2022年6月25日　印　刷　第76巻　第7号　2022年7月1日　発　行（毎月1回1日発行）

ISSN 0037-4091

植物防疫

Plant Protection

7

2022

VOL.76

一般社団法人 日本植物防疫協会

Japan Plant Protection Association

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

園芸用殺菌剤

- ゾーベック™ エニベル™
- ゾーベック™ エンカンティア™
- ラリー™
- インダー™
- コサイド®3000

園芸用殺虫剤

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

水稲用除草剤

- クリンチャー™
- ワイドアタック™
- ロイヤント™ 乳剤 Rinskor™active
- ウィードコア™ 1キロ粒剤 Rinskor™active

水稲用殺虫殺菌剤

- ビーム™ エイト エクシード™ Isoclast™active

水稲用殺虫剤

- エクシード™ Isoclast™active
- ゼロカウント™

水稲用殺菌剤

- ビーム™
- ビーム™ エイト

CORTEVA™ agriscience

ダウ・アグロサイエンス日本株式会社／コルテバ・アグリサイエンス日本株式会社
〒100-6110 東京都千代田区永田町2丁目11番1号 山王パークタワー

TM コルテバ・アグリサイエンスならびにその関連会社商標

かんきつの
ナメクジ類・カタツムリ類を防除！
マイキラー
マイキラーL®
樹上への散布で
登った個体をたたく！
ナメクリーン3®
株元散布で
登ってくる個体を防ぐ！

サンケイ化学株式会社

本　　社	鹿児島県鹿児島市南栄2-9	TEL：099-268-7588
九州北部営業所	佐賀県鳥栖市曽根崎町1154-3	TEL：0942-81-3808
宮 崎 事 務 所	宮崎県宮崎市神宮東3-6-19	TEL：0985-25-7051
東 京 本 社	東京都台東区上野7-6-11	TEL：03-3845-7951
東京営業部	埼玉県深谷市幡羅町1-13-1	TEL：048-551-2122
大阪営業所	大阪府大阪市淀川区西中島2-14-6	TEL：06-6305-5871

まったく新しい作用性で、やっかいな害虫も見逃さない！

新しい効き〝目〟で、
行き場なし。

BAYER

モベントX®
フロアブル

- 難防除害虫に安定した効果
- 幅広い吸汁性害虫に有効
- 優れた浸透移行性と長期の残効性
- 1製剤で2つの使い方

詳しい製品情報はこちらから

●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。

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

農林水産省登録 第24213号

ハダニ防除に新たな一手！

特　長

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

登録作物

かんきつ、りんご、なし
おうとう、小粒核果類
いちご、なす、すいか

殺ダニ剤　アシノナピル水和剤

ダニオーテ® フロアブル

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

日本曹達株式会社　東京都千代田区大手町２丁目２番１号　☎(03) 3245−6178

HPはこちらからご覧いただけます

植物防疫
Plant Protection
2022
第76巻 第7号

目　　次

巻 頭 言
「脱皮」は「不易流行」でなくてはならない …… 堤　隆文　1

研究報告
赤色防虫ネットの開発経緯とキャベツのネギアザミウマに対する防除効果
…… 大矢武志・太田和宏・植草秀敏・阿部弘文・廣橋寿祥　2
山形県におけるダイズ主要品種のダイズべと病に対する罹病性 …… 中島　具子　8
トマトモザイクウイルス感染によるホオズキの生育への影響と乾熱処理種子由来の
地下茎導入によるウイルス病害抑制効果 …… 早目早貴・黒木修一・竹下　稔　13
岡山県における土着天敵タバコカスミカメに対する農薬の影響評価 …… 西　優輔　17

トピックス
宮城県内における自生植物からのキュウリモザイクウイルスの分離とその多様性
…… 板橋　建・大坂正明・進藤友恵・千葉直樹・長谷川亜紀・鶴岡莉子・山田十大・中村茂雄　21
レタスに発生する土壌病害（根腐病，コルキールート病，黒根病）の見分け方 …… 石山　佳幸　26

新技術解説
粘着板に捕獲したイネウンカ類の自動計数 …… 高山　智光　32
タマネギべと病の一次感染発病株作出のための新規発病試験法 …… 草場　基章　38

果樹防除の基本となる「病害虫防除暦」の考え方
青森県におけるりんご病害虫防除暦作成の考え方 …… 木村　佳子　42

植物防疫講座
農薬編–42　アニリノピリミジン（AP）系殺菌剤 …… 貴田　健一　46
農薬編–43　ミトコンドリア電子伝達系複合体 III 阻害剤–Qi サイト …… 小林　武・武内晴香　51

研究室紹介
茨城県農業総合センター農業研究所 病虫研究室 …… 小林　則夫　56

農林水産省プレスリリース（2022.5.7～2022.6.9）　37
新しく登録された農薬（2022.5.1～5.31）　12
登録が失効した農薬（2022.5.1～5.31）　55
発生予察情報・特殊報（2022.5.1～5.31）　12

【表紙写真】
上段：ホオズキ栽培の様子
中段：赤色防虫ネット
下段：ダイズべと病の菌叢と汚染粒

果樹・野菜の病害防除の定番！

攻守に優れた
ミラクルアシスト!!

殺菌剤

ファンタジスタ®

顆粒水和剤

®はクミアイ化学工業(株)の登録商標

Pyribencarb

- 広範囲の病害に対して高い防除効果を示す総合殺菌剤です。
- 予防効果に加えて病斑進展阻止効果を有します。
- 各種作物への汚れや薬害発生リスクが少ない剤です。
- 葉の内部への浸達性、茎部から上位葉への浸透移行性を有します。
- 有用昆虫(天敵・訪花昆虫)への影響が少ない薬剤です。

灰色かび病、菌核病、灰星病などに
優れた予防効果と病斑進展阻止効果

詳しくは
こちらを
チェック

ファンタジスタ普及会

日本曹達株式会社　クミアイ化学工業株式会社(事務局)

巻頭言

「脱皮」は「不易流行」でなくてはならない

一般社団法人 九州病害虫防除推進協議会 代表理事 堤（つつみ） 隆文（たかふみ）

「脱皮しないヘビは滅びる」とはよく知られたニーチェの言であるが，代表理事として本会の運営にあたるに際し最も肝に銘じている言葉でもある。本会が設立された目的である「現場ニーズに沿った病害虫防除技術の迅速な開発のため農業関係企業および団体と農業関係試験研究機関等の連携を円滑に進めるためのパイプ役」を果たすべく機能し続けるには，両者のニーズを満たす成果が得られるようなマッチングプランが必要であり，それを実施できる組織でなければならない。これらのニーズは時代とともに変化するものなので，それを敏感に感じ取ってマッチングする側も変化しなければならない。そのためには「今のまま続けることでよいのか？」という意識を常に持ち，時期が来たら躊躇なく「脱皮」する覚悟が肝要である。50 年余りの歴史を省みて，九防協というヘビが生き残る道はこれしかないと思っている。

もう一つ，司馬遼太郎は，「坂の上の雲」の中で秋山真之に「最強の軍艦も長いこと海に浮かんでいると船底に牡蠣殻が付き戦場で本来の性能が発揮できなくなる。組織も長いこと続けているとだんだん牡蠣殻が付いてくる」といった意味の言葉を吐かせている。いずれの牡蠣殻も時間の経過とともに本来の機能に影響を与えることは間違いないので気をつけて削り落とす必要がある。しかし，船底の牡蠣殻同様，組織の牡蠣殻も内部からは見えづらい。そのため，牡蠣殻の付着状況は常に外側からの観察が重要である。「岡目八目」とはよく言ったもので，外部からは案外よく見ることができる。本会の場合，会員である企業，団体および主要な事業である農薬連絡試験を委託している試験研究機関の意見，要望に常に耳を傾けることが牡蠣殻対策として重要であり，公式な場である評議会や運営委員会はもちろん，あらゆる機会に意見，要望を遠慮なく言っていただける雰囲気づくりに努めているつもりである。特に「耳が痛い話」はなかなか聞こえてこず文字どおり「有り難い」ので，積極的に耳に入れていただけると幸いである。

以上，組織は時代とともに常に変わり続けていかなければならない。過去にこだわった運営を行うと組織がうまく機能しなくなる，という持論を展開してきた。しかしそれは過去をすべて否定することでは決してなく，変化の本質は「不易流行」でなくてはならないと考えている。例えば，本会の主要な事業である農薬連絡試験では試験設計や成績検討はすべての関係者の参集を求め対面で実施することを原則としている。世間ではコロナ下にあって会議のリモート化が進む中，時代錯誤的対応との声も聞かれるが，これには強いこだわりを持っており今後も堅持するつもりである（もちらん，適切なコロナ対策は実施している）。

農薬連絡試験は会員企業から要望された薬剤試験を各地の試験機関に依頼し，それぞれの地域，作型等にマッチした効果的かつ効率的な使用法確立にむけた試験を実施してもらっているが，同時期に発生する他の病害虫や，使用時期に想定される気象条件等を考慮した設計で薬剤の効果を評価し，特性を活かした活用場面の解明を強く意識している。であるから設計は画一的なものではなく剤の特性が正しく活かせるよう工夫したものとなる。結果の評価においても然りである。そのため，設計会議や成績検討の場では多くの専門家による忌憚のない議論による原案のブラッシュアップを強く求めている。ろくに議論しないなら会議なんか止めたほうがよい。時には提出された設計や成績が炎上することもあるが，それはそれで自己の経験値が上がったと前向きに考えてもらいたい。研究を志向する者ならば。

もう一つの大きなメリットは，対面会議では休憩時間や懇談会で参加者相互の交流ができることである。これはリモート会議では困難であろう。近年は人事異動のサイクルが短くなり経験の浅い試験担当者が増えているが，多くの学会がリモート開催になっているため，彼らが他県や国研の同じ分野のベテラン研究者と直接会って話をする機会は非常に少なくなっている。対面会議のこの時間が彼らのキャリアアップの一助になればと考えている。また，会員企業にとっても多くの試験機関の研究者と一度に会うことができる少ない機会である。今後の試験計画などについて情報収集をするには最適であると考える。本会はこれらの機能を重視しているので，対面会議は九防協が「病害虫防除技術の迅速な開発のため民間企業と研究機関の連携を円滑に進めるパイプ役」を果たすうえで欠くことができないものだと考えている。

研究報告

赤色防虫ネットの開発経緯とキャベツのネギアザミウマに対する防除効果

神奈川県農業技術センター　大矢（おおや）　武志・太田（おおた）　和宏*・植草（うえくさ）　秀敏（ひでとし）**
日本ワイドクロス株式会社　阿部（あべ）　弘文・廣橋（ひろはし）　寿祥（ひさよし）

はじめに

ネギアザミウマ（Onion thrips, *Thrips tabaci* Lindeman（Thysanoptera : Thripidae））はアザミウマ目（Thysanoptera）に属する微小昆虫で，体長は 1.5 mm 程度ととても小さく，ネギなどのヒガンバナ科，トマトなどのナス科，キャベツなどのアブラナ科の野菜類や，花き類，ナシ，カキなどの果樹類なども食害し，広範囲な作目に被害を与える（Diaz-Montamo et al., 2011；Shelton et al., 2014）。また，年に 10 世代以上繰り返すなど増殖率が高いため，農薬に対する抵抗性を発達させやすいこと（西森ら，2003；Diaz-Montamo et al., 2011），さらにはネギ類やトルコギキョウにえそ斑点などの病斑を示すアイリスイエロースポットウイルス（*Iris yellow spot orthotospovirus*, IYSV）を媒介すること（植草，2006；Diaz-Montamo et al., 2011）が知られている。さらに近年，以前から日本に広く分布していた単為生殖で雌成虫のみが増殖する「産雌単為生殖系統」とは異なる，海外から侵入したと考えられる「産雄単為生殖系統」が分布を広げている（村井，2003）など，現在，最も防除が難しい害虫の一つにあげられている。また，神奈川県内の現地（農家）からは，10 年ほど前から，キャベツ育苗期間中にネギアザミウマによる甚大な食害被害が発生しているとの報告があり（図-1），その防除に非常に苦慮している実態がある。

チョウやミツバチ等を除き，一般に昆虫が認識できる光の領域は紫外線からオレンジ色の範囲（380～620 nm）で，人が認識できる赤色領域（620 nm～）を昆虫は認識できないとされており（図-2）（Bickford et al., 1964），

図-1　ネギアザミウマのキャベツでの寄生と食害痕
写真左：ネギアザミウマの食害を受けると葉の表面がカルス化し，かすり状の痕が残る．
写真右：拡大するとネギアザミウマ幼虫の寄生が多数確認できる．

Development History of Red Insect Screen and Its Effect to Control *Thrips tabaci*（Thysanoptera : Thripidae）on Cabbage.　By Takeshi Ohya, Kazuhiro Ohta, Hidetoshi Uekusa, Hirofumi Abe and Hisayoshi Hirohashi

（キーワード：赤色防虫ネット，ネギアザミウマ，ネット目合い）

*現所属：神奈川県庁政策局政策部総合政策課
**現所属：全国農薬協同組合・全国農薬安全指導者協議会

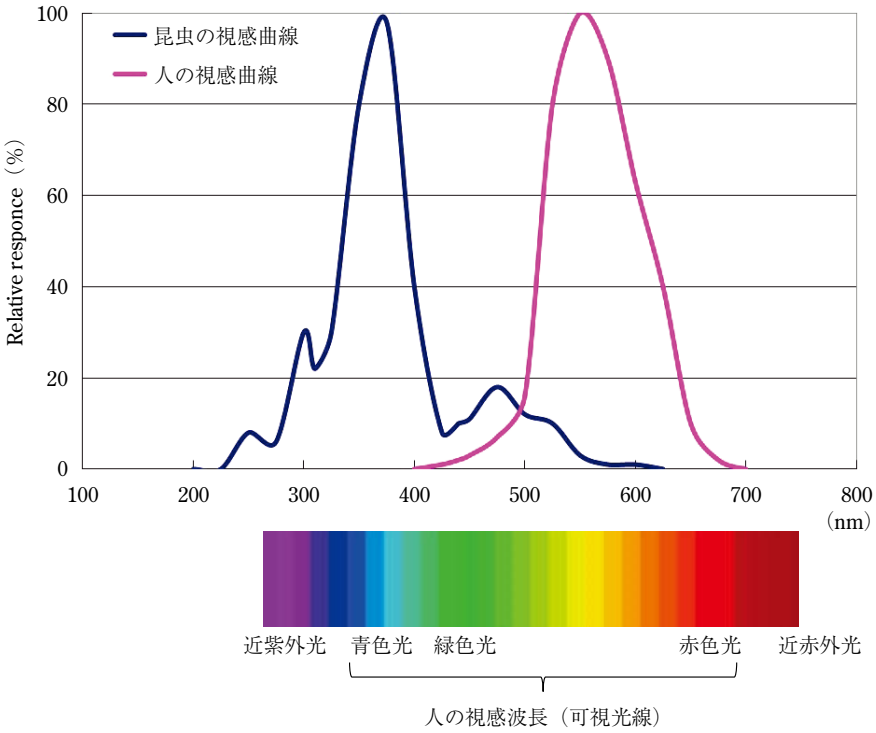


図-2　昆虫と人の比視感度（「見える」波長域）の違い
原図：Bickford et al.（1964）を基に作画.

図-3　赤色防虫ネット「e-レッド」

ネギアザミウマでも 640 nm 以上の光をほとんど認識できないことが明らかにされている（真壁ら，2014）。赤色防虫ネットの開発当時（2007 年），「昆虫が認識できない」赤色顔料を練り込んだポリエチレンモノフィラメント（PE）を使用した赤色防虫ネットであれば，目合いを潜り抜けることができるネギアザミウマなどの微小害虫の通過を抑制できるのではとの考えに至り，本資材を製作した（図-3）。ネギアザミウマの防除効果についてキャベツの防虫ネット被覆を想定した試験で実施したところ，高い防除を示す結果が得ることができた。そこで，開発当初のデータとともに，赤色防虫ネットの開発経緯，および現状と課題を紹介する。

Ⅰ　赤色防虫ネットの開発経緯と構造

防虫ネットは非常に優れた物理的防除手段である。ネットの目合いよりも大きな虫は通過できず，農業用にかかわらず古くから網戸や蚊帳，蝿帳として活用されている。0.8 mm 目合いの防虫ネットであれば，多くの園芸作目の害虫であるチョウ目に対してほぼ完璧に防除可能であり，小型の甲虫であるキスジノミハムシなどのハムシ類成虫，あるいは多くのアブラムシ類に対しての防除も可能である。

一方，トマトの重要ウイルス病害であるトマト黄化葉巻病を防ぐためには，本ウイルスを媒介するタバココナジラミを防除することが必要であり，そのために 0.4 mm 以下の目合いの防虫ネットを栽培施設の開口部に展張する必要性が生じた。しかし，栽培施設の開口部にこのサイズの目合いの防虫ネットを設置した場合，通気性，通風性等の悪化により室内温度が上昇し，環境改善のための循環扇などの付帯設備が必要となる。栽培環境の悪化を防ぐため，コナジラミ類の侵入のリスクが高まることを承知で天窓の防虫ネット被覆をしない農家も少なくない。また，さらに微小な害虫であるアザミウマ類に対し

て 0.4 mm の目合いの防虫ネットでは通過を防ぐ効果はほとんどなく，効果を得るには 0.2 mm 以下の目合いが必要と考えられるが，栽培環境，特にトンネル被覆において，0.4 mm 以下の防虫ネットを用いることは現実的に難しい。

アザミウマ類のうち，ミナミキイロアザミウマに対しては，黒いネットが一定の防除効果を示すことが報告されている（松崎ら，1986）。これは，防虫ネットの向こう側を「見えづらく」していることも一因であるが，一方，これまでの防虫ネットで使用されている白い糸（透明糸）が害虫を引き寄せる可能性も示している。無論「黒色」防虫ネットを製作，展帳した場合に防除効果は期待できるが，「黒色」は黒寒冷紗など，本来は遮光資材として用いるものであり，黒色防虫ネットによりトンネル被覆を実施すれば植物の徒長を引き起こす恐れがあると考えられた。そこで，多くの害虫が認識できない（見えない）色である赤色顔料を練りこんだ半透明の糸で防虫ネットを作製すれば，植物の生長に不可欠である光合成に必要な光，あるいは植物の徒長にかかわる赤色光不足を解消し，「目隠し」の効果で通気性，通風性をも確保，温度上昇を抑えながら微小害虫にも防虫効果を示す防虫ネットを作製できると推察するに至った。

2014 年，試験当初に製作した赤色防虫ネットは，それまでに市販されていた透明（白色）PE の 1 mm および 0.8 mm 目合いの防虫ネット「サンサンネットソフライト SL2200 および SL2700」（日本ワイドクロス株式会社）をベースに，横糸に赤色の普通顔料を練り込んだ市販の PE 糸を使用し，平織りにより作成された構造を有しており，のちに本赤色防虫ネットは「e-レッド」シリーズ（サンサンネットソフライト SLR2200 および SLR2700）として市販化に至った。

II　キャベツにおけるネギアザミウマに対する赤色防虫ネットの防除効果

キャベツ‘金系 201 号’（サカタのタネ）を供試作物とし，2010 年 9 月 14 日に温室内で 128 穴セルトレイに 1 粒ずつ播種後，育苗した苗を 2010 年 10 月 19 日に 1 区画 0.8 m × 1.2 m の露地圃場内に，条間 20 cm，株間 20 cm で 20 株定植した。1 mm 目合いの赤色防虫ネットのほか，白色 1 mm 防虫ネット「サンサンネットソフライト SL2200」を対照資材として用い，定植後，各防虫ネットを用いて直ちにトンネル被覆した区，および防虫ネットの被覆なしの無処理区を各 3 反復設置した。その後，2010 年 11 月 4 日まで本状態で栽培を続け，各区中央部のキャベツ苗 8 株全葉に寄生しているネギアザミウマの頭数を幼成虫別に計数した。なお，成虫は移動性が高く，さらに各区のネギアザミウマ寄生頭数全体から見て，幼虫数が大きいことから，それぞれの防虫ネットの効果は幼虫数で比較した。その結果，赤色防虫ネット被覆区では，ネギアザミウマの幼虫の寄生頭数は対照資材の白色防虫ネットと比較して 1/5 程度であり，有意に差が認められた（図-4）。

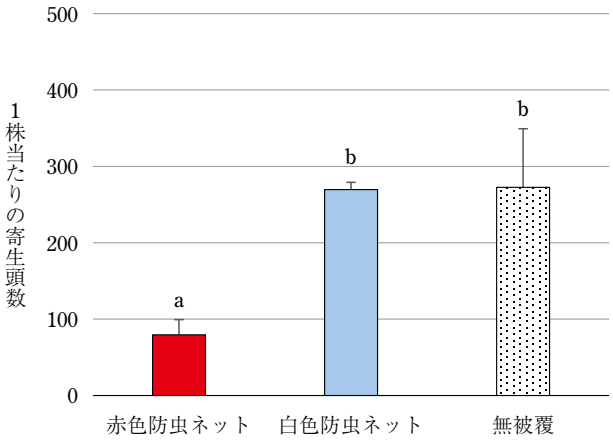


図-4　キャベツにおける防虫ネットの色の違いによるネギアザミウマに対する防除効果
グラフは 1 株当たりのネギアザミウマ幼虫の寄生頭数の平均 ± 標準偏差を示す（n = 3）.
異符号は資材の違いにより有意差があることを示す（Tukey's test $p < 0.05$）.

III　キャベツ育苗中の赤色防虫ネット被覆による生育への影響と実用性

供試品種には‘金系 201 号’（サカタのタネ）を用いた。地床育苗として，2012 年 9 月 24 日にベット幅 1.1 m に条間 10 cm，株間 5 cm で 1 粒播きで播種した。防虫ネット間でのネギアザミウマの被害の差による生育阻害を避けるため，播種後にクロラントラニリプロール 17.5%・チアメトキサム 8.7%水和剤の 200 倍希釈液を苗地床 1 m^2 当たり 2 *l* 灌注した。その後，0.8 mm 目合いの赤色防虫ネットを被覆した区と 0.8 mm 目合いの白色防虫ネット（サンサンネットソフライト SL-2700，日本ワイドクロス株式会社）を被覆した区（反復なし）を設定した。

防虫ネットでの被覆育苗後，2012 年 10 月 31 日に中央部 20 株の苗を回収し，各苗の葉数，草丈，生長点までの高さ，葉柄長，葉身長，葉幅，胚軸長，茎径，および地上部重を調査した。その結果，両資材間でキャベツ苗の生育には差は認められなかった（表-1）。

以上のことから，防虫ネットとして本供試資材を用いた場合，ネット目合いが十分確保されていることから農作物の生育に特に悪影響が認められない一方で，微小な

表-1　キャベツ育苗中に赤色および白色防虫ネットで被覆した際の生育差

試験区	葉数(枚)	草丈(cm)	生長点までの高さ(cm)	葉柄長(cm)	葉身長(cm)	葉幅(cm)	胚軸長(cm)	茎径(mm)	地上部重(g)
赤	8.1	29.1	6.2	10.6	14.5	12.2	1.9	5.2	23.0
白	8.1	29.3	5.9	10.7	14.6	12.5	1.9	5.2	23.3
有意差	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

表中数値は 20 株の平均値.
ns：有意差なし（$p < 0.05$，等分散を仮定した 2 標本による検定）.

図-5　新型赤色防虫ネット「クロスレッド」
写真上：「クロスレッド」，写真下：「e-レッド」（0.8 mm 目合い）.

ネギアザミウマに対し十分な防除効果があることから，実際の農業生産現場で活用できると考えられた。

お　わ　り　に

本来，赤色防虫ネットはアザミウマ類ではなく，コナジラミ類対策として考案したものである。しかしながら，今回紹介した「e-レッド」シリーズはアザミウマ類に対し卓効であるが，コナジラミ類に対し十分な効果を示さないとの報告がある（桑原ら，2013）。2018 年 1 月から縦糸も赤い PE 糸で構成された防虫ネット「クロスレッド」シリーズが「e-レッド」シリーズに代わり販売開始され，流通している（図-5）。この「クロスレッド」シリーズは，「e-レッド」と比較しアザミウマ類はもとよりコナジラミ類に対しても一定の効果が期待できる防虫ネットとなっている（大矢ら，2016）。

赤色防虫ネットの開発当初から，本来ならば「クロス

レッド」を作りたいところであった。しかし，このハードルを越えるのには読者の皆様が考えるよりも時間と労力が必要であった。平織りの防虫ネット作製する「織機」は「機織り（はたおり）機」をイメージしていただいたら理解しやすいと考える。機織りは無数の「経糸」に一つの横糸用糸巻を通していって布を織りあげている。日本ワイドクロス株式会社が用いている織機は 4 m 幅のネットを織りあげる巨大な「機織り機」である。4 m 幅の 1 mm 目合いの防虫ネット作製には，4,000 本の経糸を巻いた「糸巻」が必要，しかも日本ワイドクロス株式会社で使用している織機に用いる経糸の糸巻には 10,000 m の PE 糸が巻き付けられている。つまり，「クロスレッド」を作るには，①最低でも 10,000 m × 4,000 本の赤色 PE 糸の確保が必要，②売れる可能性が不透明な「赤色防虫ネット」作製のために，赤色 PE 糸を常備する必要が生まれる。③織機の構造上，経糸を使い切るまで経糸の糸巻の交換が難しい（実質，赤色防虫ネット専用の織機となる）等のため，当時は経糸が透明（白色）の「e–レッド」を作らざるを得なかったのが実情である。その一方で，「e–レッド」が「タバココナジラミに対する防除効果が低いが，アザミウマ類に対しては十分な効果を示す」，2 種の微小害虫間での防除効果の差という「新たな課題」を生み出したのも事実である。本課題については今後解明を進めるつもりである。

残念ながら，赤色防虫ネットによってネギアザミウマなどの微小害虫の通過を完全に防ぐことは難しい。しかしながら，他の物理的防除資材や天敵等との相性がとてもよいことも報告されている（城塚ら，2016；2018）。天敵利用の問題点は対象害虫の密度が高すぎるとその効果が十分に発揮されないところにある。赤色防虫ネットと併用すると，害虫の密度を一定程度まで抑制し，天敵による防除効果が十分に発揮され，この問題が解決する。

最後になるが，2021 年 5 月農林水産省から「みどりの食料システム戦略」が発出された。この中には，「スマート防除技術体系の活用や，リスクの高い農薬からリスクのより低い農薬への転換を段階的に進めつつ，化学農薬のみに依存しない総合的な病害虫管理体系の確立・普及等を図ることに加え，2040 年までに，多く使われているネオニコチノイド系農薬を含む従来の殺虫剤を使用しなくてもすむような新規農薬などの開発により，2050 年までに化学農薬使用量（リスク換算）の 50％低減を目指す。」と書き込まれている。今後，物理的防除，あるいは天敵等を用いた生物的防除の重要性はさらに高まることは必至である。前出の通り，赤色防虫ネットに限らず防虫ネットの利用は害虫の侵入を抑制し，天敵の利用もしやすくなること，さらに化学農薬の使用軽減になる結果，農薬の「延命」にもつながることから是非活用いただきたいと切に思っている。

引　用　文　献

1）Bickford, E. D. et al.（1964）: I.E.S Nat-conf. Paper : 1～9.
2）Diaz-Momtamo, J. et al.（2011）: J. Econ. Entomol. **104** : 1～13.
3）桑原克也ら（2013）: 関東病虫研報 **60** : 107～109.
4）松崎征美ら（1986）: 四国植防 **21** : 87～93.
5）村井　保（2003）: 植物防疫 **57** : 53～55.
6）西森俊英ら（2003）: 同上 **57** : 56～60.
7）大矢武志ら（2016）: 関東病虫研報 **63** : 136（摘要）.
8）Shelton, A. M. et al.（2014）: J. Econ. Entomol. **101** : 438～443.
9）城塚可奈子ら（2016）: 関西病虫研報 **58** : 45～49.
10）――――ら（2018）: 同上 **60** : 157～160.
11）植草秀敏（2006）: 植物防疫 **60** : 72～75.

赤いサンサンネット 0.8mm目合い 0.6mm目合い

サンサンネット クロスレッド

0.8mm目合い XR－2700

0.6mm目合い XR－3200

農林水産大臣賞受賞

ハウスのサイド・天窓・開口部に張って防除効果を発揮！

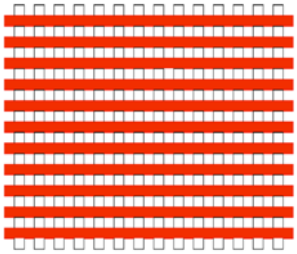
キュウリ・トマトの 黄化えそ病(ウイルス病)対策に!! 風通しも良く赤色が更に冴えアザミウマ等微小害虫の 防除効果もUP!

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

SIP 戦略的イノベーション創造プログラム

e-レッド SLR－2700 SLR－3200

「赤白ネット」0.8mm目合い 0.6mm目合い

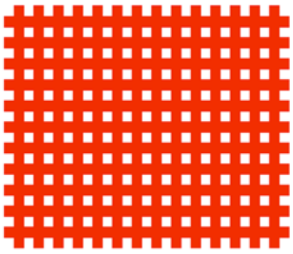


よこ糸方向

たて糸：ナチュラル（透明・白） ×よこ糸：赤色

クロスレッド XR－2700 XR－3200

「赤赤ネット」0.8mm目合い 0.6mm目合い



たて糸方向

よこ糸方向

たて糸：赤色 × よこ糸：赤色

ご好評いただいていますe-レッド（赤ネット・0.8ミリ，0.6ミリ目合い）のたて糸にも赤糸を使用し防虫効果を向上させたネットで，更にアザミウマ等微小害虫の外からの侵入を軽減し作物を栽培します．

神奈川県農業技術センター 特許出願済み

日本ワイドクロス（株）共同開発商品

品番	目合(mm)	色	材質	巾(m)						長さ(m)
XR2700	0.8	赤×赤	ポリエチレン	0.9	1.35	1.5	1.8	2.1	2.7	100
XR3200	0.6	赤×赤	ポリエチレン	0.9	1.35	1.5	1.8	2.1		

※ご希望のサイズに合わせて縫製加工も承ります．
※縫製加工の際，格子ラインが合わない場合があります．
※施設内では換気扇や循環扇との併用をお勧めします．
※製品の仕様は改良のため予告なく変更することがあります．

※赤色の退色を抑える改良を行っておりますが，使用環境により紫外線での劣化および天候や薬品によって徐々に色が薄くなる場合がございます．

日本ワイドクロス株式会社

本社・工場　大阪府柏原市本郷3-784　TEL:072-971-5144（代）
東日本事業所　群馬県藤岡市浄法寺866-12　TEL:0274-50-3303（代）
九州営業所　福岡市八女郡広川町新代1364　TEL:0943-32-3008（代）

商品の詳しい説明はWEBへ

日本ワイドクロス 検索

URL：http://www.sunsunnet.co.jp
E-mail：wide@sunsunnet.co.jp

ホームページ

研究報告

山形県におけるダイズ主要品種のダイズべと病に対する罹病性

山形県農業総合研究センター　中島具子（なかしま ともこ）

はじめに

山形県におけるダイズ栽培は，2019年産で4,950 ha（全国7位）であり，水田転作作物の基幹作物となっている。2012年以降は，農研機構東北農業研究センターで育成された大粒良質品種‘里のほほえみ’の普及拡大が進み，2020年現在の作付面積割合は山形県全体の約5割を占めている。本品種の作付け面積は，全国でも‘フクユタカ’，‘ユキホマレ’に次ぐ第3位（2018年）となっており，東北だけでなく，関東，北陸地域を中心に作付けされている。大粒で品質，耐倒伏性に優れるだけでなく，ダイズモザイクウイルス，ダイズ紫斑病（*Cercospora kikuchii*）に対する抵抗性が「強」とされている（菊池ら，2011）。

山形県のダイズ病害防除は紫斑病を主体に行われるため，‘里のほほえみ’で紫斑病防除を省略できないか検討する試験を行ったところ，紫斑病は少ない傾向にあった一方で，ダイズべと病（*Peronospora manshurica*）の発生が多く確認された（図-1，2）。ダイズの生育期に本病に感染すると，葉に淡黄白色の病斑が発生して早期落葉につながる場合があり，莢に寄生すると内部の子実に卵胞子が固着し，稔実が不良となって品質や収量に影響する（稲葉，1982）。本病に対する抵抗性の品種間差については多くの報告があり（齊藤・石川，1999；大場・滝澤，2011），‘里のほほえみ’についても茨城県では‘タチナガハ’に比べ本病の発生が多いことが確認されている（北村ら，2018）。また，栃木県ではすでに，‘里のほほえみ’はべと病に罹病しやすいので定期的な防除が必要であると指導されている。しかし，‘里のほほえみ’を対象とした品種間差に関する報告は少ないことから，‘里のほほえみ’を含めた山形県における主要4品種についてべと病罹病性の品種間差をセンター内圃場試験および現地圃場調査により検討した（中島ら，2021）。ここではその概要を報告する。

なお，試験データの解析にあたっては岩手県農業研究センター岩舘康哉博士よりご助言をいただいた。厚く感謝申し上げる。

I　山形県におけるダイズ主要品種のべと病に対する罹病性の比較

試験は，2018～20年に山形県農業総合研究センター内圃場（山形市みのりが丘）で行い，‘里のほほえみ’，‘エンレイ’，‘リュウホウ’，‘シュウリュウ’の4品種を供試した。圃場において殺菌剤および殺虫剤は散布しなかった。

葉における病斑の発生状況について，2019年は8月5日，2020年は9月9日に各区20株の株の上部から見てとれる上位葉の発病の有無を調査し，発病株率を求めた。また，2020年は各株の発病指数（発病指数0：発病を認めない，0.2：病斑面積率が上位葉全小葉面積の1%未満，0.5：同1%以上5%未満，1：同5～10%，2：同10～25%，3：同25～50%，4：同50～75%，5：同75%以上）も合わせて調査し発病度を算出した。べと病による汚染粒の発生状況は，葉の発病調査を行った20株から生育の中庸な個体10茎を抜き取り，その全子実について調査した。サンプルは5.5 mmの篩で調製した後，健全粒と汚染粒に分けてそれぞれ粒数を計数し汚染粒率を求めた。圃場における発病株率，子実のべと病汚染粒率については，逆正弦変換後Tukeyの多重比較検定により品種間差を解析した。

各年・各品種の開花期およびべと病の調査結果を表-1に示した。2019年は，7月中に葉の病斑はほとんど確認されず，8月に入ってから増加した。8月以降は高温で経過し，その後の病勢の進展はみられず，8月中旬以降は葉裏の菌そうがほとんど確認されない状況であった。2020年も同様の発生推移であった。

葉における病斑の発生状況について，2019年の発病株率は‘里のほほえみ’83.3%，‘リュウホウ’58.3%，‘エンレイ’53.3%であり，‘シュウリュウ’は1.7%で最も低かった。‘里のほほえみ’と‘エンレイ’，‘リュウホウ’の発病株率の間に有意差は見られなかったものの，‘里の

Susceptibility to Downy Mildew of Major Soybean Varieties in Yamagata Prefecture.　By Tomoko NAKASHIMA

（キーワード：ダイズ，ダイズべと病，ダイズ品種‘里のほほえみ’，罹病性）

図-1　ダイズべと病の発病葉（左）と葉裏の菌そう（右）

図-2　ダイズべと病による汚染粒

表-1　各品種の開花期およびダイズべと病調査結果（中島ら，2021）

試験年次	品種	開花期	茎葉[a)]			子実			
			発病株率（%）		発病度	調査粒数[b)]	汚染粒率（%）		
			平均値 ± 標準誤差			平均値	平均値 ± 標準誤差		
2018	里のほほえみ	7/29	未調査		未調査	3,107	2.34 ± 0.52	a	
	シュウリュウ	7/22				4,220	0.01 ± 0.01	b	
	エンレイ	7/26				4,087	0.06 ± 0.03	b	
	リュウホウ	7/22				3,225	0.07 ± 0.04	b	
2019	里のほほえみ	8/1	83.3 ± 10.1	a	未調査	1,695	1.01 ± 0.30	a	
	シュウリュウ	7/30	1.7 ± 1.7	b		2,355	0 ± 0	b	
	エンレイ	7/30	53.3 ± 24.9	ab		2,069	0.05 ± 0.05	b	
	リュウホウ	7/29	58.3 ± 14.5	ab		2,626	0.06 ± 0.03	b	
2020	里のほほえみ	8/1	100 ± 0	a	4.4	2,812	0.23 ± 0.09	a	
	シュウリュウ	7/29	0 ± 0	c	0	3,338	0.02 ± 0.02	b	
	エンレイ	7/30	20.0 ± 7.6	b	0.8	3,486	0 ± 0	b	
	リュウホウ	7/28	23.3 ± 14.5	b	0.9	2,230	0.01 ± 0.01	b	

[a)] 2019 年は 8 月 5 日に，2020 年は 9 月 9 日に各区 20 株（3 反復）について上位葉の発病の有無を調査し，発病株率を求めた．
[b)] 各区 10 茎（3 反復），計 30 茎を採取し調査した粒数の平均値を示す．
表中の同一英文字は逆正弦変換後 Tukey の多重比較検定により 5%水準で有意差がないことを示す．

ほほえみ’は‘シュウリュウ’と比べて発病株率が有意に高かった（Tukey法，$p < 0.05$）。2020年の発病株率は‘里のほほえみ’100%，‘リュウホウ’23.3%，‘エンレイ’20.0%，‘シュウリュウ’0%で，2019年と同じ傾向であった。‘里のほほえみ’の発病株率は他3品種と比べて有意に高く，‘シュウリュウ’は有意に低かった。‘エンレイ’と‘リュウホウ’の間に有意差は認められなかった。2020年のみ調査した発病度は，いずれの品種も低い中での比較となったものの，‘里のほほえみ’が4.4と最も高く，‘リュウホウ’0.9，‘エンレイ’0.8，‘シュウリュウ’0であった。本試験においてべと病の発生が確認されたのは開花期以降の上位葉であった。そのため今回の調査では，上位葉のみを調査対象としたものの，株単位での発病については一定の評価ができたものと判断した。一方で，葉におけるべと病発生の正確な評価のためには，中位葉，下位葉を含めた株全体での調査が望ましく，調査方法について改善が必要であると考えられる。

各品種の汚染粒については，調査を行った3か年とも少発生以下であった。いずれの年次についても‘里のほほえみ’の汚染粒率は他3品種と比べて有意に高かった。また，‘シュウリュウ’，‘エンレイ’，‘リュウホウ’の間に有意差は認められなかった。

なお，‘里のほほえみ’の開花期は他の3品種と比べて2〜7日遅かったことから，開花期の差が直接べと病汚染粒率に影響を及ぼした可能性は否定できない。このことを踏まえても，‘里のほほえみ’の上位葉の発病株率は他の品種に比べて高かったこと，開花期の遅れが2〜4日とわずかであった2019年，2020年についてもその汚染粒率には有意差が認められていることから，‘里のほほえみ’は県内で栽培されている他の品種と比較すると，べと病に対して罹病性が高いと推察される。ただし，いずれの年次においても少発生条件下での試験であったことから，多発条件下における検討も必要であると考えられる。

II　現地圃場における発生状況

2018年および2019年に山形県寒河江市および河北町内のダイズを作付けしている20圃場において，べと病による汚染粒の発生状況を調査した。これらの圃場は約10 km × 10 kmの範囲内に点在しており，それぞれ異なる生産者により管理されていた。作付品種は，‘里のほほえみ’がのべ30圃場，‘秘伝’のべ5圃場，‘シュウリュウ’のべ3圃場，‘リュウホウ’および‘スズユタカ’は各1圃場であった。いずれもチアメトキサム・フルジオキソニル・メタラキシルM剤またはチウラム剤による種子消毒を行っており，連作年数は異なるものの転換畑に作付けされていた。また，いずれの年次も約半数の圃場において，紫斑病防除のため，アゾキシストロビン水和剤が散布されていた。開花期は‘里のほほえみ’，‘シュウリュウ’が7月6半旬〜8月1半旬，‘秘伝’，‘リュウホウ’，‘スズユタカ’は8月1半旬であった。アゾキシストロビン剤の散布時期は8月5半旬〜6半旬であり，いずれも開花期から4半旬〜6半旬後の散布であった。本剤以外にダイズべと病に登録のある薬剤の散布はなかった。成熟期に各圃場から20茎を採取し，調査を行って汚染粒率を求めた。

調査結果を表-2に示した。8月下旬のアゾキシストロビン水和剤の散布実績の有無が入り混じった状況ではあ

表-2　現地圃場におけるべと病汚染粒の発生状況（中島ら，2021）

年次	品種	散布実績[a]	圃場数	調査粒数[b]	べと病汚染粒率（%）			
				平均値	平均値	中央値	最小値	最大値
2018	里のほほえみ	有	8	1,955	2.9	1.4	0	8.8
		無	7	1,762	1.3	1.8	0.4	3.3
	秘伝	無	3	1,300	0.8	0.8	0.2	1.3
	シュウリュウ	有	2	2,321	0.2	−	0.1	0.2
2019	里のほほえみ	有	7	2,605	0.7	0.2	0	2.1
		無	8	2,091	2.0	1.0	0.5	7.6
	秘伝	無	2	1,653	0.0	−	−	−
	シュウリュウ	有	1	2,575	0.3	−	−	−
	リュウホウ	有	1	3,183	0.1	−	−	−
	スズユタカ	無	1	2,390	0.6	−	−	−

[a] ダイズ紫斑病を対象とした8月下旬のアゾキシストロビン水和剤の散布有無.
[b] 成熟期に各圃場の4箇所から各5茎，計20茎を採取し調査した粒数の平均値を示す.

表-3　ダイズべと病汚染粒率に関するロジスティック回帰モデルの要因別オッズ比（中島ら，2021）

説明変数	カテゴリ	事例数	オッズ比	95%信頼区間	p 値[b]
年次	2018 年（基準）	20	1		
	2019 年	20	0.31	0.05～1.93	0.2082
品種	秘伝，シュウリュウ，リュウホウまたはスズユタカ（基準）	10	1		
	里のほほえみ	30	28.82	2.36～351.32	0.0084 **
アゾキシストロビン剤の散布[a]	散布なし（基準）	21	1		
	散布あり	19	0.08	0.01～0.77	0.0291 *
種子消毒剤の種類（殺菌剤成分）	チウラム（基準）	27	1		
	フルジオキソニル・メタラキシル	13	0.90	0.13～6.00	0.9133
作付け年数	−	40	1.00	0.82～1.22	0.9910

[a] ダイズ紫斑病を対象とした 8 月下旬のアゾキシストロビン水和剤の散布の有無.
[b] wald 検定において有意（** $p < 0.01$，* $p < 0.05$）であることを示す.

るが，‘里のほほえみ’ の汚染粒率は他の品種よりも高い傾向にあった。

次にこの現地圃場のデータについて，ロジスティック回帰分析を行った。目的変数は，べと病汚染粒の発生頻度データを用い，発生予察事業の調査実施基準（農林水産省生産局植物防疫課，2001）の発病程度別基準に準じて，汚染粒率0.5%未満を発生程度「無」，汚染粒率0.5%以上を発生程度「少以上」として 2 群（「発生なし」または「発生あり」）に区分した。説明変数は，本病の発生にかかわる要因として想定されるもののうち，全調査地点で情報が得られた調査年次，品種の違い（‘里のほほえみ’ と ‘その他品種’ として 2 群に区分），8 月下旬のアゾキシストロビン水和剤の散布有無，種子消毒剤の種類，作付け年数を用いた。これらの説明変数が汚染粒の発生に与える影響について二項分布を用いたロジスティック回帰モデルによって解析した。回帰分析は R（version 3.6.2）を用いて行い，car パッケージの Anova 関数を用いた尤度比検定（type Ⅱ）によってこれら 5 要因の影響の有意性を検定した。またオッズ比の計算は epiDisplay パッケージの logistic.display 関数を用いた。

成熟期のべと病汚染粒の発生と有意な関連が認められた要因は，「品種の違い」および「アゾキシストロビン剤の散布有無」であった（タイプⅡ尤度比検定 品種；$p = 0.0008$，アゾキシストロビン剤の散布有無；$p = 0.0082$）。品種 ‘里のほほえみ’ のオッズ比は 28.82 であり（表-3），今回調査した他品種（‘秘伝’，‘シュウリュウ’，‘リュウホウ’ または ‘スズユタカ’）に比べてべと病汚染粒の発生が多くなることが示され，センター内圃場における品種比較の結果を裏づけるものとなった。アゾキシストロビン剤の散布「あり」のオッズ比は0.08であり（表-3），散布「なし」に比べてべと病汚染粒の発生が少なくなることが示された。櫻田ら（2018）は，開花期または開花 1 か月後に散布した場合のべと病に対する防除価はいずれも 40 程度であると報告している。今回調査を行った現地圃場では，アゾキシストロビン水和剤が開花期の 4～6 半旬後に散布されており，この時期の散布はダイズべと病に対する効果が不十分である可能性があるため，本剤散布の影響については別途検討が必要である。また，今回は情報不足や調査未実施により解析に加えることができなかった種子更新の有無や播種時期，開花期や葉での発病状況（発病度）等のべと病汚染粒発生の主因や誘因となりうる要因の影響についても検討が必要と思われる。

お　わ　り　に

栃木県では，‘里のほほえみ’ はべと病に罹病しやすいので定期的な防除が必要であるとしており（栃木県・栃木県米麦改良協会，2020），開花 10 日前～子実肥大期の薬剤防除を指導している（栃木県農業環境指導センター，2020）。一方，山形県のダイズ圃場における防除は主に紫斑病やマメシンクイガを対象として行われ，8 月 5 半旬頃に殺菌剤および殺虫剤，その 10 日後に殺虫剤を散布する防除体系が慣行となっており，べと病を対象とした開花期前後の防除はほとんど行われていない。本県でも収量・品質に優れる ‘里のほほえみ’ の作付面積拡大が推進されており，今後，気象条件によってはべと病の被害が発生する恐れがある。そのため，本県における ‘里のほほえみ’ のべと病発生の要因を明らかにし，耕種的防除も含めた防除対策について経済的被害と防除費用のバランスを考慮しながら検討する必要がある。

引　用　文　献

1）稲葉忠興（1982）：植物防疫 **36**：403～406.
2）菊池彰夫ら（2011）：東北農研研報 **113**：1～15.
3）北村　舞ら（2018）：茨城病虫研報 **57**：41～46.
4）中島具子ら（2021）：北日本病虫研報 **72**：46～50.
5）農林水産省生産局植物防疫課（2001）：病害虫発生予察事業の実施について～発生予察事業の調査実施基準～，p.116～117.
6）大場淳司・滝澤浩幸（2011）：宮城県古川農試報 **9**：87～94.
7）齊藤美奈子・石川岳史（1999）：日植病報 **65**：698（講要）.
8）櫻田史彦ら（2018）：北日本病虫研報 **69**：200（講要）.
9）栃木県農業環境指導センター（2020）：平成 27 年度現地技術実証展示ほ 成果情報.
10）栃木県・栃木県米麦改良協会（2020）：農作物奨励品種特性表，p.11～12.

新しく登録された農薬（2022.5.1～5.31）

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

「殺虫殺菌剤」

●銅・メチルテトラプロール水和剤
24629：**ヘッジ水和剤**（住友化学）22/5/11
水酸化第二銅：30.0％
メチルテトラプロール：9.0％
てんさい：褐斑病：収穫前日まで

「除草剤」

●ランコトリオンナトリウム塩粒剤
24628：**プロミス 1 キロ粒剤**（ファーム韓農）22/5/11
ランコトリオンナトリウム塩：2.1％
移植水稲：一年生雑草（イネ科を除く），マツバイ，ホタルイ，ウリカワ，ヒルムシロ

●ダイムロン・ペントキサゾン・メタゾスルフロン粒剤
24630：**イネヒーローエアー粒剤**（科研製薬）22/5/25
ダイムロン：25.0％
ペントキサゾン：7.5％
メタゾスルフロン：2.5％
移植水稲：一年生雑草，多年生広葉雑草，アオミドロ・藻類による表層はく離

発生予察情報・特殊報（2022.5.1～5.31）

各都道府県から発表された病害虫発生予察情報のうち，特殊報のみ紹介。**発生作物：発生病害虫**（発表都道府県）発表月日。都道府県名の後の「初」は当該都道府県で初発生の病害虫。
※詳しくは各県病害虫防除所のホームページまたは JPP–NET（http://web1.jppn.ne.jp/）でご確認下さい。

■ **タマネギ：タマネギえそ条斑病（病原ウイルス：アイリスイエロースポットウイルス，IYSV）**（大阪府：初）5/19
■ **キク：キク小斑点病（病原菌：*Stemphylium lycopersici*）**（佐賀県：初）5/20
■ **トマトキバガ（侵入警戒トラップでの誘殺）**（愛媛県：初）5/20
■ **ミニトマト：トマト茎えそ病（病原ウイルス：キク茎えそウイルス，CSNV）**（広島県：初）5/30

研究報告

トマトモザイクウイルス感染によるホオズキの生育への影響と乾熱処理種子由来の地下茎導入によるウイルス病害抑制効果

宮崎県総合農業試験場　早日早貴（はやひさきき）
宮崎県西諸県農林振興局　黒木修一（くろぎしゅういち）
宮崎大学農学部　竹下稔（たけしたみのる）

はじめに

ホオズキ（*Physalis alkekengi* L. var. *franchetii*）はナス科の植物で，赤く膨らんだ「がく（萼）」を楽しむ観賞用花き類である（図-1）。宮崎県は大分県，静岡県に次ぐ国内有数の切り花用ホオズキの産地であり，平地が少ない中山間地域がホオズキの主要産地となっている。夏期が冷涼な気候になる中山間地で栽培したホオズキは，がくの発色がよく市場での評価が高いため，ふるさと納税の返礼品とするなど地域振興を担う重要な換金品目となっている。

宮崎県におけるホオズキ栽培では，種子を用いて栽培する場合と，地下茎を用いて栽培する場合がある。種子を用いた栽培は，8月の出荷ころに形質のよい株から採種し，その種子から得られた実生苗の地下茎を用いて栽培する。種子を用いた栽培は，遺伝的な形質の固定が不十分であれば，生産物の形質が安定しないリスクがあるが，前作で発生した多くの病害の伝染環を断ち切る利点がある。一方，地下茎を用いた栽培は，収穫後の株を圃場に残して地下茎を養成し，得られた地下茎を翌作の苗として使用するため，病害の伝染環が翌作とつながるリスクがあるものの，増殖や栽培管理が容易である。さらに，地下茎を栄養繁殖によって増殖させるため，形質が均一化することから，宮崎県内のホオズキ生産においては，地下茎を用いた栽培が主流となっている。

図-1　ホオズキ栽培の様子

地下茎を介して次作に持ち込む可能性のある病害の一つにウイルス病がある（米田ら，2017；冨高，2020）。特に，宮崎県内ではトマトモザイクウイルス（tomato mosaic virus；ToMV）およびタバコ微斑モザイクウイルス（tobacco mild green mosaic virus；TMGMV）等のウイルスの感染が確認されており（河野ら，2013），各産地で展開葉やがくにウイルス感染によるものと思われる壊疽やモザイク症状が確認されている。

ウイルス症状のうち，展開葉の症状はホオズキの商品性にあまり影響しないと考える風潮が一部で見られる。一方，がくに壊疽やモザイク症状が発生した場合には，外観を損なうため該当するがくを除去して出荷する必要があり，出荷等級に影響し販売単価が低下するため，ウイルス病の被害を重要視する。しかし，出荷時にはウイルス症状の有無にかかわらず必ず上位の4～6葉（以下，天葉とする）以外の葉をすべて除去するため，天葉以外の葉に激しいモザイク症状（図-2）や壊疽を発症しても直接的には生産物の品質に影響せず，ウイルス病の被害が見過ごされている。

各産地ともウイルス症状はがくではほとんど確認さ

Influence of Tomato Mosaic Virus Infection on Growth of Chinese Lantern Plant and Virus Disease-Suppressive Effect by the Introduction of Rhizome Originated from Heat-Treated Seed.　By Saki Hayahi, Shuichi Kurogi and Minoru Takeshita

（キーワード：ホオズキモザイク病，トバモウイルス属ウイルス，実生苗栽培）

図-2　ホオズキ展開葉でのモザイク症状
（早日ら，2021 より抜粋）

れず，出荷時には除去される展開葉の発症が多いことが，ウイルス対策が浸透しない理由の一つであると推定される。

ホオズキのウイルスに関する既報の多くは，発症による被害に関するものであり，発症以外の品質への影響は報告されていない。筆者らは，ウイルスの感染はホオズキの生育に影響し，出荷量の減少などの経済的被害を与えていると考え，ウイルスの感染による品質への影響調査を行うとともに，ウイルス対策の効果について検証を行った。

Ⅰ　ホオズキにおけるウイルス感染の拡大要因

ホオズキで感染が確認されている ToMV および TMGMV はトバモウイルス属に分類され（大木，2005），物理的な安定性が高く，土壌伝染することが知られている（岸，1999）。特に，ホオズキは地下茎の養成期間を含めた栽培期間が 10 か月程度あるため，その期間中に土壌伝染するか，あるいは掘り上げや定植等の管理作業によって感染する可能性も考えられる。

前作の地下茎を用いた一般的な栽培方法では，7～8 月の収穫後，地下部をそのまま圃場に残して養成し，冬場に掘り上げて 5～10 cm 程度に切断したものを次作の種苗として圃場に埋め込む。ウイルス症状がまん延する圃場から地下茎を採取すると，ウイルスに感染した恐れのある地下茎を，次作に使用することになる。臼井・田爪（2020）の調査では，外観では健全な株由来の地下茎を次作に定植した場合でも，97.2％の株でウイルス症状が発症したと報告している。つまり，ウイルスに感染したホオズキがある圃場には未発症感染株が存在し，目視によって非感染株を選抜することは難しく，その地下茎を後代に定植することで，被害が慢性化していると考えられる。

Ⅱ　ToMV の感染がホオズキ生産に及ぼす影響

一般に，観賞用花き類におけるウイルス感染は，モザイク症状などにより商品の外観に影響することが想定される。しかしホオズキでは，前述した通り出荷する天葉に著しい症状が現れない限り，当該症状が軽視されている。そこで，ウイルス感染の生育に対する影響を調査するために，出荷規格から商品性への影響を評価した。

調査は，2019 年 3 月上旬に定植し，前作において ToMV に感染した株が認められた 7 圃場を対象に実施した。1 圃場当たり 19～20 株の合計 139 株を対象とし，5 月にウイルス感染の有無を調査するとともに，8 月上旬に収穫して出荷規格の調査を行った。

ホオズキ株のウイルス感染は Dot immuno-binding assay（DIBA）法を用いて調査した。手法は日比（1984）の手法に準じて行い，1 次抗体（ToMV 抗体，一般社団法人日本植物防疫協会製）は 500 倍，2 次抗体（アルカリフォスファターゼ標識抗ウサギ・ヤギ抗体，ナカライテスク）は 4,000 倍で希釈して供試した。感染の判定は比色判定で行い，検定に供試した ToMV 感染葉とウイルス非感染株の葉の判定結果と比較し，ToMV 感染葉の反応とほぼ同等の発色を示す株を ToMV 陽性と判定した。なお，ホオズキ種子を 70℃で 96 時間乾熱処理することで ToMV，TMGMV 非感染の実生苗が得られることから（米田ら，2019；早日ら，2021），この方法に準じてウイルス非感染株を確保し，その葉を供試した。

調査株の出荷規格は，JA宮崎経済連の出荷規格（2017 年度版）を用い，切り花長 100 cm 以上を 3L，99～90 cm を 2L，89～75 cm を L，74～60 cm を M とし，59 cm 以下は出荷規格外品として，規格別に分類した。

この結果，調査対象の 139 株のうち，49 株を ToMV 陽性と判定した。また，ToMV 陽性と判定した株の出荷規格外品（切り花長 59 cm 以下）の割合は 38.1％で，χ^2 検定により ToMV 陰性株の出荷規格外品率（10.3％）よりも有意に多かった（表-1）。

出荷規格別に ToMV 陽性株率を算出した結果，切り花長が短い出荷規格ほど ToMV 感染株率が高い傾向が見られた（図-3）。三浦ら（1988）は，ホオズキと同じナス科のピーマンにおいて，ToMV と同じトバモウイルス属ウイルスのタバコモザイクウイルス（tobacco mosaic

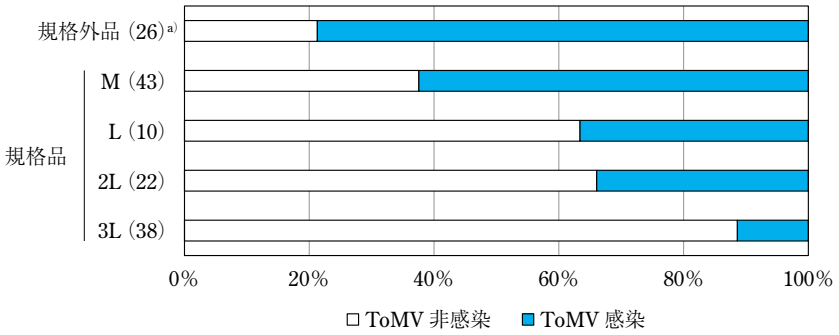


図-3　ホオズキの出荷期格別の ToMV 感染株率（早日ら，2021 より抜粋）
a) 各出荷規格の調査株数を示す．

表-1　調査圃場における ToMV 感染の有無と規格品の調査結果（早日ら，2021 を一部改編）

DIBA 検定	株数	規格外品 a)	規格品 b)
ToMV 陰性株	97	10（10.3%）c)	87（89.7%）
ToMV 陽性株	42	16（38.1%）	26（61.9%）

a) 表中の規格外品は切り花長 59 cm 以下の株を指す．
b) 表中の規格品は切り花長 60 cm 以上の株を指す．
c) 括弧内の数値は，DIBA 法の検定結果ごとの規格外品，規格品の割合を示す．

virus；TMV）に感染すると，弱毒，強毒にかかわらず，TMV を接種したピーマン株は草丈が短くなる傾向があると報告している。このことは本研究でのホオズキの結果と一致しており，ホオズキに ToMV が感染すると切り花長に影響すると考えられる。

ホオズキは一般的に，切り花長が長い規格ほど販売単価が高く，59 cm 以下では規格外となり，切り花ホオズキとして出荷することができなくなる。ホオズキの切り花長が短くなることは，低単価品の増加，あるいは，出荷本数の減少に直結し，経済性に大きく影響する。つまり，ホオズキが ToMV に感染することは，症状だけではその被害程度が判然としないものの，経済性に影響していると考えられる。

III　乾熱処理種子由来の地下茎を使用したホオズキ栽培によるウイルス病害の抑制効果

2014 年に県内全域で実施した現地調査では，種子を用いた栽培が定着している地域の ToMV あるいは TMGMV の感染株率は，前作の地下茎を用いる栽培が主流の地域よりも低い傾向が見られた（早日ら，2017）。また，乾熱処理を施した種子を用いて実生苗を育成し，その実生苗から得られた地下茎を用いて栽培することで，ウイルス様症状の発症を抑制することが報告されている（臼井・田爪，2020）。このように，種子を乾熱処理して実生苗を育成し，その実生苗をトバモウイルスに感染しない環境下で栽培して得られた地下茎（以下，ウイルスフリー地下茎）を利用することで，ToMV および TMGMV の被害を軽減できると考え，これらウイルスによる被害に対する軽減効果を調査した。

栽培試験は，ToMV 感染株率が 100%の現地圃場（実証圃場）に 2 作連続（2017 年産および 2018 年産）でウイルスフリー地下茎を定植して行った。なお，種子は各調査年の前年の 8 月に調査圃場で採種し，乾熱処理は米田ら（2019）の手法に準じ，70℃，96 時間施した。乾熱処理後の種子は 8 月中に生産者に返却してセルトレイに播種し，市販の培土で育苗した後，ToMV あるいは TMGMV に感染する恐れがないホオズキ未栽培圃場に定植して 9 月～翌年の 1 月までの間栽培し，その地下茎を回収した。定植以降の管理は例年通り実施し，発症状況，出荷本数を調査するとともに，ToMV 感染株数を DIBA 法により調査し，ToMV 感染株率を算出した。

実証圃場にウイルスフリー地下茎栽培を 2 か年連続で導入した結果，ホオズキの展開葉で観察されるモザイク症状は年々改善し，導入 2 年目の 2018 年には展開葉およびがくでの症状は観察されなくなり，ToMV 感染株率は，2017 年に 30.0%，2018 年には 5.0%まで低下した（表-2）。

2016 年の出荷本数を 100 とし，2017 年，2018 年の総体出荷本数を比較した結果，2017 年の相対出荷本数は 134 で，2016 年産と比較し，約 1.3 倍に増加した。さらに，導入 2 年目の相対出荷本数は 147 となり，2016 年産と比較して約 1.5 倍まで出荷本数が増加する結果となった（表-2）。本調査の結果から，ウイルスフリー地下茎栽培は ToMV 感染株率を低下させ，出荷本数の増加につながることが示唆された。

表-2　各調査年度のToMV感染および発症状況と相対出荷本数の推移（早日ら，2021より抜粋）

調査項目	調査年度		
	2016	2017	2018
調査株数	50	20	20
ToMV感染株率（%）	100	30.0	5.0
葉でのモザイク症状の発症 a)	＋	±	−
相対出荷本数 b)	100	134	147

a) ＋：明瞭なモザイクを示す株が見られる，±：軽微なモザイク症状を示す株が見られる，−：症状のある株は見られないことを示す.
b) 2016年度の出荷本数を100とし，算出した.

Ⅳ　乾熱処理種子由来地下茎栽培の課題点

前述したように，圃場試験にウイルスフリー地下茎を導入しても，1年目に30.0%の株でToMVの感染が確認された。これは，ウイルスフリー地下茎の導入自体には土壌伝染を防除する効果はないため，ToMVが土壌伝染し，管理作業などによりまん延したと推定される。トバモウイルス属ウイルスの土壌伝染は，土壌中のウイルス感染残渣を介して伝染する（都丸ら，1970）。次作に感染させないためには，土壌中の保毒残渣を早期に除去，分解し，ウイルスを不活化させることが重要である（竹内，2000；黒木，2013）。トバモウイルス属ウイルスに感染した残渣を分解し，ウイルスを不活化する期間は6か月でも不十分とされる（長井，1981）。ウイルスフリー地下茎栽培は，従来の前作の地下茎を用いて栽培する方法と比較すれば，地下茎の養成期間が不要となるため休作期間が長く，残渣分解に要する期間をある程度は確保できるが，1作の休作期間では十分な残渣分解は難しい。多発生圃場から即座に土壌中のウイルスを排除することは難しいが，本試験結果のようにウイルスフリー地下茎を複数年連続して導入することで少しずつ時間をかけて，圃場からウイルスを排除することは可能である。

また，種子での栽培は，交配を経ていることから次世代の形質が安定しないことが予想される。ホオズキで形質が安定しない場合は，生産物の品質，管理作業や出荷調整に影響する。しかし，今回の調査ではウイルスフリー地下茎由来の株の形質は安定しており，生産物の品質や管理作業および出荷調整に影響は見られなかった。形質の変異が懸念される場合は，必要に応じて，ウイルスフリー地下茎を養成する段階での株選抜の実施をお勧めしたい。

お　わ　り　に

ウイルスフリー地下茎を導入した実証圃場では，一部で被害を受けつつも，出荷本数が増加した。このことを受け，実証圃場の生産者が所属するホオズキ生産部会に本技術の普及を行った。その結果，2017年には部会員の5割，2018年には部会員の8割がウイルスフリー地下茎栽培を導入した。生産部会の総出荷額は，高齢化などによる栽培面積の減少や台風の影響を受けたにもかかわらず毎年上昇し，2018年度には部会員の平均出荷本数および出荷額ともに過去最高を記録したことで，ウイルスフリー地下茎栽培は，ToMVによる被害を軽減し，経済性を改善することを裏付けた。ウイルスフリー地下茎栽培，すなわち乾熱処理種子由来地下茎栽培は，普及の際には，場合によって本圃定植前に異形株の排除を行う必要はあるが，取り組みやすく，新たな資材を必要としない栽培法であることから，ホオズキのToMV対策として有効であると思われる。また，臼井・田爪（2020）の報告によれば，ToMV, TMGMV複合発生圃場にウイルスフリー地下茎を導入した場合に，前作地下茎を導入した場合よりも展開葉での発症株率が低かったと報告している。乾熱処理種子由来地下茎栽培のTMGMVへの効果については検証が必要であるが，ToMVに限らずTMGMVにも効果があると推察され，ホオズキに感染するトバモウイルス属ウイルスに有効であると考えられる。

引　用　文　献

1）早日早貴ら（2017）：日植病報 **83**：79（講要）.
2）――――ら（2021）：九病虫会報 **67**：9～14.
3）日比忠明（1984）：植物防疫 **38**：380～384.
4）河野亜希子ら（2013）：日植病報 **79**：74（講要）.
5）岸　國平（1999）：日本植物病害大事典，全国農村教育協会，東京，p.650.
6）黒木　尚（2013）：JATAFFジャーナル **1**：29～33.
7）三浦猛夫ら（1988）：九病虫研会報 **34**：25～29.
8）長井雄治（1981）：千葉農試特報 **9**：1～109.
9）大木　理（2005）：植物防疫 **59**：25～28.
10）竹内繁治（2000）：高知農気セ特報 **3**：1～53.
11）都丸敬一ら（1970）：日植病報 **36**(3)：188.
12）冨高保弘（2020）：植物防疫 **74**(7)：386～389.
13）臼井真奈美・田爪久美子（2020）：日植病報 **81**：75～76（講要）.
14）米田恵美ら（2017）：九病虫研会報 **63**：23～29.
15）――――ら（2019）：同上 **65**：95（講要）.

研究報告

岡山県における土着天敵タバコカスミカメに対する農薬の影響評価

岡山県農林水産総合センター 農業研究所 西（にし） 優輔（ゆうすけ）

はじめに

タバコカスミカメ *Nesidiocoris tenuis*（Reuter）は食植性と食肉性の両面をそなえたカスミカメムシ類であり，我が国にも分布する土着天敵である（安永ら，2001）。本天敵は2021年に農薬登録されており，アザミウマ類およびコナジラミ類に対する生物農薬として市販される一方，野外個体群を採集，増殖させ，生物的防除資材として農作物の栽培施設に放飼する取組（中石，2014）も各地で広まっている。

本天敵は，キュウリ，ナス，ピーマンおよびトマトの栽培で利用されることが多い。岡山県においても施設栽培ナスの産地で導入されているが，本種による防除が期待できない病害虫が発生した場合や，本種の活動が不十分な場合には化学合成農薬が併用される。したがって，タバコカスミカメを用いた総合的病害虫防除体系の構築には，本種の各種農薬に対する影響評価が重要となる。タバコカスミカメの農薬に対する影響評価については，高知県安芸市で採集した累代飼育系統を用いた事例（中石，2015 a）が報告されているが，以降に上市された農薬に関する知見，および他地域個体群における事例はほとんどない。そこで，筆者らは，岡山県内でタバコカスミカメの利用が最も普及している施設栽培ナスにおける総合的病害虫防除体系を想定し，同県内で採集された本種個体群を用いて，各種農薬に対する影響を評価してきた。ここでは，これまでに行った評価結果をまとめて紹介する。

Ⅰ 材料および方法

タバコカスミカメは，2013～20年にかけて，岡山県赤磐市で栽培したゴマまたはスイートアリッサムに自然発生した成虫と3～4齢幼虫を採集し，供試した。

供試薬剤は，ナスに農薬登録がある薬剤を中心に，殺虫剤33剤，殺菌剤19剤，展着剤5剤の合計57剤を選定した。殺虫剤をIRAC（2020）の分類に基づき表-1に，殺虫剤をFRAC（2020）の分類に基づき表-2に，展着剤を表-3に示した。

検定方法は中石（2013）の方法を一部改変して行った。すなわち，両切りガラス管（直径2 cm，長さ17.5 cm）の上面と底面にナイロンゴース（0.4 mm目合い）を張り，雌雄の区別をせずに成虫または幼虫を9～15頭ずつ入れた。このガラス管を水道水で常用濃度に希釈した供試薬液に約10秒間浸漬し，ナイロンゴースに付いた水分をキムタオルで拭き取り，風乾した。その後，吸虫管で虫体を取り出し，ろ紙を敷いたシャーレ（直径9 cm，高さ2 cm）に移した。シャーレには，水道水を含ませた脱脂綿を入れたスクリュー管びんのふた（直径1.5 cm，高さ1.0 cm）と，餌としてセロハンテープ（1.8 cm × 2.0 cm）に付着させたスジコナマダラメイガ *Ephestia kuehniella*（Zeller）解凍卵を入れ，25℃，60% RH，16L8Dの恒温室内で飼育した。これらの処理を1区として，3反復実施し，1剤当たり合計27～43個体を供試した。対照として水道水で同様の処理を行った。処理5日後に生死の判定を行い，各薬剤の死虫率については，Abbottの補正式（Abbott, 1925）を用いて補正死虫率を算出した。正常に歩行できない個体は苦悶虫とし，死虫に含めた。タバコカスミカメに対する影響評価は，処理5日後の補正死虫率で行い，国際生物的防除機構（IOBC）の室内試験基準（Amano and Haseeb, 2001）に準じ，4段階評価を行った。

Ⅱ 各種農薬に対する影響評価

表-1～3に供試薬剤の補正死虫率および影響評価を示した。合計57剤のうち，殺虫剤17剤，殺菌剤15剤および展着剤2剤は，タバコカスミカメ成幼虫に対して影響がなかった。成虫あるいは幼虫，または両ステージに対する影響が小さかった殺虫剤は，フェンピロキシメートとブプロフェジンの混合剤，ビフェナゼート，フェンピロキシメート，ピフルブミドとフェンピロキシメート

Evaluation of the Effect of Pesticides on a Predatory Bug, *Nesidiocoris tenuis*（Reuter）in Okayama Prefecture, Japan. By Yusuke Nishi

（キーワード：タバコカスミカメ，天敵，薬剤感受性，選択性殺虫剤，IPM）

表-1　殺虫剤処理5日後のタバコカスミカメ成虫および3〜4齢幼虫の補正死虫率と影響評価（西ら，2021を改変）

RAC[a]コード	成分名（%）[b]	製剤名	剤型	希釈倍率	成虫		幼虫	
					補正死虫率（%）	影響[c]評価	補正死虫率（%）	影響[c]評価
3A	ペルメトリン（20）	アディオン	乳剤	2,000	100	×	93.2	△
4C	スルホキサフロル（9.5）	トランスフォーム	フロアブル	1,000	100	×	92.9	△
6	アバメクチン（1.8）	アグリメック	乳剤	500	100	×	100	×
6	エマメクチン安息香酸塩（1）	アファーム	乳剤	2,000	97.2	△	100	×
6	ミルベメクチン（1）	コロマイト	乳剤	1,500	6.2	◎	4.2	◎
7C	ピリプロキシフェン	ラノー	乳剤	1,000	5.7	◎	0	◎
9B	ピメトロジン（50）	チェス	顆粒水和剤	5,000	22.4	◎	0	◎
9B	ピリフルキナゾン（20）	コルト	顆粒水和剤	4,000	22.4	◎	0	◎
10A	ヘキシチアゾクス（10）	ニッソラン	水和剤	2,000	2.9	◎	0	◎
15	ルフェヌロン（5）	マッチ	乳剤	2,000	0	◎	90.0	△
16/21A	フェンピロキシメート（4）/ブプロフェジン（20）	アプロードエース	フロアブル	1,000	67.9	○	15.0	◎
17	シロマジン（8.7）	トリガード	液剤	1,000	6.2	◎	0	◎
20D	ビフェナゼート（20）	マイトコーネ	フロアブル	1,000	32.1	○	7.1	◎
20B	アセキノシル（15）	カネマイト	フロアブル	1,000	0	◎	6.7	◎
21A	フェンピロキシメート（5）	ダニトロン	フロアブル	2,000	59.4	○	25.0	◎
22A	インドキサカルブ（5）	トルネードエース DF	水和剤	2,000	100	×	69.0	○
22B	メタフルミゾン（25）	アクセル	フロアブル	1,000	97.0	△	92.7	△
23	スピロメシフェン（22.9）	クリアザール	フロアブル	2,000	1.5	◎	0.2	◎
25A	シエノピラフェン（30）	スターマイト	フロアブル	2,000	0	◎	0	◎
25A	シフルメトフェン（20）	ダニサラバ	フロアブル	1,000	0	◎	11.7	◎
25B/21A	ピフルブミド（15）/フェンピロキシメート（5）	ダブルフェース	フロアブル	2,000	60.6	○	20.0	◎
28	クロラントラニリプロール（5）	プレバソンフロアブル5	フロアブル	1,000	1.3	◎	8.3	◎
28	テトラニリプロール（18.2）	ヨーバル	フロアブル	2,500	18.5	◎	0	◎
28	フルベンジアミド（20）	フェニックス	顆粒水和剤	2,000	1.9	◎	0	◎
29	フロニカミド（10）	ウララ DF	顆粒水和剤	2,000	0	◎	0	◎
30	フルキサメタミド（10）	グレーシア	乳剤	2,000	100	×	100	×
UN	ピリダリル（10）	プレオ	フロアブル	1,000	27.7	◎	0	◎
UNE	ポリグリセリン脂肪酸エステル（17.5）	フーモン		1,000	58.1	○	50.0	○
◎	ヒドロキシプロピルデンプン（5）	粘着くん	液剤	100	0	◎	0	◎
◎	還元澱粉糖化物（60）	エコピタ	液剤	100	38.9	○	36.8	○
◎	調合油（97）	サフオイル		300	88.1	△	26.9	◎
◎	脂肪酸グリセリド（90）	サンクリスタル	乳剤	300	29.8	◎	37.1	○
◎	フロメトキン（10）	ファインセーブ	フロアブル	1,000	11.9	◎	0	◎

[a] IRAC（2020）の分類に従った．
[b] 有効成分名と含有濃度を示す．
[c] 国際生物的防除機構（IOBC）の室内試験基準（Amano and Haseeb, 2001）に準じ，補正死虫率が30%未満のものを影響がない（◎），30%以上80%未満のものを影響が小さい（○），80%以上99%未満のものを中程度の影響あり（△），99%以上のものを影響が大きい（×）と区分して影響評価した．

の混合剤，ポリグリセリン脂肪酸エステル，還元澱粉糖化物，脂肪酸グリセリドの7剤であった。殺菌剤では，クレソキシムメチル，フェンピラザミン，テトラクロロイソフタロニトリル（TPN），炭酸水素ナトリウムの4剤であった。展着剤では，ソルビタン脂肪酸エステルとポリオキシエチレン樹脂酸エステルの混合剤，ポリオキシアルキレンオキシプロピルヘプタメチルトリシロキサンとポリオキシアルキレンプロペニルエーテルの混合剤，ポリオキシエチレンメチルポリシロキサンの3剤であった。本研究で影響がない，または小さいと判定された薬剤を使用することで，タバコカスミカメを利用した施設栽培ナスの主要病害虫の防除が可能になると考えられる。なお，展着剤の一部は本天敵に対する影響が小さいと判定されたが，今後，各種農薬に加用して影響を評価する必要がある。

中程度の影響があった殺虫剤は，ルフェヌロン，メタフルミゾン，調合油の3剤であった。殺菌剤および展着剤で中程度以上の影響がある薬剤はなかった。影響が大きかった殺虫剤は，ペルメトリン，スルホキサフロル，アバメクチン，エマメクチン安息香酸塩，インドキサカルブ，フルキサメタミドの6剤であった。

本研究の結果（以下，岡山個体群）と高知県安芸市で採集した累代飼育系統の結果（中石，2015 a）（以下，高知個体群）を比較したところ，共通の供試剤33剤（殺虫剤22剤，殺菌剤11剤）のうち，成虫あるいは幼虫に対する影響評価が2段階以上異なったのは，インドキサ

表-2　殺菌剤処理5日後のタバコカスミカメ成虫および3〜4齢幼虫の補正死虫率と影響評価（西ら，2021を改変）

RAC[a]コード	成分名（%）[b]	製剤名	剤型	希釈倍率	成虫		幼虫	
					補正死虫率（%）	影響[c]評価	補正死虫率（%）	影響[c]評価
2	イプロジオン（40）	ロブラール500アクア	フロアブル	1,000	1.8	◎	0	◎
3	トリフルミゾール（15）	トリフミン	乳剤	2,000	13.9	◎	7.0	◎
7	イソピラザム（18.7）	ネクスター	フロアブル	1,000	9.1	◎	5.1	◎
7	ピラジフルミド（20）	パレード20	フロアブル	2,000	2.9	◎	0	◎
7	ペンチオピラド（20）	アフェット	フロアブル	2,000	1.8	◎	0	◎
7	ボスカリド（50）	カンタス	ドライフロアブル	1,000	22.7	◎	0	◎
9	メパニピリム（40）	フルピカ	フロアブル	2,000	0	◎	0	◎
11	クレソキシムメチル（44.2）	ストロビー	フロアブル	3,000	32.0	○	2.4	◎
11	マンデストロビン（40）	スクレア	フロアブル	2,000	1.5	◎	0	◎
12	フルジオキソニル（20）	セイビアー20	フロアブル	1,000	27.5	◎	4.3	◎
17	フェンピラザミン（50）	ピクシオDF	フロアブル	2,000	35.7	○	5.1	◎
21	アミスルブロム（17.7）	ライメイ	フロアブル	2,000	2.1	◎	0	◎
M5	テトラクロロインソフタロニトリル（TPN）（40）	ダコニール1000	フロアブル	1,000	34.1	○	0	◎
M7	イミノクタジンアルベシル酸塩（30）	ベルクート	フロアブル	2,000	5.9	◎	0	◎
M10	キノキサリン系（25）	パルミノ	フロアブル	2,000	0.9	◎	5.3	◎
U6/3	シフルフェナミド(3.4)/トリフルミゾール(15)	パンチョTF	顆粒水和剤	2,000	0	◎	20.1	◎
U13	フルチアニル（5）	ガッテン	乳剤	5,000	29.6	◎	0	◎
NC	炭酸水素カリウム（80）	カリグリーン	水溶剤	800	0	◎	5.2	◎
NC	炭酸水素ナトリウム（80）	ハーモメイト	水溶剤	800	63.8	○	34.8	○

[a] FRAC（2020）の分類に従った.
[b] 有効成分名と含有濃度を示す.
[c] 国際生物的防除機構（IOBC）の室内試験基準（Amano and Haseeb, 2001）に準じ，補正死虫率が30%未満のものを影響がない（◎），30%以上80%未満のものを影響が小さい（○），80%以上99%未満のものを中程度の影響あり（△），99%以上のものを影響が大きい（×）と区分して影響評価した.

表-3　展着剤処理5日後のタバコカスミカメ成虫および3〜4齢幼虫の補正死虫率と影響評価（西ら，2021を改変）

成分名（%）[a]	製剤名	希釈倍率	成虫		幼虫	
			補正死虫率（%）	影響[b]評価	補正死虫率（%）	影響[b]評価
ソルビタン脂肪酸エステル（70）/ポリオキシエチレン樹脂酸エステル（5.5）	スカッシュ	1,000	35.6	○	0	◎
ポリオキシアルキレンオキシプロピルヘプタメチルトリシロキサン（80）/ポリオキシアルキレンプロペニルエーテル（20）	ブレイクスルー	5,000	64.8	○	64.1	○
ポリオキシエチレンメチルポリシロキサン（93）	まくぴか	3,000	66.2	○	62.8	○
ポリオキシエチレンヘキシタン脂肪酸エステル（50）	アプローチBI	1,000	27.5	◎	0	◎
ポリナフチルメタンスルホン酸ジアルキルジメチルアンモニウム（18）/ポリオキシエチレン脂肪酸エステル（44）	ニーズ	1,000	4.8	◎	4.3	◎

[a] 有効成分名と含有濃度を示す.
[b] 国際生物的防除機構（IOBC）の室内試験基準（Amano and Haseeb, 2001）に準じ，補正死虫率が30%未満のものを影響がない（◎），30%以上80%未満のものを影響が小さい（○），80%以上99%未満のものを中程度の影響あり（△），99%以上のものを影響が大きい（×）と区分して影響評価した.

カルブの成虫に対する影響のみであった。岡山個体群と高知個体群における影響評価がおおむね一致した要因として，個体群間の遺伝的多様性が低いことが考えられる。日本国内（岡山，高知および鹿児島）で採集されたタバコカスミカメ個体間（日本，2015），あるいは日本，韓国およびスペインの本種個体群間（Kim et al., 2016）における地理的変異は，それぞれ非常に小さいことがわかっている。したがって，本研究の結果は他地域の土着個体群にも広く適応できる可能性がある。

気門封鎖型殺虫剤（ポリグリセリン脂肪酸エステル，ヒドロキシプロピルデンプン，還元澱粉糖化物，調合油および脂肪酸グリセリド）や展着剤は，実用場面では連用も想定されるため，本報告の影響評価以上に大きく影響を及ぼす可能性がある。以上のことから，影響がない薬剤を選定することが無難と考えられるが，これらを連用した場合の影響評価は別途必要である。

本報告では，虫体浸漬による直接的かつ短期的な農薬の影響を評価したが，農薬の種類によっては，天敵の長期的な生存および次世代に影響するものもある。例えば，ピリフルキナゾンはタバコカスミカメに対して，直接的な殺虫活性は示さないものの，植物体への定着あるいは定位行動を阻害し，植物体上での密度を低下させることが示唆されており（中野ら，2016），ピメトロジンを卵に処理すると，ふ化幼虫の生存率に対して影響を与えることが示唆されている（中石，2015 b）。また，タイリクヒメハナカメムシ *Orius strigicollis*（Poppius）雌成虫では，ルフェヌロン，ブプロフェジンおよびピメトロジンの虫体浸漬による処理個体の生存への影響は小さいが，産卵数の減少が確認されている（廣森ら，2004；吉澤・藍澤，2007）。したがって，圃場に定着したタバコカスミカメ個体群に対する農薬の影響については検討の余地がある。

お　わ　り　に

近年，タバコカスミカメを含む天敵を用いた防除体系が普及することで，化学合成農薬の使用は減少しているが，その一方で，化学合成農薬を主体とした防除を実施していた圃場では問題とならなかった害虫が顕在化している。本誌で取り上げられた例では，ピーマンにおけるモトジロアザミウマ *Echinothrips americanus* Morgan やコミドリチビトビカスミカメ *Campylomma livida* Reuter（中石ら，2019），ナスにおけるタバコノミハムシ *Epitrix hirtipennis*（Melsheimer）（井村，2022）が挙げられる。これらの害虫に対して効果が高い殺虫剤は，非選択性の殺虫剤が多い。そのため，これらの害虫が発生した場合は，タバコカスミカメに対する影響が大きい農薬で防除せざるを得ないケースも想定される。したがって，今後は殺虫剤の影響期間の評価も必要と考えられる。

最後に，本報告がタバコカスミカメを用いた防除体系の普及や研究を進めるうえで少しでも参考となれば幸いである。

引　用　文　献

1）Abbott, W. S.（1925）: J. Econ. Entomol. **18** : 265～267.
2）Amano, H. and M. Haseeb（2001）: Appl. Entomol. Zool. **36** : 1～11.
3）FRAC（2020）: FRAC Code List ©*2020: Fungal control agents sorted by cross resistance pattern and mode of action（including FRAC Code numbering）, 16 pp.
4）日本典秀（2015）: 7　DNA マーカー（日本典秀 編），施設キュウリとトマトにおける IPM のためのタバコカスミカメ利用技術マニュアル（2015 年版），国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター病害虫研究領域，茨城，p.38.
5）廣森　創ら（2004）: 関西病虫研報 **46** : 89～90.
6）井村岳男（2022）: 植物防疫 **76** : 64～67.
7）IRAC（2020）: IRAC Mode of Action Classification Scheme ver.9.4. 30 pp.
8）Kim, J. et al.（2016）: J. Fac. Agric., Kyushu Univ. **61** : 293～297.
9）中石一英（2013）: 高知農技セ特報 **13** : 1～51.
10）————（2014）: 植物防疫 **68** : 193～200.
11）————（2015 a）: 5 農薬の影響評価（日本典秀 編），施設キュウリとトマトにおける IPM のためのタバコカスミカメ利用技術マニュアル（2015 年版），国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター病害虫研究領域，茨城，p.19～22.
12）————（2015 b）: 四国植防 **49** : 21～26.
13）————ら（2019）: 植物防疫 **73** : 420～424.
14）中野亮平ら（2016）: 関東病虫研報 **63** : 60～64.
15）西　優輔ら（2021）: 関西病虫研報 **63** : 53～58.
16）安永智秀ら（2001）: 日本原色カメムシ図鑑第 2 巻，全国農村教育協会，東京，p.187, 313.
17）吉澤仁志・藍澤　亨（2007）: 関東病虫研報 **54** : 121～125.

トピックス

宮城県内における自生植物からのキュウリモザイクウイルスの分離とその多様性

宮城県農業・園芸総合研究所　板橋（いたばし）　建（たける）・大坂（おおさか）　正明（まさあき）*・進藤（しんどう）　友恵（ともえ）・千葉（ちば）　直樹（なおき）
宮城大学食産業学群　長谷川（はせがわ）　亜紀（あき）・鶴岡（つるおか）　莉子（りこ）・山田（やまだ）　十大（とうた）・中村（なかむら）　茂雄（しげお）

はじめに

我が国における植物ウイルスによる被害報告は，1950年代ころから主要農作物中心に報告が増加し，近年ではオルソトスポウイルスやベゴモウイルス等，難防除害虫が媒介する強い病原性を持つ海外からの侵入種が猛威を振るっている（津田・佐野，2014）。一般的に，植物ウイルスは農作物に被害を与える存在として認識されているが，病原性が低いウイルス株（弱毒株）の存在も知られており，これら弱毒株の利用についても検討されてきた。植物ウイルス弱毒株の利用については，干渉作用により強毒株の感染を防ぐ手法として実用化されており（梁ら，2010），環境にやさしいウイルス病防除手法として期待が持たれる。また，植物ウイルスに感染した作物において，植物ウイルス感染は病害をもたらすだけではなく，花色の変化（Deguchi et al., 2015），形状変化による加工特性の向上（山崎ら，2009），栄養成分含量の増加（津田ら，2005）等，園芸上重要な形質の変化をもたらすことが知られており，作物品種の性質を後天的に改良できる可能性がある（中村，2005）。

キュウリモザイクウイルス（cucumber mosaic virus, CMV）は，宿主範囲が1,000種以上にも及び，多くの園芸作物に感染することから農業上重要な植物ウイルスの一つである（大島，2015）。また，CMV株は，様々な性質をもつことが知られており，植物に与える症状や宿主域の違い，弱毒株としての利用など数多くの報告がされている。CMVはアブラムシにより非永続的に伝搬され，その発生は，露地栽培を中心に依然としてみられることから，感染源となる宿主が圃場周辺に定着し，虫媒伝搬により感染が広がっていると考えられる。CMVの感染源となり得る圃場周辺の雑草などの感染については，病徴があるものを主な調査対象としているものが多い（小室・明日山，1955；土崎ら，1981）。一方で，野生植物の中から無病徴であるにもかかわらずCMVが検出されている事例もある（神谷ら，2017）。このことから，潜在的にCMVに感染している自生植物がいることを示唆しており，その中には園芸作物において有用な形質を付与しうるものも存在する可能性がある。

そこで，農作物の栽培を行っている圃場付近の自生植物を中心にCMVの探索・分離を試み，分離したCMV間の遺伝的な類縁関係の推定や，数種作物に接種した場合の症状について調査した。あわせて，CMVが比較的よく検出されたツユクサについて，症状や伝搬性等の調査を行ったので，これらについて紹介する。なお，本稿の一部は板橋ら（2021）で報告している。本稿を作成するにあたり，JSPS科研費JP19K22315の助成を受けた。

I　CMV分離株の取得

自生植物からのCMVの分離は，宮城大学太白キャンパス内（宮城県仙台市太白区，以下「太白区」という。）および宮城県農業・園芸総合研究所内（宮城県名取市，以下「名取市」という。）の地域を対象とした。これら2地域は，毎年種々の品目について農作物の栽培を行っており，農作物でのCMVの発生は例年ほとんどないか小発生である。これらの地域について，栽培圃場周辺や近隣の林地で草本・木本性の自生植物を対象に，2019年8月から21年1月にかけて太白区で587個体，名取市で350個体の合計937個体をサンプリングした。サンプリングした植物のすべてで正確な種同定はできていないが，花器官や葉の形態をはじめとした外観形質から同定し，少なくとも73科150種以上であると推定された。この中で，モザイクなどの何らかのウイルス様症状が見られた個体は，およそ15%程度あり，10個体以上採取したものの中で，ギシギシ類，イノコヅチ類，ツユクサ，シロツメクサ，アカツメクサの頻度が高かった。

これらサンプルにおいて，はじめにスクリーニングと

Isolation and Diversity of Cucumber Mosaic Virus from Wild Plants in Miyagi Prefecture.　By Takeru Itabashi, Masaaki Osaka, Tomoe Shindo, Naoki Chiba, Aki Hasegawa, Riko Tsuruoka, Touta Yamada and Shigeo Nakamura

（キーワード：キュウリモザイクウイルス，自生植物，系統解析，病徴，ツユクサ）

*現所属：カゴメ株式会社イノベーション本部

して血清学的手法と遺伝学的手法によりCMVの検出を試みた。太白区サンプルではCMV抗血清を用いたDIBA法により一次スクリーニングを行い，7個体をCMV陽性と判定した。そのうち2個体は，外被タンパク質（CP）遺伝子の塩基配列を解析したところCMVと血清関係があるラッカセイ矮化ウイルス（peanut stunt virus, PSV）であった。一方，名取市サンプルでは奥田ら（2007）のCMV特異的プライマーを用いたmicro tissue direct RT-PCR（Hosokawa et al., 2006）により一次スクリーニングを行い，8個体をCMV陽性と判定した。ここで陽性と判定したサンプルについて，リン酸緩衝液（pH7.0）で磨砕し，*Chenopodium quinoa* または *C. amaranticolor* に汁液接種し，単病斑分離を繰り返して分離株を得た。

これらより，太白区サンプルでは2個体，名取市サンプルでは3個体の自生植物からそれぞれCMVを分離した。CMVが分離された植物は，太白区ではツユクサ1個体（分離株：H331，2020年7月採取），シロツメクサ1個体（分離株：H466，2020年8月採取），名取市ではツユクサ2個体（分離株：T78, T166，いずれも2019年9月採取），ヤブジラミ1個体（分離株：T27，2020年4月採取）であった（表-1）。なお，陽性であったものの分離株が得られなかった個体については，太白区では5個体中3個体（シロツメクサ1個体，ツユクサ1個体，アカネ1個体），名取市では8個体中5個体（ツユクサ1個体，アザミ1個体，アカネ科植物1個体，カラスノエンドウ1個体，アカツメクサ1個体）であった。これらは，多くの場合一次スクリーニングにおいて陽性反応が弱いものであったことから，偽陽性であったかウイルス濃度が低かったと考えられる。

なお，これら自生植物から得られたCMV 5株に加え，太白区でサンプリング時期に栽培していたズッキーニから同様にCMV 1株（分離株：H301，2020年7月採取）を分離したほか，2017年に宮城県北部のA市で栽培されていたトルコギキョウ（同一生産者の同一ハウス，新規就農者で初めての作付け）から同様にCMV 3株（分離株：E2, E3, E4）を分離し，比較解析のため以降の材料に用いた（表-1）。

Ⅱ 系 統 解 析

前章により分離したCMV 9株について，Choi et al.（1999）のプライマーを用いてRT-PCRによりCMVのCP遺伝子領域を増幅し，クローニング後に塩基配列の決定，アライメントを行い，得られた塩基配列とデータベース上の塩基配列を用いて系統樹を作成した（図-1）。材料とした9株のうち，太白区由来の3株は同一クラスターに分類され，CMVサブグループ1Aと推定された。同様に，名取市由来の3株とA市トルコギキョウ由来の3株は，いずれもCMVサブグループ1Bと推定された。サブグループ1Aと推定された太白区由来の3株についてみると，H301株とH331株間のCPの塩基配列が完全一致であり，H466とは657塩基中1塩基のみの違いであった。また，これらのCPのアミノ酸配列はすべて同一であった。サブグループ1Bと推定された名取市由来の3株とA市トルコギキョウ由来の3株についてみると，トルコギキョウ由来のE3株とE4株はCPの塩基配列が完全一致した他は相違が見られた。また，これらのCPのアミノ酸配列は，T78株で他の5株と1アミノ酸残基が異なった（E98D）以外は同一であった（板橋ら，2021）。

これらの配列を元にBLAST検索を行った結果，塩基配列の相同性が高かった株として，太白区由来の3株はCo-46株，名取市由来の3株とA市トルコギキョウ由来の3株はMa-1株またはC7-2株が挙げられた。Co-46株（モロヘイヤ由来）（Hanbal et al., 2018）およびMa-1株（トウモロコシ由来）（Takahashi et al., 2018）は宮城県，C7-2株（リンドウ由来）（Chaumpluk et al., 1994）は岩手県でそれぞれ分離されており，地理的に近い地域のCMVと相同性が高かった。太白区のツユクサ由来の

表-1　本研究で分離したCMV分離株の宿主と採取地

分離株名	分離源	採取時の症状	採取地	採取時期
H301	栽培ズッキーニ	葉のモザイク	仙台市太白区	2020年7月
H331	ツユクサ	葉のモザイク	仙台市太白区	2020年7月
H466	シロツメクサ	葉のモザイク（弱）	仙台市太白区	2020年8月
T27	ヤブジラミ	葉の赤化	名取市	2020年4月
T78	ツユクサ	葉のモザイク	名取市	2019年9月
T166	ツユクサ	なし	名取市	2019年9月
E2	栽培トルコギキョウ	葉のモザイク（強）	A市	2017年7月
E3	栽培トルコギキョウ	葉のモザイク（強）	A市	2017年7月
E4	栽培トルコギキョウ	葉のモザイク（強）	A市	2017年7月

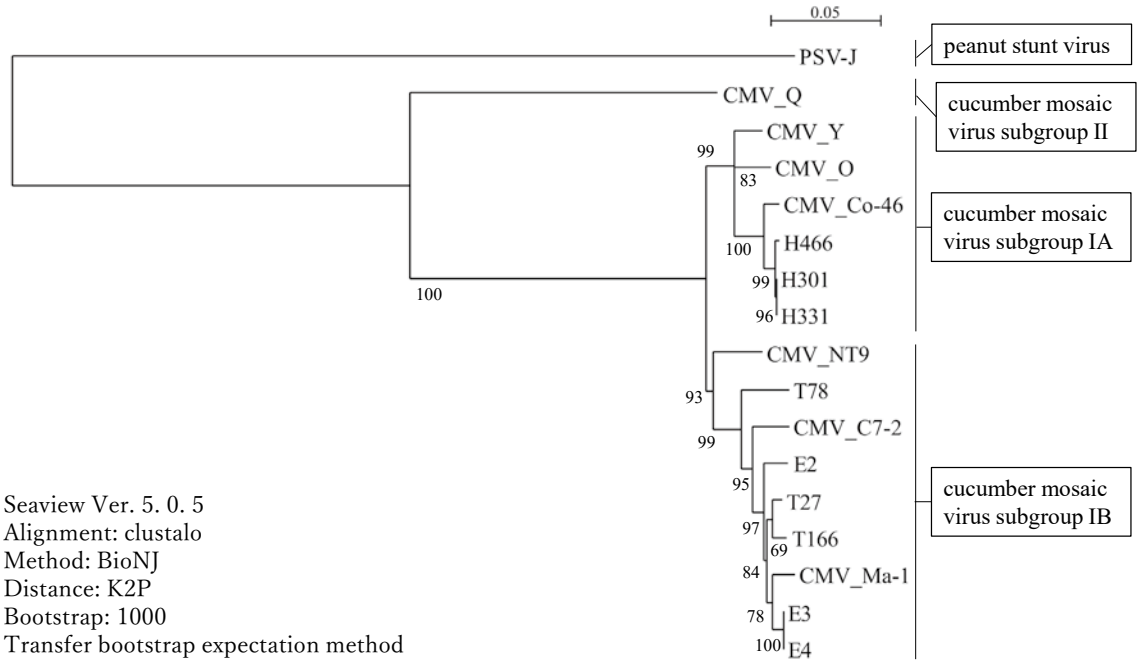


図-1　試験で用いたCMVのCP領域の塩基配列に基づく分子系統樹
比較として，PSV-J（AB360970），CMV_Y（M57602），CMV_O（D00385），CMV_Q（M21464），CMV_NT9（D28780），CMV_C7-2（D42079），CMV_Ma-1（LC339511）およびCMV_Co-46（LC363919）を用いて系統樹を作成した．図中の数字は推定されたブートストラップ値を示す．
（板橋ら，2021より一部改変のうえ転載）．

表-2　各CMV株のタバコおよびペチュニアの上位葉での病徴

品目（品種）	ウイルス株と症状								
	H301	H331	H466	T27	T78	T166	E2	E3	E4
Nicotiana tabacum	m	M	M	M	M	M	M	M	m
N. benthamiana	m	m, Stu	m, Stu	m, Stu	m, Stu	m, Stu	m, Stu	m, Stu	m
ペチュニア（バカラホワイト）	m	m	M	M	M	M, Stu	m	M	m
ペチュニア（バカラブルーVer. 2）	m	m	M	M, Stu	M	M, Stu	M, Stu	M, Stu	m
ペチュニア（バカラチェリーローズ）	m	M	M	M, Stu	M	M, Stu	M	M	M
ペチュニア（バカラピンク）	m	M	M	M, Stu, N	M, Stu	M, Stu, N	M, Stu	M, Stu, N	m

m：弱いモザイク，M：激しいモザイク，Stu：萎縮，N：えそ．
（板橋ら，2021より一部改変のうえ転載）．

H331株とズッキーニ由来のH301株，A市のトルコギキョウ由来のE3株とE4株は，CPの塩基配列がそれぞれ同じであったことから，同一の感染源に起因する可能性があると考えられた。一方で，A市のトルコギキョウ由来のE2株は，E3, E4株と同一圃場内から分離されているものの，塩基配列の違いから，この圃場での感染源は複数あると思われた。また，名取市で分離された3株は，それぞれ塩基配列が異なっており，同一地域内においてもCMVには多様性が認められた。

III　各種植物での病徴

供試したCMV 9株について，ナス科のタバコ（*Nicotiana tabacum*，*N. benthamiana*）およびペチュニア（‘バカラホワイト’，‘バカラブルーVer. 2’，‘バカラチェリーローズ’，‘バカラピンク’）に接種したところ，いずれも強弱はあったものの上位葉にモザイク症状が認められ，一部品種では萎縮やえそ症状も認められた（表-2）。また，ペチュニアでは花の色調変化が見られ，単色系の花であってもモザイク様の模様が認められた（図-2）。これらのウイルス株のうち，栽培植物から分離したH301とE4の2株では，いずれの場合も他のウイルス株と比べ比較的病徴が弱かった。これら2株について，他の植物へ接種した結果，トルコギキョウでは激しい病徴を示し，それ以外の植物では比較的弱い病徴を示した（表-

図-2　ペチュニア‘バカラチェリーローズ’で見られた花の色調変化
左：無接種，中：H466 株接種，右：T27 株接種.

表-3　タバコおよびペチュニアで弱毒性を示した CMV 株の他品目での症状

品目（品種）	H301	E4
Chenopodium quinoa	CS/－	CS/－
ピーマン（京みどり）	－/m	－/m
トルコギキョウ（ソワレピンク）	N/ M, Stu, N	N/ M, Stu, N
トマト（レジナ）	－/－, m	－/－, m
トマト（アイコ）	－/m	－/m
ホウレンソウ（ジャスティス）	－/－, M	－/－, m
キュウリ（霜知らず地這）	－/－	未実施
コマツナ（味彩）	非感染	非感染
インゲン（アーロン）	非感染	非感染
ハクサイ（タイニーシュシュ）	非感染	非感染

接種葉/上位葉で表記.
m：弱いモザイク，M：激しいモザイク，Stu：萎縮，N：えそ，CS：退緑斑点，－：無病徴もしくは不明瞭.

3)。CMV の病徴に関与する領域については，1a，2a，2b，3a タンパク質やサテライト RNA の関与について報告されている（Mochizuki and Ohki, 2012)。今回用いた CMV 9 株のうち，H301 株は H331 株と，E4 株は E3 株と，それぞれ CP の塩基配列が同一であるにもかかわらず，病徴に差が見られたことから，これらの病徴の違いは CP 以外の領域が関係しているものと思われる。

Ⅳ　ツユクサと CMV

今回県内の自生植物における CMV の調査を行った結果，ツユクサでは合計 21 個体のサンプリングを行い，5 個体の CMV 陽性，3 株の CMV 分離株が得られ，他の草種と比べ CMV 感染が目立った。また，ツユクサは太白区，名取市の両地点で共通して CMV 感染が確認された宿主であった。ツユクサは 1950 年代からすでに小室・明日山（1955）によって CMV 感染について注意を要すると報告されており，現代においても比較的高率に CMV が検出されたことは興味深い。そこで，ツユクサについては病徴や伝搬性について調査を行った。2021 年春に自生ツユクサ芽生えを掘り上げて栽培し，DIBA 法により CMV 陰性を確認した個体およびその自家採種実生個体について，汁液接種により 7 株の CMV を接種したところ，いずれの CMV 株も DIBA 法により感染が確認された（データ略)。ここで陽性を示した個体の症状は，モザイク症状を示すものや軽い萎縮症状を示すものも見られたが，一見無症状の個体も見られ，症状がわかりにくい場合が多かった（図-3)。これら CMV を接種したツユクサについて伝搬性の試験を行ったところ，後代への種子伝染は認められず，アブラムシを用いた媒介試験により高率で他作物に伝搬した（データ略)。これらのことから，CMV に感染した越冬宿主等からアブラムシ伝搬により CMV を保毒したツユクサは，栽培作物への感染源になり得ると考えられた。特に，H301 株（栽培ズッキーニ由来）と H331 株（ツユクサ由来）の CP の塩基配列が完全一致したことは，これらの関係性が非常に近いことを意味している。ツユクサは一年生草本植物で，匍匐性で各節から発根して刈り払い作業での除去が難しいこと，除草剤の効果が劣ること等から防除が難しい雑草であることが知られているが，加えて CMV に感染しても無病徴の個体があり，症状での CMV 感染の判別が難しいこと，アブラムシにより他作物へ容易に伝搬する可能性があると考えると，それこそ注意を要する雑草と言える。

お　わ　り　に

今回，宮城県内の 2 地点から 937 個体の自生植物をサンプリングし，その中から CMV5 株を取得した。2 地点

図-3　得られたCMV株を接種したツユクサの病徴
左：H301株，中央：H331株，右：H466株.

ではCMVの発生が目立つ地域ではなく，病徴を考慮せずにサンプリングした条件でおよそ0.5%の植物からCMVを分離したことになる。その中には，目立った症状を示さなかった個体も含まれており，自生植物の中に潜在的にCMVに感染している個体が存在することが示された。自生植物の多くは，刈り払いや除草剤による一定の管理下にある場合もあるが，殺虫剤などのウイルス媒介虫の防除対象とならないことや，一年草や多年草等多種多様な植物が混在していること等から，生態系内で一定程度ウイルスが保持された状況にあると考えられる。このことから，CMVが発生する圃場では，近隣の自生植物が感染源となっていると考えられるが，以降のウイルス病防除の観点から，栽培圃場から周辺環境へのウイルスの拡散についても改めて注意が必要である。特に，今回見いだされたツユクサのように，明瞭な症状を示さずにCMVを保毒し，他の草種に比べて高率でCMVが感染している草種があることから，このような伝染源としてキーとなりそうな草種を明らかにすることも重要であると考えられる。

また，塩基配列の調査や病徴の程度差等から，同一地域に存在している同種のウイルスでもある程度多様性があることが示された。今回対象としたのは，宿主範囲の広いCMVであったが，中村ら（2010）はクローバ葉脈黄化ウイルス（ClYVV）について，同一圃場内のシロツメクサが感染しているClYVVには多様性があることを示している。このように，自生植物に感染している植物ウイルスには多様性が認められることから，これらの中には，農業上被害を及ぼすウイルス株だけではなく，弱毒株として防除への応用等，有用なウイルス株も存在している可能性もある。実際，今回自生植物から分離されたCMVには，比較的弱毒性の株があったことや，ペチュニア花弁に色調変化をもたらした株もあったことからも，自生植物は有用なウイルスの分離源としての活用も期待できる。近年，次世代シーケンサーを用いた自然環境下のウイルス叢（Virome）の研究や，植物−ウイルス間相互作用に関する研究も進んできている（神谷ら，2017）。今後，自生植物をターゲットとした植物ウイルスに関する研究が進むことにより，作物保護やウイルス利用に関する新たな成果につながることを期待したい。

引　用　文　献

1）Chaumpluk, P. et al.（1994）: 北日本病虫研報 **45**: 88～92.
2）Choi, S. K. et al.（1999）: J. Virol. Methods. **83**: 67～73.
3）Deguchi, A. et al.（2015）: Planta **242**: 663～675.
4）Hanbal, S. E. et al.（2018）: J. Plant Pathol. **100**: 561～565.
5）Hosokawa, M. et al.（2006）: J. Virol. Methods. **131**: 28～33.
6）板橋　建ら（2021）: 北日本病虫研報 **72**: 30～34.
7）神谷麻梨ら（2017）: 植物科学最前線 **8**: 12～21.
8）小室康雄・明日山秀文（1955）: 日植病報 **20**: 77～82.
9）Mochizuki, T. and S. T. Ohki（2012）: Mol. Plant Pathol. **13**: 217～225.
10）中村茂雄（2005）: 新しい作物保護の展開（羽柴輝良 編），ソフトサイエンス社，東京，p.180～185.
11）————ら（2010）: 北日本病虫研報 **61**: 47～51.
12）奥田　充ら（2007）: 九病虫研会報 **53**: 9～13.
13）大島一里（2015）: ウイルス **65**: 229～238.
14）梁　宝成ら（2010）: 植物防疫 **64**: 822～825.
15）Takahashi, H. et al.（2018）: Plant Pathol. **67**: 1401～1415.
16）津田和久ら（2005）: 日植病報 **71**: 1～5.
17）津田新哉・佐野輝男（2014）: 同上 **80** 特集号: 134～142.
18）土崎常男ら（1981）: 北海道農試研報 **131**: 71～93.
19）山崎修一ら（2009）: 日植病報 **75**: 323～327.

トピックス

レタスに発生する土壌病害（根腐病，コルキールート病，黒根病）の見分け方

長野県野菜花き試験場佐久支場　石山佳幸（いしやまよしゆき）

はじめに

長野県におけるレタスの年間生産量は197,800 tで，全国で最も多く（令和元年農林水産省統計情報），夏秋期に結球レタスを中心に，非結球レタスのサニーリーフやグリーンリーフ，コスレタスが栽培されている。特に長野県の東部に位置する東信地域は，県内でも有数のレタス産地が多くあり，県内のレタス生産量のおおよそ8割を占めている。しかし，1995年に長野県内のレタス栽培地域で根腐病が初めて確認され（藤永・和田，1997），以後本病による被害は年々拡大し，大きな問題となった。根腐病菌には病原性の分化（レース）が報告されており，長野県では1，2，3の三つのレースが確認されている（小木曽・栗原，2013）。現在，長野県では，各レースに対応した抵抗性品種の作付けを中心に輪作，圃場の衛生管理等の複数の対策を組合せた総合的な防除対策が講じられている（小木曽・栗原，2013）。

また2017年には，長野県内で未確認であったレタス黒根病（中根ら，2019 a）および国内で初確認となるコルキールート病（Ishiyama et al., 2022）の発生が確認された。両病害の地上部の病徴は根腐病の症状と酷似していたため，生産現場で診断する際に混乱が生じていた。そこで，これらの病害に対する適切な防除対策を速やかに講じるために，症状の特徴からこれら三つの病害を的確に判別することが必要となった。

本稿では，長野県東信地域のレタス栽培圃場で発生が認められた根腐病，コルキールート病，黒根病の病徴と見分けるためのポイントについて紹介する。

Ⅰ　長野県のレタス栽培地域で問題となる土壌病害

2018～21年に，長野県東信地域のレタス栽培圃場のうち，地上部に萎凋症状など認められた119圃場（2018年37圃場，2019年27圃場，2020年18圃場，2021年37圃場）について，結球レタスと非結球レタス（リーフレタス，コスレタス）ごとに土壌病害の発生実態を調査した。調査は，各圃場ごとに症状が認められた株の罹病部位を光学顕微鏡で観察するとともに，常法により菌を分離し，形態観察を行い，病原性の確認，種特異的なプライマーを用いたPCR等により，病原菌を同定した。

その結果，結球レタスで地上部に萎凋症状などの生育不良が認められた38圃場（2018年12圃場，2019年7圃場，2020年7圃場，2021年12圃場）では，根腐病，コルキールート病，黒根病，線虫害（ネグサレセンチュウ，ネコブセンチュウ）またはすそ枯病等が確認された。なかでもコルキールート病による症状が最も多く，全体の半数を占めていた（図-1）。一方，非結球レタスで症状が認められた81圃場（2018年25圃場，2019年20圃場，2020年11圃場，2021年25圃場）においても，根腐病，コルキールート病，黒根病等が確認された。このうち，根腐病の発生が最も多く，全体の80%を占めていた（図-2）。これらの結果から，長野県東信地域のレタス栽培産地では，主に根腐病，コルキールート病，黒根病による地上部の萎凋症状などの発生が問題となっているこ

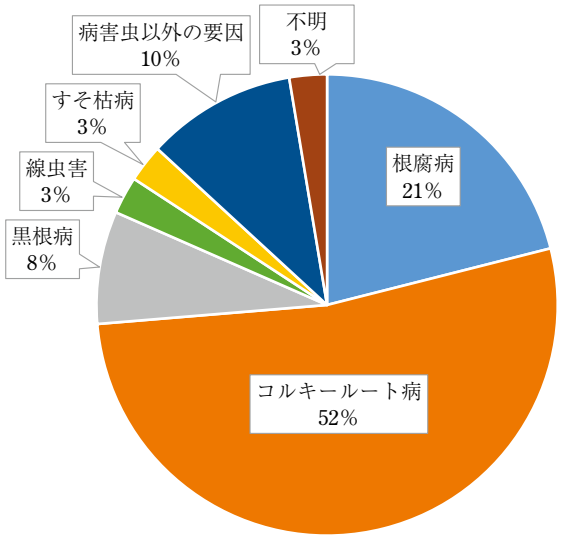


図-1　結球レタスにおける土壌病害虫の発生状況（2018～21年）（調査38圃場）

Diagnosis of Fusarium Root Rot, Corky Root and Black Root Rot of Lettuce in Commercial Fields.　By Yoshiyuki Ishiyama

（キーワード：レタス，根腐病，コルキールート病，黒根病，判別法）

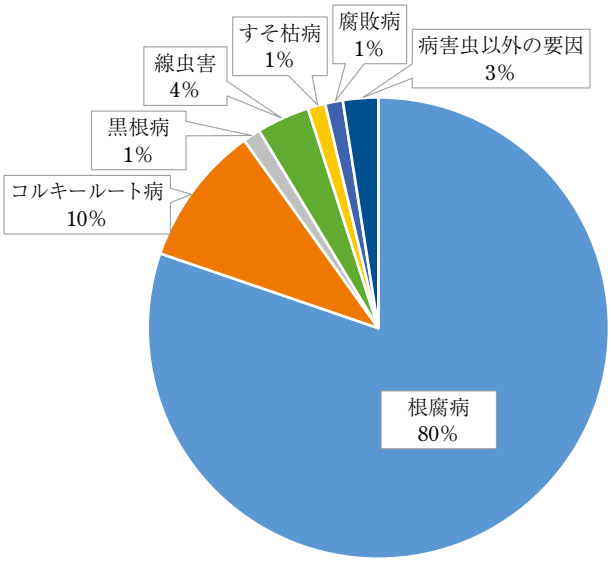


図-2　非結球レタスにおける土壌病害虫の発生状況
（2018～21 年）（調査 81 圃場）

とが明らかになった。

1　レタス根腐病

（病原菌：*Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucae*）

地上部は外葉が黄化し，萎凋症状を呈し，ひどい場合は枯死に至る（図-3a）。発病株の根部を縦に切断すると，先端部からクラウン部に達する明瞭な褐変が観察され（図-3b，c），重症株ではクラウン部付近が空洞化する（図-3d）。一方，根部表面には症状は認められない（図-3e）。

本病原菌は糸状菌であり，レタスやサラダナ等のレタス類にのみ感染することが知られている（藤永・和田，1997）。長野県では，根腐病菌レース 1，2，3 すべて確認されている（小木曽・栗原，2013）が，近年，レース 2 またはレース 1，2 複合抵抗性を有する品種が導入されてきているため，根腐病レース 1 またはレース 3 の発生が多く見られる。前述の通り，根腐病は結球レタスよりも，非結球レタス（リーフレタスおよびコスレタス）で多く確認されたが，これは夏秋期に長野県内で栽培されている結球レタスは根腐病のレース 1，2 に抵抗性を

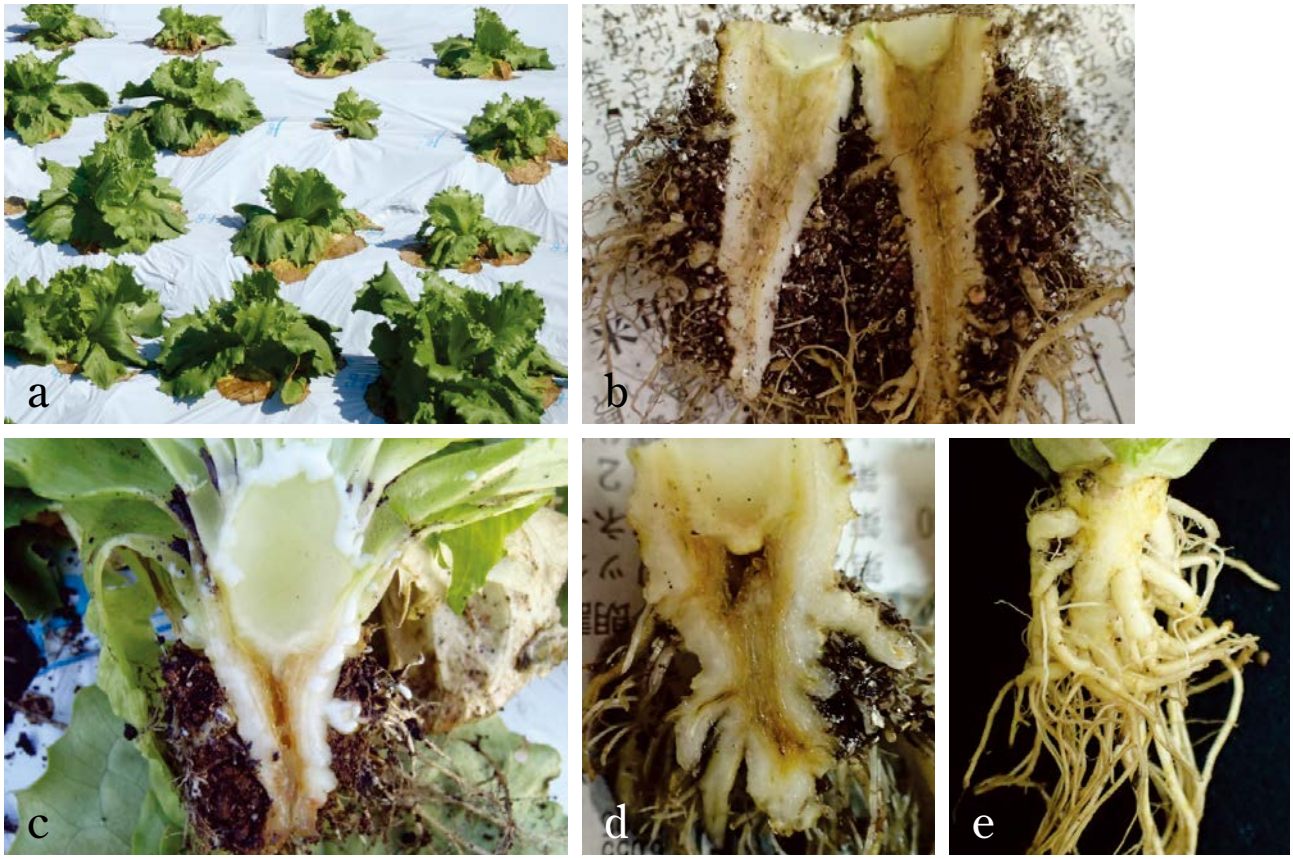


図-3　レタス根腐病
a：地上部の萎凋症状，b-c：主根内部の褐変．
d：重症株の主根内部褐変（クラウン部付近がひび割れる）．
e：根部表面（症状なし）．

有する品種が多く，さらに結球レタスはレース 3 に対する感受性がもともと低いためと考えられた。

2　コルキールート病
（病原菌：*Rhizorhapis suberifaciens*）

地上部は下葉が枯死し，萎凋症状を呈し，ひどい場合は株全体が枯死に至る（図−4a）。根部表面が黒色に腐敗し，ひび割れ，コルク化が観察され（図−4b），重症株では細根や主根先端が脱落する（図−4c，d）。また主根内部に褐変が生じる場合があるが，先端部分にのみ認められ（図−4e），クラウン部まで達することはほとんどない。なお症状が軽微な場合は，主根内部の褐変などは観察されない。

本病原菌は細菌であり，罹病部位を光学顕微鏡で観察すると，菌泥の噴出が認められる。本病原菌は，レタスとともにエンダイブ，チコリー（トレビスを含む）等のレタスに近縁なキク科植物にのみ感染することが明らかになっている（Ishiyama et al., 2022）。

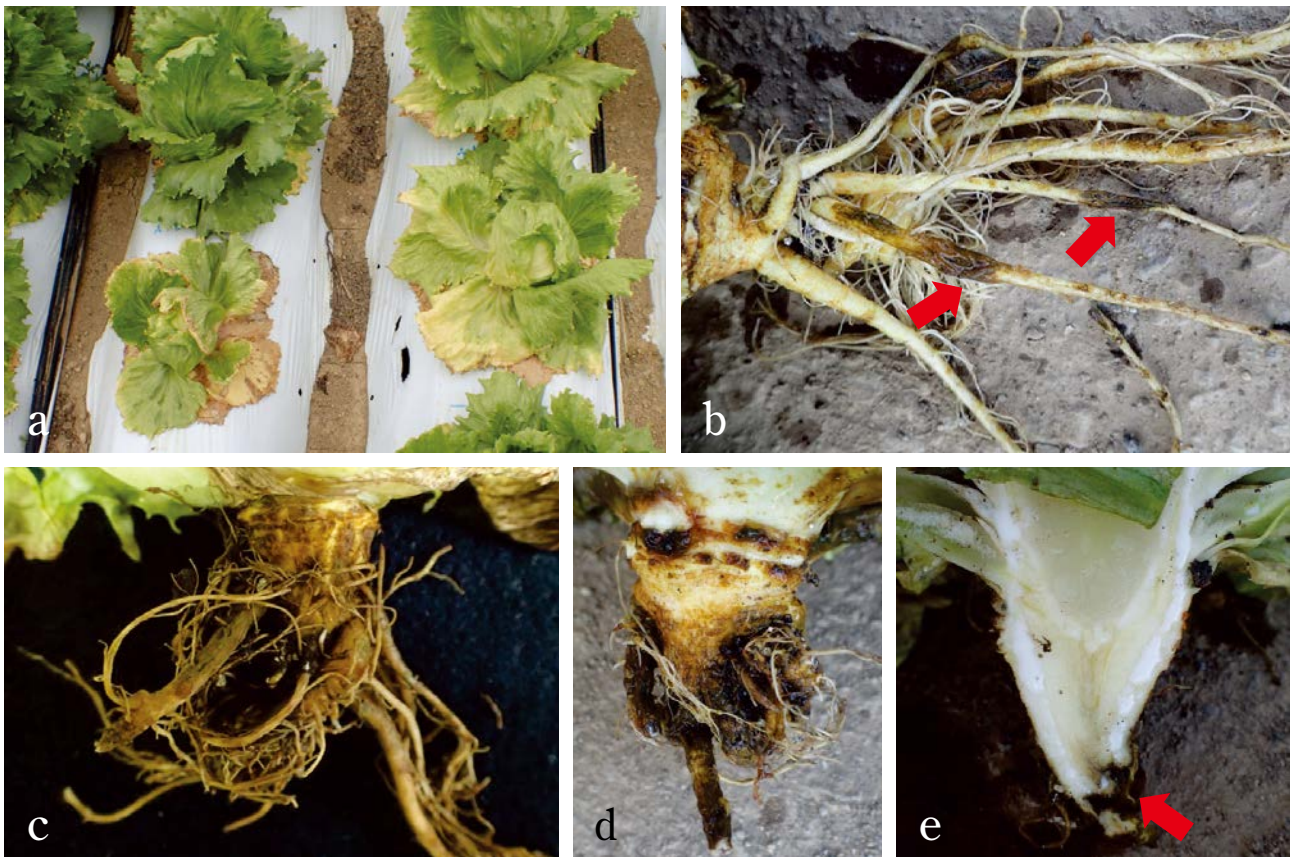
長野県では，結球レタス，非結球レタスともに多くの品種で発生が確認されている。

3　黒根病（病原菌：*Berkeleyomyces rouxiae*）

地上部は外葉が黄化し，生育遅延などが見られ，症状が進行すると結球葉が小玉化するなどの生育不良が認められる（図−5a）。根の一部が帯状にわずかに褐変，隆起し，表面に亀裂が生じ（図−5b，c），進行すると褐変が明瞭になり，根全体が黒変する（図−5d）。主根内部の褐変などはほとんど観察されない。

本病原菌は糸状菌であり，罹病部位を光学顕微鏡で観察すると，厚壁胞子（図−5e）や内生分生子（図−5f）が観察される。現在までのところ，レタスから分離された菌株でレースの分化は確認されていない（中根ら，2019 a）。本病原菌は，キク科，マメ科，セリ科，ナス科等広範な種類の植物に感染することが知られている。

長野県では，主に結球レタスで多く発生が認められている。本病に対しては感受性の明確な品種間差が確認されており（三木ら，2018；中根ら，2019 a；2019 b），長野県内で導入されている非結球レタスは比較的感受性が低い品種が多いため，発生が少なかったと考えられた（データ未発表）。



図−4　レタスコルキールート病
a：地上部の萎凋症状，b：根部表面の褐変症状（軽症株）．
c–d：根部表面の褐変，コルク化症状（重症株）．
e：主根内部の褐変症状（先端分のみ）．

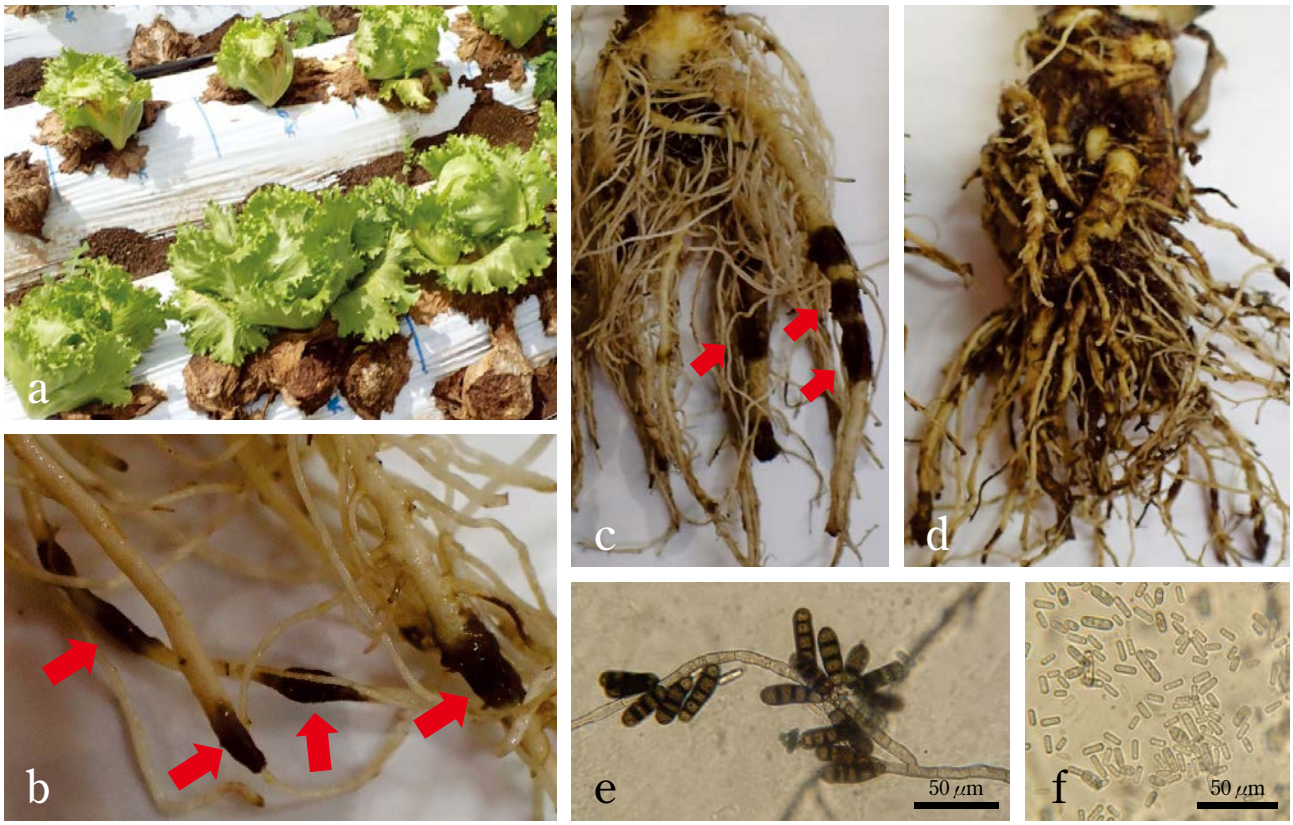


図-5　レタス黒根病
a：地上部の萎凋症状，b：細根部分の黒変症状．
c：主根部分の黒変症状，d：根部全体の黒変症状（重症株）．
e：厚壁胞子，f：内生分生子．

Ⅱ　3種類の土壌病害の見分け方

長野県東信地域のレタス栽培産地では，根腐病，コルキールート病，黒根病の発生が問題となるため，これらの病害を見分ける判別法を検討した。各病害の現場における病徴および接種条件下での病徴などを調査した結果，地上部の病徴から識別することは困難であったが，根部病徴により各病害を判別することが可能であった。このため，根部病徴の特徴から，根腐病，コルキールート病，黒根病を見分けるためのフローチャート（図-6）を作成し，現場で活用している（石山，2022 a）。

1　フローチャートによる簡易判別法（図-6）の手順

フローチャートによる簡易判別法の手順として，まず地上部に生育不良，萎凋症状が観察される5株以上を抜き取り，根部を項目(1)～(5)の順で調査し，各病害の判別を行う。

（1）　根部表面における腐敗や褐変などの症状の有無を確認する

（2）　主根をカッターなどで縦断し，内部の褐変の有無を確認する

項目(1)，(2)のどちらか一方または両方の症状が認められる場合は項目(3)へ進む。根腐病，コルキールート病，黒根病の場合は根部の表面または内部に病徴が認められるため，どちらにも症状がない場合は，対象としているもの以外の病害虫または生育障害である可能性が高い。

（3）　主根内部に先端部からクラウン部まで達する明瞭な褐変が認められるかを確認する

先端からクラウン部にかけて，明瞭な褐変が認められる場合は根腐病と判断する。認められない場合は項目(4)へ進む。コルキールート病の重症株では内部褐変が観察される場合があるが，根腐病と比較して，内部褐変の程度は先端部分にとどまり，クラウン部まで達することはほぼない。

（4）　根部全体が腐敗，コルク化し，細根の脱落がみられるかを確認する

根部表面が黒色に腐敗，ひび割れ，コルク化が観察され，細根や主根先端が脱落している場合は，コルキールート病と判断する。それ以外の場合は項目(5)へ進む。

（5）　根部表面の罹病部位を光学顕微鏡で観察する

症状が比較的軽微な罹病部分をスライスし，光学顕微

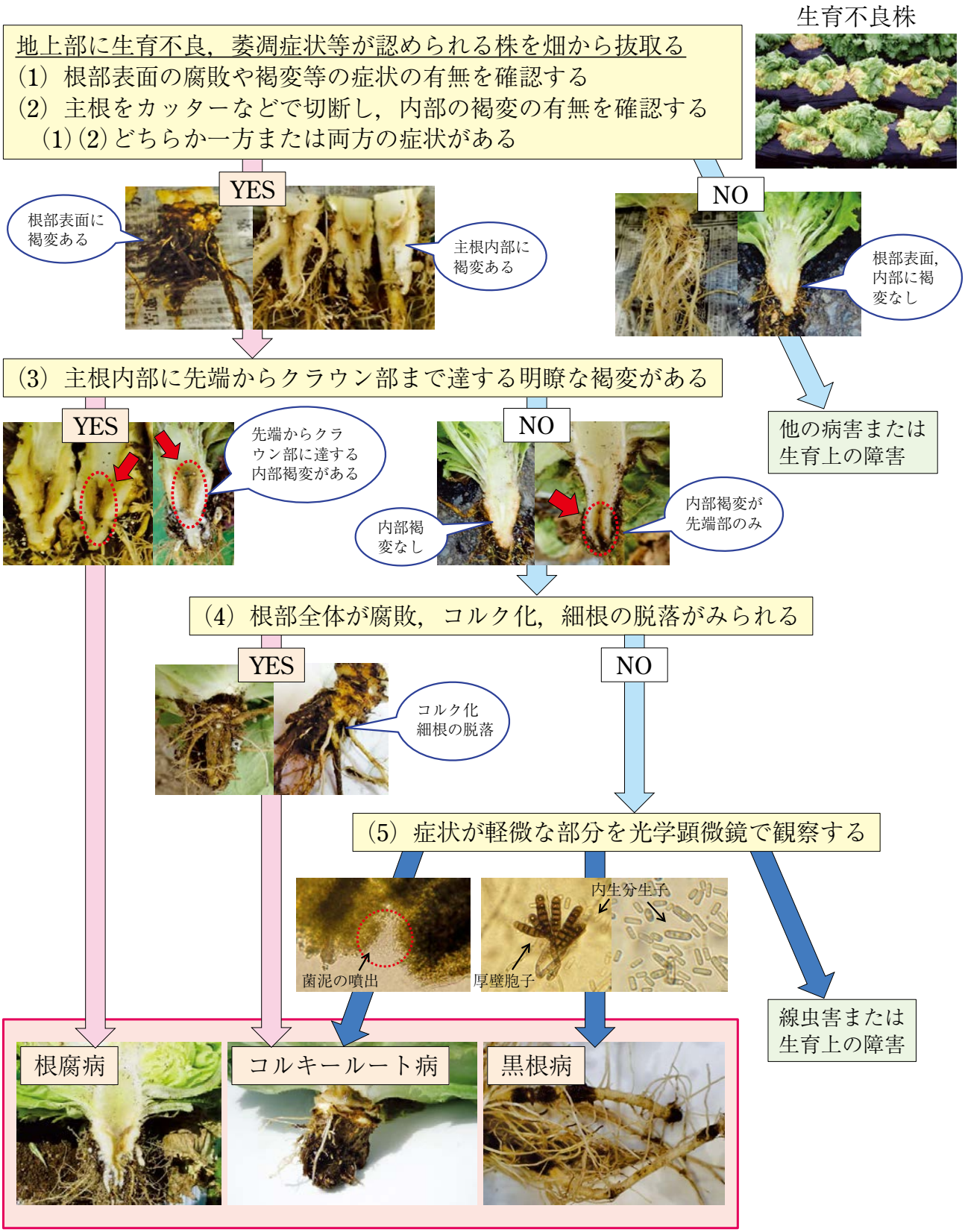


図-6　レタス土壌病害のフローチャートによる簡易判別法（石山，2022 a を一部改編）

鏡（100～200倍）で観察することで，コルキールート病と黒根病を判別する。コルキールート病菌では細菌泥の噴出が観察される。黒根病菌の場合は，厚壁胞子や内生分生子が観察される（図-5e，f）。これらの病原菌が認められない場合は根腐病，コルキールート病，黒根病以外の病害虫または生育障害とする。

フローチャートによる簡易判別法の実用性を評価するために，2019～20年に長野県東信地域の37圃場で，生育不良や萎凋症状が認められた株を対象に，フローチャートによる簡易判別法とともに常法により菌を分離し，接種試験を実施して病原菌を特定した。その結果，フローチャートによる簡易判別法は常法の分離法と比較し，2019年は95.7%（23件のうち22件が一致），2020年は92.9%（14件のうち13件が一致）一致し，高い精度で判別が可能であった（石山，2022 a）。なお，結果が一致しなかった2事例（2019年1件，2020年1件）は，いずれも複数の病原菌が重複感染している事例であった。病原菌が重複で感染している株では，フローチャートによる簡易判別法ですべて見分けることは困難であるが，主因となる病害の判別は可能であった（石山，2022 a）。

2　フローチャートによる簡易判別法の注意点

フローチャートによる簡易判別法は，レタス根腐病，コルキールート病，黒根病を対象に光学顕微鏡などの機器のみで実施可能な簡易なものであるため，対象以外の病害虫については別途，常法による分離法や接種試験を実施する必要がある。線虫による障害に関しては，症状の観察のみでは判断が困難であり，ミキサーベルマン法などにより原因となる種を調査する必要がある。また本判別法では，定植3週目程度（本葉10枚前後）から収穫期にかけて萎凋症状が認められた株を対象としており，生育初期や育苗期の株では内部褐変が明瞭でなく，正確に診断が行えない場合もあるため注意する。

お　わ　り　に

フローチャートによる簡易判別法は，2018～21年の長野県東信地域のレタス栽培圃場で発生した土壌病害の病徴を基に作成し，迅速かつ簡易に判別することを目的にしたものである。このため，長野県内で問題となっていない土壌病害が新たに発生した場合，また品種の変遷などにより各病害の症状が変わった場合には，その都度改良していく必要があると考えられる。しかしながら，これまで国内で発生が確認されていなかった新規の土壌病害である黒根病やコルキールート病と，近年多くの県で発生が確認されている根腐病の判別は，生産現場における早期発見および初期防除を実施するうえで重要であると考えられる。このため，本手法が他のレタス栽培地域でも参考になれば幸いである。

今後の展開については，これまでに，レタス根部の罹病組織を用いた各病原菌のPCRによる検出法が報告されているため（Nakane and Usami, 2020；石山，2022 b），今後は今回のフローチャートによる簡易判別法にPCRによる検出法を組合せ，より正確で迅速な診断体制を確立していく予定である。また各病害の防除対策の確立にむけた試験も進行中である。

引　用　文　献

1）藤永真史・和田健夫（1997）：関東東山病虫研報 **44**：29～31.
2）石山佳幸（2022 a）：長野野花試報 **18**：（印刷中）.
3）――――（2022 b）：日植病報 **88**：53.
4）Ishiyama, Y. et al.（2022）：J. Gen. Plant Pathol. **88**：150～154.
5）三木静恵ら（2018）：日植病報 **84**：207.
6）中根　麗ら（2019 a）：同上 **85**：253～254.
7）――――ら（2019 b）：植物防疫 **73**：425～428.
8）Nakane, R. et al.（2019）：J. Gen. Plant Pathol. **85**：436～439.
9）―――― and T. Usami（2020）：ibid. **86**：335～339.
10）小木曽秀紀・栗原　潤（2013）：植物防疫 **67**：373～378.

新技術解説

粘着板に捕獲したイネウンカ類の自動計数

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
九州沖縄農業研究センター 暖地畑作物野菜研究領域
兼 基盤技術研究本部 農業情報研究センター
AI研究推進室
高山智光（たかやま ともひこ）

はじめに

イネウンカ類（トビイロウンカ，セジロウンカ，ヒメトビウンカ）は体長5 mm程度の小さなセミのような形をした昆虫である。それぞれがイネの枯死，生育抑制，ウイルス病の媒介を引き起こすため，適切な防除が必要である。そのためイネウンカ類の水田内での発生消長，世代交代による密度の増減等の調査が，各都道府県の病害虫防除所の熟練の調査員によって行われている。この調査はイネの株元に調査用粘着板（白い紙を貼った板に粘着剤を塗布し作成）などを置き，そこにイネウンカ類をイネから払い落し，付着したウンカ個体を分類および計数するというものである（松村，2017）。発生量調査におけるイネウンカ類の分類は，3種のウンカを判別するだけにとどまらず，成虫の雌雄，翅型の長短，幼虫の発育ステージに基づき行われる。この分類のために拡大鏡や実体顕微鏡での検鏡をする必要があるが，そのため熟練の調査員であってもウンカ多発生時には，調査用粘着板1枚当たり30分から1時間以上の調査時間がかかることもまれではない。さらに，イネウンカ類の発生量調査を行う各都道府県の病害虫防除所では調査担当者の異動が頻繁なため，イネウンカ類の分類技術の継承が上手く行われないことが懸念される。これらの問題解決には，画像認識技術によるイネウンカ類の判別と計数の自動化が必要とされている（松村，2017）。

近年AI技術による画像の認識は，深層学習の一つとして，畳み込みニューラルネットワーク（CNN, Convolutional Neural Network）が登場して以来大きく進歩し，さらに物体検出と分類においてもYOLOのように極めて高速および高精度の処理が可能となってきている（藤吉・山下，2017）。これらのAI技術をイネウンカ類の検出および分類に応用することで，イネウンカ類を自動カウントできるツールの開発を目指し，本稿では，実際に発生量調査で用いる粘着板に張り付いたイネウンカ類の画像認識による分類精度について解説する。

Automatic Counting of Rice Planthoppers Captured on Sticky Boards. By TomohikoTakayama

（キーワード：深層学習，物体検出，イネウンカ類）

I 画像データの作成・収集方法

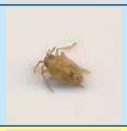
1 野外水田でのイネウンカ類の払い落し

野外水田での粘着板へのイネウンカ類の払い落しは，払い落し法を一部改変して行った（高山ら，2021）。粘着板の片側をイネの株元（水面から約2 cmの高さ）に水平よりやや株本側に傾けて置き，株本から少し上（粘着板から10～15 cmほど上部）を強く2回たたいて，イネウンカ類を含むイネの株元に棲息する生物を粘着板上に落下させた。一枚の粘着板につき，20株分の払い落しを行った。2019年の7月中旬～8月下旬と2020年の6月初旬～9月下旬に九州沖縄農業研究センターの水田圃場（熊本県合志市）で上記の払い落しを実施し，粘着板152枚を得た。これらは後述する「捕獲虫データ」用とした。さらに2020年7月15日に熊本県農業研究センター圃場（熊本県合志市），2020年7月29日に鹿児島県農業開発総合センター圃場（鹿児島県南さつま市），2020年7月30日に佐賀県農業試験研究センター圃場（佐賀県佐賀市），長崎県農林技術開発センター圃場（長崎県諫早市）にて上記の払い落しを実施し，それぞれの圃場で4枚ずつ，合計16枚の粘着板を得た。これらは後述する「テストデータ」用とした。

2 粘着板の画像化

粘着板の画像化は，フラットベッドスキャナを使用した。スキャナのガラスステージの汚染防止のため，粘着板との間には4 mm角のアクリル棒を挟み，間隙を確保した（高山ら，2020）。また，スキャナは被写界深度の深い縮小光学方式の機種を選定した（Canon 9000F Mark Ⅱ）。ウンカを貼り付かせた粘着板は速やかに1,200 DPIの解像度で画像化し，8,275 × 11,738ピクセルの画像を得た。さらに粘着板上に引かれた約2 cm間隔の区画線に沿って，格子状に縦横8 × 12枚，合計96枚の画像に分割した。区画線外の周囲の部分は除外した。分割した画像は925 × 945ピクセルであった。

表-1　調査対象となるイネウンカ類3種18分類

		長翅	短翅	終齢幼虫	中齢幼虫	若齢幼虫
トビイロウンカ	メス					
	オス					
ヒメトビウンカ	メス					
	オス					
セジロウンカ	メス					
	オス		–			

セジロウンカの短翅オスは通常は出現しない.

3　画像のアノテーション

画像を学習用データとするためには，画像中のイネウンカ類を分類し，その位置を記録するアノテーションを行う必要がある。この作業は極めて重要で，アノテーションの精度が画像認識の精度を左右する。

96分割後の粘着板画像をパソコンディスプレイに表示させ目視と手作業によりアノテーションを行ったが，その際，フリーのアノテーションソフトウェアlabelImg（https://github.com/tzutalin/labelImg）を用いた。画像中のイネウンカ類を矩形で選択しクラス分類を行い，矩形の座標情報とクラスをYOLO形式のテキストファイルとして保存した。画像を分割した際に虫体も分割された場合は，目視で分類可能な部分をより多く含む側をアノテーションした。

アノテーションにおける分類は表-1に示す18クラスとした。この分類は，特に水田で得られた粘着板において，熟練者が目視にて分類可能な限界と考えられている。クラスの設定は，イネウンカ類3種類の雌雄，成虫の翅型，幼虫の生育ステージでの分類を基本としたが，例えば，終齢幼虫と中齢幼虫の段階では雌雄を目視判断できないため，イネウンカの種類のみで分類したほか，若齢幼虫では，イネウンカの種類も見分けられないため，それ以上の分類を設けなかった。また，セジロウンカのオス短翅型は出現しないため除外した。

表-2　2020年までの捕獲虫データ数とテストデータ数

	2019～20 捕獲虫データ	テストデータ
トビイロウンカ長翅メス	1,492	31
トビイロウンカ長翅オス	1,878	24
トビイロウンカ短翅メス	2,049	14
トビイロウンカ短翅オス	1,072	10
トビイロウンカ終齢幼虫	7,057	223
トビイロウンカ中齢幼虫	9,562	246
若齢幼虫	45,392	927
ヒメトビウンカ長翅メス	474	19
ヒメトビウンカ長翅オス	138	7
ヒメトビウンカ短翅メス	152	5
ヒメトビウンカ短翅オス	14	0
ヒメトビウンカ終齢幼虫	868	18
ヒメトビウンカ中齢幼虫	1,621	9
セジロウンカ長翅メス	1,363	197
セジロウンカ長翅オス	1,081	246
セジロウンカ短翅メス	64	13
セジロウンカ終齢幼虫	3,499	657
セジロウンカ中齢幼虫	4,669	475

画像の目視のみでは分類困難な場合，冷凍保存しておいた粘着板上の虫体を顕微鏡下で観察あるいはマルチプレックスPCR法による種の簡易識別を行った。

九沖研の野外水田での払い落しによる粘着板152枚の

分割後の画像データ14,592枚を「捕獲虫データ」，別途，2020年7月に熊本，鹿児島，佐賀，長崎各県で得た，払い落しによる粘着板16枚の分割後の画像データ1,536枚を「テストデータ」として，それぞれのクラス別アノテーション数を表–2に示した。捕獲虫データとテストデータでは，イネウンカ類が写っていない夾雑物画像についても空のテキストファイルを用意して背景画像とした。また，若齢幼虫は3種類の幼虫の合計であるためアノテーション数が多いほか，調査の時期やウンカの発生状況の違いにより，クラスごとに差異が生じた。

Ⅱ　物体検出モデルの学習

1　物体検出モデルの学習条件

計算機資源は，農研機構のAI研究用スーパーコンピュータ「紫峰」（搭載GPU：NVIDIA Tesla V100 32 GB）を用いた。物体検出ではGPUカードに搭載されたメモリの大きさを重視する必要がある。計算環境はOSはubuntu（18.04）を使用し，CUDA Toolkit 10.1，cuDNN v7.6.5をインストールした。物体検出プログラムとしては深層学習のフレームワークDarknetで実装したYOLO（Redmon et al., 2016；Bochkovskiy et al., 2020）を用いた。Darknetは C言語で書かれたオープンソースのニューラルネットワークフレームワークである。ソースコードをダウンロード（https://github.com/AlexeyAB/darknet）し，GCC（GNU Compiler Collection）を使用し，Makefileの設定でGPU，cuDNN，openCVを有効にしてDarknetをコンパイルした。YOLOは画像や映像中の物体をリアルタイムで検出するアルゴリズムであり，物体の位置の特定に加え，その物体の分類を同時に行う。また，検出速度が高いため，多数の粘着板画像の分類および計数作業を高速に処理することも期待した。COCOデータセット（https://cocodataset.org/）を用いた学習済みのモデルが配布されており，人や自動車，犬，本等80の物体を検出できる。ただし，これにはイネウンカ類というクラスは含まれていない。そこで，上記したアノテーションデータを使って，再学習をすることでイネウンカ類の検出モデルを新たに生成した。

YOLOにはいくつかのバージョンがあり，学習においてはYOLOv3，YOLOv4を使用した。また，精度は落ちるものの軽量なモデルであるYOLOv4–tinyも参考として試みた。これは野外において非力なマイコンを用いて学習済みモデルによる推論をすることを想定してのものである。学習時のパラメータは，バッチ数64に固定した。バッチの分割数（subdivisions）は，YOLOv4–tinyは2，YOLOv3は16，YOLOv4は32とした。入力画像サイズは分割画像に合わせた960（960 × 960ピクセル）とした。学習回数はクラス数が18であるため推奨値（クラスごと2,000回）の36,000回とした。

2　学習データセットと学習結果の保存

YOLOの学習はモデルを生成するための教師データと生成したモデルを検証するためのバリデーションデータが必要である。ここでは捕獲虫データセットを8：2に分割した。

学習は教師データでのLoss値が減少するようニューラルネットワークの重みを調整し，バリデーションデータでのLoss値の確認を繰り返すもので，Darknetに実装されている機能である。学習結果の重みファイルは1,000回ごとに保存されるが，さらに学習実行時のコマンドに–mapオプションを追加することで，224回ごとにmAP（mean Average Precision）値の算出とそれまでの最良時の重みファイルの保存を行った。この重みファイルのクラスごと適合率を表–3に示した。

3　捕獲虫データによる学習結果の比較

捕獲虫データで学習させたYOLOv3，YOLOv4–tiny，YOLOv4それぞれのmAP最良の重みファイルで，テストデータに対する推論を行った。

Ⅲ　結 果 と 考 察

捕獲虫データの学習で得られた重みファイルを用いて，テストデータに対する推論を行った結果を表–4に示した。ヒメトビウンカ短翅オスについてはテストデータ中に画像がなかったため，すべての結果で平均適合率が0であった。同じバージョンでの推論結果（表–4）と学習時のバリデーションデータに対する値（表–3）を比較すると，マクロ平均の適合率で4～5ポイントの低下がある程度で，YOLOv3，YOLOv4ともに0.85程度の高い精度であった。捕獲虫データとテストデータの特徴量には大きな違いはないものと考えられ，同様に作成した画像データを追加学習させることで推論の精度を高めることが期待できる。

水稲の重要害虫であるイネウンカ類3種による被害の中でも，トビイロウンカの吸汁によるイネの坪枯れ被害が最も甚大であり，多発生時における年間の被害額は西日本全体で100億円を上回る（松村，2017）。したがって，イネウンカ類の発生量調査において最優先で判別および計数すべきはトビイロウンカについてである。表–4に示したテストデータに対する推論の結果でも，捕獲虫データのYOLOのどのバージョンでも，トビイロウンカおよび若齢幼虫の平均適合率を平均した，トビイロウンカ全体のAPが0.9以上と良好な結果であった。特に

表-3　学習時のバリデーションに対する最良の重みファイルのクラスごと平均適合率

	YOLOv3	YOLOv4	YOLOv4-tiny
トビイロウンカ長翅メス	0.954	0.975	0.934
トビイロウンカ長翅オス	0.967	0.976	0.968
トビイロウンカ短翅メス	0.973	0.980	0.959
トビイロウンカ短翅オス	0.917	0.930	0.909
トビイロウンカ終齢幼虫	0.986	0.982	0.974
トビイロウンカ中齢幼虫	0.959	0.959	0.957
若齢幼虫	0.968	0.970	0.972
ヒメトビウンカ長翅メス	0.828	0.850	0.760
ヒメトビウンカ長翅オス	0.859	0.734	0.483
ヒメトビウンカ短翅メス	0.827	0.845	0.825
ヒメトビウンカ短翅オス	0.667	0.556	0.020
ヒメトビウンカ終齢幼虫	0.903	0.927	0.898
ヒメトビウンカ中齢幼虫	0.843	0.845	0.777
セジロウンカ長翅メス	0.963	0.965	0.963
セジロウンカ長翅オス	0.951	0.959	0.972
セジロウンカ短翅メス	0.500	0.696	0.483
セジロウンカ終齢幼虫	0.978	0.968	0.981
セジロウンカ中齢幼虫	0.920	0.918	0.917
マクロ平均の適合率（mAP）	0.887	0.891	0.819

表-4　テストデータに対する推論結果（クラスごと平均適合率など）

	YOLOv3	YOLOv4	YOLOv4-tiny
トビイロウンカ長翅メス	0.990	0.996	0.956
トビイロウンカ長翅オス	0.972	0.975	0.937
トビイロウンカ短翅メス	1.000	0.972	0.926
トビイロウンカ短翅オス	0.983	0.929	0.750
トビイロウンカ終齢幼虫	0.975	0.970	0.958
トビイロウンカ中齢幼虫	0.955	0.962	0.940
若齢幼虫	0.962	0.957	0.950
ヒメトビウンカ長翅メス	0.966	0.973	0.778
ヒメトビウンカ長翅オス	0.688	0.605	0.563
ヒメトビウンカ短翅メス	0.607	0.725	0.260
ヒメトビウンカ短翅オス	0.000	0.000	0.000
ヒメトビウンカ終齢幼虫	0.879	0.832	0.721
ヒメトビウンカ中齢幼虫	0.554	0.689	0.519
セジロウンカ長翅メス	0.990	0.996	0.963
セジロウンカ長翅オス	0.996	0.997	0.988
セジロウンカ短翅メス	0.769	0.880	0.646
セジロウンカ終齢幼虫	0.992	0.984	0.980
セジロウンカ中齢幼虫	0.948	0.956	0.948
マクロ平均の適合率（mAP）	0.846	0.855	0.766
トビイロウンカ全体の AP	0.977	0.966	0.917
ヒメトビウンカ短翅オス以外の AP	0.896	0.906	0.811
適合率（マイクロ平均）	0.917	0.914	0.860
再現率（マイクロ平均）	0.952	0.956	0.922
F 値（マイクロ平均）	0.934	0.935	0.890
average IoU	0.80	0.80	0.75

トビイロウンカ全体の AP には若齢幼虫も含む．
適合率は検出の精度を示す．再現率が高いことは見落としが少ないことを示す．F 値は適合率と再現率の調和平均である．average IoU は検出枠のズレを意味し，0.75 は斜め方向に 8%程度のズレを意味する．

YOLOv3 では 0.977 と高い精度を示した。また，テストデータの総数 3,121 に対して推論時の総検出数，真陽性（TP）数，偽陽性（FP）数，偽陰性（FN）数から算出したマイクロ平均では，YOLOv3，YOLOv4 ともに適合率が 0.91 以上，再現率が 0.95 以上，F 値が 0.93 以上とほぼ同等の結果を示した。以上のように，粘着板上のイネウンカ類をスキャナにより常に同じ条件で画像化することができたため，捕獲虫データの成虫のアノテーション数が数百程度であっても，高い精度での学習結果を得られた。今後，さらに圃場捕獲虫のデータを時間的および空間的に広げて増加させることで，さらなる精度向上が期待できる。

イネウンカ類の発生が多い場合，粘着板 1 枚に 1,000 匹以上が付着していることもまれではないため，これまでの目視による手作業では，粘着板のイネウンカ類を分類および計数するのに 1 時間以上の時間を費やすこともある。しかし，本研究の手法で図-1 のように粘着板画像を認識させた場合，GPU 搭載のエッジデバイス（NVIDIA Jetson XAVIER NX）では，YOLOv3 で約 1 分 26 秒，YOLOv4-tiny で約 48 秒であった。粘着板をスキャナで画像化する時間は 1 枚当たり 2〜3 分程度であるので，1 枚ずつスキャンと YOLO による認識をさせたとしても，合わせて 4〜5 分程度である。また，YOLO による出力結果からクラスごとの計数は同時に行われるため，これまでの目視による計数作業を完全に置き換えることができる。また，YOLO の機能として，認識後の画像とそれに対応するアノテーションファイルを出力できる。出力結果に微修正が必要であろうが，適合率も average IoU も良好であるので，新たな粘着板画像を追加学習のデータとして転用することも容易と考えられる。

お　わ　り　に

これまでの害虫の深層学習や自動認識に関する研究事例（Lima et al., 2020；Høye et al., 2021）を見ると，種間の識別や種の検出を行った例が多く，種内でのクラスの識別を行っているものでは，アズキゾウムシと寄生蜂の種と性の識別（Tuda and Luna-Maldonado, 2020）や，ハマダラカの種と性等の識別（Jiménez et al., 2019；Kittichai

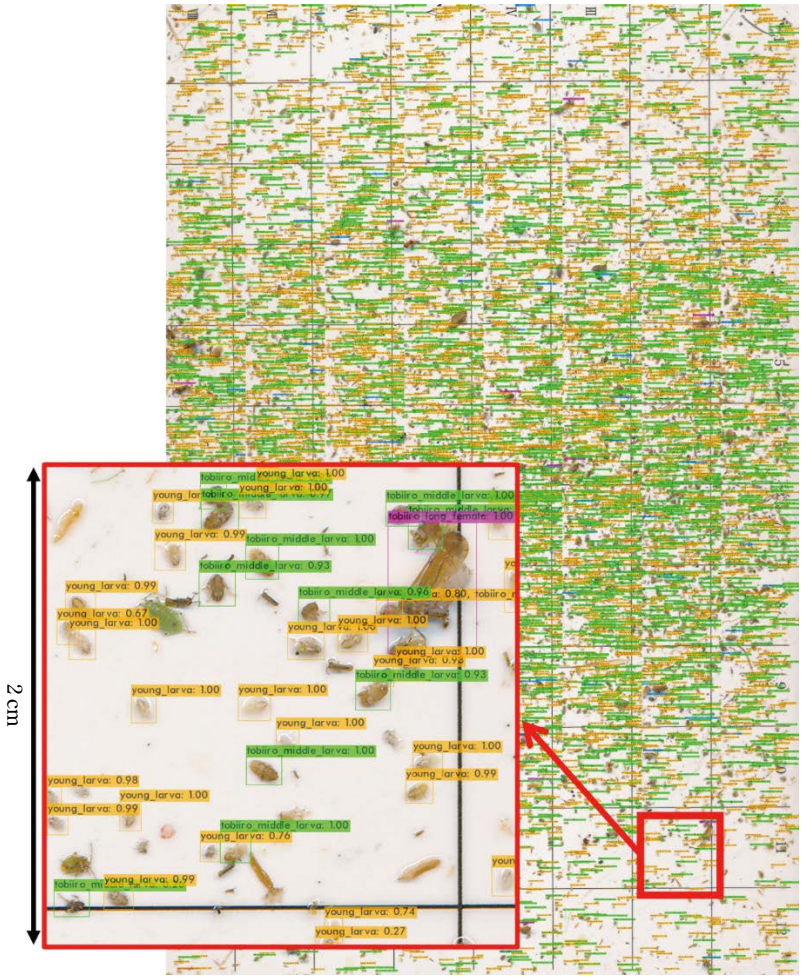


図-1　実際の粘着板に対する認識結果

et al., 2021）等がわずかに行われている程度である。しかし，本研究の対象であるイネウンカ類は，発生調査において種間だけでなく種内での識別（発育ステージ，成虫の性，成虫の翅型）が防除の観点から重要である。本研究におけるイネウンカ類全 18 クラスの深層学習による分類の試みは，他の害虫発生量調査において種内でのクラスの識別を求められる場合の参考手法となると考えられる。

深層学習を利用した画像認識では，人間が画像だけの情報で分類できるものは同様に分類できると考えられるが，そのためには膨大な学習データが必要となる。本研究のように入力画像を常に同じ条件で与え，深層学習を適用する世界をできるだけ限られたものにすることで，比較的少ないデータで高い精度の学習モデルを得ることができた。一方で，この学習モデルがイネウンカ類のどこに注目して分類しているかは明らかではない。深層学習の内部はブラックボックスであることが，その特徴でもあるためである。

引　用　文　献

1）Bochkovskiy, A. et al.（2020）: arXiv preprint arXiv:2004.10934.
2）藤吉弘亘・山下隆義（2017）: 日本ロボット学会誌 **35**(3): 180～185.
3）Høye, T. T. et al.（2021）: Proc. Natl. Acad. Sci. U S A. 2021 Jan 12 **118**(2): e2002545117.
4）Jiménez, M. G. et al.（2019）: Wellcome Open Res. **4**: 76.
5）Kittichai, V. et al.（2021）: Scientific Reports **11**: 4838.
6）Lima, M. C. F. et al.（2020）: Agriculture **10**(5): 161～184.
7）松村正哉（2017）: ウンカ 防除ハンドブック，農山漁村文化協会，東京，95 pp.
8）Redmon, J. et al.（2016）: IEEE CVPR **2016**: 779～788.
9）高山智光ら（2021）: 農業情報研究 **30**(4): 174～184.
10）————ら（2020）: 農業情報学会 2020 年度年次大会講演要旨集: 41～42.
11）Tuda, M. and A. I. Luna-Maldonado（2020）: Ecological Informatics **60**: 101135.

農林水産省プレスリリース（2022.5.7～2022.6.9）

農林水産省プレスリリースから，病害虫関連の情報を紹介します。
https://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 4 年度病害虫発生予報第 2 号」の発表について**（22/5/11）　/syouan/syokubo/220511.html
- **「農林水産研究イノベーション戦略 2022」の策定について**（22/5/24）　maff.go.jp/ の後に /docs/press/220524.html
- **5 年に一度の 2020 年農林業センサスの公表等を踏まえ，我が国の農業構造の中長期的な変化を分析**（22/5/27）　/kanbo/kihyo04/220527.html
- **令和 4 年度「農業技術功労者表彰」候補者の募集開始について**（22/6/3）　maff.go.jp/ の後に /docs/press/220603.html
- **「令和 4 年度病害虫発生予報第 3 号」の発表について**（22/6/8）　/syouan/syokubo/220608.html

新技術解説

タマネギべと病の一次感染発病株作出のための新規発病試験法

佐賀大学農学部　草場基章（くさばもとあき）

はじめに

タマネギべと病はタマネギ栽培に壊滅的な被害をもたらす重要病害として知られている。近年，西日本のタマネギ産地では本病の発生が増加傾向にあり，産地崩壊を招きかねない大きな問題となっている。原因菌である*Peronospora destructor*（Berk.）Casp.（以下，タマネギべと病菌）は卵菌の一種であり，その生活環は有性胞子である卵胞子の土壌伝染で始まる。西日本の秋まき春どりの産地では夏季から秋季にかけてタマネギ栽培が休止となる。この期間に本菌は卵胞子により土壌中で耐久生存し，その後，秋季に植え付けられるタマネギ株に一次感染することで本病の発生が開始すると考えられている（高橋ら，1958；出水，1963）。卵胞子による一次感染タマネギ株（以下，一次感染株）は，通常，潜伏期間を経て翌年の晩冬から春季にかけて発病し株全体が黄色化・矮小化する特徴的な全身感染症状を示す（出水，1963；図-1）。この一次感染株上に形成される多量の分生胞子が飛散して二次感染を引き起こすことで本菌は空気伝染により生活環を送るようになる。分生胞子による二次感染では茎葉に病斑が形成される部分病の症状となるが，この一次病斑上にも多量の分生胞子が形成され，これが飛散することで感染が拡大していく。このように感染拡大をする中で本菌は罹病株の主に茎葉に卵胞子を形成する。そして，タマネギ収穫後，罹病茎葉が収穫残渣としてすき込まれることで卵胞子も土壌中に混入し，次作の伝染源となることで生活環が繰り返される（高橋ら，1958）。

図-1　タマネギべと病菌の卵胞子による一次感染株

以上のようにタマネギべと病の発生起点は卵胞子の土壌伝染であり，本病の防除には卵胞子の感染による一次感染株の発生制御が重要となる。そのための防除技術の開発には一次感染株を高率，かつ，安定して発生させることのできる発病試験法の確立が必要である。タマネギべと病菌は絶対寄生菌であり，人工培養により卵胞子を形成させることができない。そのため，本病の発病試験は，一般的に罹病茎葉のすき込みにより土壌を卵胞子で汚染させた圃場において行われる。しかし，このような圃場では一次感染株の発生が安定せず，発生が極めて低率，あるいは，皆無となる場合もある。また，この方法には罹病茎葉のすき込みから試験開始までの期間に除草などの圃場管理に手間がかかることや，他の用途に圃場を利用できなくなるといった問題点がある。松尾（1995）は圃場に罹病茎葉を直接すき込む代わりに，罹病茎葉を混和した土壌（以下，保菌土壌）を別途作製し，これを接種源として用いる発病試験法を紹介している。先に，筆者ら（草場ら，2021）は松尾の方法を参考とした発病試験により一次感染株が高率に得られることを報告した。本稿では筆者らの発病試験法について実施上の注意点なども含めて紹介する。

本研究を行うにあたり，発病試験法について貴重なご助言をいただいた佐賀県農業試験研究センターの井手洋一博士，古田明子氏，一般社団法人プラントヘルスケア研究所の田代暢哉博士に厚くお礼申し上げる。なお，本研究の一部は生研支援センター「革新的技術開発・緊急展開事業（うち地域戦略プロジェクト）」の支援を受けて行った。

New Method for Occurrence of Diseased Onion Plants Caused by Primary Infection with Downy Mildew Pathogen *Peronospora destructor*.　By Motoaki KUSABA

（キーワード：タマネギべと病，発病試験，卵胞子，一次感染）

Ⅰ　発病試験法の概要

松尾（1995）の方法は別途作製した保菌土壌を播種後の育苗床表面に重層することで二次感染誘発のための分生胞子の供給源として一次感染株を得ることを目的としている。筆者ら（草場ら，2021）は本法を卵胞子の一次感染を対象とした本圃での発病試験に応用することを考案した。すなわち，保菌土壌を本圃の畝表面に重層し，そこにタマネギを植え付ける方法である（以下，本圃試験）。また，同様の発病試験をより簡便に実施することを目的として，小型プランターを用いた検討も行った（以下，小型プランター試験）。以下，筆者らの発病試験法について，その方法を中心に解説する。

1　罹病茎葉の収集

保菌土壌の作製には卵胞子を多量に含む罹病茎葉を供試することが必要となる。筆者らは立毛中に枯死して植物体から脱落しつつある罹病茎葉には茎葉全体に多量の卵胞子が形成されていることを見いだしており，そのような罹病茎葉を脱落前に収集して保菌土壌の作製に使用している（図-2a）。罹病茎葉の収集は無防除の1 aほど自然発生圃場（品種：ターザン）で4月中旬から一か月間ほどの期間，週2回ほどの頻度で行っている。それにより，毎年，3 kgほどの罹病茎葉を集めることができている。収集した罹病茎葉は必要量が集まるまで段ボール箱に入れて乾燥状態を保ちながら，直射日光が当たらない風通しのよい場所で一時保管する。その後，罹病茎葉は2～5 cmの長さの断片に切断し，よく混合してから一回に接種源として使用する80 g（後述）をポリ袋に分取する（図-2b）。このように混合して袋詰めした罹病茎葉断片を使用することで，毎回，伝染源量（卵胞子数）が均一な保菌土壌を作製することが可能となる。ポリ袋に袋詰めした罹病葉は5℃に設定した低温室で保管する。

2　保菌土壌の作製および発病試験

筆者が発病試験を行っている佐賀市では保菌土壌の最適な作製時期は8月中旬からの1か月間ぐらいの期間であると考えられる（草場ら，2021）（後述）。保菌土壌は5℃の低温室で保管した罹病茎葉80 gを市販培養土（花と野菜の培養土，株式会社ナフコ）40 *l*と混合し，680型のプランター（幅64 cm，奥行23 cm，高さ18.5 cm）に充てんして作製する。作製後の保菌土壌は除草のみを行い，散水などの人為的な管理をせずに使用時まで屋外に放置する。本圃試験では，畝立て後，保菌土壌を1 cm程度の厚さになるように畝面全体に重層する。タマネギの作付けはセルトレイ苗の移植により行う。セルトレイ苗は保菌土壌より下の畝の土壌に植え付けることになり根は直接保菌土壌と接しないが，後述のように本法により高い一次感染株の発生率が得られたことからも，セルトレイ苗の移植による作付けで卵胞子感染が大きく妨げられることはないと考える。小型プランター試験では38型の小型プランター（幅38 cm，奥行18.5 cm，高さ14.7 cm）に底土としてボラ土中粒を深さ約3 cmに充てんし，さらに，保菌土壌作製に用いたものと同じ市販培養土をボラ土中粒と併せて深さ約11 cmに充てんする。充てん後，各プランターに種子14粒を種子間5 cm，条間5 cmとなるように二条に播種し，覆土として作製した保菌土壌を500 m*l*重層（厚さ0.7 cm）する。播種後は発芽するまでは毎日散水し，発芽後の給水は降雨のみとする。本法はプランターでの栽培のため肥料切れに注意する必要がある。筆者らは発芽後から試験終了時までに週に1回，液肥の葉面散布を行っている。また，小型プランターへの直播といった特殊な栽培法のため播種日にも注意が必要であり，播種日が早すぎても遅すぎてもタマネギは順調に生育しなくなる。筆者らは佐賀県において直播によるタマネギ栽培で推奨されている播種時期を参考に10月10日に播種を行うこととしている。本法の

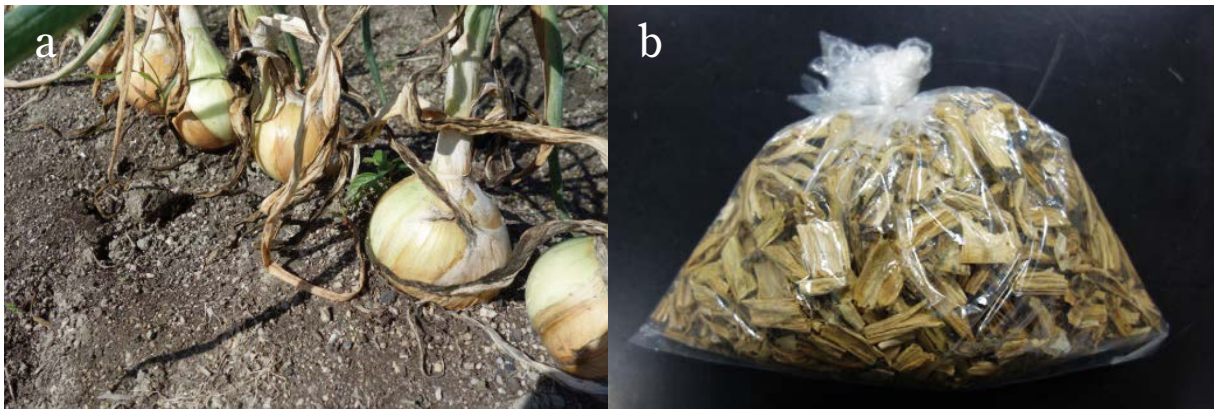


図-2　収集を行ったタマネギべと病罹病茎葉（a）および収集後の罹病茎葉の保管（b）

実施の際はタマネギ種子の発芽適温（15℃～20℃）と地域の気象条件を考慮して播種日を決めていただきたい。

3　発病調査

発病調査はタマネギ作付け開始から最初に発病株が観察されるまでは1週間間隔で，観察されてからは2日間隔を目途に行う。本試験は卵胞子の感染による一次感染株の発生を対象としている。そのため，各調査日に観察された発病株については周囲の株への二次感染を防ぐために，発見次第，直ちに抜き取る。また，本圃および小型プランター試験のどちらについても市販培養土のみを接種源とした対照区を設ける。対照区で発病株が出現した場合は分生胞子の飛散による二次感染が生じたと考え試験を終了する。

4　発病試験における一次感染株の発生率

発病試験の実施例として先に筆者らが行った本圃と小型プランター試験の結果を紹介する（草場ら，2021）。先の試験では罹病茎葉の5℃保管についても併せて検討を行った。そのため，どちらの試験においても保菌土壌を6～10月までの各月に作製した。このように作製することで5℃保管日数の異なる罹病茎葉を伝染源とした保菌土壌を準備した（表–1および表–2）。本圃試験の6月，7月，8月および10月作製保菌土壌では一次感染株の発生率（1.6%～3.6%）に有意な違いは認められなかった（表–1）。一方，9月作製の保菌土壌では他の月よりも有意に高い19.7%の発生率が観察された（表–1）。小型プランター試験の6月，7月，9月作製保菌土壌では一次感染株の発生率に有意な違いが認められず，8月作製の保菌土壌で他の月よりも有意に高い8.3%の発生率が観察された（表–2）。小型プランター試験では10月作製保菌土壌には一次感染株の発生が観察されなかったが，この例を除くと，どちらの試験についても保菌土壌間で作製に使用した罹病茎葉の5℃保管日数と一次感染株の発生率には明確な関連は認められなかった（表–1および表–2）。また，小型プランター試験の10月作製保菌土壌についても，使用した罹病茎葉は本圃試験の10月作製のものよりも3日間長く保管したものであり（表–2），保管日数の違いで一次感染株の発生率に大きな差異が生じたとは考えにくい。以上より，保菌土壌の一次感染株の発生率は罹病茎葉の保管日数よりも保菌土壌作製時期の違いに影響を受けることが考えられた。そのような影響をもたらす因子であるが，筆者らは保菌土壌作製後の気温と考えている（草場ら，2021）。卵胞子の感染には罹病茎葉の腐食・分解により卵胞子が土壌中に放出される必要がある。10月作製保菌土壌，特に，本圃試験のものよりも作製が遅かった小型プランター試験の保菌土壌では作製後の気温低下により罹病茎葉の分解が抑制された可能性が考えられる。また，タマネギべと病菌の卵胞子は夏季の高温により大量死が生じるため（草場・川邑，2019），6月および7月作製の保菌土壌では卵胞子生存率が大幅に低下していた可能性が考えられる。一方，圃場試験の9月，および，小型プランター試験の8月作製保菌土壌では高温による罹病茎葉の分解促進とその後の気温低下による卵胞子生存の維持により高い一次感染株の発生率がもたらされたものと筆者らは考えている。

II　今後の展望

従来の罹病茎葉のすき込みにより作出された圃場での発病試験では一次感染株の発生率についての厳密な調査はなされていないが，著者の経験では10%を越えることはほとんどない。しかし，上述の圃場試験の9月作製，および，小型プランター試験の8月作製の保菌土壌の発生率は従来の発病試験と比較して高い水準であった。筆者らの方法を用いることで，これまで困難であった卵胞子の一次感染を対象とした発病試験が安定して実施できることが期待される。一方，本法では保菌土壌の作製時期により得られる一次感染株の発生率が大きく異なる。そのため，本法による発病試験では保菌土壌の作製時期が成否の鍵を握ることになる。圃場試験の9月作製保菌土壌は9月10日，小型プランター試験の8月作製保菌土壌は8月16日が作製日であった（表–1および表–2）。また，本稿では述べていないが，筆者らは2021年度も同様の小型プランター試験を行っており，最も高い発生率は9月10日作製の保菌土壌で得られた。これらの結果から考えると，一次感染株を高率に生じさせるための最適な保菌土壌の作製時期は8月中旬からの1か月間ほどの期間と推定される。この期間は佐賀市の場合であり，実施する地域の気候に合わせて変える必要があるであろう。また，気象条件の年次変動を考慮すれば，保菌土壌は最適と考えられる期間の始め，中頃，終わりといったように期間内に間隔をあけて複数回作製したものを用いるのがよいと思われる。

本法は高い一次感染株の発生率が得られることに加え，作製した保菌土壌間で伝染源量である卵胞子数を均一化できる利点がある。上述の発病試験も卵胞子数が保菌土壌間で同じと見做せるため，各月に作製した保菌土壌間で一次感染株の発生率の直接比較が可能となった。卵胞子を標的とした農薬試験では保菌土壌に薬剤を処理し，保菌土壌間での一次感染株の発生率の比較から防除効果を評価する試験法が考えられる。卵胞子数を保菌土壌間で均一化できる本法ではこのような農薬試験も実施

表-1　本圃場試験における一次感染株発生率

保菌土壌の調整日	5℃での罹病茎葉保管日数[a)]	発生株数（総株数）[b)]	発生率（%）[c)]
2019_6_10	0	8（318）	2.5 bc
2019_7_10	30	7（300）	2.3 bc
2019_8_10	61	11（298）	3.7 b
2019_9_10	92	60（304）	19.7 a
2019_10_7	119	5（305）	1.6 bc
市販培養土のみ	−	0（314）	0 c

データは草場ら（2021）より抜粋.
[a)] 5℃で保管.
[b)] 供試品種としてターザンを使用．発病株数は調査期間に観察された発病株の総数．総株数は最初に発病が観察された2020年2月6日に調査.
[c)] 異なるアルファベットはRyan法（1960）による多重比較により5%水準で有意差が検出されたことを示す.

表-2　小型プランター試験における一次感染株発生率

保菌土壌の調整日	5℃での罹病茎葉保管日数[a)]	発病株数（総株数）[b)]	発病株率（%）[c)]
2020_6_16	0	6（269）	1.9 bc
2020_7_16	30	8（267）	3.0 b
2020_8_16	61	23（274）	8.4 a
2020_9_16	92	5（246）	2.0 bc
2020_10_16	122	0（267）	0 bc
市販培養土のみ	−	0（268）	0 bc

データは草場ら（2021）より抜粋.
[a)] 5℃で保管.
[b)] 供試品種としてターザンを使用．発病株数は調査期間に観察された発病株の総数．総株数は最初に発病が観察された2020年11月25日に調査.
[c)] 異なるアルファベットはRyan法（1960）による多重比較により5%水準で有意差が検出されたことを示す.

可能となる。さらに，本法では作製した保菌土壌に含まれる卵胞子数を推定することもできる。すなわち，既報の方法（Van der Gaag and Frinking, 1996）による罹病茎葉からの卵胞子の抽出・計数によって保菌土壌作製に使用する罹病茎葉80 g当たりの卵胞子数を推定し，それを保菌土壌の卵胞子数として把握する。卵胞子数の把握により，例えば，異なる年次に作製した保菌土壌（つまり，異なる年次に収集した罹病茎葉で作製した保菌土壌）間でも含まれる卵胞子数の違いに基づく補正より一次感染株の発生率を比較できるようになる。筆者らは佐賀県内のタマネギ産地で罹病茎葉のすき込みが主に行われる6月（6月10日）に，毎年，保菌土壌の作製を行い，その保菌土壌を接種源とした小型プランター試験により発病株率の年次変動を調査している。本調査によりデータが蓄積することで，耐久生存期間中の気象要因から一次感染株の発生様相を予測する新たな発生予察システムが構築できると考えている。

お　わ　り　に

本稿で紹介した発病試験法は研究途上にある手法であり，改善が必要な点が多数あるはずである。特に，保菌土壌の最適な作製時期についてはより正確な特定が必要となる。今後，卵胞子の耐久生存や感染能に影響する環境要因の解明といった基礎研究から最適作製時期についての検討を進めることを予定している。現在，タマネギべと病の防除は主に一次感染株の早期発見による抜き取りと分生胞子の二次感染を対象とした農薬散布により行われている。これらの防除作業は頻繁に行わなければならない重労働であり，生産者に大きな負担を強いている。さらに，農薬散布については爆発的な感染拡大が起こる本病では散布回数も多くなり，嵩む農薬代が生産者の経営を圧迫している。このように，本病が多発している産地では防除のためのコストが採算に合わない状況が続いており，タマネギ生産の不安定化を招く要因となっている。本病防除のコスト削減には本病を根本から断つことのできる一次感染株の発生制御が必要であり，そのための防除技術の開発は喫緊の課題となっている。本稿で述べた発病試験法がそのような本病の防除に向けた研究進展に貢献できれば幸いである。

引　用　文　献

1）出水忠夫（1963）: 調査研究報告第4号，大阪府農林部農政課，p.5〜6.
2）草場基章・川邑菜々美（2019）: 九病虫研会報 **65**: 5〜10.
3）————ら（2021）: 同上 **67**: 1〜8.
4）松尾綾男（1995）: 作物病原菌研究技法の基礎—分離・培養・接種—，日本植物防疫協会，東京，p.185〜186.
5）Ryan, T. A.（1960）: Psychol. Bull. **57**: 318〜328.
6）高橋　実ら（1958）: 日植病報 **23**: 117〜120.
7）van der Gaag, D. J. and H. D. Frinking（1996）: Journal of Phytopathology **144**: 57〜62.

果樹防除の基本となる「病害虫防除暦」の考え方

青森県におけるりんご病害虫防除暦作成の考え方

地方独立行政法人青森県産業技術センターりんご研究所　木村佳子

はじめに

1875（明治8）年，青森県に西洋リンゴの苗木が配布・植栽されて以来，150年ほどが経過し，現在では日本一のリンゴ産地を誇っている。しかし，ここに至るまでの歴史は，病害虫との戦いの歴史であったといっても過言ではない。りんご病害虫防除暦は，誕生してから100年以上の歴史があり，日本一のリンゴ産業を支えている。防除暦は，種類や生態が異なる様々な病害虫を効果的且つ効率的に防除できるように薬剤散布が体系化されており，さらに耕種的防除についての記載もあり総合的に対策できるように作られている。この項では青森県における防除暦の歴史や作成における考え方等について解説する。

I　りんご病害虫防除暦誕生の歴史

青森県にリンゴが導入されてしばらくの間，病害虫の発生はそれほど問題にならなかったが，1890年代後半から，病害虫の多発が慢性的に続くようになった。危機的な生産状況を前に，県は減収の要因解析と栽培改善を進めるため，1916（大正5）年に県農事試験場の苹果（「西洋リンゴ」のこと）栽培調査技師に島善鄰技師を招聘した。島技師は減収要因の一つとして病害虫による被害を挙げ，重要なものとしてモニリア病，赤星病，褐斑病，リンゴワタムシ，オウトウハダニ，ハマキムシ類，モモチョッキリゾウムシ等を報告した。これを受けて県は栽培改善運動を展開し，各病害虫の具体的な防除法について訓令を発令し，ボルドー液などの薬剤使用を奨めた。

しかし，各病害虫に対して個別に示された防除法は，体系的にまとめられていなかったため，なかなか普及しなかった。そこで，島技師は米国で普及していたスプレーカレンダーをヒントに防除暦を考案した。1918（大正7）年11月，県農事試験場は「苹果病害虫予防駆除剤」という生産者向けの小冊子を刊行配布し，そのなかで「苹果病害虫防除暦」を示し，これが最初の「りんご病害虫防除暦」となった。翌年からは一枚刷りの印刷物として配布，さらに1924（大正13）年からは大版の一枚暦になり，現在のりんご病害虫防除暦（以下，防除暦）の原型になったと考えられる。

II　現在の防除暦の考え方

1　防除暦の構成

防除暦は，「薬剤散布」，「防除作業及び散布上の注意」の二つの欄から構成されている。

（1）　薬剤散布

2022年（令和4）年防除暦の「薬剤散布」の欄では，「ふじの展葉1週間後頃」（4月下旬頃）から「8月末」まで，計11回が示されている。

1）散布時期の設定

一般的に，春季における病害虫の発生時期はリンゴの生育との相関が高いことから，散布時期はリンゴの季節現象（発芽，展葉，開花等）を指標としている。1回目の散布は「ふじの展葉1週間後頃」（4月下旬頃），その後，「ふじの開花直前」（5月上旬頃），「ふじの落花10日後頃」（5月下旬頃），「ふじの落花20日後頃」（6月上旬頃）と続く。

次の「6月中旬」以降の呼称からリンゴの季節現象を表す語句が外れる。なお，「6月中旬」は6月18日頃を目安としている。また，7月以降の呼称は，それぞれの散布時期が月の最上旬や最下旬などにあたるため，幅のある「上旬」，「中旬」，「下旬」ではなく，より具体的に薬剤散布時期を把握できるよう，「7月初め」，「7月半ば」，「7月末」，「8月半ば」および「8月末」としている。

2）同時防除

薬剤散布の基本は「病原菌の感染予防」であり，各散布時期の対象病害に対する殺菌剤の予防期間に基づいて約10日間隔あるいは約15日間隔で構成されている。このため，基準薬剤は，一部を除いて殺菌剤からなっている（表-1）。一方，害虫は「発生に応じた駆除」が基本なので，対象害虫の発生状況に応じて基準薬剤に殺虫剤を加え，その時期の重要病害虫を同時に防除する形となる。

The Concept of Constructing an Apple Pest Control Calendar in Aomori Prefecture.　By Yoshiko KIMURA

（キーワード：青森県，りんご，病害虫，防除，防除暦）

表-1　令和4年りんご病害虫防除暦における時期別の基準薬剤

散布時期		基準薬剤（うち殺虫剤）
4月下旬	ふじの展葉 1週間後頃	（マシン油乳剤，ダーズバンDF） ベフラン液剤25
5月上旬	ふじの開花直前	SDHI剤
5月中旬	ふじの落花直後	ミギワ20フロアブル ＋ デランフロアブル またはチウラム剤 またはマンゼブ剤
5月下旬	ふじの落花 10日後頃	ユニックス顆粒水和剤47 ＋ チウラム剤 またはマンゼブ剤
6月上旬	ふじの落花 20日後頃	デランフロアブル またはチウラム剤 またはマンゼブ剤
6月中下旬	6月中旬	アントラコール顆粒水和剤 またはパスポート顆粒水和剤 またはラビライト水和剤 またはチウラム剤 または有機銅剤
7月上旬	7月初め	（ピレスロイド剤） アントラコール顆粒水和剤 またはパスポート顆粒水和剤 またはチウラム剤 またはオキシラン水和剤 または有機銅剤
7月中旬	7月半ば	アントラコール顆粒水和剤 またはパスポート顆粒水和剤 またはオキシラン水和剤 または有機銅剤
7月下旬	7月末	オキシラン水和剤 または有機銅剤 アリエッティC水和剤 ダイパワー水和剤 ベフラン液剤25
8月中旬	8月半ば	アリエッティC水和剤 ダイパワー水和剤 ベフラン液剤25
8月下旬	8月末	アリエッティC水和剤 ダイパワー水和剤 ベフラン液剤25

ただし，果実に食入するシンクイムシ類は例外で，モモシンクイガの場合，無袋栽培では「6月中旬」～「8月末」まで毎回防除剤を散布しなければならない。また，ナシヒメシンクイの場合は，有袋栽培および無袋栽培にかかわらず，「ふじの落花10日後頃」（5月下旬頃）～9月上中旬頃まで毎回防除剤を散布しなければならない。

3）農薬使用基準の遵守

基準薬剤は，後述する特別散布で使用する殺菌剤も含めて，年間使用回数を超えないように配置している。また，青森県におけるリンゴの収穫は，極早生品種の8月に始まり，早生種の9月，中生種の10月，晩生種の11月までと，非常に長く続く。防除暦は晩生種の主力品種である‘ふじ’を前提に作成しているが，実際には，早生種を含む様々な品種が植栽されているので，薬剤散布もこれに配慮する必要がある。このため，主力の早生品種である‘つがる’にも対応できるように，「7月末」以降の基準薬剤は農薬使用基準における収穫前日数が短いものを配置している。殺虫剤・殺ダニ剤については，農薬使用基準を遵守するように注意を喚起している。

（2）　防除作業および散布上の注意

「防除作業および散布上の注意」欄では，各病害虫の防除にあたっての注意や農薬によらない防除法並びに，発生に応じた薬剤選択ができるように殺菌剤，殺虫剤および殺ダニ剤の適用表がメニュー方式で記載されている。

1）薬剤耐性・薬剤抵抗性対策

薬剤耐性・薬剤抵抗性は，有機合成殺虫剤が普及して以来の問題であり，これまでも様々な病害虫で問題となってきた。最近では，DMI剤耐性菌による黒星病の多発が問題になったことが記憶に新しい。現在でも，耐性リスク・抵抗性リスクが比較的高い薬剤を採用しているため，油断できない状況である。耐性・抵抗性対策として，防除暦の適用表にRACコードを記載するほか，耐性・抵抗性のリスクが高い薬剤については年1回の使用に制限するような注意書きを目立つ形で表示している。また，農薬によらない防除技術についても，できる限り記載して総合的な防除に努めるよう喚起している。

2）特別散布

防除暦では，9月以降の感染が懸念されるすす斑病・すす点病，および収穫後の採果痕からの感染が懸念される腐らん病を重要な位置づけとし，これらの病害の特別散布について記載している。具体的にはすす斑病・すす点病の発生が多い所や9月中旬に長雨が見込まれる場合は，中生種および晩生種の無袋果を対象に9月15日頃に防除剤を特別散布する。また，腐らん病の発生が多い園地では，収穫後のできるだけ早い時期に防除剤を特別散布する。

3）マメコバチの保護体系

1980年代以降のマメコバチの利用拡大に伴って，マメコバチの活動期である「ふじの開花直前」および「ふじの落花直後」に有機リン剤などの悪影響のある殺虫剤を散布しない園地が拡大した。すると，この時期が防除適期であるミダレカクモンハマキが増加し，防除に苦慮する園地が相次いだ。1990年代に，ミダレカクモンハマ

キに効果がある一方で，マメコバチに影響の少ない IGR 剤や BT 剤が普及するのに伴い，ミダレカクモンハマキの発生は少なくなったが，現在でも，「ふじの開花直前」および「ふじの落花直後」に使用する薬剤は殺菌剤も含めてマメコバチに影響が少ないものに限定している。

4）交信撹乱剤の利用

防除暦では，環境負荷軽減の観点から交信撹乱剤の利用についても記載している。モモシンクイガに対しては交信撹乱剤のみの防除が困難なので，「7 月初め」と「8 月半ば」に防除剤を散布するように指導している。ただし，通常の防除に交信撹乱剤を上乗せするだけでは，コストがかかるうえに，交信撹乱剤のメリットが活かせないため，交信撹乱剤の対象害虫以外の害虫やマイナー害虫の発生に注意しながら，殺虫剤をうまく削減することが大切である。

2　対象病害虫の種類

表-2 に，2022（令和 4）年防除暦の各時期における対象病害虫を示した。対象病害虫は，腐らん病，モニリア病，黒星病，うどんこ病，黒点病，斑点落葉病，すす斑病・すす点病，炭疽病，褐斑病，輪紋病，モモシンクイガ，ナシヒメシンクイ，リンゴコカクモンハマキ，ミダレカクモンハマキ，キンモンホソガ，ギンモンハモグリガ，クワコナカイガラムシ，アブラムシ類，リンゴハダニ，ナミハダニの合計 20 種類である。

対象病害虫の種類は，有機合成農薬が普及する前後で大きく変化したが，その後も農薬の変遷や地球温暖化等によって，少しずつ変わっている。例えば，古くは重要であった赤星病は，有効な殺菌剤が登場したことや中間寄主であるびゃくしん類の伐採が進んだことで発生が少なくなり，1996（平成 8）年には対象病害虫から外れた。反対に，温暖化に伴って果実腐敗を生じる炭疽病や輪紋病は増加傾向にあるため，両病害とも平成に入ってから対象病害虫に追加されている。

また，対象病害虫としては変わらずに記載されていても，生態などの解明に伴って防除時期が変更になる場合がある。例えば，近年，黒星病の子のう胞子が従来より早い時期に飛散し，「ふじの展葉 1 週間後頃」からが重要防除時期であることが明らかになった。害虫のリンゴコカクモンハマキでは，1990 年代に年 3 回発生型から年 2 回発生型が主体になったことに伴って，防除時期が変更されている。

このような病害虫の種類や防除時期の変化等に，防除暦が存在することで，迅速にしかも広域的に対応することができる。

III　りんご病害虫防除暦の作成

1　薬剤の採用に係るデータ収集

りんご研究所では，始めに各種病害虫に対する農薬の

表-2　令和 4 年りんご病害虫防除暦における対象病害虫

対象病害虫	ふじの展葉 1 週間後頃	ふじの開花直前	ふじの落花直後	ふじの落花 10 日後頃	ふじの落花 20 日後頃	6 月中旬	7 月初め	7 月半ば	7 月末	8 月半ば	8 月末	備考
腐らん病	○	○	○	○	○	○		○	○			
モニリア病	○	○										
黒星病	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
うどんこ病		○	○	○	○							
黒点病			○	○	○	○						
斑点落葉病			○	○	○	○	○	○	○	○	○	
すす斑病・すす点病				○	○	○	○	○	○	○	○	
炭疽病						○	○	○	○	○	○	
褐斑病						○	○	○	○	○	○	
輪紋病						○	○	○	○	○	○	
モモシンクイガ						○	○	○	○	○	○	毎回散布
ナシヒメシンクイ				○	○	○	○	○	○	○	○	毎回散布
リンゴコカクモンハマキ			○					○				
ミダレカクモンハマキ		○	○									
キンモンホソガ	○						○		○			
ギンモンハモグリガ	○			○	○	○	○	○	○	○	○	
クワコナカイガラムシ	○								○			
アブラムシ類					○	○						
リンゴハダニ	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	
ナミハダニ				○	○	○	○	○	○	○	○	

防除効果について基礎試験を行い，有効性を評価している。なお，公益社団法人青森県植物防疫協会や他県で得られたデータを参考にすることもある。実用化が見込まれる段階に進むと，メーカーと連携して品種や混用による薬害の有無を確認する。農薬登録が取得されているものについては，現地での防除効果や薬害の有無を確認するための実用化試験を行って実用性を評価し，得られたデータを基に防除暦への採用を検討する。

2　防除暦編成部会での検討

防除暦の原案は，農薬の実用性評価試験結果，当該年の病害虫の発生状況，青森県が集約した現場からの意見等に基づいて，りんご研究所が作成する。その後，青森県，公益社団法人青森県植物防疫協会，公益財団法人青森県りんご協会，全農あおもり，青森県農薬商業協同組合から構成される「青森県りんご病害虫防除暦編成部会」での検討を経て，防除暦が完成する。この防除暦を基にして，各JAや農薬販売店が独自の防除暦を作成し，特にJAでは，単協ごとに殺菌剤，殺虫剤，殺ダニ剤を時期ごとに指定している。

Ⅳ　防除暦の長所・短所

防除暦を利用するにあたって，長所と短所を知ることも大切である。

長所としては，①毎年の改訂更新にあたり，全県的な意思の統一が図られるため，指導がしやすい，②防除暦に従って防除を実施すると基本的に失敗しない，③全県的な問題（耐性菌・抵抗性害虫による多発等）があった場合に対応しやすい，等が挙げられるだろう。一方，短所としては，①一部地域や一部園地等個別に問題が生じた場合に，防除暦では対応しにくい，②防除暦に従うあまり，自園地の観察が疎かになることが挙げられる。

防除暦に従いながらも，自園地における発生状況を把握することが重要である。

お　わ　り　に

最近，「有機農業の推進」が叫ばれているが，戦前までの有機的な農業で苦労していた先人たちの歴史を振り返ると，リンゴでは険しい道のりが待っているといわざるをえない。たしかに，戦後に導入された有機合成農薬は，人畜に対する毒性，環境への悪影響，訪花昆虫への影響による不稔等の多くの問題を引き起こした。しかし，それらを反省材料に，現在では，国や農薬メーカー，関係機関が一体となった体制で，安全性を評価した農薬が作られている。このような農薬の薬効などの試験結果を基に，コストや環境負荷を最小化しながら必要な防除効果が得られるとともに，農薬によらない防除方法も記載することで，最近，特に推進されている総合的病害虫管理（IPM）にも合致した，工夫がなされている。

防除暦は100年以上もの間，戦時中などを除き，ほぼ途切れることなく毎年更新され，リンゴの高品質・安定生産に大きな役割を果たしてきた。リンゴ栽培が続く限り，防除暦は必要であり，これからも歴史を刻むことを確信している。

植物防疫講座

農薬編−42
アニリノピリミジン（AP）系殺菌剤

クミアイ化学工業株式会社　貴田健一（きだけんいち）

はじめに

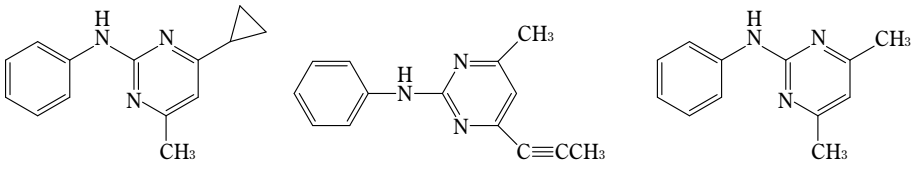
糸状菌における殺菌剤の作用点は細胞内の様々な器官に存在し，主要なものとしては生体細胞内のミトコンドリア内膜の呼吸鎖電子伝達系（複合体Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ）や細胞膜のステロール生合成等が挙げられる。一方で，生体を構成する最も基本的な成分の一つであるタンパク質，その構成成分であるアミノ酸の生合成阻害を示す化合物は少ない。タンパク質生合成阻害剤にはカスガマイシン，ストレプトマイシン，オキシテトラサイクリン，ブラシトサイシンSがあり，アミノ酸の生合成阻害剤には本稿で紹介するアニリノピリミジン系殺菌剤がある。国際的活動をしているFungicide Resistance Action Committee（FRAC）は，これらのタンパク質とアミノ酸の生合成阻害を作用機構として有する殺菌剤をグループDに分類している。アニリノピリミジン系殺菌剤はアミノ酸の中でもメチオニンの生合成を阻害するグループD1にさらに分類されている。本グループにはシプロジニル，メパニピリム，ピリメタニルが属している（表−1，図−1）（農業工業会，2021）。日本国内ではシプロジニル（商品名：ユニックス顆粒水和剤47）およびメパニピリム（商品名：フルピカフロアブル）が農薬登録を有しており，上市して25年以上経過するが多くの場面で有効な薬剤として活躍している。本稿ではこれらアニリノピリミジン系殺菌剤の概要を解説する。

Ⅰ 開発経緯

アニリノピリミジン系殺菌剤が開発された1990年以前の1970〜80年代は，現在では大きな化合物群を形成するステロール生合成阻害剤（SBI剤）の開発が各社で行われていた。一方，灰色かび病防除薬剤分野では，主要防除薬剤であったベンゾイミダゾール系殺菌剤，ジカルボキシイミド系殺菌剤の耐性菌，さらに複合耐性菌が出現し，新規作用性を有する薬剤の開発ニーズが高まっていた。SBI剤は灰色かび病への活性が弱く，SBI剤以外の新規作用機構の灰色かび病防除剤を目指す中で，ア

表−1　アミノ酸およびたんぱく質生合成を阻害する殺菌剤（アニリノピリミジン類抜粋）の作用機構分類（農薬工業会，2021を一部改変）

作用機構	作用点	グループ名	化学グループ名	一般名	耐性菌リスク	FRACコード
D：アミノ酸およびタンパク質生合成	D1：メチオニン生合成（cgs遺伝子）（提案中）	AP殺菌剤（アニリノピリミジン類）	アニリノピリミジン類	シプロジニル メパニピリム ピリメタニル	*Botrytis*属および*Venturia*属で耐性が知られている．*Oculimacula*属では散発的．中程度の耐性リスク．	9



シプロジニル　　メパニピリム　　ピリメタニル

図−1　アニリノピリミジン系殺菌剤

Anilinopyrimidine Fungicides.　　By Kenichi KIDA

（キーワード：アニリノピリミジン系殺菌剤，メチオニン生合成阻害，宿主細胞壁分泌阻害，シプロジニル，メパニピリム，ピリメタニル）

ニリノピリミジン系殺菌剤が創出された。アニリノピリミジン系骨格を有する殺菌剤として最初に報告された化合物は andoprin である（Grunwaldt et al., 1990）。本化合物のスペクトラムは各種べと病，疫病菌であり，現在のアニリノピリミジン系殺菌剤とは異なっていた。その後，1990 年にクミアイ化学がメパニピリムを創出，1995 年に国内登録を取得し，現在も果菜類，豆類，ブドウ，カンキツ等果樹類の灰色かび病剤やうどんこ病剤として販売している。同じく 1990 年，Schering（現バイエル社）がピリメタニル（商品名：SCALA）を創出，1993 年にフランスで登録取得後，果樹類，イチゴの灰色かび病剤として使用され，国内でも 1999 年に登録取得したが 2005 年に国内登録は失効となっている。最後に 1993 年に Ciba–Geigy（現シンジェンタ社）がシプロジニルを創出，フランスにてコムギ眼紋病，うどんこ病剤として登録取得した。国内では 1998 年に登録取得し，果樹類の灰色かび病剤，リンゴ，ナシの黒星病剤，コムギの眼紋病剤として現在も販売している。

II 作 用 機 構

作用機構の解明には菌糸の形態的変化が重要な要素となるが，アニリノピリミジン系殺菌剤では，薬剤を処理した菌糸において形態的変化は認められない。本系統の作用機構の研究は主に灰色かび病菌（*Botrytis cinerea*）を用いて行われており，シプロジニルは本菌に対しアミノ酸を含まない合成培地で高い抗菌活性を示すが，メチオニン添加培地，さらにメチオニンの前駆物質であるホモシステイン添加培地で抗菌活性が低下する。また，シスタチオニン添加培地では抗菌活性を維持するため，メチオニンの生合成経路のシスタチオニンからホモシテインの合成を触媒するシスタチオニン β–リアーゼを阻害するとされている（Masner et al., 1994）。同論文内ではメパニピリムやピリメタニルも同様にメチオニン添加培地で抗菌活性が低下するとしており，その低下幅はシプロジニルが最も大きく，ピリメタニル，メパニピリムの順であったとしている。FRAC による分類はこの結果に基づいている。一方で，灰色かび病菌の本系統に対する耐性菌を用いた研究で耐性菌と感受性菌でシスタチオニン β–リアーゼの遺伝子に変異がなかったことが報告されている（Leroux et al., 2002）。また，菌核病菌（*Sclerotinia sclerotiorum*）を用いた研究では *in vitro* で作出した菌核病菌のシプロジニル，ピリメタニル感受性低下菌において，メチオニン生合成経路のシスタチオニン β–リアーゼ，シスタチオニン γ–リアーゼにアミノ酸変異が認められないこと，感受性菌がシスチンまたはシステイン添加培地においてシプロジニルの阻害活性が低下することから，メチオニン生合成経路以外にこれらの生合成経路への作用も示唆されている（Hou et al., 2018）。このようにアミノ酸生合成阻害に関する報告は様々な報告があり，今後，さらなる詳細な研究が期待される。

メパニピリムの作用特性を後に詳細を述べるが，本剤の灰色かび病菌の胞子発芽阻害活性は弱く，それ以降の感染過程を強く阻害する。このことから Miura et al.（1994）は病原菌の分泌する宿主細胞壁分解酵素に着目した。植物体の表層は複数のワックス層，ペクチン層等複数の層から形成されており，植物病原菌に対して防御壁を構成している。植物病原菌が植物体内に侵入して寄生するには，これらの防御壁を突破する必要がある。植物体表層の傷口や気孔から感染するタイプの植物病原菌もあるが，灰色かび病菌を始め多くの植物病原菌は化学的に防御壁を壊すための宿主細胞壁分解酵素を産生する。この宿主細胞壁分解酵素の分泌阻害を灰色かび病菌で確認したところ，メパニピリムは 1 ppm でペクチナーゼの分泌を強く阻害した。またペクチナーゼ分泌阻害活性がメパニピリムの防除活性のあるリンゴ斑点落葉病菌で灰色かび病菌と同様に見られたのに対して，防除活性が低いイネごま葉枯病菌やキュウリ炭そ病菌では見られなかったことからも，この宿主細胞壁分解酵素の分泌阻害作用がメパニピリムの病害防除作用と深くかかわっていると考えられる。この宿主細胞壁分解酵素の分泌阻害はピリメタニルでも同様に報告されている（Milling and Richardson, 1995）。そのほかに，メパニピリムはアミノ酸やグルコースの菌体内への取り込みも阻害する。しかし，これら二つの作用性を比較すると宿主細胞壁分泌阻害活性がより低濃度で示されることから，これが主要な作用機構であるとされている（三浦，1995）。

ここまで述べてきたようにアニリノピリミジン系殺菌剤の作用機構は複数報告されており，それぞれの作用機構に強弱はあるもののなんらかの関与はしているものと考えられる。

III 作 用 特 性

ここでは国内登録を有するシプロジニルおよびメパニピリムについて作用特性の概要を述べる。

1　シプロジニル

国内においてシプロジニルはリンゴ，ブドウ，ナシを中心に果樹分野，畑作分野でコムギに登録を有している。特にリンゴ黒星病への効果は高く DMI 剤，QoI 剤耐性黒星病菌の発生した地域では，異なる系統の薬剤として貴重な薬剤となっている。リンゴ黒星病では接種 3

日後，5日後で防除効果を示し（赤平ら，2021），黒星病の重点防除時期の1剤として使用されている。治療活性はそのほかにも褐斑病（菅野・瀧田，2007），リンゴモニリア病（赤平・雪田，2001）でも報告されている。ただし，モリニア病では葉腐れの初期病斑発見直後での使用が推奨されている。

作用特性をみると，リンゴ斑点落葉病の培地上において菌糸生育阻害，発芽管伸長阻害，侵入阻害活性を有するが，胞子発芽阻害活性はほぼ示さない（小幡・平田，1997）。ブドウ灰色かび病菌に対しても同様の傾向を示す（杉井，1997）。移行性をみると，浸透移行性を有しており，コムギ葉では散布後は葉面から吸収，植物体内では葉肉細胞と導管組織を通って葉先に移行する。葉内への浸透性が高いことから安定した耐雨性を発揮する（杉井，1997）。

2　メパニピリム

国内においてメパニピリムはリンゴ，ブドウ等の果樹分野，イチゴ，ナス，キュウリ，トマト等の野菜分野，バラなどの花き類に登録を有している。これら作物の灰色かび病，うどんこ病，黒星病剤として67～200 ppmで使用されている。抗菌スペクトラムは表-2に示した通りである。防除特性は予防効果主体となるが，リンゴ黒星病に対しては治療活性を示す。根からの浸透移行性は低いが，局所的な移行性である葉表から葉裏，葉裏から

表-2　メパニピリムの病害スペクトラム

作物	病害名	病原菌名	活性
アブラナ科野菜類	根こぶ病	*Plasmodiophora brassicae*	×
バレイショ	疫病	*Phytophthora infestance*	×
ブドウ	べと病	*Plasmopara viticola*	×
キュウリ	うどんこ病	*Podosphaera xanthii*	○
イチゴ	うどんこ病	*Podosphaera aphanis*	○
リンゴ	うどんこ病	*Podosphaera leucotricha*	○
コムギ	うどんこ病	*Blumeria graminis*	○～△
イネ	ばか苗病	*Gibberella fujikuroi*	×
リンゴ	腐らん病	*Valsa ceratosperma*	×
カンキツ	黒点病	*Diaporthe citri*	△
野菜類	菌核病	*Sclerotinia sclerotiorum*	○～△
オウトウ	灰星病	*Monilinia fructicola*	○
カンキツ	そうか病	*Elsinoë fawcettii*	△
キュウリ	つる枯病	*Didymella bryoniae*	△
リンゴ	黒星病	*Venturia inaequalis*	◎
ナシ	黒星病	*Venturia nashicola*	○
ナシ	輪紋病	*Botryosphaeria berengeriana*	×
イネ	ごま葉枯病	*Cochliobolus miyabeanus*	×
ナシ	赤星病	*Gymnosporangium asiaticum*	×
コムギ	赤さび病	*Puccinia recondita*	×
野菜類	白絹病	*Sclerotium rolfsii*	×
イネ	紋枯病	*Rhizoctonia solani*	×
野菜類	灰色かび病	*Botrytis Cinerea*	◎
カンキツ	緑かび病	*Penicillium digitatum*	×
イネ	いもち病	*Pyricularia oryzae*	×
リンゴ	斑点落葉病	*Alternaria mali*	○
ナシ	黒斑病	*Alternaria kikuchiana*	○～△
テンサイ	褐斑病	*Cercospora beticola*	×
ウメ	黒星病	*Cladosporium carpophilum*	○
トマト	斑点病	*Stemphylium lycopersici*	×
野菜類	苗立枯病，萎凋病，根腐病	*Fusarium oxysporum*	×
キュウリ	炭疽病	*Colletotrichum orbiculare*	×
チャ	輪斑病	*Pestalotiopsis longiseta*	△
バラ	黒星病	*Diplocarpon rosae*	○

◎：効果高い，○：効果あり，△：効果あるが弱い，×：効果なし．

葉表の浸達性を有しており，葉内への浸透性が高いことから優れた耐雨性を有する。作用特性をみると，100 ppm でも胞子発芽阻害活性は示さず，菌糸生育阻害活性も十分でない。一方で，2 次付着器形成阻害，発芽管伸長阻害，侵入阻害活性は 1 ppm で強い活性を示す（図-2）。リンゴ黒星病菌でも同様の傾向（前野ら，1992）があると報告されていることから，メパニピリムの植物病原菌に対する共通した作用特性と考えられる。また，予防効果主体のメパニピリムがリンゴ黒星病に治療活性を示すのは，潜伏期間が長い（感染成立に時間を要する）病害であることから，胞子が葉の表面に存在してから一定期間であれば，付着器形成から侵入阻害活性が強いメパニピリムでも防除効果を示すと考えられている。

Ⅳ　耐性菌の現状および対策

アニリノピリミジン系殺菌剤の耐性菌発生リスクは FRAC において「中程度」に分類されている。本系統の耐性菌に関しては，1991 年にフランスのブドウ試験圃場にて灰色かび病菌の感受性低下菌が初めて分離された（Forster and Staub, 1996）。その後，コムギ眼紋病菌で報告がある（Lerouox et al., 2012）。国内ではトマト灰色かび病菌（鈴木ら，2011），コムギ眼紋病（小松ら，2010），リンゴ黒星病で感受性低下を報告されている。ただし，リンゴ黒星病菌に関しては，感受性低下が報告されているがシプロジニルは ***in vivo*** 試験での有効性が示されており，現在でも重要な薬剤の一つとして使用されている（平山，2020）。

アニリノピリミジン系殺菌剤耐性灰色かび病菌は，感受性低下幅が異なる高度耐性菌，弱耐性菌の 2 種が存在する。高度耐性菌は本系統のみに耐性を示すことから，本系統の作用点変異であると考えられている。一方，弱耐性菌は本系統以外の薬剤にも耐性を示すことから病原菌の薬剤排出機構が関係しているとされている（Chapeland et al., 1999）。

アニリノピリミジン系殺菌剤は前述の通り耐性菌発達リスクが「中程度」に分類されている。また，FRAC では防除対象である病原菌の耐性リスクも評価しており，本系統の主たる防除対象である灰色かび病菌，うどんこ病菌，リンゴ黒星病菌はいずれも病原菌リスク「高」に分類されており，複合リスクにもとづく考え方では栽培環境条件によっては高まる場合もあり，耐性菌対策は重要となる。JFRAC（FRAC 日本支部）では耐性菌発生遅延化のための果樹分野，野菜分野で使用ガイドラインを策定している。本系統についても灰色かび病，黒星病防除について策定しているので参照いただきたい（農薬工業会，2017）。耐性菌対策を講じるうえではモニタリングにより薬剤感受性分布を把握することも重要である。本系統の感受性検定の際には作用機構の一つがアミノ酸生合成阻害であることから培地の種類によっては感受性菌であっても十分な抗菌活性が得られない場合があり注意が必要である。灰色かび病菌では本系統の 3 剤で共通した感受性検定法（FGA-ペーパーディスク法）が確立している。本検定方法は，作用機構である宿主細胞壁分解酵素の菌体外への分泌阻害作用に着目し，高分子化合物を含有する合成培地上で分解酵素の分泌により高分子化合物を低分子化されないと菌糸生育に必要な栄養素を直接摂取できないという仕組みを利用した方法である。培地は FGA 培地，検定薬剤はメパニピリム，接種は胞

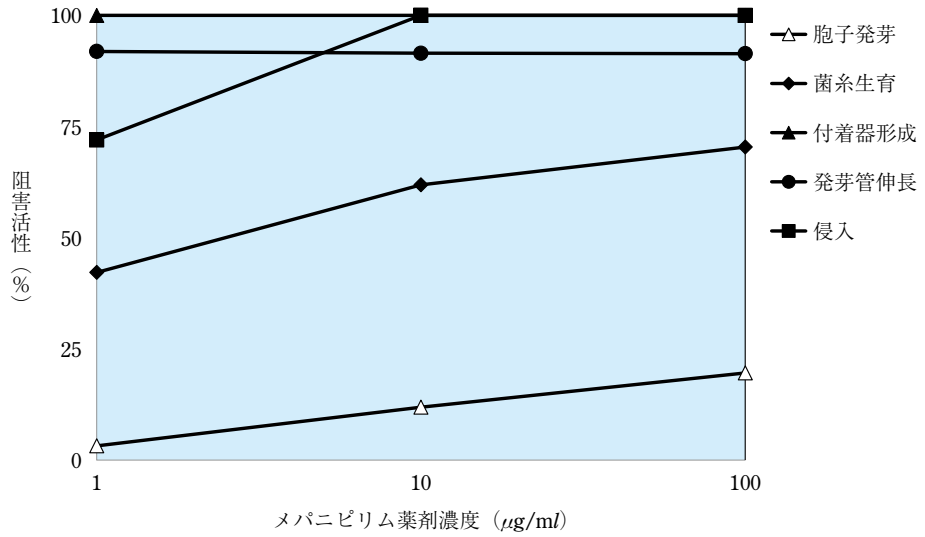


図-2　メパニピリムの灰色かび病菌の生活環に対する阻害活性

子懸濁液をしみ込ませたペーパーディスクを用いる。感受性ベースラインはMIC値3 ppmとし，3 ppmでMIC値が取れなかった場合は生物効果を確認することとしている（高垣ら，2000）。

お　わ　り　に

アニリノピリミジン系殺菌剤は1990年代に開発され30年が経過した。この30年の歴史を見てみると，他系統の薬剤では上市数年で耐性菌が発生し，使用中止となった薬剤もある中で，本系統は開発当初の灰色かび病の耐性菌対策剤としての狙い通り，今なおその役割を果たし続けている。このように本系統の薬剤は耐性菌の報告はあるものの，報告事例は国内でも少ない。また耐性菌発生事例に着目してみても，耐性菌発生以降，ローテション散布などの耐性菌対策を行ったうえで使用を続ければ耐性菌率も上がらず，有効な薬剤として使用が可能であることが報告されている（川上ら，2019）。今般，世界的に様々な規制により農薬開発のハードルが上がる中で，本系統のように古くても長く使える薬剤は貴重な存在である。今後もこの特長を活かし，メーカーとして関係機関と協力して一体となった耐性菌対策管理を行い，本系統の薬剤が引き続き農業の現場で貢献できる薬剤としてあり続けられるよう希望する。

引　用　文　献

1）赤平知也ら（2021）：植物防疫 **75**：242～247.
2）――――・雪田金助（2001）：東北農業研究 **54**：145～146.
3）Chapeland, F. et al.（1999）：Pestic. Biochem. Physiol. **64**：85～100.
4）Forster, B. and T. Staub（1996）：Crop Prot. **15**：529～537.
5）Grunwaldt, G. et al.（1990）：Pestic. sci. **30**：323～325.
6）平山和幸（2020）：日植病報 **86**：201.
7）Hou, Y. et al.（2018）：Pestic. Biochem. Physiol. **146**：80～89.
8）川上　拓ら（2019）：関西病虫研報 **61**：15～22.
9）小幡秀文・平田明靖（1997）：日植病報 **63**：222.
10）小松　勉ら（2010）：北日本病虫研報（講要）**61**：264.
11）Leroux, P. et al.（2012）：Pest Manag. Sci. **69**：15～26.
12）――――― et al.（2002）：ibid. **58**：876～888.
13）前野真一郎ら（1992）：日植病報 **58**：610.
14）Masner, P. et al.（1994）：Pestic. sci. **42**：163～166.
15）Milling, R. J. and C. J. Richardson（1995）：Pestic. Sci. **45**：43～48.
16）三浦一郎（1995）：植物防疫 **49**：115～119.
17）Miura, I. et al.（1994）：Pestic. Biochem. Physiol. **48**：222～228.
18）農薬工業会（2021）：FRAC作用機構分類一覧表2021，https://www.jcpa.or.jp/assets/file/labo/mechanism/2021/mechanism_frac.pdf
19）――――――（2017）：アニリノピリミジン使用ガイドライン，https://www.jcpa.or.jp/labo/jfrac/guidelines.html
20）菅野英二・瀧田誠一郎（2007）：北日本病虫研報 **58**：71～74.
21）杉井信次（1997）：第7回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講演要旨集：10～18.
22）鈴木啓史ら（2011）：日植病報 **77**：1～6.
23）高垣真喜一ら（2000）：植物防疫 **54**：153～157.

植物防疫講座

農薬編–43
ミトコンドリア電子伝達系複合体 III 阻害剤–Qi サイト

日本化薬株式会社 アグロ研究所　小林　武
株式会社 MMAG 生物科学研究所　武内晴香

はじめに

呼吸阻害剤は，これまで数多くの有効成分が殺菌剤，殺虫剤，殺ダニ剤として農薬登録され，植物防疫上欠かせない存在となっている。Insecticide Resistance Action Committee（IRAC）による作用機構分類で，呼吸阻害剤はミトコンドリア電子伝達系複合体阻害剤，脱共役剤，ATP 生合成酵素阻害剤に分類されるが，製品化されている多くは電子伝達系複合体阻害剤である。ミトコンドリア電子伝達系では，複合体 I から III が呼吸基質から分子状酸素までの酸化還元反応を触媒し，同時にミトコンドリアの膜間スペースにプロトンを集積させる役割を担う。それにより生じた電気化学ポテンシャルが複合体 IV により生命活動に必須な ATP 合成の駆動力を生み出す。したがって，呼吸鎖複合体のいずれかを阻害すると ATP 産生が阻害され，対象生物は速やかに死に至る。

複合体 III を阻害する薬剤については，本誌第 72 巻第 11 号（2018 年）の中でも紹介されており（森下，2018），実は今回が初めてではない。そのメカニズムについて改めて述べると，複合体 III はユビキノール–シトクロム c 酸化還元酵素であり，シトクロム bc1 複合体とも呼ばれる。この酵素はミトコンドリア内膜の細胞質側（Qo サイト）においてユビキノール（QH_2）の酸化およびマトリクス側（Qi サイト）においてユビキノン（Q）の還元を触媒する（Trumptower, 1990）。IRAC では，最近まで Group20 を「ミトコンドリア電子伝達系複合体 III 阻害剤」と称し分類していた。ここに属する薬剤は厳密には複合体 III の「Qo サイト」阻害活性を有する殺ダニ剤であり，Qi サイトを阻害する有効成分は存在しなかった。今般，フロメトキンが殺虫剤では初めてとなる Qi サイト阻害剤として国内外で注目を集め，2021 年 9 月に IRAC の作用機構分類の改定において，新規に Group34「ミトコンドリア電子伝達系複合体 III 阻害剤–Qi サイト」に正式に分類されるに至った（農薬工業会，2021）（表–1）。それに伴い，従来の Group20 に属する農薬は「ミトコンドリア電子伝達系複合体 III 阻害剤–Qo サイト」と改名された。本稿では新規に創設された Group34 の薬剤，フロメトキンについて解説をする。

I 開発の経緯

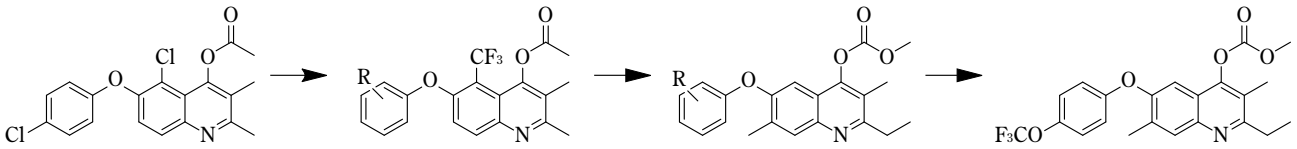
フロメトキンは日本化薬株式会社と株式会社 MMAG（旧 Meiji Seika ファルマ株式会社）が共同で創製した新規有効成分であり，ミトコンドリア電子伝達系 III–Qi サイトを阻害する初めての殺虫剤である。探索開始当初は市場規模が大きいチョウ目への活性を追求していたが（図–1，化合物 1），キノリン誘導体の評価を進める中でアザミウマに対する効果が大きく変化することに着目し（図–1，化合物 2），難防除害虫であり，新規の作用機構

表–1　IRAC 殺虫剤作用機構分類（一部抜粋，改変）

主要グループと一次作用部位	サブグループあるいは代表的有効成分	有効成分	農薬名（例）（剤型省略）	標的生理機能
34 ミトコンドリア電子伝達系複合体 III 阻害剤–Qi サイト	フロメトキン	フロメトキン	ファインセーブ	エネルギー代謝

Mitochondrial Complex III Electron Transport Inhibitors – Qi Site. By Takeru Kobayashi and Haruka Takeuchi

（キーワード：フェノキシキノリン，フロメトキン，ミトコンドリア電子伝達系複合体 III Qi サイト阻害剤，殺虫剤，作用機構）



図–1　フロメトキンの創製経緯

を有する殺虫剤の要望の高いアザミウマにメインターゲットを絞った。さらに誘導体合成を進め，殺虫活性，安全性の点で最適化を行い，フロメトキンを見いだした（図–1）。フロメトキンはアザミウマ類，タバココナジラミ類，サビダニ類およびコナガ等に対し優れた殺虫効果を示し，既存薬剤に対する低感受性個体群にも有効である。2018 年 3 月になす，トマト等の果菜類，キャベツ，はくさい等の葉菜類，カンキツ，ネギ類等の作物で国内の農薬登録を取得し，同年 6 月にフロメトキンを 10% 含有する「ファインセーブ®フロアブル」の販売を開始した。2022 年 5 月時点ではケニア，トルコ，韓国等を含む 13 か国で農薬登録を取得している。

II 作 用 機 構

上述の通り，フロメトキンはミトコンドリア電子伝達系の複合体 III Qi サイトを阻害する新規な作用機構を示す（図–2）。作用機構の検討にあたり，虫体に処理した際の速効性や麻痺による歩行不良等の症状から，呼吸鎖複合体に着目した。イエバエやアザミウマ由来のミトコンドリア粗酵素溶液を用いて呼吸鎖の各複合体に対する阻害活性を測定したところ，複合体 III を特異的に阻害することが明らかとなった。複合体 III はシトクロム c を還元させる機能を有することから，添加したシトクロム c が還元型シトクロム c へ変化する現象を吸光度の上昇の有無により判断した。結合サイトの詳細な検討のために Double Kill 法（von Jagow et al., 1981；Berry et al., 2010；Xiao et al., 2014）を用いた試験を進めた。その結果，Qo サイトの阻害剤であるミキソチアゾールとの混合により複合体 III を構成するヘム b 内の電子の流れが遮断された。これは Qo サイトと Qi サイト両方が阻害されたことを意味し，フロメトキンはユビキノン還元部位である Qi サイトを阻害することが明らかとなった（武内ら，2018）。

また，フロメトキン本体では呼吸鎖阻害活性は認められず，フロメトキンの脱アシル化体である OH 体で明確な阻害活性が確認されている（武内ら，2018）。このことからフロメトキンは対象害虫の体内で代謝を受けて活性を示すと推察された。殺菌剤分野ではシアゾファミド，アミスルブロム，フェンピコキサミドが Qi サイトを阻害する農薬として既に知られているが（荒木ら，2020），殺虫殺ダニ剤分野ではフロメトキンが初めてであり，唯一の有効成分となっている。

III 作 用 特 性

フロメトキンはチョウ目，カメムシ目，アザミウマ目，ハエ目，ダニ目の害虫に殺虫効果を示す。残効性や耐雨性にも優れているうえ，食毒，接触毒，ともに高い殺虫効果を有し，幼虫・成虫，いずれの生育ステージにも有効である。特にアザミウマ目に対しては卓効を示し，ミナミキイロアザミウマ，ネギアザミウマ，ミカンキイロアザミウマ，チャノキイロアザミウマ等主要アザミウマ類に対する圃場での防除効果は既存剤と比較しても非常に高い。アザミウマ類に対する苦悶もしくは死亡に至るまでの作用速度は既存剤と比較して速く，作物に飛来する成虫に対しても速効的に作用するため，直接的な被害防止効果のみならず，ウイルス媒介抑制効果も期待できる（三宅ら，2018）。実際にアイリス輪紋ウイルス（IYSV）保毒ネギアザミウマを用い，ウイルス媒介抑制効果を検証したところ，ウイルス媒介抑制効果を確認することができた（図–3）。アザミウマへの卓効を示す一方で標的外生物に対する影響は低い。表–2 に示す通り，各種カブリダニ類やタバコカスミカメ等の天敵類への影響は低く，ミツバチ，マルハナバチ等のハチ類やヒロズキンバエ等のポリネーターに対する影響も極めて低い。いずれの天敵，ポリネーターの使用についても，フロメトキン剤散布翌日から安全に放飼できる。ミツバチに対しては，フロメトキンの複合体 III の阻害活性が低いことを確認しており，選択毒性が作用点レベルで発現されていると考えられている。物理化学的性状を表–3 に示す。物理化学的な特徴としては水溶解度が低く，水/オクタノール分配係数（LogPow）の値は非常に高い。したがって，植物や虫体への吸収が速く，耐雨性に優れる一方，植物体内での浸透移行性や浸達性は低く，使用にあたっては散布ムラが生じないようていねいに散布することが求められる。

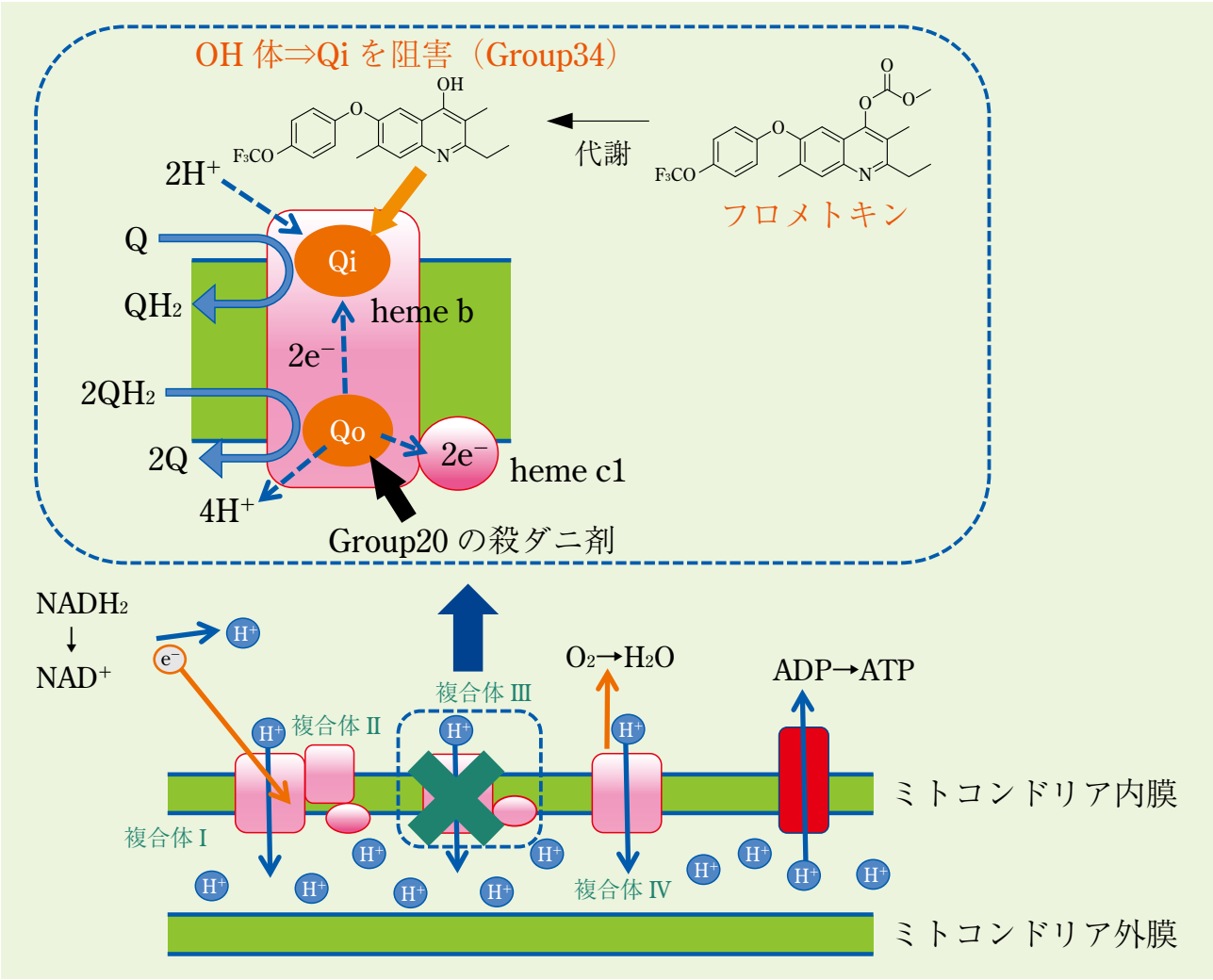
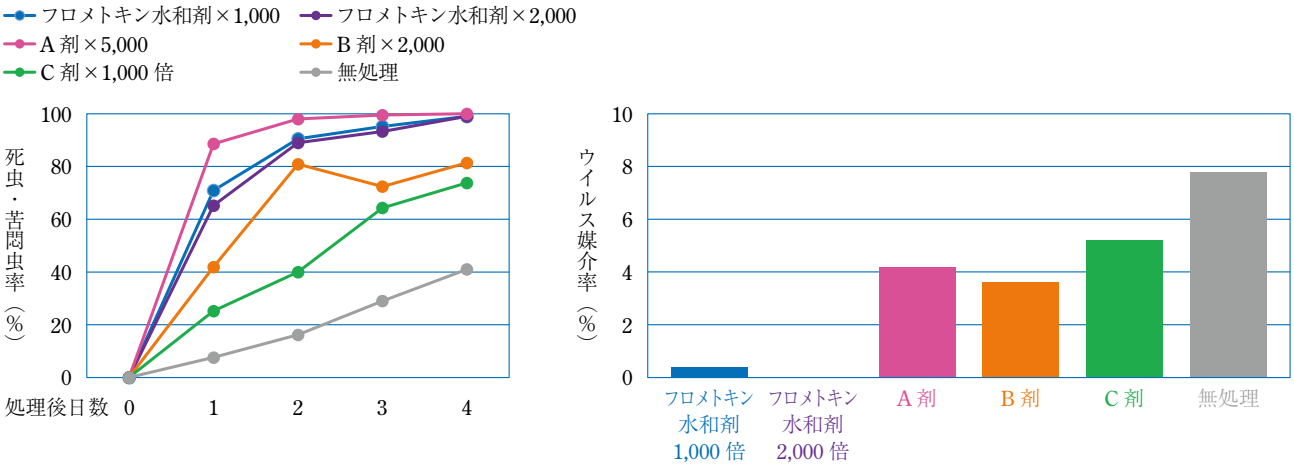


図-2　呼吸差複合体の模式図と複合体 III の模式図詳細



試験方法：インパチェンスリーフディスク法．容器に葉片と保毒ネギアザミウマ 1 頭を入れ経時的に生死を確認した．媒介の有無は ELISA で確認した．
試験地：秋田県立大学．

図-3　ネギアザミウマに対するアイリス輪紋ウイルス（IYSV）媒介抑制効果

表-2　標的外生物に対するフロメトキンの影響

天敵に対する影響

供試種名	影響日数	補足情報
ククメリスカブリダニ	0	
スワルスキーカブリダニ	0	
チリカブリダニ	0	
ミヤコカブリダニ	0	
リモニカスカブリダニ	0	
コレマンアブラバチ	–	成虫：当日放飼で影響有
オンシツツヤコバチ	1	
サバクツヤコバチ	1	
イサエアヒメコバチ	1	
ハモグリコマユバチ	–	成虫：当日放飼で影響有
ハモグリミドリヒメコバチ	–	成虫：当日放飼で影響有
ヨトウタバゴバチ類	1	
タイリクヒメハナカメムシ	7	
ナミヒメハナカメムシ	–	成虫：直接曝露で影響有
タバコカスミカメ	1	
クロヒョウタンカスミカメ	14～28	成虫：14日，幼虫：28日
ホソヒラタアブ	–	成虫：直接曝露で影響有
ヤマトクサカゲロウ	1	
クモンクサカゲロウ	–	幼虫：直接曝露で影響有
ナミテントウ	–	成虫：当日放飼で影響有
カメノコテントウ	14～28	
アリガタシマアザミウマ	7	
ウヅキコモリグモ	–	幼体：直接曝露で影響有

–：影響日数の設定なし.

有用昆虫や有用微生物に対する影響

供試種名	影響日数	補足情報
セイヨウミツバチ	1	直接施用で影響無（経口・経皮）
クロマルハナバチ	1	直接施用で影響無（経口・経皮）
セイヨウオオマルハナバチ	1	直接施用で影響無（経口・経皮）
ヒロズキンバエ	1	
カイコ	61以上	
バーディシリウム・レカニ	なし	
ボーベリア・バシアーナ	なし	
エルビニア・カロトボーラ	なし	
バチルス・スブチリス	なし	

–：影響日数の設定なし.

表-3　フロメトキンの物理化学的性状（日本植物防疫協会，2021. 農薬ハンドブック 2021 年度版より引用）

各種項目	性状，数値など
外観	白色
臭気	わずかに甘い芳香臭
融点，℃	116.6～118.3
蒸気圧，Pa	9.04×10^{-9}（25℃）
水溶性，mg/*l*	0.001203
オクタノール/水分配係数（LogPow）	5.41（室温）

Ⅳ　抵抗性の現状と管理

Group34 の薬剤に対する抵抗性の報告例は現時点で確認されていない。現在，殺虫剤抵抗性の報告件数は世界的に増加傾向であり，日本においても報告件数は年を追って増加傾向である。2020 年度の報告件数は 1,233 件に上っており，2016 年度の報告件数である 711 件と比較しても 4 年間で約 1.7 倍に増加している（岡田・井田，2022）。この報告の中で複数の都道府県を対象に新たな代替農薬・技術確立の必要性についてのヒアリング結果が報告されており，「緊急性がある」と回答があった害虫として，タバココナジラミ，ミナミキイロアザミウマおよびネギアザミウマがあげられている。これらの害虫は，農林害虫防除研究会殺虫剤抵抗性対策タスクフォースが発行するリスク評価表において，害虫リスク「高（リスク値 3）」に分類されており（農林害虫防除研究会 殺虫剤抵抗性タスクフォース，2021）いずれもフロメトキンがターゲットとする害虫である。本抵抗性リスク評価表での抵抗性総合リスク値は，殺虫剤リスク値（作用機構からの判定）と害虫リスク値を乗じた値（固有値）に加え，該当地域の栽培体系，害虫の発生状況，総合的病害虫・雑草管理（Integrated Pest Management：IPM，以下 IPM）技術の普及状況等の要素を加味した栽培・地域リスク値を乗じて計算されている。連用を避けることや IPM 技術と併用する等の現場での管理に積極的に情報提供し，抵抗性総合リスク値を低減することが重要であると考えている。

お　わ　り　に

フロメトキンが国内上市されて約 3 年が経とうとしている。この間，普及のために様々な現場を往訪させていただいたが，基本的な作用特性はもちろん，天敵影響や

影響日数についても聞かれることが多く，IPM 推進の高まりを肌で感じている。ワイドスペクトルな薬剤は使い勝手はよいが，施設栽培や果樹栽培等，天敵やポリネーターを導入する現場では使用場面が限られており，現状，薬剤抵抗性の問題も相まって使用できる薬剤も少ない状況である。フロメトキンは天敵やポリネーターへの安全性が高く，天敵導入時に使用できる数少ない薬剤であると同時に Group34 唯一の薬剤としてユニークな作用性を有する。IPM を実施するうえでも，フロメトキンは今後ますます欠かせない資材になることを確信している。

フロメトキンの作用機構の解明にあたり，多大なご指導，ご助言をいただいた京都大学の三芳秀人教授および村井正俊准教授に厚く御礼申し上げる。

引　用　文　献

1）荒木智史ら（2020）: 植物防疫 **74**: 183～188.
2）Berry, E. A. et al.（2010）: Biochim. Biophys. Acta. **1797**（2010）: 360～370.
3）三宅孝明ら（2018）: 第 62 回日本応用動物昆虫学会大会 : 6（講要）.
4）森下　祥（2018）: 植物防疫 **72**: 746～751.
5）日本植物防疫協会（2021）: 農薬ハンドブック 2021 年度版, 223～224.
6）農林害虫防除研究会 殺虫剤抵抗性タスクフォース（2021）: 殺虫剤抵抗性リスク評価表.
7）農薬工業会（2021）: 日本における農業用殺虫剤の作用機構, https://www.jcpa.or.jp/assets/file/labo/mechanism/2021/mechanism_irac03.pdf
8）岡田和秀・井田　仁（2022）: 植物防疫 **76**: 312～318.
9）武内晴香ら（2018）: 第 62 回日本応用動物昆虫学会大会 : 6（講要）.
10）Trumptower, B. L.（1990）: J. Biol. Chem. **265**: 11409～11412.
11）von Jagow, G. et al.（1981）: FEBS Lette. **13**: 19～24.
12）Xiao, Y. M. et al.（2014）: PLos One **9**（2014）: Article e93765.

登録が失効した農薬（2022.5.1～5.31）

掲載は，**種類名**，登録番号：**商品名**（製造者又は輸入者）登録失効年月日。

「殺菌剤」

●プロピコナゾール・メプロニル水和剤
17731：**バシパッチ水和剤**（株式会社理研グリーン）22/5/6

「除草剤」

●フェンメディファム水和剤
22597：**ホクサンベタナールフロアブル**（ホクサン株式会社）22/5/2
●デスメディファム・フェンメディファム乳剤
22598：**ホクサンベタブロード乳剤**（ホクサン株式会社）22/5/2
●シクロスルファムロン・ダイムロン・フェントラザミド粒剤
20513：**アガリア 1 キロ粒剤**（BASF ジャパン株式会社）22/5/26
●カフェンストロール・シクロスルファムロン・ダイムロン粒剤
20767：**キクベジャンボ**（BASF ジャパン株式会社）22/5/26

研究室紹介

茨城県農業総合センター農業研究所 病虫研究室

茨城県は肥沃な土地と温暖な気候に恵まれ，農業産出額は全国第3位の農業県です。また，大消費地に近い地理的条件もあり，東京都中央卸売市場における茨城県産青果物の取扱高は18年連続で1位となっています。最近はサツマイモがスーパーやコンビニでの焼き芋需要で出荷が増え，価格も好調で販売額を伸ばしています。そのような大生産地である茨城県において，農業研究所では，水稲，麦，ダイズ等の普通作物やサツマイモを対象に，茨城県に適した品種選定，高品質安定栽培技術の開発，環境に配慮した栽培技術の開発や，スマート農機等先端技術を活用した栽培管理の効率化と省力・低コスト生産技術の開発に取り組んでいます。

当研究所は，明治33年に茨城県立農事試験場として設立され，昭和25年に農業試験場と改称，昭和43年に現在地の水戸市上国井町に移転しています。平成4年に茨城県農業総合センター農業研究所と改称し，現在に至っております。病虫研究室では普通作物とサツマイモを対象に病害虫防除技術の開発，発生予察技術の開発，新たな病害虫に対する防除技術の開発等に取り組んでいます。

1　イネ縞葉枯病の防除対策

近年，ヒメトビウンカが媒介するイネ縞葉枯病が県内で問題になっています。防除対策の一つとして，薬剤防除は有効な手段ですが，薬剤の選択肢が限られていることから基幹薬剤に対する感受性の低下が懸念されています。そこで，県内で採集したヒメトビウンカについて薬剤感受性の調査を行いました。また，新規系統の薬剤について，多発生地域の現地圃場でヒメトビウンカに対する防除効果の検証を行い，これらの結果を技術資料として情報提供しています。このほかにも，イネ縞葉枯病抵抗性品種を導入することで，発病を抑えるだけでなく，ヒメトビウンカの保毒虫率を低減させる効果が期待されることから，その実証試験も実施しています。薬剤防除や耕種的防除など様々な手段を講じた総合的防除を地域一体となって取り組むことで，本病を抑えられるよう取り組んでいます。

図-1　イネ縞葉枯病の発病株

2　サツマイモつる割病の防除対策

サツマイモは茨城県を代表する園芸作物で栽培面積は全国2位，生産額は1位の重要な作物です。土壌病害虫の防除は欠かせないのですが，つる割病対策で行われている薬剤に対して十分な効果が得られない事例がありました。このため県内各産地を調査したところ，薬剤感受性の低下が半数近くの地点で見つかったことから対策が急務となりました。まず，速やかに薬剤感受性を判定するため，LAMP法による判別法を開発しました。同時に，薬剤耐性菌に対して有効な薬剤の選抜に取り組みました。この結果，有効な薬剤が選抜でき，メーカーとの協力で適用拡大を申請することができました。

図-2　ヒメトビウンカ（左：雌成虫，中央：雄成虫，右：幼虫）

図-3　サツマイモつる割病の発病株

3　的確な防除のための発生予察技術の開発

農研機構が開発したメッシュ農業気象データシステムを利用した，水稲病害虫の発生時期予測モデルの適合性の検証に取り組んでいます。令和4年からは農水省委託プロジェクト研究「省力的なIPMを実現する病害虫予報技術の開発」に参画し，県内の斑点米カメムシ類の主要種であるクモヘリカメムシと，イネ縞葉枯ウイルスを媒介するヒメトビウンカについて，メッシュ農業気象データシステム等を活用した発生予測モデルの開発と，実際の発生消長との適合性を検証に取り組む予定です。

以上，当研究室の取組事例を紹介しましたが，このほかにも斑点米カメムシ類の一種であるイネカメムシの発生拡大やサツマイモ基腐病の対策等，ますます重要となる課題もあります。生産現場の指導機関，農研機構，関係都道府県との協力，連携を深めて取り組んでまいります。

（室長　小林則夫）

〒311-4203　茨城県水戸市上国井町3402
TEL　029-239-7211

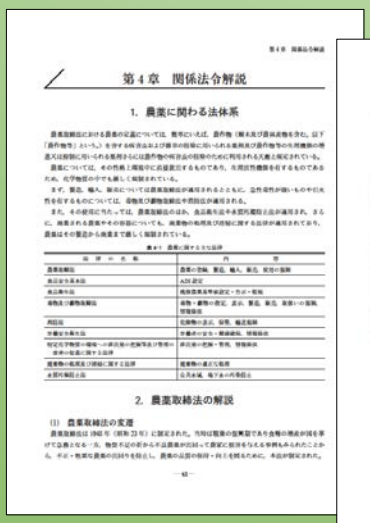
７月７日発刊　予約受付中!!

農薬概説 2022

Ｂ５判：382頁　価格：2,750円
(税込、送料サービス)

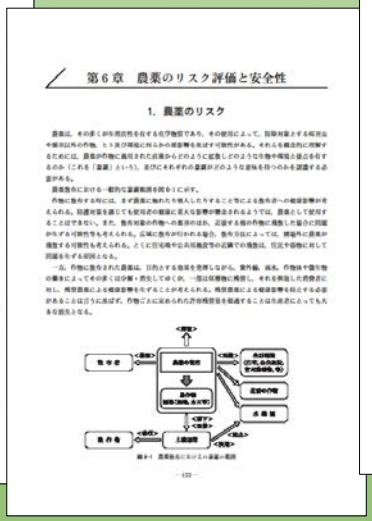
農薬使用者や指導者に必須の１冊

- 農薬の安全性や法律等に基づく適正使用，病害虫・雑草の防除に関する内容を最新の情報で掲載しています．
- 農薬を使用する上で必要となる情報を収録．農薬を学ぶための教科書としても最適です．
- 農薬管理指導士等として認定するための研修会テキストとして，全国で広く活用いただいています．


第４章　関係法令解説

1. 農薬に関わる法体系

2. 農薬取締法の解説


第６章　農薬のリスク評価と安全性

1. 農薬のリスク

第８章　施用技術

1. 散布技術の基礎

【掲載内容】

第１章　作物保護と農薬
第２章　植物防疫行政
第３章　農薬行政
第４章　関係法令解説
第５章　農薬の一般知識
第６章　農薬のリスク評価と安全性
第７章　農薬の安全・適正使用
第８章　施用技術
第９章　病害虫・雑草とその防除
資　料　植物防疫・農薬に関する法令，登録農薬の現状，農薬の有効成分登録年次一覧，作用機構分類

一般社団法人 日本植物防疫協会

＊書店では取り扱ってございません．

ご注文はJPPAオンラインストアより
https://jppaonlinestore.raku-uru.jp

学 会 だ よ り

○第 26 回農林害虫防除研究会東京大会のご案内

日時：2022 年 8 月 26 日（金）9:30～16:30
開催方法：オンライン開催（Zoom によるライブ配信）
特別講演：テーマ：「離島の生態系・農業に及ぼす外来種の影響：小笠原諸島，伊豆諸島を例に」

1　世界自然遺産　小笠原諸島の生態系と外来種問題　大河内　勇氏（元 森林総合研究所）
2　“カタツムリの島”小笠原諸島の陸産貝類の過去・現在・未来：農業との関係から　千葉　聡氏（東北大学）
3　一難去ってまた一難：小笠原諸島・伊豆諸島における外来種としての農業害虫問題とその対策　大林　隆司（東京都農林総合研究センター）

スケジュール（予定）
8 月 26 日（金）
9:30～ 9:40 開会挨拶　研究会会長，大会長
9:40～11:30 一般講演
11:30～12:00 総会
13:00～15:00 特別講演
15:00～16:25 一般講演
16:25～16:30 閉会挨拶　研究会副会長

参加申込みは，8 月 4 日（木）まで，講演申込は 7 月 16 日（土）
詳細は http://agroipm.org よりご確認ください。

広告掲載会社一覧　（掲載順）

ダウ・アグロサイエンス日本(株)……主要品目
サンケイ化学(株)……メタアルデヒド
バイエルクロップサイエンス(株)……モベント
日本ワイドクロス(株)……クロスレッド
日本曹達(株)……ダニオーテ
ファンタジスタ普及会……ファンタジスタ
日本農薬(株)……AI 診断
石原バイオサイエンス(株)……ランマン
日産化学(株)……グレーシア
クミアイ化学工業(株)……プロポーズ

○第 16 回植物病害診断教育プログラム開講のお知らせ

開催期間：2022 年 8 月 22 日（月）～8 月 26 日（金）
開催場所：秋田県立大学生物資源科学部
申込期間：6 月 20 日（月）～7 月 4 日（月）
詳細は学会ホームページでご確認ください。

○日本ダニ学会大会のお知らせ

第 31 回大会は，2022 年 9 月 16 日（金）～18 日（日）に，京都大学農学部にて，オンサイトとオンラインのハイブリッドで開催されます。詳細は学会ホームページでご確認ください。

次号予告

次号 2022 年 8 月号の主な予定記事は次のとおりです。

ミニ特集：サツマイモ基腐病対策
サツマイモ基腐病の発生生態と防除対策　小林有紀
LAMP 法によるサツマイモ基腐病の迅速遺伝子診断技術とその活用　前島健作ら
サツマイモ基腐病の発病リスクを軽減する塊根管理技術　西岡一也
イネ判別品種に対するトビイロウンカ飛来個体群における加害性の長期モニタリング　藤井智久ら
輸出用茶栽培のためのコミカンアブラムシ防除薬剤の検討と虫体の混入が茶の品質に及ぼす影響　井上梨絵
ツマジロクサヨトウ用フェロモントラップで誘引されたチョウ目昆虫　吉松慎一ら
病害虫の見分け方シリーズ：キュウリ病害の見分け方　日本植物防疫協会
研究室紹介：愛媛県農林水産研究所 果樹研究センター 病理昆虫室　金﨑秀司
東京都農林総合研究センター 生産環境科　益永利久

植物防疫
2022 年
7 月 号
（毎月 1 回 1 日発行）

第 76 巻　2022 年 6 月 25 日印刷
第 7 号　2022 年 7 月 1 日発行
（通算 907 号）

定価 965 円
本体 877 円

編集発行人　早川　泰弘
印 刷 所　三 美 印 刷 ㈱
東京都荒川区西日暮里 6-28-1

――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）
F A X（03）5980-6753（支援事業部）

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

明日の農業を考える

病害虫雑草のプロを手の中に！

※画面は開発中のものです。

レイミーがスマートに解決！

写真を撮るだけで病害虫雑草診断ができる

有効薬剤がわかる！

診断履歴を管理・分析できる！

通信料を除く 無料！

スマートフォン用アプリ レイミーの

AI病害虫雑草診断

対応作物が増えました!!

無料 ダウンロードはこちら

利用時の通信料はお客様のご負担となります。

日本農薬ホームページから

日本農薬 検索

App Store からダウンロード　Google Play で手に入れよう

開発

日本農薬株式会社　NTTデータ 株式会社NTTデータCCS

参加

日産化学株式会社　日本曹達株式会社　三井化学アグロ株式会社

エスディーエスバイオテック　MBC 丸和バイオケミカル株式会社

■本アプリケーションで使用されているAI診断学習モデルは（株）NTTデータCCSと日本農薬（株）の共同開発です。
■本システムは農林水産省の農業界と経済界の連携による生産性向上モデル農業確立実証事業「防除支援システム研究会（H30～R1）」の成果を社会実装したものです。
■学習に用いたデータは、農林水産省委託事業「人工知能未来農業創造プロジェクト・AIを活用した病害虫診断技術の開発」および、「官民研究開発投資拡大プログラム（PRISM）」の成果である「病害虫被害画像データベース」を用いた。

農林水産省登録
第２０６２４号

疫病、べと病などの卵菌類病害に
“よかったね、早めのランマン”

殺菌剤

ランマン®
フロアブル

®は登録商標

有効成分：シアゾファミド…9.4%（w/w）

特長1 優れた予防効果・残効性・耐雨性
優れた残効性と耐雨性により安定した予防効果が期待できます。
残効が長く、作物・生育ステージによっては、10～14日間隔の散布も可能で、
農薬使用回数の低減につながります。

特長2 病原菌の各生育ステージを低濃度で阻害
胞子発芽から胞子形成に至る各生育ステージを阻害し、安定した防除効果を示します。

特長3 まん延防止効果（サニテーション効果）
予防効果主体の薬剤ですが、遊走子のう形成阻害作用に優れ、次世代の菌密度を
効率的に抑えるので、未感染葉や周辺株への病害進展を防ぎます。

特長4 登録作物が多い
主要作物からマイナー作物まで様々な作物に登録があるので汎用性が高く、
使いやすい薬剤です。

ランマンフロアブルについて詳しくはこちらまで▶
特設ページにて詳しくご紹介しております！

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

ISK 石原産業株式会社

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

無処理　残葉率 0%　　A剤　残葉率 20%　　グレーシア乳剤　残葉率 90%

食害される前に駆除できる。※

野菜・茶用殺虫剤

グレーシア®乳剤

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

＊1 作物によって適用害虫は異なります。詳しくはグレーシアホームページをご覧ください。
＊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。
※ グレーシア乳剤のハスモンヨトウ終齢幼虫に対する速効性試験 2018年日産化学生物科学研究所（社内試験）
【試験方法】虫体浸漬、処理1時間後餌入、20時間後撮影

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

殺菌剤

自然に学び 自然を守る
クミカ

プロポーズ®
顆粒水和剤

べと病・疫病に
2成分で優れた効果

予防 治療
と
残効性 耐雨性

100g 500g

Ⓡはクミアイ化学工業(株)の登録商標です。

JAグループ
農協 全農 経済連
全農は登録商標 第4702318号

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

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

植物防疫 VOL.76 No.7
2022年7月1日 発行（毎月1回1日発行） 定価 965円 本体 877円（送料サービス）
一般社団法人 日本植物防疫協会
〒114-0015 東京都北区中里2丁目28番10号
電話 03(5980)2181 FAX 03(5980)6753
https://www.jppa.or.jp/