系化グループ）」について紹介する。

イチゴ体系化グループの目標は、病害や虫害の抑制が期待できる中波長域の紫外光（UV-B：280～315 nm）の照射と光反射シートの組合せ（以下、UV法とする）により、施設イチゴ栽培の難防除病害虫であるイチゴうどんこ病とハダニを同時に防除できる技術を開発・普及し、我が国におけるイチゴの減農薬・安定生産を実現することである。

施設イチゴは、全国各地で多様な品種や栽培方式により栽培されている。そこで、地域別にUV法の実用化試験を実施し、共通の課題、地域特有の課題を明らかにし、それぞれに必要な解決手法を確立してきた。平成28年度からは、生産者のイチゴ施設におけるUV法の現地実証を開始し、生産現場における問題点を整理し、改善策の検討を行った。また、UV法で抑制が期待できないチョウ目害虫（ハスモンヨトウ）による被害を回避する目的で、超音波発生装置の開発も併せて行い（超音波発生装置については、後述記事「イチゴ施設栽培における超

音波を活用した防蛾技術（中野，2019）」参照）、IPMの観点から、開発した超音波発生装置や既存技術である天敵カブリダニ剤等、他の防除技術とUV法との併用の可否について検証した。さらに最終年度にかけて、イチゴの生育や収量、防除費用、労力等を慣行防除と比較し、技術の組合せによる経済的な実用性を評価した。現在、これら成果を「紫外光照射を基幹としたイチゴの病害虫防除マニュアル（技術編・各地域事例）」（国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業研究センター発行，2019）（図-1）にまとめ、公開することで開発技術の速やかな現地普及を図っている。本マニュアルでまとめた成果や開発技術を活用するうえで重要なポイントについて、以下で紹介する。なお、本マニュアルはインターネットから入手可能である（アドレスは引用文献を参照）。

### I 紫外光を利用した病害防除

光を利用した物理的防除法として、紫外光（UV-B）照射によるイチゴうどんこ病対策が実用化されている（神頭ら，2011）。UV-Bの刺激に反応した作物体が病気に強い状態に移行し、株の一部にUV-Bが当たっても、その効果は株全体に及ぶ（＝誘導抵抗性）ことが知られており、うどんこ病対策用のUV-Bランプ（パナソニック ライティングデバイス株式会社製）が販売されている。

後述（II章参照）するが、UV法ではハダニの生息する「葉裏」にUV-B光を当てる目的で、光反射シートをイチゴ株元に設置する（図-2）。イチゴ体系化グループの一連の取り組みにより、UV法ではUV-Bの反射光が葉裏に当たることで、従来の葉上からのUV-B照射のみの場合と比べ、より強く「イチゴうどんこ病を抑制できる」ことが明らかとなった。これにより殺菌剤のさらなる低減が可能となる。

Establishment of Strawberry Pests and Diseases Control by UV-B Irradiation System. By Mamoru SATOU and Masaya TANAKA

（キーワード：紫外光照射，UV-B，病害虫防除，光反射シート，イチゴ）

\*現所属：国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 遺伝資源センター





図-1 紫外光照射を基幹としたイチゴの病害虫防除マニュアル（技術編・各地域事例）の表紙

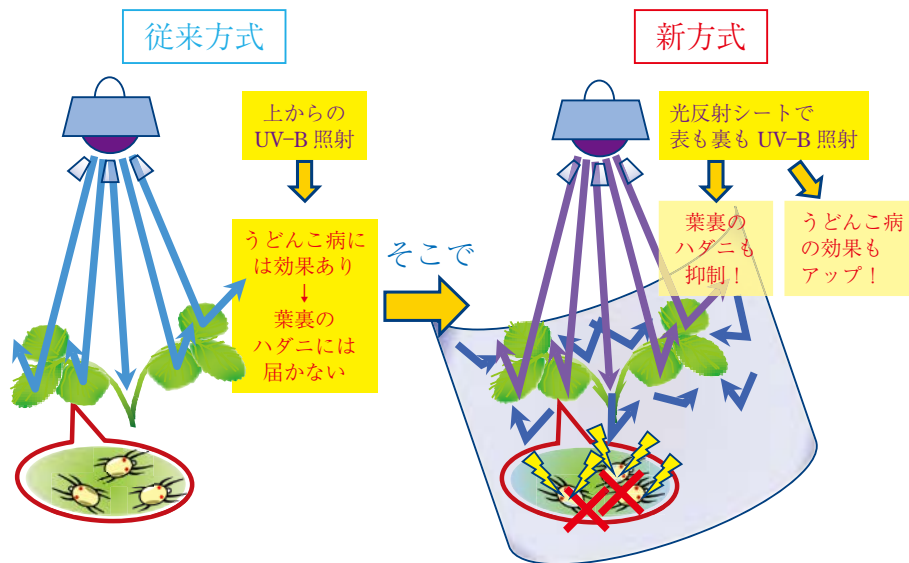


図-2 UV-B 照射と光反射シートの組合せ (UV 法) による病害虫抑制効果のイメージ

## II 紫外光を利用した虫害防除

近年、UV-Bを照射されたハダニが致死的影響を受けることが明らかにされ(村田・刑部, 2014), うどんこ病対策として販売されているUV-Bランプで、施設イチゴの難防除病害虫であるハダニ(ナミハダニ・カンザワハダニ)も防除できる可能性が示された。ところが、ハダニは雨風や紫外光を避けるため「葉裏」に生息しており、上方からの照射ではUV-Bをハダニに当てることはできない。そこで、光を反射するシートをイチゴの株元に敷くことで、反射したUV-Bが葉裏にいるハダニへ直接当たるよう工夫した(図-2)。光反射シートは、UV-Bを90%以上反射する「デュポン™タイベック®」を用いた(デュポン™タイベック®は米国デュポン社の登録商標である)。

始めに、土耕栽培のイチゴ施設にて、UV-Bの夜間照射と光反射シートの組合せ(UV法)によるハダニ抑制効果を検証した。土耕栽培におけるUV法は、既に報告している(田中ら, 2017)ため、ここでは概要のみ記載する。条間×株間を広く、UV-B照射強度をうどんこ対策用より強くしたところ、葉裏にUV-Bが当たることにより、ハダニを抑制できることが明らかとなった(TANAKA et al., 2016)。抑制効果の主体は、一定量のUV-Bが当たった卵が「ふ化」しなくなることで考えられる(UV-B照射によるハダニ防除のメカニズムの詳細については、後述記事「UV-B照射によるハダニ類の防除メカニズムと環境要因(刑部, 2019)」参照)。その後、条間×株間を慣行程度にしても、イチゴ株上に $0.12 \text{ W/m}^2$ のUV-Bを毎夜3時間照射することで、葉が繁茂する4月までハダニが抑制できることを明らかにした(図-3)。畝から1.8mの高さに約3m間隔でUV-Bランプを設置すると、

イチゴ株上のUV-B照射強度が約 $0.12 \text{ W/m}^2$ になる。なお、UV-Bランプや光反射シートの設置方法の詳細は、「紫外光照射を基幹としたイチゴの病害虫防除マニュアル～技術編～」に掲載している。

続いて、高設栽培におけるUV法の実用化を試みた。高設栽培では、ハウス構造上の制限から栽培ベッド面とUV-Bランプとの距離(高さ)がとれないため、部分的にUV-B照射強度が弱いところがあり、そこからハダニが増える結果となった。そこで、天敵カブリダニとUV法を併用したところ、それぞれを単独で使用するよりも、安定したハダニ防除が可能となった。高設栽培でUV法に取り組む場合、天敵カブリダニとの併用が必要である。

## III UV法における3大重要ポイント

UV法に取り組むうえで重要なポイントを紹介する。

### 1 UV-B照射は夜間3時間とする

村田・刑部(2014)によると、UV-Bによりハダニへ蓄積したダメージは、太陽光を浴びることによって回復する(光回復)。しかし、卵に限り、UV-B消灯～日の出の間に3～4時間の暗期があると、光回復できなくなる。ハダニ防除効果(=ハダニ卵のふ化抑制)を考慮し、UV-B照射は夜間3時間(22:00～1:00など)とし、夜明け3～4時間前までに照射を打ち切る(日の出までに3～4時間の暗期を確保する)ことが、UV法にとって必須となる。なお、UV-Bは人体(特に目)に影響する可能性があるため、人が立ち入らない夜間に照射することは、安全使用上においても重要な意味を持つ。

### 2 葉裏にUV-Bを当てる工夫をする

ハダニが生息している葉裏にUV-Bが当たればハダニは抑制されるが、当たらなければ抑制効果は期待でき

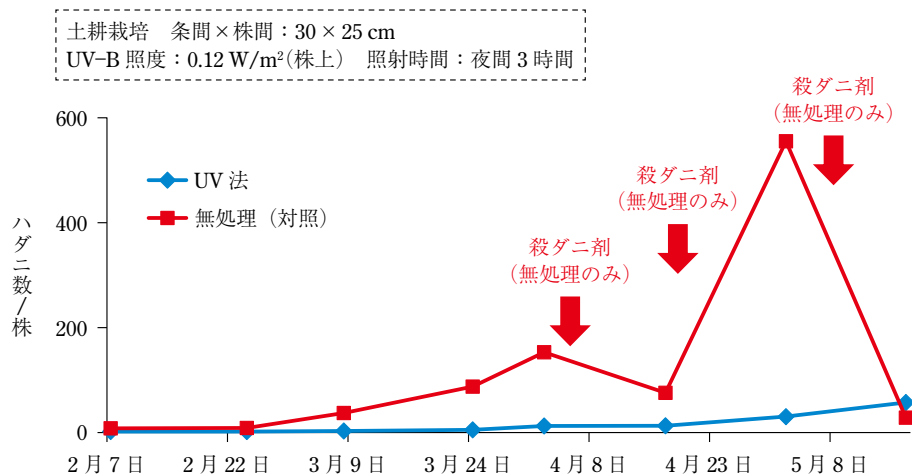


図-3 UV-B照射と光反射シートの組合せ(UV法)によるハダニ抑制効果



ない。葉裏にいるハダニへUV-Bが当たるよう、光反射シートの設置方法を工夫することで、ハダニ抑制効果の安定につながる。反対に、春先になり葉が繁茂すると、葉裏までUV-B反射光が届きにくくなり、ハダニ抑制効果は期待できなくなる。

### 3 ハダニ抑制に必要なUV-B積算照射量を確保する

ハダニ抑制効果の主体は卵のふ化抑制であり、効果の発現には、一定のUV-B積算照射量(=照射強度×照射時間)が必要である(村田・刑部, 2014)。すなわち、卵がふ化する前に致死量に相当するUV-Bをハダニ卵に照射する必要がある。「照射強度」はランプ設置数や前述2節の照射方法の工夫により、「照射時間」はランプ点灯時間により、それぞれ調整可能である。しかし、春になり気温が高くなると卵期間が短くなり、ハダニ卵への照射時間の確保が困難となるため、ハダニ抑制効果は低下すると考えられる。

春以降は、前述2節, 3節により、ハダニ抑制効果が低くなる。この時期には、天敵カブリダニとの併用や薬剤散布等に対応する必要がある。

## IV 紫外光の生育への影響

### 1 葉焼けと地温低下による影響

イチゴへのUV法の影響について、品種や時期により異なるが、収量に影響しない程度の葉焼けを生じることを確認している。葉焼けは、冬期に生じやすい。また、土耕栽培では、光反射シートを敷くことで地温が約2℃低下し、品種によっては生育に影響することが懸念された。対策として、光反射シートの被覆面積を7割程度にすることで、ハダニ抑制効果を維持したまま地温低下を従来法の半分程度に抑えられることを実証している。

### 2 収量・果実品質の向上

UV法では、病害虫の抑制により収量が増える傾向にあった。さらに、UV法により、「イチゴの果色が濃く、果皮が固く、糖度が高く」なる傾向が確認された(図-4)。しかし、もともと果皮が固く裂皮しやすい品種(‘ゆめのか’)では、裂皮が助長される傾向がみられている。

### V 品種・栽培方法・地域別の新技术導入指針

イチゴ体系化グループでは、北海道から九州までの7地域において、紫外光照射を基幹とした病害虫防除法の検証を実施してきた。多くの地域・事例において、UV

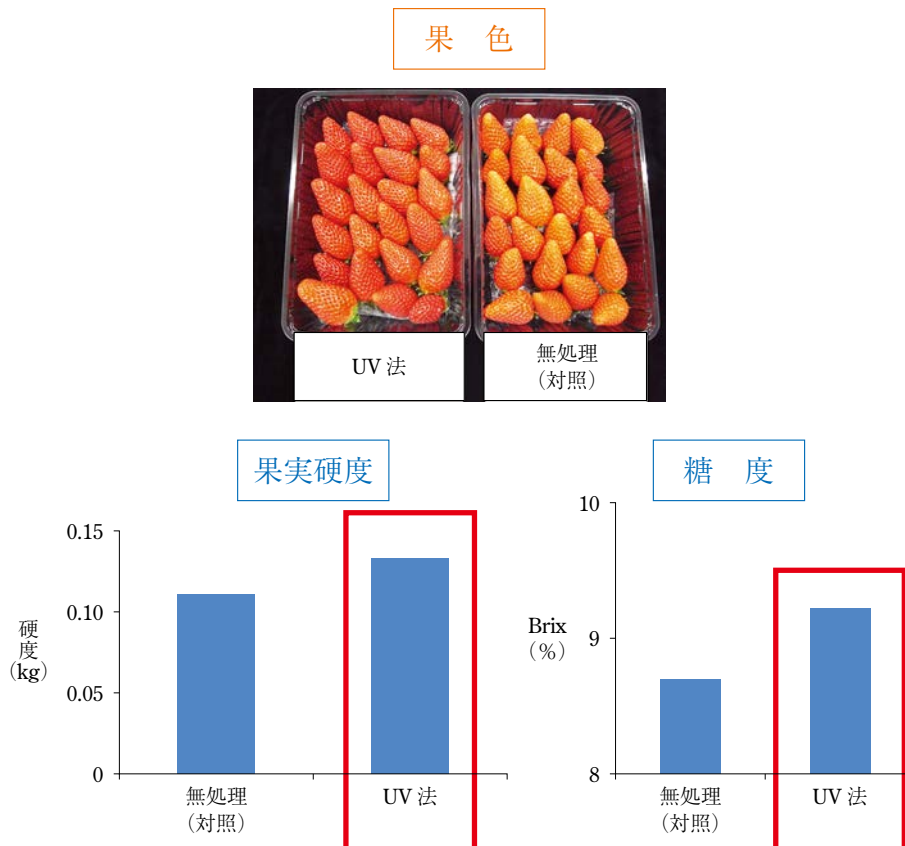


図-4 UV-B照射と光反射シート(UV法)がイチゴの果実の色・硬度・糖度に及ぼす影響(品種:‘章姫’)

表-1 品種の特性と技術導入による影響、効果の比較 (H26~30 SIP 実証試験)

	章姫	紅ほっぺ	さちのか	とちおとめ	ゆめのか	さぬき姫	おいCベリー	すずあかね
うどんこ病	弱い	やや弱い	弱い	弱い	強い	弱い	中程度	強い
草姿*1	立性	立性	立性	開張	立性	開張	立性	中間
葉焼け傷害	出にくい	出やすい	出やすい	中程度	中程度	中程度	出にくい	出にくい
果実傷害	無	無	無~微	無	有*2	無	無	無
光反射シートによる地温低下の影響	小さい	やや小さい	中程度	大きい*3	大きい*3	-*4	小さい	やや大きい*3

※1…開張より立性のほうが葉裏にUV-B反射光が当たりやすくなり、ハダニ抑制効果がより期待できる。

※2…12~3月上旬に裂皮果の発生が助長され著しく青果率が低下。

※3…地温低下により生育が抑制。

※4…栽培体系により光反射シートの使用なし。

表-2 新技術の組合せにより期待できる効果

	ハダニの抑制効果	うどんこ病の抑制効果	推奨される栽培体系
UV-B + 光反射シート (UV法)	○	◎	土耕栽培
UV-B + 光反射シート (UV法) + 天敵カブリダニ	◎	◎	高設栽培
UV-B + 天敵カブリダニ	△~○	○	※
参考：慣行栽培	×~○	×~○	-

※光反射シート設置による地温低下の影響を受けやすい‘とちおとめ’、UV-B傷害が出やすい‘ゆめのか’等。

法によるイチゴうどんこ病やハダニへの高い抑制効果が確認できた。また、天敵カブリダニとUV法との併用で、ハダニ抑制効果が安定することも明らかとなった。しかし、品種により生育や果実へ影響することも明らかとなりつつある(IV章および表-1)。冬期の地温低下が影響しやすい品種や地域においては、ハダニ抑制効果は期待できないが、光反射シートの設置を行わないという選択肢も考えられる。そこで、「UV-B照射」、「光反射シート設置」、「天敵カブリダニ放飼」の三つの基本技術の組合せにより期待できる病害虫抑制効果を、表-2にまとめた。地域、栽培方法(土耕栽培、高設栽培)、品種等を考慮することで、目的とする抑制効果を得るために最適な技術の組合せを、事前に設計することができる。

## おわりに

紹介した「紫外光照射を基幹としたイチゴの病害虫防除マニュアル」では、光反射シート設置に、エクセル線やブッシュクリップといった強固な資材を紹介した。しかし、誘引紐やホチキス等を利用した簡易な方法でも、栽培シーズン終了まで設置が維持できれば問題ないことが、マニュアル公開後にわかってきた。本稿や「紫外光照射を基幹としたイチゴの病害虫防除マニュアル」に記載している基本(特に、III章の重要ポイント)をおさえていけば、現場の状況に応じ自由にアレンジできる。

部分導入(UV-Bランプは6球1セットで販売)も可能であることから、イチゴうどんこ病やハダニ対策に苦労している生産者には、UV法をハウスの一部に試験導入し、防除効果を実感していただきたい。また、本マニュアルの各地域事例編において、経営評価について記載してあるので、参考にしていただきたい。

本稿で紹介した、紫外光照射を利用した新しい物理的防除法は、減農薬栽培を可能とするIPM防除体系に有用なツールの一つと考えている。また、実用化試験は必要だが、他の作物にも適用できると考えられる。施設イチゴにおいて、ハダニとイチゴうどんこ病が同時に抑制でき、果実の品質も向上することから、開発技術の今後の普及に期待している。

## 引用文献

- 1) 神頭武嗣ら(2011):植物防疫 65:28~31.
- 2) 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構中央農業研究センター発行(2019):紫外光照射を基幹としたイチゴの病害虫防除マニュアル, [https://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/publication/pamphlet/tech-pamph/130266.html](https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/130266.html)
- 3) 村田康允・刑部正博(2014):植物防疫 68:539~543.
- 4) 中野 亮(2019):同上 73:680~683.
- 5) 刑部正博(2019):同上 73:675~679.
- 6) TANAKA, M. et al. (2016):J. Econ. Entomol. 109:1758~1765.
- 7) 田中雅也ら(2017):植物防疫 71:229~234.



特

集

# 紫外光照射技術を基幹としたイチゴ病害虫防除体系構築 UV-B 照射によるハダニ類の防除メカニズム と環境要因

京都大学大学院農学研究科 おさか 刑 べ 部 まさ 正 ひろ 博

## はじめに

多くのハダニが葉裏にいる理由として、長らく風雨の影響や高温による乾燥を避けるためと考えられてきた。しかし、太陽光に含まれる UV-B のハダニに対する致死効果が 10 年前に見つかり (OHTSUKA and OSAKABE, 2009; 刑部・大塚, 2009), それ以来, 死亡要因や影響のある波長の範囲 (MURATA and OSAKABE, 2014; 村田・刑部, 2014), DNA の損傷とその回復 (MURATA and OSAKABE, 2017 a; 2017 b) 等様々な角度から研究を進めてきた。また, 応用面では新たなハダニ防除手段としての可能性を検討してきた (増井ら, 2013; 2014; TANAKA et al., 2016; 田中ら, 2017)。ハダニの死亡要因や波長等については, 既に本誌にて紹介させていただいた。

平成 26~30 年度までの 5 年間には, 筆者は, 内閣府「戦略的イノベーション創造プログラム (次世代農林水産業創造技術)」「画期的な商品の提供を実現する新たな育種・植物保護技術」「持続可能な農業生産のための新たな総合的植物保護技術の開発」(管理法人: 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 生物系特定産業技術研究支援センター) の「紫外光照射技術を基幹としたイチゴ病害虫の新防除体系の開発 (通称: イチゴ体系化グループ)」において, 紫外線ランプと反射シートの組合せによるハダニ防除法 (UV 法; 佐藤・田中, 2019) のハダニへの致死効果とカブリダニへの影響に関する研究に取り組みさせていただいた。本稿では本プロジェクトの研究成果について, 過去の知見を交えて紹介させていただきたい。

## I 太陽光と UV 法のハダニ致死効果の違い — 一日中照射から夜間照射へ —

前述の記事「紫外光 (UV-B) 照射技術を基盤とした施設イチゴ病害虫防除体系の構築」で佐藤・田中 (2019) が紹介している UV 法での UV-B 照射強度は  $0.12 \text{ W/m}^2$  である。ハダニの死亡率は照射強度に照射時間 (秒) を掛けた積算照射量によって決まる (村田・刑部, 2014) ので, これを毎晩 3 時間照射した場合の日積算照射量は  $1.296 \text{ kJ/m}^2$  となる。反射光では照射強度が低下するため, 田中ら (2017) の実験ではハダニがいる葉裏に UV-B の反射光が当たり易いように畝間と株間を広くとっていたが, それでも葉裏の日積算照射量は  $0.25 \sim 0.58 \text{ kJ/m}^2$  であった (TANAKA et al., 2016)。気象庁のデータ ([https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/uvhp/uvb\\_monthhave\\_tsu.html](https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/uvhp/uvb_monthhave_tsu.html)) によれば, 例えばつくば市における 2018 年の UV-B 日積算照射量の月平均値は, 最低  $5.2 \text{ kJ/m}^2$  (12 月) ~ 最高  $30.1 \text{ kJ/m}^2$  (7 月) であり, UV 法とはくらべものにならないくらい大きい。特に 3~10 月では月平均が  $10 \text{ kJ/m}^2$  を下回ることはほとんどない。

田中ら (2017) の圃場試験で極めて高い防除効果が得られたことからすれば, 太陽光の UV-B をまともに照射されたナミハダニは全滅してもおかしくない。しかし, 筆者らが京都市で 2009~10 年にナミハダニ卵を太陽光に暴露した実験では 4 月には 90% 程度の死亡率が得られたものの, その後は秋に向かって死亡率が低下し, 10 月にはほとんどの卵がふ化した事例も見られた (図-1; SAKAI et al., 2012)。この UV 法と太陽光の間にある大きな殺ダニ効果の違いの背景にあるのが, 光回復である。光回復は微生物から植物, 動物に至る様々な生物で認められる DNA 修復機構である。ただし, 有袋類を除く哺乳類 (人類を含む) は光回復のための酵素 (フォトリパーゼ) を持たないため, UV-B による DNA 損傷の多くは, 光とは関係ないヌクレオシド除去修復などによって修復されていると考えられる。一方で, 一定量の UV-B を照射したハダニの幼虫を暗黒条件下で飼育する

Mechanisms of Spider Mite Control by UV-B Irradiation and Environmental Factors Affecting Control Efficiency. By Masahiro OSAKABE

(キーワード: 紫外光照射, UV-B, ハダニ防除, カブリダニ利用, イチゴ)

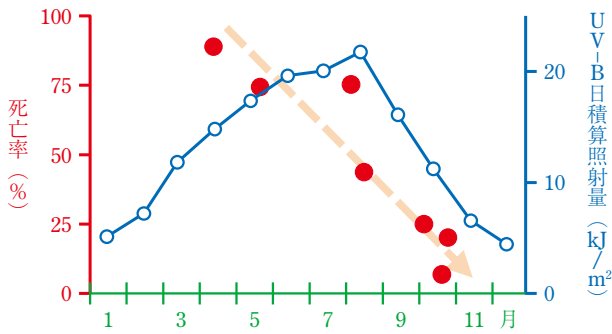


図-1 京都市における UV-B 日積算照射量の月平均値 (2009 年および 10 年の平均; 青) と太陽光に暴露したナミハダニ卵の死亡率 (赤) との関係  
死亡率は UV-B に暴露していない卵のふ化率を用いて補正した値 (SAKAI et al., 2012 より改変)。

と発育の途中で全滅するのに対して、ハロゲンランプでわずか 90 分間だけ光を照射することで 100% 成虫まで発育するといった事例が見られるほど重要な役割を果たしている (MURATA and OSAKABE, 2014)。筆者らは、研究の当初、メロンのハダニ防除のために UV-B ランプを日中に 6 時間点灯するという条件で圃場試験を開始し、導入したハダニの大繁殖という結末を招いたが、その後夜間照射に切り替えることで劇的な殺ダニ効果の向上を体感した (増井ら, 2013; 2014)。最近の研究では、ナミハダニでは UV-B によって生じた DNA 損傷の一つであるシクロブタン型ピリミジンダイマー (CPD) の 90% 程度が可視光を 30 分間照射する間に修復されることがわかった (MURATA and OSAKABE, 2017 a)。

## II ハダニが死ぬタイミング —UV-B と光のタイムラグ効果の発見—

メロンで夜間照射が効果的であることがわかったが、それではなぜ効果的なのだろうか？夜間照射にしても朝になれば太陽光による光回復が起こるはずである。そこには、日の出までの暗い時間が関係していた。実験的に、産まれて 24 時間以内のナミハダニ卵に UV-B を照射してから、可視光を照射するまでの時間を 1 時間ずつ遅くして暗黒の時間 (タイムラグ) を作ってふ化率を比べたところ、タイムラグが長くなるに連れてふ化率はどんどん低下し、4 時間で光回復しなかった卵と同等のふ化率にまで下がる、つまり光回復が機能しなくなることがわかった (MURATA and OSAKABE, 2014; 村田・刑部, 2014)。これが UV 法で日の出から逆算して 3~4 時間前までにハウスでの UV-B 照射を終了することが奨励される根拠であり、ハダニ防除を成功させるための極めて重要なポイントである。

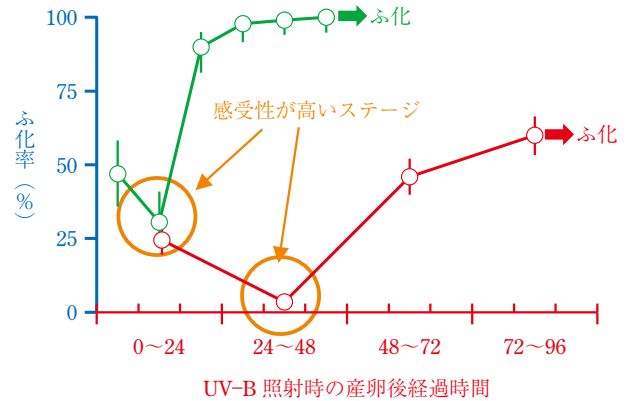


図-2 ナミハダニ (赤) とミヤコカブリダニ (緑) の異なる発育段階の卵に UV-B を照射した場合のふ化率の違い  
ナミハダニは 24 時間ごと、ミヤコカブリダニは 8 時間ごとに卵を採集して UV-B を照射した。UV-B 照射量はナミハダニとミヤコカブリダニでそれぞれ 0.684 および 0.192 kJ/m<sup>2</sup>、飼育温度は 25℃。図中の縦棒は 95% 信頼区間 (MURATA and OSAKABE, 2014 および SUGIOKA et al., 2018 より改変)。

ナミハダニについて、産卵当日 (産卵後 0~24 時間)、1 日後 (24~48 時間)、2 日後、3 日後の卵にそれぞれ UV-B を照射してその後のふ化率を見ると、24~48 時間後の卵が最も感受性が高く、その後ふ化に向かって耐性が付いてくることがわかった (図-2; MURATA and OSAKABE, 2014)。卵期間が短いミヤコカブリダニでも類似のパターンが認められた (図-2; SUGIOKA et al., 2018)。ナミハダニ卵では 24~48 時間後はちょうど幼虫の体が形成される時期に相当する (DEARDEN et al., 2002) ことから、遺伝子発現が盛んなことが予想される。

ふ化したばかりのナミハダニの幼虫にすべての個体を殺すのに十分な量 (2.09 kJ/m<sup>2</sup>) の UV-B を照射した場合でも、多くの幼虫は UV-B 照射後も餌を食べ続けて次の発育ステージである第一静止期に進む (ただし、幼虫期間が長くなることが多い)。しかし、ほとんどの個体が第一静止期のまま、あるいは第一若虫への脱皮に失敗して死亡する (MURATA and OSAKABE, 2017 b)。一方、田中ら (2017) の圃場試験での葉裏の照射量に相当する UV-B (0.29 kJ/m<sup>2</sup>) をふ化幼虫に照射した場合、暗黒条件下で光回復をさせなかった場合には 100% の個体が死亡するが、ハロゲンランプで 90 分間光を当てるだけで 96~100% の個体が成虫まで発育し、UV-B 照射後のタイムラグも全く効果がなかった (MURATA and OSAKABE, 2014)。これらのことから、幼虫の場合もやはり脱皮に向けて遺伝子発現が盛んになる時期に UV-B による生物影響が表れやすいものと考えられる。

4 時間のタイムラグで卵の光回復が無効になる詳しいメカニズムは今のところ不明であるが、UV-B 感受性が



高い遺伝子発現が盛んになるタイミングまでに DNA の損傷を修復しておく必要があるのではないかと推測している。この考えに従えば、前述の幼虫を用いた実験ではふ化直後に UV-B を照射しているが、「もっと遅いタイミングで幼虫に UV-B を照射した場合にタイムラグの効果がどうなるのか?」ということにも興味を持たれる。なお、卵の発育ステージによる UV-B 感受性の変化と 4 時間のタイムラグの効果について、最近になって同様の結果が別の研究グループからも報告されている (YOSHIOKA et al., 2018)。

### III カブリダニへの影響

#### —UV-B との併用の期待—

UV-B の照射によって植物が体内に防御物質を蓄積することが知られているが、それらがハダニに対して防除効果を持つ事例はこれまでに知られていない。このため、ハダニ防除における UV-B の効果は直接的な照射が引き起こす DNA 損傷によるところが大きいと考えられる。しかし、佐藤・田中 (2019) にあるように、春先には葉が茂ってハダニがいる葉裏に UV-B が届き難くなるため、効果を補完する防除法の採用が望まれ、IPM の観点ならびにこれまでの防除実績から特にカブリダニの併用が期待される。

一定量の UV-B を一度に照射してその後の影響を調べる従来の実験方法 (一回照射) ではカブリダニの卵はナミハダニの卵に比べて UV-B に対する耐性が低いという結果が得られている。例えば  $0.28 \text{ kJ/m}^2$  での卵のふ化率は、ナミハダニでは 67%であったのに対して、カブリダニ類では最も高かったチリカブリダニで 50%、ミヤコカブリダニでは 23%、ケナガカブリダニでは 21%であった (TACHI and OSAKABE, 2012)。しかし、ナミハダニの雌成虫が UV-B が照射されている場所からあまり顕著に逃亡しないかもしくは逃亡が遅い (SAKAI and OSAKABE, 2010) のに対して、ミヤコカブリダニの雌成虫は UV-B、なかでも特に有害な波長である  $300 \text{ nm}$  が照射されている場所から、照射されていない場所に迅速に避難する (TACHI and OSAKABE, 2014)。なお、SUZUKI et al. (2013) によれば、ナミハダニも UV-B が照射されていない区域から、照射されている区域への侵入を顕著に避けるようである。これらのことから、陰でハダニが生き残っている場所に都合よくカブリダニが逃げ込んで、ハダニを捕食するのではないかと期待を持っている。

実際に、UV-B ランプを用いた圃場実験でカブリダニが自然発生したとの話もしばしば耳にしている。そこでまず、圃場をまねて恒温器内で夜間 0 時から 3 時の 3 時

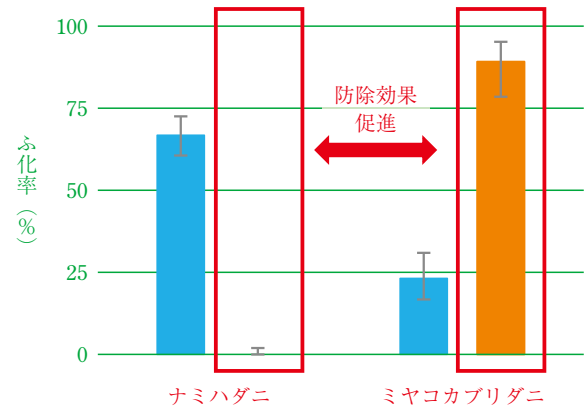


図-3 UV-B の一回照射 (水色;  $0.28 \text{ kJ/m}^2$ ) および毎晩照射 (橙色;  $0.27 \text{ kJ/m}^2/\text{日}$ ) によるナミハダニとミヤコカブリダニの卵のふ化率の違い

飼育温度は  $25^\circ\text{C}$ 。図中の縦棒は 95% 信頼区間 (TACHI and OSAKABE, 2012 および NAKAI et al., 2018 より作図)。

間、毎日 UV-B を照射して朝 8 時から 22 時まで蛍光灯を点灯し (照度約  $7,000 \text{ルクス}$ ; 毎晩照射), ナミハダニとミヤコカブリダニの生存への影響を調べてみた。その結果は、驚いたことに日積算照射量  $0.27 \text{ kJ/m}^2$ ,  $25^\circ\text{C}$  では、すべてのナミハダニ卵が死亡したのに対して、ミヤコカブリダニ卵は 89%がふ化した (NAKAI et al., 2018)。さらに、前述の一回照射の結果と比べると、ナミハダニではふ化率が顕著に低下し、ミヤコカブリダニでは顕著に上昇している (図-3)。現在行っている同様の実験においても、同じ照射量でのふ化率がナミハダニ 5%に対してミヤコカブリダニ 69%となり、やはり明らかな逆転現象が認められる (未発表)。一回照射と毎晩照射でハダニとカブリダニの UV-B 耐性が逆転する詳しいメカニズムは今後の研究課題となるが、防除技術の併用による防除効率の向上という観点からすれば、カブリダニの併用は現時点でも大いに期待が持てる。

### IV 温度の効果

#### —冬季の葉焼けの緩和を考える—

冬季における葉焼けの発生を避けるためのシンプルな解決策は UV-B 照射量を減らすことである。UV-B による生物への影響に対する温度の効果については、DNA 損傷が起こる速さやそれを修復する光回復酵素の活性、発育速度、活性酸素の発生とその影響等様々な要因が考えられ、実に複雑である。実際に、生物によって高温でダメージが大きい場合と低温でダメージが大きい場合の両方が報告されている。NAKAI et al. (2018) は、 $25^\circ\text{C}$  でナミハダニ卵のふ化率が 71%であった UV-B 照射量  $0.13 \text{ kJ/m}^2$  を用いて  $20^\circ\text{C}$  に気温を下げた場合の影響を

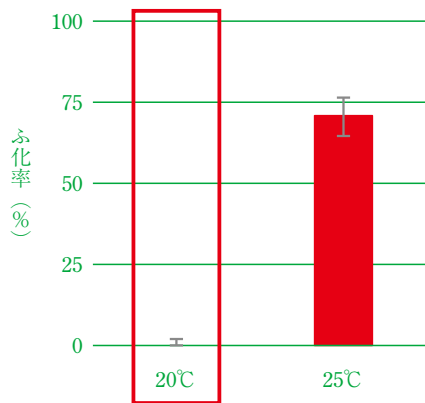


図-4 0.13 kJ/m<sup>2</sup> の UV-B を照射したナミハダニ卵のふ化率に対する気温の影響  
図中の縦棒は 95% 信頼区間 (NAKAI et al., 2018 より作図)。

調べた。その結果、20°Cでは卵のふ化は見られなかった(図-4)。前述のように、幼虫に対しては UV-B と可視光のタイムラグによる光回復の抑制が望めないことから、UV 法による抑制効果は主に殺卵によるものと考えられる。一方、0.27 kJ/m<sup>2</sup> で幼虫から成虫への発育に対する温度の影響を調べたところ、25°Cでの発育率が 85% と高かったのに対して、20°Cでは 37% まで低下した (NAKAI et al., 2018)。前述の 20°Cでの殺卵効果を考慮すれば、気温の低い冬季には葉裏への照射量を 0.1 kJ/m<sup>2</sup> あるいはそれ以下まで減らすことが可能と推測され、さらに幼虫の発育に対しても一定の抑制効果が期待される。

なお、NAKAI et al. (2018) の実験では、ミヤコカブリダニ卵では UV-B 照射量 0.27 kJ/m<sup>2</sup> で 20°Cに気温を下げた場合でもふ化率が 94% と高く維持されたため、カブリダニには低温の影響はないかのように見えた。しかし、その後の実験により、ナミハダニ卵とカブリダニ卵のいずれも同様に、低温によってふ化率が低下することがわかった (未発表)。また、この実験ではナミハダニ卵は 25°Cでも UV-B 照射量 0.13 kJ/m<sup>2</sup> でほとんどの卵が死亡している (未発表)。UV-B 照射量とふ化率の関係を 25°Cの温度条件下でいねいに調べてみたところ、ナミハダニ卵では 0.1 kJ/m<sup>2</sup> 前後で、またミヤコカブリダニ卵では 0.27~0.3 kJ/m<sup>2</sup> の間で急激にふ化率が低下することがわかった (未発表)。温度の影響を調べる際には、このような急激な変化を伴う範囲内の照射量を用いざるを得ないことから、ほんのわずかな設定上の違いによって生存率に影響が出るのかも知れない。

## V 実用的防除体系—IPM を目指して—

最近の実験結果も含めてこれまでにわかって来た重要

な点をまとめると、

- ①一回照射ではハダニのほうが UV-B 耐性が高いのに対し、UV 法ではカブリダニのほうが UV-B 耐性が高い
- ②高温より低温のほうがハダニおよびカブリダニに対する UV-B の致死効果が高い
- ③ハダニ卵がほとんど死亡し、カブリダニ卵はほとんど生存する理想的な UV-B 照射量が存在する

の 3 点が挙げられる。UV-B とカブリダニを同時に用いる場合は③が重要であり、これまでの経緯から、平均気温 25°C では葉裏で 0.15~0.2 kJ/m<sup>2</sup> が理想的な日積算 UV-B 照射量の範囲と思われる (未発表)。一方、気温の影響から、この理想的な照射量の範囲は低温時には少ないほうへ、高温時には多いほうへシフトすると考えられる。したがって、冬季に UV-B 照射量を削減することは、葉焼けの予防だけでなく、カブリダニの保護にもつながるものと考えられる。逆に、気温が上昇する 5 月には、UV-B 照射量を増加させることで、カブリダニを保護しながら UV-B による防除効果の増強も可能と考えられる。実際に積算照射量を変更する場合は、照射時間の調整による方法が現実的である。

品種によっては反射シートの利用が難しい場合もあるが、TANAKA et al. (2016) では反射シートがない場合でも UV-B 照射によってコントロール (UV-B 無照射) の半分程度にハダニ密度が抑制されていた。カブリダニを用いた生物的防除法の成功のカギはハダニを過度に発生させないことにあるため、この場合でもカブリダニの防除効果を高める効果があるものと期待される。従来うどん粉病に対する防除効果を考慮すれば、UV-B 照射をやはりやる意味があるものと考えられる。

## おわりに

KOZEOS et al. (2017) によれば、ナミハダニ卵と 4 種のカブリダニ卵に対して、UV-B だけを連続照射した場合にはカブリダニ卵のほうが高いふ化率を示すが、UV-B と同時に白色光を照射して光回復が可能な状況にすると逆にナミハダニのふ化率がカブリダニを上回るようになる。研究の当初に日中の UV-B 照射の試みが失敗に終わった要因もこの辺りにあるのかも知れない。一方で、一回照射後にカブリダニ卵に可視光を照射すると顕著な光回復を示すことも確認している (NAKAI et al., 2018; SUGIOKA et al., 2018)。UV 法は葉裏とはいえ、太陽光 UV-B が降り注ぐ野外で問題なく生活しているハダニをそれより少ない照射量の UV-B をもって防除するものであり、あるはずのない夜間に照射することで、



ハダニの太陽光適応の隙をうまく突くことができたのかも知れない。

オゾン層の崩壊による太陽光 UV-B の増加が生物や生態系へ及ぼす影響は様々な面で問題視されており、その中では温暖化の影響についても議論があるところである。今回紹介した気温と UV-B によるダメージとの関係は、日積算照射量が近い春と秋の太陽光 UV-B のナミハダニ卵に対するふ化率への影響が顕著に異なる(図-1) こととも関係しているかも知れない。気象庁の気温データからすれば日本における温暖化の影響は特に春から初夏の気温上昇となって表れているようであり、今後、ハダニの発生量やそのパターンへの影響が気になっている。UV 法でこれまでに得られてきた知見やこれから得られる知見が、温暖化による影響の理解においても活用されることを期待したい。また、薬剤抵抗性管理の点でも、ハダニの薬剤抵抗性発達が著しいイチゴの施設栽培における IPM の確立は、殺ダニ剤の効力の維持にも貢献できるのではないかと期待している。

## 引用文献

- 1) DEARDEN, P. K. et al. (2002): *Development* **129**: 5461~5472.
- 2) KOVEOS, D. S. et al. (2017): *Exp. Appl. Acarol.* **71**: 35~46.
- 3) 増井伸一ら (2013): 関西病虫研報 **55**: 37~41.
- 4) ————ら (2014): 植物防疫 **68**: 544~548.
- 5) MURATA, Y. and M. OSAKABE (2014): *Exp. Appl. Acarol.* **63**: 253~265.
- 6) 村田康允・刑部正博 (2014): 植物防疫 **68**: 539~543.
- 7) MURATA, Y. and M. OSAKABE (2017 a): *Exp. Appl. Acarol.* **71**: 15~34.
- 8) ———— (2017 b): *Environ. Entomol.* **46**: 1448~1455.
- 9) NAKAI, K. et al. (2018): *Environ. Entomol.* **47**: 140~147.
- 10) OHTSUKA, K. and M. OSAKABE (2009): *Environ. Entomol.* **38**: 920~929.
- 11) 刑部正博・大塚恵子 (2009): 植物防疫 **63**: 583~586.
- 12) SAKAI, Y. and M. OSAKABE (2010): *Photochem. Photobiol.* **86**: 925~932.
- 13) ———— et al. (2012): *Appl. Entomol. Zool.* **47**: 67~73.
- 14) 佐藤 衛・田中雅也 (2019): 植物防疫 **73**: 670~674.
- 15) SUGIOKA, N. et al. (2018): *Front. Ecol. Evol.* **6**: 133.
- 16) SUZUKI, T. et al. (2013): *J. Exp. Biol.* **216**: 977~983.
- 17) TACHI, F. and M. OSAKABE (2012): *Naturwissenschaften* **99**: 1031~1038.
- 18) ———— (2014): *Environ. Entomol.* **43**: 787~794.
- 19) TANAKA, M. et al. (2016): *J. Econ. Entomol.* **109**: 1758~1765.
- 20) 田中雅也ら (2017): 植物防疫 **71**: 229~234.
- 21) YOSHIOKA, Y. et al. (2018): *Exp. Appl. Acarol.* **75**: 155~166.

## 農林水産省プレスリリース (2019.9.7~2019.10.4)

農林水産省プレスリリースから、病害虫関連の情報を紹介します。

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

- ◆ 「令和元年度病害虫発生予察第7号」の発表について (19/9/11) /syouan/syokubo/190911.html
- ◆ 令和元年度イノベーション創出強化研究推進事業のうち緊急対応課題(第1回)の採択課題決定について

(19/9/26) (maff.go.jp の後)/docs/press/190926.html  
\* ツマジロクサヨトウの効率的な発生予察と防除対策の確立に向けた緊急研究

特

集

# 紫外光照射技術を基幹としたイチゴ病害虫防除体系構築 イチゴ施設栽培における超音波を活用した 防蛾技術

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 果樹茶業研究部門 なか の 野 りょう 亮

## はじめに

夜行性の昆虫の主要な天敵と考えられる食虫コウモリは、エコーロケーション（反響定位）により餌となる昆虫類に定位したのち捕食する。その際にパルス状に発せられる超音波（ヒトには聞こえない、周波数がおおよそ20 kHz以上の高い音）は、昆虫類にとってコウモリの存在や接近を知らせる合図にもなりうる。チョウ目昆虫のうち、主たる農業害虫を含むヤガ類、トモエガ類（ヒトリガ、ドクガ等）、メイガ類、ツトガ類、シヤクガ類等は、超音波を検知できる鼓膜器官である耳を対抗手段の一つとして進化させ、コウモリからの捕食を回避するようになった。チョウ目昆虫の祖先が現在の上科に分かれて以降の5,000万～6,500万年前に超音波を発する食虫コウモリが地球上に誕生したと推測されている。そのため、チョウ目昆虫は耳の位置・形態を上科ごとに異にする場合があるが、基本的な機能と役割は収斂している。すなわち、コウモリの超音波を聞くと、音源から遠くのほうへ逃げる、螺旋状に飛ぶ、飛翔を停止して地面へ落下・ダイブするなどの忌避行動を示す。このような行動反応は合成超音波によって再現可能であり、チョウ目昆虫で農業害虫となる種が農業生産現場などに飛来・侵入することを未然に防ぐ技術への応用が期待されている。

過去おおむね60年で、ヤガ科のタバコガ類とウワバ類、トモエガ科のエグリバ類（旧ヤガ科）、メイガ科のノシメマダラメイガ、ツトガ科のアワノメイガ類を対象として、合成超音波を利用した防除に向けた行動試験および圃場試験がなされてきた。その中で、最も長期的かつ農業生産現場に即して防除効果を検証したのは小池（2008）による研究である。中山間地帯では、吸汁性害虫であるヒメエグリバ、アカエグリバ、アケビコノハ等の成虫がモモ果実などに口吻を刺入することで果実の腐敗を引き起こす被害が多い傾向にある。そこで、これらのチョウ目害虫と同所的に生息し、有力な捕食者と想定

される食虫性のヤマコウモリが餌の探索と定位の際に発する超音波パルスに着目した。この模倣した超音波を発するスピーカをモモの果樹園の周囲に設置することで、食害率を無設置区比で最大1/30に低減させることに成功している。スピーカを5m前後の間隔で密に設置した条件下での試験成績であり、初期投資費用の削減が進めば普及の可能性が大いに見込まれる。チョウ目害虫の超音波受容と音響防除の歴史的背景に関する概説は、中野（2012）を参照されたい。

多種多様なチョウ目害虫（ただし、耳を持たないハマキガ類、シンクイガ類、ハモグリガ類、ボクトウガ類、シロチョウ類等は除く）が超音波を忌避するわけであるが、本稿では内閣府「戦略的イノベーション創造プログラム（次世代農林水産業創造技術）」「持続可能な農業生産のための新たな総合的植物保護技術の開発」（管理人：国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 生物系特定産業技術研究支援センター）のうち、「紫外光照射技術を基幹としたイチゴ病害虫の新防除体系の開発」（詳細は佐藤・田中（2019）を参照）にて実施した、イチゴ施設栽培におけるチョウ目害虫のハスモンヨトウによる被害を合成超音波で防ぐ技術を紹介する。当事業では、JRCS株式会社および東北学院大学が共同で試作した、有機圧電フィルムを超音波の発信素材に用いた新規の超音波発生装置を圃場試験に使用した。JRCS株式会社の伊藤彰夫氏と佐藤政博氏、東北学院大学の松尾行雄氏、ならびに圃場試験地を快く提供いただいた「こころファーム」の佐藤武史氏、調査・試験に協力いただいた国立研究開発法人 森林研究・整備機構、森林総合研究所の高梨琢磨氏と向井裕美氏にこの場をお借りして厚く御礼を申し上げる。

## I イチゴとチョウ目害虫

日本国内でのイチゴ施設栽培は土耕促成栽培と高設促成栽培に大別される。高設促成栽培が普及しつつあるものの、一大産地である栃木県では土耕促成栽培が戸数および栽培面積の点でも主流であり、施設内の換気を促すために側窓にネットを展張しない圃場が多々見受けられ

Repellent Ultrasound for Moth Pests in the Greenhouse Strawberry Cultivation. By Ryo NAKANO

（キーワード：害虫防除、忌避、ヤガ、ハスモンヨトウ、コウモリ）



る。このような圃場では、秋口から晩秋のころまで側窓は夜間も開放されており、しばしばハスモンヨトウ(図-1)に代表されるチョウ目害虫が側窓から侵入する。施設内に飛来するハスモンヨトウの多くは交尾を終えたメス成虫で、寄主植物の一つであるイチゴのみならず施設内側にあるパイプ等の資材にも毛で覆われた卵塊を産みつける(図-1)。そこからふ化した幼虫は、糸を垂らしてイチゴへ降り立つほか、風に乗って周囲のイチゴへ到達して食害を始める。イチゴの葉に産みつけられた卵塊からふ化した場合は、若齢幼虫のうち集団で加害することで白変葉と化すことがある。その後、成長した幼虫は分散を始め、摂食量を増加させる(図-1)。



図-1 イチゴ栽培における主なチョウ目害虫、ハスモンヨトウ  
 左上はイチゴ葉裏の卵塊とふ化幼虫の集団、左下はイチゴ葉を食害する終齢幼虫(農研機構提供)、右はメス成虫。

栃木県および近隣地域におけるハスモンヨトウの発生量は、7月下旬ころから増え始め、11月上旬まで高水準となるのが一般的である。促成イチゴの栽培暦と照らし合わせると、育苗したイチゴ苗を本圃に定植する9月から、少なくとも夜間に側窓を閉鎖する10月下旬~11月上旬の期間は、ハスモンヨトウの発生量が最も多い時期とおよそ一致することになる。地域によっては、ハスモンヨトウと似た発生消長を示すオオタバコガも側窓や天窓から栽培施設内に侵入し、幼虫が花蕾および新芽を食害することがある。圃場周辺の環境などによるチョウ目害虫の発生量の多少によるが、本圃への定植以降、概して2~4回の殺虫剤を散布してチョウ目害虫を防除する。

## II 有機圧電フィルムを利用した超音波スピーカ

軽量・柔軟、かつ広帯域の周波数領域からなる超音波を効率よく発生させることができる有機圧電フィルムの特長を活かし、円柱型の超音波スピーカが開発されている(図-2)(佐藤ら, 2017; 松尾, 2018 a)。形状を円柱型とすることにより、フィルム面から垂直方向に円柱の周囲360度の方位で、上下10~20度の広がりを持って超音波を照射可能である。したがって、イチゴ栽培施設の側窓の高さに合わせて円柱型スピーカの長軸が鉛直方向となるように設置し、開放された側窓に向けて施設内から広範囲に超音波を照射することで、施設全体を水平方向に超音波でカバー可能である。単棟ハウスが横方向に並列したイチゴ栽培施設での設置例と超音波の伝播状況

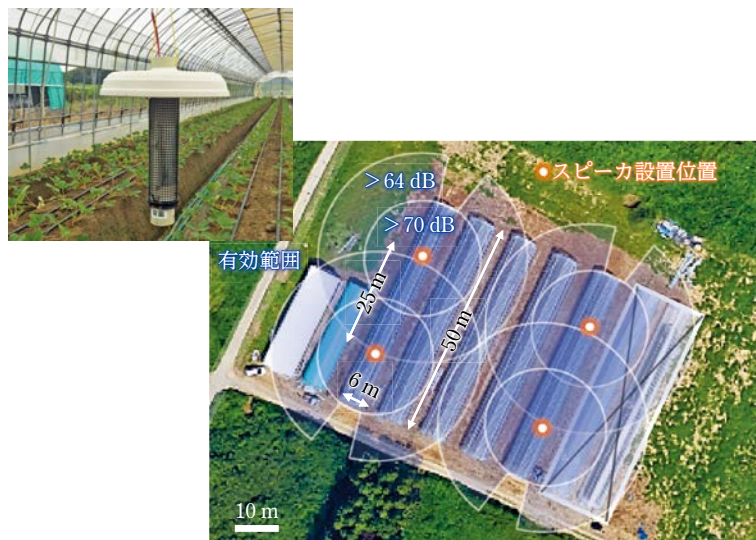


図-2 有機圧電フィルムを利用した円柱型の超音波スピーカ(左上)とイチゴ栽培施設(単棟5ハウス)でのスピーカ4台の設置例(右下; 俯瞰図)  
 右下図の白色の丸はスピーカの設置位置(ハウス内)、薄紫色の円はハスモンヨトウの忌避行動を誘起する超音波の音圧分布例を表す。俯瞰図にある右端2列のハウス(バツ印を記載)、および左端の白色と水色の建物は本圃ではなく、イチゴは定植されていない。

を図-2に示す。音圧が64 dB peSPL (re. 20  $\mu$ Pa) 以上となる超音波が到達するのは、スピーカを中心としたおよそ25 mの円となる。

有機圧電フィルムには耐候性のコーティング処理が施されているものの、長期間の紫外線の暴露により物理的にフィルムが劣化する。そのため、直射日光の当たる環境で使用する場合には、1年を目途に有機圧電フィルムを交換したほうがよい。有機圧電フィルムは軟らかい素材で加工がしやすいことから、水平方向だけでなく上下方向にも同様に全方位に向けて超音波を照射可能な形状への改良の余地が残されている。複数の円柱型スピーカや反射材の組合せ等により、斜め上方向にも超音波を照射は可能であるが、チョウ目害虫の種によっては真上方向から圃場へ飛来するケースも想定される。露地栽培で円柱型スピーカを使用する際は、害虫種の飛来特性に適合した設置方法の工夫が必要である。

### III 生産圃場での超音波による防除効果

室内にてハスモンヨトウの野外個体群を用い、その飛翔を効率的に阻害する超音波パルスの時間構造（パルスの持続時間および間隔の長さおよび反復率）と、飛翔阻害を誘起する音の大きさを精査した。広域の周波数成分を含む超音波を飛翔中のハスモンヨトウに提示したところ、パルス長が5ミリ秒前後、反復率が10~20Hz（1秒間に10~20パルス）となる超音波による飛翔阻害の効果が高かった（松尾, 2018 b; 松尾・中野, 2019）。また、提示された超音波パルスに対して忌避行動を示しはじめる音圧は、ガの鼓膜の位置で少なくとも64 dB peSPLであることがわかった。そこで、このような音響特性を持った超音波を上述の円柱型の超音波スピーカから照射できるように設計した超音波発生装置を用いて圃場試験を実施した。

イチゴ栽培施設（土耕促成栽培、品種‘とちおとめ’）の単棟5ハウスを本圃とする圃場のうち、図-2に示すように、両端のハウスに超音波スピーカを2台ずつ、側窓の高さに合わせて天井部のパイプから吊るした。9月上旬~下旬の本圃への定植直後またはそれ以降に超音波スピーカおよび発信に必要な装置類を設置し、ハスモンヨトウの活動時間帯を含む日没直前から日の出直後まで継続して超音波パルスを照射した。2016~18年の3か年にかけて圃場試験を行い、2016年のみ超音波発生装置を設置しない条件下で、施設内に産みつけられたハスモンヨトウの卵塊数を1~2週間隔で計測した。超音波発生装置の設置の有無による卵塊数の差異は明白であり、無設置であった2016年は5週間で185卵塊/10aの

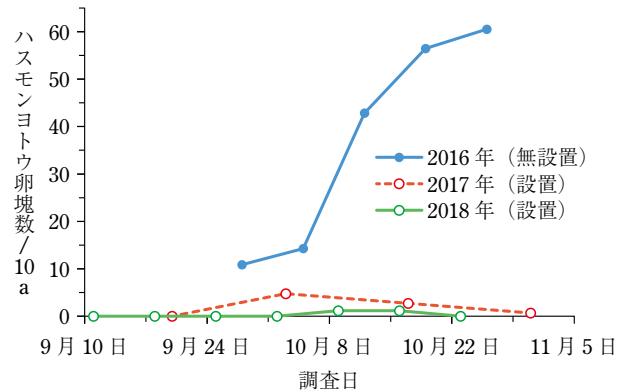


図-3 土耕促成栽培イチゴ（茨城県つくば市）におけるハスモンヨトウの卵塊数の推移  
上から、同一圃場において超音波発生装置を設置しなかった2016年度（青色実線）、設置をした2017年度（白抜き赤色破線）および2018年度（白抜き緑色実線）の10a当たりの卵塊数を表す。

ところ、設置をした2017年および2018年は6週間でそれぞれ8.2卵塊/10aと2.3卵塊/10aとなった（図-3）。

卵塊調査と並行して、超音波の届かない地点に設置したフェロモントラップへの誘殺量から同地域における発生の多寡に目を向けると、2016年と2017年は同程度の発生量であった一方、卵塊数が最少となった2018年は発生量が過去2年の10倍ほど多かったことを付け加えておく。また、ハスモンヨトウ対策で用いる殺虫剤の散布回数は、本圃への定植から側窓を閉鎖するまで例年3~4回であるが、超音波発生装置を設置することで同時期の殺虫剤散布回数は1~2回へと削減することができた。超音波発生装置の稼働時期は、授粉のためにミツバチをハウス内に放飼しているが、装置の稼働によらずイチゴの着果数や果実形態に異常は見られなかった。したがって、合成超音波によるミツバチの授粉を含む活動、イチゴの受粉および生育に悪影響はないものと思われる。

### おわりに

イチゴ施設栽培のチョウ目害虫であるハスモンヨトウの防除に、忌避効果のある合成超音波を側窓の外側に向けて照射することが有効であることを概説した。圃場試験に用いた超音波スピーカはあくまで栽培施設の側窓から飛来・侵入するチョウ目害虫に対して開発されたものであり、露地栽培を含む他の作目や他のチョウ目害虫種にも同様の防除効果を発揮するか否かは圃場試験にて精査の段階にある。実験室内に限定して言えば、ハスモンヨトウ以外ではオオタバコガやシロイチモジヨトウ、カブラヤガ等のヤガ類に加え、ノシメダグラメイガ（メイガ類）やツトガ類の飛翔を合成超音波で阻害可能である



ことを確認している (NAKANO et al., 2013 ; 2015)。しかしながら、前述したように害虫種 (場合によっては時期) によって飛翔する高さが異なっているようであり、水平方向への超音波の照射に特化した円柱型の超音波スピーカを無工夫に設置しても、上方向からの飛来を高い割合で抑制するのは困難であると予想される。さらに、風に乗って飛んでくる場合には、圃場への侵入を超音波のみで防ぐのは不可能であろう。化学殺虫剤や天敵製剤を含む農薬、土着天敵の利用と圃場内外の植生管理、交信かく乱剤や人工光等を組合せた総合的な害虫管理の重要性が提唱・推奨されている。この総合的な害虫管理におい

て、超音波を活用したチョウ目害虫の防除技術が害虫防除に要する生産者の経済的・時間的・肉体的・精神的コストの省力化に貢献することを望む。

#### 引用文献

- 1) 小池 明 (2008): 植物防疫 **62**: 39~42.
- 2) 松尾行雄 (2018 a): 日本音響学会講演論文集 (秋): 49~50.
- 3) ——— (2018 b): 特許第 6353503 号.
- 4) ———・中野 亮 (2019): 特開 2019-41669.
- 5) 中野 亮 (2012): 植物防疫 **66**: 300~303.
- 6) NAKANO, R. et al. (2013): Sci. Rep. **3**: 2003.
- 7) ——— et al. (2015): J. Insect Physiol. **83**: 15~21.
- 8) 佐藤 衛・田中雅也 (2019): 植物防疫 **73**: 670~674.
- 9) 佐藤政博ら (2017): 特開 2017-79734.



## 発生予察情報・特殊報 (2019.9.1~9.30)

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/>) でご確認下さい。

- 飼料用トウモロコシ：ツマジロクサヨトウ (愛媛県：初) 9/2
- 飼料用トウモロコシ：ツマジロクサヨトウ (福島県：初) 9/3
- サトウキビ, ソルガム：ツマジロクサヨトウ (沖縄県：サトウキビは初) 9/4
- 飼料用トウモロコシ：ツマジロクサヨトウ (神奈川県：初) 9/5
- ソルガム：ツマジロクサヨトウ (三重県：初) 9/6
- トルコギキョウ：斑点病 (鳥取県：初) 9/6
- スイートコーン：ツマジロクサヨトウ (広島県：初) 9/11
- ネギ：ネギハモグリバエ別系統 (千葉県：初) 9/12
- ナス：クロテンコナカイガラムシ (大阪府：初) 9/13
- ユリ：アイリス黄斑ウイルス (新潟県：初) 9/24
- キウイフルーツ：キクビスカシバ (栃木県：初) 9/26
- ナス, トマト：タバコノミハムシ (京都府：初) 9/27

# 特集

## 紫外光照射技術を基幹としたイチゴ病害虫防除体系構築 植物を元気にして病気を防ぐ —植物活力剤によるイチゴの病害抑制技術—

岡山県農林水産総合センター 生物科学研究所 なるさか 鳴坂 よしひろ 義弘・なるさか 鳴坂 まり 真理  
 名古屋大学大学院 生命農学研究科 よしおか 吉岡 ひろふみ 博文・よしおか 吉岡 みき 美樹  
 片倉コープアグリ株式会社 筑波総合研究所 たにぐち 谷口 しんじ 伸治・いしかわ 石川 みゆき 美友紀・  
きおか 紀岡 ゆうぞう 雄三・のぐち 野口 かつのり 勝憲

### はじめに

作物の病害虫防除は殺菌および殺虫性の化学合成農薬に大きく依存しているが、国民の環境保全意識の高まりから環境低負荷型の病害防除技術の開発が求められている。一方で、病害虫の薬剤抵抗性の発達が深刻化しており、この状況を放置すれば使用できる薬剤の枯渇が懸念される。この問題を解決するため、従来の化学合成農薬に依らない防除法の開発が求められている。

本稿では、内閣府「戦略的イノベーション創造プログラム（次世代農林水産業創造技術）」「画期的な商品の提供を実現する新たな育種・植物保護技術」「持続可能な農業生産のための新たな総合的植物保護技術の開発」（管理法人：農研機構生研支援センター）のうち、「紫外光照射技術を基幹としたイチゴ病害虫の新防除体系の開発（通称：イチゴ体系化グループ）（詳細は佐藤・田中（2019）を参照）」と連携して、イチゴ炭疽病およびイチゴうどんこ病の病害抑制を試みたので報告する。

なお、本成果は「紫外光照射を基幹としたイチゴの病害虫防除マニュアル（技術編）」（国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構中央農業研究センター発行、2019）に記載しているので参照していただきたい。

### I 植物活力剤の開発

近年、ヒトの免疫と同様に、植物も類似した免疫機構を有することが明らかになってきており、植物自身が備えている病気に対する“抵抗力”を強化することで病気

Plant Disease Control Technology in Strawberry Cultivation by Utilizing Plant Activator. By Yoshihiro NARUSAKA, Mari NARUSAKA, Hirofumi YOSHIOKA, Miki YOSHIOKA, Shinji TANIGUCHI, Miyuki ISHIKAWA, Yuzou KIOKA and Katsunori NOGUCHI

（キーワード：イチゴ炭疽病，イチゴうどんこ病，植物免疫，UV-B）

にかかりにくくなり、病害防除による生産量損失の抑制と、従来の殺菌性農薬の使用量を大幅に削減することが期待されている。これにより、環境への負荷を軽減しつつ、植物を通じた循環型社会の構築が期待できる。

植物が病気に感染すると防御のため全身抵抗性を獲得し、再度新たな病原菌が攻撃しても感染しないということが知られている。そこで、植物に最初の刺激として抵抗性を誘導する資材を散布することで抵抗性を高め、新たな病原菌の攻撃を防ぐという考え方（植物の免疫，誘導抵抗性）に基づいて抵抗性誘導剤が開発されてきた。

病害ストレスに対する植物の抵抗力を高める資材はそれほど新しいものではなく、代表的な抵抗性誘導剤としてプロベナゾール（商品名：オリゼメート）が知られており、約40年前にイネの病害に対する殺菌剤として上市された。本剤は、病原菌に対する直接的な殺菌効果はないが、農薬取締法では殺菌剤として分類されている。プロベナゾールの上市から長い年月が経っており、また、植物の免疫力の向上を謳った資材も増えていることから、抵抗性誘導剤の作用機作に見合ったカテゴリーを作るべき時期なのではないかと考える。

一方で、抵抗性誘導剤は植物に生育障害などの負の効果を誘発しやすく、かつ、その薬効は植物の生理状態に依存しやすいという問題がある。過度な免疫力の向上は、植物体内のエネルギーにおける栄養生長と防御応答のトレードオフにより、植物の生育阻害を引き起こすことが知られており、抵抗性誘導剤の開発を困難にしている。このような状況から、新たな発想による病害防除技術の普及や資材の開発が求められている（鳴坂・鳴坂，2019）。私たちは、上述のトレードオフを打破する抵抗性誘導資材（農薬または特定防除資材等）として、新規の植物活力剤の開発を試みた。

国民の安心、安全な農産物生産に対する要望から、安



## 「植物活力剤」の開発

微量元素, 有機成分, 食品添加物等  
植物の健全な生育を助ける原料を厳選



安心安全な成分を用いてカクテルを作製



植物の活力を高めて健全に育成させ、  
環境にやさしい「植物活力剤」の完成

植物活力剤は植物の栄養状態を改善し、  
植物の活力を高める資材です。

図-1 植物活力剤の開発の概略

心、安全な原材料を用いた病害防除資材の開発が試みられている。これまでに様々な資材で植物の活力を高めて病気にかかりにくい植物体を作る効果が知られている。例えば、ビール酵母から抽出されたグルカン（パワーコウボ）(NARUSAKA et al., 2015)、シイタケの菌糸体抽出物（レンテミン液剤）等、食品由来成分が農薬として開発されている。私たちは、肥料の構成要素、食品・サプリメント由来の資材、アミノ酸、食品製造過程で産出される副生物等を中心に成分を検討し、植物の栄養生長を阻害せず、かつ、植物の免疫力を高める新規“植物活力剤”を開発した（図-1）。

## II MAP キナーゼバイオセンサーによる 病害抵抗性誘導評価

植物と病原菌は、激しい攻防戦を繰り広げた結果、階層的な免疫機構を形成するに至ったと考えられる。植物の免疫反応には、病原菌分子パターン（pathogen-associated molecular patterns : PAMPs）とよばれる病原菌の基本的な構成成分を原形質膜に存在するパターン受容体で認識して引き起こされる PTI（pattern-triggered immunity）と、病原菌が病原性因子として分泌したエフェクターをその受容体が認識することで誘導される ETI（effector-triggered immunity）が存在する。両者は、ともに MAP キナーゼ（mitogen-activated protein kinase, MAPK）の活性化を伴って免疫応答を発揮していることが明らかになってきた。MAP キナーゼを活性化させた植物には、活物寄生菌（Biotroph）のみならず、殺生菌（Necrotroph）も感染できないことが示されている（YAMAMIZO et al., 2006）。この結果は、植物ホルモンが重要な抵抗性誘導因子であることに変わりはないが、MAP キナーゼを活性化させることによって様々な病原菌を排除できることを示している。

私たちは植物免疫 MAP キナーゼ活性をモニターするバイオセンサーの開発に世界で初めて成功した。本バイオセンサーは、2種の蛍光タンパク質（青緑色蛍光タンパク質 CFP, 黄色蛍光タンパク質 YFP）、リン酸化セリン認識ドメイン（Pin1 WW）、MAP キナーゼの基質である WRKY で構成される。WRKY が MAP キナーゼによってリン酸化されると、WW ドメインがそれに結合することで、センサータンパク質の構造が変化し、蛍光タンパク質が近接する。この状態で蛍光共鳴エネルギー移動（Fluorescence Resonance Energy Transfer : FRET）が起こり、CFP を励起する波長の光で YFP 蛍光を発するようにデザインされており、異なる波長の蛍光として観察される（図-2）。シグナルペプチドを付加することで細胞質基質に局在するバイオセンサーを作製した。このように、良好な MAP キナーゼセンサーの開発に成功した。

MAP キナーゼセンサー遺伝子をベンサミアータタバコに導入し、植物活力剤を注入した後に FRET を蛍光顕微鏡観察した結果、植物活力剤を処理した区では FRET 蛍光が認められた（図-2）。本結果は、植物活力剤が植物の免疫力を強く活性化することを示している。

## III イチゴの抵抗性誘導

植物活力剤のイチゴにおける作用機作を明らかにするため、各種抵抗性誘導剤を処理したイチゴにおけるマイクロアレイ解析を行った（鳴坂・鳴坂, 2018）。最初に、イチゴのゲノム情報をもとに独自にイチゴのマイクロアレイを構築した（アジレント社製）。次いで、イチゴ（品種：‘女峰’）に植物活力剤、既存の抵抗性誘導剤でありサリチル酸シグナル伝達経路を活性化させるアシベンゾラル S-メチルおよび、エチレンシグナル伝達経路を活性化させるエテフォンを処理し、これら処理によって発現変動する遺伝子群の網羅的な発現プロファイルを得た。植物活力剤処理により発現誘導される遺伝子群を対象に、各処理区に対する相関解析を行った結果、アシベンゾラル S-メチルおよびエテフォン処理それぞれにより誘導される遺伝子群との相関が強かった（図-3）。このことは、植物活力剤は既存剤とは異なり、複数の防御シグナル伝達系を強く活性化することを示している。

イチゴのランナーから伸びた苗を採苗して本葉 2.5 葉で切り離し、3 日以上順化した後、植物活力剤（0.1% アプローチ BI 添加）を茎葉散布した。散布から 3 日後、イチゴ炭疽病菌 *Colletotrichum fructicola* ( $5 \times 10^6$  孢子/ml) を噴霧接種した。接種から 6 日後、病徴を調査した。また、コントロールとして、展着剤（0.1% アプローチ BI

### 植物活力剤は MAPK を活性化する

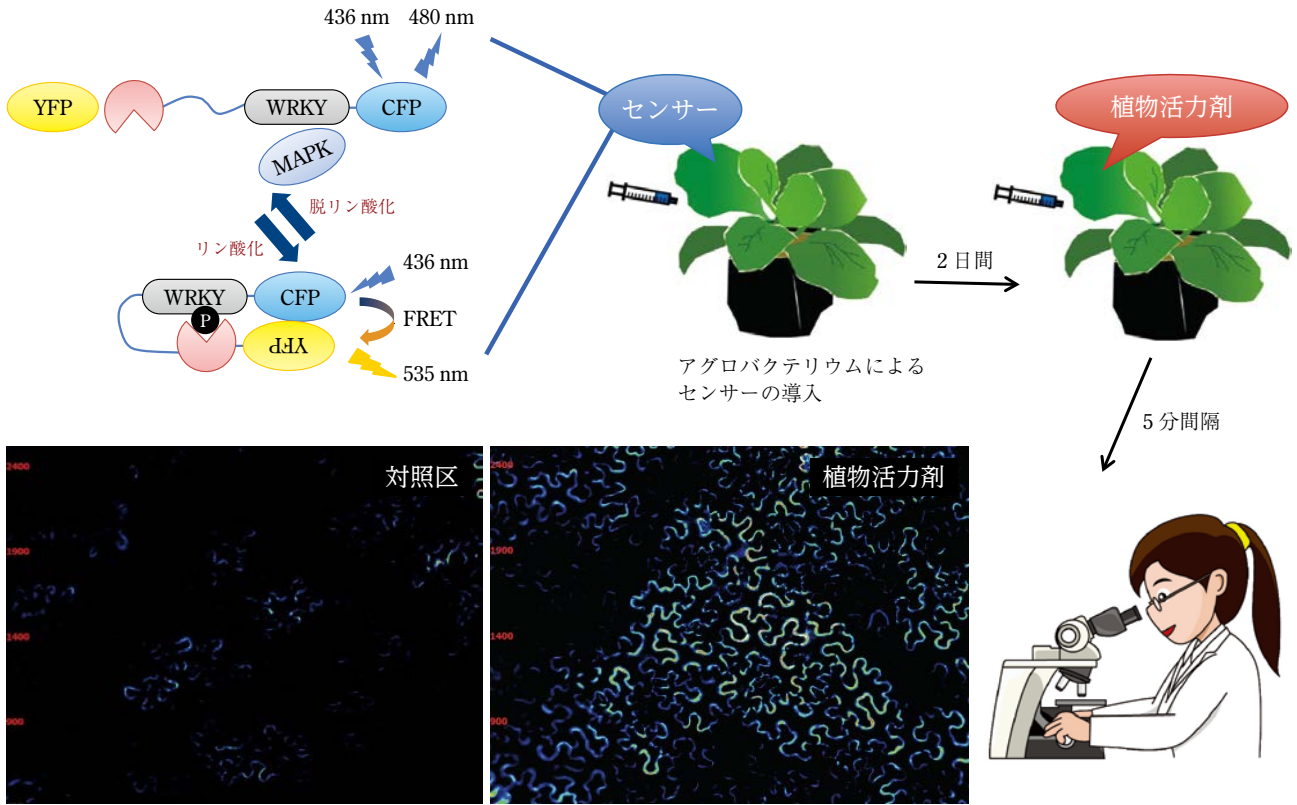


図-2 MAP キナーゼバイオセンサーによる植物活力剤の評価  
植物活力剤の処理により MAP キナーゼが活性化された細胞が蛍光を発している (右の写真)。

植物活力剤	植物活力剤			アシベンゾラルSメチル			エテフォン
	1日	2日	4日	1日	2日	4日	1日
	1日	0.65 <sup>a)</sup>	0.27	0.79	0.38	0.26	0.38
2日	0.65	0.84	0.50	0.86	0.81	0.86	
4日	0.27	0.84	0.25	0.97	0.99	0.93	

図-3 植物活力剤を処理したイチゴにおけるマイクロアレイ解析  
植物活力剤, アシベンゾラルSメチルおよびエテフォンを処理して1~4日後のイチゴからRNAを抽出し, マイクロアレイ解析を行った. 植物活力剤処理により発現誘導された遺伝子群について, 各処理間の相関解析を行った.  
a) 相関係数  $r$ : (相関が弱い)  $-1 \leq r \leq 1$  (相関が強い).

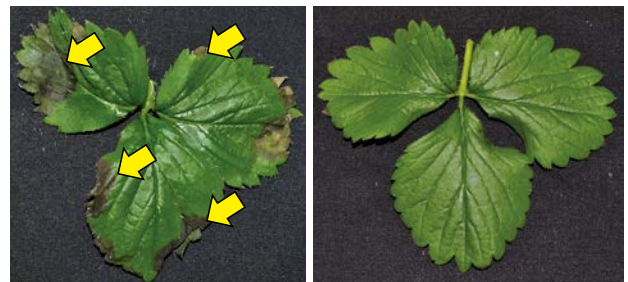


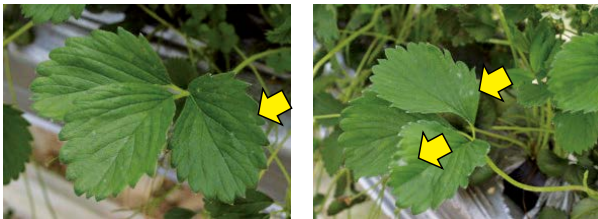
図-4 植物活力剤を処理したイチゴにおける炭疽病菌接種6日後の葉の状況  
イチゴ (品種: '女峰') に植物活力剤を処理し3日間静置した後,  $5 \times 10^5$  孢子/ml のイチゴ炭疽病菌を噴霧接種して24℃, 温室下に静置した. 6日後に病徴を検定した. (矢印は感染部位を示す)

添加) のみを散布し, 同様の評価を行った. その結果, イチゴ品種 'とちおとめ' および '女峰' についてイチゴ炭疽病菌を接種しても健全なイチゴが維持された (図-4).  
前述の記事「紫外光 (UV-B) 照射技術を基盤とした

施設イチゴ病害虫防除体系の構築」で佐藤・田中 (2019) が紹介している UV 法において, イチゴに紫外線 (UV-B) を照射すると, 植物の病気に対する抵抗性が活性化され, うどんこ病などの発生が抑制される. 私たちは, 植



植物活力剤 + UV-B  
(健全株率 97%)



UV-B のみ  
(健全株率 20%)



無処理  
(健全株率 0%)

図-5 イチゴ施設栽培でのうどんこ病発生状況 (品種: '章姫')  
(矢印はうどんこ病の感染部位を示す)

植物活力剤と UV-B 照射を併用



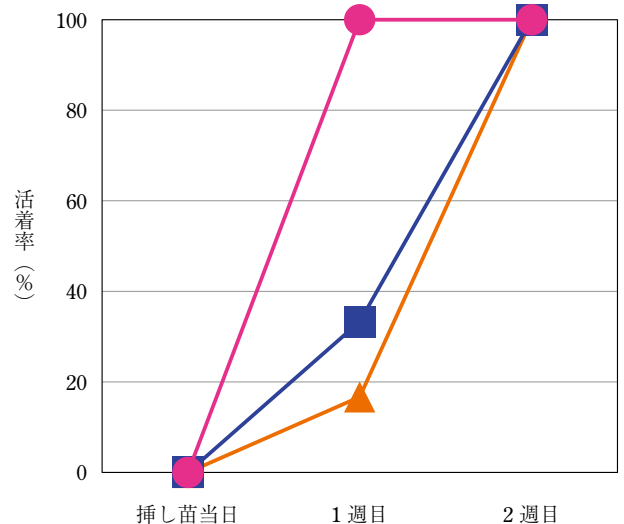
- ・植物活力剤により健全に生育させ  
病気への抵抗力を高める!
- ・UV-B 照射との併用でさらに効果アップ!

図-6 植物活力剤と UV-B 照射を導入したイチゴの施設栽培

植物活力剤の散布と UV-B 照射を併用することで、健全なイチゴの割合が高くなり、農薬の使用量を減らせることを明らかにした (図-5, 6)。

IV 植物活力剤によるイチゴの発根および活着促進

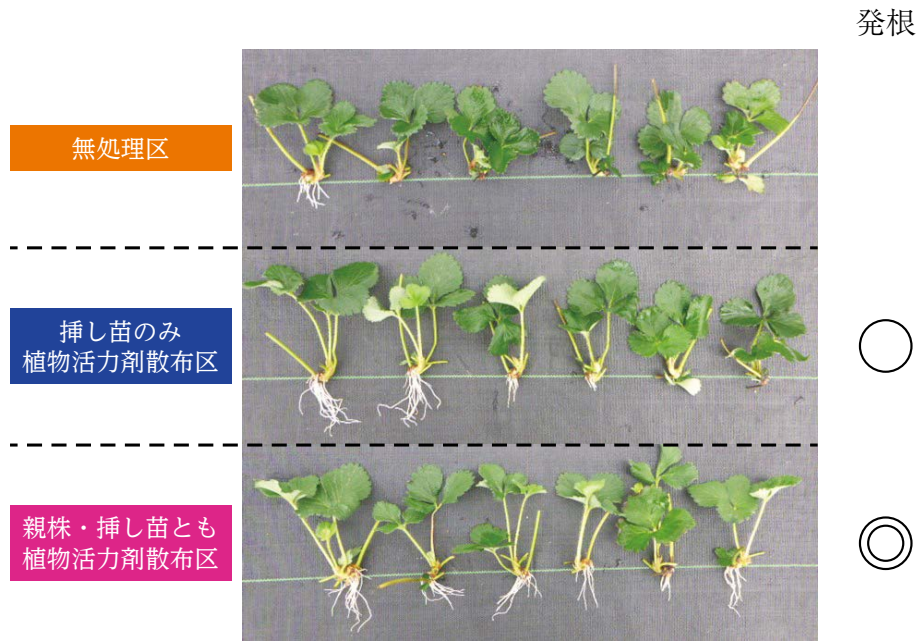
植物活力剤について、イチゴの炭疽病やうどんこ病の抑制効果等の試験を行ってきたが、生育や収量等に関する知見は少ない。これまで、抵抗性誘導剤などの植物の免疫を活性化する資材は、植物の免疫力の活性化の強度に比例して生育阻害を生じ安いことが知られている。そこで、本植物活力剤について病気になりにくいという効果以外に、イチゴの生育に対する効果についても調査した。2017年11月～2018年4月にかけてイチゴ (品種: 'とちおとめ') をプランターで栽培し、植物活力剤の500倍希釈液を1～2週間おきに散布して生育調査を行った。また、上記のように栽培したイチゴを親株とし、そこから発生した子株を切り離して挿し苗を行い、それらに植物活力剤の500倍希釈液を1週間隔で散布し、活着率と生育の調査を行った。その結果、プランター栽培したイチゴ (親株) の生育に差は見られなかったものの、挿し苗の活着は早くなる傾向が認められた。この活着の促進は、挿し苗開始後に植物活力剤を散布しても認められたが、挿し苗前の親株から継続して散布したほうが良好であった (図-7A)。この挿し苗の地下部を調査すると、活着の良好であった試験区ほど新根の発生が多く認められた (図-7B)。圃場での実証試験の結果、植物活力剤を継続して散布することで、慣行区と比較して茎が太く、葉・根ともに多くなった (図-8)。



- 親株・挿し苗とも植物活力剤散布
- 挿し苗のみ植物活力剤散布
- ▲ 無処理

図-7A 植物活力剤を処理したイチゴにおける挿し苗の発根促進効果





### 親株・苗への植物活力剤処理により発根促進

**図-7B** 植物活力剤を処理したイチゴにおける挿し苗の発根促進効果  
挿し苗の活着と発根を比較した結果、植物活力剤を散布したほうが活着・発根ともに良好であり、特に、親株から植物活力剤を継続散布した試験区で最も良好になった。写真は挿し苗して2週目の様子。



圃場での実証試験例（イチゴ苗栽培における散布効果（静岡県））

**図-8** 植物活力剤を処理したイチゴにおける挿し苗の発根促進効果  
植物活力剤を継続して散布することで、慣行区と比較して茎が太く、葉・根ともに多くなった。

## おわりに

このように新規植物活力剤をイチゴに散布することで、イチゴの生育に必要な成分を補うことができ、健全な生育を助け、活力を高めた植物体を作ることができる。本資材は、従来の抵抗性誘導剤で問題となっている植物体内のエネルギーにおける栄養生長と防御応答のトレードオフを打破するものとして科学的にも価値が高い。また、UV-B照射や植物活力剤等の病害抵抗性を高める技術と既存の殺菌性農薬を組合せた防除体系を構築

することで、薬剤耐性菌の発生を抑制するとともに、減農薬栽培を促進し高付加価値化によるブランドイチゴの生産に貢献する。

## 引用文献

- 1) NARUSAKA, M. et al. (2015): PLoS One 10: e0115864.
- 2) 鳴坂真理・鳴坂義弘 (2019): アグリバイオ 3: 93~95.
- 3) 鳴坂義弘・鳴坂真理 (2018): 植物防疫 72: 511~515.
- 4) 佐藤 衛・田中雅也 (2019): 同上 73: 670~674.
- 5) YAMAMIZO, C. et al. (2006): Plant Physiol. 140: 681~692.



# カメムシ目とコウチュウ目の昆虫における振動を利用した行動制御と害虫管理

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構  
果樹茶業研究部門

う え ち な み  
上 地 奈 美

国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所

た か な し た く ま  
高 梨 琢 磨

## はじめに

多くの昆虫が、振動や音等の物理的な情報を、行動を決めるための情報として利用している。振動を利用する昆虫は19万5千種以上いると推定されている。振動は、植物などの基質を通じて伝わり、同種や捕食者の存在を知る手がかりとなる。

振動に対する昆虫類の反応は大きく分けて種内における雌雄間、種内・種間の社会的な交信、そして、捕食者・餌としての他種との相互作用がある。例として、北米に分布するケラの一種 *Grylotalpa major* Saussure のオスは、地面を伝わる他のオスの振動を感知して、お互いのなわばりを守っている。オーストラリアに分布するアリの一種 *Iridomyrmex ants* とシジミチョウの幼虫や蛹も、振動を介して交信している。潜葉性のガ類に寄生するヒメコバチの一種 *Sympiesis sericeicornis* Nees は葉内のガ幼虫の振動を「盗聴」して寄主の位置を知る。

本稿では、特に、カメムシ目とコウチュウ目を取り上げて、振動を用いたコミュニケーションの機構、種々の例、振動を利用した害虫防除について紹介する。なお、本稿は、応動昆英文誌54巻に掲載された TAKANASHI et al. (2019) “Vibrations in hemipteran and coleopteran insects: behaviors and application in pest management” をもとに、主要部分を取り上げ、最新の知見も加えて再編したものである。興味を持たれた方は、ぜひ、原文もご一読いただきたい。なお、ここで取り上げた研究の一部は、内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 「次世代農林水産業創造技術」(管理法人：国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 生物系特定産業技術研究支援センター) によって実施された。

Vibrational Behavior and Pest Management Using Vibrations in Hemipteran and Coleopteran Insects. By Nami UECHI and Takuma TAKANASHI

(キーワード：振動信号、交信、行動かく乱、物理的防除)

## I 振動を受容する感覚器官

振動を検知する感覚器官は、脚などに内在する弦音器官である。特に、脚にある2種類の弦音器官、腿節内弦音器官と脛節の膝下器官が重要である(図-1)。弦音器官は、複数の感覚細胞と付着細胞で構成されている。感覚細胞の数は種によって異なり、腿節内弦音器官の例としてマツノマダラカミキリ *Monochamus alternatus* Hope では70個、チャバネアオカメムシ *Plautia stali* Scott では24個ある(図-1c, f)。感覚細胞は、付着細胞を介して振動に高感度で応答する。腿節内弦音器官は、マツノマダラカミキリではクチクラで硬化した内突起を介して脛節につながっているが、チャバネアオカメムシでは内突起の代わりに短い束となった付着細胞がつながっている(図-1b, e)。両方の種において、振動は基質から脛節を介して腿節内弦音器官に伝達される。弦音器官以外にも、外部受容器である機械感覚子がクチクラ表面の歪みを検出する。

## II 振動を用いた交信と行動

### 1 カメムシ類

カメムシ類の交信手段としてフェロモンが広く知られている。一方で、振動もよく用いられる。カメムシ亜目のうち陸生の種に限っても、少なくとも16科で振動を交信手段として用いていたたり、振動発生の機構を持っているという報告がある(TAKANASHI et al., 2019; 表-1)。フェロモンのような化学的信号は長距離の交信、振動や視覚のような物理的信号は植物上での近距離の交信に用いられることが多いと考えられる。

#### (1) 異性間

多くの場合、振動は雌雄間のコミュニケーションに使われる(表-1; 上地, 2019)。最もよく研究されているのはミナミアオカメムシ *Nezara viridula* (Linnaeus) で、求愛の過程で、雌雄がそれぞれ、いくつかのパターンの振動信号を発することや、地域によって「方言」とも呼

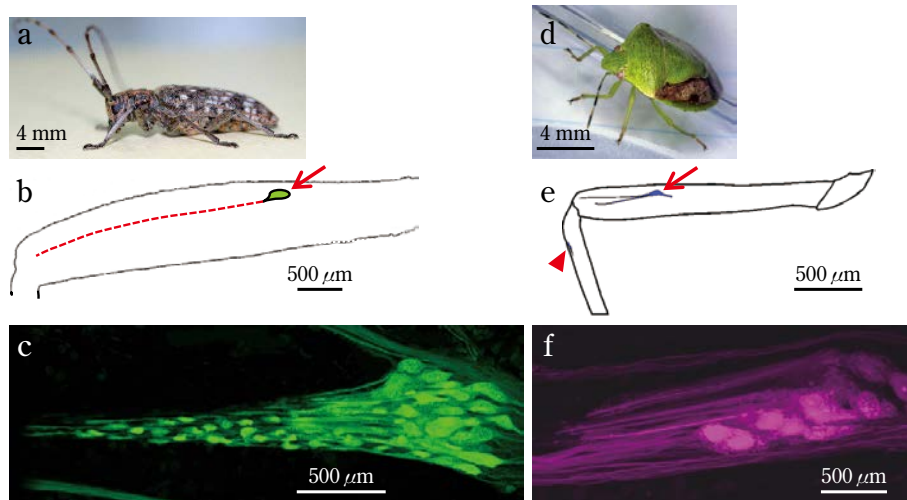


図-1 マツノマダラカミキリ (a-c) とチャバネアオカメムシ (d-f) の弦音器官  
 a マツノマダラカミキリ成虫. b 感覚細胞 (矢印) と内突起 (点線) を持つ腿節内弦音器官.  
 c 腿節内弦音器官の蛍光染色画像. d チャバネアオカメムシ成虫. e 腿節内弦音器官 (矢印)  
 と膝下器官 (矢頭). f 腿節内弦音器官の蛍光染色画像 (TAKANASHI et al. (2019) より転載).

表-1 振動を用いたコミュニケーションや相互作用があるカメムシ目 (TAKANASHI et al., 2018, Table 1 より改変)

科名	種名	種内の交信	種間の作用
ホソヘリカメムシ科	ホソヘリカメムシ <i>Riptortus clavatus</i>	オスの求愛行動, 雌雄の交信	-
キンカメムシ科	ナナホシキンカメ <i>Calliphara exellens</i>	オスの求愛行動, 雌雄の交信	-
カメムシ科	ミナミアオカメムシ <i>Nezara viridula</i> , クサギカメムシ <i>Halyomorpha halys</i> , チャバネアオカメムシ <i>Plautia stali</i>	オスの求愛行動, 雌雄の交信, 一斉ふ化	-
ツチカメムシ科	ツチカメムシ <i>Adomerus rotundus</i>	交尾, 一斉ふ化, 給餌行動	-
ベニツチカメムシ科	ベニツチカメムシ <i>Parastrachia japonensis</i>	一斉ふ化, 給餌行動	-
カスミカメムシ科	マキバカスミカメ <i>Lygus rugulipennis</i>	求愛	-
サシガメ科	ブラジルサシガメ <i>Triatoma infestans</i> , <i>Rhodnius prolixus</i>	交尾	捕食者やかく乱 に対する防御, 餌の探索
コナジラミ科	タバココナジラミ <i>Bemisia tabaci</i> , オンシツコナジラミ <i>Trialeurodes vaporariorum</i>	雌雄の交信	-
アブラムシ科	キョウチクトウアブラムシ <i>Aphis nerii</i> , エンドウヒゲナガアブラムシ <i>Acyrtosiphon pisum</i> , ヒゲナガアブラムシの一種 <i>Uroleucon hypochoeridis</i>	-	捕食者に対する 防御, 逃避
ヒラズキジラミ科	ミカンキジラミ <i>Diaphorina citri</i>	雌雄の交信	-
アオバハゴロモ科	<i>Metcalfa pruinosa</i>	交尾行動	-
ウンカ科	トビイロウンカ <i>Nilaparvata lugens</i> , セジロウンカ <i>Sogatella furcifera</i>	雌雄の交信	-
オオヨコバイ科	スカシヨコバイの一種 <i>Scaphoideus titanus</i>	オスの定位, ライバルオスの妨害	-
ツノゼミ科	ツノゼミの一種 <i>Umbonia crassicornis</i>	オスの定位, 交尾行動	捕食者に対する 防御
アワフキムシ科	<i>Aphrophora alni</i>	求愛, 縄張り争いやライバルオスの妨害	-
セミ科	<i>Cicada orni</i> , <i>Okanagana rimosa</i>	交尾のための定位 (鳴音のうち振動として伝わる成分を利用)	-



べるような独自のパターンがあることがわかっている。これまでに研究されたほとんどの種の一連の求愛行動や、それに伴う振動信号に類似性がある。一定の振動情報が追加されたり、改変されたり、あるいは省略されたりして種独自の振動や行動パターンが形成される。サシガメの仲間では、かく乱されたり、交尾を迫るオスを拒否する際に振動することがある。

ウンカやヨコバイ、ツノゼミ、コナジラミ、キジラミ等でも、振動を交信手段として使われる(表-1)。トビイロウンカ *Nilaparvata lugens* Stål のメスは、腹部を細かく動かすことで振動を発生し、オスがそれに応じて出す振動をキャッチしてメスの居場所を知る。タバココナジラミ *Bemisia tabaci* (Gennadius) などのコナジラミ類は、寄主植物の葉を腹部の運動によって振動を発生する。オスの振動は種によって異なるため、メスは、発信源のオスの種を認識することができるのだろう。キジラミの例では、カンキツグリーンング病の媒介虫であるミカンキジラミ *Diaphorina citri* Kuwayama が挙げられる。オスは、振動を発生しているメスの存在に気が付くと、お互いに振動を発しあいながら位置を確認する。

## (2) 親子間

親子の間でのコミュニケーションも大変興味深い。フタバシツチカメムシ *Adomerus rotundus* (Hsiao) は亜社会性で、母親が巣を作り、卵や若齢幼虫を育てる。ふ化時期が近付くと、母カメムシは体を震わせて卵塊に振動を送り、一斉ふ化を促す(向井, 2016)。日本応用動物昆虫学会の「むしむしコラム・おーどーこん」で、フタバシツチカメムシが卵塊に振動を伝えている動画が観られる([http://column.odokon.org/archives/mukai\\_mov01.wmv](http://column.odokon.org/archives/mukai_mov01.wmv))。母親の振動により、卵の9割程度が15分以内にふ化できる。亜社会性ではないカメムシでも、振動をきっかけに卵が一斉にふ化することがわかってきている。クサギカメムシ *Halyomorpha halys* (Stål) の一斉ふ化は、卵塊において一つの卵の卵殻が割れたときに生じる振動によって誘発される(ENDO et al., 2019; <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S0960982218314908-mmc3.mp4>)。一斉ふ化は、兄弟の共食いを減らすためだと考えられている。ベニツチカメムシ *Parastrachia japonensis* (Scott) の母親も、ツチカメムシ同様に子育てをする。母カメムシは、巣で待っているふ化幼虫に、ボロボロノキの果実を集めてきて餌として与える。巣に戻ると、母カメムシが腹部を振動させ、子供たちに餌を持ち帰ったことを知らせる。

ツノゼミでは、親子間だけではなく、捕食者・被捕食者間にも跨るコミュニケーションがある。ツノゼミの一

種 *Umbonia crassicornis* (Amyot and Serville) は、母親と子供たちが数10頭のコロニーを作る。アシナガバチなどの天敵が近づくと母親が振動を出し、それに反応した子どもたちは一斉に振動して天敵に対抗する。

## (3) 捕食者・被食者間

振動は、捕食者にとっては餌の場所を知る手段となり、食われるものにとっては捕食者の存在を知ったり、抵抗する手段となる。サシガメの仲間では、餌となるイモムシを探す時に振動を手掛りにしている。ツチカメムシ科やサシガメ科では、コロニーを形成する幼虫たちが、捕食者に対する集団防御として一斉に振動する。

アブラムシ類も、振動によって捕食者などの接近を感知する。キョウチクトウアブラムシ *Aphis nerii* Boyer de Fonscolombe や、ヒゲナガアブラムシの一種 *Uroleucon hypochoeridis* (Fabricius) では、植物体の細かい振動と視覚情報によって捕食者の接近を察知すると、一斉にざわざわと揺れる。これは、捕食者に対する防御行動だと考えられている。エンドウアブラムシ *Acyrtosiphon pisum* Harris は、草食動物の息などの振動やその他の刺激を受けると、ぼろぼろと落下する。

## 2 コウチュウ目

### (1) 異性間

コウチュウ目は最大の昆虫目で多くの害虫種を含む。多くの科において、摩擦器官によってクチクラの微細構造をこする発音の報告がある。アメリカマツノキクイムシ *Dendroctonus ponderosae* (Hopkins) は、この摩擦器官によって音だけでなく振動を発生する。これは雌雄での近距離のコミュニケーションになっていると考えられる。また、マダラシバンムシ *Xestobium rufovillosum* (De Geer) のオスは、頭を基質に打ちつけて振動を発生する。その振動に応じて、離れているメスが同様に振動を発生すると、オスはメスの位置を検知し、定位する。アフリカに分布するゴミムシダマシの一種 *Psammodes striatus* (Fabricius) のオスは、雌雄の交信のために腹部を基質に打ち付け、その振動は50 cm以上先に伝わる。

### (2) 捕食者・被食者間

アフリカのゴミムシダマシの一種 *Onymacris plana plana* Péringuey は100 Hzと500 Hzの振動に感度よく反応する。これは砂の表面に吹く風によって生じた振動によって、風に吹き寄せられた餌を感知するためと考えられている。コクヌストモドキ *Tribolium castaneum* (Herbst) の成虫は、捕食者から身を守るため、振動を検知すると擬死する。振動による擬死は、コロラドハムシ *Leptinotarsa decemlineata* Say や、ウメ果実に食入するアカマダラケシキスイ *Phenolia (Lasiodites) picta* (MacLeay)

でも知られている（貴志・高梨，2019）。擬死以外の反応として、オウシュウイエカミキリ *Hylotrupes bajulus* (Linnaeus) では、振動によって驚愕反応（身体の一部を動かす反応）やフリーズ反応（動きを止める反応）が起こることが知られている。これらは、同種他個体や捕食者の接近に対する反応であると考えられる。

### （3） 社会関係

土中に集団でいるカプトムシ *Trypoxylus dichotomus* (Linnaeus) の幼虫は、蛹室内で蛹が回転運動によって振動を発すると、その振動を検知してフリーズ反応を起こす。これにより、幼虫が蛹室を壊すのを防いでいる（小島ら，2013）。蛹の振動に対する幼虫の反応は、捕食者に対する反応から進化した可能性が高い。というのも、幼虫は、モグラによる振動にも同じようにフリーズ反応するからである（小島ら，2013）。一方、ヨツモンマメゾウムシ *Callosobruchus maculatus* (Fabricius) のメスは、寄主の豆の中の幼虫の摂食による振動を、産卵のための情報として利用する。

## III 振動を用いた害虫防除

防除技術として振動を用いることの利点として、生物の持っている性質を逆手に取り、殺虫しないために選抜圧がかからず、抵抗性が発達しにくいことがあげられる。また、薬害や残留の確認のための試験や手続きが不要で、適切な装置さえ設置できれば、すぐにでも圃場での利用が可能である。振動による防除技術の試みが、数は多くはないものの、カメムシ目やコウチュウ目において報告されている。

### 1 カメムシ目

カメムシ目では、雌雄間の交信の阻害が主眼となっている。スカシヨコバイの一種 *Scaphoideus titanus* Ball は、ブドウの重要病害 *Flavescence dorée* の病原菌を媒介する。オスは、交尾相手のメスを探するために寄主であるブドウ上で振動を発することに加えて、ライバルであるオスを妨害するための振動を発する。ERIKSSON et al. (2012) は、ブドウの枝を支える細いワイヤーに小型の振動発生装置を取り付け、妨害のための信号を模した振動を与えたところ、交尾率が 80~90% から 4~9% へと、劇的に減少した。

ミカンキジラミ *Diaphorina citri* Kuwayama に対する試みもある。本種は、世界中のカンキツ生産を脅かしているカンキツグリーニング病の媒介虫であり、交尾相手を探すのに振動が使われる。小型の圧電素子によるプザーによってメスの発する振動を模して交信を妨害したところ、交尾率が対照区では 56% だったのに対し、処理

区では 13% 程度にとどまった。

最新の報告は、ブラジルのダイズのカメムシ害虫の一種 *Euschistus heros* (Fabricius) に対する、振動による交尾阻害効果の検証である。LAUMANN et al. (2018) は、75~200 Hz の人工的な振動によって、オスがメスの振動に気付くのを阻害し、また、長時間（24 時間）にわたって 125 Hz の周波数の振動を与えることで、交尾率や産卵数、ふ化率が減少することを明らかにした。

### 2 コウチュウ目

カミキリムシ類では、幼虫が果樹や樹木の樹体内を加害するために薬剤防除が難しい。交尾相手探索において振動を用いる報告はまだないが、振動に応じる一連の行動が知られているため、行動かく乱による防除が試みられている。

行動かく乱の日本で初めての試みは、イチジクを加害するクワカミキリ *Apriona japonica* Thomson に対するものである。成虫が定着しているイチジクの木を振動させたところ、5~40 Hz の断続的な振動で摂食行動を中断できたことが報告されている（HOSOMI, 1996）。

マツ枯れ線虫を媒介するマツノマダラカミキリは、1 kHz 未満の振動によってフリーズ反応や驚愕反応を示す。また、カラムシ（シソ科の草本）を食草とするラミーカミキリも、低周波の振動にさらされるとフリーズ反応や驚愕反応を示す。これらのカミキリムシは、100~500 Hz の振動に対してよく反応するため、寄主上での摂食、産卵、および定着といった行動をかく乱できると考えられる（高梨，2019）。実際に、マツノマダラカミキリにおいて産卵などの行動が阻害されていることが示されている（高梨，2012）。また、忌避行動を引き起こし、寄主上から追い払うことも可能である。

### 3 振動発生装置

「害虫のいる広い範囲を振動させたり、あるいは、果樹や樹木を揺らすためには、強力な振動発生装置が必要である。」と書くと、海外のカンキツやリンゴの収穫で時折見られるような、重機で樹を激しく揺さぶって果実を落とすような光景が想像されるかもしれない。しかし、実際のところ、昆虫の行動に何かしらの影響を与えるには、スマートフォンのバイブレーション程度の振幅で十分であると考えられる。さらに、昆虫が交信や種間の相互作用に用いている周波数は一般的に 100 Hz 以上であり、植物体を大きく揺さぶるような状況で生じている 10 Hz 未満の低周波とは異なる。対象昆虫がよく反応する周波数や振幅をもつ振動を、樹全体に安定して伝達するのに、強く安定した振動を出す装置が必要なのである。

これまでに、超磁歪素子を用いて振動を発生する加振

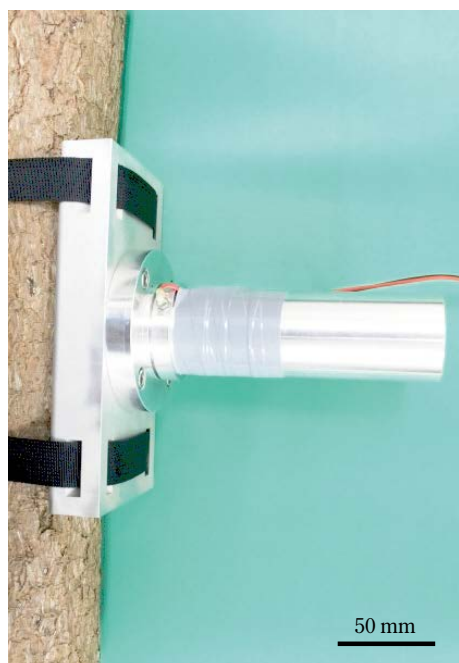


図-2 超磁歪素子を用いた振動発生装置の試作機  
害虫防除ための振動を樹木に発生させる (TAKANASHI  
et al. (2019) より転載).

機が試作されている (図-2)。超磁歪素子は、鉄と希土類金属の合金からなり、磁場によって収縮するため、少ない電力で大きな振幅の振動を発生する。本来は潜水艦のソナーとして開発されたもので、魚群探知機や、土中に埋もれている遺跡の発掘に使われ、耐水性や耐候性においても優れている。このような材料を用いることで、長期間にわたって樹木に一定の強さの振動を与えることができると考えられる。この試作機を用いて、マツノマダラカミキリやシイタケ栽培用原木の害虫ハラアコブカミキリ *Moechotypa diphysis* (Pascoe) がフリーズ反応

や驚愕反応をおこすことを室内において観察している (TAKANASHI and NISHINO)。さらに、試作機を用いた野外や網室での試験では、マツノマダラカミキリやチャバネアオカメムシにおいて、加振された木に定着しにくい傾向があることを確認している。

## おわりに

振動をより効率よく伝達するためには、装置の設置方法や治具も改良する必要がある。また、実用化に向けては低コスト化や、植物や他の生物への影響の評価も求められる。そしてなによりも、対象害虫がどのように振動を用いているのか、どのような振動条件が最もよく反応するのかを明らかにすることが不可欠である。実用化に向けての課題は多いが解決可能であり、先述のように抵抗性が発達しにくいなどの利点も魅力的である。本技術が発展して、新しい防除技術体系の一技術として組み込まれるようになるために、研究をすすめていきたい。

## 引用文献

- 1) ENDO, J. et al. (2019): *Current Biology* **29**: 143~148.
- 2) ERIKSSON, A. et al. (2012): *Plos One* **7**: e32954.
- 3) HOSOMI, A. (1996): *Proc. Japan informal group meeting on human response to vibration*: 25~34.
- 4) 貴志 学・高梨琢磨 (2019): *日本応用動物昆虫学会誌* **63**: 13~16.
- 5) 小島 渉ら (2013): *遺伝* **67**: 372~377.
- 6) LAUMANN, R. A. et al. (2018): *J. Pest Sci.* **91**: 995~1004.
- 7) 向井裕美 (2016): *日本応用動物昆虫学会誌* **60**: 67~75.
- 8) 高梨琢磨 (2012): *植物防疫* **66**(6): 297~299.
- 9) ——— (2019): *生き物と音の事典*, 朝倉書店, 東京, p.348~349.
- 10) TAKANASHI, T. and H. NISHINO: *Biotremology: Physiology, ecology, and evolution*, Springer Nature, Chennai (印刷中).
- 11) ——— et al. (2019): *Appl. Entomol. Zool.* **54**: 21~29.
- 12) 上地奈美 (2019): *生き物と音の事典*, 朝倉書店, 東京, p.322~323.





# チャの新害虫ヒサカキワタフキコナジラミの発生生態について

埼玉県茶業研究所 **岩** **崎** **剛**  
 埼玉県農業技術研究センター **小** **俣** **良** **すけ** **介**

## はじめに

2015年3月、埼玉県茶業研究所内の圃場において、チャ株内の根元から出た新梢の葉裏にクワシロカイガラムシと異なる白いカイガラムシ状の綿状物質が多数付着しているのが発見された(図-1)。採集して実験室内で飼育したところ、5月に白い成虫が確認されたことで、コナジラミの1種であることが判明した。

また、研究所周辺の茶園にも比較的広範囲に生息していることから、標本を国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 野菜茶業研究所(金谷茶業研究拠点)に送り、種の同定を依頼したところ、7月にコナジラミ類の専門家である石原産業株式会社の上宮健吉博士を介して、ヒサカキワタフキコナジラミ *Pealius euryae* (TAKAHASHI) (図-2) (以下、ワタコナ) であることが判明した。我が国において、本種の寄生植物はヒサカキのみが知られており、チャへの寄生が確認されたのは、これが初めてである。

このため埼玉県病害虫防除所は、2015年10月8日、



図-1 ヒサカキワタフキコナジラミ幼虫  
白い白色綿状物質が特徴。

Occurrence and Ecology of a New Tea Insect Pest, *Pealius euryae*, a Kind of Whitefly. By Takeshi IWASAKI and Ryousuke OMATA

(キーワード: ヒサカキワタフキコナジラミ, チャ, 新害虫, 生態, 発生消長)

「ヒサカキワタフキコナジラミによるチャへの被害について」と題して、植物防疫法に基づき平成27年度病害虫発生予察情報第1号を発令した(埼玉県病害虫防除所, 2015)。

本稿では、ヒサカキワタフキコナジラミのチャにおける発生生態と被害について報告する。

## I 発生状況

ワタコナの埼玉県の茶園における発生は、茶業研究所内圃場や周辺の生産圃場をはじめ、中山間地域でも、すでに発生が確認されており、県内に広く生息している(小俣, 2016)。

ワタコナの発生は埼玉県以外でも、愛知県(2016年6月発生確認)(愛知県, 2017)、静岡県(2017年3月発生確認)(静岡県病害虫防除所, 2017)、三重県(2018年4月発生確認)(三重県病害虫防除所, 2018)で発生が確認されている。今後、県内外での発生状況を詳細に調査するとともに、生息域が拡大しないかどうかについて追跡していく必要がある。

## II 生態について

成虫の体長は約1.0 mm, 体色は白色である(図-2)。幼虫は小判状で虫体は淡黄緑色を呈し、周囲に糸状の白



図-2 ヒサカキワタフキコナジラミ成虫と卵

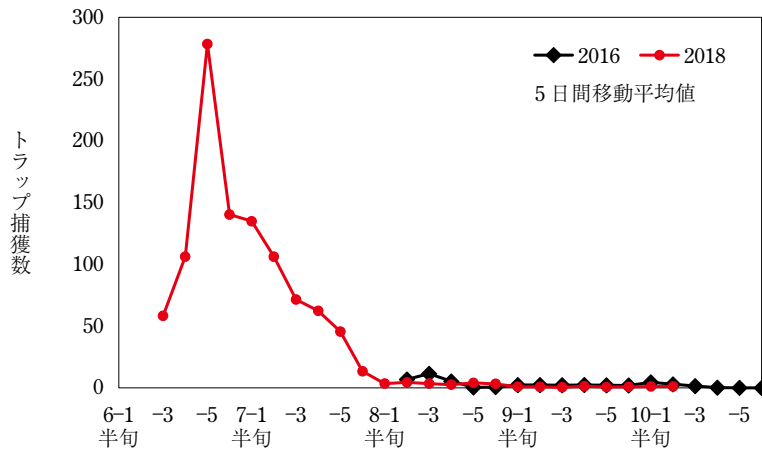


図-3 ヒサカキワタフキコナジラミの捕獲消長  
チャ株内および樹冠面のトラップの合計値

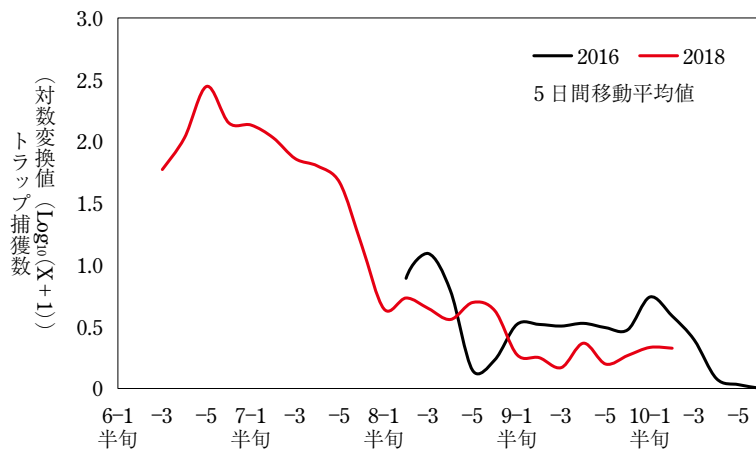


図-4 ヒサカキワタフキコナジラミの捕獲消長 (対数変換値)  
秋期になっても発生は継続しているのがわかる。

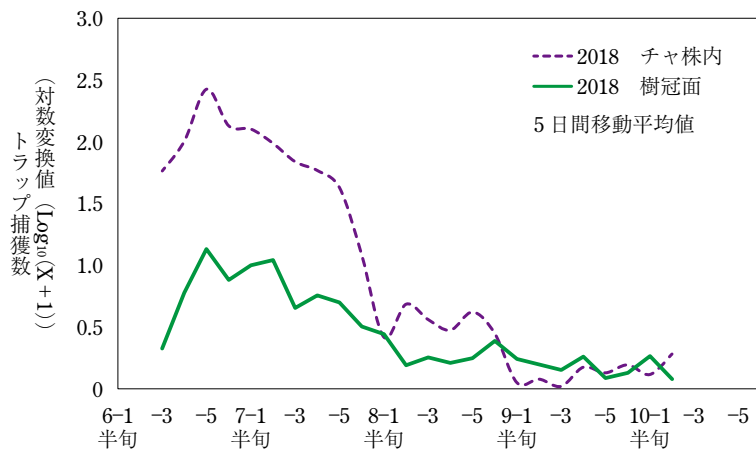


図-5 チャ株内と樹冠面におけるヒサカキワタフキコナジラミの  
捕獲消長の比較

色綿状物質をもつ (図-1)。この白色綿状物質は発育とともに非常に長く伸長し、6~7 mm にまで及ぶ (小俣, 2016)。

2016年と2018年に酒井 (2017)、岩崎 (2019) は埼玉県茶業研究所内圃場において、黄色粘着トラップ (10 × 10 cm) を茶園の各部位 (チャ株内、樹冠面) に設置し、原則2~3日ごとにトラップを交換してワタコナ成虫の発生活長調査を実施した。両調査結果をもとに、各トラップの捕獲数と設置日数から日当たり捕獲数を求め、5日間移動平均に換算し、半旬別の捕獲数の推移を図-3および図-4に示した。また、2018年の結果についてはチャ株内と樹冠面の捕獲数推移 (対数変換値) を図-5に示した。なお、この分析の調査期間を2016年については8月1日~11月20日、2018年については6月8日~10月14日までとし、トラップ捕獲数はトラップ設置から回収日の前日までの捕獲数として計算した。

これらの結果から、ワタコナ成虫は第1世代成虫に相当する6月の発生が最も多く、10月末まではほぼ年間を通じて成虫の発生が見られること、第1世代成虫は6月中旬に発生ピークとなり、7月末までに急激に発生量は低下し、8月以降生息密度は低くなるが、少ないながら発生は継続し、少なくとも8月中旬、10月上旬に小さな発生ピークがあることが明らかになった (図-4)。なお、5月上旬に発生する越冬世代成虫の発生活長は、現在調査を進めているところである。

また、ワタコナのチャ株内における成虫捕獲数は、樹冠面における捕獲数より多く (図-5)、ピーク時のチャ株内の捕獲数は樹冠面の捕獲数の約21倍であったことから、本種は、主にチャ株の内側で生活史を送ると考えられる。

### III ワタコナによるチャへの被害

ワタコナは成虫、幼虫ともに新芽および新葉の葉裏に集合して寄生するため、葉裏全体が白い分泌物などで覆われる (図-1) が、古葉の葉裏での寄生は見られない。

チャ樹のすそ部等でワタコナが多発した場合、幼虫の吸汁によって分泌される甘露により下位葉の葉表に「すす症」が発生し、茶園の裾部が汚染される。ワタコナによる「すす症」は灰白色 (図-6) である (小俣, 2016) のに対し、チャの害虫であるチャトゲコナジラミによる「すす症」は黒色であるので、区別は容易である。

現在までの観察によると、ワタコナはチャ株内の直接光が当たらない部位で発生を繰り返しているため、チャ株内の地際から出た枝条の新芽・新葉に寄生が限られ、ただちに収穫芽やチャ樹の生育に被害を及ぼす恐れは少



図-6 ヒサカキワタフキコナジラミによる「すす症」

ないと推察される。実際、ワタコナの発生が確認されてから現在 (2019年7月) に至るまで、チャ樹の生育に影響を与えるような被害は確認されていない。

しかし、覆い下栽培や被覆処理等遮光を伴う栽培形態の場合には、収穫物となる新芽に被害が発生する可能性がある。

このため、茶業研究所では、被覆の有無とワタコナの発生について試験を実施した (酒井, 2017; 岩崎, 2019)。被覆処理11日間 (2016年5月2~13日) と14日間 (2018年6月27日~7月11日) で、無被覆区との間に発生量の違いは見られなかったが、被覆処理49日間 (2016年6月1日~7月19日) では本種の寄生数に増加が見られ、樹冠面での発生も見られた。もっとも、本試験のチャの栽培管理において49日間の被覆処理は、チャ樹自体へのダメージが大きく現実的ではない。現在のところ実際の栽培場面では、ワタコナの収穫芽への影響は心配するレベルではない。しかし、本種の生態については不明な点が多く、今後、比較的明るい条件下で発育可能なレースの登場や他の被覆の条件次第で被害が出る可能性も考えられる。被覆など遮光条件と被害との関係については今後の課題と考えている。

### おわりに

現在、ワタコナのチャにおける生態に関する知見はまだ不十分であり、ワタコナに対する防除薬剤はまだ登録されていない。今のところワタコナの寄生により茶樹の生育に影響が出るような事例も認められていないため、現時点で具体的な防除対策は確立されていない。しかし、遮光を伴うような栽培面積が増加すれば、チャへの寄生の好条件が揃って発生密度が増加することも考えられるため、少発生の圃場でもワタコナの発生活況には十分注意する必要がある。



また、当報告を読んで、茶園に「ワタコナか?」と思われる症状が見られたら、他のチャの害虫との判別が難しいこともあるため、速やかに農業指導機関に相談することを願いたい。

引用文献

- 1) 愛知県 (2017):平成 29 年度病害虫発生予察特殊法第 1 号, 2 pp.
- 2) 岩崎 剛 (2019):茶業技術 62:6~8.
- 3) 三重県病害虫防除所 (2018):病害虫防除技術情報第 11 号, 2 pp.
- 4) 小俣良介 (2016):茶業技術 59:7~10.
- 5) 埼玉県病害虫防除所 (2015):平成 27 年度発生予察情報特殊報第 1 号, 3 pp.
- 6) 酒井 崇 (2017):茶業技術 60:38~40.
- 7) 静岡県病害虫防除所 (2017):平成 29 年度技術情報第 1 号, 2 pp.

新しく登録された農薬 (2019.9.1~9.30)

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〕

- インピルフルキサム水和剤  
24265：カナメフロアブル（住友化学）19/9/20  
インピルフルキサム：37.0%  
麦類：雪腐小粒菌核病：根雪前  
麦類：赤さび病：収穫 7 日前まで  
豆類（種実、ただし、らっかせいを除く）：菌核病、灰色かび病：収穫前日まで  
ばれいしょ：黒あざ病：植付前  
てんさい：根腐病：定植前  
てんさい：根腐病、葉腐病：収穫 7 日前まで  
たまねぎ：灰色かび病、小菌核病、灰色腐敗病：収穫前日まで  
ねぎ：さび病、白絹病：収穫前日まで  
豆類（未成熟）：菌核病、灰色かび病：収穫前日まで  
かんきつ：灰色かび病、そうか病：収穫前日まで  
りんご：黒星病、すす点病、すす斑病、斑点落葉病：収穫前日まで  
なし：黒星病、赤星病、黒斑病：収穫前日まで  
もも：灰星病：収穫前日まで  
ネクタリン：灰星病：収穫前日まで  
ぶどう：黒とう病、さび病、灰色かび病：収穫前日まで  
かき：うどんこ病：収穫前日まで  
きく：白さび病：発病初期
- インピルフルキサム粒剤  
24266：モンガレス箱粒剤 3（住友化学）19/9/20  
インピルフルキサム：3.0%  
稲（箱育苗）：紋枯病：は種時（覆土前）～移植当日
- イミノクタジン酢酸塩・テブコナゾール水和剤  
24271：シルベフフロアブル（日本曹達）  
24272：ホクサンシルベフフロアブル（ホクサン）19/9/25  
イミノクタジン酢酸塩：20.0%  
テブコナゾール：20.0%  
小麦：紅色雪腐病、雪腐小粒菌核病：根雪前
- プロベナゾール粒剤  
24273：inochio キクッチャ粒剤（イノチオプラントケア）

- 19/9/25  
プロベナゾール：8.0%  
きく：白さび病：定種時

〔殺虫殺菌剤〕

- クロチアニジン・BT 粒剤  
24274：ベニカ X ガード粒剤（住友化学園芸）19/9/25  
クロチアニジン：0.10%  
バチルスチューリゲンシス菌の生芽胞及び産生結晶毒素：10.0%  
きゅうり：うどんこ病、アブラムシ類：定植後但し、収穫前日まで  
トマト：アブラムシ類：定植後但し、収穫前日まで  
トマト：コナジラミ類：定植時  
ミニトマト：アブラムシ類：定植後但し、収穫前日まで  
ミニトマト：コナジラミ類：定植時  
なす：うどんこ病、アブラムシ類：定植後但し、収穫前日まで  
キャベツ：アブラムシ類、アオムシ：定植時  
はくさい：アブラムシ類：定植時  
ブロッコリー：アブラムシ類：定植時  
だいこん：アブラムシ類：は種時  
ばれいしょ：アブラムシ類：植付時  
いちご：うどんこ病、アブラムシ類：定植時  
ピーマン：アブラムシ類：定植後但し、収穫前日まで  
花き類・観葉植物（ばら、ガーベラ、プリムラを除く）：アブラムシ類：発生前～発生初期  
ばら：うどんこ病：発病前  
ばら：アブラムシ類、コガネムシ類幼虫：発生前～発生初期  
ガーベラ：アブラムシ類、ハモグリバエ類：発生前～発生初期  
プリムラ：灰色かび病：発病前  
プリムラ：アブラムシ類：発生前～発生初期

(67 ページに続く)



## 露地夏秋キュウリに発生する褐斑病の リスク要因分析

岩手県病害虫防除所 **猫塚 修一**

### はじめに

岩手県におけるキュウリの生産は、平成 29 年度は作付面積 225 ha、産出額 28 億円であり、トマトに次ぐ本県野菜の主力品目である。作型は露地夏秋獲りであり、7~9 月にかけて収穫される。本県のキュウリ栽培において、近年最も被害が多い病害として褐斑病（病原：*Corynespora cassiicola*）が挙げられる。本病は、葉に褐色・不整形の病斑を多数生じ、収穫後期の草勢の衰えとあいまって早期枯れ上がりの原因ともなる（図-1）。第一次伝染源は前年の被害残渣、第二次伝染源は罹病葉上に形成された分生子である。発生の特徴は、流行初期では圃場内の数株に見られるが、その後のまん延が急激で、流行盛期になると圃場全体に拡大する。

岩手県内の一般圃場では例年、梅雨明け後の 8 月前半ころに初発生が見られ、8 月後半~9 月前半にかけて発生量が増加する（図-2）。本病の防除は、まん延後の薬剤散布では間に合わないため、初発時期に合わせた予防散布が実施されているが、年によって初発時期が早まり防除適期を逃すことがある。本病の発生生態や多発要因については、施設栽培では知見があるものの（挾間、

1993；宮本ら、2007）、露地栽培では乏しい。本病の感染・発病は温度や葉面濡れ時間の影響を受けるため（挾間、1993）、露地栽培では伝染源量や気象条件の影響を強く受けることが予想される。そのため、岩手県病害虫防除所では巡回調査を実施し発生予察を行っているが、その調査結果から以降の長期的な発生動向を予測するには至っていない。

筆者はこれまで、リングに発生する数種の病害につい



図-1 キュウリ褐斑病の病徴

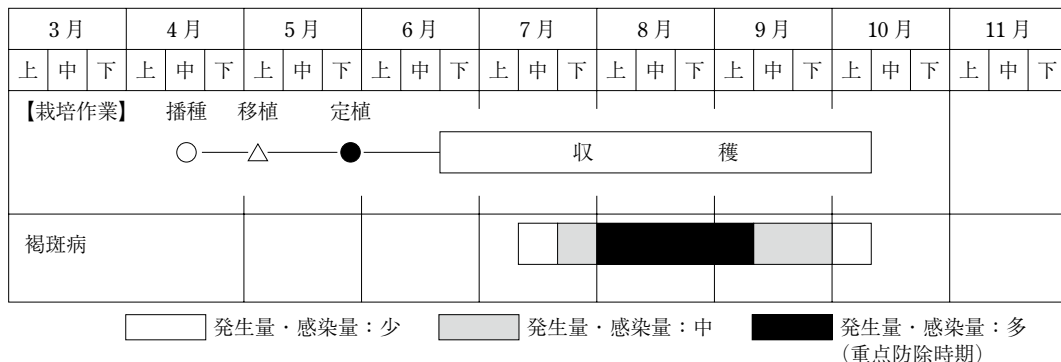


図-2 岩手県の露地夏秋キュウリの作型と褐斑病の発生パターン

Risk Factor Analysis for Incidence of *Corynespora* Leaf Spot on Summer-Autumn Harvest Cucumber on Open Field. By Syuuichi NEKODUKA

(キーワード：疫学，オッズ比，発生予察，ビックデータ，ロジスティック回帰)

て、岩手県病害虫防除所が過去数十年にわたり蓄積してきた巡回調査データを疫学研究デザインにより解析し、発生予察上の重要リスク指標を明らかにしてきた(猫塚ら, 2009; 猫塚, 2010; 猫塚ら, 2018)。本稿では、その解析手法について概説するとともに、露地夏秋キュウリに発生する褐斑病についてリスク要因分析を実施し、本県における重要リスク指標を明らかにしたので紹介する。

## I 巡回調査データを用いた疫学研究

### 1 疫学研究とは

疫学研究とは、多数事例の観察のみによって、ある要因と病気の発生との因果関係を明らかにしようとするものであり、医科学分野では広く用いられている。近年、この疫学研究手法が植物病理学でも導入されており、リンゴ斑点落葉病(猫塚ら, 2009)やリンゴ褐斑病(猫塚ら, 2018)、モモせん孔細菌病(KAWAGUCHI, 2014)では、病害虫防除所が実施してきた巡回調査データを用いて流行盛期の発生程度に関するリスク要因分析が行われている。

### 2 リスク要因の解析法

#### (1) 巡回調査データの特徴

病害虫防除所の巡回調査データを活用する最大のメリットは、信頼性の高いビックデータであることである。本データは、毎年、同一の複数地点を月1~2回の頻度で調査し、国が定める発生程度別調査基準に基づき「無」~「甚」の5段階にカテゴリ化して記録している。すなわち、県内数十箇所における時期別の発生量を過去数十年にわたり蓄積しており、本県における病害虫の流行様相を表している貴重な資料であるといえる。

#### (2) リスク要因の解析法

巡回調査データは、5段階にカテゴリ化された質的データであり、このままでは解析が煩雑であるため、2値型データに変換して用いる。例えば、流行盛期の多発の有無(例:発生程度「多以上」と「中以下」)、リスク要因の有無(同:流行初期の発生程度「少以上」と「無」)となるようにデータを二つに括る。これにより、従属変数を流行盛期の発生程度、説明変数をリスク要因とし、両者の関連性を2×2分割表(単変量解析)やロジスティック回帰(多変量解析)により解析することができる(図-3)。2×2分割表やロジスティック回帰を用いる最大のメリットは、「オッズ比」と呼ばれる関連性の強さを表す指標を算出できることにあり、これにより各種リスク要因の重要度の大小を客観的に評価できる。

近年の疫学研究では、複数の要因による影響を検討する場合においてロジスティック回帰が選好されている。例えば、巡回調査データにアメダスデータを加えたデー

		説明変数(リスク要因)	
		単変量 (2値型)	多変量 (量的, 質的)
従属変数 (流行盛期の発生)	質的変量 (2値型)	2×2分割表 (オッズ比)	ロジスティック回帰 (オッズ比)
	量的変量 (数値型)	平均値の差の検定 (t検定)	重回帰分析

図-3 従属変数と説明変数の属性とその解析法  
※西内(2014)を一部改変。

タセットを作成し、ロジスティック回帰に供することによって、流行初期の発生程度だけでなく、気温や降雨等気象の影響も同時に解析することができる(KAWAGUCHI, 2014; 川口, 2015; 猫塚ら, 2018)。本研究手法の詳細については本誌でも川口(2015)が紹介しているので参照していただきたい。

### (3) 解析上の留意事項

上記の統計処理によってリスク要因を解析する前に、候補となる要因について発生頻度を明らかにすることをお勧めする。例えば、流行初期と盛期の発生程度の関連性を検討する場合には、事前に巡回調査データからそれぞれの発生頻度を求めてみる。また、流行盛期の発生程度と気象の関連性を検討する場合には、アメダスデータから各地域・時期における気温や降雨日数・降水量の平年値や年次推移を見てみる。流行盛期の発生程度と関連するリスク要因は、その発生頻度も高いことが多いため、検討すべき要因を絞り込むうえでの目安となる。

また、南北に広大な県土を有する岩手県では、地域によって病害虫の発生頻度や気象条件に違いが認められるため、地域性が交絡因子となり得る。この地域間差のような従属変数と説明変数の両方に影響を及ぼす交絡因子を調整しないと、誤った関連性を推定するおそれがある。そこで、このような交絡因子の影響を考慮した解析を行うためには、2×2分割表では地域ごとに層別化し、ロジスティック回帰では地域性を共変量(従属変数に影響を与える可能性のある変量)として回帰モデルに含めるとよい。このほか交絡因子となり得る要因としては品種、防除体系等が挙げられるが、本県の巡回調査データには記録されていないため解析では考慮していない。

## II 露地夏秋キュウリに発生する褐斑病のリスク要因分析

### 1 目的

岩手県におけるキュウリ褐斑病について、流行初期(7~8月前半)の発生、並びに流行盛期の発生(8月後半の多発生)にかかわるリスク要因を明らかにする。



2 材料および方法

(1) 供試データ

褐斑病の発生データは、岩手県病害虫防除所が過去14年間(2005~18年)に岩手県内の13~20圃場、延べ238圃場で7~9月に月2回実施したデータのうち、欠測および前年秋期の発生程度が不明な事例を除く延べ204圃場のデータを用いた。この調査データは、7月前半・後半、8月前半・後半、9月前半・後半の計6回、発生予察基準に従い発病葉率に基づく「無」~「甚」の5階級で記録されている。すなわち発病程度 無:発病葉率0%, 少:1~5%, 中:6~25%, 多:26~50%, 甚:51%~とした。

気象データは、調査圃場近隣のアメダス観測所のうち、降水量および気温を観測している3地点(盛岡、北上、江刺)を選び用いた。

(2) ロジスティック回帰分析

流行初期の発生の有無は、7月前半~8月前半を通じた発生程度「少以上」と「無」の2群に分けた。流行盛期の多発生の有無は、本県における被害面積の根拠としている8月後半の発生程度「多以上」と「中以下」に分けた。これらを従属変数とし、ロジスティック回帰分析を用い、各種要因との関連を検討した。

説明変数は表-1に示す要因を用いた。この説明変数が連続変数の場合、交互作用項を検討するため、3~4階級にカテゴリ化した。6月の感染好適は、挟間(1993)に基づき、感染条件(20~30℃)の下限温度である平均気温20℃以上かつ降水量0.5mm以上の日数とした。平均気温は、データの分布状況を勘案し、中央値超、中央値~第一四分位数、第一四分位数未満とした。

流行初期の発生に関する解析では、説明変数は本病発生の主因(前年秋期の発生)と誘因(6月の感染好適)となりうる要因を用いた。流行盛期の発生に関する解析も同様に、主因(流行初期の発生)および誘因(7月の平均気温)となりうる要因を用いた。

また、各地域における定植時期の早晚や本病の流行様相の違いが交絡因子となりうるため、普及センターの管轄エリアに基づき県内3地域(奥州、中部、盛岡)を共変量として強制投入し調整した。5%水準で有意であった説明変数は、変数間の交互作用の影響を評価し、有意な交互作用項はモデルに含めた。以上の解析には、統計ソフトのエクセル統計 ver. 2.03((株)社会情報サービス製)を用いた。

3 結果および考察

(1) 岩手県における褐斑病の発生頻度と夏期の気象概況

流行初期(7月前半~8月前半を通じた発生程度「少以上」と盛期(8月後半の発生程度「多以上」)の発生頻度を表-2に示した。本病が最初に認められた時期別の割合は、全県では7月前半が11.1%, 7月後半が38.9%, 8月前半が50.0%であり、初発時期はおおむね7月後半以降であった。地域別の発生頻度を見ると、奥州地域では前年秋期(57.9%), 流行初期(56.1%), 盛期(36.8%)ともに高かった。すなわち、前年秋期の発生程度が例年高い地域では早期から発生し、流行盛期に多発する傾向が認められた。

定植~収穫開始前までの1か月間にあたる6月における感染好適の出現頻度と平均気温を表-3に示した。6月における感染好適(平均気温20℃以上かつ降水量0.5mm以上)の出現頻度は平均3.7~4.6日/月であり、県南部に位置する奥州地域ほど高かった。各月の平均気温を見ると、奥州地域は6月には感染好適の下限温度20℃に達していた。7~8月は、いずれの地域も20℃を上回っており、感染温度を満たしていた。

以上をまとめると、本病の流行様相や夏期の気象概況は、奥州地域では他地域と異なる傾向が認められた。そこで、以降のロジスティック回帰分析では県内3地域を共変量として強制投入して調整後オッズ比を算出することにした。

表-1 本研究で用いた要因とカテゴリ

要因	内容	カテゴリ	ロジスティック回帰分析 <sup>a)</sup>	
			流行初期の発生	流行盛期の発生
前年秋期の発生	前年9月における発生程度	多以上, 中, 少, 無	○	
6月の感染好適	平均気温20℃以上かつ降水量0.5mm以上の日数	5日以上, 2~4日, 1日以下	○	
流行初期の発生	初発生が見られた時期	7月前半, 7月後半, 8月前半, 無		○
平均気温(7月)	日平均気温(℃)	21.4℃未満, 21.4~22.8℃, 22.8℃超		○

<sup>a)</sup> 表中の○印は各従属変数に関する解析で用いた説明変数であることを示す。

表-2 県内3地域における褐斑病の前年秋期、流行初期および盛期の発生頻度

地域 <sup>a)</sup>	延べ調査圃場数 <sup>b)</sup>	前年秋 <sup>c)</sup>		流行初期 <sup>d)</sup>			盛期 <sup>e)</sup>
		発生頻度 (%)	発生頻度 (%)	時期別の割合 (%)			発生頻度 (%)
				7月前半	7月後半	8月前半	
盛岡	106	26.4	30.2	6.3	37.5	56.3	9.4
中部	41	22.0	19.5	0.0	37.5	62.5	7.3
奥州	57	57.9	56.1	18.8	40.6	40.6	36.8
全県	204	34.3	35.3	11.1	38.9	50.0	16.7

a) 普及センターの管轄エリア。

b) 2005～18年に県内13～20圃場を調査。

c) 前年9月前半・後半を通じた発生程度「多以上」。

d) 7月前半～8月前半を通じた発生程度「少以上」。

e) 8月後半の発生程度「多以上」。

表-3 岩手県内3地域における夏期の気象概況<sup>a)</sup>

地域 <sup>b)</sup>	6月の感染好適(日数)	平均気温(°C) <sup>c)</sup>		
		6月	7月	8月
盛岡	3.7 (±2.4)	19.3 (±0.9)	22.8 (±1.4)	24.0 (±1.2)
中部	4.4 (±2.5)	19.8 (±0.8)	23.3 (±1.4)	24.5 (±1.2)
奥州	4.6 (±2.6)	20.0 (±0.8)	23.4 (±1.4)	24.5 (±1.2)

a) 表中の数値は2005～18年の平均値(±標準偏差)。

b) 各地域のアメダス観測地点は盛岡：同左，中部：北上，奥州：江刺。

c) ゴチックは平均気温20℃を上回る時期。

## (2) 流行初期の発生と関連する要因

褐斑病の流行初期(7～8月前半)の発生に関する要因別オッズ比を表-4に示した。流行初期の発生は「前年秋期の発生(多以上)」および「6月の感染好適(5日以上)」と有意な関連が認められた。「前年秋期の発生」との関連は、本病の第一次伝染源は前年の被害残渣である(宮本ら, 2007)ため、前年秋期に多発した圃地では感染圧が高く、早期から発生しやすくなるのであろう。

「6月の感染好適」(平均気温20℃以上の降雨日)のオッズ比は、感染好適日数が多くなるほど値が高くなる量-反応関係が認められたことから、6月の気象の影響を強く受けることが考えられた。本病菌は20℃以上で分生子を形成するようになることから(狭間, 1993)、平均気温20℃以上の降雨日との関係が見られたと思われる。県南部に位置する奥州地域では、6月の平均気温20℃を満たす日数、すなわち感染好適日数が他地域に比べて多い傾向であるため、早期から感染・発病しやすいのであろう。

表-4 褐斑病の流行初期の発生に関する要因別オッズ比

説明変数	カテゴリ	オッズ比	p値 <sup>a)</sup>
前年秋期の発生	無	1.0	
	少	1.7	0.34
	中	1.6	0.42
	多以上	7.4	<0.01**
6月の感染好適	1日以下	1.0	
	2～4日	2.6	0.07
	5日以上	5.4	<0.01**

a) Wald検定において有意(\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ )であることを示す。

表-5 褐斑病の流行盛期の発生に関する要因別オッズ比

説明変数	カテゴリ	オッズ比	p値 <sup>a)</sup>
流行初期の発生	無	1.0	
	7月前半	169.9	<0.01**
	7月後半	36.2	<0.01**
	8月前半	21.5	<0.01**
平均気温(7月)	22.8℃超	1.0	
	21.4～22.8℃	4.0	0.03*
	21.4℃未満	7.1	<0.01**

a) Wald検定において有意(\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ )であることを示す。

## (3) 流行盛期の発生と関連する要因

褐斑病の流行盛期の発生に関する要因別オッズ比を表-5に示した。流行盛期の発生は、「流行初期の発生」(オッズ比: 21.5～169.9)、「7月の平均気温」(同: 4.0～7.1)と強い関連性が認められた。両要因のオッズ比はいずれも量-反応関係が認められ、流行初期の発生時期が早くなるほど、また7月の平均気温が低くなるほど、それぞれ流行盛期の発生リスクが高まると考えられた。

「流行初期の発生」はそのオッズ比から最も関連性が

強いと考えられた。本病の第二次伝染源は病葉上に形成された分生子であるため、本病の伝染環からみても重要なリスク要因となり得る。また、7～8月の気象条件は本病の感染温度20℃以上を満たしており伝染を繰り返すため、発生時期の早晚と強い量-反応関係が見られたと推察される。

「7月の平均気温」は感染温度(20～30℃)のうち低温域との関連が認められた。本病菌は比較的高温性の病害とされているが(挾間, 2005)、発病が顕著になるための葉面の濡れは24時間以上を要する(挾間, 1993)ことから、二次伝染においては葉面濡れ時間が制限要因になると思われる。露地栽培において長時間の濡れが保持されるのは、東北地方太平洋側に位置する本県においては7月の梅雨期であり、平均気温20℃付近で推移することが多いことから、7月の平均気温のうち低温域との関連が見られた可能性がある。

#### 4 重要リスク指標の設定

本解析結果に基づき、流行盛期における多発生を予測するためには、「流行初期の発生」を重要リスク指標とし、発生予察においてはその兆候を把握することが適当と考えられる。具体的には、前年秋期の発生量と、6月の感染好適日(平均気温20℃以上の降雨日)の出現状況から、特に7月における早期発生を警戒する。また、巡回調査では7月前半～8月前半の調査結果に重きを置き、その発生圃場率に基づき流行盛期における発生程度の多少を予測する。実際には、初発生の頻度が高くなるのは7月後半以降であることから、「7月後半の発生圃場率」を重要リスク指標とすることが適当と考えられる。これにより、流行盛期(8月下旬～9月上旬)のおおむね1か月前には発生量を予測できるため、生産現場では余裕を持って防除計画(薬剤の種類、散布間隔)を変更することが可能になると思われる。

## おわりに

園芸作物に発生する病害虫の多くは、流行初期と盛期の発生程度の関係について知見が乏しく、その後の流行を予測するための調査時期や発生量、すなわち発生予察上の重要リスク指標が未整理のままとなっている。一方、都道府県病害虫防除所では、各地域における病害の流行様相を的確に表すことができる膨大な巡回調査データ、いわゆる「ビックデータ」を有している。近年、ビックデータから何らかの情報、法則、関連性等を導き出す「データサイエンス」が注目されており、西内(2014)はその簡便かつ有効な解析法としてロジスティック回帰を紹介している。そこで、これまで発生予測が困難であった病害虫についても巡回調査データを用いたリスク要因分析を行うことによって、重要リスク指標が見いだされる可能性がある。本県では、リンゴ褐斑病についても重要リスク指標を設定し(猫塚ら, 2018)、2018年から注意報などの発生予報の根拠として用いている。今後は、発生予測が難しい他の病害虫についても重要リスク指標を探索し、発生予察情報の早期提供と生産現場における適期防除につなげていきたいと考えている。

## 引用文献

- 1) 挾間 渉 (1993): 大分農技セ特別研報 2: 1～105.
- 2) ——— (2005): 原色野菜病害虫百科第2版 2 キュウリ・スイカ・メロン他 (農文協編), 農山村文化協会, 東京, p.87～92.
- 3) KAWAGUCHI, A. (2014): J. Gen. Plant Pathol. 80: 435～442.
- 4) 川口 章 (2015): 植物防疫 69: 363～367.
- 5) 宮本拓也ら (2007): 関東東山病虫研報 54: 9～12.
- 6) 猫塚修一 (2010): 植物防疫 64: 536～540.
- 7) ———ら (2009): 日植病報 75: 314～322.
- 8) ———ら (2018): 北日本病虫研報 69: 72～76.
- 9) 西内 啓 (2014): 統計学が最強の学問である [実践編], ダイアモンド社, 東京, 472 pp.





# 水稻高密度播種栽培のいもち病防除

長野県農業試験場

萬田 等\*・矢崎 明美・中島 宏和  
寺 岡 豪

Meiji Seika ファルマ株式会社

## はじめに

水稻の高密度播種栽培（密播または密苗と同義。以降、高密度播種という。）は、乾籾を育苗箱当たり 230～300 g 播種して育苗し、少量の苗を掻き取って移植する栽培方法である（澤本ら，2015）。高密度播種の一番の利点は、従来の水稻移植栽培に比べ面積当たりに必要な苗箱数を大幅に削減できることにある。これにより、種子以外の育苗に係る資材費を削減でき、育苗スペースも少なくできる。また、播種作業および移植作業の省力化にもなる。これまで従来型の移植栽培を行ってきた農家にとって、自前の移植機などを利用できるため新たな設備投資を行わずに資材費の削減・省力化が見込めることも導入への後押しとなっている。

一方、イネいもち病は依然として水稻の重要病害である。平成 9 年以降に登場した長期残効箱処理剤（以降、箱処理剤という）は、それまで本田防除が主であったいもち病防除を大きく変え、播種時または移植時の薬剤処理で省力的且つ予防的にいもち病を防除できるようにした。そして、現在もいもち病の基幹的な防除法として全国で実施されている。

箱処理剤として様々な農薬が上市されているが、処理量は育苗箱当たりの施用量が規定されている。したがって、高密度播種で箱処理剤を箱当たりの所定量を処理すると、苗箱数の削減に比例して面積当たりの薬剤投下量も大幅に少なくなることから、いもち病に対する防除効果の低下が危惧される。そこで、2017～18 年にかけて、前述の条件でいもち病に対する防除効果について検討したので、その結果について紹介する。

Control of Rice Blast in High Density Sowing Cultivation of Paddy Rice. By Hitoshi MANTA, Akemi YASAKI, Hirokazu NAKAJIMA and Takeshi TERAOKA

（キーワード：イネいもち病，高密度播種，密播，密苗，側条施用）  
\*現所属：長野県南信農業試験場栽培部

## I 高密度播種・疎植栽培における各種薬剤の防除効果

2017 年に高密度播種・疎植栽培でのプロベナゾール粒剤とピロキロン粒剤のいもち病に対する効果を検討した。試験は長野県上高井郡小布施町の水田で行った。品種‘コシヒカリ’を供試し、表-1 に示した試験区を設けて、1 区 33.6 m<sup>2</sup>，3 連制で実施した。実際に移植した苗箱数から農薬投下量を算出したところ、高密度播種・疎植栽培の箱処理区は、稚苗・慣行栽培の箱処理区の半量以下となった。プロベナゾール粒剤の側条処理区は 10 a 当たり 1,091 g が処理された。

表-1 試験区の概要（2017 年）

No.	育苗方式・栽植密度 <sup>1)</sup>	供試薬剤 処理方法	移植苗 箱数 (箱/10 a)	薬剤 投下量 (g/10 a)
1	高密度播種・疎植	プロベナゾール粒剤 1 kg/10 a 移植時側条処理	8.7	1,091
2	高密度播種・疎植	プロベナゾール粒剤 50 g/箱 移植当日処理	9.7	483
3	高密度播種・疎植	ピロキロン粒剤 50 g/箱 移植当日処理	9.8	491
4	高密度播種・疎植	無処理	8.7	—
5	稚苗・慣行	プロベナゾール粒剤 50 g/箱 移植当日処理	24.3	1,215
6	稚苗・慣行	ピロキロン粒剤 50 g/箱 移植当日処理	24.3	1,215
7	稚苗・慣行	無処理	24.3	—

<sup>1)</sup> 高密度播種・疎植 播種量：乾籾 250 g/箱 栽植密度：15 株/m<sup>2</sup>（畝間 30 cm × 株間 22 cm）。  
稚苗・慣行 播種量：乾籾 150 g/箱 栽植密度：22 株/m<sup>2</sup>（畝間 30 cm × 株間 15 cm）。

表-2 各種箱剤の葉いもちに対する防除効果 (2017年)

No.	育苗方式・ 栽植密度 <sup>1)</sup>	供試薬剤 処理方法	調査株数	7月25日(全葉)		8月4日(上位3葉)		葉害
				発病株率 (%)	病斑数 /株	発病株率 (%)	病斑数 /株	
1	高密度播種・ 疎植	プロベナゾール粒剤 1 kg/10 a 移植時側条処理	30	61.1	5.1	20.0	0.27	-
2	高密度播種・ 疎植	プロベナゾール粒剤 50 g/箱 移植当日処理	30	90.0	9.2	48.9	0.98	-
3	高密度播種・ 疎植	ピロキロン粒剤 50 g/箱 移植当日処理	30	70.0	6.9	51.1	1.20	-
4	高密度播種・ 疎植	無処理	30	100.0	26.5	83.3	2.56	-
5	稚苗・慣行	プロベナゾール粒剤 50 g/箱 移植当日処理	30	11.1	0.1	1.1	0.01	-
6	稚苗・慣行	ピロキロン粒剤 50 g/箱 移植当日処理	30	5.6	0.1	7.8	0.09	-
7	稚苗・慣行	無処理	30	88.9	9.8	47.8	0.99	-

<sup>1)</sup> 高密度播種・疎植 播種量：乾籾 250 g/箱 栽植密度：15 株/m<sup>2</sup> (畝間 30 cm × 株間 22 cm).  
 稚苗・慣行 播種量：乾籾 150 g/箱 栽植密度：22 株/m<sup>2</sup> (畝間 30 cm × 株間 15 cm).

試験場所：上高井郡小布施町。供試品種：‘コシヒカリ’。播種：5月10日。移植：5月25日。出穂：8月12日。  
 葉いもち調査：7月25日に各区30株の全葉について、8月4日に各区30株の上位3葉について、発病の有無および病斑数を調べ、  
 発病株率および株当たり病斑数を算出した。  
 葉害は随時肉眼で観察した。  
 その他：6月21日に発病苗を各区境の無処理株に2辺3箇所ずつ添え植え接種した。

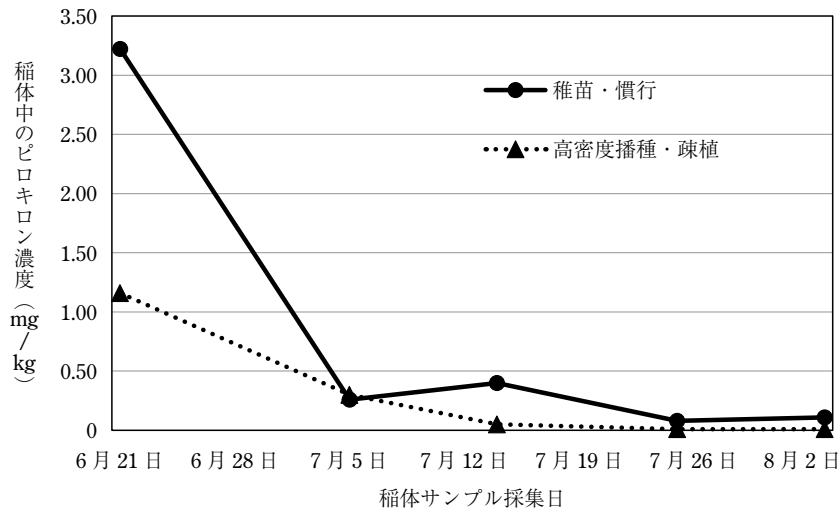


図-1 ピロキノンの稲体中成分濃度の推移 (2017年)

葉いもち調査は7月25日に各区30株の全葉について、8月4日に各区30株の上位3葉について、発病の有無および病斑数を調べた。穂いもち調査は9月8日に各区30株の全穂について発病部位別に発病の有無を調べた。

7月25日の葉いもち調査では、稚苗・慣行栽培無処理区の株当たり病斑数は9.8と中発生条件であった(表-2)。高密度播種・疎植栽培の各処理区の株当たり病斑数を見

ると、プロベナゾール粒剤箱処理区 9.2、ピロキロン粒剤箱処理区 6.9 と稚苗・慣行栽培の各処理区と比較して効果が低かった。プロベナゾール粒剤側条処理区は 5.1 となり、同一薬剤を処理したプロベナゾール粒剤箱処理区と比べると効果はやや高かった。高密度播種・疎植栽培の箱処理で防除効果が低下したのは、面積当たり薬剤投下量が半減したこと、疎植栽培の二つの要因が関係

表-3 各種薬剤の穂いもちに対する防除効果 (2017年)

No.	育苗方式・ 栽植密度 <sup>1)</sup>	供試薬剤 処理方法	調査穂数	発病率 (%)					被害度	葉害
				節	節・首	枝梗 1/3 以上	枝梗 1/3 未満	計		
1	高密度播種・ 疎植	プロベナゾール粒剤 1 kg/10 a 移植時側条処理	803	0.0	0.6	0.5	1.8	2.9	1.4	-
2	高密度播種・ 疎植	プロベナゾール粒剤 50 g/箱 移植当日処理	898	0.0	0.9	1.7	3.1	5.7	2.8	-
3	高密度播種・ 疎植	ピロキロン粒剤 50 g/箱 移植当日処理	883	0.0	1.0	1.3	2.4	4.7	2.5	-
4	高密度播種・ 疎植	無処理	771	0.0	3.2	4.5	8.1	15.8	8.3	-
5	稚苗・慣行	プロベナゾール粒剤 50 g/箱 移植当日処理	777	0.0	0.6	0.6	1.8	3.0	1.5	-
6	稚苗・慣行	ピロキロン粒剤 50 g/箱 移植当日処理	733	0.0	0.1	0.6	2.0	2.7	1.0	-
7	稚苗・慣行	無処理	733	0.0	2.4	2.3	3.1	7.8	4.7	-

<sup>1)</sup> 高密度播種・疎植 播種量：乾籾 250 g/箱 栽植密度：15 株/m<sup>2</sup> (畝間 30 cm × 株間 22 cm).  
 稚苗・慣行 播種量：乾籾 150 g/箱 栽植密度：22 株/m<sup>2</sup> (畝間 30 cm × 株間 15 cm).

試験場所：上高井郡小布施町。供試品種：‘コシヒカリ’。播種：5月10日。移植：5月25日。出穂：8月12日。

穂いもち調査：9月8日に各区30株の全穂について、発病部位別（節、首、1/3以上の枝梗、1/3未満の枝梗）に発病の有無を調査し、部位別の発病率および次式により被害度を算出した。

被害度 = 節・首率 + 枝梗(1/3以上)率 × 0.66 + 枝梗(1/3未満)率 × 0.26。

葉害は随時肉眼で観察した。

その他：6月21日に発病苗を各区境の無処理株に2辺3箇所ずつ添え植え接種した。

していると考えられた (表-1, 表-2)。これを裏付けるために、高密度播種・疎植栽培と稚苗・慣行栽培のピロキロン粒剤箱処理区について、移植27日後 (6月21日)の稲体中ピロキロン濃度を比較すると、稚苗・慣行栽培が3.26 mg/kgであったのに対して高密度播種・疎植栽培が1.18 mg/kgと低くなった (図-1)。また、疎植による葉色 (SPAD 値) の上昇も観察された (データ省略)。このことは、稲体中の窒素濃度が高いいもち病抵抗性が低下したものと考えられる (山田・皆川, 2010)。

その後行った8月4日の葉いもち調査では、高温傾向により上位葉への病勢進展が進まなかったものの7月25日と同様の傾向が見られた (表-2)。9月8日の穂いもち調査では、発生が少なかったものの各区の葉いもちの発生程度と同様の傾向が見られた (表-3)。

## II 高密度播種栽培における各種薬剤の防除効果

2018年に高密度播種栽培 (栽植密度は慣行) でプロベナゾール粒剤とピロキロン粒剤のいもち病に対する効果を検討した。試験は表-4の処理区を設定し、2017年の方法に準じて実施した。ただし、前年の試験結果から疎植栽培がいもち病の発生に与える影響を考慮しすべて

表-4 試験区の概要 (2018年)

No.	育苗方式 <sup>1)</sup>	供試薬剤 処理方法	移植苗 箱数 (箱/10 a)	薬剤 投下量 (g/10 a)
I	高密度播種	プロベナゾール粒剤 1 kg/10 a 移植時側条処理	11.0	1,204
II	高密度播種	ピロキロン粒剤 50 g/箱 移植当日処理	11.0	552
III	高密度播種	無処理	11.0	-
IV	稚苗	プロベナゾール粒剤 50 g/箱 移植当日処理	26.1	1,306
V	稚苗	ピロキロン粒剤 50 g/箱 移植当日処理	26.1	1,306
VI	稚苗	無処理	26.1	-

<sup>1)</sup> 高密度播種 播種量：乾籾 250 g/箱 栽植密度：18 株/m<sup>2</sup> (畝間 30 cm × 株間 18 cm).  
 稚苗 播種量：乾籾 150 g/箱 栽植密度：18 株/m<sup>2</sup> (畝間 30 cm × 株間 18 cm).



表-5 各種箱剤の葉いもちに対する防除効果 (2018年)

No.	育苗方式 <sup>1)</sup>	供試薬剤 処理方法	調査株数	7月17日(全葉)		7月25日(全葉)		8月6日(上位3葉)		葉害
				発病株率 (%)	病斑数 /株	発病株率 (%)	病斑数 /株	発病株率 (%)	病斑数 /株	
I	高密度播種	プロベナゾール粒剤 1kg/10a 移植時側条処理	30	15.5	0.4	14.5	0.4	8.9	0.12	-
II	高密度播種	ピロキロン粒剤 50g/箱 移植当日処理	30	80.0	5.8	77.8	3.7	0.0	0.00	-
III	高密度播種	無処理	30	98.9	15.8	92.2	10.3	27.8	0.40	-
IV	稚苗	プロベナゾール粒剤 50g/箱 移植当日処理	30	3.4	0.1	16.7	0.3	6.7	0.10	-
V	稚苗	ピロキロン粒剤 50g/箱 移植当日処理	30	25.0	0.6	30.0	0.6	0.0	0.00	-
VI	稚苗	無処理	30	96.7	12.1	93.3	9.7	28.9	0.48	-

<sup>1)</sup> 高密度播種 播種量：乾籾 250 g/箱 栽植密度：18 株/m<sup>2</sup> (畝間 30 cm × 株間 18 cm).  
 稚苗 播種量：乾籾 150 g/箱 栽植密度：18 株/m<sup>2</sup> (畝間 30 cm × 株間 18 cm).

試験場所：上高井郡小布施町。供試品種：‘コシヒカリ’。播種：5月8日。移植：5月24日。出穂：8月7日。  
 葉いもち調査：7月17日と7月25日に各区30株の全葉について、8月6日に各区30株の上位3葉について、発病の有無および病斑数を調べ、発病株率および株当たり病斑数を算出した。  
 葉害は随時肉眼で観察した。  
 その他：6月25日に発病苗を各区境の無処理株に2辺3箇所ずつ添え植え接種した。

の栽植密度を18株/m<sup>2</sup>に揃えて実施した。

葉いもち調査は7月17日と7月25日に各区30株の全葉について、8月6日に各区30株の上位3葉について、発病の有無および病斑数を調べた。穂いもち調査は9月4日に各区30株の全穂について発病部位別に発病の有無を調べた。

7月25日の葉いもち調査では、稚苗無処理区の株当たり病斑数が9.7と中発生条件であった(表-5)。稚苗のピロキロン粒剤箱処理区の株当たり病斑数が0.6と効果が高かったのに対し、高密度播種の同じ処理では3.7と効果がやや低かった。高密度播種の無処理と稚苗の無処理で発病はほぼ同程度であったことから、高密度播種のピロキロン粒剤箱処理区の防除効果が低下した要因は、薬剤投下量の半減によるものと考えられた(表-4, 表-5)。このような条件下でプロベナゾール粒剤側条処理区の株当たり病斑数は0.4と高い効果が認められた。8月6日の葉いもち調査は、7月25日と同様の傾向が見られた(表-5)。穂いもちの発生が極わずかであったため、防除効果を判定できなかった(データ省略)。

## おわりに

2017~18年に実施した試験の結果から、高密度播種栽培でプロベナゾール粒剤およびピロキロン粒剤を育苗箱当たり50g処理すると、いもち病に対する防除効果

が低下する可能性が示された。そのため、例年いもち病がそれほど問題とならないような地域であっても、同様の栽培を行う場合には生育期間中のいもち病の発生を十分把握し、必要な場合は本田で防除を実施する必要があると考えられる。

また、プロベナゾール粒剤の1kg/10a移植時側条処理は、育苗様式に依らず一定の薬剤投下量を確保でき、高密度播種栽培においてもいもち病に対する防除効果が高かった。

プロベナゾール粒剤の1kg/10a移植時側条処理を実施するためには、専用の施薬機が必要となる。そのため、施薬機の導入が困難な小規模な水稲農家が高密度播種に取り組む場合には別の防除対策が必要となる。

また、今回の試験ではいもち病に対する防除効果のみを検討しているが、箱処理剤による防除が主流となっているイネ紋枯病や近年多発が問題となっているヒメトビウンカをはじめイネミズゾウムシ、イネドロオウムシ等の初期害虫についても同様の懸念が残る。これら病害虫についても今後検討する必要がある。

## 引用文献

- 1) 澤本和徳ら(2015):日本作物学会第239回講演要旨集:11.
- 2) 山田真孝・皆川博孝(2010):北日本病虫研報 61:18~21.

## { 日植防シンポジウムから }

# 密苗移植栽培技術の概要と普及状況

ヤンマーアグリ株式会社 さわ 澤 もと 本 かず 和 のり 徳

### はじめに

水稲生産においては、トラクタ、田植機そしてコンバインの開発等、主要な作業の機械化が進められてきた。しかしながら育苗から移植までの作業は、出芽器やビニルハウス等育苗場所への苗箱の搬入搬出や移植時の田植機への苗補給等、機械化が進んでおらず依然として人力によるものが多い。実際、稲作経営の生産コストでは労働費が最も高く（調査平均の全算入生産費の27%）、作業別労働時間では育苗・田植が26%を占めている。そして、経営規模の大型化に伴って労働時間の合計は減少しているが、育苗・田植に要する時間の減少は小さく、大規模経営体においては労働時間全体に占める育苗・田植の比率が高まっている（図-1）。すなわち、育苗・田

植は経営規模の拡大によっても工数を削減しにくい作業であり、このことは近年の稲作経営の大規模化の進展に伴い大きな課題となっている。

これまでに水稲の播種や育苗の低コスト化について、直播栽培や疎植栽培の開発がなされてきた。直播栽培は種子を水田に直接播種する技術であり、育苗および移植作業が不要となる。しかしながら、出芽・苗立ちの不安定性が収量の不安定性につながることから、直播栽培は水稲栽培技術の主流となっておらず、その普及面積は全国の水稲作付面積の2%にとどまっている。また、移植栽培技術では栽植密度を低くすることにより使用する育苗箱数を低減できる疎植栽培が実施されている。しかし、移植後の低温などイネの分けつ期が天候不良な場合に穂数・初数の不足により減収するなど、直播栽培と同

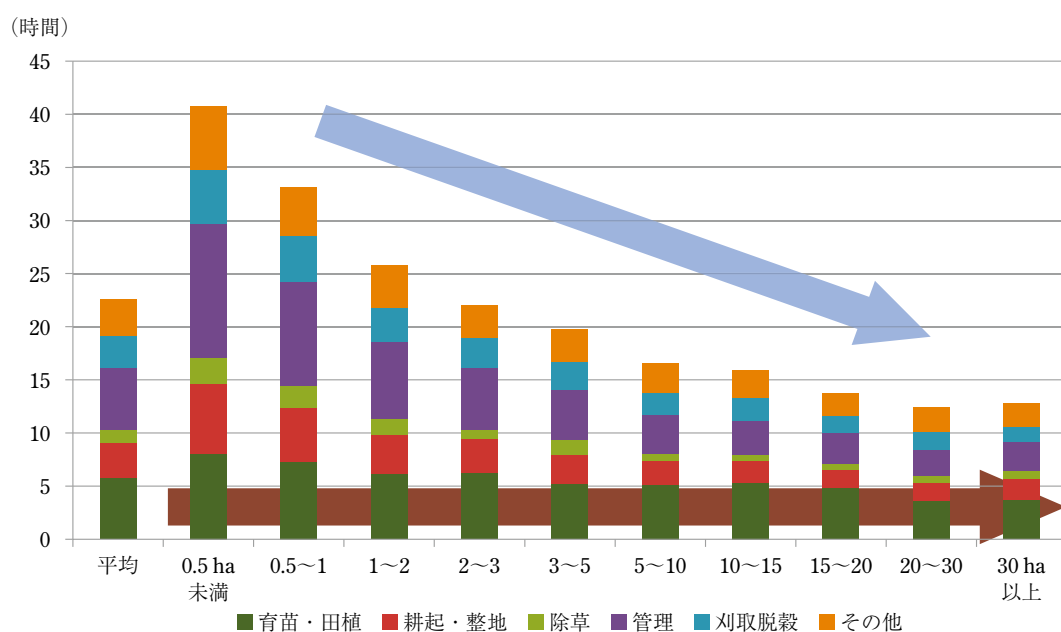


図-1 作付規模・作業別の労働時間 (平成29年産・全国平均・10a当たり)  
平成29年産米生産費統計 (農林水産省) から作図。

Overview and Spread Situation of Rice Cultivation by Transplanting Using High-Density Seedling Mats. By Kazunori SAWAMOTO  
(キーワード: 密苗, 高密度播種, 移植栽培, 低コスト, 省力)

様に収量安定性に課題があり、全国的にどこでも取り組める技術にはなっていない。

このような背景のもと、栽培上のリスクの少ない移植栽培技術を再度見直し、繁忙な春作業時期において投下労働力の大幅な削減が可能であること、慣行法と変わらない栽培管理が可能であること、慣行移植栽培と同等の収量水準であること、をねらいとして、稲作経営における飛躍的なコスト低減を実現すべく密苗移植栽培技術を開発した。

## I 密苗移植栽培技術の開発経緯

密苗移植栽培技術は、石川県の佛田利弘氏（株式会社ぶった農産代表取締役）の発案から始まっている。佛田氏は、同じ石川県の濱田栄治氏（農事組合法人アグリスターオナガ代表）が育苗箱1箱当たりの播種量を増やすことで10a当たりの移植に使用する育苗箱数を少なくしていることに着目し、播種量をさらに増やすことで育苗箱数を大幅に減らすことができるのではないかと考えた。このアイデアを石川県農林総合研究センターおよびヤンマー株式会社に提案し、2012年にこの4者による共同研究として開発がスタートした。まさに現場起点の農業経営者と研究機関とメーカーの三位一体となる取り組みである。

2013～14年に栽培技術および機械技術の試験を重ね、密苗の基本的な技術体系を構築した。2015年には石川県の20経営体、国内の5経営体において実際に密苗の播種・育苗・移植・栽培を行う現地実証栽培を開始し、2016年には青森県から鹿児島県まで342経営体において、延べ52品種を供試しての大規模なモニター実証栽培を展開した。そして2017年シーズンに向けて密苗仕

様田植機を上市した（図-2）。

## II 密苗移植栽培技術の概要

密苗移植栽培技術の要点は、育苗箱にイネ種子を高密度で播種し、その苗マットを専用の田植機で小さく掻き取って移植することで育苗箱数を削減する技術である（図-3）。密苗移植栽培技術を定義すると以下の通りである。

①播種量は育苗箱当たり乾籾で250～300g（コシヒカリなどの一般的な籾サイズの品種）

②移植時の目標苗姿は葉齢2.0～2.3（不完全葉を数えない表記）で、草丈15cm前後

③1株当たりの植付本数は4本程度

播種および育苗方法は、種子消毒や浸種等の種子予措や播種後の出芽、育苗管理は慣行法と同様でよく、また、使用する育苗箱や育苗培土等の資材や加温出芽器、ビニルハウス等の器具・施設も慣行法と同じものでよい。無加温出芽育苗やプール育苗も可能である。密苗栽培技術の導入にあたって必要となるのは、育苗箱に高密度に播種することが可能な播種機と密苗移植に対応した田植機である。なお、播種機は高密度対応播種機を導入するか、既存の播種機の部品交換または追加の播種ホッパーの導入で高密度播種できるようにする方法がある。

## III 密苗移植栽培技術の評価

前述の通り、密苗移植栽培技術は単位面積当たりの移植に使用する育苗箱数を大幅に削減することができる技術である。例えば、1箱当たり乾籾300gを播種し、m<sup>2</sup>当たり15.2株（坪当たり50株）の栽植密度で移植した場合、移植に使用する育苗箱数は10a当たり5～7箱となり、乾籾100g程度の播種量の稚苗に比べて約3分の



図-2 密苗仕様田植機の例（左：YR8D オート，右：YR4J）  
現行機種は4条，5条，6条，7条，8条植えがある。





図-3 密苗技術の概念

表-1 播種量と10a当たりの移植に使用する育苗箱数

栽植密度 (株/3.3 m <sup>2</sup> )	育苗箱当たり 播種量 (乾籾 g)	10 a 当たり 使用箱数 (箱)
60	100	18
50	100	15
50	密苗 250	6
50	密苗 300	5

生育の安定する一般的な栽植密度で（疎植にしなくても）育苗箱数が減らせる。

1に低減できる（表-1）。

これは、同じ水稻栽培面積であっても、密苗の場合は育苗に必要な育苗箱や育苗培土量が慣行稚苗の3分の1で済み、ビニルハウスの使用面積あるいは必要棟数が3分の1に削減でき、また、育苗箱の運搬や育苗管理に要する労働時間も削減できることになる。特に、稲作作業において春シーズンは、耕起・代かき・播種・育苗管理・田植え等の作業が輻輳し最も繁忙な時期であるが、例えば田植え作業時期にあって、育苗ハウスから圃場への苗運搬、田植え機への苗補給の回数の削減あるいは補助作業者が不要となる効果は大きい。生産費削減の効果としては、種子予措から移植作業までの10a当たりの生産費および作業時間がほぼ半減し、玄米収量10a当たり500kgの場合で玄米1kg当たり8.8円の低減となる試算がある（南石ら、2016）。

2016年に東北から九州にかけて実施した実証栽培では、玄米収量は慣行栽培と同等以上の実証地が半数以上

あり、密苗移植栽培技術が日本における広域適応性を有する可能性が示唆された。また、農業者からは、密苗栽培での使用箱数が少なく済み、播種・育苗管理から移植作業にかけての省力化、労力負荷軽減および育苗資材費の削減につながるとの評価が得られている（澤本ら、2019）。

#### IV 密苗移植栽培技術の留意点

密苗移植栽培技術は従来法の稚苗移植栽培技術の延長上にあり、特別に新たな管理作業は必要としないが、技術の特性上、以下の事項に留意していただきたい。

##### 1 箱施用薬剤

密苗移植栽培では、移植に使用する育苗箱数が少なくなることで育苗箱施用薬剤の単位面積当たり施用量が減少する。すなわち稲体内の薬剤成分量が少なくなり、病虫害防除効果の低下が懸念されている。これまで、密苗への箱施用薬剤使用において目立った病虫害被害は報告されていないが、留意すべきことである。病虫害多発時には慣行栽培と同様に随時防除の対応を行う必要がある。

なお、移植同時に本田に一定量の薬剤を施用できる田植機のアタッチメントとして側条施薬機が実用化されている。この側条施薬機は使用する育苗箱数によらずに一定量の薬剤施用が可能であり安定した防除効果が期待できる。また、農薬メーカーからは側条施用に使用できる薬剤の登録が増加しており、地域の病虫害発生状況に対応した薬剤選択の幅が広がっている。

##### 2 苗の保存期間が短い

密苗の移植適期を葉齢で2.0～2.3としているが、この時期を過ぎると生育が停滞傾向になることがわかっている。これは加温出芽器を使用した場合の育苗期間でおお

むね播種後2~3週に相当する。密苗は従来の播種密度の低い、いわゆる「うす播き」苗に比べて移植適期の期間が短いと考えられる。大面積経営においては、播種時期を複数回に段播きする、あるいは同時期に播種した苗を異なる出芽育苗方法（例えば加温出芽器使用苗とべたがけ被覆出芽法に分ける）で管理する等の対応が考えられる。

### 3 苗が若く小さい

密苗は現在の一般的な稚苗に比べて移植時の苗が若く小さい傾向にあることから、圃場の不陸により水没部分で苗が枯死するリスクが高い。また、大きく硬い苗に比較してスクミリングガイ（ジャンボタニシ）による食害も受けやすい可能性がある。

また、同時期に移植した一般的な稚苗に比べて出穂期および成熟期が数日遅延する傾向にある。中干し時期や病害虫防除、収穫適期等について、生育進度を見極めて対応する必要がある。また、寒冷地や高地では成熟未達にならないように品種や作期の選択を行っていただきたい。

## おわりに

2019年は密苗移植栽培技術が稲作現場に導入されて3

年目になるが、普及面積が飛躍的に拡大している。これはすなわち農業者の皆様が密苗移植栽培技術による生産コスト低減や労力軽減の効果を評価していただいた結果だと考えている。密苗移植栽培技術は、今後ますます規模拡大が進むと予想される大規模経営体はもとより、経営規模を問わずにすべての稲作農家、そして稲作に加えて他の品目や加工販売を行う経営体においても、生産性および収益性向上に貢献できるものと考えている。

本技術開発の一部は、「攻めの農林水産業の実現に向けた革新的技術緊急展開事業」（農業生産法人が実証するスマート水田農業モデル：IT農機・圃場センサー・営農可視化・技能継承システムを融合した革新的大規模稲作営農技術体系の開発実証）によって実施した。

## 引用文献

- 1) 南石晃明ら（2016）：TPP時代の稲作経営革新とスマート農業、養賢堂、東京、p.148~154.
- 2) 澤本和徳ら（2019）：農業食料工学会誌 81(4)：256~265.



## 登録が失効した農薬（2019.9.1~9.30）

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。

### 「殺虫剤」

- MEP 乳剤  
5050：金鳥スミチオン乳剤（大日本除虫菊）19/9/4

### 「殺虫殺菌剤」

- 石灰硫黄合剤  
7276：ヤナイ石灰硫黄合剤（柳井化学工業）19/9/17

## { 日植防シンポジウムから }

# 水稲高密度育苗における箱粒剤の適応性

一般社団法人 日本植物防疫協会 ふな 舟 き 木 ゆう 勇 き 樹

## はじめに

近年、水稲栽培の省力化、低コスト化を背景として、育苗箱当たり播種量を増加し、高密度に苗を育成することで育苗箱数を削減する技術の開発・普及が進められている。一般的な播種量が育苗箱当たり乾籾 100 g~150 g 程度（以下、慣行播種）であるのに対し、この技術では乾籾 250 g~300 g を播種（以下、高密度播種）する。1 株当たり植付け本数は慣行移植栽培と同様の 3~4 本だが、苗の掻き取り量を減らして使用箱数を慣行の 2 分の 1 から 3 分の 1 に削減することができる。

他方、水稲の基幹防除剤となっている箱粒剤の育苗箱処理は、播種量に関わらず育苗箱当たりの処理薬量となっている。このため、高密度播種では 1 株当たりの薬量が減少するので、病害虫に対する防除効果の低下が懸念されている。

そこで、当協会は 2017~18 年にわたり、高密度播種における箱粒剤育苗箱処理の防除効果を検討するとともに、モデル水田と実水田において稲体中農薬濃度を調査した。

本稿は、2019 年 9 月に開催されたシンポジウム「植物防疫の新たな展開の「その後」をフォローする」での講演内容をまとめたものである。

## I モデル水田における稲体中農薬濃度

育苗箱当たりの播種量および箱粒剤の処理方法が異なる条件での稲体中農薬濃度を調査するため、2017 年に日本植物防疫協会（以下、日植防）茨城研究所にて、コンテナを用いたモデル水田で栽培した稲体を経時的に採取し農薬濃度を分析した。その結果、移植 1 日後では、播種量の増加に伴って稲体中濃度が減少する傾向が見られた（図-1）。処理方法の違いによる稲体中の濃度を比

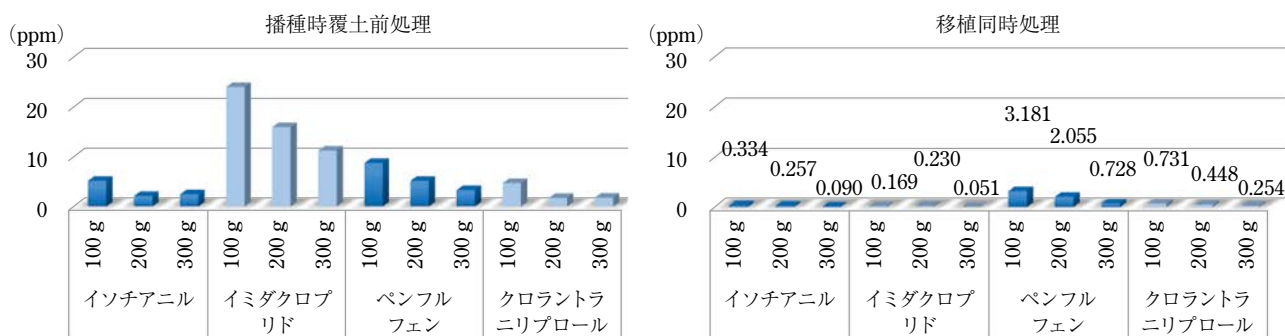


図-1 モデル水田における稲体中農薬濃度 (移植 1 日後)

品種: 'コシヒカリ'.

モデル水田: プラスチック製角形コンテナ (内寸: 縦 53 cm × 横 43 cm × 高さ 29 cm) に水田土壌を充てん, 4 株 (縦 30 cm 間隔, 横 18 cm 間隔)/コンテナ, 4 コンテナ/区.

供試薬剤: イミダクロプリド 2%・クロラントラニプロール 0.75%・ペンフルフェン 2%・イソチアニル 2% 粒剤.

乾籾播種量 (播種日): 100 g/箱 (2017/5/16), 200 g/箱 (2017/5/19), 300 g/箱 (2017/5/22).

移植日: 2017/6/6.

処理方法: 播種時覆土前処理は 50 g/箱処理し, 播種量に合わせた面積で株を切り取り移植した. 移植同時処理は 50 g/箱相当となるように 66 mg/株 (100 g 播種区), 33 mg (200 g 播種区), 22 mg (300 g 播種区) を, 移植時に株元に処理し軽く押し込んだ.

試料採取・分析: 地上部を採取. LC-MS/MS, LC-MS で定量.

The Effects of Granule Pesticides for Nursery Box Application on Rice in the High-Density Seeding Condition. By Yuki FUNAKI

(キーワード: 水稲, 高密度育苗, 箱粒剤, 防除効果, 稲体中農薬濃度)



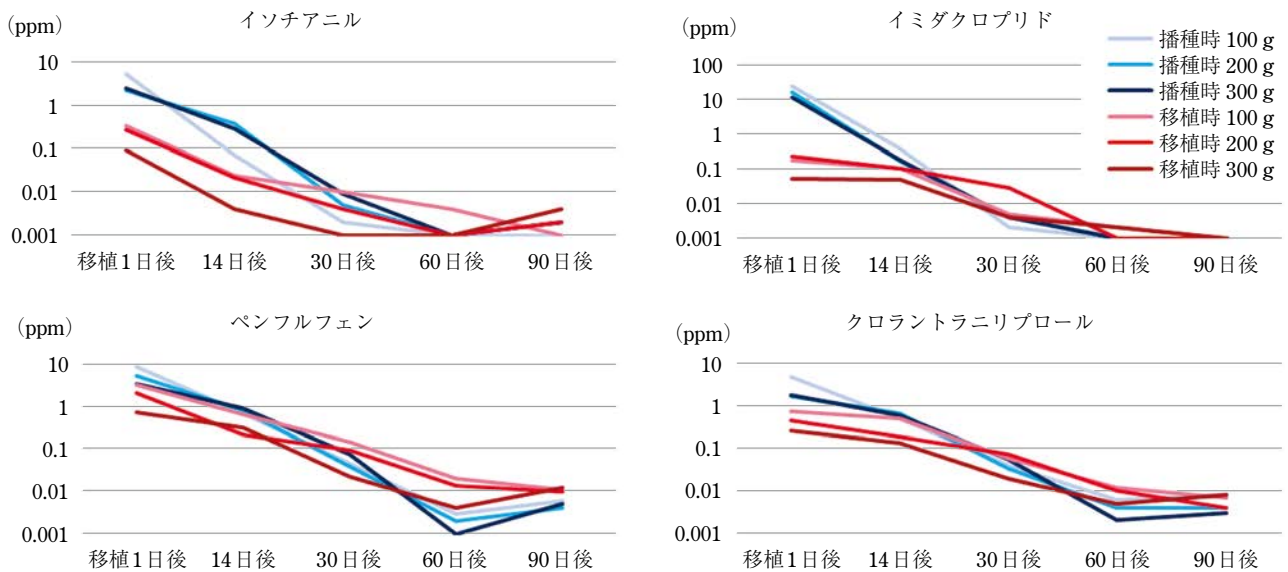


図-2 播種時覆土前処理と移植同時処理の経時的濃度推移の比較

較すると、播種時覆土前処理に比較して、移植同時処理の濃度は、極めて低い値であった。両処理ともその後濃度が上がることはなく、時間の経過とともに減少した(図-2)。

## II 高密度播種における 50 g/箱 育苗箱施用の防除効果

2017年に日植防茨城研究所で行った試験(イミダクロプリド 2.0%・クロラントラニプロール 0.75%・イソチアニル 2.0%・ペンフルフェン 2.0%粒剤の播種時覆土前処理, 移植当日処理)では、イネミズゾウムシ(少発生)、葉いもち(少発生)および紋枯病(中発生)に対して、いずれの処理方法においても高密度播種は慣行播種とほぼ同等の防除効果を示した(図表省略)。

また、2017年に茨城県農業総合センター農業研究所で行った試験(イミダクロプリド 1.95%粒剤の移植当日処理)でも、イネドロオウムシ(少発生)に対して、高密度播種は慣行播種に比べるとわずかに劣るものの実用上問題ないレベルであった(図表省略)。

2018年に日植防高知試験場で行った試験(イミダクロプリド 2.0%・クロラントラニプロール 0.75%・イソチアニル 2.0%・ペンフルフェン 2.0%粒剤の播種時覆土前処理)ではツマグロヨコバイに対して移植40日後までは播種量に関わらず高い防除効果が認められたが、移植49日後では高密度播種で僅かに虫数が増加したものの慣行播種とほぼ同等の防除効果を示した(図-3)。

一方で、2017年に日植防宮崎試験場で行った試験(クロラントラニプロール 0.75%・ピメトロジン 3.0%・

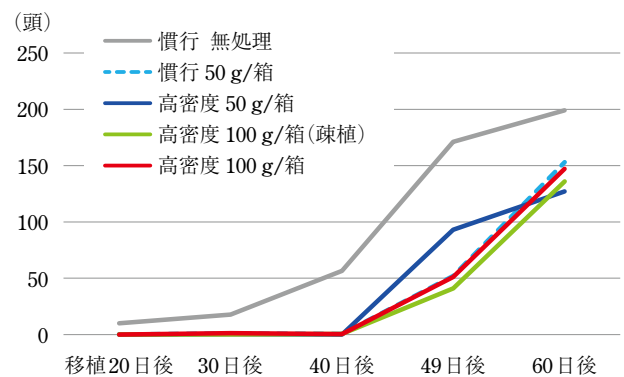


図-3 ツマグロヨコバイに対する防除効果(2018, 日植防高知試験場)

品種: 'ヒノヒカリ'. 移植日: 2018/5/30.  
 乾籾播種量・播種日: 250 g/箱・2018/5/15 (高密度).  
 : 125 g/箱・2018/5/9 (慣行).  
 10 a 当たり育苗箱数: 10 箱 (高密度), 20 箱 (慣行).

プロベナゾール 20.0%粒剤 (A 剤) およびクロラントラニプロール 0.75%・ジノテフラン 6.0%・トルプロカルブ 4.0%粒剤 (B 剤) の移植当日処理)では、薬剤によって防除効果が異なり、セジロウンカ(少発生)に対しては A 剤の高密度播種・慣行播種とも同等の防除効果であったが、B 剤の高密度播種は慣行播種に比べてやや劣る効果であった(図-4)。ツマグロヨコバイ(中発生)に対しては A 剤の高密度播種は慣行播種に比べて残効性でやや劣る効果であったが、B 剤では同等の防除効果であった(図-5)。コブノメイガ(少発生)に対しては両剤とも高密度播種は慣行播種に比べやや劣る効果であった(図-6)。これらの結果は、播種量の増加により防除効果がやや低下する可能性があるが、薬剤によってはそ

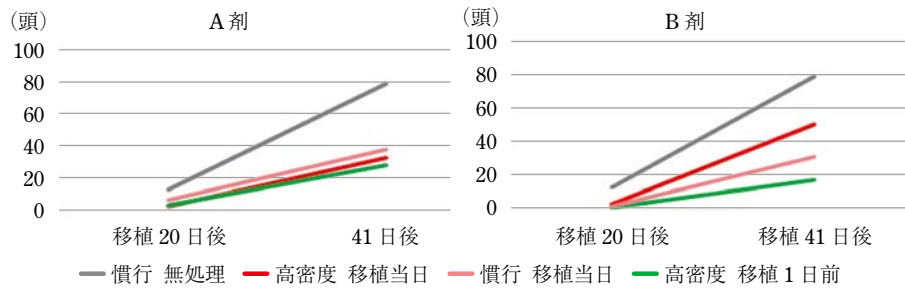


図-4 セジロウンカに対する防除効果 (2017, 日植防宮崎試験場)

数値は 120 株当たり虫数.

品種: 'ヒノヒカリ'. 移植日: 2017/6/21.

乾籾播種量・播種日: 250 g/箱・2017/6/6 (高密度).

: 150 g/箱・2017/6/2 (慣行).

10 a 当たり苗箱数: 12.5 箱 (高密度), 20 箱 (慣行).

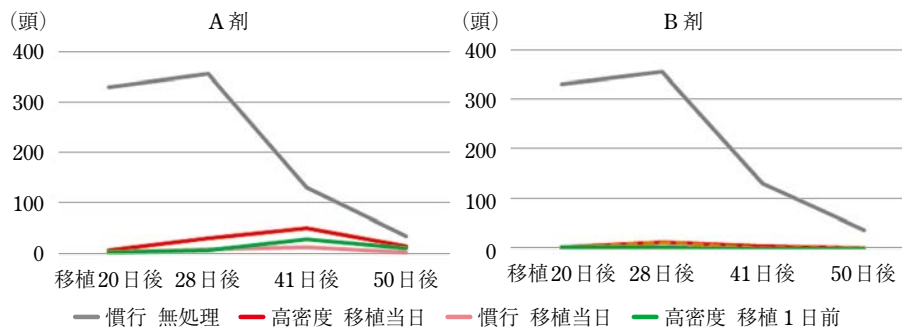


図-5 ツマグロヨコバイに対する防除効果 (2017, 日植防宮崎試験場)

数値は 120 株当たり虫数.

試験条件は図-4 に同じ.

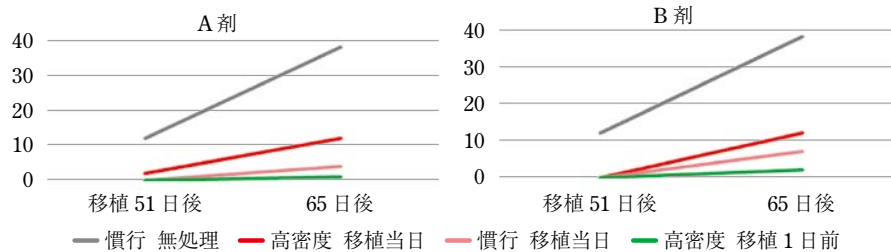


図-6 コブノメイガに対する防除効果 (2017, 日植防宮崎試験場)

数値は 600 株当たり被害葉数.

試験条件は図-4 に同じ.

の差が顕在化しにくくなることを示している。

2018 年に日植防茨城研究所で行った試験 (イミダクロプリド 2.0%・イソチアニル 2.0%・ペンフルフェン 2.0% 粒剤の播種時覆土前処理) では、紋枯病 (甚発生) に対して移植 51 日後は播種量に関わらず同等の防除効果が認められたが、移植 63 日以降では高密度播種は慣行播種と比べて防除効果は劣った (図-7)。このことから、甚発生条件では播種量増加による防除効果の低下が顕在化しやすくなることが示された。

### III 高密度播種における処理方法ごとの防除効果比較

2017 年の日植防茨城研究所の試験では、イネミズゾウムシ (少発生)、葉いもち (少発生) に対して、播種時覆土前処理、移植 1 日前処理および移植当日処理はほぼ同等の防除効果を示した (図表省略)。紋枯病 (中発生) に対して、播種時覆土前処理は移植当日処理に比べ顕著な差ではないものの、やや優る防除効果を示した (図表省略)。

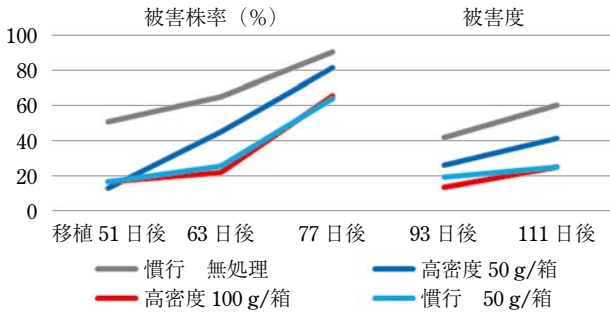


図-7 イネ紋枯病に対する防除効果 (2018, 日植防茨城研究所)  
 品種: 'コシヒカリ'. 移植日: 2018/5/30.  
 乾籾播種量・播種日: 250 g/箱・2018/5/15 (高密度).  
 : 125 g/箱・2018/5/9 (慣行).  
 10 a 当たり育苗箱数: 11.9 箱 (高密度), 21.7 箱 (慣行).

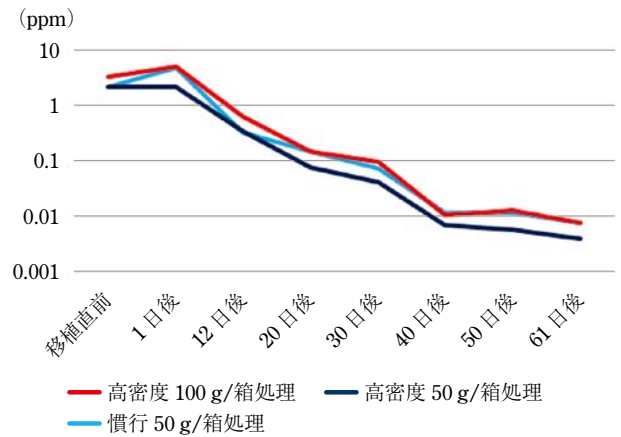


図-8 実水田における稲体中ペンフルフェン濃度 (2018, 日植防茨城研究所)

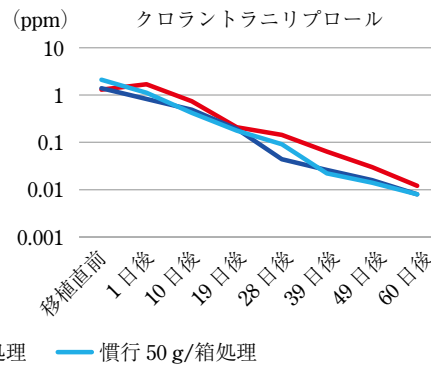
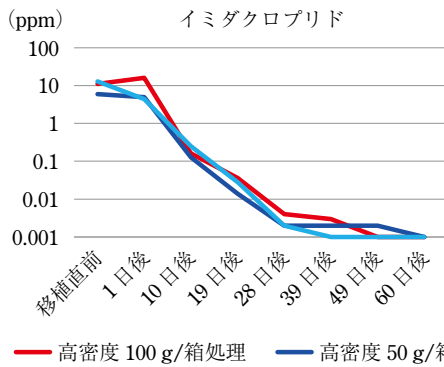


図-9 実水田における稲体中農薬濃度 (2018, 日植防高知試験場)

また、2017年の日植防宮崎試験場の試験ではセジロウカ(少発生)、ツマグロヨコバイ(中発生)およびコブノメイガ(少発生)に対して、薬剤によって同等あるいは移植1日前処理の防除効果が移植当日処理の防除効果を上回る結果となった(図-4, 5, 6)。

#### IV 高密度播種における倍量(100 g/箱)育苗箱施用の防除効果

高密度播種においては、慣行播種に比べて株当たりの投下薬量が減少し残効低下につながる懸念があることから、原体投下量を慣行に合わせた登録処理量の倍量(100 g/箱)処理による防除効果を検討した。2018年に日植防茨城研究所および日植防高知試験場にて、100 g/箱処理を検討した結果、両試験とも慣行播種・50 g/箱処理区とほぼ同等の防除効果を示した(図-3, 7)。

#### V 実水田における稲体中農薬濃度

2018年に実施した薬効試験の2圃場にて、経時的に稲体中農薬濃度を調査した(図-8, 9)。高密度播種・50 g/箱処理の株当たり投下薬量は慣行播種・50 g/箱処

理のおよそ半量で、高密度播種・100 g/箱処理のそれは慣行播種・50 g/箱処理と同等であった。両試験の結果とも、各区の稲体中農薬濃度はいずれの成分も株当たり投下薬量の比率とほぼ同じ傾向であった。

#### VI 高密度育苗における箱粒剤処理による薬害影響

2017年、2018年に実施した圃場試験において、登録の倍量(100 g/箱)処理した試験区を含め、すべての試験区で薬害は認められなかった。また、2018年に日植防宮崎試験場にて、高密度播種における7薬剤(表-1)の50 g/箱および100 g/箱播種時覆土前処理による育苗期の薬害影響調査を実施した。その結果、7薬剤のうち4薬剤では両処理量区とも薬害は認められなかった。3薬剤は50 g/箱処理区では薬害は認められなかったものの、100 g/箱処理区で出芽がやや不揃いになった。しかし、いずれの薬剤も播種7日後には発育は無処理区と比べて同等となり、その後の薬害症状は認められず、実用上問題のない程度であった。



表-1 播種時覆土前処理 倍量薬害試験

実施場所	供試薬剤	50 g/箱	100 g/箱
日植防茨城 (育苗期～ 圃場調査)	イミダクロプリド 2.0%, イソチアニル 2.0%, ペンフルフェン 2.0% 粒剤	-	-
日植防高知 (育苗期～ 圃場調査)	イミダクロプリド 2.0%, クロラントラニプロール 0.75%, イソチアニル 2.0%, ペンフルフェン 2.0% 粒剤	-	-
日植防宮崎 (育苗期調査) 品種: 'ヒノヒカリ' 播種量: 250 g/箱 播種日: 6/20 調査期間: 16 日間	クロチアニジン 0.8%, イソチアニル 2.0% 粒剤	-	-
	イミダクロプリド 2.0%, スピノサド 1.0%, イソチアニル 2.0% 粒剤	-	-
	シアントラニプロール 0.75%, イソチアニル 2.0% 粒剤	-	-
	イミダクロプリド 2.0%, スピノサド 1.0%, イソチアニル 2.0%, ペンフルフェン 2.0% 粒剤	-	-
	フィプロニル 0.60%, オリサストロピン 7.0% 粒剤	-	±*
	クロラントラニプロール 0.75%, トリシクラゾール 4.0% 粒剤	-	±*
	クロラントラニプロール 0.75%, チアジニル 12.0% 粒剤	-	±*

\*出芽不揃い、播種 7 日後には生育追いつき、その後影響なし。

### おわりに

2 年間の圃場試験を通して、育苗箱当たり処理薬量 50 g をそのままに播種密度を高めると、対象病害虫の種類や発生量、使用薬剤等の条件によっては慣行播種とほぼ同等の効果が認められる一方で、一定時期まではほぼ同等の効果が認められるものの、後半になると防除効果が劣る例も見られた。モデル水田および実水田の稲体中農薬濃度の結果から、高密度播種では慣行播種に比較して稲体中農薬濃度が低くなっており、これが防除効果、特に残効が低下する要因と考えられた。これは当初懸念された通り、播種密度を高め、移植時の 1 株当たりの掻き取り量を減らすことにより、1 株当たりの薬量が減少したことに起因するものと考えられる。

1 株当たりの薬量が限られる中で最大限に効果を発現させるためには、薬剤の稲体への吸収効率を高めることが重要となる。移植同時処理は稲体中への吸収効率が低く、それに比べて播種時覆土前処理は移植時の稲体中農薬濃度が高いことから、吸収効率のよい処理方法であると言える。また、播種時処理は機械化した一連の播種作業の中に組み込むことができるので、作業効率を上げることができる。

本試験において高密度播種と慣行播種の防除効果を比較すると、差が認められる例もあるが、多くは実用上問題のない防除効果を示した。初期の病害虫や発生量がさ

ほど多くない場合、あるいは対象病害虫に対して高い活性を示す薬剤の場合などは、高密度播種においても現状の処理薬量で使用に耐えうるものと考えられる。しかし、中期～後期病害虫において、特に多発条件では注意が必要で、多発した場合は、追加防除（航空防除や一般的な散布防除）を適切に組合せることによりカバーし得るものと考えられる。

原体投下量を慣行と同等にした育苗箱当たり登録処理量の倍量（100 g/箱）とした場合、薬量の増加は稲体中農薬濃度を高め、慣行播種・50 g/箱処理区と比較してほぼ同等の防除効果を示した。また、代表的な 7 剤について薬害を検討したところ、本試験においては実用上問題となる薬害は認められなかった。現状本処理薬量は未登録のため、使用することはできないが、今後の技術開発における知見が得られた。

水稻の病害虫防除には他に種子処理や灌注処理、薬剤をペースト肥料に混入する側条施用等があり、最近では粒剤の側条施用も開発・実用化されている。各地域、各農家の状況、事情に合った処理方法が選択される中、高密度育苗に関する本試験で得られた知見が一助になれば幸いである。

最後に、試験に協力いただいた茨城県農業総合センター農業研究所、株式会社クボタおよびヤンマー株式会社の関係者に深く感謝申し上げます。

植	物	
	防	疫
講	座	

## 病害編-23

## トマト葉かび病の発生生態と防除

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構  
野菜花き研究部門

いいだ ゆういちろう すしだ ひろとし  
飯田 祐一郎・須志田 浩稔

## はじめに

トマト葉かび病は世界的に重要な病害であり、特に国内では抵抗性品種の打破やレースの多様化等、他国にない問題が顕在化している。本病に関する全国調査によると、過去3年間で北海道と沖縄県を除くすべての地域において被害が確認されている（表-1）。特に関東・東山および東海地域で発生率が高い傾向を示し、それに伴い防除面積も広がっている。また東北地方の夏秋栽培で

も全国平均を上回る発生が認められる。

葉かび病菌の学名はこれまで多くの変遷をたどってきた。トマトの葉上から分離された本菌には初めに *Cladosporium fulvum* Cooke という名が与えられたが、形態的特徴の違いなどから *Cladosporium* 属から独立させ、新設した *Fulvia* 属において *Fulvia fulva* (Cooke) Ciferri とすることが提唱された (CIFERRI, 1954)。その後、分子系統学的な解析によって、*Passalora* 属へと転属させ *Passalora fulva* (Cooke) U. Braun & Crous と長らくされて

表-1 トマト葉かび病の発生面積率と実防除面積率（平成28～30年度）<sup>a</sup>

地域	調査年	冬春		夏秋	
		発生面積率 (%)	実防除面積率 (%)	発生面積率 (%)	実防除面積率 (%)
全国平均	H28	9.6	42.4	5.6	22.7
	H29	12.0	51.4	11.3	23.4
	H30	8.3	62.2	6.1	22.4
東北	H28	0	0	10.1	16.0
	H29	0	0	16.6	16.0
	H30	0	0	12.1	16.1
関東・東山	H28	8.3	63.2	4.9	40.4
	H29	17.1	91.0	23.7	41.0
	H30	8.4	67.4	8.4	67.9
北陸	H28	0.8	30.3	1.3	20.0
	H29	0.9	31.0	3.7	28.7
	H30	1.2	30.6	3.8	29.7
東海	H28	29.8	86.3	21.8	20.1
	H29	28.3	89.8	6.1	21.5
	H30	12.6	91.1	3.5	30.9
近畿・中国・四国	H28	5.8	27.2	2.0	18.1
	H29	4.1	27.2	2.3	17.5
	H30	8.4	29.4	8.4	18.8
九州	H28	4.7	18.6	2.5	17.8
	H29	6.0	21.8	2.4	17.9
	H30	10.0	22.7	4.8	20.7

<sup>a</sup> 農水省および JPP-NET の公開データより算出：発生面積率 = 発生面積 / 作付面積、実防除面積率 = 実防除面積 / 作付面積。北海道と沖縄県は3年間の発生面積0%のため未記載。

Ecology and Control of *Fulvia fulva*. By Yuichiro IIDA and Hirotoshi SUSHIDA

(キーワード：トマト葉かび病, レース分化, 抵抗性品種, 耐性菌)

いたが<sup>8</sup> (CROUS and BRAUN, 2003), さらに詳細な解析から現在では再び *F. fulva* (Cooke) Ciferri へと戻すことが提案されている (VIDEIRA et al., 2017)。*Fulvia* 属菌は 1 属 1 種であることから、葉かび病菌は分類学上において独立した不完全菌類である。ただし、本病害に対する抵抗性遺伝子 *Cf* は *C. fulvum* の頭文字に由来するなど、学術上は *C. fulvum* が現在でも最もよく使用されている。

## I 発 生 生 態

葉かび病菌の分生胞子はトマト葉面上に付着後、菌糸を伸長させ、主に葉裏の気孔から植物体内に侵入する。発病には、本菌の胞子発芽と菌糸伸長、また植物の気孔を開孔するうえで必須である高湿度条件が 8 時間以上続かなければならない (我孫子・石井, 1986)。侵入後は細胞間隙で 10~14 日ほど増殖し、柵状組織がダメージを受けることで葉の表側に黄化症状が現れる。その後、再び葉裏の気孔から菌糸が出現し、黄化症状のちょうど裏側の葉面上に菌叢を形成する。初期の菌叢は白色で薄いですが、二次伝染源となる分生胞子を大量に形成するころになると、中心付近から褐色を呈し、ベルベット状に盛り上がる (図-1)。病斑の形状は、品種によって円形または角形となるが、これは葉脈の柵上組織に依存することが報告されている。葉脈の柵状組織が規則的に整列している品種では、葉かび病菌が組織内を容易に進展し、葉脈を乗り越えるため円形の病斑となるが、不規則な柵状組織の場合には葉脈を超えられず角形となる (岸, 1962)。病斑の色は菌株によって黄褐色、茶褐色、灰褐色等異なる。病斑は葉裏に生じやすいが、病徴が激しいと表側にも現れる。病徴が現れる時期に乾燥していたり、また菌株によっては壊死症状を示す場合がある (図-1)。下位葉で発病が確認された後、次第に上位葉へと進展し、枯れ上がる。病状が進行すると、葉の黄化に伴う光合成能の低下、落葉、草勢の低下が生じる等、生育不良や着果不良へとつながる。



図-1 トマト葉かび病の典型的な病徴 (左) と壊死症状 (右)

空気伝染性であることから、分生胞子は植物残渣上だけでなく、施設内の支柱、誘引クリップ、収穫コンテナ等の資材表面からも検出される (渡辺ら, 2014)。施設内の植物残渣上で 6 か月後まで病原性を保持することが確認されており、一次伝染源になると考えられるが、培養して得た分生胞子のみでは急速に発芽率が低下する (我孫子, 1998)。本菌は通常、葉に感染し、まれに茎や花、葉柄、果実にも発病する。他の植物体上では菌糸伸長もできないため、トマト以外の植物は伝染源とならない。

本病害に対しては、「遺伝子対遺伝子説」に基づく抵抗性が 100 年以上前に見いだされ、真性抵抗性遺伝子 *Cf* を持つ品種が国内でも多く市販されている。抵抗性品種においても、葉かび病菌の胞子発芽や菌糸伸長、気孔への侵入等初期の感染行動は同様であるが、侵入後に速やかなカロースの蓄積や葉肉細胞の崩壊、過敏反応 (HR) を伴う細胞死等、一連の抵抗性反応が誘導されることで正常な進展が阻害され、感染が成立しない。

## II レース分化と抵抗性品種

我が国では抵抗性品種に対する親和性レースの多様化が大きな問題となっている (IDA et al., 2015)。レースを決定する因子は、宿主感染時に葉かび病菌が病原力因子として分泌する低分子タンパク質 (エフェクター) である。トマトの細胞間隙に放出されたエフェクターは、宿主の防御応答を抑制し感染を促進させるが、抵抗性品種ではエフェクターを介して病原菌の侵入が感知され、抵抗性が誘導される。エフェクター遺伝子の突然変異や欠失によって、抵抗性システムに察知されずに宿主内を進展できるよう分化した系統が寄生性を異にするレースとなる。これまでに *Cf-2*, *Cf-4*, *Cf-5*, *Cf-9* を持つ品種が栽培され、対応する葉かび病菌のエフェクター遺伝子 *AVR2*, *AVR4*, *AVR5*, *AVR9* の変異によって打破されたことで、現在までに 13 種類ものレースの発生が報告されている (表-2)。これまで *Cf-11* 品種の育成は報告されていないが、打破系統が出現したことから、いずれかの品種に意図せず導入されていたと推察される。同様に、*Cf-4* に連鎖している *Cf-4E* も、ほとんどの *Cf-4* 品種が保有していると考えられ、レース表記には記載しない場合が多い。抵抗性を打ち破る新レースは、新品種の上市から数年で出現する傾向にある。海外分離株と国内分離株のエフェクター遺伝子等を基にしたジェノタイプング解析から、すべてのレースは海外から侵入したのではなく、また同じレースであっても、ほぼすべての菌株がそれぞれ異なる親系統から分化していることが解明されている (IDA et al., 2015)。そのため、栽培する地域



表-2 トマト葉かび病菌のレース分化

トマト抵抗性 遺伝子	葉かび病菌レース <sup>a</sup>													
	0	2	2.4	2.4.11	4	4.9	4.11	4.9.11	9	2.9	2.5.9	4.5.9	2.4.9	
-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<i>Cf-2</i>	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-	+	
<i>Cf-4</i>	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	
<i>Cf-5</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	
<i>Cf-6</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Cf-9</i>	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	
<i>Cf-11</i>	-	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	
発生年	1956	1977	1997	1997	2003	2003	2007	2007	2008	2008	2011	2011	2018	

<sup>a</sup> + : 親和性, - : 非親和性.

外からのレースの侵入を警戒していても、その内側で打破レースが発生することになる。

葉かび病菌のエフェクターには *Cf* 抵抗性に対応する五つの非病原性 (*AVR*) 遺伝子のほかに、分泌タンパク質 (*extracellular proteins*) から同定された五つの *ECP* 遺伝子が報告されているが、*ECP* 遺伝子に対する抵抗性遺伝子群 (*Cf-ECP*) は栽培品種に導入されていない (LAUGE et al., 2000)。そのほかにも本菌のエフェクター候補として新たに 64 遺伝子が見いだされ、さらなる抵抗性遺伝子が同定されることが期待されている (MESARICH et al., 2018)。今後、国内のすべてのレースに抵抗性を示す新たな品種が育成されたとしても、単一の抵抗性遺伝子である場合には、さらなるレース分化の呼び水となることが予想されるため、これまでに導入されていない複数の抵抗性遺伝子 (*Cf-6*, *Cf-ECP* 群等) を持つ品種の開発が求められる。

### III レースの診断

トマト栽培における品種や防除法の選択のためには、栽培地に分布するレース情報を把握する必要がある。レースの診断は抵抗性シリーズに対する接種検定による判定が一般的であるが、入手が困難な海外の固定系統が使用されることから、これまでは一部の研究機関のみで実施されてきた。現在は、市販品種の自殖系統から作出された *Cf-2*, *Cf-4*, *Cf-5*, *Cf-9* を持つ判別用の系統が配布されており、レースの推定が可能となっている (窪田・飯田, 2019)。またこれまでのエフェクター遺伝子の SNPs 情報の蓄積により、*AVR* 遺伝子群の配列比較からレースを推定できるようになった (IDA et al., 2015)。しかしながら、これらの手法はあくまで四つの *Cf* 抵抗性に対する親和性の推定であることから、正確なレース診断にはやはりすべての *Cf* 抵抗性品種への生物検定が必要となる。接種検定においては、誤診を防ぐためにい

くつかの注意点があり (窪田・飯田, 2019)、また新レースが同定された場合は補的に分子診断でも確認することが推奨される。

## IV 防 除

現在、国内では抵抗性遺伝子 *Cf-4*, *Cf-5*, *Cf-9* を持つ品種が市販されているが、いずれも打破するレースが存在することから抵抗性品種のみに依存した防除体系は避ける必要がある。葉かび病菌のレースは、各地域で別々の系統から発生することが判明していることから、それぞれの栽培地におけるレース分布については最新の情報を注視する必要がある (図-2)。前作で葉かび病が発生していた場合は、植物残渣の除去、施設内の洗浄、資材の交換等を心がける。相対湿度が 80% 以下となると感染しないことから (我孫子・石井, 1986)、密植を避けたいうえでマルチの利用や施設内の環境制御により被害が低減される。肥料切れにより発病が助長することも知られており、適切な追肥が必要である。本菌はトマトを唯一の宿主とし、他のナス科植物上でも生存できないことから、前作や近隣で栽培されるトマト以外の植物は一次伝染源としての影響はないと考えられる。

現状では、本病害の防除において化学農薬の使用は避けられない。本菌は侵入から発病に至るまでの潜伏期間が長いことから、予防的な防除が必須であり、また葉裏の気孔から侵入するため、葉裏への十分な散布が鍵となる。アゾキシストロビン、トリフルミゾール、チオファネートメチル等は耐性菌の出現が問題となっており (WATANABE et al., 2017)、栽培地における耐性菌の発生状況を把握する必要がある。また SDHI 剤 (ボスカリド、ペンチオピラド) についても感受性の低下が報告されており、TPN、マンゼブ、キャプタン等のローテーション散布や微生物農薬の使用が推奨される。

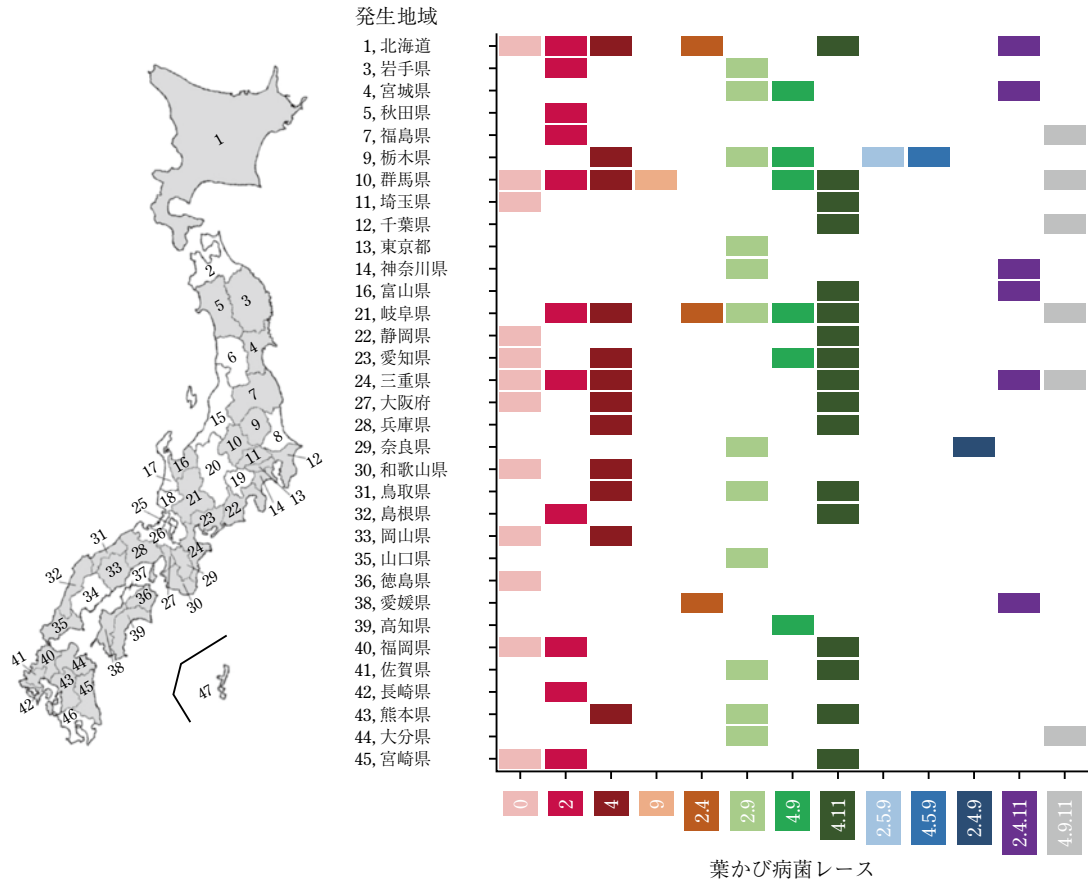


図-2 トマト葉かび病菌レースの国内分布

### V 葉かび病抵抗性品種における すすかび病の発病

葉かび病と症状が酷似するすすかび病 [*Pseudocercospora fuligena* (Roldan) Deighton] が、近年問題となっている。葉裏に形成される病斑は、葉かび病と同様にベルベット様の円形または角形であるが、葉かび病と比べて暗褐色である。病徴だけでの診断はやや困難であるが、胞子形態が全く異なることから顕微鏡観察で容易に判定できる (図-3)。本菌はナスすす斑病の原因菌でもあり、ナスとトマトの双方に病原性を示す。葉かび病とすすかび病は発生条件が若干異なるため、同一圃場内のトマトで混発することはまれである。いずれも多湿が発病条件ではあるが、葉かび病が20~25度を好み、晩秋から春にかけて発病するのに対し、すすかび病は夏から秋の25~30度付近での発生が多い。また葉かび病は肥料切れや着果の影響等でトマトの生育が衰えると発生するが、すすかび病は草勢に関係なく認められる。

すすかび病は、葉かび病抵抗性品種に発生することから問題となり、実際に *Cf-4* および *Cf-9* を持つ抵抗性品種にすすかび病が感染することが報告された (黒田,



図-3 トマト葉かび病菌 (左) とトマトすすかび病菌 (右) の分生胞子の形態

2008)。ところが、すすかび病菌において葉かび病菌のエフェクター *AVR4* の相同遺伝子が同定され、トマトの *Cf-4* 抵抗性品種に対して HR を誘導することが明らかとなった (KOHLENER et al., 2016)。そのため、国内のすすかび病菌は *Avr4* の HR 誘導能が変異していることが示唆された。*Avr4* は細胞壁の構成成分であるキチンに結合することで、植物が分泌する分解酵素から細胞壁を守るという重要な役割を果たしており、葉かび病菌のレース 4 などの系統において HR 誘導能を失った *Avr4* であってもキチン結合能は保持したままであることが明らかとなっている (van den BURG et al., 2003)。今後、国内の

すすかび病菌株における *AVR4* 遺伝子を解析し, *Cf-4* 抵抗性に対する機能を明らかにすることが望まれる。

### おわりに

葉かび病は世界中で発生する病害であるが, レースの多様化が問題となっているのは日本のみである。トマト栽培における化学殺菌剤の使用削減のため, 本病害に対しては抵抗性品種に過度に依存した防除体系となり, レース分化が促進された。また単一の抵抗性遺伝子を持つ品種の連続的な上市により, レースの多様化に拍車がかかった。今後, これまでに使用されていない複数の抵抗性遺伝子を導入した品種開発が求められる。また, それら導入した抵抗性遺伝子のうち一つだけを保有する品種が育種されてしまうと, 複数抵抗性品種であってもいずれ打破されることが容易に予想されることから, 我が国のみで起こるレースの多様化問題に終止符を打つためには, 関連業界において協定が結ばれることが望ましい。耐性菌の問題も徐々に顕在化しており, 生物農薬, 抵抗

性誘導剤, 特定農薬などの登録も期待される。

### 引用文献

- 1) 我孫子和雄・石井正義 (1986): 野菜試験場報告 A 14: 133~140.
- 2) ————— (1998): 関西病虫害研究会報 40: 125~126.
- 3) CIFERRI, R. (1954): Atti Ist. Bot. Lab. Critt. Univ. Pavia, Ser. 5, 10: 237~251.
- 4) CROUS, P. W. and U. BRAUN (2003): *Mycosphaerella* and its anamorphs, CBS, Utrecht, p.453.
- 5) IIDA, Y. et al. (2015): PLoS One 10: e0123271.
- 6) 岸 国平 (1962): 日植病報 27: 189~196.
- 7) KOHLER, A. C. et al. (2016): Plant Cell 28: 1945~1965.
- 8) 窪田昌春・飯田祐一郎 (2019): 関西病虫害研究会報 61: 55~60.
- 9) 黒田克利 (2008): 植物防疫 62: 123~126.
- 10) LAUGE, R. et al. (2000): Plant J. 23: 735~745.
- 11) MESARICH, C. H. et al. (2018): Mol. Plant-Microbe Interact. 31: 145~162.
- 12) van den BURG, H. A. et al. (2003): J. Biol. Chem. 278: 27340~27346.
- 13) VIDEIRA, S. I. R. et al. (2017): Stud. Mycol. 87: 257~421.
- 14) 渡辺秀樹ら (2014): 関西病虫害研究会報 56: 91~93.
- 15) WATANABE, H. et al. (2017): Plant Pathol. 66: 1472~1479.



植	物	
防	疫	
講	座	

## 虫害編-22

## 野菜類に発生するハダニ類の発生生態と防除

奈良県農林部農業水産振興課 くに 國 もと 本 よし 佳 のり 範

## はじめに

農薬登録上の野菜類という大グループに属する野菜の種類は多岐にわたる。読者の多くがイメージする葉菜類や果菜類、根菜類はもちろん、食用の花や薬用作物の葉、果樹の葉まで含まれている。これら野菜類の多くでハダニ類による被害がある。野菜類を加害するハダニ類としては、ナミハダニ *Tetranychus urticae* Koch, カンザワハダニ *T. kanzawai* Kishida, アシノワハダニ *T. ludeni* Zacher, ミカンハダニ *Panonychus citri* McGregor, ハクサイダニ *Penthaleus erythrocephalus* Koch, クローバービラハダニ *Bryobia praetiosa* Koch, ホモノハダニ *Petrobia latens* (Müller) が報告されている (梅谷・岡田, 2003)。また、ハウレンソウケナガコナダニ *Tyrophagus similis* Volgin, サビダニ類, ホコリダニ類も野菜類で問題となるダニ類として知られているが, これらは特定の作物で問題になる場合が多い。

筆者は病害虫防除所での勤務が長かったが, 野菜類の栽培現場で頻繁に問題になったハダニ類はナミハダニ黄緑型 (図-1) とカンザワハダニ (図-2) の2種類であった。そこで本稿では, この2種を取り上げ, 防除の考え方を主眼に解説したい。

なお, 両種の生態については高藤・森下 (2003) が詳しいので参照されたい。

## I 形態と分類

ハダニ類は昆虫とは異なり, 卵からふ化した幼虫は6脚で, 第1静止期を経た第1若虫は8脚となる。その後, 第2静止期-第2若虫-第3静止期を経て成虫になる。

両種の雌成虫の体長は0.5 mm程度と微小であり, 雄成虫はさらに一回り小さい。このため肉眼で種を識別するのは難しい。正確な種の分類には雄の挿入器の形状の違いを顕微鏡で観察する必要がある。しかし, プレパラート作製が煩雑であること, 雄成虫がいない場合には直ち

Ecology and Control of Spider Mites on Vegetables in Japan.

By Yoshinori KUNIMOTO

(キーワード: ハダニ, 野菜, 発生生態, 薬剤抵抗性, 防除)



図-1 ナミハダニ黄緑型 (写真提供 奈良県病害虫防除所)



図-2 カンザワハダニ (写真提供 奈良県病害虫防除所)

に分類できないことから, 遺伝子診断手法による種の判別法が開発されている (ARIMOTO et al., 2013)。

## II 発生生態

ナミハダニ黄緑型は世界中に分布し, 野菜類だけでなく, 果樹類や花き類の害虫として広く知られている (江原・真梶, 1996)。これに対し, カンザワハダニの分布は中国や韓国, 日本等で, 分布域はナミハダニ黄緑型よりも狭い (高藤・森下, 2003)。両種とも露地栽培の野菜類では3~11月, 冬期に加温する施設栽培の野菜類で

は1年中活動する。

ナミハダニ黄緑型の産卵数は100~150個程度で、25℃では10日ほどで卵から成虫になる(江原, 1993)。両種ともに野外では10世代程度を経過する(江原・真梶, 1996)。

両種の寄主植物は多岐にわたっている。野菜類ではイチゴやナス、スイカ等で特に発生が多い。栄養繁殖系のイチゴでは周年で確認でき、促成栽培では2~4月に多い。これに対し、種子繁殖系の露地栽培ナスでは、定植後、6月後半から7月上旬に増加し、その後急減し、9月中旬に増加あるいはそのまま推移する(大谷ら, 1991)。

種子繁殖系の果菜類では、育苗期か本圃に苗を定植した後のいずれかの段階で周辺からの侵入により個体群が形成されると考えられる。果菜類の多くが育苗業者によって専用の施設で育苗されている。育苗施設には、1年中何らかの野菜・花き類の苗や親株が栽培され、雑草も生育している。このため、育苗施設内では歩行あるいは人為的にハダニ類が別の苗に拡大していく可能性が高い。

ただ、カンザワハダニはチャの害虫としても知られており、アジサイなどの花木類、アケビ、クサギ等の野生植物にも寄生する。このため、定植後に圃場周辺の野外の寄主植物から侵入するケースもある。ナミハダニ黄緑型もキクのような周年で野外に存在する栄養繁殖系の寄主植物はあるが、カンザワハダニに比べるとその種類は少ない。

### III 被 害

両種による加害は、活動ステージによる葉の吸汁である。吸汁箇所は色が白く抜けるため白斑となる。これが多くなると葉表からでも加害箇所が白っぽく見え、葉裏は褐変する。さらにハダニ密度が高くなると、ハダニが吐く糸が葉縁部に張り巡らされ、活発に移動するハダニが糸上で観察されるようになる(図-3)。このような状態が続くと、茎頂部や葉縁部に大量のハダニが集まり、糸を伝って落下する。放置すると加害の著しい葉は落葉し、新しい展開葉は萎縮した小さな葉となり、株全体がわい化したようになる。葉菜類では商品価値はなくなり、果菜類では開花結実が妨げられ収量が減少する。

被害は、施設栽培で多い。底面給水やドリップ灌水のように茎葉に直接水が触れない灌水方法はハダニの発生を助長する。露地栽培では梅雨明け後に晴天が続くなど降雨が少ない条件で増殖しやすく、被害に至る場合がある。

ただ、上述したような典型的なハダニの加害症状が出にくい場合もある。例えば、葉が厚く、葉色が濃いイチ



図-3 ハダニ類による糸張り(写真提供 奈良県病害虫防除所)

ゴ品種は、葉裏に相当数のハダニに寄生されても葉表に白斑が生じにくい傾向にある。このため、発見が遅れがちになることが多い。

### IV 薬剤抵抗性

ナミハダニ黄緑型はイチゴをはじめとする野菜類(大仲・西野, 2013; 石川・江口, 2014; 今村・國本, 2016等)だけでなく、リンゴなどの果樹類でも薬剤抵抗性の発達が問題となっている(例えば, 木村, 2019)。これらを概観すると、現在の主要な殺ダニ剤のうち、ミルベメクテン、ピフェナゼートの効果は比較的安定しているが、シフルメトフェンやシエノピラフェン、ピフルブミド等は効果が低い事例が多い。一方、野菜類に発生するカンザワハダニでは、これらの殺ダニ剤の効果は高い。

このような両種間での薬剤感受性の違いの原因について、高藤・森下(2003)は、上述した寄主植物の利用範囲と個体群の交流を指摘している。すなわち、ナミハダニ黄緑型は野生植物での寄生はほとんど確認されておらず、栄養繁殖系の園芸作物で個体群を維持しているため、常に薬剤による淘汰にさらされている。一方、カンザワハダニは野生植物上でも個体群を維持できることから、薬剤感受性個体群が園芸作物栽培圃場周辺に存在する。これらが、園芸作物上の個体群と交流することで薬剤感受性が比較的高く維持されると考えられる。

薬剤抵抗性は、ハダニ類の防除を考えるうえでは避けて通れないテーマである。これまでに多くの殺ダニ剤が開発・上市されてきたが、薬剤抵抗性の発達により次々と変遷を繰り返してきた(山本, 2018a)。山本(2018b)はその解決策として、①新規作用機構の薬剤開発、と②後手に回らない抵抗性管理の普及、を挙げ、特に②の重要性を強調している。新しい薬剤開発には莫大な経費を

要し、薬剤抵抗性により数年で使用されなくなるのなら、新規薬剤の開発は経済的に釣り合わない。新規殺ダニ剤アシノナピルが開発されたが（山本，2018 a），このような新規薬剤がより長く使用できるよう，抵抗性管理の普及が重要である。

ただ，刑部・上杉（2009）はナミハダニ黄緑型において，同じ薬剤に対する抵抗性メカニズムが地域（国）によって異なる等，そのメカニズムが非常に複雑であることを解説している。昨年度まで農林水産省の委託プロジェクト「ゲノム情報等を活用した薬剤抵抗性管理技術の開発」でハダニ類についても研究が進められ，エトキサゾール抵抗性遺伝子頻度を求める方法が開発されるなど（OSAKABE et al., 2017），成果を挙げており，今後，栽培現場での活用が期待される。

## V 防除対策の考え方

### 1 化学的防除

作物ごとに登録されている殺ダニ剤の種類は異なる。例えば，イチゴではミルベメクチンやエマメクチン安息香酸塩（6），アセキノシル（20B），ピフェナゼート（20D），スピロテトラマト（23），シエノピラフェン，シフルメトフェン（25A），ピフルブミド（25B）等がある（（ ）内はIRACコード番号）。これらの薬剤の中から異なるIRACコード番号の薬剤を選び，使用回数を考慮して輪番で使用する。ただ，野菜類には様々な作型があり，接ぎ木や切り戻し等も行われる。これらによる使用回数をカウントする期間のリセットの考え方の理解が不可欠である。この点に関しては，公益社団法人緑の安全推進協会と農薬工業会がわかりやすいパンフレットを作成しており，参考にされたい（公益社団法人緑の安全推進協会，2019）。

また，野菜類での実際の散布作業は動力噴霧器による手散布が多い。散布時にはハダニ類の寄生部位を意識した散布器具，散布条件の選択を心がける。ただ，イチゴではナミハダニ黄緑型で各種殺ダニ剤に対し，感受性が低下した個体群が増えており，殺ダニ剤散布だけによる密度抑制は困難となっているのが現状といえる。このため，あらかじめ感受性検定を行い，対象とする個体群に有効な薬剤を選択する。さらに，薬剤抵抗性を考慮する必要がない気門封鎖剤の利用が増えている。

### 2 生物的防除

#### （1）カブリダニ製剤

殺ダニ剤散布による防除が困難となったイチゴ栽培では，カブリダニ製剤による防除が拡大している。特にチリカブリダニ製剤とミヤコカブリダニ製剤を組合せた防

除が普及している。

チリカブリダニ製剤が1995年に登録されてから約四半世紀が経過した。この間，放飼前にハダニ密度をできるだけ低くしておくことや，放飼前に使用する薬剤はカブリダニに影響の少ないものにする等の基本的な注意点はもとより，より安定した効果が期待できる放飼体系が研究されてきた（例えば，井村・米田，2017など）。一般的なボトルに入った製剤の使用以外にも，育苗期に天敵保護装置「バンカーシート®」を導入することで，本圃へのハダニ類の持ち込みを減少させ，さらに，本圃でも継続使用する（関根ら，2017）等，より安定した効果の使用法が開発されている。

#### （2）土着天敵の利用

圃場周辺の環境にはカブリダニ類やハダニタマバエ *Feltiella acarisuga* (Vallot)（安部ら，2011），ハダニアザミウマ *Scolothrips takahashii* Priesner 等の土着天敵が生息しており，これらを圃場に誘引し，防除に活用する研究も進められている（例えば，柳田ら，2017など）。利用に向けては，土着天敵に影響の少ない農薬情報や土着天敵の発生生態，圃場周辺での発生量の年次変動等を明らかにする必要がある。現在，果樹類では土着天敵に影響が少ない選択的な殺虫剤による主要害虫の基幹防除と園内の下草管理による土着天敵の活用が注目されている（FUNAYAMA et al., 2015など）。このような取り組みは今後，野菜類にも拡大していくと思われる。

#### 3 物理的防除

ハダニ類の物理的防除法としては，ハダニ類の歩行特性を利用し，ビニルハウス外周部のフィルムを折り返し，歩行侵入を遮断する「ダニ返し」（井上，1990）があるが，栽培現場への普及には至っていない。現在，実用化されている，あるいは実用化に近い物理的防除法としては，イチゴ栽培での高濃度二酸化炭素くん蒸処理（小山田・村井，2014），温室メロンやイチゴで検討されている近紫外線照射（増井ら，2014；TANAKA et al., 2016），カボチャやイチゴで検討されている蒸熱処理（TAKANO and Tanno, 2003；片山，2017）がある。最も普及しているのが高濃度二酸化炭素くん蒸処理である。関東地方を中心に全国に普及し，天敵製剤と組合せた防除体系も構築されている（板東，2019など）。

高濃度二酸化炭素くん蒸処理などの物理的防除は設備導入に経費がかかるうえ，利用できる作物が限られるという課題はあるものの，イチゴなど利用可能な作物では，今後，防除の基幹となっていくと考えられる（柳田，2019）。



#### 4 防除に影響を及ぼす要因

現在の促成栽培イチゴでのハダニ類の防除は、化学的防除法、生物的防除法、物理的防除法のいずれもが利用できる。栽培現場では、これらの単独あるいは組合せにより、より効果が安定する防除法が体系化されている(柳田, 2019; 関根, 2019)。

しかし、化学的防除法が主流の場合には、栽培者や指導者の関心は依然として薬剤感受性に集まりやすい。効果が高い薬剤を選択することは重要であるが、それだけで防除が成功する訳ではない。例えば、国本ら(1995)は、露地栽培ナスでのミナミキイロアザミウマに対する薬剤散布を前提とした聞き取り調査から、薬剤散布に影響する要因を抽出している。それらは多岐にわたっており、様々な要因が薬剤散布の成否に影響することが示唆されている。

殺ダニ剤散布による防除に影響する要因として、①圃場でのハダニ類の発生生態、②発生しているハダニ類の殺ダニ剤感受性、③散布薬液の付着状況、の三つが考えられる。より細かく見てみると、①圃場でのハダニ類の発生生態は、栽培中のどの段階で、どのようにしてハダニ類が圃場に侵入し、圃場内、あるいは作物のどの部分に寄生しているのか、等の情報で構成されている。これらを栽培者が把握しておくことで、より精度の高い防除が可能となる。また、②発生しているハダニ類の殺ダニ剤感受性については、栽培者ごとに殺ダニ剤散布履歴は異なることから、薬剤感受性も栽培者ごとに異なる。③散布薬液の付着状況は感水紙で評価できる。手散布での散布技量には個人差があり(國本・井上, 1996)、使用するノズルや散布竿の長さも様々な種類があり、どれを選択するかで付着程度は異なると考えられる。また、作物の生育ステージや整枝法も付着に影響を及ぼす。

そこで、ハダニ防除法に影響を及ぼす要因とその影響程度をまとめたのが表-1である。表-1に挙げた要因は、

主に殺ダニ剤散布防除に影響を及ぼすと考えられるものである。当然、殺ダニ剤散布では挙げたすべての要因が影響を及ぼすと考えられる。これに対し、カブリダニ製剤放飼では、処理のタイミングや気象条件、輸送中の温湿度管理、栽培者の所に到着したカブリダニ製剤の保管方法、放飼方法等が防除効果に影響を及ぼす可能性が大きい。しかし、ハダニ類の薬剤感受性や栽培圃場の条件は影響がない、あるいは少ないと思われる。さらに、高濃度二酸化炭素くん蒸処理では、処理プラントが設置できれば、中に苗を入れ、所定濃度の二酸化炭素を充てんし、一定時間放置する、という作業になる。処理タイミングや処理時の気温の影響は大きいですが、他の要因の影響はあまりないと考えられる。影響を及ぼす要因が少ない方法は、安定した効果が得られると期待できる。

一方、表には取り上げなかったが、土着天敵を利用する場合には、圃場周辺の植生や土着天敵への農薬の影響程度の情報が重要となる。地域で行われる畦畔の草刈り時期や除草方法、周辺圃場の栽培作目変更による使用農薬の変化等人為的な環境攪乱要因は、栽培者自身では制御できない場合もあるので、これらが土着天敵の生息や活動に及ぼす影響には十分な注意が必要である。

このようなハダニ防除の考え方の基本は、井上ら(1995)により示された。ハダニ類による被害を栽培者-圃場系に侵入する支障と考え、系に入り込む過誤が被害を招いてしまう、というものである。人的な過誤が入り込みにくく、防除に影響を及ぼす要因が少ない防除体系を構築することが、栽培現場でのハダニ防除の確実な実施につながると考えられる。

#### おわりに

各防除法に及ぼす影響要因という観点で防除法を見る機会は少ないかも知れない。しかし、失敗する可能性が低く、個人差が生じにくい防除法の確立のためには留意

表-1 主なハダニ類防除法に影響を及ぼす要因の影響程度

要因名	殺ダニ剤散布	カブリダニ製剤放飼	高濃度二酸化炭素くん蒸処理
ハダニの薬剤感受性	○	-	-
ハダニの生態・生活環等の情報	○	△	△
栽培圃場の畝幅、通路幅、誘引高さ等の条件	○	-	-
栽培者の作業経験	○	△	-
使用する道具や使用条件	○	-	-
処理のタイミング	○	○	○
処理時の気象条件	○	○	○
処理後の気象条件	○	○	-
使用する資材の保管管理方法	○	○	-

○：影響あり，△：多少影響あり，-：影響わずか〜なし。

すべき観点と考える。栽培者の高齢化や労働力不足が叫ばれる中、コストを踏まえて、対象作物や作型に応じたハダニ管理体系を構築していかなければならない。

#### 引用文献

- 1) 安部順一郎ら (2011): 植物防疫 65: 621~625.
- 2) ARIMOTO, M. et al. (2013): J. Econ. Entomol. 106(2): 661~668.
- 3) 板東裕香里 (2019): 技術と普及 56: 36~37.
- 4) 江原昭三 (1993): 日本原色植物ダニ図鑑, 全農教, 東京, 298pp.
- 5) ———・真梶徳純 (1996): 植物ダニ学, 全農教, 東京, 419pp.
- 6) FUNAYAMA, K. et al. (2015): Exp. Appl. Acarol. 65: 43~54.
- 7) 今村剛士・國本佳範 (2016): 奈良農研セ研報 47: 34~36.
- 8) 井村岳男・米田祥二 (2017): 同上 48: 1~6.
- 9) 井上雅央 (1990): 応動昆 34: 49~53.
- 10) ———ら (1995): 植物防疫 49: 369~374.
- 11) 石川博司・江口敏弥 (2014): 関西病虫研報 56: 139~143.
- 12) 片山晴喜 (2017): 植物防疫 71: 652~654.
- 13) 木村佳子 (2019): 同上 73: 486~491.
- 14) 公益社団法人緑の安全推進協会 (2019): 公益社団法人緑の安全推進協会ホームページ, [http://www.midori-kyokai.com/topix/topix\\_leaf.html](http://www.midori-kyokai.com/topix/topix_leaf.html)
- 15) 國本佳範ら (1995): 奈良農試研報 26: 39~46.
- 16) 國本佳範・井上雅央 (1996): 農作業研究 31(3): 175~180.
- 17) 増井伸一ら (2014): 植物防疫 68: 544~548.
- 18) 大仲桂太・西野 実 (2013): 関西病虫研報 55: 113~115.
- 19) 大谷 徹ら (1991): 応動昆 35: 153~159.
- 20) OSAKABE, M. et al. (2017): Pestic Biochem. Physiol. 139: 1~8.
- 21) 刑部正博・上杉龍士 (2009): 日本農薬学会誌 34(3): 207~214.
- 22) 小山田浩一・村井 保 (2014): 植物防疫 68: 407~413.
- 23) 関根崇行 (2019): 応動昆 63: 79~95.
- 24) ———ら (2017): 北日本病虫研報 68: 207~214.
- 25) 高藤晃雄・森下正彦 (2003): 日本ダニ学会誌 12(1): 1~10.
- 26) TAKANO, T. and M. TANNO (2003): Res. Pl. Prot. Japan 39: 19~22.
- 27) TANAKA, M. et al. (2016): J. Econ. Entomol. 109: 1758~1765.
- 28) 梅谷献二・岡田利承 (2003): 日本農業害虫大事典, 全農教, 東京, 1203 pp.
- 29) 山本敦司 (2018 a): 農薬の創薬研究の動向—安全で環境に優しい農薬開発の展開—, 株式会社シーエムシー出版, 東京, p.113~127.
- 30) ——— (2018 b): JATAFF ジャーナル 6(9): 47~52.
- 31) 柳田裕紹ら (2017): 九病虫研会報 63: 37~45.
- 32) ——— (2019): 応動昆 63: 1~12.

植物  
防疫  
講座

農薬編-22

ミトコンドリア ATP 合成酵素阻害剤

シンジェンタジャパン株式会社 ひかわ ひろき はやし けいすけ  
肥川 広樹・林 敬介

はじめに

本稿では、ミトコンドリア電子伝達系の複合体 V (ミトコンドリア ATP 合成酵素) を作用点部位とする、IRAC 分類のグループ 12, ミトコンドリア ATP 合成酵素阻害剤について解説する (農薬工業会, 2019 ; 表-1)。これらの剤の標的生理機能は呼吸であるが、呼吸とは生物が細胞の中に酸素を取り込み、グルコースから代謝される有機物を種々の酵素を利用し段階的に水と二酸化炭素に代謝する過程において、生命活動に必要なエネルギーを取り出す仕組みである。これにより取り出されたエネルギーは ATP (アデノシン三リン酸) が持つ化学エネルギーという形で保存される。このエネルギーは、生体内の物質合成や運動等に利用され、生物の生命維持に不可欠な物質であることから ATP は「エネルギー通貨」と形容される (図-1)。ATP の生産過程は大きく三つの反応系に分けることができ、それぞれ細胞基質内での解糖系、細胞内の小器官であるミトコンドリア内でのクエン酸回路および電子伝達系と呼ばれている。解糖系でも ATP 生産は行われるが、電子伝達系での生産量が最も

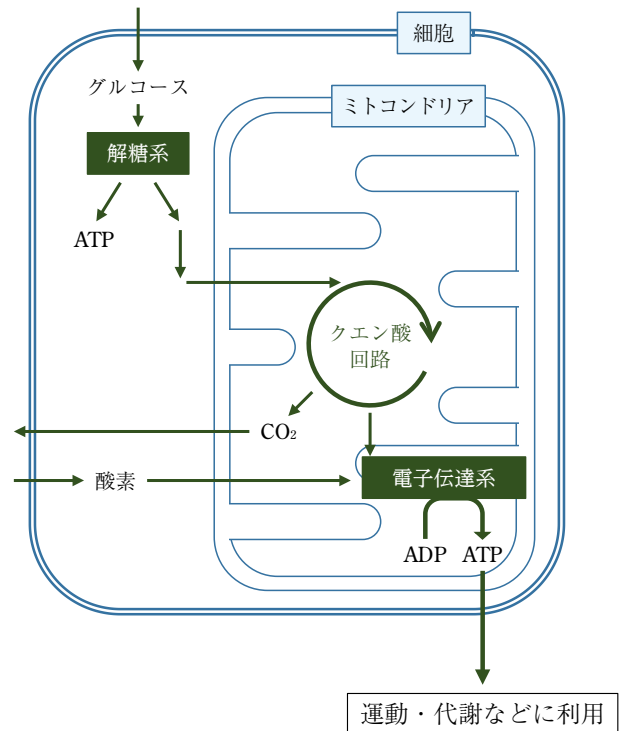


図-1 呼吸による ATP 生産のイメージ図

表-1 IRAC グループ 12 化合物一覧 (農薬工業会, 2019 を一部改変)

主要グループと 1 次作用部位	サブグループあるいは 代表的有効成分	有効成分	農薬名 (例) (剤型省略)	標的生理機能	
12 ミトコンドリア ATP 合成酵素阻害剤	12A	ジアフェンチウロン	ガンバ	呼吸	
	12B	アゾシクロチン	日本での登録なし		
		有機スズ系ダニ剤	水酸化トリシクロヘキシルスズ (シヘキサチン)		ブリクトラン (1987 年 12 月 3 日に失効)
		酸化フェンブタスズ	オサダン (2017 年 7 月 11 日失効)		
	12C	プロバルギット	BPPS (プロバルギット)		オマイト
12D	テトラジホン	テトラジホン	テデオン		

Mitochondrial ATP Synthase Inhibitors. By Hiroki HIKAWA and Keisuke HAYASHI

(キーワード: ミトコンドリア ATP 合成酵素阻害剤, 殺虫剤, 殺ダニ剤, 作用機構, ジアフェンチウロン, 有機スズ系殺ダニ剤, BPPS, テトラジホン)



多い。この電子伝達系の最終段階にミトコンドリア ATP 合成酵素が存在する。この酵素によって ADP (アデノシン二リン酸) から ATP が合成され (酸化的リン酸化), 生命活動において大きな役割を果たしている (図-1)。

現在, ミトコンドリア ATP 合成酵素阻害剤として分類されている化合物は, 12A: ジアフェンチウロン, 12B: 有機スズ系ダニ剤 (アゾシクロチン, 水酸化トリシクロヘキシルスズ (シヘキサチン), 酸化フェンブタスズ), 12C: BPPS (プロパルギット) および 12D: テトラジホンの六つ存在する (図-2)。これらの化合物のうち, 現在国内で製品が登録されているものはジアフェンチウロン, BPPS およびテトラジホンの 3 種のみである (農業工業会, 2019)。

## I 開発の経緯

有機スズ系の殺虫剤である水酸化トリシクロヘキシルスズ (シヘキサチン) は, アゾシクロチンの分解により生成する化合物である (EARLEY et al., 2019)。アゾシクロチンは日本での農薬としての登録はないが, シヘキサチンはプリクトラン (商品名プリラーおよびプリック) と呼ばれ, 1972 年に農薬登録されたが, 1987 年 12 月 3 日に失効している。ポジティブリスト制度導入に際して, アゾシクロチンおよびシヘキサチンは, 食品において「不検出」とされる農薬などの成分であると規定された。その後, シヘキサチンのインポートトレランス設定の要請に伴い, 食品安全委員会農薬専門調査会により ADI の評価を受け, アゾシクロチンおよびシヘキサチンをシヘキサチン含量に換算したものの和として農作物への基

準値設定がされている (食品安全委員会, 2012; FAMIC HP)。

酸化フェンブタスズは, シェルケミカルによって合成され, 商品名オサダン®水和剤 25 として 1980 年 9 月 22 日に農薬登録を取得した。以降, オサダン®フロアブル, エトキサゾールとの混合剤であるツインパック®フロアブルが開発された。ただし, これら 3 製剤は 2017 年 7 月 11 日までに全て失効となっている。

BPPS は, ユニロイヤル社によって合成された亜硫酸エステル系の殺ダニ剤である。1966 年より D-014 の試験番号で公的委託試験が開始され, 1967 年に登録取得, 1968 年より商品名オマイト®として上市されている。現在, BPPS 30.0% のオマイト®水和剤はりんご, みかん, かんきつ, 小粒種ぶどう, 大粒種ぶどう, ももおよびおうとうのハダニ類, ミカンサビダニおよびカンザワハダニへの登録を得ている。BPPS 57.0% のオマイト®乳剤は, 茶のカンザワハダニおよびチャノナガサビダニへ登録取得している。世界的には 72 か国で登録され, 40 作物以上に使用されている世界で最も出荷金額の多い殺ダニ剤となっている (Philips McDougall, 2006)

テトラジホンは, 1954 年にフィリップス・デュファール社によって合成された有機硫黄系の殺ダニ剤である。1957 年に日本での農薬登録を取得し, アグロ カネショウよりテデオンの商品名で上市された。現在, テトラジホン 18% のテデオン®水和剤は, りんご, なし, みかん, メロン, なす, 花き類・観葉植物およびすぎのハダニ類 (ミカンハダニ, およびスギノハダニ含む), テトラジホン 8% のテデオン®乳剤は, りんご, なし, かんきつ, すいか, きゅうり, なす, いちご, 茶, 花き類・

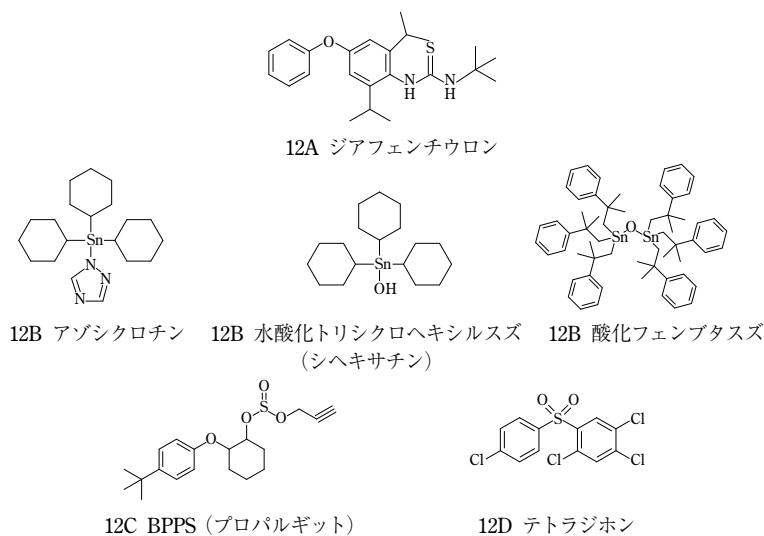


図-2 ミトコンドリア ATP 合成酵素阻害を作用点とする化合物の IRAC コードと化学構造式

観葉植物およびすぎのハダニ類（ミカンハダニ、カンザワハダニおよびスギノハダニ含む）への登録を取得している。

ジアフェンチウロンはスイス国チバガイギー社（現シンジェンタ社）により 1979 年に合成されたチオウレア系の殺虫・殺ダニ剤である。チバガイギー社におけるチオウレア系化合物の開発の歴史は古く、農業分野での開発以前に、動物寄生性のダニ防除剤としてすでに本系統化合物を有効成分とする動物用医薬品が上市されていた。1970 年代半ば、農業分野において既存剤とは異なる作用機構を持った新規殺ダニ剤の探索をする中で、チオウレア系化合物が再び注目されてスクリーニングが開始された。基礎スクリーニングの結果、チオウレアに 2,6-ジアルキルフェニル基を付け、さらに同じフェニル環の 4 位にフェノキシ基を導入することにより、著しく活性が向上することが見いだされた。その後、さらに合成展開を図りジアフェンチウロンが選抜された。

海外においては、1980 年ころから多用された合成ピレスロイド剤の影響で、ハダニを含む吸汁性害虫類の被害が綿花生産国の重要問題となっていたことから、ワタのハダニを対象とした圃場試験が開始され、実用的な防除効果が確認された。さらに試験を重ねた結果、ハダニに対する効果に加え、アブラムシ、コナジラミ、キジラミ等の吸汁性害虫に対しても非常に優れた防除効果を有することが見いだされ、これを契機にワタ、果樹、野菜等の広範な作物を対象に殺虫・殺ダニ剤としての開発が世界各国で行われた。現在、海外では Pegasus<sup>®</sup>、Polo<sup>®</sup> の商品名で販売されている。

我が国においては、1982 年より日本チバガイギー社において社内試験が開始され、ハダニに加え、アブラムシ類、コナジラミ類等のカメムシ目害虫、コナガ、アオ

ムシ等のチョウ目害虫およびアザミウマ等のアザミウマ目害虫に対する高い活性を示すことが判明した。1989 年から日本植物防疫協会を通じ、CG-167 の試験番号で 50% 水和剤の公的委託試験が実施され、チャの害虫であるチャノキイロアザミウマ、チャノミドリヒメヨコバイ、チャノホコリダニ、チャノナガサビダニおよびツマグロアオカスミカメのほか、キャベツの既存農薬に対し抵抗性を獲得したコナガ、アブラムシ類にも有効な殺虫剤として実用性が確認された。1992 年よりトモノ農薬（現シンジェンタ社）、1994 年からはシオノギ製薬（現バイエルクロップサイエンス社）が加わり、ガンバ<sup>®</sup> 水和剤の名称で 3 社の共同開発がすすめられた。1994 年に農薬登録申請を行い、1997 年 4 月 30 日に登録取得された。近年では、海外からの侵入害虫であるチャのチャトゲコナジラミに対する高い効果が確認され、2014 年に適用拡大がなされている。

## II 作用機構

### 1 ミトコンドリア ATP 合成酵素阻害剤

IRAC グループ 12 に属する薬剤が標的とするミトコンドリア ATP 合成酵素は、好気呼吸の最終段階である電子伝達系で働く酵素である。ミトコンドリア電子伝達系には五つのタンパク質複合体が関係しており、それぞれ複合体 I、II、III、IV、V と呼ばれている（図-3）。このうち複合体 V が、IRAC グループ 12 の薬剤が標的とするミトコンドリア ATP 合成酵素である。いずれの複合体が行う反応も生物にとって非常に重要な役割を果たしており、それぞれに対して阻害作用をもつ殺虫剤/殺ダニ剤が存在する。

複合体 V は、それまでの電子伝達系の反応によって膜外に汲みだされたプロトンの濃度勾配を利用し、ATP

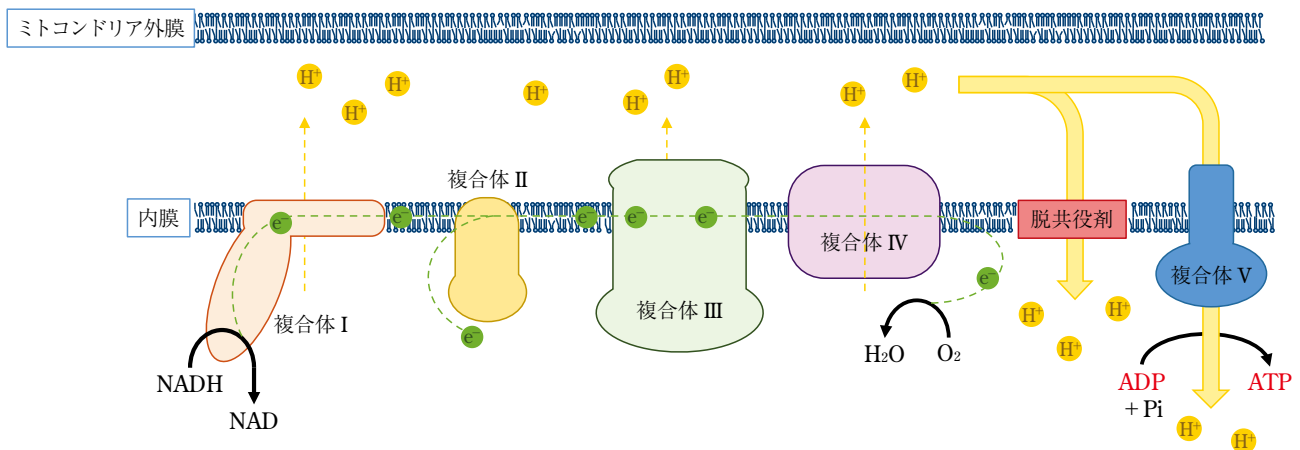


図-3 ミトコンドリア電子伝達系の作用部位

の合成を行っている。構造としては、内膜を貫通する Fo 部位と、ATP の合成を行う F1 部位の二つの部位からなっている (図-4)。一連の反応は、膜外のプロトンが Fo 内部を濃度勾配にしたがって流入することから始まる。続いて、この流れの力によって複合体中央部のシャフトが回転し、この回転エネルギーが F1 部位に伝えられることで ATP の合成が行われる (YOSHIDA et al., 2001)。プロトンの流れを水の流りに置き換えると、水力発電と似た仕組みでエネルギーを利用可能な状態に保存していると言える。IRAC グループ 12 の薬剤によってこれらの反応が正常に行われなくなることで、ATP の合成量が減少する。

## 2 BPPS

BPPS は IRAC グループ 12 の化合物に共通のミトコンドリアの ATP 合成酵素阻害に加え、神経伝達物質である生体内アミン物質を酸化分解する酵素 (モノアミン酸化酵素) の働きに影響を及ぼす神経伝達阻害活性も有しており、二つの作用点を有している、とされている (山口, 2011)。

## 3 ジアフェンチウロン

ジアフェンチウロンはプロドラッグであり、様々な条件下において酸化的脱硫酸を起こし、殺虫活性を持つカルボジイミド体 (図-5) へと変化する。この反応は、太陽光を受けることで生じる一重項酸素によって容易に起こる。また、マイクロソームを用いた実験から、シトクロム P450 依存的な反応によって活性体に変化することも知られている。ニセアメリカタバコガ幼虫の餌にシトク

ロム P450 阻害剤であるピペロニルブトキシドとジアフェンチウロンを混ぜて供試することで、ジアフェンチウロン単独よりも殺虫効果が低下する結果が得られていることから、虫体内においてもシトクロム P450 による活性体への変化が起こることがわかっている (RUDER and KAYSER, 1994)。

このカルボジイミド体は、昆虫細胞においてミトコンドリア ATP 合成酵素の Fo 部位に存在するプロテオリピド (8kDa) と外膜の膜貫通タンパク質であるポリリン (30kDa) に結合することが知られている (RUDER and KAYSER, 1992)。このうちポリリンへの結合については、殺虫効果にもたらす影響の程度は明らかになっていないが、主にプロテオリピドへの結合によって殺虫効果がもたらされると考えられている。カルボジイミド体が結合した Fo 部位では立体的な障害により回転ができなくなり、ATP の合成が起こらない (TOEI and NOJI, 2013)。ジアフェンチウロン処理された虫は、虫体内での ATP 生産量が減少し死に至る (RUDER and KAYSER, 1993)。一方、哺乳類細胞において、ポリリンへの結合は確認されていない (RUDER and KAYSER, 1992)。このことに加え、マウスおよびラットのマイクロソームではジアフェンチウロンのカルボジイミド体への代謝は限定的であること、またカルボジイミド体の哺乳動物体内での蓄積量も限定的であることが明らかになっている。これらのことが哺乳類での安全性の向上に寄与していると考えられている (KAYSER and EILINGER, 2001)。

また、殺虫活性に寄与しうる標的として、上記以外にオクトパミン作動性アデニル酸シクラーゼが知られている。この酵素は体内において cAMP の合成を行っており、コナガ成虫に対しては殺虫効果に大きく寄与することがわかっている (KADIR and KNOWLES, 1992)。しかしながら、その他の害虫における貢献の程度は明らかになっていない。

## III 作用特性

BPPS は、ハダニ類に対して、殺卵活性は弱いものの幼虫および成虫に対して活性を示し、特にふ化幼虫に対して高い殺ダニ活性を有する。BPPS を取り込んだハダニ類は速やかに食餌行動を停止し、麻痺や震えの症状を示す。産卵活動も停止させることから、次世代密度抑制効果も期待できる。低温期でも比較的安定した効果を示しカンキツ栽培の秋期の散布でも十分な効果が期待できる。天敵・有用昆虫に対する影響もほとんどない。(山口, 2011)。

テトラジホンはハダニ類の卵とふ化幼虫のみに殺虫活

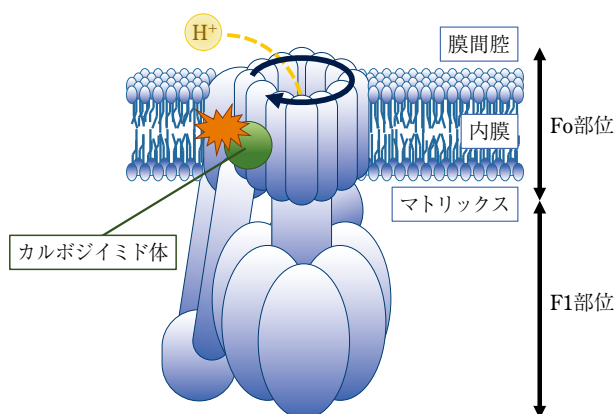


図-4 複合体 V (ATP 合成酵素)

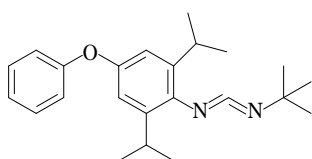


図-5 ジアフェンチウロン カルボジイミド体



性を示すが、接触した雌成虫が産化した卵はふ化しないという特性を持つ。このため、ハダニ類の成幼虫の密度が減少するのは散布約 10~14 日後からである。殺虫スペクトルはハダニ類のみで、その他の害虫には効果を示さず、ハチ類、天敵等の有用昆虫に対する影響もほとんどない。

ジアフェンチウロンの殺虫・殺ダニ活性の範囲は広く、特にダニを含めた吸汁性昆虫に対する活性が高く、一部の咀嚼性昆虫に対しても高い活性を示す。海外のデータも含めると、カメムシ目（アブラムシ科、コナジラミ科、ヨコバイ科、カスミカメ科）、アザミウマ目（アザミウマ科）およびチョウ目（ヤガ科、シロチョウ科、コナガ科）に属する農業害虫に対して実用的な活性が確認されている。ダニ目では、ハダニ科、ホコリダニ科、フシダニ科、ヒメハダニ科に属する各種ハダニ類に対する活性が確認されている。国内においてはキャベツと茶において、これらの目に属する害虫に登録を有している。

幅広い生育段階の害虫に対し殺虫・殺ダニ活性を示すが、蛹・卵への効果は低い。また成虫と幼虫に対する活性の強弱は害虫種によって異なるが、幼虫に対してより強い活性を示すことが多い（ISHAAYA et al., 1993）。殺虫・殺ダニ活性は、食毒および接触毒の両方によって同程度に示される。使用圃場において処理後死虫率が最大に達するまでは数日を要するが、食害は速やかに停止するという特性を持つ。

ジアフェンチウロン自体は浸達性やガス効果を持たないが、活性体のカルボジイミド体はその両方を持っている（図-6）。実験室内においてワタ葉の表面にジアフェンチウロン 300 ppm を散布したところ、葉裏のナミハダニ（赤色型）に対して高い効果が認められ浸達性が確認された。またガス効果に関しては、ビニールハウス内

において、ジアフェンチウロン 200 ppm を散布した葉から 2 cm 離れた場所のタバココナジラミ幼虫に対して 14% の殺虫効果が認められ、弱いガス効果が確認されている。実験的な環境よりもより多量のガスが発生すると考えられる実圃場においては、ガス効果も防除価に寄与していると考えられる。特に、ワタなどの生長点付近が密集している植物においては、効果の向上に寄与しやすいと考えられている（ISHAAYA et al., 1993 ; EARLEY et al., 2019）。

表-2 にミトコンドリア ATP 合成酵素阻害剤の物理化学的性状を示す。全般的にこれらの剤は、水溶性が低く、オクタノール/水分配係数が 3.95~5.76（シヘキサチンは不明）と比較的高いことから、植物体における移行性はないが、茎葉への吸着が高いと推測される（表-2）。

#### IV 抵抗性の現状

ナミハダニは抵抗性を獲得した薬剤数が最も多い節足動物との調査結果があるが（WHALON et al., 2008）、IRAC グループ 12 の化合物への抵抗性も例外ではない。酸化フェンブタズと BPPS は、ナミハダニに対して、それぞれが IRAC グループ 21 に属するフェンピロキシメートとの交差抵抗が報告され、作用機構の異なる剤との多剤抵抗となっている（刑部・上杉, 2009）。

BPPS の抵抗性報告は、海外では散見されるが抵抗性レベルは大きくなっていない（MOHAMMADZADEH et al., 2014 ; KOH et al., 2009）。国内でも大きな効果低下の報告はなく、上市後半世紀を経た現在でもダニ類防除剤の一角を成している。抵抗性の遺伝様式は完全劣性に近いと考えられており（KEENA and GRANETT, 1990）、また、前述のように作用点を二つ持つことから抵抗性が発達しにくい化合物と考えられている。抵抗性メカニズムとして

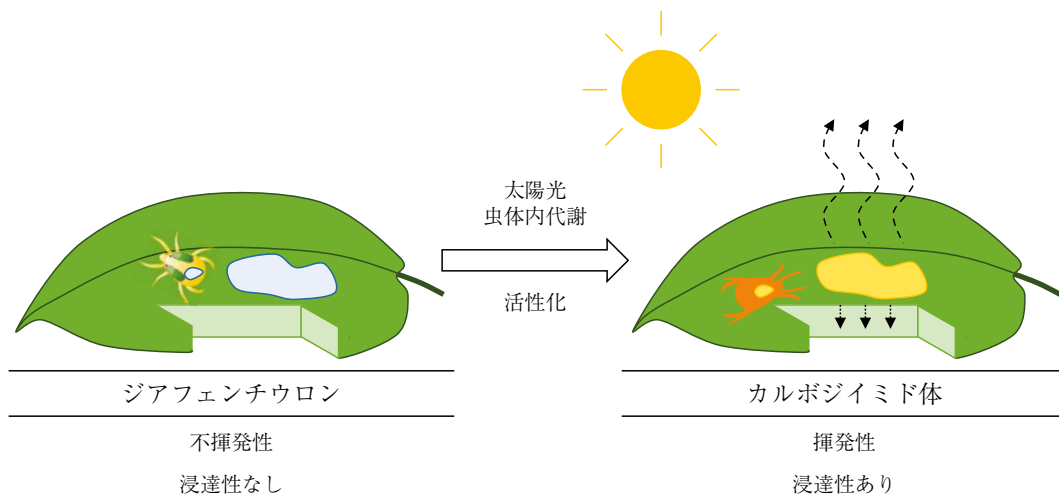


図-6 ジアフェンチウロンの活性化および化学的性質

表-2 ミトコンドリア ATP 合成酵素阻害剤の物理化学的性状 (日本植物防疫協会, 2016<sup>1)</sup>, TOMLIN, 2013<sup>2)</sup>)

	ジアフェンチウロン <sup>1)</sup>	アゾシクロチン <sup>2)</sup>	水酸化トリシクロヘキシルスズ(シヘキサチン) <sup>2)</sup>	酸化フェンブタスズ <sup>1)</sup>	BPPS(プロパルギット) <sup>1)</sup>	テトラジホン <sup>1)</sup>
外観	白色固体	無色結晶	無色結晶	白色粉末固体	黄褐色粘稠油状液体	無色結晶
融点, °C	145.8	210 (分解)	-	140~145	測定不能(210°Cで分解)	146.9~147.2
蒸気圧, Pa	$< 2 \times 10^{-6}$ (25°C)	$6.0 \times 10^{-11}$ (25°C)	無視可 (25°C)	$3.9 \times 10^{-8}$ (20°C)	$< 4.04 \times 10^{-5}$ (20°C)	$3.2 \times 10^{-8}$ (20°C)
水溶性, g/l	$6.2 \times 10^{-5}$ (25°C)	$1.2 \times 10^{-4}$ (20°C)	$< 1 \times 10^{-3}$ (25°C)	$15.78 \times 10^{-6}$ (20°C)	$6.3 \times 10^{-4}$ (25°C)	$1.0 \times 10^{-3}$ (20°C)
オクタノール/水分配係数 (LogPow)	5.76 (25°C)	5.3 (20°C)	-	5.15 (25°C)	5.7	3.95

は、ナミハダニ (赤色型) を実験室内で 34 世代にわたって淘汰し、LC<sub>50</sub> 値で 37.78 倍の抵抗性個体群を作出した報告がある。代謝酵素の阻害剤を使用した共力作用の実験で、BPPS とシトクロム P450 阻害剤のピペロニルブトキシドまたはグルタチオン S トランスフェラーゼの阻害剤であるジエチルマレートとの混用で抵抗性ナミハダニに対して共力作用が認められた。また、雌成虫のグルタチオン S トランスフェラーゼ活性に抵抗性レベルとの相関が認められ、グルタチオン S トランスフェラーゼ遺伝子発現も抵抗性個体群の幼虫および成虫で感受性個体群と比較して高かったことより、BPPS のナミハダニに対する抵抗性は主にグルタチオン S トランスフェラーゼが関与していることが示唆された (Luo et al., 2014)。

テトラジホンの抵抗性は、1959 年秋田県でリングハダニに対して効果が低下した事例が最初である。テトラジホンに LC<sub>50</sub> 値比較で 300 倍の抵抗性を示すナミハダニを用いた遺伝様式の研究において、テトラジホンの抵抗性は不完全優性の単一の主遺伝子に支配され、両性遺伝した。また、雌成虫からの遺伝においては、主遺伝子の抵抗性を増す要因が一つもしくはそれ以上あると考えられた。ミカンハダニに対するテトラジホン抵抗性も、優性遺伝であるが、単一遺伝子に支配されている可能性は少なく、複数遺伝子が関与したポリジーン型と考えられている (浅田, 1978)。

ジアフェンチウロンは 1992 年に世界で最初に上市されてから四半世紀が経過した。現在では中南米、アジア、アフリカ、中東の国々で登録取得されており、アブラナ科野菜、ワタ、コーヒー、花き類、リンゴ、カンキツ、バレイショ、ダイズ、茶等の作物で使用されている。しかしながら、ジアフェンチウロンの抵抗性報告例は少ない。ブラジルのキクから採集されたナミハダニにおいて、LC<sub>50</sub> 値比較で 1,180 倍の抵抗性報告があるが、この

種については唯一の報告と思われる (FERREIRA et al., 2015)。また、マレーシアで採集されたタバココナジラミにおいて、LC<sub>50</sub> 値に 355 倍の差が確認されている (SHADMANY et al., 2015)。このタバココナジラミは、鑑賞用トウガラシから採集されており、バイオタイプ Q であることが報告されている。上述のジアフェンチウロン抵抗性害虫の 2 例はいずれも花きから採集された個体群である。一般的に花き栽培では殺虫剤の使用回数が多く、ビニールハウスなどの閉鎖系で一年中作付けをしている場合も多いため、殺虫剤抵抗性発達のリスクが高い。野外におけるジアフェンチウロン抵抗性害虫の報告はなく、ジアフェンチウロン抵抗性害虫の出現リスクは比較的低いと考えられる。

ジアフェンチウロンの抵抗性機構については、実験室内でタバココナジラミ (バイオタイプ B) を 36 世代にわたってジアフェンチウロンで淘汰し、LC<sub>50</sub> 値が 32.8 倍の抵抗性個体群を作出した報告がある。作出された抵抗性個体群は感受性個体群と比較して、シトクロム P450、カルボキシエステラーゼおよびグルタチオン S トランスフェラーゼが、酵素活性レベルで、それぞれ 4.37 倍、3.12 倍および 1.83 倍高くなっていた。また、これらの遺伝子発現も同様に上昇していた。これらの結果から、タバココナジラミにおけるジアフェンチウロンの抵抗性機構には、これらの代謝酵素が関与していることが示唆されている (ZHANG et al., 2017)。

## おわりに

IRAC グループ 12 の薬剤に登録のある、ダニ類、コナガおよびアブラムシ類は抵抗性を獲得した薬剤数が多い節足動物の上位 10 種の中で 7 種を占めており、防除が困難な害虫である (WHALON et al., 2008)。害虫が抵抗性を獲得することは、企業にとっては大きな投資をして

開発した薬剤の使用機会が失われ、また、生産者にとっても有効な薬剤が減ることで害虫防除の点で双方にとってメリットはない。薬剤抵抗性の発達を遅らせる手段としては、作用機構の異なる化学農薬のほか、でんぷん・脂肪酸等の気門封鎖剤を組み込んだローテーション散布、また天敵を利用した防除等が挙げられる。近年では紫外光や LED ランプを利用した光による防除も研究されており、これらを組合せた IPM 防除の重要性が提唱されている。しかしながら、薬剤抵抗性の問題は多くの研究者が議論し続けているものの、根本的な解決はできていない。IRAC グループ 12 の薬剤は、長年使用され続けていることから抵抗性の情報もあるが、現在でも使用されている剤である。これからもこれらの剤が抵抗性問題と向き合いながら、農業生産現場において防除に貢献できることを期待している。

本稿を執筆するにあたり、情報提供していただいた、BASF ジャパン、日本農薬およびアグロ カネショウの皆様へ深く感謝致します。

#### 引用文献

- 1) 浅田三津男 (1978): 日本農薬学会誌 3: 61~68.
- 2) EARLEY, F. et al. (2019): *Modern Crop Protection Compounds Third, Completely Revised and Enlarged Edition* 3: 1137~1149.
- 3) FAMIC (独立行政法人 農林水産消費安全技術センター) HP, <http://www.acis.famic.go.jp/>
- 4) FERREIRA, C. et al. (2015): *Crop Prot.* 67: 77~83.
- 5) ISHAAYA, I. et al. (1993): *Phytoparasitica* 21 (3): 199~204.
- 6) KADIR, H. A. and C. O. KNOWLES (1992): *Comp. Biochem. Physiol.* 103C: 303~307.
- 7) KAYSER, H. and P. ELLINGER (2001): *Pest Manage. Sci.* 57: 975~980.
- 8) KEENA, M. A. and J. GRANETT (1990): *J. Econ. Entomol.* 83 (3): 655~661.
- 9) KOH, S.-H. et al. (2009): *J. Asia-Pacific Entomol.* 12: 15~21.
- 10) LUO, Y.-J. et al. (2014): *Pestic. Biochem. Physiol.* 114: 44~51.
- 11) MOHAMMADZADEH, M. et al. (2014): *Arch. Phytopathol. Plant Prot.* 47 (17): 2112~2123.
- 12) 日本植物防疫協会 (2016): 農薬ハンドブック 2016年版, 東京, 1089 pp.
- 13) 農薬工業会 (2019): 殺虫剤の作用機構分類 (IRAC による), [https://www.jcpa.or.jp/lab0/pdf/2018/mechanism\\_irac02.pdf](https://www.jcpa.or.jp/lab0/pdf/2018/mechanism_irac02.pdf)
- 14) 刑部正博・上杉龍士 (2009): 日本農薬学会誌 34 (3): 207~214.
- 15) Philips McDougall (2006): November. p.167~174.
- 16) RUDER, F. J. and H. KAYSER (1992): *Pestic. Biochem. Physiol.* 42: 248~261.
- 17) ———— (1993): *ibid.* 46: 96~106.
- 18) ———— (1994): *Biochem. Soc. Trans.* 22: 241~244.
- 19) SHADMANY, M. et al. (2015): *J. Appl. Entomol.* 139: 67~75.
- 20) 食品安全委員会農薬専門調査会報告書 (2012), [https://www.fsc.go.jp/iken-bosyu/pc3\\_nouyaku\\_azocy\\_241218.pdf](https://www.fsc.go.jp/iken-bosyu/pc3_nouyaku_azocy_241218.pdf)
- 21) TOEI, M. and H. NOJI (2013): *J. Biol. Chem.* 288 (36): 25717~25726.
- 22) TOMLIN, C. D. S. Ed (2003): *The Pesticide Manual 13th Edition*, Hampshire, UK 1344 pp.
- 23) WHALON, M. E. et al. (2008): *Analysis of global pesticide resistance in arthropods*, *Global Pesticide Resistance in Arthropods*, 208 pp.
- 24) 山口力男 (2011): 村上産業株式会社情報誌秋季号: 17~20.
- 25) YOSHIDA, M. et al. (2001): *Rev. Mol. Cell Biol.* 2: 669~677.
- 26) ZHANG, B. et al. (2017): *Int. J. Pest Manage.* 63: 74~81.



## 研究室紹介

# 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 野菜花き研究部門 花き生産流通研究領域 生産管理ユニット

農研機構野菜花き研究部門花き生産流通研究領域は茨城県つくば市にあり、栽培生理ユニット、生産管理ユニット、品質制御ユニットの3ユニット体制で花きの生理特性に基づいた効率的かつ安定的な生産技術、病害の防除技術、切り花の日持ちの延長や香りを対象にした品質向上技術を開発するとともに、花きがヒトに与える効果に取り組んでいます。そのうち、生産管理ユニットには栽培分野3名と病害分野2名の研究員が所属しています。この植物病害研究者2名が組織上、国立研究開発法人で唯一の花き病害担当者という位置づけになっています。花き類は品目が多種多様であり、かつ、作型も多様であるため安定生産を阻害する病害も非常に多くなり、2名の担当者ですべてをカバーすることは不可能です。したがって生産管理ユニットの病害担当者は全国の病害関連組織と協力しながら、視野を広くもち、農研機構唯一の花き病害担当として全国の花き病害に関する研究ネットワークのハブとなるべく日々努めています。

国内の花き生産現場では、近年の異常気象や燃油・生産資材の高騰等により安定的に花きの生産を行うことが難しくなっています。さらには、切り花類の輸入が増加し続けているため、国内の花き生産に影響を及ぼしています。これらコスト増、栽培環境の変化、輸入花き等、花きの生産を行っていくうえでの多くの困難を乗り越え、日本の花き生産の振興を図るためには、高品質の花きを安定的に生産、供給する体制を整え、さらに国際競争力を強化することが必要となっています。なお、ここでいう「高品質花き」とは、外観に代表される商品品質に加え、取引情報などの市場（取引）品質や情報と商品の一致といった社会的品質の高い花きを指しています。

生産管理ユニットではこれらの課題克服に資するた



キク矮化ウイルス (CSVd) によるキク矮化病

〒305-0852 茨城県つくば市藤本2-1  
TEL 029-838-6818



[http://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/pub2016\\_or\\_later/pamphlet/tech-pamph/080058.html](http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/pub2016_or_later/pamphlet/tech-pamph/080058.html)

トルコギキョウ周年生産のための新技術カタログ集

め、花き生産流通研究領域の担う「主要花きにおける高品質安定生産・品質管理技術の開発（H28-R2年度）」のうち「高度環境制御と肥培管理等を活用した高品質花き生産技術の開発」を担当し、病害分野では実施課題「キク矮化病をはじめとする病虫害防除技術の確立」のもと、難防除ウイルス（ウイルスよりも小さい最小の病原体）病の一つであるキク矮化病の抵抗形質の特徴を明らかにするための研究に取り組むとともに、各種花き病害の病害因子の探索、発生生態（どのように病気が発生するか、どのように伝染するか、等病原菌の生活様式の解明を含む）に基づいた防御技術の開発を進めています。栽培分野では現在、国内産出額でカーネーションを抜き、キク、ユリ、バラに次ぐ生産額にまで成長しているトルコギキョウを主な対象に研究に取り組んでいます。従来のトルコギキョウ生産体系は播種から収穫まで6か月以上を要すること、また、連作障害も発生しやすいことから土壌消毒等が必要とされ、同一施設での年2作以上は困難とされています。そこで、実施課題「年3作を可能とするトルコギキョウの安定生産技術の開発」のもと、トルコギキョウ生産に薄膜水耕栽培（NFT）システムを導入し、水媒伝染性病害（特にピシウムによる根腐病）対策、肥培管理や二酸化炭素施用、複合環境制御システムを活用して高品質な切り花を安定効率的に生産するための技術開発に取り組み、開発技術の導入により同一施設で年3作の栽培も可能であることを実証しました（[https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/4th\\_laboratory/nivfs/2017/17\\_050.html](https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/4th_laboratory/nivfs/2017/17_050.html)）。

生産管理ユニットでは今後も日本の花き産業振興に資するよう、現場に貢献する科学的根拠に基づいた技術開発を目指した研究に取り組めます。

（生産管理ユニット長 久松 完）

## 研究室紹介

### 宮城県古川農業試験場 作物環境部

宮城県古川農業試験場は、平成11年に大崎平野が広がる現在地（大崎市古川大崎）に移転し、周囲は水稲と大豆が作付けされる田園地帯にあります。平成13年の試験研究機関の組織改編により水田農業部門が統合され、全国でも珍しい普通作物（水稲、大豆、麦類）に特化した公設農試となりました。平成31年には19年振りの組織改編が行われ、水田営農部、作物育種部、作物栽培部、作物環境部の4部体制となり、病害チームと虫害チームは土壤肥料チーム、環境化学チームと一緒に作物環境部に属することになりました。今回の組織改編は、震災以降、沿岸部を中心に増加している土地利用型経営体の経営安定や米のブランド化の推進等の課題に対して、効率的に試験研究を実施するために行われました。病虫害分野のこれまでの取組として、病虫害の発生生態に関する研究や総合的有害生物管理（IPM）等の研究に取り組んできました。ここでは、現在取り組んでいる主な研究課題について紹介します。

初めに、「土地利用型農業経営における病虫害リスク管理と防除技術の確立」への取組についてです。この研究課題は、三つの研究項目からなります。一つは、「沿岸地域における病虫害の発生生態リスク管理」として、斑点米カメムシ類の一種クモヘリカメムシの生態に関する研究です。太平洋側におけるクモヘリカメムシの分布域の北限は宮城県南部とされていますが、メッシュ農業気象データの解析からは、温暖化により今後分布域の拡大が懸念されています。そこで、本種の分布域の実態把握とモニタリング体制の整備に取り組み始めたところです。二つ目は、「新品種に対する病虫害管理技術」です。当試験場で育成された水稲の新品種‘だて正夢’や‘金のいぶき’、小麦の新品種‘夏黄金’（育成地：東北農業研究センター）等に対する病虫害管理技術の確立を目指しています。‘だて正夢’などは、いもち病真性抵抗性遺伝子 *Pib* を持っていることから、作付地域におけるいもち病レースの確認を行っています。三つ目は、「露地野菜の拡大に伴う大豆害虫のリスク管理」です。近年、



斑点米カメムシ類の1種  
クモヘリカメムシ



大豆の「茎疫病」や「黒根腐病」に有効な畝立播種技術

土地利用型経営体の複合部門として、露地野菜への取組が増えていきます。エダマメやキャベツ等に寄生する害虫種には、大豆にも寄生する重要害虫が存在することから、これらの害虫種のリスクを評価し、適切な栽培管理技術の確立を目指しています。

次に、最近の研究成果について紹介します。近年、水稲栽培では苗箱数削減を目的とした高密度播種技術が普及し始めています。苗箱数が減ることによって箱施用による初期病虫害防除剤の投入量も少なくなることから、その効果について不安視されています。このため初期病虫害防除剤の施用方法である箱施用や側条施用、種子塗抹について高密度播種技術における効果を確認し、より適した施用方法の提案を行う予定です。

最後に、大豆の病虫害防除技術での取組についてです。宮城県の大豆生産は転作田での栽培が中心であり、排水対策が十分でない圃場では湿害に伴う土壤伝染性病害が発生しやすくなっています。このため、土壤伝染性病害である茎疫病や黒根腐病の発生要因解明や防除方法の確立について取り組み、種子塗抹剤による種子消毒と畝立播種を組合せて実施することで、これら病害の被害を大きく減らせることを明らかにしました。大豆害虫に関しては、従来のマメシクイガなどの子実害虫だけでなく、近年突発的に多発し葉や莢を加害するオオタバコガなどが問題となっています。そこで、大豆におけるオオタバコガの発生消長の調査や防除対策等に取り組んでいます。また、本県の主要害虫であるフタスジヒメハムシについては、発生密度と被害の関係から被害予測が可能であることを明らかにしました。

このほかにも、水稲、大豆、麦類の病虫害に関する試験研究に取り組んでいます。今後、さらに宮城の水田農業の実態を的確に捉え、生産現場の課題解決に向けた取組が必要であると考えております。

（作物環境部長 佐々木次郎）

(新しく登録された農薬 29 ページからの続き)

「除草剤」

●インダジフラム水和剤

24259: エスプラネードライトフロアブル (バイエル)

19/9/11

インダジフラム: 7.4%

樹木等: 一年生雑草

●シクロピリモレート粒剤

24261: サンアップ C1 キロ粒剤 (三井化学アグロ)

24262: JA サンアップ C1 キロ粒剤 (全農)

19/9/20

シクロピリモレート粒剤: 3.5%

移植水稻: 水田一年生雑草 (イネ科を除く)

●シクロピリモレート・ピラゾレート粒剤

24263: サンアップ 1 キロ粒剤 (三井化学アグロ)

24264: JA サンアップ 1 キロ粒剤 (全農)

19/9/20

シクロピリモレート粒剤: 3.5%

ピラゾレート: 7.0%

移植水稻: 水田一年生雑草, マツバイ, ホタルイ, ミズ  
ガヤツリ, ウリカワ, ヒルムシロ, オモダカ

●グリホサートイソプロピルアミン塩・ブロマシル液剤

24267: パワーボンバー M (丸和バイオ)

24268: ネコソギキープシャワー (レインボー)

19/9/25

グリホサートイソプロピルアミン塩: 1.0%

ブロマシル: 0.50%

樹木等: 一年生雑草及び多年生雑草, ササ

●グリホサートイソプロピルアミン塩・ブロマシル液剤

24269: パワーボンバー L (丸和バイオ)

24270: こっぴみじんロングシャワー (レインボー)

19/9/25

グリホサートイソプロピルアミン塩: 1.0%

ブロマシル: 0.30%

樹木等: 一年生雑草及び多年生雑草

「植物成長調整剤」

●ジベレリン液剤

24260: 住友ジベレリン液剤 (住友化学) 19/9/11

ジベレリン: 0.63%

きんかん: 花芽抑制による樹勢の維持, 落果防止, 着果安定

かき: 落果防止

すもも (賞陽): 着果安定

アセロラ: 着粒安定

野菜類: 発芽促進

みつば (軟化栽培を除く): 生育促進

みつば (軟化栽培): 生育促進

ふき: 生育促進

セルリー: 生育促進, 肥大促進

うど (春うど): 休眠打破による生育促進

たらのぎ (促成栽培): 萌芽促進

さやいんげん (矮性 (促成又は半促成栽培)): 節間伸長促進

トマト: 空どう果防止

メロン: 着果促進

なす: 着果数増加

しそ (花穂): 穂の伸長促進, 花径の伸長促進

畑わさび: 花茎の抽出時期促進及び発生量増加

いちご (促成栽培): 着果数増加, 熟期促進

いちご: 果柄の伸長促進

いちご (親株床): ランナー発生促進

ごぼう (促成栽培): 休眠打破による生育促進

ばれいしょ: 休眠打破による萌芽促進及び小粒いもの増収

種いもばれいしょ: 休眠打破による萌芽促進及び全粒種いもの増収

シクラメン: 開花促進

プリムラ (マラコイデス): 開花促進

みやこわすれ: 開花促進, 草丈伸長促進

きく: 開花促進, 草丈伸長促進

しらん: 開花促進, 草丈伸長促進

チューリップ (促成栽培): 開花促進, 花丈伸長促進及び茎の肥大促進

てっぼうゆり (促成栽培): 休眠打破

カラー: 生育促進

アイリス: 生育促進

スパティフィラム: 開花促進

トルコギキョウ: 生育促進

ソリダゴ: 生育促進

りんどう: 発芽促進

花き類 (りんどうを除く): 発芽促進

アザレア: 開花促進

さつき (施設栽培苗): 茎の伸長促進, 花芽分化の抑制

かんきつ (苗木, ただし, 温州みかんを除く): 花芽抑制による樹勢の維持

かんきつ (不知火, ぼんかん, かぼす, はるみ, ワシントンネーブル, 日向夏, すだち, 平兵衛酢, 長門ユズキチ (無核), 温州みかん, きんかんを除く): 花芽抑制による樹勢の維持, 落果防止

不知火: 花芽抑制による樹勢の維持, 落果防止, 水腐れ軽減

はるみ: 花芽抑制による樹勢の維持, 落果防止, 水腐れ軽減

ぼんかん: 花芽抑制による樹勢の維持, 落果防止, 水腐れ軽減

長門ユズキチ (無核): 花芽抑制による樹勢の維持, 落果防止, 着果安定, 果皮の緑色維持

すだち: 花芽抑制による樹勢の維持, 落果防止, 着果安定, 果皮の緑色維持

平兵衛酢: 花芽抑制による樹勢の維持, 落果防止, 着果安定, 果皮の緑色維持

かぼす: 花芽抑制による樹勢の維持, 落果防止, 着果安定, 果皮の緑色維持

ワシントンネーブル: 花芽抑制による樹勢の維持, 落果防止

日向夏: 花芽抑制による樹勢の維持, 無種子化, 落果防止

温州みかん (苗木): 花芽抑制による樹勢の維持

温州みかん: 花芽抑制による樹勢の維持, 落果防止, 浮皮軽減

きんかん: 花芽抑制による樹勢の維持

さくら (切り枝促成栽培): 休眠打破による生育促進



協会だより

○2019年度「新農薬実用化試験」成績検討会の開催予定

- 10月28～29日【茶】(東京)
- 10月31～11月1日【稲・野菜等】東北地域(盛岡)
- 11月6～7日【稲・野菜等】北海道地域(札幌)
- 11～12日【稲・野菜等】北陸地域(金沢)
- 14～15日【稲・野菜等】四国地域(高知)
- 18～19日【稲・野菜等】九州地域(福岡)
- 21～22日【稲・野菜等】近畿中国(大阪)
- 25～26日【稲・野菜等】関東地域(東京)
- 27～28日【稲・野菜等】東山・東海地域(東京)
- 12月2～3日【寒冷地果樹】(東京)
- 4～6日【落葉果樹・常緑果樹】(東京)
- 9～10日【芝草】(東京)
- 11日【家庭園芸】(日植防)

学会だより

○植物化学調節学会第54回大会

日時：2019年11月15日(金)～17日(日)  
 会場：とりぎん文化会館(鳥取県立県民文化会館)  
 〒680-0017 鳥取市尚徳町101番地5  
 大会実行委員会連絡先  
 鳥取大学農学部  
 〒680-8553 鳥取県鳥取市湖山南4丁目101  
 大会事務局：岡 真理子(連絡窓口)  
 TEL：0857-31-5570  
 E-mail：m.oka@tottori-u.ac.jp

○第27回農薬レギュラトリーサイエンス研究会

日時：2019年12月4日(水)10:30開始

広告掲載会社一覧 (掲載順)

- ダウ・アグロサイエンス日本(株)・・・新会社名告知
- 日産化学(株)……………グレーシア
- バイエルクロップサイエンス(株)・・・カウンスル
- 三井化学アグロ(株)……………主要品目
- 日本曹達(株)……………ピシロック
- フェニックス普及会……………フェニックス
- シンジェンタ ジャパン(株)……………アフアーム
- 石原バイオサイエンス(株)……………ケンジャ
- クマイ化学工業(株)……………フルピカ
- サンケイ化学(株)……………主要品目

17:00 から情報交換会

会場：北とびあ 15階 ペガサスホール

〒114-8503 東京都北区王子1丁目11-1

テーマ：農薬取締法改正のこれまでの展開

内容：①「農薬取締法改正これまでの経緯 特にここ一年の動向について」

②「農薬使用者への影響評価について」

③「農薬の蜜蜂への影響評価について」

④「生活環境動植物への影響評価について」

⑤「作物群での登録について」

申込先：坂 真智子(一般財団法人残留農薬研究所)

E-mail：psj2020@agri.kagoshima-u.ac.jp

FAX：042-497-6371

次号予告

次号2019年12月号の主な予定記事は次のとおりです。

- ミニ特集：新規資材「糖含有珪藻土」を用いた土壌還元消毒によるトマト土壌病害防除技術
- 新規資材「糖含有珪藻土、糖蜜吸着資材」による土壌還元消毒  
中保一浩
- 北信越地域のトマト半促成、抑制栽培における病害虫に対する効果  
前田征之
- 東海地域のトマト促成栽培における病害虫に対する効果  
村元靖典
- 日本における除草剤抵抗性雑草の出現と除草剤の開発  
山木義賢
- イネ稲こうじ病の発病と窒素量の関係  
下大園佳由ら

日植防シンポジウム：

- 国内外の殺菌剤耐性菌管理の現状と対策 田辺憲太郎
- 殺虫剤抵抗性管理・農業生産現場への普及の取組み 山本敦司
- 植物防疫講座 病害編 コムギ雪腐病の発生生態と防除 相馬 潤
- 植物防疫講座 虫害編 コナガの発生生態と防除 高篠賢二
- 研究室紹介：農研機構 果樹茶業研究部門 カンキツ研究拠点 カンキツ研究領域 カンキツ病害虫ユニット 望月雅俊
- 新潟県農業総合研究所 作物研究センター 石本万寿広

植物防疫

第73巻 2019年10月25日印刷  
 第11号 2019年11月1日発行  
 (通算875号)

定価965円  
**本体877円**

2019年分購読料  
 前払11,000円、後払11,580円  
 (送料サービス、消費税込み)

発行所

〒114-0015 東京都北区中里2丁目28番10号  
 一般社団法人 日本植物防疫協会  
 電話(03)5980-2181(代)  
 FAX(03)5980-6753(支援事業部)  
 振替00110-7-177867番

2019年  
 11月号  
 (毎月1回1日発行)

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

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

# べと病、疫病、白さび病を ピシッとロック!

農林水産省登録 第23952号

**殺菌剤**

ピカルブトラゾクス水和剤

## ピシロック® フロアブル



HPIはこちらから

**新規有効成分**ピカルブトラゾクス配合!(FRACコード U 17)

【登録作物】

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

**収穫前日**まで使える!(はくさいは収穫3日前まで)



**日本曹達株式会社**

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



®は日本曹達(株)の登録商標

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

# チョウ目害虫防除に!

**殺虫剤**

## フェニックス®

**顆粒水和剤**

**フロアブル**



**71**作物に登録。  
幅広く使えて、効きめが長く続く!



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

フェニックス普及会

日本曹達株式会社 事務局 日本農薬株式会社

東京都中央区京橋1丁目19番8号

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



# ロングセラーの理由は、 ひとつではない。

※1  
**20** 年  
以上

1998年発売以来の  
ロングセラー。

※1  
**60** 種類  
以上

野菜、茶、花き類。  
幅広い作物に適用。

※1  
**30** 種類  
以上

コナガ、アザミウマ類  
など複数の害虫を防除。

※2  
**99** %

本製品使用生産者の  
リピート使用意向率。

※3  
**400** 万ha

合計使用面積は、日本の  
耕地面積とほぼ同じ。

※4  
**0** 件

作物安全性に優れ、  
重大な薬害事例はなし。

## 農家の“常備薬”



**アファーム**<sup>®</sup>  
乳剤



**アファーム エクセラ**<sup>®</sup>  
顆粒水和剤

生産者の声で

**「常備薬の理由」をWEBで公開中!**

知るほど、なるほど。  
詳しく知りたい方は、今すぐアクセス!

農家の常備薬 アファーム

検索

スマホで読み取ろう。



シンジェンタ ジャパン株式会社

〒104-6021 東京都中央区晴海1-8-10 オフィスタワーX21階  
[ウェブサイト] <http://www.syngenta.co.jp>



農薬をご使用の際には、ご購入先、または当社ウェブサイトなどで最新の登録内容をご確認ください。

®はシンジェンタ社の登録商標

●使用前にはラベルをよく読んでください。●ラベルの記載以外には使用しないでください。●本剤は小児の手の届く所には置かないでください。●使用後の空容器、空袋等は固置せず適切に処理してください。

syngenta<sup>®</sup>



農林水産省登録  
第23993号

新規殺菌剤

# ケンジャフロアブル®

フロアブル®は登録商標

[ イソフェタミド ]



灰色かび病・菌核病に  
賢い選択・賢く防除

## ケンジャフロアブルの特長

### ①優れた予防効果

本剤は、病原菌の生活環の多くのステージに作用します。特に感染前（孢子発芽～付着形成期）に高い防除効果を発揮します。

### ②薬剤感受性低下菌に対して有効

本剤は、既存薬剤に対して感受性が低下している病原菌に対しても高い効果を示します。

### ③優れた浸達性を有し、残効性、耐雨性に優れる

有効成分が速やかに葉表→葉裏（葉裏→葉表）へ浸達することで、安定した防除効果を発揮します。

### ④サニテーション効果（次世代菌密度低減効果）により、二次感染を抑える

孢子形成を強く阻害し、孢子飛散による病害の拡大を防ぐことで、次世代の菌密度を効率的に抑えます。

### ⑤有用生物・天敵に対する安全性

訪花昆虫や天敵に影響がほとんどなく、IPMIに適合した薬剤です。

### ■サニテーション効果

灰色かび病菌に感染したきゅうり子葉に本剤を処理し、その後の孢子形成を調査した結果、孢子形成を強く阻害した。

ケンジャフロアブル 1,500倍



無処理区



社内試験 石原産業株式会社中央研究所 (2011)

●使用前にラベルをよく読んでください。●ラベルの記載以外には使用しないでください。●本剤は小児の手の届く所には置かないでください。  
●空容器は圃場などに放置せず、3回以上水洗し、適切に処理してください。洗浄水はタンクに入れてください。

**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



自然に学び 自然を守る  
**フルヒカ**  
 フロアブル  
 農林水産省登録 第19100号  
 灰色かび病、うどんこ病に

●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。  
 ●防除日誌を記載しましょう。

JAグループ 農協 全農 経済連  
 農協 全農 経済連  
 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 TEL.03-3822-5036  
 ホームページ <http://www.kumiai-chem.co.jp>

クミアイ化学工業(株)の登録商標

**SANKEI ECO PRODUCTS**

植物油脂パワー!  
**サンクリスタル乳剤**

チョウ目害虫退治の生物農薬!  
**サンケイ サブリナフロアブル**

植物保護薬!  
**サンケイ ジーファイン水和剤**

硫黄の力でうどんこ病防除!  
**サンケイ クムラス**

安定した銅の効果!  
**サンボルドー**

キュウリ・カボチャのうどんこ病に!  
**ハツパ乳剤**

硫黄と銅の強力タッグ!  
**園芸ボルドー**

**サンケイ化学株式会社**

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

