

令和 6 年度農林水産省委託事業
「病虫害発生予察の調査手法の高度化」

事業成果報告書

2025 年（令和 7 年）2 月

病虫害発生予察の調査手法の高度化コンソーシアム
（代表：（国研）農業・食品産業技術総合研究機構 植物防疫研究部門）

目 次

1. 事業の概要	1
2. 事業の検討実績	5
3. 課題ごとの成績	
課題 1. 「リンゴの主要病害に対する気象データ活用や遺伝子検定手法等による 新たな予察調査手法の開発」	
(1) 農研機構植物防疫研究部門（盛岡）	6
(2) (地独) 青森県産業技術センター	12
(3) 岩手県農業研究センター	16
(4) 長野県果樹試験場	20
課題 2. 「イネウンカ類の AI 自動カウントシステムを利用した新たな発生予察 手法の開発」	
(1) 農研機構植物防疫研究部門（合志）	26
(2) 長崎県農林技術開発センター	30
(3) 鹿児島県農業開発総合センター	39
(4) 山口県農林総合技術センター	44
課題 3. 「施設栽培で問題となるアザミウマ類の自動判別手法の開発」	
(1) 高知県農業技術センター	48
課題 4. 「植物防疫事業における効率的な薬剤感受性検定法の調査研究」	
(1) (一社) 日本植物防疫協会	59
4. 総合考察	114
参考資料	
(1) 設計検討会質疑応答（抜粋）	116
(2) 成績検討会質疑応答（抜粋）	119

1. 事業の概要

<背景・目的>

国内外を問わず病害虫のまん延は、深刻な農業被害をもたらし、食料の安定生産を脅かすことで国民の生活に重大な影響を与える。現在でも世界の食料の2～4割が病害虫の被害により喪失しているとの推計がある。

現在、農作物の病害虫防除は化学農薬に負う部分が大きいが、環境負荷低減のため化学物質の低減が国際的な流れとなっていること、また化学農薬の多用により薬剤抵抗性が発達した病害虫種の発生が問題となっていることから、令和5年4月1日に施行された改正植物防疫法においては、発生の予防を含めた総合的な防除への移行・普及が謳われており、病害虫発生予察情報はますます重要性を増している。

現在、都道府県における病害虫発生予察事業の実施に当たっては、主要産地ごとに月に1, 2回の頻度で調査員が各調査地点に赴き、病害虫の発生動向を調査し、調査結果と気象情報等を踏まえ、今後の病害虫の発生動向および防除対策を病害虫発生予察情報として関係者に提供している。

気候変動による病害虫の発生量、発生地域、発生時期が変化するなど、近年において病害虫防除をめぐる状況が変化する中、本事業では、水稻、野菜、果樹を対象に近年の病害虫の発生パターン変化に対応した予察情報の更なる精度向上に向け、新たな調査手法を確立することを目的とする。

<実施体制>

本委託事業は「病害虫発生予察の調査手法の高度化コンソーシアム」が実施し、同コンソーシアムの代表機関である（国研）農業・食品産業技術総合研究機構植物防疫研究部門が事業を総括した。

課題1（果樹）については、農研機構植防研（盛岡）、（地独）青森県産業技術センター、岩手県農業研究センターおよび長野県果樹試験場が担当し、リンゴ主産県の気象データ等を活用して病気の初発時期を特定。特定された時期に合わせて遺伝子検定法により病気を診断する手法を開発する。なお山形県農業総合研究センターおよび福島県農業総合センターはオブザーバーとして参画し研究実施に助言を行う。

課題2（水稻）については、農研機構植防研（合志）、山口県農林総合技術センター、長崎県農林技術開発センターおよび鹿児島県農業開発総合センターが担当し、AI 自動カウントシステムを利用したイネウンカ類の発生予察システムの実証を行う。

課題3（野菜）については、高知県農業技術センターが担当し、施設野菜で問題となるアザミウマ類5種の自動判別技術の実証を行う。

課題4（薬剤）については、（一社）日本植物防疫協会が担当し、植物防疫事業における薬剤感受性検定の手法の統一化に向け都道府県で行われている薬剤感受性検定法を調査し取りまとめる。

事業の実施にあたり、外部の有識者として以下の4名に検討委員を依頼し、事業の計画や成績に関する助言をいただいた。

（果樹）秋田県果樹試験場	シニアエキスパート	佐藤 裕
（水稻）日本農薬株式会社		寺本 健
（野菜）静岡県農林技術研究所	研究統括官	増井 伸一
（薬剤）北海道立総合研究機構上川農業試験場	研究主任	栢森 美如

<事業実施者>

青森県産業技術センター りんご研究所

病虫害管理部長	赤平 知也
主任研究員	平山 和幸
研究員	八木橋 素良

岩手県農業研究センター

上席専門研究員	猫塚 修一
---------	-------

長野県果樹試験場 環境部

部長	近藤 賢一
技師	野沢 堯史
技師	島袋 稚子

山口県農林総合技術センター 環境技術研究室

病虫害管理グループ	本田 善之
発生予察グループ	東浦 祥光

長崎県農林技術開発センター 環境研究部門

主席研究員	高田 裕司
研究員	森 大智

鹿児島県農業開発総合センター 生産環境部

病理昆虫研究室長	福田 健
研究員	楠畑 勇祐

高知県農業技術センター 生産環境課

昆虫担当 下八川 裕司

昆虫担当 田村 悠

日本植物防疫協会

専務理事 富田 恭範

調査企画部次長 舟木 勇樹

調査企画部専門調査役 守川 俊幸

農業・食品産業技術総合研究機構 植物防疫研究部門 基盤防除技術研究領域

領域長補佐 眞田 幸代

主任研究員 矢代 敏久

再雇用職員 松村 正哉

農業・食品産業技術総合研究機構 植物防疫研究部門 果樹茶病虫害防除研究領域

グループ長 須崎 浩一

上級研究員 佐々木 厚子

上級研究員 永坂 厚

<オブザーバー>

山形県農業総合研究センター 園芸農業研究所 園芸環境部

開発研究専門員 後藤 新一

福島県農業総合センター 果樹研究所

副主任研究員 日下部 翔平

研究員 小松 健太郎

コンソーシアム

1. リンゴ主要病害に対する気象データ活用や
遺伝子検定手法等による新たな発生予察調
査法の開発

農研機構（盛岡）☆、青森産技セ、
岩手農研、長野果樹試、山形園研*、
福島果樹研*

2. イネウンカ類のAI自動カウントシステムを
利用した新たな発生予察手法の開発

農研機構（合志）、山口農技セ、
長崎農技セ、鹿児島農開セ

☆：事業の総括、*：オブザーバーとして参画

3. 施設栽培で問題となるアザミウマ類の自動
判別手法の開発

高知農技セ

4. 植物防疫事業における効率的な薬剤感受性
検定法の調査研究

日植防



設計会議、成績検討会での助言

外部有識者

- ・果樹：佐藤 裕（秋田果樹試）
- ・水稻：寺本 健（日本農薬）
- ・野菜：増井伸一（静岡農技研）
- ・薬剤：栢森美如（道総研上川）



成果の引き渡し

委託元

農林水産省消費・安全局植物防疫課

2. 事業の検討実績

○設計検討会

開催日時：2024 年 6 月 24 日（月） 13：30～16：00

開催方法：オンサイトとオンラインのハイブリッド開催

オンサイト会場：農研機構藤本第 1 本館大会議室

オンライン：Microsoft Teams

出席者：事業委託元 3 名、検討委員 4 名、事業担当者 24 名、

オブザーバー（農研機構、山形県、福島県）5 名

概要：事業の実施体制を確認し、各機関の実施計画を検討した。

○成績検討会

開催日時：

2025 年 2 月 25 日（火） 13:00～14:00（薬剤耐性）

同 2 月 26 日（水） 9:00～16:00（果樹、水稻、施設野菜）

開催方法：Microsoft Teams によるオンライン開催

出席者：

（2 月 25 日）事業委託元 2 名、検討委員 1 名、事業担当者 5 名

（2 月 26 日）事業委託元 3 名、検討委員 3 名、事業担当者 16 名、オブザーバー

（農研機構、山形県、福島県）3 名

概要：各事業担当の今年度成績についての検討を行った。

3. 課題ごとの成績

課題1. 「リンゴ主要病害に対する気象データ活用や遺伝子検定手法等による新たな発生予察法の開発」

(1) 農業・食品産業技術総合研究機構

担当機関・部署	農研機構植物防疫研究部門果樹茶病虫害防除研究領域
担当者	永坂 厚・佐々木 厚子・須崎 浩一

1. 背景および目的

リンゴの黒星病や褐斑病は春季の気温上昇を背景とした早期感染による多発生が懸念されており、その防除には予察情報の早期提供が必要である。また、これら病害の予察調査にあたっては、初期病斑の区別が難しいという課題があり、迅速かつ簡易な診断法が求められている。加えて、子う胞子飛散調査では、顕微鏡観察による胞子形状の識別への熟練が必要であり、今後人員が限られる中でより簡便に取り組める手法開発が必要である。そこで、初期病斑の識別およびトラップに捕捉された子う胞子数についてLAMP法等の遺伝子検定で調査する手法を開発する。

2. 方法

1) 初期病斑を対象としたLAMP法については既報での事例を参考に、リンゴ黒星病および褐斑病菌に対するプライマーを設計する。これらを用いて培養菌体、分生子等を対象として検出可能かを検討する。

2) 胞子トラップからの胞子の遺伝子検出を可能とする目的で、捕捉物をDNA抽出に供するための仕組みを作成する。あわせて、捕捉に用いる粘着テープ等について、捕捉能やDNA抽出への影響を検討する。

3. 結果

1) 褐斑病・黒星病は、青森県の分離株についてMagExtractor™ -Plant Genome-でDNAを抽出し、テンプレートとした。褐斑病は既報のプライマー (Zhang et al. (in press)、Ren et al. (2021)、Jun et al (unpublished)) では反応が見られなかったことから、国内 (青森、秋田、岩手、長野) の褐斑病菌の ITS の配列を用いてニッポンジーンに作成を依頼した。作成されたプライマー (表 1) を用い、_Bst_ DNA Polymerase (ニッポンジーン) およびLoopamp 蛍光・目視検出試薬 (栄研化学) で反応を行い、可視化したが、この反応系では EDTA で反応することから、TE に溶出したテンプレート DNA は 1/20 希釈して、EDTA が影響しない濃度で用いた。テンプレート DNA は 1/10 で段階的に希釈し、検出限界を求めたところ、0.23ng であった (図 1)。黒星病は褐斑病と同じ条件で Ortega et al (2020) のプライマーにより反応が見られたが、検出限界が 200ng であった。

2) 胞子トラップは吸い込み式のもの（長野県果樹試験場より情報提供）を用いた。胞子捕捉のためのテープ等として4種を用いた。すなわち、これまで黒星病の子のう胞子飛散消長調査に使用された実績のある透明両面テープ「No. 539R」（ニトムズ社）および「スコッチ 665-3-18」（3M 社）、褐斑病の胞子捕捉およびPCR 検出に用いた報告例があるワセリン、マウス等の表面からの非侵襲的なPCR 用サンプリングに使用例があるメンディングテープ「スコッチ 810」（3M 社）を検討材料とした。これらをDNA 抽出が可能なようにトラップに組み込むため、「No. 539R」「スコッチ 665-3-18」はスライドガラスと同じ大きさに切り出した0.1mm 厚の透明PVC シートへ貼り付けた。ワセリンは同じPVC シートへペンタンに希釈し吹き付けた。「スコッチ 810」は両面テープを貼り付けたスライドガラスに、粘着面を外側として貼り付けた。これにより、胞子捕捉後にテープ等を取り外してDNA 抽出用バッファー等に浸漬することが可能であった（表2、図2および3）。

粘着テープ等の種類の違いが子のう胞子の捕捉能に影響するかを調べるため、インキュベーター内で加湿により落葉から黒星病子のう胞子を放出させる実験系を用いて捕捉数を比較したところ、テープ等の種類間で統計的な有意差は認められなかった（表2）。供試した両面テープからのDNA 抽出として、非破壊的手法の一つであるキレックス法（三浦, 2017）の適用を試みた。「No. 539R」および「スコッチ 810」で検討したところ、両者とも黒星病菌の分生胞子懸濁液を塗布したものからPCR テンプレートとなりうるDNA が抽出可能であることを確認した（図3）。

表 1 褐斑病の LAMP プライマー

プライマー	配列
FIP	CCAGAACCAAGAGATCCGTTGCGTGATGTCTGAGTACGAT
BIP	GATGAAGAACGCAGCGAAATGCCGCAATGTGCGTTCAAAG
F3	AGACCCGCCAACTCTTTG
B3	GCCCTTCGGAATACCAAAG
LoopB	TGCAGAATTCAGTGAATCATCG

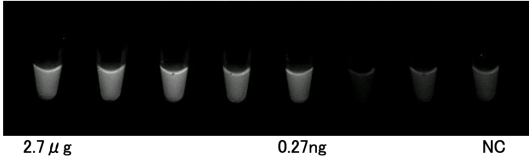


図 1 褐斑病菌 DNA の LAMP 法での検出

表2 両面テープの種類および捕捉された胞子数

種類	由来等	取り付け方法	黒星病の子のう胞子数	
			平均	標準偏差
透明両面テープ「No.539R」	黒星病の子のう胞子調査で利用例	スライドガラス大のPVCシートに貼り付け	972	1496.5
透明両面テープ「スコッチ665-3-18」			2784	1534.5
ワセリン	褐斑病の胞子捕捉・検出事例 (Boutry, 2023)	ペンタンに希釈し、スライドガラス大のPVCシートに吹き付け (Boutry, 2023)	1074	310.9
メンディングテープ「スコッチ810」	生体表面等からの非侵襲的DNA抽出用サンプリングで利用例複数 (Shirota,2017等)	両面テープを介してスライドガラスに貼り付け	1043	769.3

両面テープ等を取り付けたトラップを落葉約14gとともに半透明のプラスチック容器内に格納し、2023年秋に黒星病発生圃場から採取して越冬させた落葉を滅菌脱塩水で加湿後、17℃、12時間日長のインキュベーター内で1週間維持した。トラップからテープを取り出し、概ね20×18mmの範囲内をコットンブルー染色して、子のう胞子数を計数した。子のう胞子数はテープの種類間で負の2項分布を用いた一般化線形モデルでの有意差なし（3反復、 $\alpha=0.05$ ）。

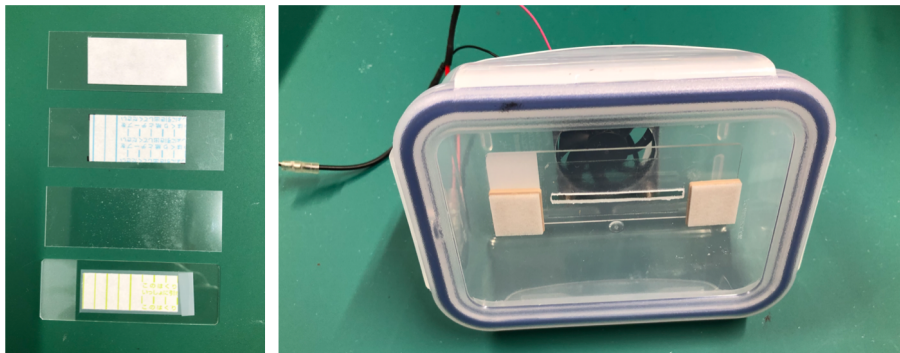


図2 試験に供した4種類の粘着テープ等(左)および比較に用いた孢子トラップ(右:長野県果樹試験場より情報提供)

粘着テープ等は、上から「No. 539R」「スコッチ665-3-18」、ワセリン(以上3種は透明PVCシートに貼付け)、「スコッチ810」(両面テープによりスライドガラスに貼り付け)。テープには粘着面保護の剥離紙が付いており、使用時に取り除く。

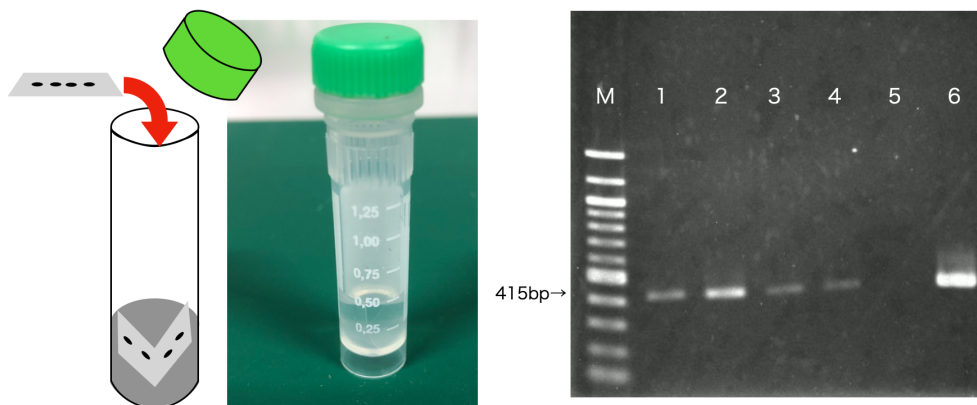


図3 テープからのキレックス法(参考:三浦,2017)による抽出の模式図および実物(左)と抽出したDNAからのアクチン標的プライマーを用いたPCR結果(右)

(左)テープには分生孢子懸濁液(約 $4-5 \times 10^4$ 個/ml)約50 μ lを、約5mm $\times$ 2cmの帯状に滴下し、乾燥後DNA抽出まで -30°C で保存した。分生孢子付着部分を帯状に切り出し、2つに折り曲げて、2mlチューブ内の500 μ lの0.5%キレックス樹脂懸濁液に35 μ lの2mg/mlプロテアーゼK溶液を加えたものへ浸漬した。これを 56°C 24hr処理後、 99.9°C 3min加熱処理して、上清をDNA溶液とした。

(右)プライマーは V_{lact}-28F と V_{lact}-442R。M:マーカー、1,2:「No.539R」(1と2は異なる菌株)、3,4:「スコッチ 810」(3と4は異なる菌株)、5:ネガティブコントロール(サンプルなしのキレックス樹脂懸濁液)、6:ポジティブコントロール(菌体から抽出した DNA)

4. 考察

国外で既報の褐斑病菌のLAMPプライマーは日本国内の褐斑病菌の検出に適用しようとしたがいずれも良好な結果を得られなかった。国内外の菌株間における標的遺伝子の配列の違いおよびプライマーの作成位置に留意する必要がある。黒星病についてはターゲット遺伝子がEF-1 α であり、ITSとコピー数が違うことから、検出限界を上げるためにはターゲットとする配列やプライマーの作成位置について再検討する必要がある。また、両病害とも試験は青森県分離株を使用したことから、他県の実験株についても検討を行う必要がある。

既存の孢子トラップに、シートへ貼り付けた両面テープ等を組み込み、孢子付着部位を切り出して、キレックス法によるDNA抽出操作を行うことは可能であると考えられた。なお、遺伝子検出には分生子を用いたことから、この方法で、特に圃場条件で補足した子のう孢子の検出が可能かは、両面テープの種類やDNA抽出条件（キレックス樹脂の濃度、プロテアーゼK反応時間等）について、検討が必要な可能性がある。

5. 今後の課題

- ・ 初期病斑からのDNA抽出条件と黒星病菌・褐斑病菌のプライマーによる識別可能性の検討
- ・ 孢子トラップに捕捉された黒星病菌・褐斑病菌の子のう孢子の検出条件の検討と最適化

6. 要約

リンゴの主要病害である黒星病や褐斑病の予察効率化を目的として、識別が難しい初期病斑やトラップに捕捉された子のう孢子数をLAMP法等の遺伝子検定に調査する手法の開発を試みた。LAMP法については既報のプライマーの性能は、黒星病菌では感度の問題から、褐斑病では国内菌株への特異性の問題から、再検討の必要があることを確認し、褐斑病については新たなプライマーを構築した。既存の孢子トラップにシートへ貼り付けた両面テープ等を組み込み、孢子付着部位を切り出して、DNA抽出操作を行うことは可能であり、今後圃場条件で捕捉した孢子の検出が可能か明らかにする必要があると考えられた。

7. 成果の公表および特許

特になし

(参考) 農研機構盛岡研究拠点における黒星病・褐斑病の初発時期について

褐斑病および黒星病の初期病斑を遺伝子検査で識別する手法を開発するためには、まず一次感染により生じた初期病斑を採取する必要がある。そのために一次感染の生じる開花期を中心に花そう葉調査を行い、初期病斑の発生を確認した。あわせて、ポット樹の暴露試験や子のう胞子の飛散消長調査により感染時期を調査するとともに、気象データによる感染推定法との関係性を確認した。

圃場の花そう葉調査(概ね半旬ごとに実施)では、黒星病と褐斑病のいずれも 5/10 まで確認されず、その次の 5/16 の調査で確認された(表 1)。

暴露法および子のう胞子飛散消長から、黒星病の一次感染が生じた最初の降水日は 4/25 と推定された(表 2、図 1)。Mill's Table(濡れ時間は鈴木 2003 による樹体濡れ時間推定法)による感染可能性も M(中程度)であったが、翌日を起算日とした平均温度と経過日数から推定される初発日は 5/8 であり、花そう調査結果よりも早かった(表 2)。5/10 の調査で見つからなかった理由として、病斑の見落としか、病斑出現が推定よりも遅れた可能性等が考えられた。

褐斑病の一次感染が生じた最初の降水日は、4/30 の降雨が猫塚(2023)による感染開始降水条件(降水による 6 hr 以上の樹体濡れ時間および濡れ時間中平均気温 13.8 °C)を満たしていること、その翌日を起算日とした積算温度による初発日の推定日が 5/16 になることから、花そう調査結果はこれと矛盾しなかった(表 1、表 2)。暴露法では感染を確認できなかったが、疑似病斑が見つかり今後遺伝子検査による識別を行う予定(表 2)。子のう胞子の調査では調査日あたりの捕捉数が最大で 3 個(6 月 2 日、4 日)と極めて少なく、初発時期を推定するための飛散ピークの検討は困難と判断した(データ省略)。

表 1 花そう調査結果

調査日	黒星病	褐斑病
5/1	0	0
5/10	0	0
5/16	4	1
5/22	2	1 ²⁾
5/28	2	2 ²⁾
6/4	- ¹⁾	7 ²⁾
6/7	-	3 ²⁾

場内の黒星病と褐斑病が混発する圃場の殺菌剤無散布樹(品種「ふじ」、19 年生、M9/マルバ二重台)を対象に実施。

調査数は 300 花そう(30 花そう×10 樹)

1) 調査せず

2) 5/22 以降は調査時に発病葉を採取

発芽日 4/6、開花日 4/26、落花日 5/4

表2 暴露法調査結果と降水条件との関係

暴露法ポット樹調査結果 ^{a)}				ポット樹設置期間中の降水条件				Mill's Tableによる 黒星病感染推定 ^{b)}		猫塚(2023)による 褐斑病感染推定	
設置期間	全調査葉数	黒星病発生率(%)	褐斑病発生率(%)	降水日(降水量:mm)	降水による濡れ時間(開始-終了時刻)	濡れ時間中 平均温度(℃)		可能性	初発日	可能性	初発日
4/16-4/19	475	0.0	0.0	4/16 (0.5)	11 (4/16 21:00-4/17 7:00)	10.4		L	-	×	-
4/19-4/26	508	0.4	0.0	4/24 (8.0) 4/25 (14.0)	14 (4/24 21:00 - 4/25 10:00)	12.6		M	5/8	×	-
4/26-5/1	436	0.0	0.0 ^{c)}	4/30 (15.5)	8 (4/30 4:00 - 4:30 11:00)	14.0		L	5/13	○	5/16
5/1-5/8	515	0.0	0.0	5/7 (8.5)	12 (5/7 8:00 - 5/7 19:00)	16.1		M	5/20	○	5/23
5/8-5/14	493	0.0	0.2	5/13 (19.0)	13 (5/13 2:00 - 5/13 14:00)	16.1		M	-	○	-
5/14-5/23	412	0.2	3.4	5/17 (5.0) 5/20 (6.5) 5/21 (0.5)	-					-	
5/23-5/30	511	0.0	1.2	5/27 (0.5) 5/28 (27.0) 5/29 (5.0)	-					-	

気象データは「東北農業研究センター気象観測データ」を利用。

a) 暴露法は花そう葉調査を実施した圃場の薬剤無散布樹近くにポット樹（品種「ふじ」、14年生、マルバ台、7号ビニールポット植え）を2鉢設置し、降水日の翌日に交換した。暴露後はガラス室内で管理し、最終の暴露終了から20日後にすべてのポット樹を調査した。

b) <https://web.uri.edu/ipm/2013/05/mills-table-apple-scab-infection-periods/>

c) 擬似病斑あり、今後遺伝子検定を予定

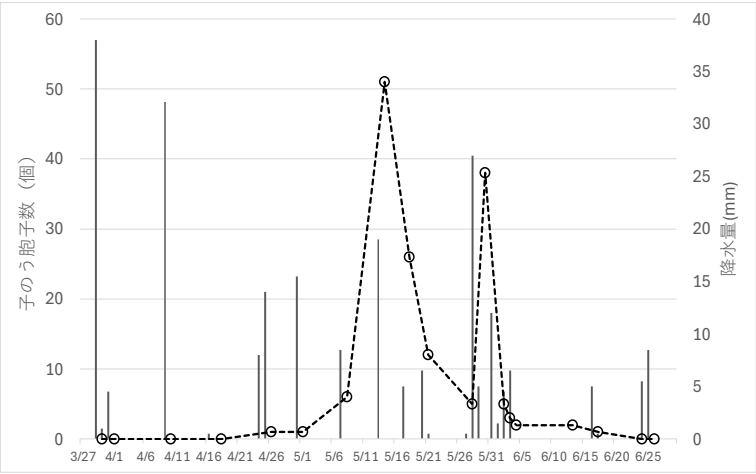


図1 子のう胞子飛散消長調査結果（黒星病菌）

棒グラフ：降水量、点線：子のう胞子数（調査日ごと）

前年被害落葉を1×1m、高さ60cmの枠内に敷設して越冬させたのち、簡易式吸引式トラップ（5mmφの取り入れ口でスライドガラス上の両面テープ「No. 539R」に捕捉）を10cm高に設置した。降水日の翌日にスライドガラスを交換し、18×24mmのカバーガラスで覆われる範囲内をコットンブルー染色し、胞子数を計測した。胞子飛散は4/26～6/17間の調査日で認められた。

課題 1. 「リンゴ主要病害に対する気象データ活用や遺伝子検定手法等による新たな発生予察法の開発」

(2) 長野県果樹試験場

担当機関・部署	長野県果樹試験場環境部
担当者	野澤堯史・島袋稚子・近藤賢一

1. 背景および目的

近年、リンゴ褐斑病では、春季の気温上昇を背景とした早期感染による多発生が顕在化しており、その発生予防には予察情報の早期提供が必要である。そこで、岩手県で開発された気象データを活用した本病の予察法（猫塚ら, 2023）について、長野県の気象条件下において従来の調査手法（子のう孢子飛散調査、花葉そう、新梢葉の発病調査）と調査精度や省力性、実用性、作業性を比較検証する。また、リンゴ黒星病についても気象データを用いた同様の予察モデル構築が可能であるか検討するため、長野県の気象条件下における従来の調査手法でのデータを取得する。

2. 方法

試験 1：リンゴ褐斑病、リンゴ黒星病の初発日予測

既報告の手法から下記の条件に従い、両病害の一次感染日の把握を行った。解析に用いた気象データは場内の気象観測装置のデータを使用した。

○リンゴ褐斑病：猫塚ら（2023）の方法に従い予測を行った。

- ・ 1stピーク出現日予測条件：濡れ時間 6 時間、平均気温 13.8℃（開花始期以降）
- ・ 初発日予測条件：1stピークから日平均気温が積算 159 日℃となる日（ T_0 : 4.6℃）

○リンゴ黒星病：濡れ時間の計測は鈴木ら（2003）、感染判定と初発日予測は Mills（1944）らの方法に従い予測した。

試験 2：リンゴ褐斑病菌、リンゴ黒星病菌の子のう孢子飛散消長

前年の被害落葉を野菜保存ネットに入れ、45cmポット内に静置した。ポット内のネットから 5 cm 程度離れた場所に吸引式孢子収集機を設置し、スライドガラスに添付した透明両面テープ（No. 539R、ニトムズ社）上に補足された孢子をカバーガラス（18mm×18mm）の範囲内でカウントした。3 月 25 日～6 月 30 日まで降雨日毎にスライドを交換し、調査した。

試験 3：苗木暴露試験によるリンゴ褐斑病の感染消長

試験場所：長野県須坂市小河原 長野県果樹試験場内

供試品種：「ふじ」/マルバカイドウ 1 年生ポット苗

試験方法：被害落葉を敷き詰めたポット（試験 1 と同じ）中に供試ポット苗を降雨日ごとに入れ替えながら暴露し、暴露後は雨よけハウス内で管理して発病状況を調査した。なお、暴露時に完全展開している最上位の葉をマークした。

調査方法：4 月 15 日～5 月 14 日に暴露したものは 6 月 7 日、5 月 14 日～6 月 3 日に暴露したものは 6 月 18 日に調査行い、マークした葉より下位の葉を全て調査し、

発病葉率を算出した。

試験4：リンゴ褐斑病、リンゴ黒星病における樹上での発生消長

試験場所：長野県須坂市小河原 長野県果樹試験場内

供 試 樹：褐斑病：①「ふじ」/マルバカイドウ 25年生樹（殺菌剤無散布樹）

②「ふじ」/マルバカイドウ 2年生苗木（殺菌剤無散布樹）

黒星病：「ふじ」/M.9/マルバカイドウ 8～9年生（殺菌剤無散布樹）

試 験 区：褐斑病：①1区1主枝3反復、②1区5樹無反復

黒星病：1区2～3樹3反復

調査方法：褐斑病は4月19日、黒星病は4月17日から約5日間隔で調査した。

褐斑病：各区50果そう葉全葉の発病の有無と10新梢全葉の発病指数を調査

（発病指数 0：発病無し、1：病斑面積25%未満、2：病斑面積25%以上～50%未満、

3：50%以上、4：落葉1：1/4の面積に発生）

黒星病：各区50果そう、10新梢、50果の発病の有無を調査

3. 結果

当场における本年の「ふじ」の発芽は、4月1日、展葉は4月10日、開花は4月22日、落花は4月29日であった。

（1）リンゴ褐斑病

試験1：リンゴ褐斑病の初発日予測

1）猫塚ら（2023）の手法により予測される本年の子のう胞子飛散の1stピークは4月30日であり、1stピークから予測される初発日は5月14日（±5日：5/9～19）であった（表1）。

2）展葉期から5月中旬までのうち、1stピーク以降で同条件を満たす日は5月7日、16日、20日であった。なお、4月17日、4月25日、5月13日は濡れ時間は条件を満たしたものの、濡れ時間中の平均気温が0.1～0.8℃不足する状況だった。

表 1 予測モデルによるリンゴ褐斑病菌の子のう胞子飛散の 1st ピークと初発日

日付	濡れ時間 (hr)	濡れ時間中 の平均気温 (°C)	降水量 (mm)	モデル 適合*	初発日 (159日°C 到達日)	初発日 ± 5 日
4/17	7	13.1	1.5	△	4/30	
4/22	7	11.8	0.5	×	5/5	4/25～5/11
4/24	5	14.2	1.5	×	5/6	
4/25	11	13.0	3.5	△	5/7	5/2～12
4/30①	6	16.1	0.5	○		
4/30②	6	20.2	5.0	○	5/14	5/9～19
5/2	3	10.4	0.5	×	5/15	5/10～20
5/7	6	14.8	2.5	○	5/20	5/15～25
5/13	15	13.7	26.5	△	5/25	5/20～30
5/16	6	16.3	1.0	○	5/27	5/22～6/1
5/20	11	16.6	4.5	○	5/31	5/26～6/5

*モデル適合 ○：予測モデルの条件を満たす

△：予測モデルの条件で濡れ時間は満たすものの、
日平均気温を-1.0°Cの範囲内で満たさないもの

×：予測モデルの濡れ時間、日平均気温どちらも満たさないもの

注) 展葉期以降～5月中旬までの降雨日を表に記載している

試験 2：リンゴ褐斑病菌の子のう胞子飛散消長

- 1) 本年の子のう胞子飛散は4月9日～6月30日の間で認められた。
- 2) 初飛散は4月9日～17日であり、最も飛散が多かった期間は5月29日～6月3日であり、この期間に捕捉された子のう胞子数は24個であった。予測モデルの考え方に基づく1st ピークは4月30日～5月2日（補足数は5個で、最多補足胞子数に対する割合は20%）であり、これはモデルにより予測される1st ピークと合致した。

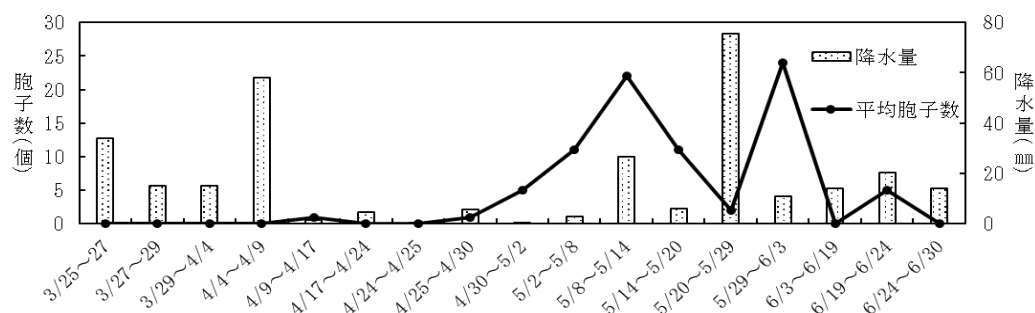


図 1 リンゴ褐斑病の子のう胞子飛散消長と降水量（降水日別）

試験 3：苗木暴露試験によるリンゴ褐斑病の感染消長

- 1) 4月17日～24日に感染が始まり、その後調査期間を通じて、降雨日毎に感染が認められた。感染が最多となったのは、5月8日～14日であった（図2）。

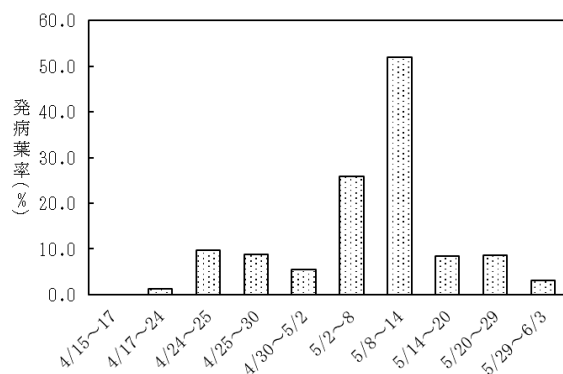


図2 暴露ポット樹におけるリンゴ褐斑病の時期別感染量

試験4：リンゴ褐斑病の発生消長

- 1) 立木調査では、果そう葉での初発を6月11日、新梢葉での初発を6月25日に確認した(図3)。苗木調査の初発確認は立木調査よりも早く、5月21日に初発を確認した(図4)。

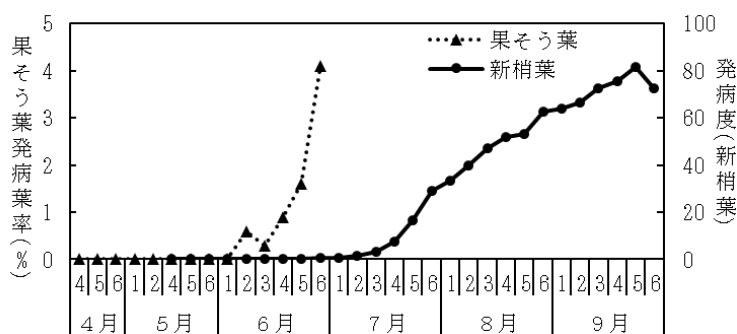


図3 立木でのリンゴ褐斑病の発生推移

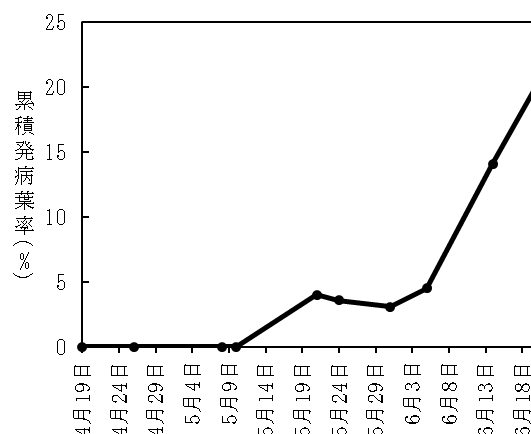


図4 苗木でのリンゴ褐斑病の発生推移

(2) リンゴ黒星病

試験1：リンゴ黒星病の初発日予測

- 1) Mills ら (1944) の条件から予測される最初の感染好適日は4月25日であり、予測される初発日は5月9日であった。

表1 リンゴ黒星病で予測される感染好適日と初発日

日付	濡れ時間 (hr)	濡れ時間中の平均気温 (°C)	降水量 (mm)	感染レベル*	潜伏期間 (day)	推定初発日
4/17	7	13.1	1.5	×	—	—
4/22	7	11.8	0.5	×	—	—
4/24	5	14.2	1.5	×	—	—
4/25	11	13.0	3.5	L	14	5/9
4/30①	6	16.1	0.5	×	—	—
4/30②	6	20.2	5.0	×	—	—

*感染レベル H：重度、M：中度、L：軽度、×：条件満たさない

注) 展葉期以降～4月下旬までの降雨日を表に記載している

試験 2：リンゴ黒星病の子のう胞子飛散消長

- 1) 本年の子のう胞子飛散は3月29日～6月30日の間で認められた。
- 2) 初飛散は3月29日～4月4日であり、飛散ピークは5月8日～14日であった（図5）。

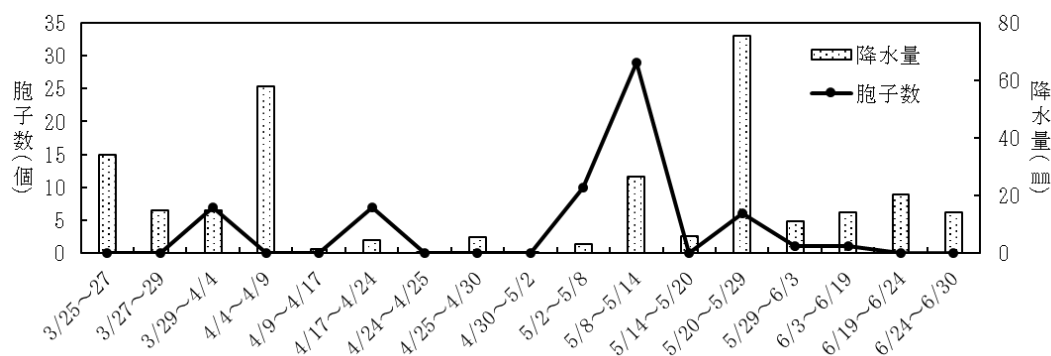


図5 リンゴ黒星病の子のう胞子飛散消長と降水量（降水日別）

試験 4：リンゴ黒星病における樹上での発生消長

- 1) 立木の調査で5月7日に初発を確認した。果そう葉、新梢葉ともに5月中旬から発生が多くなった（図6）。

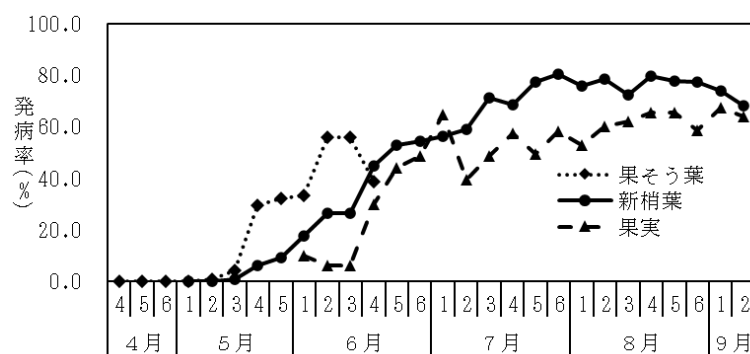


図6 立木でのリンゴ黒星病の発生推移

4. 考察

(1) リンゴ褐斑病

- 1) モデルにより予測された1stピーク（一次感染開始日）は子のう胞子飛散調査における1stピークと一致した。

一方、初発時期については、モデルから予測される初発日は5月14日であったが、ほ場での初発は（苗木調査：5月22日）であり、一致しなかった。本年は生育前半に少雨傾向であったことから、立木調査における果そう葉での発生も6月中旬まで少発生であった。このことから、ほ場での初発を的確にとらえられなかった可能性を含め、予測モデルの精度についてさらなる検証が必要と考える。

- 2) 2001年、2023年に実施した調査により、暴露試験によって発病量が最も多くなる時期は、子のう胞子の飛散量が当該年ではじめて多くなる時期と一致することが確認されている。本年の調査においても同様の結果であった（データ省略）。

(2) リンゴ黒星病

- 1) 予測される感染好適日は4月25日であり、そこから予測される初発日は5月9日であった。ほ場での初発は5月7日であり、誤差2日でほぼ一致している。予測モデルと従来からの立木での発生予察調査手法で初発を十分捉えられていると考えられる。

5. 今後の課題

- ・リンゴ褐斑病感染予測モデルのさらなる精度検証
- ・リンゴ褐斑病の初発を正確に捉えられるほ場での発生予察調査手法の検討
- ・リンゴ黒星病感染予測モデルを利用した予察システムの構築

6. 要約

リンゴ褐斑病について感染予測モデルで予測される1stピークは子のう胞子飛散調査での1stピークと一致した。一方、初発日はモデルによる予測日とは場での初発日との間に差があった。今後、調査規模を増やすなどほ場での初発日についての的確な把握を行った上で、予測モデルによる初発日の精度について検証が必要と考える。リンゴ黒星病については、感染予測モデルで予測される感染好適日、初発日と実際の初発日には2日程度の差しかなく、モデルにおける予測とは場での発病実態が合致していた。

7. 成果の公表および特許

課題1. 「リンゴ主要病害に対する気象データ活用や遺伝子検定手法等による新たな発生予察法の開発」

(3) 岩手県農業研究センター

担当機関・部署	岩手県農業研究センター・生産環境研究部
担当者	猫塚修一

1. 背景および目的

岩手県において、気象データを用いた子のう胞子飛散ピークと初発日の推定結果と、従来法（子のう胞子飛散調査および発病状況調査）による実測結果を比較検証する。また、リンゴ黒星病について気象データを用いた感染日の推定モデルを検討する。

2. 方法

(1) 気象データを用いた褐斑病の感染開始日と初発日の推定と実測との比較検証

ア 気象データを用いた推定

猫塚ら(2023)に基づき、アメダス北上地点の時別値を用いて推定した。

イ 子のう胞子飛散調査（実測①）

前年被害落葉上に吸引式胞子採集器を設置し、降水日毎にスライドグラスを回収・交換した。調査は2反復、調査期間は令和6年4月1日～5月27日とした。

ウ 曝露試験（実測②）

無防除樹（ふじ／M. 26（28年生））の樹冠下に、ポット植えリンゴ樹（シナノスイート／M. 26、ふじ／JM7、1年生）4～10樹を配置し、降水日毎に回収した。発病調査は回収約1ヶ月後に出現した病葉を計数し、発病葉率を算出した。曝露期間・回数は2024年4月12日～5月21日、計7回とした。

エ 無防除樹での発病調査（実測③）

ふじ/M. 26（28年生、殺菌剤無散布）を用い、5月3半旬～6月6半旬まで半旬毎に実施した。果（葉）そう葉は目通りすべて、新梢葉は40新梢を対象に、発病の有無を計数し、発病そう率および発病葉率を算出した。

(2) 気象データを用いた黒星病の感染日予測モデルの開発

ア 子のう胞子飛散調査結果：6県7地点で実施された35事例を収集した。このうち、飛散ピークが明瞭で3ヵ年以上データが揃っている4県5場所の32事例を解析に用いた。

イ 累積飛散割合の推定モデル：Gadoury et al. (2004)に基づき、積算温度から累積飛散割合を推定するモデルを5地点（青森、秋田・横手、同・鹿角、山形、長野）について作成し、累積25%、50%および75%に達する積算温度を求めた。作成したモデルは、累積飛散割合を①総飛散量および②落花期までの飛散量とする2種類とした。

ウ 胞子飛散ピーク出現の推定モデル：北東北地域（青森、秋田・横手、同・鹿角）の飛散調査結果および気象データを用い、降水日（202事例）における飛散ピークの有無（有：79事例、無：123事例）と降水条件（日照の有無、感染好適条件、生育ステージ）の関係をロジスティック回帰分析により解析した。感染好適条件は猫塚ら（2019）に準じて、降水日における温度、濡れ時間から改変Mills Tableを用いて感

染強度（軽度、中度、重度感染）を判定した。

3. 結果

（1）褐斑病の感染開始日と初発日の推定と実測との比較検証

ア 感染開始日と初発日の推定：子のう胞子飛散の1st ピークは4/25（開花始）、2nd ピークは4/30（満開期）、それぞれ初発日は5/9、5/15と推定された（表1）。本推定の所要時間は延べ40分であった（表2）。

イ 胞子飛散調査（実測①）：1st ピーク（4/25）と2nd ピーク（4/30）の出現日は、気象データによる予測と一致した（表1）。本調査は延べ10時間を要した（表2）。

ウ 曝露試験（実測②）：曝露樹ではいずれも発病が認められなかった（表1）。本調査には延べ5時間を要した（表2）。

エ 無防除樹での発病調査（実測③）：5/15に花葉そうで初発生し（表1）、2nd ピークの初発推定日（5/15）と一致した。本調査には延べ5時間を要した（表2）。

オ まとめ：胞子飛散の1st ピークと2nd ピークは推定と実測が一致した。初発日（推定）は、1st ピーク（4/25）は実測と一致せず、2nd ピーク（4/30）と一致した。

表1 気象データを用いた推定日と圃場調査（実測）の適合性の検証

気象データ（推定）		圃場調査（実測）			実測との比較			（備考）
感染開始日 （濡れ条件 ¹⁾ ）	初発日 ²⁾	実測① 胞子飛散 ピーク	実測② 曝露 試験	実測③ 無防除樹	実測 ①	実測 ②	実測 ③	生育 ステージ ³⁾
4/25 (13.8℃、11h)	5/9	4/25	— ³⁾	5/15	○	—	×	開花始
4/30 (14.1℃、6h)	5/15	4/30	—	5/15	○	—	○	満開期

1) 濡れ時間中平均気温、濡れ時間、2) 感染開始日から159日℃到達日、3) —：無発生

表2 一次感染開始日と初発日の推定と実測の所要時間

推定／実測	気象データ（推定）		圃場調査（実測）		
調査項目／方法	感染 開始日	初発日	感染開始日		初発日
			飛散ピーク （実測①）	曝露試験 （実測②）	無防除樹 （実測③）
所要時間 （作業内容・回数）	40分 （推定：2回）		10時間 （交換・調査： 10回）	5時間 （交換：7回、 調査：3回）	5時間 （調査：5回）

（2）黒星病の感染日予測モデルの開発

ア 累積胞子飛散割合の推定モデルの検討

・積算温度（起算：発芽日）と累積飛散割合は、5地域すべてのモデルにおいて1%水準で有意な相関が見られた（ $R^2=0.676\sim0.837$ ）。

・累積飛散25%に到達する積算温度は、青森・秋田（横手、鹿角）が138～262日℃に

対して長野・山形は328～370日℃であり、地域間差が見られた（図1）。

- ・累積飛散25%に達する積算温度について開花日と比較すると、青森では-116日℃、秋田（横手）では-89日℃、山形では-52日℃、長野では-6日℃であった（図2）。該当する生育ステージは、秋田（鹿角）では展葉1週後、青森では展葉7～14日後、秋田（横手）・山形では展葉14日後、長野では開花直前であった。

イ 子のう孢子飛散ピーク出現の推定モデルの検討

- ・ロジスティック回帰モデルにおいて、飛散ピークの出現と有意な関連が見られた降水条件は、生育ステージ、感染好適（中度、重度感染）を伴う降水日、日照を伴う降水日であった（データ省略）。

- ・生育ステージ別では、展葉8日後～落花期で飛散ピークの出現割合が高かった。一方、飛散ピークの中では感染好適を伴わない降水日の比率が高かった（図3）。

- ・感染好適日では、飛散ピークの出現割合が50～90%と高かった（図4）。

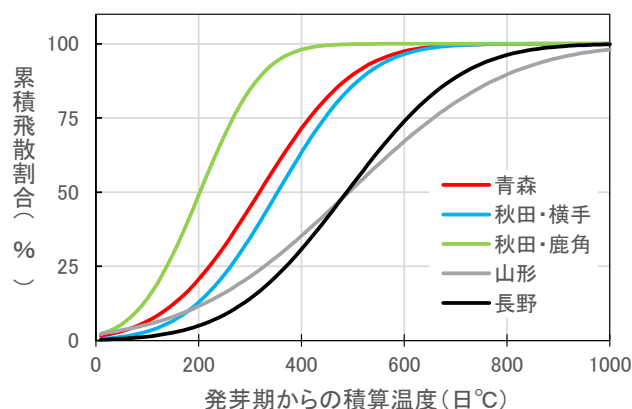


図1 有効積算温度による黒星病の累積飛散割合の推定モデル（総飛散量モデル）

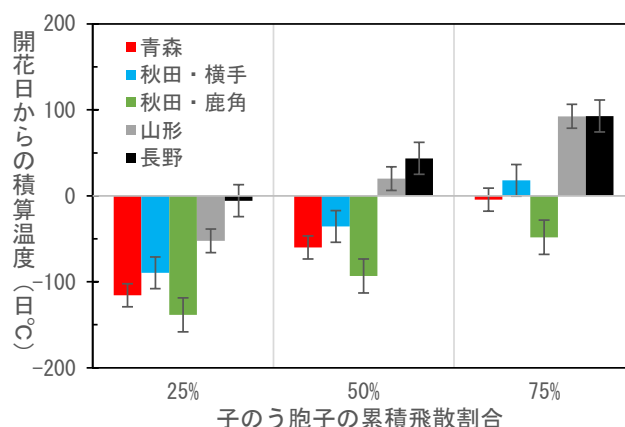


図2 黒星病の累積飛散割合別の有効積算温度 ※ 落花期までの飛散量モデル

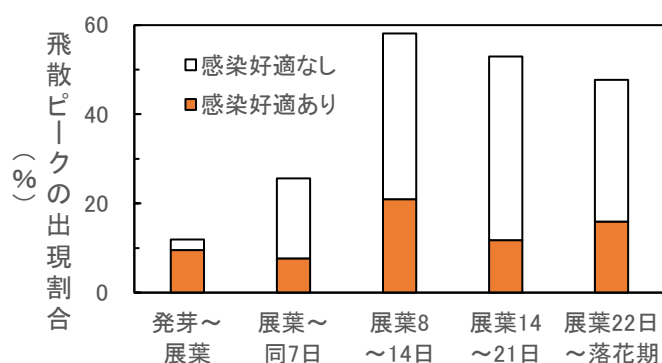


図3 降水日に占める飛散ピークの出現割合と感染好適の関係

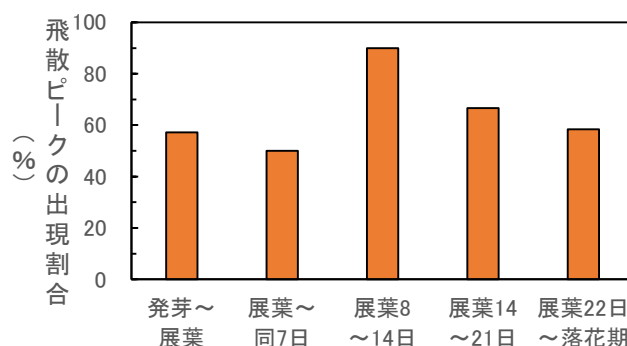


図4 感染好適日に占める飛散ピークの出現割合

4. 考察

(1) 褐斑病の感染開始日と初発日の推定と実測との比較検証

- ・子のう胞子飛散の1stピークの出現は、予測と実測は一致することが検証された。
- ・1stピーク（4/25、開花始）では樹上で発病しなかった。開花始には副梢が未展開であるので、この生育ステージでは感染できなかった可能性がある。
- ・曝露試験では無発病であった。曝露期間中は濡れが10時間以上継続する降水日が無かったため、感染に不適であったと考えられる。

（2）黒星病の感染日予測モデルの開発

- ・累積胞子飛散割合の推定モデル：累積飛散25%に到達する時期は、各県における現在の防除開始時期（青森：展葉7日後、山形：展葉10日後、長野：開花直前）と概ね一致しており、各県の飛散パターンを反映していると考えられる。
- ・胞子飛散ピーク出現の推定モデル：飛散ピークは感染好適を伴わない降水日にも出現し、飛散ピークの推定では感染日を予測できないと考えられた。一方、感染好適日には飛散ピークの出現頻度も高く、感染日として予測できると考えられた。
- ・以上から、黒星病の感染日予測は、気象データを用いて展葉1週間後～落花期における感染好適の出現状況を把握するのが良いと考えられた。

5. 今後の課題

- （1）褐斑病：推定モデルでは「ふじ」の開花始期以降を推定期間としているが、生育初期における花葉そうでの感受性が不明である。そこで、生育ステージ別の感受性を評価し、これをモデルに組み込むことで、推定期間の精緻化を図る。
- （2）黒星病：他地域における感染好適の出現時期を検証する。

6. 要約

令和6年、岩手県における褐斑病の感染開始日は「ふじ」の満開期であると推定された。開花始期にも子のう胞子飛散ピークが見られたが、その後の発病には至らなかった。気象データを用いることで、無防除樹での初発時期の調査を効率的に実施できた。黒星病の感染日予測モデルとして、有効積算温度による累積胞子飛散割合の推定モデル（4県5地域）と、子のう胞子飛散ピークの推定モデルを作出した。

7. 成果の公表および特許

- （1）猫塚修一・藤田章宏（2024）「リンゴ褐斑病の開花期感染が広域的な発生に及ぼす影響」日植病報90:14-21.
- （2）猫塚修一（2024）「気象データを用いたリンゴ褐斑病の一次感染開始日と初発日の推定」東北農業研究成果情報（研究）.
- （3）猫塚修一（2024）「気象データを用いたリンゴ褐斑病の一次感染開始日と初発日の推定」植物防疫78(8): 461-467.
- （4）猫塚修一（2024）「春期温暖化によるリンゴ病害の発生生態の変化と今後の防除対策」果実日本79(10):72-76

課題 1. 「リンゴ主要病害に対する気象データ活用や遺伝子検定手法等による新たな発 生予察法の開発」

(4) 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

担当機関・部署	りんご研究所病害虫管理部
担当者	平山和幸・八木橋素良

1. 背景および目的

褐斑病の一次感染時期の早期化は、気象データに基づく一次感染開始日推定モデルからも示唆されているがその実態は不明である。そこで、一次伝染源となる子う胞子の飛散消長を調査し、感染時期を明らかにする。また、樹上における褐斑病及び黒星病の発
生消長を調査し、黒星病については気象条件に基づく感染危険度の評価も行う。

2. 方法

(1) 褐斑病の初発日推定

猫塚ら(2023)のモデルに基づき推定した。濡れ時間については、鈴木(2003)についても検討した；「濡れ」計測は降雨から開始し、日中では降雨終了2時間後まで、日没後では日の出2時間後まで継続しカウントした。また、降雨終了2時間以内又は日の出後2時間以内の降雨は、連続する濡れ時間とした。

(2) 褐斑病菌の子う胞子飛散消長

りんご研究所内の殺菌剤無散布圃に吸引式胞子採集器を地面から約10cm高で設置した。胞子採集器は回転式で粘着テープを用いて最長7日まで時間別に胞子回収が可能である。粘着テープは約1週間ごとに交換し、交換したテープは1日分の長さ(1cm×4cm)に切り、テープ上の付着胞子数を光学顕微鏡を用いて計数した。

(3) 暴露苗木及び立ち木における褐斑病初発調査

1/2000ワグネルポット植え‘ふじ’2樹を4月19日から5月23日まで約一週間間隔で所内殺菌剤無散布圃に暴露し発病の有無を調査した。また、同圃場において、5月20日から2～3日間隔で28年生の‘ふじ’/マルバカイドウ3樹を対象に、花そう葉を1樹あたり50個について褐斑病の発病の有無を調査した。

(4) 褐斑病の新梢葉における発生消長

殺菌剤無散布圃の28年生の‘ふじ’/マルバカイドウを3樹供試し、1樹あたり10新梢として30新梢を対象に、その全葉について発病葉率と落葉率を調査した。発病による落葉は、調査葉と発病葉に含めた。調査は6月上旬～9月下旬に、約5日おきに行った。

(5) 黒星病の子う胞子飛散消長

褐斑病の子う胞子飛散調査に準じて調査した。

(6) 黒星病の新梢葉における発生消長と感染危険度の評価

ア 発生消長

殺菌剤無散布圃の28年生の‘ふじ’/マルバカイドウを3樹供試し、1樹当たり10新梢として30新梢を対象に、その全葉について発病葉率を調査した。調査は5月中旬～7月上旬に、約5日おきに行った。

イ 感染危険度の評価

小型温湿度記録計（おんどとり RTR-507SL）を供試し、温湿度センサー部分を両側の穴に農業用不織布を貼った塩化ビニル製のT字管に入れて固定した。小型温湿度記録計を所内圃場（黒石市）に設置し、1時間ごとの気温・湿度を計測した。湿度90%以上を‘葉の濡れ’として評価した。計測されたデータを感染危険度の評価システム「Duthie(1997)によるナシ黒星病発病予測モデル」に入力し感染危険度を算出した。算出した感染危険度の値から、 $0 < \text{軽度感染(L)} < 15$ 、 $15 \leq \text{中程度感染(M)} < 40$ 、 $40 \leq \text{重度感染(S)} \leq 73.9$ と判定した。

3. 結果

(1) 褐斑病の初発日推定

ア. 子のう胞子飛散の実測値に基づく1st

ピークは4月30日、推定初発日は5月16日であった。

イ. 猫塚ら（2023）の1stピーク推定モデルに基づく1stピークは5月7日、推定初発日は5月22日であった。

ウ. 圃場における‘ふじ’花そう葉での初発は6月3日であり、モデル条件を満たす中で5月13日を1stピーク（感染日）とし、推定初発日5月27日が最も近かった。

(2) 褐斑病菌の子のう胞子飛散消長

子のう胞子飛散の初飛散日は4月25日、最も飛散量が多い最盛日は6月3日、終息日は8月13日であった。

表1 褐斑病モデルの適合性評価

日付	子のう胞子飛散数	対 P_{max} *1 (%)	濡れ時間	平均気温	推定初発日	モデル適合性
4月24日	14	2.8	6	14.6	5月11日	×
4月30日	47	9.5	6	12.4	5月16日	×
5月6日	3	0.6	5	16.0		×
5月7日	25	5.1	12	16.8	5月22日	○
5月8日	4	0.8	13	8.5		×
5月9日	2	0.4	4	7.3		×
5月13日	116	23.5	12	14.6	5月27日	○
5月17日	1	0.2	6	13.6		×
5月28日	87	17.6	6	13.1		×
5月29日	152	30.8	13	12.5		×
6月2日	17	3.4	3	16.8		×
6月3日	493(P_{max})		12	13.4		×

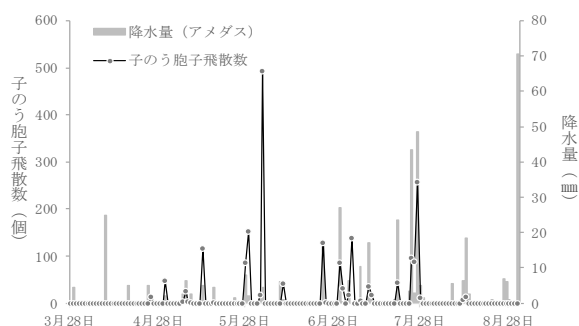


図1 褐斑病の子のう胞子飛散消長

(3) 暴露苗木及び立ち木における褐斑病初発調査

ア. 苗木の暴露試験では、いずれも発病が認められなかった（未記載）。

イ. 立ち木試験では、6月3日に初発を確認した。しかし、病斑は数mmとやや大きく、本当の初発日は本確認日より早いものと推測された。

(4) 褐斑病菌の新梢葉における発生消長

褐斑病の発生は8月の第2半旬に急増しており、この急増期が到来した早さは、過去5年の中では前年に次いで早かった。

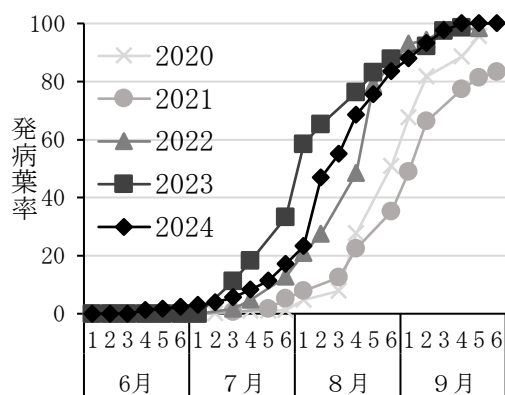


図2 2020～2024年の新梢葉における褐斑病発病葉率（6半旬）

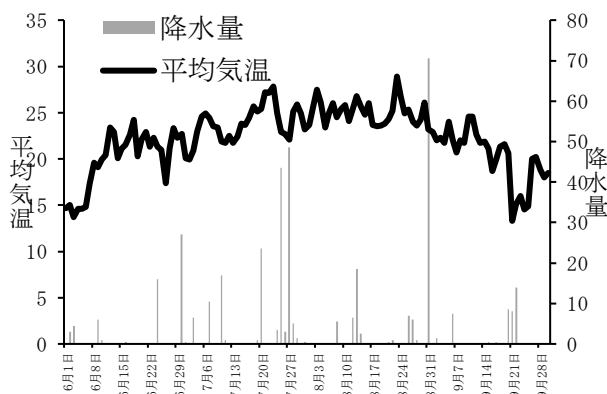


図3 試験期間中の気象条件（2024年）

（5）黒星病の子のう胞子飛散消長

子のう胞子の初飛散日は4月9日、最も飛散量が多い最盛日は4月24日～25日及び5月7日、終息日は6月3日であった。

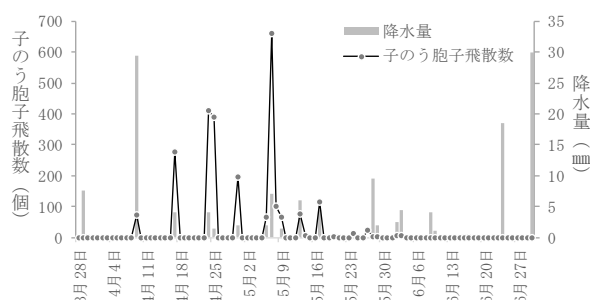


図4 黒星病の子のう胞子飛散消長

（6）黒星病の新梢葉における発生消長と感染危険度の評価

5月1日に初めの重度感染の判定が出たものの、実際の発生量増加にはつながらなかった。5月13～14日に次の重度感染の判定が出ており、実際にも5月の第5～6半旬から発病が増加し始めた。その後は中程度感染の判定が数回出たものの、重度感染の判定は6月9日の1回に留まっており、実際の発生についても目立った急増期が見られず、前年に比べ低く推移し、平年に比べ同程度以下で推移した。

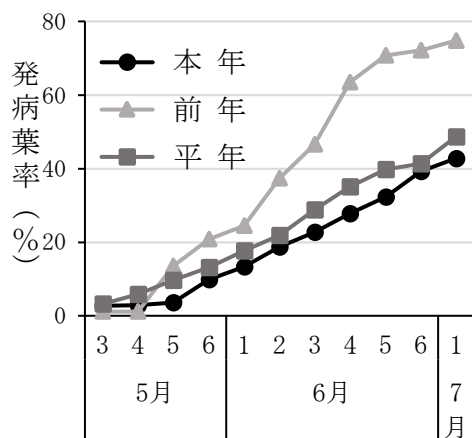


図5 新梢葉における黒星病の発生推移
(6半旬)

注) 平年値は 2014~2023 年の平均値。

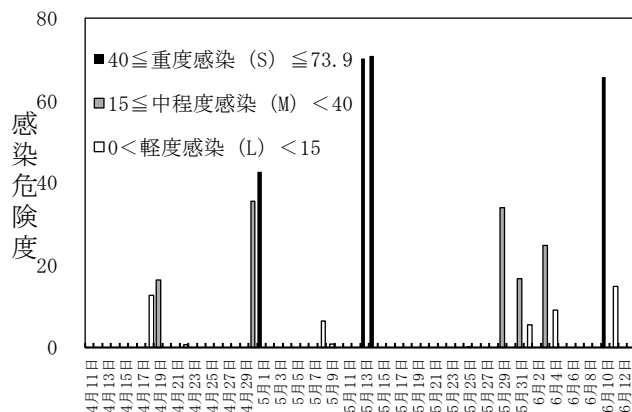


図6 試験期間中の黒星病感染危険度
(2024 年)

4. 考察

(1) 褐斑病

‘ふじ’の開花直前頃から子のう胞子の飛散が確認され、8月にかけて長期的な飛散が認められた。猫塚ら(2023)の1stピーク推定モデルと子のう胞子飛散の実測値には誤差があった。一方、本モデルに基づく推定初発日は実初発日と近似していた。感染には“子のう胞子の飛散”と“感染条件を満たすこと”が必要であり、本モデルで1stピーク推定に使用される濡れ時間と気温の条件は感染条件に近いことが推測され、初発日推定として有用であると考えられた。

(2) 黒星病

伝染源である子のう胞子の飛散と気象条件に基づく感染条件の充足度を示す感染危険度判定は必ずしも一致しないことが改めて示唆された。いずれかのみでは感染は起こらず、感染には伝染源と感染条件の両方を満たしていることが必要となる。

5. 今後の課題

6. 要約

褐斑病の1stピーク推定モデルは実測の1stピークとは一致しなかった。しかし、推定の1stピークを感染日とし、そこから算出される初発日は実際の初発日と近いことが示唆され、初期感染日・初発日の推定モデルとして一定の精度を示した。

7. 成果の公表および特許

「農なび青森」への掲載：りんご黒星病の感染危険度情報、黒星病の発生推移

課題2.「イネウンカ類のAI自動カウントシステムを利用した新たな発生予察手法の開発」

(1) 農研機構

担当機関・部署	農研機構植物防疫研究部門基盤防除技術研究領域
担当者	真田幸代・矢代敏久・松村正哉

1. 背景および目的

効果的な防除を実施するためには、生産圃場における正確な発生量の情報が不可欠であるが、その調査には多大な労力が必要となっており、現場の負担が大きい。AI自動カウントシステムは対象害虫の同定および係数を自動で実施することから、作業人員の削減、作業時間の大幅な削減を見込める技術として現場のニーズが高い。一方、発生量の少ない時期の調査との併用の仕方、誤判定の問題、実際に圃場で調査に用いた際に生じる不具合など、現地で実証しなければならない課題も多い。そこで本課題では、イネウンカ類で開発されたイネウンカAI自動カウントシステムにおける現地実証を行い、作業手順を取りまとめる。

2. 方法

農研機構では、主に九州地域の一般生産者圃場や、九州地域以外の圃場での粘着板による調査で、イネウンカAI自動カウントシステムによる計数における不具合等を検証する。他の研究機関による調査を含めて、作業手順をとりまとめる。

①イネウンカ類のAI自動カウントシステムの飛来時調査

山口県、長崎県、鹿児島県内の圃場において調査を実施（担当：山口県農総技セ・長崎県農技開セ・鹿児島県農開総セ）。

課題について取りまとめ、改良版を検討する。

②イネウンカ類のAI自動カウントシステムの圃場発生調査

i) 調査地：長崎県諫早市（直播圃場）、沖縄県石垣市予察ほ場

長崎県諫早市では、本事業以前に既に検証済みの圃場（有機栽培圃場・慣行防除圃場・無処理場内圃場等）

沖縄県石垣市では、九州および中四国、近畿以外のイネウンカ発生地域での水田圃場調査を実施し、イネウンカAI自動カウントシステムで解析し、九州地域と比較した。

ii) 山口県、長崎県、鹿児島県内の圃場において調査を実施した（担当：山口県農総技セ・長崎県農技開セ・鹿児島県農開総セ）。

③イネウンカ類AI自動カウントシステムの調査手順書を作成

Windows版の解析手法について改善点について検討し、改良する。

発生予察事業に利用するための手順書を作成する。

3. 結果

①イネウンカ類のAI自動カウントシステムの飛来時調査

既存の黄色粘着板と、今回新たに調査に用いた白色粘着板のイネウンカAI自動カウントシステムの計数を利用するうえでの課題について、山口県、長崎県、鹿児島県のデータを解析中である。年度内に完了する見込みである。

②イネウンカ類のAI自動カウントシステムの圃場発生調査

i) 長崎県諫早市（直播圃場）：これまでの圃場調査の粘着板で確認されたのは、イネウンカとその他の昆虫等であったため、本事業以前で検証済みの圃場調査と特段の違いは見られなかった。一方、沖縄県石垣市内の予察ほ場の調査では、九州・中四国・近畿地域の圃場での払い落とし調査では確認されなかったTagosodes属のウンカが発生しており、この一部の個体をセジロウンカやトビイロウンカに誤判定する事例がみられた（図1）。

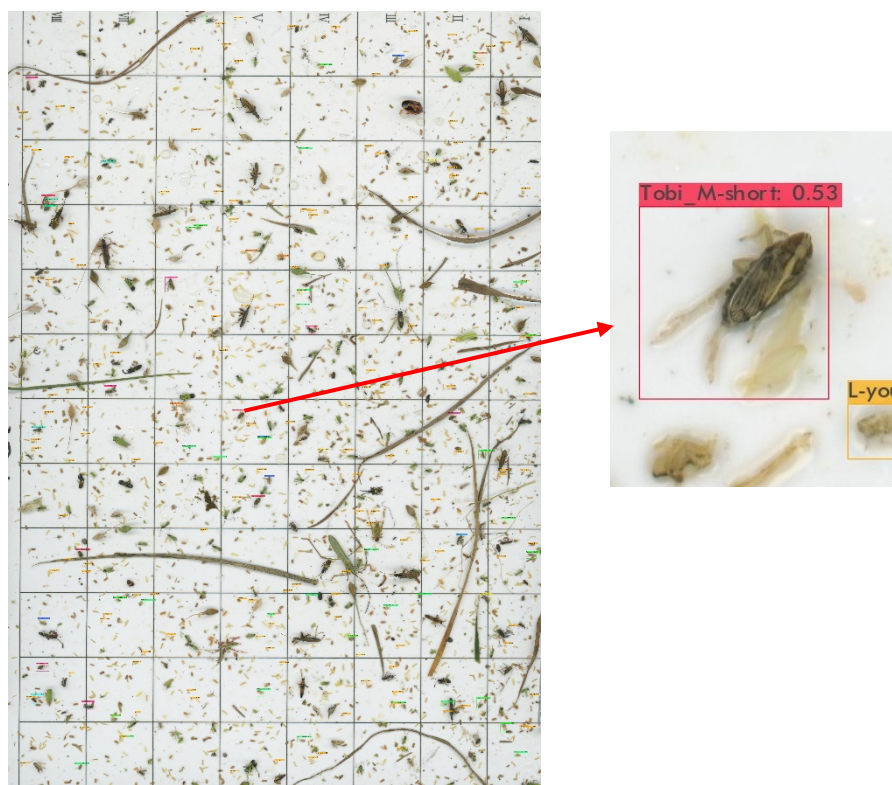


図1 AI カウントシステムによる Tagosodes 属ウンカの判定の一例

ii) 長崎県農技開センターの圃場での払い落とし調査で、長崎県などのごく一部地域で発生しているイネクロカメムシの幼虫が確認され、イネウンカAI自動カウントシステムで、イネクロカメムシの幼虫をトビイロウンカの短翅雌に誤判定する事例がみられた（図2）。山口県農総技センター、鹿児島県農開総センターのデータは解析中で、年度内に完了する見込みである。

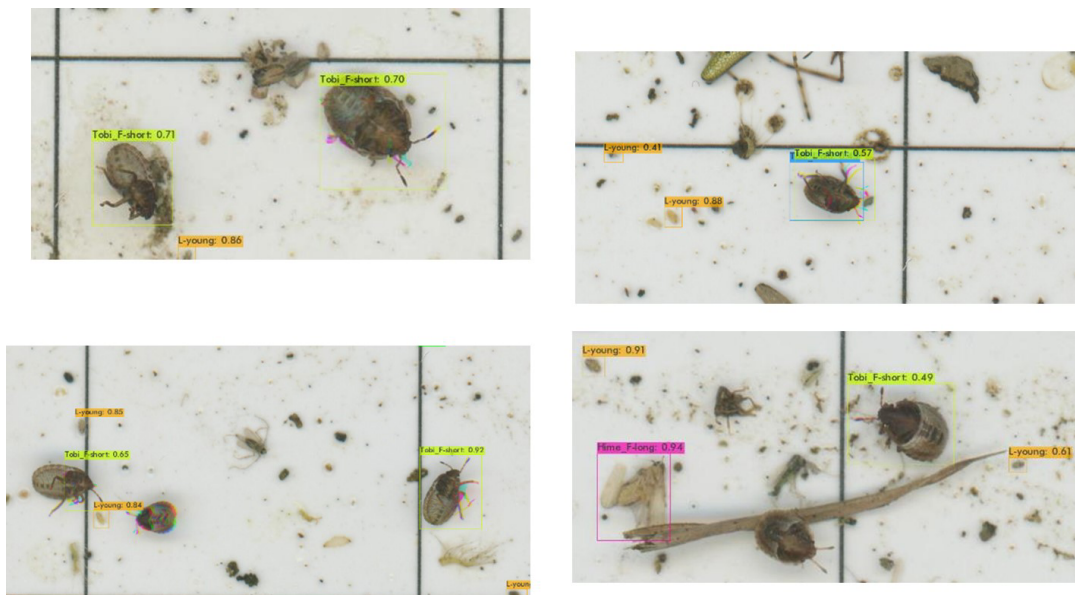


図2 AI カウントシステムによるイネクロカメムシ幼虫の判定の一例
長崎県農技開センターによるデータ解析結果

③イネウンカ類AI自動カウントシステムの調査用手順書を作成

Windows版の解析手法について改善点について検討する計画であったが、各県で、Weindos版のパソコンの購入が遅れたため、Excelでの操作状況の検証については、問題点のとりまとめのみを年度内に終了させる。

発生予察事業に利用するための「発生予察事業におけるイネウンカAI自動カウントシステムの利用手順書（仮題）」については、こまでの収集した各県の結果を取りまとめ中である。手順書（Ver1）の作成については、年度内に完了する予定である。

4. 考察

飛来時に調査における白色粘着板と、イネウンカAI自動カウントシステムの利用については、データを取りまとめ中であるが、飛来時調査では粘着板を1週間おきに回収するため、場合によっては、体色の変色により、イネウンカAI自動カウントシステムで誤判定される可能性が考えられた。そのため、今後は、圃場調査方法についても検証をする必要がある。

払い落としによる圃場調査では、イネクロカメムシやTagosodes属ウンカの発生がある地域では、誤判定について、手順書で注意事項として明記するか検討する必要がある。ただし、誤判定を解消するための再学習については、本事業での実施は困難なため、まずは手順書に事例を明記することで対応する。「発生予察事業におけるイネウンカAI自動カウ

ントシステムの利用手順書（仮題）」（Ver1）の内容については、担当者と十分に協議し、年度内に完了させる。

5. 今後の課題

発生予察事業における圃場内での払い落とし調査で、イネウンカAI自動カントシステムを利用する際には、本システムの精度が90%以上であったとしても一部に誤判定がでる可能性を明記したうえで、省力的な発生予察調査を実施するための手順書を作成し、本システムを利用することが可能であるが、一方で、イネクロカメムシの事例にもあるように、今後も、新たな水稻害虫が発生し、本システムを利用する上で問題となる可能性があるため、本事業で作成した手順書は、今後の状況に合わせて改訂していく必要がある。さらに、イネウンカAI自動カントシステムによる発生予察事業の調査を、より省力化させるためには、Excelでのデータ集約、解析、発生予察情報として公表する資料までの一連の作業を自動化するシステムの構築が必要となる。また、今後、イネクロカメムシやTagosodes属ウンカを考慮したうえでの精度向上を行う場合には、AIの再学習のために、別事業での実施等を検討する必要がある。再学習後の検証については、引き続き、各県の調査圃場でのデータ解析が必須となる。

6. 要約

飛来時調査における白色粘着板とイネウンカAI自動カントシステムを利用については、白色粘着板による回収期間など調査方法についての検討が必要となる。発生予察事業の圃場での粘着板を用いた発生調査について、イネウンカAI自動カントシステムを利用するための注意点等について集約を完了した。事業期間内に手順書を作成する。

7. 成果の公表および特許

「発生予察事業におけるイネウンカAI自動カントシステムの利用手順書（仮題）」は完成後、速やかにウェブ上等で公表する。

課題2. 「イネウンカ AI 自動カウントシステムを利用した新たな発生予察手法の開発」

(2) 長崎県農林技術開発センター

担当機関・部署	長崎県農林技術開発センター 環境研究部門 病害虫研究室
担当者	高田 裕司

【試験1】

1. 背景および目的

イネウンカ AI 自動カウントシステムで解析に用いる払い落とし後の粘着板の経時劣化の推移を明らかにするため、異なる保管条件での AI 計測が可能な期間を明らかにする。

2. 方法

- 1) 払い落とし株数 20 株、3 反復（粘着板 3 枚）
- 2) 払い落とし日 7 月 26 日、7 月 31 日、8 月 27 日の計 3 回
- 3) 払い落とし場所 西海市大瀬戸町現地圃場（無防除）
- 4) 保管条件

- ①-20℃区（家庭用冷蔵庫の冷凍室）、②4℃区（家庭用冷蔵庫）、
- ③16℃区（低温貯蔵庫）、④常温区（研究室内、約 30℃）

※共通条件 粘着板を過度な乾燥を防ぐため、ビニール袋に入れた状態で各条件で保管した。

5) 調査方法

調査日に 30～60 分かけて各保管条件の粘着板を解析した。解析方法は、「イネウンカ類の発生調査における粘着板捕獲サンプルを対象とした AI 自動カウントシステム（ウンカ自動カウントシステム）標準作業手順書」に従った。また、スキャン機器は EPSON 製 GT-X830 を用いた。

同一個体の劣化を観察するため、払い落とし直後の判定率 0.9 以上のトビイロ・セジロを任意に抽出し、同一個体を画像を追跡し、判定率 0.9 を維持した最大日を求めた。

3. 結果

1) 保存方法別に、同一の粘着板を所定の払落し後日にAIシステムにより計数し経過変動を明らかにした。

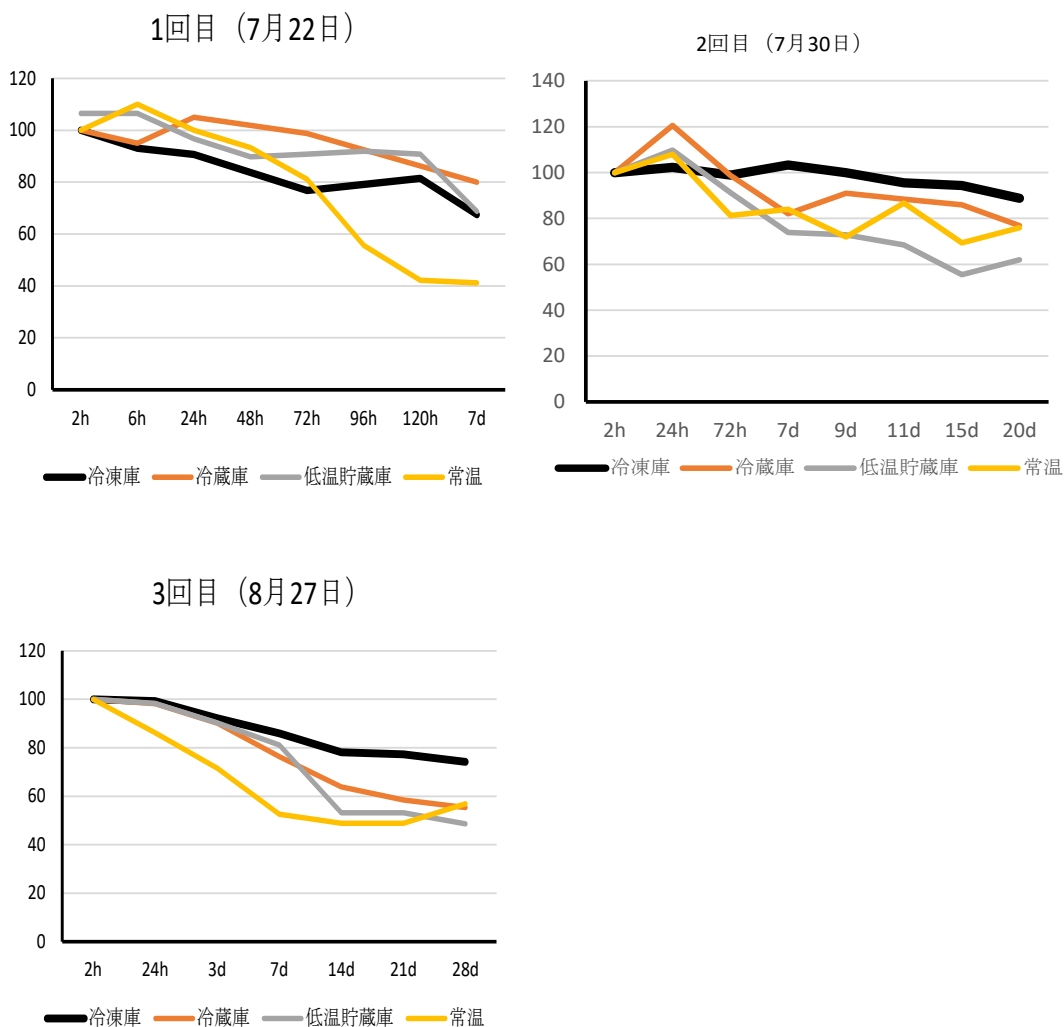


図) 払い落とし直後画像データのA I カウント計数 (若齢のぞく) 結果を基準にした時の、保存方法別の経時的なA I カウント数の推移 (縦軸単位: パーセント、横軸: 保存日数、数値は粘着板3枚あたり頭数を基に算出)

- 1) 3つの保管方法の中では冷凍庫保管 (-20°C) が、比較した最も長い期間、対2時間後の計測頭数の90%を保持した。(1回目: 5日間、2回目: 9日間、3回目: 3日間)
- 2) 冷蔵庫 (-4°C) では3日程度、低温貯蔵庫 (16°C) では3~5日程度、常温 (30°C) では1~2日程度が、対2時間後の計測頭数の90%を保持した。

2) 抽出調査による同一個体の劣化状況を明らかにした。

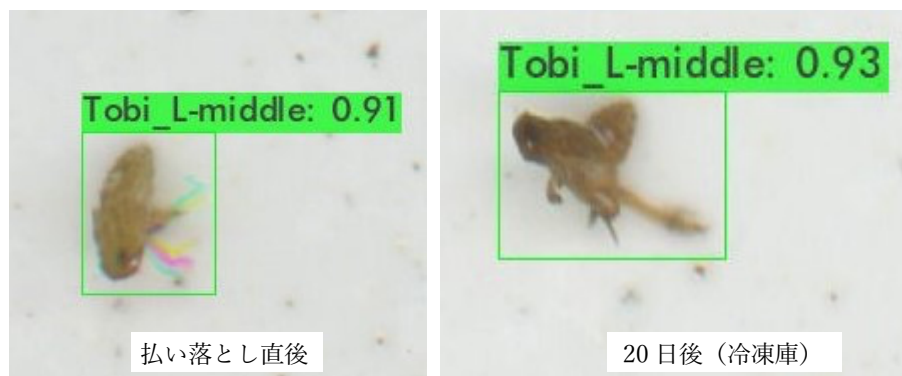


図 同一個体による払落とし直後と判定数値0.9以上を示す最大の経過日の写真例

表 同一個体による判定数値0.9以上を示した最大の経過日

冷凍 1		2H	24H	72H	7D	11D	20D	
セジロ (老齡) 1		0.9	0.9	0.93	0.91	0.92	0.93	
セジロ (老齡) 2		0.93	0.93	0.94	0.93	0.93	0.93	
セジロ (老齡) 3		0.92	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	
セジロ (老齡) 4		0.94	0.9	0.9	0.89	0.91		
トビイロ (中齡) 1		0.92	0.93	0.93	0.93	0.93	0.92	
トビイロ (中齡) 2		0.91	0.93	0.93	0.93	0.92	0.93	
トビイロ (中齡) 3		0.91	0.92	0.92	0.92	0.92		
冷凍 2		3H	24H	3D	7D	14D	21D	28D
セジロ (老齡) 5		0.93	0.92	0.93	?	0.92	0.93	0.92
セジロ (老齡) 6		0.93	0.93	0.93	0.91			
トビイロ (老齡) 1		0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
トビイロ (老齡) 3		0.92	0.93	0.94	0.93	0.93		
トビイロ (中齡) 4		0.92	0.92	0.91	?	0.91	0.9	
トビイロ短♀ 1		0.93						
トビイロ短♀ 2		0.93	0.9					
トビイロ短♀ 3		0.9						

冷蔵庫		3H	24H	3D	7D	14D	21D	28D
セジロ (老齢) 1		0.92	0.9	0.91				
セジロ (老齢) 2		0.92	0.93	0.92	0.93	0.92		
セジロ (老齢) 3		0.92	0.92	0.92	0.92	0.92		
セジロ (中齢) 1		0.92						
セジロ (中齢) 2		0.84	0.91	0.9				
セジロ短♀		0.94	0.92	0.92	0.85	0.91	0.92	0.92
トビイロ (老齢) 1		0.91	0.93					
トビイロ (老齢) 2		0.91						
トビイロ (老齢) 3		0.93	0.69	0.9				
トビイロ (老齢) 4		0.89	0.9	0.9				
トビイロ (老齢) 5		0.92						
トビイロ (老齢) 6		0.93	0.92	0.93				
トビイロ (中齢)		0.92	0.93	0.92	0.92	0.93	0.92	0.9
トビイロ長♀1		0.87	0.93					
トビイロ長♀2		0.95	0.95	0.93	0.95	0.94	0.93	0.94
ヒメトビ短♀1		0.92	0.89	0.87	0.9			

常温		3H	24H	3D	7D	14D	21D	28D
セジロ（老齢）		0.93						
トビイロ（老齢） 1		0.92	0.92					
トビイロ（老齢） 2		0.92	0.92	0.9				
トビイロ（老齢） 3		0.94	0.93					
トビイロ（老齢） 4		0.95	0.92					
トビイロ（中齢） 1		0.92	0.92					
トビイロ（中齢） 2		0.91						
トビイロ短♀ 2		0.92	0.92	0.91	0.91	0.89	0.92	0.92
トビイロ長♀ 1		0.92						
トビイロ長♀ 2		0.93	0.92					

3) 判定数値0.9以上を示したのは、冷凍保存ではセジロ・トビイロ幼虫は概ね10日以上、トビイロ短翅雌成虫は1日程度だった。冷蔵庫保存ではセジロ、トビイロ幼虫は3時間後～28日後でバラツキが大きかった。常温保管ではトビイロ幼虫は24時間程度であった。

4. 考察

各保存方法とも、日数の経過とともに計数値が減少していくが、冷凍庫（-20℃）の減少率が最も低く、常温（約30℃）が最も早く計数値が低下する傾向にある。冷凍庫（-20℃）ではの10日間程度は保存可能であると推察される。

5. 今後の課題

本システムを病虫害発生予察にかかる巡回調査に用いるには、巡回調査中のウンカ払落とし後の車内静置時間を考慮する必要があるため、車内静置した後長期保存方法に切り替えて保存可能期間を明らかにする必要がある。

6. 要約

ウンカ類を粘着板上に払落とし、その後の保管方法について検討した。払い対落とし後2時間後のAI計測頭数の90%を保持したのは冷凍庫保管（-20℃）が3～9日間、冷蔵庫（-4℃）では3日程度、低温貯蔵庫（16℃）では3～5日程度、常温（30℃）では1～2日程度で、冷凍庫保管が最も長い期間ウンカ類を保持した。

【試験2】

1. 背景および目的

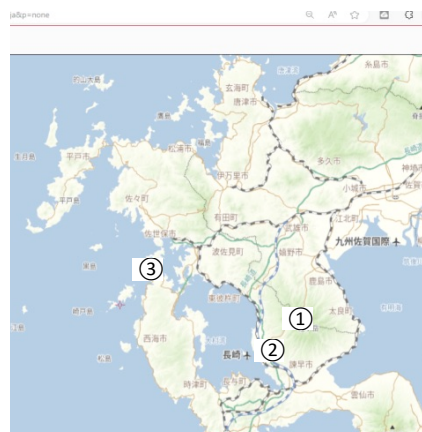
飛来性イネウンカ類の飛来状況の把握は、ウンカ類の効率的な防除に必要である。現行では予察灯、ネットトラップ、無防除圃場の見取り調査などで飛来状況を確認しているが、最も被害が問題となるトビイロウンカの飛来量はセジロと比べて少なく、上記の調査方法では確認できない場合がある。

そこで、ウンカ類の飛来を効果的に把握するためにイネウンカ AI 自動カウントシステム

で用いる粘着板と黄色粘着板を用いて、調査板や圃場内の設置位置による誘殺数の違いを明らかにする。

2. 方法

- 1) 調査期間 2024年6月19日～7月22日
- 2) 調査場所 ①長崎農技センター、
②長崎市船石町、
③西海市大瀬戸町



3) 調査方法

- (1) トラップには、イネウンカ AI 自動カウントシステムで用いる白色用紙 (257mm×364mm) をアクリル板の片面に貼り付け、用紙に粘着スプレー (商品名：金竜スプレー) を塗布したものと、黄色粘着板 (商品名：ホリバー257mm×100mm) の2種類を用いた。
- (2) 圃場内の設置位置は水田内の畦そばと、畦から4m内部に各トラップ1個ずつを、園芸用支柱を用いて、縦置きにトラップの最高位置が水面から40cmになるようにし、水田中央部に向けて設置した。回収後、室内で調査するまではラップなどは用いずに、1枚ずつ個別に容器に入れ冷蔵庫保管した。

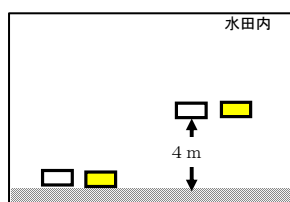


図 水田内トラップ設置位置のイメージ

- (3) 調査期間内は約7日間隔で回収・設置を行い、実体顕微鏡によりイネウンカ類を種別、性別に計数した。
- (4) イネ体への寄生頭数を6月25日、7月2日、7月9日に見取り調査により調査した。

3. 結果

【トラップ別の捕獲頭数】

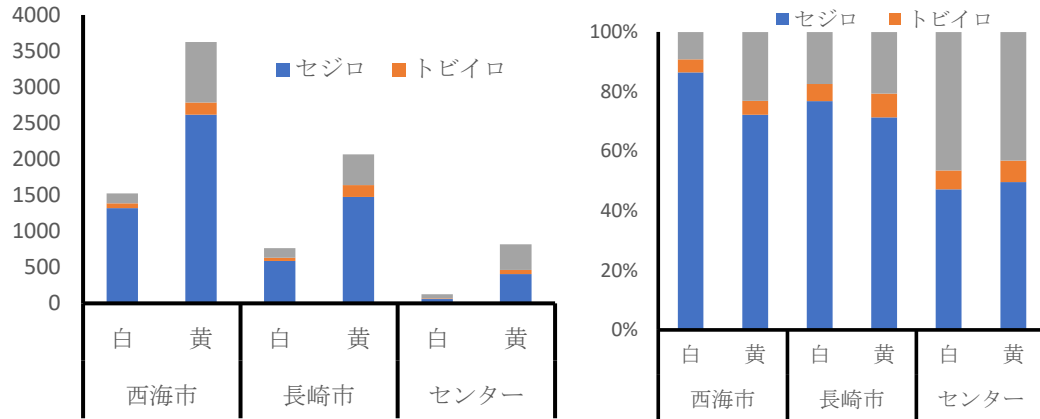


図 トラップ種類別の飛来虫捕獲数（左図）、及びウンカ別捕獲比率（右図）

※調査期間の捕獲総数（畦横、畦から4mのトラップ2枚当たり頭数）

結果：黄色板の方が捕獲頭数は多い。ウンカ別の捕獲比率は色によって違いはない。

【設置位置別の捕獲頭数】

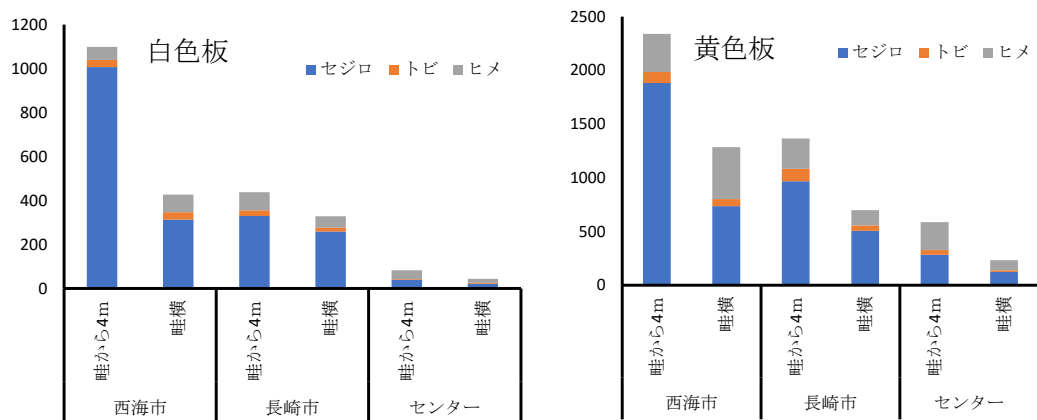


図 トラップの設置位置別の白色板（左図）、及び黄色板（右図）の捕獲数

結果：白色板、黄色板ともに畦から4mの位置の捕獲頭数の方が多い

【性別の捕獲頭数】

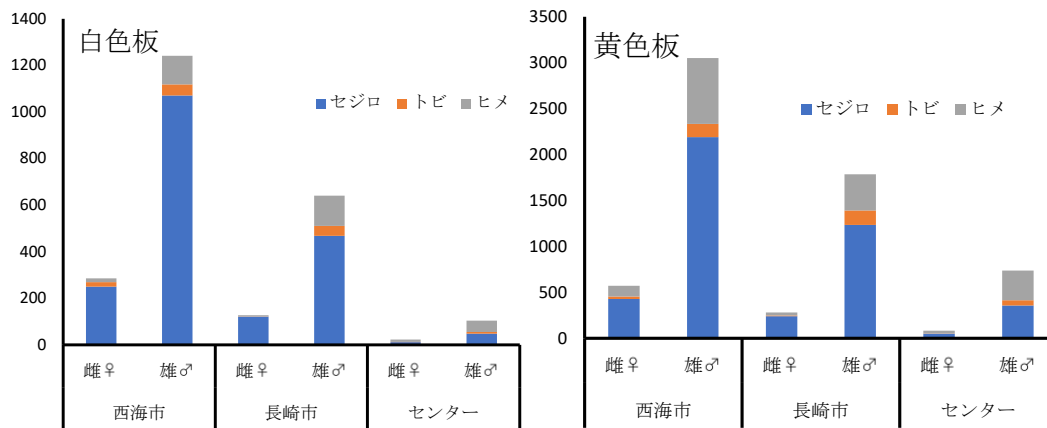


図 性別の白色板（左図）、及び黄色板（右図）の捕獲数（粘着板2枚当たり）
結果：白色板、黄色板ともに捕獲頭数は雄の方が多い

【飛来虫が捕獲された白色板のAI自動カウントシステムによる計数】

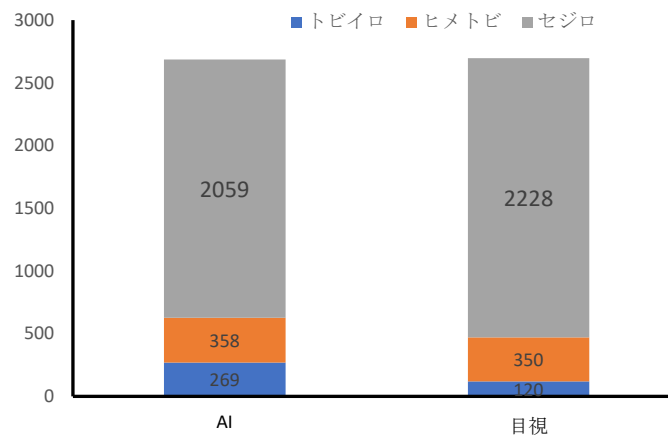


図 白色板のAI判定による捕獲頭数

※全地点、全調査日の総捕獲数

結果：ウンカ類として計数された捕獲頭数は、目視調査が2,698頭、AIが2,686頭で高い精度でウンカ類を判定できた。ウンカ類を個別にみると、トビイロウンカが目視より多く判定されている。これは、白色板の圃場への設置期間が約7日間であったため虫体の変色により他のウンカ類に計数された可能性がある。

【センター（諫早市）における各調査法方法による捕獲頭数】

	JPP飛来 予測	ネットA		ネットB		白熱灯		白色板		黄色板	
		セジ	トビ	セジ	トビ	セジ	トビ	セジ	トビ	セジ	トビ
6月19日		0	0	0	0	0	0				
6月20日	◎	0	0	0	0	2	0				
6月21日	◎	0	0	0	0	0	0				
6月22日	◎	0	0	0	0	0	0	25	1	163	18
6月23日	◎	1	0	1	0	8	0				
6月24日	◎	0	0	2	0	5	0				
6月25日	◎	0	0	0	0	1	0				
6月26日		0	0	0	0	0	0				
6月27日		0	0	0	0	0	0				
6月28日	◎	0	0	0	0	4	0				
6月29日	◎	0	0	0	0	2	0	29	4	224	29
6月30日		3	2	0	0	0	0				
7月1日	△	1	0	0	0	0	0				
7月2日	△	0	0	0	0	0	0				
7月3日		0	0	0	0	0	0				
7月4日	△	0	0	0	0	0	0				
7月5日	◎	5	0	0	0	0	0				
7月6日		0	0	0	0	1	0	0	3	11	10
7月7日		0	0	0	0	1	0				
7月8日		0	0	0	0	2	0				
7月9日		0	0	0	0	0	0				
7月10日	◎	2	0	0	0	1	0				
7月11日	◎	0	0	0	0	106	0				
7月12日	◎	0	0	0	0	33	0				
7月13日	◎	0	0	0	0	232	0	5	0	8	0
7月14日	△	0	1	0	0	70	0				
7月15日		0	0	0	0	17	0				
7月16日		0	0	0	0	0	0				
7月17日		0	0	0	0	2	0				
7月18日	△	1	0	0	0	1	0				
7月19日	◎	0	0	0	0	1	0				
7月20日		0	0	0	0	13	0	-	-	1	2
7月21日		0	0	0	0	0	0				
7月22日		0	0	0	0	0	0				
合計		13	3	3	0	502	0	59	8	407	59

※「JPP飛来予測」

◎は予報の飛来波が長崎に十分かかっている、△はわずかに長崎にかかっている

※「ネットA」「ネットB」「白熱灯」は発生予察室の調査による

※粘着トラップは2枚の合計値

結果 白色板の捕獲頭数は黄色板に劣るが、従来調査法と比べて多く捕獲できる可能性がある。

4. 考察

飛来性ウンカ類の飛来日、飛来量を調べるために粘着板による捕獲能力を検討した。2種

粘着板のうち、黄色板ははネット調査や白熱灯調査と比べて、特にトビイロウンカについて捕獲する能力が高いと思われる。また、水田内に設置するときは、水田内部に設置する方が捕獲数が多くなる。一方、白色板の捕獲数は黄色板に劣るが、県内各地への設置、およびイネウンカAI自動カウントシステムと併用により、現地受益者の協力を得られれば、島しょ地域を含む県内全域で調査ができる可能性がある。

5. 今後の課題

今回の調査は、粘着板の回収間隔が約7日であったために、飛来日の特定ができなかった。また、虫体の変色によって、白色板のAI判定の精度が落ちたと思われるので、次年はJPPネットによるウンカ飛来予測日を参考にして、設置から回収までの間隔を24時間にして飛来日の精度を高める。白色板に捕獲数が黄色板より少なかったため、白色板を両面に貼り付け、捕獲数を比較する。

6. 要約

粘着板の水田内設置によるウンカ類の飛来調査は、従来調査法以上に高確率に捕獲できる可能性がある。粘着板のうち黄色板の方が多く捕獲できた。白色板も黄色板より少なかったが、AIカウントが利用できることが示唆された。

課題2. 「イネウンカ類の AI 自動カウントシステムを利用した新たな発生予察手法の開発」

(2) 鹿児島県農業研究センター

担当機関・部署	鹿児島県農業開発総合センター生産環境部
担当者	楠畑勇祐・福田健

1. 背景および目的

(1) 粘着トラップによる発生予察調査

これまでイネウンカ類の発生予察は、ジョンソントラップおよび60wの白熱灯トラップで行っていたが、誘引能力がそれほど高くないため、飛来時期の特定が困難となっている。また、他にも水田内に黄色粘着板を設置し、飛来を確認する方法も過去に行われたが、定期的な回収作業が困難であることや確認作業に専門的な知識が必要となることから、生産現場に普及はしなかった。

そこで本事業では、新しい発生予察手法の確立として、イネウンカ類の飛来時期から約1ヶ月半にわたり発生予察調査を、AI自動カウントシステムの粘着板（ユポ紙）および黄色粘着板で行い、誘殺数を比較する。また、AI自動カウントシステムによる計数が目視での計数に比べてどの程度正確か検証する。

(2) 発生予察調査巡回調査

病害虫防除所の発生予察巡回調査は、調査対象病害虫の増加や特殊病害虫の発生等により、人員不足が深刻となっており、調査の省力化が求められている。イネウンカ類AI自動カウントシステムは、識別精度も高く、これまで長時間かけていた調査をAI技術の導入により大幅な省力化が見込めるため、実用的であると考えられる。そのため、病害虫防除所のイネウンカ類を対象とした発生予察巡回調査にAI自動カウントシステムを導入し、実用化する際の問題点を明らかにする。

2. 方法

(1) 粘着トラップによる発生予察調査

飛来時期（6月25日）から約1ヶ月（7月19日）にわたりイネウンカ類（セジロウンカ・トビイロウンカ・ヒメトビウンカ）の発生予察調査を、下記の①～③の条件でそれぞれ3反復ずつ行った。①AI自動カウントシステムの粘着板を白い板に張り付けたトラップ（図1）②AI自動カウントシステムの粘着板を黄色い板に張り付けたトラップ（図2）③黄色粘着板（ホリバー）を杭に固定したトラップ。

調査は1週間に2回、毎週火曜日と木曜日に行い、回収と同時に新しい粘着板を設置した。なお、①と②の調査は、ユポ紙を設置した後に上から金竜スプレーを噴霧し、粘着板とした。なお、全ての試験区で水面から1 mの高さに粘着板を設置した。回収した粘着板は、目視でイネウンカ類の計数を行った後に、①および②のみAIカウントシステムによる調査を行った。



図1 調査用紙（ユポ紙）を白い板に張り付けた粘着トラップ



図2 調査用紙（ユポ紙）を黄色い板に張り付けた粘着トラップ

（2）発生予察調査巡回調査

発生予察巡回調査の作業は、大きく分けて1）調査準備、2）現地水田調査および3）イネウンカ類の計数が重要と考えられることから、各作業において実用化する際の問題点を明らかにした。具体的な各作業の手順は以下の通りである。

1）調査準備

調査前の事前準備として、プラスチック製の黒色板にサランラップを巻き付け、その上にユポ紙をセロハンテープで張り付けた。

2）現地水田調査

調査直前に金竜スプレーをユポ紙の上からムラがないように噴霧し、粘着板を作成した。調査は、水田中央部の連続5株×5地点において叩き落しを行い、1枚の水田で粘着板を1枚使用した。調査を終えた粘着板は、イネ葉や大きい虫（クモ類・

バッタ目など）を取り除き、岡持ちに収納した。

3) イネウンカ類の計数

持ち帰った当日に粘着板をスキャナで画像化し、イネウンカ類3種の成虫数、幼虫数についてはAIカウントシステムで種ごとに計数した。

3. 結果

(1) 粘着トラップによる発生予察調査

イネウンカ類の各設置トラップの目視による個体数を表1にAI自動カウントシステムによる個体数を表2に示した。①ユボ紙粘着板（白い板）区は、調査期間を合計してセジロウンカが44頭、トビイロウンカが2頭、ヒメトビウンカが1頭確認され、②ユボ紙粘着板（黄色い板）区は、調査期間を通してセジロウンカが47頭、トビイロウンカが3頭、ヒメトビウンカが1頭であり、設置した板の色による個体数の差はほとんど認められなかった。また、参考区である黄色粘着板区は、セジロウンカが55頭、トビイロウンカが2頭、ヒメトビウンカが3頭確認され、全ての試験区間で個体数の差はほとんど認められなかった。

AI自動カウントシステムによる各種トラップのイネウンカ類個体数は、①ユボ紙粘着板（白い板）区において、調査期間を合計してセジロウンカが52頭、トビイロウンカが3頭、ヒメトビウンカが7頭確認され、②ユボ紙粘着板（黄色い板）区は、セジロウンカが33頭、トビイロウンカが3頭、ヒメトビウンカが8頭であった。全てのイネウンカ類において目視調査と比較して個体数が多く、特にヒメトビウンカで多く確認された。

表1 目視調査における各種トラップのイネウンカ類個体数

試験区	セジロウンカ			トビイロウンカ			ヒメトビウンカ		
	雄	雌	計	雄	雌	計	雄	雌	計
①ユボ紙粘着板（白い板）	19	25	44	2	0	2	1	0	1
②ユボ紙粘着板（黄色い板）	25	22	47	2	1	3	1	0	1
③黄色粘着板（参考）	31	24	55	2	0	2	3	0	3

表2 AI自動カウントシステムによる各種トラップのイネウンカ類個体数

試験区	セジロウンカ			トビイロウンカ			ヒメトビウンカ		
	雄	雌	計	雄	雌	計	雄	雌	計
①ユボ紙粘着板（白い板）	34	18	52	3	0	3	3	4	7
②ユボ紙粘着板（黄色い板）	33	24	57	3	3	6	5	3	8

(2) 発生予察調査巡回調査

考察と合わせて記載のため省略

4. 考察

(1) 粘着トラップによる発生予察調査

目視調査において全ての試験区間で個体数の差がほとんど認められなかった要因は、以下の。①飛来個体数が少発生であった（試験区間で差があまり認められなかった）、②設置方法が悪かった（粘着板を設置する場所および設置の高さ）および③色による誘引能力の差がなかったことの3要因が考えられた。しかし、①～③のいずれの要因についても、単年度のデータであるため、複数年度の試験事例が必要である。

イネウンカ類をAI自動カウントシステムが目視調査より多く計数したのは、設置期間中のサンプルの劣化およびその他微小昆虫の誤同定と考えられた。今回の調査では、設置期間は3～4日間とそこまで長期間ではなかったが、日中の高温や雨風等の条件により劣化が進んだことで誤同定のリスクが高くなった可能性がある。また、微小昆虫の誤同定に関しては、水田内の叩き落とし調査ではほとんど認められないアブラムシ類（図3）や雑ウンカ類（図4）が認められた。これらは、畦の近くにトラップを設置しない等の対応で改善できる可能性があるため、今後検討していきたい。



図4 雑ウンカ類を誤同定



図3 アブラムシ類を誤同定

(2) 発生予察調査巡回調査

1) 調査準備

粘着板を岡持に収納する際に紙が引っかかり破れるというケースが散見されたが、セロハンテープをユポ紙の四隅にきっちり貼り付けることで岡持からの出し入れもスムーズに行うことができたため、特に問題点は見当たらなかった。

2) 現地水田調査

今回の試験で使用した金竜スプレーを用いた粘着板は、SEトラップ等とは異なり強力な粘着力ではなかったため、粘着板に葉や茎が付着することがほとんどなく、実際に作業した防除職員からも好印象であった。今回の調査に限った事例ではないが、調査職員によって粘着板を稲に添える高さや角度が異なる等の問題点も認められたため、このイネウンカ類AI自動カウントシステムの使用マニュアルを作成する際は、叩き落とし調査についても細かく手順を記載する必要があると考えられた。

3) イネウンカ類の計数

鹿児島県における発生予察巡回調査は、1泊2日にわたる場合も少なくないため、叩き落とした粘着板を1日後に画像データへスキャンする事例も確認された。保管条件によっては、サンプルが劣化して同定精度が落ちる可能性が高いことから、サンプル輸送時の保管温度を考慮する等の改善策を考えていく必要がある。

5. 今後の課題

イネウンカ類AI自動カウントシステムのための使用マニュアルではなく、発生予察巡回調査一連の調査と関連付けたマニュアルの作成が重要であると考えられたため、基礎的な知見を積み上げていく必要がある。また、粘着トラップを用いた発生予察調査では、サンプルの劣化やその他微小昆虫の誤同定のリスクを減少させる手法を模索することが重要であると考えられる。

6. 要約

新しい発生予察手法の確立として、イネウンカ類AI自動カウントシステムを用いた場合の利点と欠点について確認するため、発生予察調査巡回調査にAI自動カウントシステムを組み込んだ実証試験を行った。初年度の試験であったことから、サンプルの劣化による誤同定などの問題点が散見されたため、調査手法を改善させ試行錯誤を行いながら、使用マニュアルを作成していくことが重要であると考えられた。

7. 成果の公表および特許

なし

課題2.「イネウンカ類のAI自動カウントシステムを利用した新たな発生予察手法の開発」

(2) 山口県農林総合技術センター

担当機関・部署	山口県農林総合技術センター環境技術研究室
担当者	本田善之・東浦祥光

1. 背景および目的

山口県は海外飛来性ウンカ類の飛来が比較的多いが、その飛来日は予察灯で行っており捕獲効率が悪いいため飛来が確認できなかったり、機材が重たいため望む場所での飛来確認ができていなかった。近年、持ち運びが容易で安価なカラー粘着板を圃場に設置することで飛来、発生状況が効率的に把握できる可能性が示された。そこで各種粘着板の捕獲効率、作業性、経済性を比較してウンカの飛来、発生状況に最適な粘着板を選定するとともに、粘着板のウンカ類をAIで判断する手法を活用することで、より効率的なウンカの飛来、発生状況の調査方法の確立を目指す。さらに払落し調査で粘着板の上にウンカ類を払落し、その粘着板をAIで自動判別させることで、調査労力の軽減化を図る。

2. 方法

(1) 効率的で作業性の高い粘着板の選定

試験場所 右図の通り

①黄色粘着板の設置高別試験

(30cm、60cm、90cm試験)

※30cmの場合、トラップ上部が水面から

30cm、下部は水面から5～10cm程度

試験期間 2024年6月～7月 6/17-7/15飛来

世代 5回収収。

②粘着板の種類別試験

(黄色30、白色屋根(白色下穴)、白色平板)

試験結果はウンカの飛来時、第一世代、第二世代に区分して解析した。

試験期間 2024年6月～9月 6/17-7/15飛来世代5回収収、7/23-8/13第一世代4回収収、

8/20-9/10第二世代3回収収。白色屋根は飛来世代、白色下穴は第一、二世帯で調査

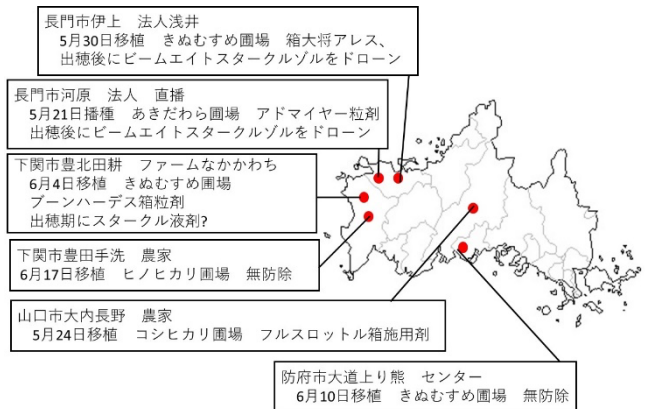
試験内容(①②共通) 1試験圃場3連で1週間ごとに回収し、ウンカ類を種類別に計数。

(2) 粘着板ウンカ類のAI自動カウントでの効率について

(1)の調査地点において1週間ごとに捕獲した白色粘着板をスキャナーで読み取り、AIで自動カウントした結果と目測でカウントした結果の適合性を検証した。

(3) 払落し調査での粘着板ウンカ類のAI自動カウントでの効率について

(1)の圃場において、1週間ごとに払落し調査した白色粘着板をスキャナーで読み取り、AIで自動カウントした結果と目測でカウントした結果の適合性を検証した。



3. 結果

(1) 効率的で作業性の高い粘着板の選定

①黄色粘着板の設置高

黄色粘着板は30cmで最も捕獲効率が高く、ついで60cm、90cmの順であった(図1)。

②粘着板の種類別試験

飛来時の試験では粘着板の種類は黄色30が最も捕獲数が多く、ついで白色平板であったが、トビイロウンカに関しては白色平板と白色屋根との差は少なかった(図2)。第一世代の試験では黄色30が最も捕獲数多く、ついで白色平板であった。トビイロウンカに関しては白色平板と白色下穴との差は5頭で、飛来時の白色平板と白色屋根との差より大きかった(図3)。

第二世代の試験は捕獲数が少なかったため、不記載。

(2) 粘着板ウンカ類のAI自動カウントでの効率について

(3) 払落し調査での粘着板ウンカ類のAI自動カウントでの効率について 農研機構と調整して調査中

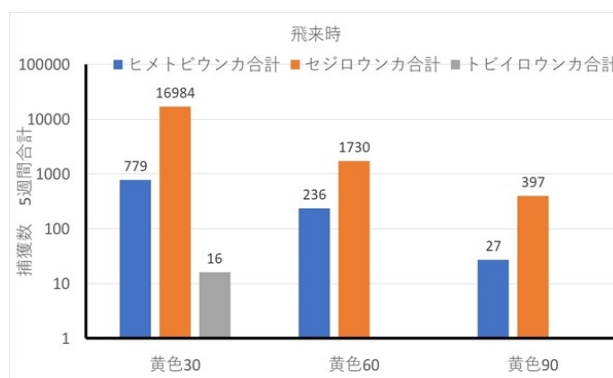


図1

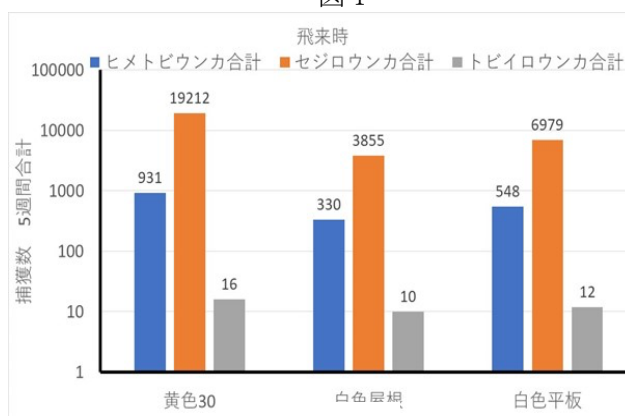


図2

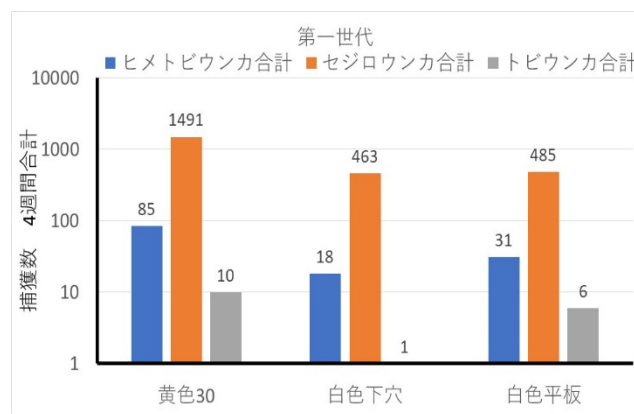


図3

4. 考察

粘着板は設置場所は圃場の畦畔から5~10m入ったところで、設置高は水面から5~10cm(上部30cm)が適していることが判明した(表1)。トラップの種類は黄色粘着板が最も捕獲効率は高いが、作業性に大きく劣り、AI自動カウントで計数できないため、ある程度捕獲数は少なくとも白色平板を活用すべきかと考える。トビイロウンカについては白色平板と白色屋根の差はわずかだったため、白色屋根の利用も考えられる(表2)。いずれにせよ、メーカーが加工業務を請け負っていただける種類のものを選択せざるを得ない。

5. 今後の課題

(1) 粘着板メーカーとの加工業務を見据えた効率的で作業性の高い粘着板の選定

(2) 粘着板の調査間隔の短縮化(1週間間隔→3, 4日間隔)

(3) 粘着板調査のAIカウントシステムによる効率化

(4) 払落し調査のAIカウントシステムによる効率化

6. 要約

ウンカ類の飛来は畦畔5～10mの場所に高さ30cmの設置高でおかれた黄色粘着板で把握できる。ただし、黄色粘着板は作業性が悪く、AI自動カウントを活用するためにも白色の粘着板を加工したものに変える必要がある。1年目の試験では白色平板、白色屋根が有望であった。

7. 成果の公表および特許

第104回九州病虫害研究会研究発表会で発表。

参考 表1

トラップ 設置場所	捕獲数飛来時の捕獲数				利便性	経済性
	ヒメトビ	セジロ	トビイロ	ツマグロ		
黄色粘着板 30cm	〇〇〇 779	〇〇〇 16984	〇〇〇 16	〇〇〇 73	×探しにくい ○防除の邪魔にならない	－
黄色粘着板 60cm	〇〇 236	〇〇 1730	－ 0	〇〇 14	○探しやすい ×防除の邪魔になる	－
黄色粘着板 90cm	○ 27	○ 397	－ 0	○ 4	○探しやすい ×防除の邪魔になる	－
圃場畦畔	× 1342	× 962	× 2	－	○設置、回収が容易	－
圃場畦畔から5～10m	○ 4225	○ 2198	○ 14	－	×設置、回収が面倒	－

表2

トラップ 種類	捕獲数上段は飛来時、下段は第一世代の捕獲数				利便性	経済性 AI利用
	ヒメトビ	セジロ	トビイロ	ツマグロ		
黄色粘着板	〇〇〇 931 85	〇〇〇 19212 1491	〇〇〇 16 10	〇〇〇 281 412	×運びにくい。 ×粘着物質が手につく。 ×交換に手間がかかる ○葉に粘着性は弱い	○80円前後と安い ○加工不要 ×AI未対応
白色屋根	○ 330 第一世代は未調査	○ 3855	○ 10	〇〇 150	○運びやすい。 ○粘着物質がつきにくい ○交換が容易 ○葉に粘着物つきにくい	×310円と高い ×加工必要 ○AI利用可能
白色平板	〇〇 548 31	〇〇 6974 485	〇〇 12 6	〇〇 143 105	○運びやすい △粘着物がつきやすい △交換が面倒 ×葉がベトベトになる	×310円と高い ○加工不要 ○AI利用可能
白色下穴	△ 飛来世代は未調査 18	〇〇 463	△ 1	○ 69	○運びやすい ○粘着物がつきにくい △交換がやや面倒 ○葉に粘着物ややつきにくい	×310円と高い ×加工必要 ○AI利用可能

課題3.「施設栽培で問題となるアザミウマ類の自動判別手法の開発」

(1) 高知県農業技術センター

担当機関・部署	高知県農業技術センター生産環境課昆虫担当
担当者	下八川裕司・田村悠

1. 背景および目的

施設野菜で問題となっているアザミウマ類は、発生初期に発生種に応じた防除対策を行うことが重要であるが、アザミウマ類は微小であるため熟練者でなければ種の同定は難しく、調査にかかる労力が大きい。高知県農業技術センターと農研機構農業情報研究センターが開発した画像診断アプリケーション(以下、診断アプリという)は、粘着トラップに捕虫された主要なアザミウマ類5種(ミカンキイロアザミウマ、ヒラズハナアザミウマ、ネギアザミウマ、ミナミキイロアザミウマ、チャノキイロアザミウマ(以下、ミカンキイロ、ヒラズハナ、ネギ、ミナミキイロ、チャノキイロという))およびオス(主要なアザミウマ類5種およびオスを合わせて以下、学習済みアザミウマという)を迅速に判別、計数できることから、経験の浅い職員でも容易に調査が可能で、作業時間が短縮できる技術として生産現場から期待されている。しかし、アザミウマ類の発生程度によって画像診断で生じる誤差が許容できる範囲であるか、ほ場で調査に利用したときにどのような不具合が発生するのかなど、現地で実証しなければならない課題も多い。そこで、診断アプリを用いて現地実証を行い、施設栽培で発生するアザミウマ類の自動判別手法を開発する。

2. 方法

(1) 診断精度の検証

2024年10月から12月に、高知県内の施設栽培ほ場4か所(キュウリ、ナス、ピーマンおよびニラ)において、施設内および施設周辺の野外に粘着トラップを設置した(施設内:合計75枚(キュウリ15枚、ナス15、ピーマン18枚、ニラ27枚)、野外:合計38枚(キュウリ8枚、ナス8枚、ピーマン10枚、ニラ12枚)。トラップは概ね2週間間隔で交換し、回収したトラップは食品保存用ラップに包んで持ち帰り、捕虫されたアザミウマ類について片面ごとに実体顕微鏡を用いた目視診断および診断アプリを用いた自動診断(閾値0.5、以下同じ)で計数した。目視診断および自動診断の結果から、学習済みアザミウマごとに施設内と野外別に散布図を作成して近似曲線の決定係数 R^2 を算出するとともに、目視診断の結果を基準とした場合の見逃し数、誤検出数および絶対誤差を算出した。

(2) 診断所要時間および経費の検証

目視診断については、実体顕微鏡を用いてアザミウマ類の頭数を種別に計数するのにかかる時間を熟練者(診断業務歴10年)と新任者(診断業務歴1年)の別に計測した。自動診断については、画像化(スキャン)にかかる時間と診断(アプリ実行)にかかる時間を計

測した。なお、計測は施設花きほ場内に設置したトラップ(n=19)を用いて行った。

また、自動診断を実施するために必要な機材のコストを算出した。

3. 結果

(1) 診断結果の検証

目視診断と自動診断で計数された学習済みアザミウマの総数を種別に比較すると、施設内のオスと野外のチャノキを除き、自動診断の方が多く、誤検出をすることが確認された(図1, 2)。

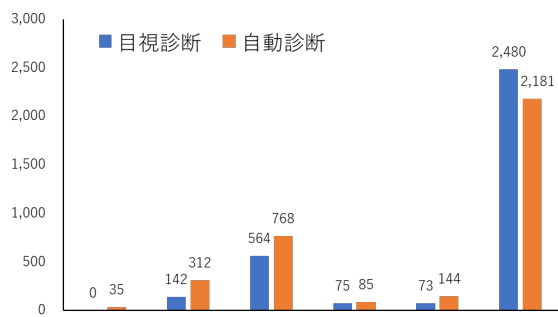


図1 施設内に設置したトラップの診断結果

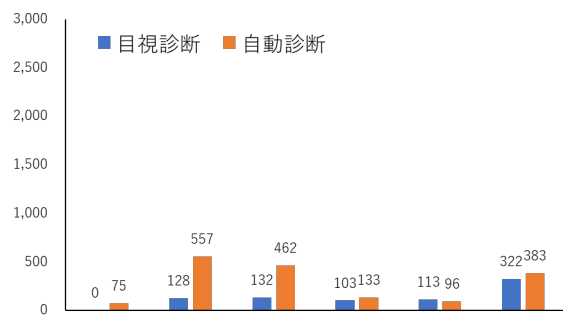


図2 野外に設置したトラップの診断結果

1) ミカンキイロ

目視診断では確認されなかった(散布図は省略)。しかし、自動診断では110頭(施設内35頭、野外75頭)が計数された。トラップ1面あたりの誤検出数は施設内で0.2頭、野外で1.29頭であった(表1)。ミカンキイロと誤検出された対象は、AIに学習させていないアザミウマ類であるハナアザミウマ(以下、ハナ(未学習))が49頭(44.5%)、同じくAIに学習させていないアザミウマ類であるビワハナアザミウマ(以下、ビワハナ(未学習))が18頭(16.4%)、ネギが14頭(12.7%)などであった(表2)。

表1 ミカンキイロの診断結果比較

場所	目視診断 頭数	自動診断			
		頭数	見逃し	誤検出	絶対誤差
施設内	0	0.22	0	0.22	0.22
野外	0	1.00	0	1.00	1.00

注)数値はトラップ1面あたりの数値

表2 ミカンキイロと誤検出した割合

誤検出した対象	誤検出数			割合 (%)
	施設内	野外	合計	
ハナ(未学習)	3	46	49	44.5
ビワハナ(未学習)	3	15	18	16.4
ネギ	10	4	14	12.7
ミナミキイロ	5	2	7	6.4
コナジラミ類	7	0	7	6.4
その他の合計	7	8	15	13.6
総計	35	75	110	100

2) ヒラズハナ

目視診断では270頭(施設内142頭、野外128頭)、自動診断では869頭(施設内312頭、野外557頭)が計数され、散布図を作成して算出した決定係数 R^2 は施設内で0.4396、野外で0.3682であった(図3, 4)。施設内および野外におけるトラップ1面あたりの目視頭数はそれぞれ0.95頭、1.68頭であったのに対し、自動診断による頭数

はそれぞれ2.08頭、7.33頭で、目視診断との差は見逃し数が0.07頭、ゼロ、誤検出数が1.21頭、5.64頭で、これらを合わせた絶対誤差はそれぞれ1.28頭、5.64頭であった(表3)。

ヒラズハナと誤検出された対象は、ハナ(未学習)が283頭(46.9%)、AIに学習させていないアザミウマ類であるデンドロアザミウマ亜科と思われるアザミウマ類(未同定、以下、デンドロ(未学習))が209頭(34.7%)、ハチ目が43頭(7.1%)などであった(表4)。また、ヒラズハナを他の学習済みアザミウマと誤検出した数は9頭(3.3%)で、内訳はミカンキイロが4頭(1.5%)、ネギが5頭(1.9%)であった(表5)。

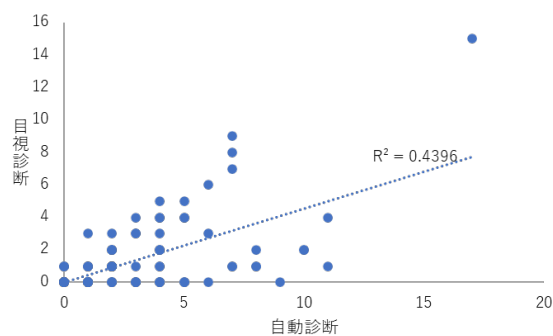


図3 ヒラズハナの散布図(施設内)

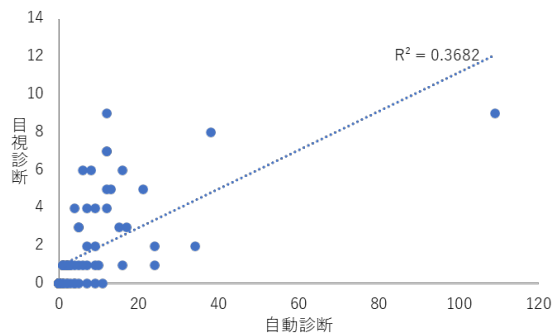


図4 ヒラズハナの散布図(野外)

表3 ヒラズハナの診断結果比較

場所	目視診断 頭数	自動診断			
		頭数	見逃し	誤検出	絶対誤差
施設内	0.95	2.08	0.07	1.21	1.28
野外	1.68	7.33	0	5.64	5.64

注)数値はトラップ1面あたりの数値

表4 ヒラズハナと誤検出した割合

誤検出した対象	誤検出数			割合 (%)
	施設内	野外	合計	
ハナ(未学習)	31	252	283	46.9
デンドロ(未学習)	82	127	209	34.7
ハチ目	19	24	43	7.1
ハエ目	17	11	28	4.6
ネギ	15	0	15	2.5
その他の合計	16	9	25	4.1
総計	180	423	603	100

表5 ヒラズハナを誤検出した割合

誤検出した内訳	誤検出頭数	割合 (%)
ミカンキイロ	4	1.5
ネギ	5	1.9
ミナミキイロ	0	0
チャノキイロ	0	0
オス	0	0
合計	9	3.3

注)目視診断による付着総数は270頭

3) ネギ

目視診断では696頭(施設内564頭、野外132頭)、自動診断では1,230頭(施設内768頭、野外462頭)が計数され、散布図を作成して算出した決定係数 R^2 は施設内で0.9344、野外で0.2584であった(図5, 6)。施設内および野外におけるトラップ1面あ

たりの目視頭数はそれぞれ3.76頭、1.72頭であったのに対し、自動診断による頭数はそれぞれ5.12頭、6.16頭で、目視診断との差は見逃し数が0.09頭、ゼロ、誤検出数が1.45頭、4.43頭で、これらを合わせた絶対誤差はそれぞれ1.53頭、4.43頭であった(表6)。

ネギと誤検出された対象は、ハナ(未学習)が288頭(51.7%)、オスが146頭(26.2%)、ハチ目が33頭(5.9%)などであった(表7)。また、ネギを他の学習済みアザミウマと誤検出した数は35頭(5.0%)で、内訳はミカンキイロが14頭(2.0%)、ヒラズハナが15頭(2.2%)、ミナミキイロが3頭(0.4%)、オスが3頭(0.4%)であった(表8)。

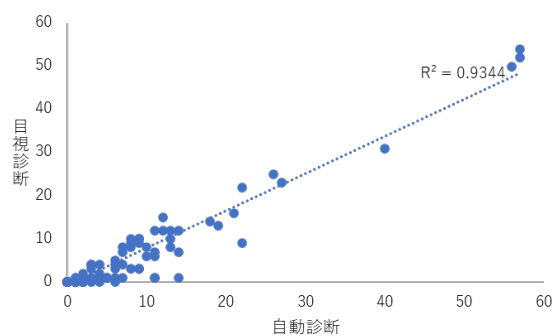


図5 ネギの散布図(施設内)

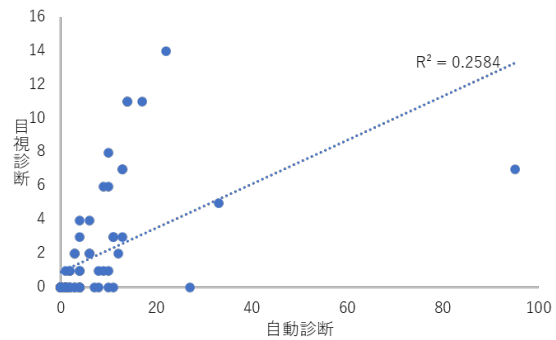


図6 ネギの散布図(野外)

表6 ネギの診断結果比較

場所	目視診断 頭数	自動診断			
		頭数	見逃し	誤検出	絶対誤差
施設内	3.76	5.12	0.09	1.45	1.53
野外	1.72	6.16	0	4.43	4.43

注)数値はトラップ1面あたりの数値

表7 ネギと誤検出した割合

誤検出した対象	誤検出数			割合 (%)
	施設内	野外	合計	
ハナ(未学習)	30	258	288	51.7
オス	144	2	146	26.2
ハチ目	9	24	33	5.9
デンドロ(未学習)	14	13	27	4.8
ハエ目	9	7	16	2.9
その他の合計	15	34	49	8.8
総計	221	336	557	100

表8 ネギを誤検出した割合

誤検出した内訳	誤検出頭数	割合 (%)
ミカンキイロ	14	2.0
ヒラズハナ	15	2.2
ミナミキイロ	3	0.4
チャノキイロ	0	0
オス	3	0.4
合計	35	5.0

注)目視診断による付着総数は696頭

4) ミナミキイロ

目視診断では178頭(施設内75頭、野外103頭)、自動診断では218頭(施設内85頭、野外133頭)が計数され、散布図を作成して算出した決定係数 R^2 は施設内で0.502、野外で0.797であった(図7, 8)。施設内および野外におけるトラップ1面あたりの目視頭数はそれぞれ0.50頭、1.37頭であったのに対し、自動診断による頭数はそれぞれ

0.57頭、1.67頭で、目視診断との差は見逃し数が0.17頭、0.26頭、誤検出数が0.23頭、0.57頭で、これらを合わせた絶対誤差はそれぞれ0.40頭、0.83頭であった(表9)。

ミナミキイロと誤検出された対象は、オスが24頭(29.3%)、ハナ(未学習)が18頭(22.0%)、AIに学習させていないその他アザミウマ類の合計(以下、その他アザミウマ(未学習))が13頭(15.9%)などであった(表10)。また、ミナミキイロを他の学習済みアザミウマと誤検出した数は37頭(20.8%)で、内訳はミカンキイロが7頭(3.9%)、ネギが5頭(2.8%)、チャノキイロが4頭(2.2%)、オスが21頭(11.8%)であった(表11)。

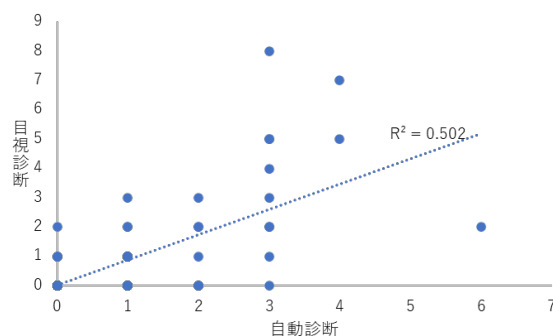


図7 ミナミキイロの散布図(施設内)

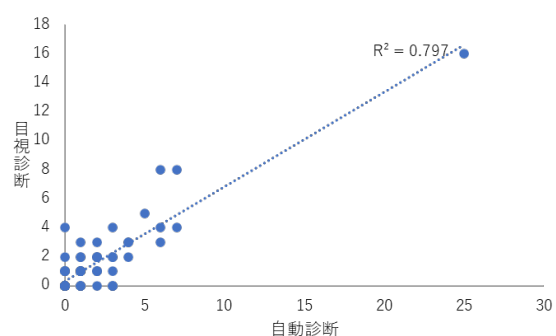


図8 ミナミキイロの散布図(野外)

表9 ミナミキイロの診断結果比較

場所	目視診断 頭数	自動診断			
		頭数	見逃し	誤検出	絶対誤差
施設内	0.50	0.57	0.17	0.23	0.40
野外	1.37	1.67	0.26	0.57	0.83

注)数値はトラップ1面あたりの数値

表10 ミナミキイロと誤検出した割合

誤検出した対象	誤検出数			割合 (%)
	施設内	野外	合計	
オス	23	1	24	29.3
ハナ(未学習)	2	16	18	22.0
その他アザミウマ(未学習)	5	8	13	15.9
ビワハナ(未学習)	2	8	10	12.2
チャノキイロ	1	4	5	6.1
その他の合計	5	7	12	14.6
総計	38	44	82	100

表11 ミナミキイロを誤検出した割合

誤検出した内訳	誤検出頭数	割合 (%)
ミカンキイロ	7	3.9
ヒラズハナ	0	0
ネギ	5	2.8
チャノキイロ	4	2.2
オス	21	11.8
合計	37	20.8

注)目視診断による付着総数は178頭

5) チャノキイロ

目視診断では186頭(施設内73頭、野外113頭)、自動診断では240頭(施設内144頭、野外96頭)が計数され、散布図を作成して算出した決定係数 R^2 は施設内で0.2279、野外で0.843であった(図9, 10)。施設内および野外におけるトラップ1面あたりの目視頭数はそれぞれ0.49頭、1.49頭であったのに対し、自動診断による頭数

はそれぞれ0.96頭、1.26頭で、目視診断との差は見逃し数が0.17頭、0.41頭、誤検出数が0.64頭、0.18頭で、これらを合わせた絶対誤差はそれぞれ0.81頭、0.59頭であった(表12)。

チャノキイロと誤検出された対象は、オスが97頭(89.8%)、ミナミキイロが4頭(3.7%)、その他アザミウマ(未学習)が3頭(2.8%)などであった(表13)。また、チャノキイロを他の学習済みアザミウマと誤検出した数は25頭(13.4%)で、内訳はネギが1頭(0.5%)、ミナミキイロが5頭(2.7%)、オスが19頭(10.2%)であった(表14)。

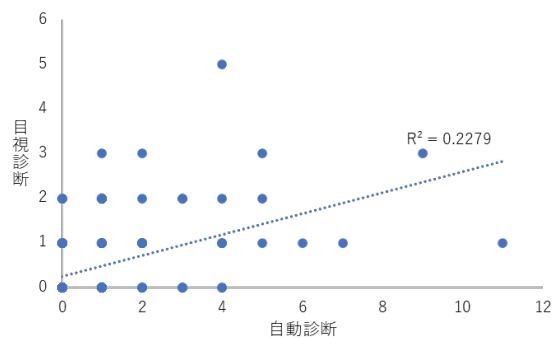


図9 チャノキイロの散布図(施設内)

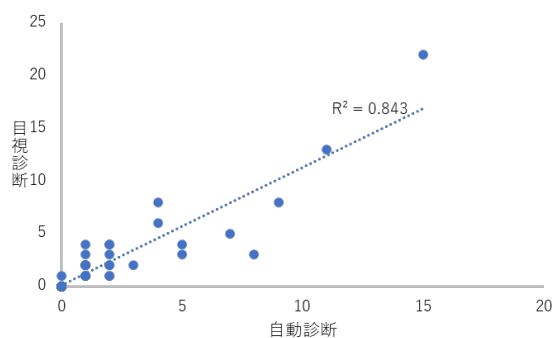


図10 チャノキイロの散布図(野外)

表12 チャノキイロの診断結果比較

場所	目視診断 頭数	自動診断			
		頭数	見逃し	誤検出	絶対誤差
施設内	0.49	0.96	0.17	0.64	0.81
野外	1.49	1.26	0.41	0.18	0.59

注)数値はトラップ1面あたりの数値

表13 チャノキイロと誤検出した割合

誤検出した対象	誤検出数			割合 (%)
	施設内	野外	合計	
オス	86	11	97	89.8
ミナミキイロ	4	0	4	3.7
その他アザミウマ(未学習)	1	2	3	2.8
植物片	1	1	2	1.9
コナジラミ類	1	0	1	0.9
ハチ目	1	0	1	0.9
総計	94	14	108	100

表14 チャノキイロを誤検出した内訳

誤検出した内訳	誤検出頭数	割合 (%)
ミカンキイロ	0	0
ヒラズハナ	0	0
ネギ	1	0.5
ミナミキイロ	5	2.7
オス	19	10.2
合計	25	13.4

注)目視診断による付着総数は186頭

6) オス

目視診断では2,802頭(施設内2,480頭、野外322頭)、自動診断では2,564頭(施設内2,181頭、野外383頭)が計数され、散布図を作成して算出した決定係数 R^2 は施設内で0.9536、野外で0.937であった(図11, 12)。施設内および野外におけるトラップ1面あたりの目視頭数はそれぞれ16.53頭、5.75頭であったのに対し、自動診断によ

る頭数はそれぞれ14.54頭、6.86頭で、目視診断との差は見逃し数が2.24頭、0.21頭、誤検出数が0.25頭、1.32頭で、これらを合わせた絶対誤差はそれぞれ2.49頭、1.54頭であった(表15)。

オスと誤検出された対象は、ミナミキイロが21頭(18.9%)、チャノキイロ19頭(17.1%)、その他アザミウマ(未学習)が17頭(15.3%)などであった(表16)。また、オスを他の学習済みアザミウマと誤検出した数は269頭(9.6%)で、内訳はミカンが3頭(0.1%)、ネギが146頭(5.2%)、ミナミキイロが23頭(2.7%)、チャノキイロが97頭(3.5%)であった(表17)。

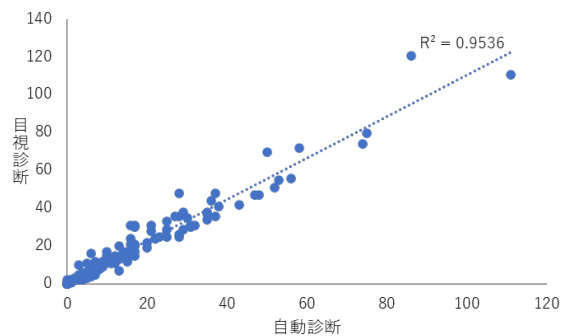


図 11 オスの散布図 (施設内)

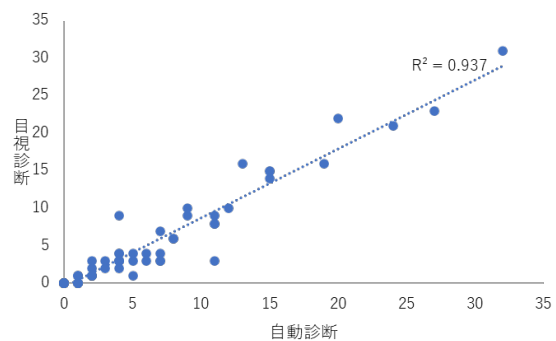


図 12 オスの散布図 (野外)

表 15 オスの診断結果比較

場所	目視診断 頭数	自動診断			
		頭数	見逃し	誤検出	絶対誤差
施設内	16.53	14.54	2.24	0.25	2.49
野外	5.75	6.86	0.21	1.32	1.54

注)数値はトラップ1面あたりの数値

表 16 オスと誤検出した対象

誤検出した対象	誤検出数			割合 (%)
	施設内	野外	合計	
ミナミキイロ	3	18	21	18.9
チャノキイロ	10	9	19	17.1
その他アザミウマ (未学習)	3	3	6	5.4
ハエ目	5	9	14	12.6
植物片	2	9	11	9.9
その他の合計	15	25	40	36.0
総計	38	73	111	100

表 17 オスを誤検出した内訳

誤検出した内訳	誤検出頭数	割合 (%)
ミカンキイロ	3	0.1
ヒラズハナ	0	0
ネギ	146	5.2
ミナミキイロ	23	0.8
チャノキイロ	97	3.5
合計	269	9.6

注)目視診断による付着総数は2,802頭

7) 調査時期別のオスを誤検出した数およびその内訳

ニラほ場において、トラップに付着したオス（ほとんどがネギアザミウマのオスであった(データ省略)）の数と、そのオスを他の学習済みアザミウマと誤検出した数をトラップの設置期間毎に集計した。オスを誤検出した数は、10月2日から10月16日に設置したトラップでは12頭(1.7%)であったが、その後、徐々に増加し、11月

28日から12月16日に設置したトラップでは136頭(25.1%)まで増加した(表18)。

表 18 オスを誤検出した内訳の変化

設置期間		ニラほ場で捕虫されたオス				誤検出数 合計	誤検出率 (%)	
		ミカンと誤検出	ネギと誤検出	ミナミと誤検出	チャノキと誤検出			
10月2日	10月16日	692	0	4	1	7	12	1.7
10月31日	11月14日	546	1	25	4	15	45	8.2
11月28日	12月16日	542	1	111	3	21	136	25.1

8) 誤検出する割合が高いアザミウマ類

自動診断において学習済みアザミウマと誤検出する確率が高く、かつトラップに捕虫された数が多かった3種のアザミウマについて、誤検出した内訳を集計した。誤検出率、誤検出数ともに最大であったハナアザミウマは、675頭のうち639頭(94.7%)を誤検出し、その主な内訳はミカンが49頭(7.3%)、ヒラズハナが283頭(41.9%)、ネギが288頭(42.7%)であった(表19)。捕虫数はそれほど多くなかったが、誤検出率が高かったビワハナアザミウマは、65頭のうち45頭(69.2%)を学誤検出し、その主な内訳はミカンキイロが18頭(27.7%)、ネギが14頭(21.5%)、ミナミキイロが10頭(15.4%)であった(表20)。誤検出率はあまり高くないが、捕虫数が多いことから誤検出数が多くなったデンドロ(学習)については付着していた818頭のうち238頭(29.1%)を誤検出し、その主な内訳はヒラズハナが209頭(25.6%)、ネギが27頭(3.3%)であった(表21)。また、いずれの種も施設内より野外でトラップに多く捕虫されていた(図13)。

表 19 ハナ(未学習)を誤検出した割合

誤検出した 内訳	誤検出数			割合 (%)
	施設内	野外	合計	
ミカンキイロ	3	46	49	7.3
ヒラズハナ	31	252	283	41.9
ネギ	30	258	288	42.7
ミナミキイロ	2	16	18	2.7
チャノキイロ	0	0	0	0
オス	0	1	1	0.1
合計	66	573	639	94.7

注)目視診断による付着総数は675頭

表 20 ビワハナ(未学習)を誤検出した割合

誤検出した 内訳	誤検出数			割合 (%)
	施設内	野外	合計	
ミカンキイロ	3	15	18	27.7
ヒラズハナ	0	0	0	0
ネギ	3	11	14	21.5
ミナミキイロ	2	8	10	15.4
チャノキイロ	0	0	0	0
オス	0	3	3	4.6
合計	8	37	45	69.2

注)目視診断による付着総数は65頭

表 21 デンドロ(未学習)を誤検出した割合

誤検出した 内訳	誤検出数			割合 (%)
	施設内	野外	合計	
ミカンキイロ	0	0	0	0
ヒラズハナ	82	127	209	25.6
ネギ	14	13	27	3.3
ミナミキイロ	1	0	1	0.1
チャノキイロ	0	0	0	0
オス	1	0	1	0.1
合計	98	140	238	29.1

注)目視診断による付着総数は818頭

(2) 診断時間および経費の検証

1) 診断時間の検証

トラップに捕虫されたアザミウマ頭数と診断にかかった時間から散布図を作成した(図13～15)。目視診断にかかる時間はアザミウマ頭数と比例して増加し、アザミウマ1頭あたりの所要時間は、新任者で約76秒(図巻等で同定方法を確認しながら実施)、

熟練者で約18秒であった。自動診断にかかる時間のうちスキャン(2,400dpiで実施)の時間は平均272秒、アプリ処理の時間は平均8秒、合計で平均280秒であった。なお、自動診断時間はアザミウマ頭数の影響は受けず、誤差2秒以内とほぼ一定であった。

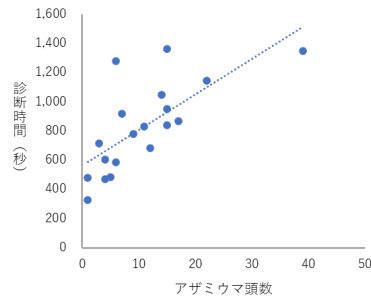


図 13 新人者の診断所時間

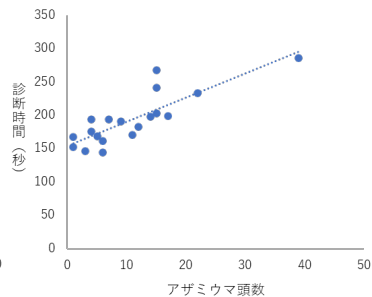


図 14 熟練者の診断所要時間

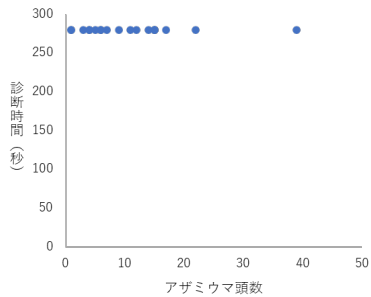


図 15 自動診断の所要時間

2) 自動診断にかかる経費の検証

自動診断を行うために新たに必要となる機材等の価格は、トラップを高解像度で画像化が可能なスキャナーが約8万円、アプリケーションを実行するための高性能GPUを搭載したPCが約29万円の合計37万円である(表18)。

表 19 自動診断に必要な機材の価格

機材名	主な仕様	参考価格(円)	備考
フラットヘッドスキャナー EPSON GT-X980	CCD方式 高額解像度6,400dpi	79,200	エプソンダイレクトショップ掲載価格 2025.1.10時点
診断用PC DAIV R6-I9G70SR-A	CPU;インテルCoreI9 メモリ;32GB GPU;NVIDIA GeForce RTX 4070 Laptop	289,800	マウスコンピューターHP掲載価格 2025.1.10時点
診断アプリケーション	主要アザミウマ5種+オスを診断可能 windows版		

※一般的なPCに内蔵されたGPUであってもアプリケーションの実行は可能であるが、診断にかかる時間が画像1枚あたり数十分必要となるため、ここでは高性能GPUを搭載したPCで経費を算出した。

4. 考察

(1) 診断精度

診断アプリは施設内に設置したトラップの診断を目的に開発したものであるが、露地栽培への応用の可能性などを考慮して、今回の実証では施設内と野外にトラップを設置し、検証を行った。

診断精度に大きな影響を与えたのは誤検出であった。誤検出した対象のうち数が多かったのは、AIに学習させていない3種類のアザミウマ(ハナアザミウマ、ビワハナアザミウマ、デンドロアザミウマ亜科と思われるアザミウマ)で、主にネギやヒラズハナと誤回答された。これらは施設野菜で被害が問題となる種ではないものの、野外のトラップに多く付着していたため、野外で発生したものが施設内に侵入したと考えられる。なお、今回トラップを設置した施設ほ場はいずれも側窓に目合い1.0mm以下の防虫ネット

を展張していた。施設ほ場であっても防虫ネットの展張がない場合には、学習していないアザミウマなどの施設外からの飛び込みがさらに多くなり、診断精度がより低下する可能性がある。

同じく誤検出した数の多かった学習済みアザミウマのうちオスについては、ネギ、ミナミキイロ、チャノキイロと誤検出された。また、オスを誤検出した数が調査時期によって変化したことは、オスの体色の変化が影響していると推測される。ネギやミカンキイロは高温期と低温期で体色が変わることが報告されており、今回の調査でもネギのオスの体色が淡黄色から褐色へ変化したことで、他の学習済みアザミウマとして誤検出する割合が高まったと考えられる。また、ヒラズハナに関して、診断アプリ開発の際に行った精度の検証では診断精度が高かったが、今回の検証では低い結果となった。これは、診断アプリ開発時の検証は4～6月に実施したのに対して、今回の検証は10～12月のハナアザミウマの発生が多い時期に実施し、これを誤検出したためだと考えられる。これらのことから診断精度の検証は、発生するアザミウマ類の種構成や体色の変化など季節的な要因も考慮して周年で実施する必要があると考えられる。

見逃しについては確認されたものの、その内容は学習済みアザミウマを他の学習済みアザミウマと誤回答することに伴う見逃しが多く、トラップに付着した学習済みアザミウマを計数しないケースは少なかった。

診断精度の評価方法について、決定係数 R^2 はトラップに捕虫されたアザミウマ頭数による影響が大きく、実証期間を通じて少発生だったアザミウマ類では低くなった。また、絶対誤差は問題となるアザミウマが少発生の場合と多発生の場合では同じ数値であっても重要度が異なる。今回の実証では使用目的やアザミウマの発生量に応じた評価ができていないため、手法を検討する必要がある。

(2) 診断所要時間

自動診断の所要時間は、アザミウマの捕虫数に関係なく約280秒であった。目視診断の所要時間は、アザミウマ1頭あたりの所要時間から算出すると、新任者では4頭程度、熟練者では16頭程度で自動診断と同等となる。そのため、トラップに捕虫された頭数がこれより多い場合は、目視診断の方が所要時間が長くなる。なお、目視診断の所要時間計測の際に人間の疲労(休憩時間)は考慮していないため、一度に診断するトラップの数や付着頭数が多い場合、目視診断の所要時間はより長くなると考えられる。

(3) 総合評価

現状の診断アプリの精度においては、使用する者の技術水準、トラップに捕虫されたアザミウマ数および使用目的に応じて、目視診断と自動診断を使い分けることが効率的であると考えられる。経験が浅く主要なアザミウマ類を正確に分類できない場合は、頭数によらず目視診断より診断アプリを使用する方が、トラップに付着するアザミウマ類

の真の値に近い数値に近づけると考えられる。熟練者の場合は、トラップを俯瞰し付着頭数が少ない場合は目視診断の方が早く、かつ正確である。一方で付着頭数が多い場合で、かつ診断目的が多少の誤差なら許容できる場合(中長期的な発生トレンドの把握など)には、自動診断を活用することで診断時間が削減できる。

5. 今後の課題

(1) 診断精度の検証の継続

発生するアザミウマ類の種構成や体色の変化が診断精度に大きな影響を与えることが確認されたため、精度検証を周年で実施し、診断精度に影響を与える要因を整理する必要がある。

(2) 追加学習

誤検出する対象の画像データを収集し、それらのデータを用いて追加学習を実施し、診断精度の向上を図る必要がある。

(3) 実用性の評価方法の検討

少発生の場合と多発生の場合では、同じ1頭の誤差であっても重要度合が異なるため、診断アプリを使用する目的、実用場面別に評価方法を検討する必要がある。

6. 要約

アザミウマ類を自動判別する画像診断アプリケーションについて、高知県内の施設栽培は場4か所(キュウリ、ナス、ピーマンおよびニラ)において診断精度と診断所要時間の検証を実施した。診断精度については、AIに学習させていないアザミウマ類や、学習させているアザミウマでも体色に変化した個体を誤検出することが精度を低下させる要因であった。これらの要因には季節性があると推察されるが、今回の検証は10～12月の期間でしか実施できていないため、精度の検証は周年で実施する必要がある。診断所要時間についてはトラップに捕虫されたアザミウマが多い場合は、熟練者よりも早く診断が可能であった。誤検出する対象のデータを追加学習し診断精度を高めることで、より実用性の高いものになると考えられる。

7. 成果の公表および特許

第69回日本応用動物昆虫学会において口頭発表(予定、2025年3月)

課題 4. 「植物防疫事業における効率的な薬剤感受性検定法の調査研究」

(1) (一社) 日本植物防疫協会

担当機関・部署	(一社) 日本植物防疫協会・調査企画部、茨城研究所
担当者	富田恭範、舟木勇樹、北条 広、小林政文、守川俊幸、野田隆志

植物防疫事業実施要綱（令和 5 年 3 月 24 日付け 4 消安第 7238 号農林水産省消費・安全局長通知）第 4 に基づき、植物防疫事業交付金により、各都道府県で地域の実情に応じた薬剤抵抗性の発達の有無のモニタリングを行うこととされており、令和 3 年度には、全国で 757 件の薬剤感受性検定が行われているところ。

しかしながら、当該薬剤感受性検定については、検定手法が示されておらず、各都道府県で異なる手法で検定が実施されていることから、検定結果の比較や集約が困難となっている。

このことから、植物防疫事業における薬剤感受性検定の手法を取りまとめ、各都道府県での薬剤感受性検定の精度を統一し、より適確な薬剤抵抗性管理の実現に繋げるための調査を行う。

以下、「殺菌剤」と「殺虫剤」に分けて報告する。

「殺菌剤」

1. 「殺菌剤」における背景と目的

殺菌剤感受性は、これまで 50%効果濃度 (EC_{50})、最小発育阻止濃度 (MIC) に基づき、培地検定や生物検定で評価されてきた。また近年では、感受性に係る遺伝子の変異やその発現量から、分離菌株の感受性の低下 (薬剤耐性) を評価される場面が増えてきている。なお、様々な分野で薬剤感受性は EC_{50} で評価されるのが一般的であるが、国内の農業分野では、MIC などのその他の手法で評価されることが多い。

国内の農業場面では、感受性検定の多くが植物防疫事業のなかで実施されており、地域での迅速な情報提供、指導、誘導に活用されており、なかでも主要品目の防除暦を策定する上での有力な薬剤選定基準となっている。そして、薬剤耐性菌の顕在化を未然に防ぐためには、機能的なモニタリングが必要不可欠である (図 1)。

一方では、情報の確からしさが前提にあるものの、日常業務の中で多様な農業・病害の感受性の状況を把握し、時に問題となる病害に迅速に対応するため、検定作業の簡便化が図られている。この簡便化は、各実施機関において蓄積された情報を基に、独自の基準で設定することが多いため、様々な検定法が派生している状況にある。一方、その意味が十分に理解されないまま、前例踏襲で実施されているケースもあると予想される。

評価法・基準の統一を求める声もあるが、検定の目的により手法は異なり、その判定基準についても走りながら暫定的に設定しているものも多い。

そこで、ここに検定の状況を取りまとめるとともに、検定法のありようについて考えてみたい。あわせて、これから新たに取り組む技術者にとって有用と思われる情報を整理し、提供する。

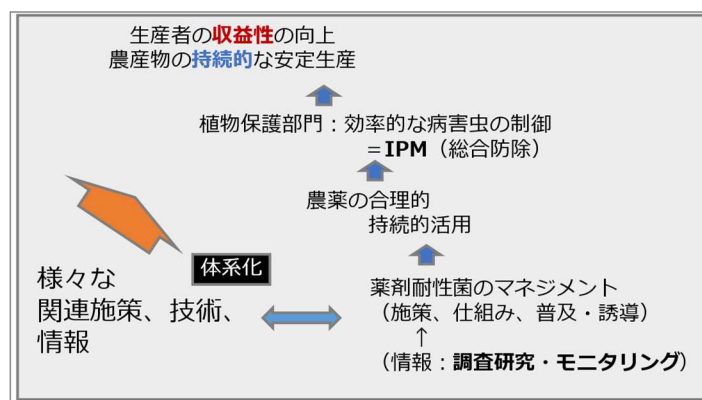


図 1 モニタリングの役割

2. 方法

1) 検定状況の調査・分析

薬剤感受性検定の実施状況については、国の毎年度調査（H22 年～R4 年）にあるが、検定法についての具体的な情報が不足する報告も多いことから、改めて感受性検定法に注視した内容（表 1）についてアンケート調査を行った。なお、調査対象期間は過去 5 か年とし、それより以前に特筆すべき検定事例があれば、追記することとした。

関連する文献の調査は、日本植物病理学会殺菌剤耐性菌研究会が取りまとめている国内外文献集を参考にしながら、2019～2024 年の 5 年間に国内の主要な専門誌に掲載された関連文献・レポートを主な調査

対象とした。海外の雑誌については、特に関連の深いものを確認し、必要なものは引用した。さらに、今回実施したアンケートで収集した各機関が公表している成果情報、防除所情報等の情報も参考とした。なお、口頭発表の要旨は、調査・引用の対象外とした。

調査は耐性菌発生状況を知ろうとするものではなく、採用されている検定手法とその背景を知ることにより重点を置いた。

なお、取りまとめに際し、①同一病名でも病原菌が異なり、②病原菌が同じでも様々な病名が採用されている事例が多いことから、多くの場合、病名ではなく病原菌の属あるいは近縁種をグループとして取りまとめた。一方、うどんこ病菌、さび病菌（赤星病含む）、べと病菌、炭疽病菌については、特性の近似したいくつかの属を含む病名グループとして整理した（表2、表3）。

表1 アンケートの調査項目

項目		補足事項
基本項目	過去5年に実施 ○ー	直近5年と、それ以前に実施された手法を比較するため
	作物名	
	病名	
	病原菌学名	https://www.gene.afrc.go.jp/databases-micro_pl_diseases.php
	対象薬剤名（成分名）	
	FRACコード	https://www.jcpa.or.jp/labo/mechanism.html
増地・生物検定	検定の目的（a-e）	a:多発要因解析、b:実態把握（広域）、c:定期調査・変動解析、d:対策の検証、e:論文化、他に目的があれば内容を入力
	供試薬剤名（商品名）	試薬（標準品）、製品名などを記入
	分散媒（溶媒）	供試薬剤の分散媒
	検定増地（植物）	
	市販・自作	
	容器	検定に用いた容器（丸形、角型シャーレ、培養プレート）のサイズ
	前培養増地	
	接種濃度・素材	検定増地、植物に置床・塗布した接種源
	検定濃度	具体的に記載
	単位	検定濃度の単位
	検定温度	培養（栽培）温度
	判定日数	検定増地での培養日数
	検定基準	MIC、EC ₅₀ 、菌叢生育阻止率ほか
	判定濃度 耐性	判定の基準としている薬剤濃度
	中等度耐性	
遺伝子診断	方法	
	対象遺伝子	
サンプリング	おおよその単位	検定する標本の目安
	留意点	
検定法	参考にしたテキストほか	資料名またはURL/DOI入力
検定結果	公表可能な資料・成績書・論文・成果情報	URL/DOI入力、無ければpdfの添付
その他	コメント	・判定が紛らわしい時の、見分け方 ・検定のノウハウ など

2) 検定法の考え方と標準的手法の提案

薬剤感受性検定法の基本とその簡便化について、考え方を整理するとともに、5つの主要な病原菌群について、近年採用されておる標準的な検定法として提示した。また、検定法の簡素化が図られている事例と、それぞれの利点と注意すべき点について取りまとめた。

3. 専門有識者による中間検討

とりまとめた内容について、以下の要領で開催した中間検討会にて、検定基準の見直しなど、内容の修正を行った。また、標準的手法を示すには、多くの病害で情報が不足しており、目的に応じた検定手法の例

示や、そのための調査研究と実証試験の必要性などが指摘された。

開催日時 2024 年 12 月 25 日（水）13 時～16 時

開催場所 一般社団法人日本植物防疫協会 本部会議室（オンライン併用）

参加者 事業代表：農研機構植物防疫研究部門 須崎浩一*、検討委員：北海道立総合研究機構上川農業試験場 栢森美如*、秋田県果樹試験場 佐藤 裕*、有識者：農研機構植物防疫研究部門 窪田昌春、三重県農林水産部 鈴木啓史、（一社）日本植物防疫協会 門田育生、受託者：（一社）日本植物防疫協会 富田恭範、舟木勇樹、沼田慎一、秋山空隆、守川俊幸

*はオンラインにて参加

4. 結果

1) 検定状況の調査・分析

回答のあった 34 都道府県で実施された感受性検定の対象薬剤は、FRAC コードで 30 種の作用機構の薬剤を対象に実施されており、灰色かび病菌 (*Botrytis*) をはじめ多くの病害を対象に検定されており、その構成は、先に岡田・井田 (2022) が報告した内容とほぼ同様の傾向が認められた (表 2、3)。ただし、当時に比べてイネいもち病菌 (*Pyricularia*) の検定が減少しており、代替剤の普及などにより検定する病害や薬剤の種類は変遷していくものと考えられた。一方で、温暖化の影響とも推定される病害の発生様相の変化や、リンゴ黒星病の DMI 耐性菌の発生などの勃発的なイベントにより対象とする病害・薬剤は変化している。いずれにせよ、耐性菌発生リスクが中～高に分類される薬剤 (JapanFRAC リスト) を中心に、定期的、継続的あるいは重点的に調査されている。

表2 収集したアンケートで対象にしている病害と薬剤					
実施自治体数	検定件数	作物	病名	病原菌	薬剤 (FRACコード)
2	13	リンゴ、モモ	斑点落葉病、黒斑病	Alternaria	2,3,7,11,29,M3,M5,M7
2	8	タマネギ、ネギ	白斑葉枯病ほか	Botrytis (cinereaを除く)	1,2,11
17	210	野菜、花き、果樹	灰色かび病	Botrytis cinerea	1,2,3,7,9,10,11,12,17,1,52,M7
1	4	チャ	網もち病	Exobasidium	M1
8	51	テンサイ、ダイズ、アズ巴拉ガス、ピーマン	褐斑病、紫斑病、斑点病	Cercospora	1,2,3,7,11,12,24,50,52,M1,M5,M7,U6
16	117	イチゴ、キュウリ、スイカ、ナス、ブドウ、カキ、マンゴー、茶ほか	炭疽病、晩腐病	Colletotrichum, Glomerella, Discula	1,3,7,9,10,11,12,27,52,M1,M3,M5,M7,M9
8	40	キュウリ、トマト、ピーマン	褐斑病、褐色輪紋病、黒枯病	Corynespora	1,2,3,7,10,11,12,50,52,M1,M5,U6
3	7	リンゴ	褐斑病	Diplocarpon	1,9,11
8	44	トマト	葉かび病	Passalora (= Fulvia)	1,3,7,11
9	40	イネ、ムギ類、サツマイモ	ばか苗病、赤かび病、つる割病	Fusarium, Gibberella	1,3,11,M7
2	8	ナス	すすかび病	Mycovellosiella	3,7,11
1	1	リンドウ	褐斑病	Mycodhaetophora	11
2	5	カンキツ	緑かび病、青かび病	Penicillium	1,M7
2	8	サツマイモ、アズ巴拉ガス	基腐病、茎枯病	Phomopsis,Diaporthe	1,3,11,19,29,Mi,U16
4	14	トマト、ブドウ	すすかび病、褐斑病	Pseudocercospora	1,3,7,11
5	16	イチゴ、コムギ	うどんこ病	Podosphaera, Blumeria	3,7,9,11
1	3	コムギ	黄斑病	Pyrenophora	3,7,11
17	34	イネ	いもち病	Pyricularia	1,11,16,2
1	2	レタス、ブロッコリー	菌核病	Sclerotinia	1
1	1	アズ巴拉ガス	斑点病	Stemphylium	11
9	50	ナシ、リンゴ	黒星病	Venturia	1,3,7,9,11
1	4	ナシ	赤星病	Gymnosporangium	3,7,M3
2	2	コムギ、キク	さび病、白さび病	Puccinia	11
8	23	キュウリ、タマネギ、ブドウ	べと病	Pseudoperonospora, Peronospora, Plasmopara	4,11,21,27,40,49
1	3	ジャガイモ	疫病	Phytophthora	40
1	3	イネ	褐条病	Acidovorax	24,31,M1
2	12	イネ、タマネギ	もち枯細菌病、苗立枯細菌病、腐敗病	Burkholderia	24,25,31,M1,U18
3	12	モモ	せん孔細菌病	Xanthomonas	24,25,31,41,M1

735
基本は、属レベルで集計
ただし、以下については病名あるいは近縁群ごとに集計
・うどんこ病、べと病、炭疽病

表3 各病原菌の培地検定における対象薬剤と調査件数																																
病原菌	薬剤	MBC	ジカルボキシイミド	DMI	PA	SDHI	AP	N-フェニルカルバマート	QoI	PP	MBI-D	KRI	ポリオキシン	QI	ヘキソピラニル系生防剤	グルコピラニル系生防剤	(フルアジナム)	シアノアセトアミド系生防剤	カルボベンザミド	CAA	チトラサイクリン系生防剤	OSBPI	アリルフェニルケトン	DHODHI	無機化合物	ジチオカーバマート	クロロニトリル	ビスグアニジン	マレイミド	フェニルアセトアミド	4-キノリン酢酸	
	コード	1	2	3	4	7	9	10	11	12	16.2	17	19	21	24	25	29	27	31	40	41	49	50	52	M1	M3	M5	M7	M11	U6	U16	
細菌病原菌	検定数	82	29	119	2	101	22	19	235	29	3	5	9	2	5	4	2	2	7	5	5	1	2	6	18	4	4	10	1	1	1	
べと病菌	26														4	4			7		5			6								
うどんこ病菌	20				1				15					1						2		1										
さび病菌 (赤星病菌含む)	16			5		3	1		7																							
炭疽病菌	7			2		1			3																		1					
Alternaria	108	10		20		5	2	6	45	7							2						2	5	1	1	2					
Botrytis	13		1	2		1			4								1									2	1	1				
Cercospora	221	32	23	1		48	18	9	51	20		5	7											2			2					
Corynespora	57	6	2	16		5			19	1					1								1	1	1		1	1			1	
Diplocarpon	42	6	3	3	1	8		4	11	1													1	1	1		1				1	
Exobasidium	5	3							2																							
Fusarium	4																								4							
Mycochaetophora	42	11		24		3			3																				1			
Mycovellosiella	1								1																							
Passalora	8			1		5			2																							
Penicillium	44	5		6		17			14																				1	1		
Phomopsis	5	3																									2					
Phytophthora	8	1		1					2				1				1								1							1
Pseudocercospora	3																			3												
Pyricularia	13	1		4		2			6																							
Sclerotinia	41	1							39		2																					
Stemphylium	2	2																														
Venturia	1								1																							
	49	1		34		3	1		10																							
注) コードはFRACコード番号、薬剤はそのグループ名の略称																																

注) コードはFRACコード番号、薬剤はそのグループ名の略称

（１）採用されている検定法

用いられている検定法について表４にまとめた。これらは、**培地検定**、**生物検定**、**遺伝子診断**に分けられ、培地検定では EC₅₀、MIC、特定濃度での生育の有無および生育阻止率で判定されており、生物検定では EC₅₀、MIC を基準にしたものはなく、特定濃度での病斑形成の阻止率あるいは、常用濃度での防除効果で評価されていた。遺伝子診断については、関与する遺伝子が限定されている QoI 剤を中心に実施されており、べと病菌やいもち病菌では、その変異の有無で QoI 耐性の有無が判断されていた。以上、これら検定法に係る特徴や傾向について整理すると以下ようになる。なお、FRAC から検定法が提案されているが、国内では採用されている例は殆どない。

今回のアンケート調査の結果、**培地検定**で EC₅₀ を評価しているのは、全体の 3.1%にすぎなかった（表４）。海外あるいは他の分野では EC₅₀ をもとに薬剤感受性が議論されることが多いが、EC₅₀ を求めるには、多数の培地の準備はもとより、生育量の数値から EC₅₀ を算出するという煩雑さから、採用される事例が少ないものと推察された。DMI 剤など薬剤の種類によっては MIC で評価できない例が多いことから、薬剤の種類によっては EC₅₀ で判定すべきものと考えられた。

MIC あるいは菌叢生育の有無については、前者が 38.3%、後者が 16.4%であり、培地検定での主要な手法となっている。MIC は、EC₅₀ と同様に多段階濃度の培地を準備するという手間は生じるが、1 つの容器（シャーレ）で多数の菌株を判定できる。また、薬剤によっては感受性と耐性菌の MIC 値の分布を区別しやすく、さらに感受性の経年的な変化をとらえやすい。以上のようなメリットはあるものの、薬剤の種類によっては有効濃度の薬剤を含む培地でもわずかに生育する事例があり、生育の有無で明確に判断できないケースも多い。

特定濃度での生育の有無は、既往の MIC の結果を基に、特定濃度で生育したものを耐性菌あるいは感受

性低下菌として評価しようとするものであり、簡便な手法として採用されている。また、MIC の結果に基づいて設定した濃度ではなく、農地における常用濃度での生育の有無で評価する事例もある。薬剤の種類によっては有効濃度でも生育する場合があります、植物体内で変化して活性化するものもあることから (Furuta et al., 2024; 佐野, 2019)、その判断には検討する余地がある (対象病害・薬剤の感受性に関する情報に乏しい場合に、暫定的に採用する基準として理解できる)。

表4 実施されている薬剤感受性検定の評価法 (基準)

評価法	検定数	同率(%)	基準	率(%)
EC ₅₀	23	3.1	特定濃度での生育の率	19.9
菌叢生育阻止率	123	16.8		
MIC	281	38.3	特定濃度での生育の有無	55.7
菌叢生育の有無	120	16.4		
胞子の発芽の有無	7	1.0		
培養性状	1	0.1	色素産生の有無	
生物検定	108	14.7	発病抑制効果	
遺伝子診断	70	9.5	変異の有無	
733				

次に、培地における特定濃度における菌叢生育阻止濃度は、過去に MIC や EC₅₀ を計測した際のデータを基に設定されている場合、薬剤耐性菌の発生程度を推定できるが、再現性が高いという報告はない。また、代表的な薬剤について数段階の濃度で検定し、これをセットとして定期的に検定して経年的な感受性の変動を知ろうとするケースもある (栃木県資料))。薬剤感受性検定の情報の少ない薬剤においては、耐性菌発生の兆候をとらえる手段として有効であると考えられる。この場合、培地や培養温度、日数などを一定に保ちながら継続する必要がある。また、常用濃度での菌叢生育抑制率から、耐性、感受性を機械的に判定しようとするケースがあるが、対照に耐性菌を加えると理解しやすい。さらに、耐性菌と断定する場合は、生物検定における (防除) 効果の確認が必要であると判断される。

生物検定は、人工培養できない病原菌 (うどんこ病、さび病、べと病) では、中心となる検定手段であり、その他、培地検定のみでは判断しづらい薬剤では、培地検定の結果を補足するために用いられる。ナシ黒星病菌の DMI 剤感受性は、培地検定、遺伝子診断ともにこれを評価することができない状況にあり、もっぱら生物検定で薬剤の感受性が評価されている。また、薬剤の防除効果の低下をもって耐性菌とすることから、新たな耐性菌が発生した場合において、生物検定での効果減退を証明することが必要であり、収集したアンケートの中にもそれが含まれる。そもそも、防除効果の低下 (耐性菌であること) は生物検定を用いないと明確には証明できず、培地検定や遺伝子診断はその手間を省くための間接的な代替手段といえる。

遺伝子診断については、いくつかの作用機構の薬剤 (MBC, QoI, SDHI, DMI, CAA, OSBPI ほか) において、関与する変異が明らかになってきている。QoI 剤については関与するチトクローム b 遺伝子上の変異が限定されており、各種病原菌で共通することから、培養できない絶対寄生菌 (べと病、うどんこ病、さび病など) を中心に多くの菌で活用されている。MBC 剤においても同様にβ-チューブリン遺伝子の変異は比較的限定されており、一部の *Fusarium* 属菌で利用されているが、コストの面から培地での検定 (MIC)

が優先されることが多い。

DMI 剤については、CYP51 遺伝子における様々な変異や本遺伝子の過剰発現の例が報告されており、これらが相互に作用するため、特定の変異のみで説明のつかないケースが多く、汎用的な手段となっていない。遺伝子診断法については、様々な薬剤で薬剤感受性低下に関与する遺伝的変異と相互作用の理解が進むとともに、複数の作用機構の変異を同時に検出する技術が開発されれば、活用場面は広がるものと推察される。ただし、同時に生物の変異は常に多様化する方向にあり、継続的な調査研究が必要な分野だと考える。

（２）培地検定の条件

・ 培地の種類

かつて、MBC 剤などが薬剤感受性検定の主要な検定対象であったころは、自作の PDA や PSA で検定するのが一般的であったが、薬剤の種類によってはこれらの培地での検定が難しいことが明らかになり、薬剤の種類によっては用いる培地を選ぶ必要が生じている。SDHI 剤は YBA、AP 剤や KRI 剤は FGA を使用するケースが増えている（表 5）。その他、細菌病の場合は NA、PDA、PSA、PPGA、Ayer's 培地などが用いられており、どれを選ぶかは定まっていないが、NA、PDA ほか利用できる市販品の培地は数多い。

それでも、PDA の汎用性は高く（全体の 71%）、このうち 65%が市販品の PDA であった。培地の種類によって、EC₅₀、MIC 値が異なることが知られており、可能な限り、同じ成分の培地を供試する必要がある。特に低濃度での感受性を評価しようとする場合や培地の条件が検定結果に影響する薬剤においては、試験の精度（再現性）を確保する上でも、既製の市販製品あるいは合成培地の使用が推奨される。ただし、使用頻度の高い Difco、ニッスイ、栄研の各社 PDA の間で同じ応答が得られるか比較した例はない。

なお、QoI 剤の検定の際に添加される AOX 剤については、PG（没食子酸 n-プロピル）よりも SHAM（サリチルヒドロキシサラム酸）を使用する場合がやや多いが（表 6）、選定基準は特にはなく、ただ前例に従ったものが多いと判断された。なお、AOX 剤は、菌の生育に影響することが知られており、新たな病原菌や薬剤の組合せでは、その種類と濃度について検討する必要がある。

表 5 培地検定に用いられている培地と対象薬剤

培地の種類	採用数	内市販品	同左率%	対象薬剤（グループ）
PDA	407	265	65.1	MBC(1)ほか計22グループ
PSA	23			MBC(1)ほか計11グループ
YBA	89			SDHI(7)
FGA	25			AP(9),KRI(17), ポリオキシシン(19)
NA(普通寒天培地)	12	9	75.0	細菌を対象にした薬剤
その他	15			
571				

表 6 QoI剤を検定する際に培地に添加する AOX阻害剤

	n=	比率%
SHAM	65	60.2
PG	43	39.8

・培養温度と培養日数

培養日数が、EC₅₀ や MIC などの検定結果に影響することが知られており（入江・井上, 1993）、培養温度も生物代謝や抗菌活性に少なからず影響する（農業分野では種子消毒剤、食酢の効果など）。このため、薬剤の種類によっては、培養日数と温度を厳密に設定する必要がある。

培養日数については、生育が早い菌では短く、生育の遅い *Passalora*、*Diplocarpon*、*Venturia* で長く、生育の阻害率を見ようとする際も長くなる。アンケートの結果、おおよそその傾向にあったが（表7）、同じ菌でも培養日数が異なるケースが認められる。培養日数が影響しない薬剤との組合せもあるが、寒天ディスクからの生育の有無を判定に迷うような組み合わせなどでは、条件を整えないと再現性のある結果が得られないと予想される。

表7 培地検定における培養日数

	1日		2日		3日		4日		5日		6日		7日		10日		7-14日		10-14日		14日		21日		28,30日	
	有無	率	有無	率	有無	率	有無	率	有無	率	有無	率	有無	率	有無	率	有無	率	有無	率	有無	率	有無	率	有無	率
細菌			6		11		2		4	1																
<i>Alternaria</i>					3																					
<i>Botrytis</i>			48	12	30	16	28	5			4	2	37	5												
<i>Cercospora</i>					5	2		12	2	11	3		7	7												
炭疽病菌					14	1	34	1	6	9			19	12												
<i>Corynespora</i>					7	3	6	12	1				4	7												
<i>Diplocarpon</i>																			1		2		2			
<i>Fusarium</i>			4	4	5	3			12						1											
<i>Mycochaetophora</i>													1													
<i>Mycovellosiella</i>											3		5													
<i>Passalora</i>							3								30		6								1	
<i>Penicillium</i>					5																					
<i>Phomopsis</i>							1																			
<i>Pseudocercospora</i>									2				4		2											
<i>Pyrenophora</i>						2							1													
<i>Pyricularia</i>					14	2	2		1	1				1												
<i>Sclerotinia</i>																										
<i>Stemphylium</i>	1						1																			
<i>Venturia</i>																							1	16	2	5
有無：	1		58		91		77		26		10		78		33		6		1		2		3		3	
率：			0		16		32		30		24		2		32		0		0		0		0		16	
有無：	MIC, 特定濃度での生育の有無																									
率：	EC ₅₀ 、生育阻止率、特定濃度での生育率																									

培養温度（表8）は18～34℃の範囲で行われており、25℃での検定数が最も多かった(63%)、次に20℃の32%でその多くが *Botrytis* を対象としたもので、中低温での生育適温の菌がこの温度で検定されている。今回の調査には無いが麦類の紅色雪腐病菌でも同様である。一方、細菌病は28℃あるいは25℃で検定するケースが多い。この分野では病原菌の生育適温で検定されることが多いが、動物の病原菌の場合は、体温（37℃付近）で検定されている点で、大きく異なる。植物は栽培環境によって、温度（気温）が大きく異なることから、防除を考えるなら、異なる温度域での薬剤の活性や菌の感受性の評価が必要と考えられる。

いずれにせよ、検定結果を比較しようとする場合、生物にとって5℃の温度差はあまりにも大きいことから、菌の種類に応じて検定温度を統一するべきものと考えられた。

表8 培地検定における培養温度

	培養温度℃								
	18	20 20～25		23	25	25,28	28	34	室温
細菌					8		14	1	
<i>Alternaria</i>					3				
<i>Botrytis</i>	3	144			40				
<i>Cercospora</i>			2		48				
炭疽病菌					96				
<i>Corynespora</i>					39				
<i>Diplocarpon</i>				4	1				
<i>Fusarium</i>		5			25				
<i>Mycovellosiella</i>		1			8				
<i>Passalora</i>					44				
<i>Penicillium</i>						3	2		
<i>Phomopsis</i>					1				
<i>Pseudocercospora</i>					13				
<i>Pyrenophora</i>					3				
<i>Pyricularia</i>					18		1		1
<i>Sclerotinia</i>	1	1							
<i>Stemphylium</i>					1				
<i>Venturia</i>		24							
計（検定数）	4	175	2	4	348	3	17	1	1
割合（％）	0.7	31.5	0.4	0.7	62.7	0.5	3.1	0.2	0.2

以上、培地の種類も含め、培養条件が異なるケースが多いことが明らかになった。後述する判定基準については、検定の目的によって異なるため、柔軟な判断が必要であるが、年次変動や地域差を議論するには、上記の条件を整える必要がある。なお、特に注意が必要だと想定される菌と薬剤は下記の通りである。

表9 培養条件（培地、温度、日数）が特に強く影響すると推察される薬剤や病原菌

薬剤	DMI剤(3)、SDHI剤(7)、PA剤(4)、その他
病原菌	細菌全般、 <i>Venturia</i> 、 <i>Colletotrichum</i> 、その他

・添加する薬剤と分散媒、培養容器

添加する薬剤は市販の水和剤などの製剤を使うケースが最も多く、原体や試薬を使用する事例は少なかった。オキシリニック酸など試薬として入手しやすいものを除き、分析用の試薬は高価なため、市販の製剤を用いるのが一般的となっている。ただし、市販の製剤は安定性を保つための副資材が加えられており、それが検定結果に影響しないか事前にメーカーに確認するとともに、場合によっては原体の提供を依頼する必要があると考えられる。

また、薬剤の分散媒として DMSO などを用いる例も少なかった（表 10）。薬剤の種類によっては、水溶解度が低いことから、高濃度での検定には注意が必要である。農薬原体の水溶解度やオクタノール/水分分配係数（Log Pow）については、薬剤の性質を理解する上で重要な情報である。

検定培地はガラス製から使い捨てのプラシャーレが主流になり、グリット線が入った角型シャーレの使用が増加している（表 11）。

表10 培地に加える薬剤の分散媒

分散媒	
DMSO	27
メタノール	2
水	517
0.1N NaOH	6

表11 培地検定に用いた培養容器

	使用数
径9cmシャーレ	196
角型シャーレ 96X96mm	58
140X100	63
230X75mm	39
角型計	160

・ 培地検定における接種源

糸状菌の場合、PDA 平板培地で前培養し、これから切り出した寒天を含む菌叢ディスクを置床する方法が採用されてきたが、現在でも扱いやすい接種源として広く用いられている（表 12）。一方、MIC など、生育の有無を知ろうとする場合、薬剤の種類によっては、完全に生育を阻止しないため、判定しづらいケースがある。また、生育の遅い菌でも、判定に悩むケースがあった。そこで、菌叢ディスクに代わりに胞子が付着したペーパーディスクを置床する方法や菌叢破碎液を培地上に滴下し、菌叢形成の有無を調査する方法が考案され、普及されている。ただし、破碎等の作業に手間を要することから、前培養を素寒天（WA）で行い、上記課題を解決しようとする試みも認められた。

表12 培地検定における接種源の種類

接種源	径	検定数	同左率	備考
菌叢ディスク	3mm	2	286	68.6
	4mm	212		
	5mm	20		
	5.5mm	5		
	6mm	47		
菌叢磨砕液		64	15.3	<i>Passalora</i> 、炭疽病菌等で利用
胞子（ペーパーディスク）		67	16.1	主に <i>Botrytis</i> でSDHI(7), AP(9)で活用
計		417		

・ 検定濃度と判定基準

まずは単位であるが、多くの機関が ppm を採用し、 $\mu\text{g/ml}$ を採用している個所数は非常に少なかった。厳密には後者を採用すべきケースが多いと推察される。本稿では単位を mg/L と表記し、統一を図りたい。

培地検定の際に設定する薬剤濃度（段階）は、*Botrytis* の場合のように簡素化が図られており、1 濃度のみで検定できるようにシステム化されつつある。このように、既往の研究例を参考に 1 濃度での検定が実施されているのは全体の 57.3%と多い（図 13）。この場合、過去の報告や、各機関の研究蓄積を基に濃度が設定されていると推察される。ただし、率（菌叢生育阻止率）で評価されている事例では、感受性の判定基準が実施機関により、阻止率 40～80%と大きな幅があり、薬剤の種類を問わず同一の基準で判断している事例も認められた。

3 濃度以上も 27%程度あり、耐性の程度が評価されている。MIC や EC_{50} を求める場合、少なくとも 5

段階ほど必要となる。感受性の変化をとらえる場合、新たな薬剤耐性を評価する場合などは、さらに多段階の濃度での検定が必要である。

表13 培地検定における薬剤濃度の段階

検定濃度の段階（無添加を除く）	菌叢の生育		計%
	有無	率	
1濃度	36.6	10.5	
1濃度（常用濃度）	3.4	6.8	57.3
2濃度	13.3	1.6	
2濃度（常用濃度と1/10）	0.2	0.5	15.7
3濃度以上	21.8	5.2	27.0

また、判定の基準は知見の蓄積が十分な場合、MIC、EC₅₀ 値、菌叢生育阻止率などで評価されるが、知見が少ない場合は、便宜的に判定基準が設定されている。耐性菌リスクを早い段階で検知しようとする姿勢の現れだと考えられるが、判定基準に常用濃度を設置する事例も増えてきており、このことについては後に考察する。

（4）サンプリングの数

サンプリングの圃場数・標本数は、何が知りたいかで適切な規模がある。また、病原菌の飛散が狭い場合、圃場内で多様な性状の個体群が偏在あるいは混在しており、採るべき試料の数（圃場数、圃場内の地点数）は病害によって異なるものと推察される。一方、適切な数とは一般に多大なものとなるため、限られた時間と人員で調査できる範囲に制限されているのが現実である。また、サンプリングを普及組織など地域の協力を求める場合、関係者との協議・情報共有が不十分だと想定した試料の収集が困難となる。いずれにせよ、様々な制限の中で可能な範囲で収集し、分離培養されたものを検定しているのが実態であると想定される。

また、圃場あたりのサンプリング数は、1～10程度で、苗木で生物検定する黒星病菌などでは1～2点/圃場と供試試料数は少ない、その他の培地検定を行う病害では、検定可能数 $\geq a$ （菌株数） $\times b$ （圃場数） $\times c$ （検定薬剤数等の手間）に制限されており、abcのどれを重視して必要な情報を得ようとするかで、サンプリング数は決定されている。

標本のサンプリングの考え方（目的に応じたサンプリング）

- ア. 地域、圃場における耐性菌比率を知りたい場合
 - ※ 耐性菌比率 $\neq$ 伝染源量
 - ※ 比率は使用薬剤で左右される
 - 比率を示すのに必要な菌株数
- イ. 地域における新たな耐性菌発生の兆候を知りたい場合
 - ※ 耐性菌検出後の戦略があつてこそ
 - 偏りなく多地点 $>$ 菌株数
- ウ. 地域の薬剤感受性の実態を知りたい場合
 - ※ 現場誘導、防除策策定の参考資料となる
 - ※ 未然に防ぐための取り組みも必要
 - 過去の調査との対比性を考慮
- エ. 多発生が耐性菌の惹起によって考えられる場合
 - ※ まずはエビデンスを取得、同時に代替対策提案
 - 限定・対比調査 → 広域調査
 - 段階的、2つの局面を説明

（５）検定目的

表 14 に示すとおり薬剤感受性検定の目的として最も多いのは、①地域で発生する病害の薬剤感受性の実態を広く知ろうとするものであり、次の②実態調査・変動解析とともに多く、地域への情報提供あるいは防除指針（暦）策定の資料にするなど、短期あるいは中長期的な視点で行う行政サービスとして機能しているものと推察される。この場合、簡易な検定法で数をこなすことが優先されるとともに、変動解析では検定条件の継続性、薬剤の感受性変動は MIC、EC₅₀ などの調査の継続も必要になる。次の③多発要因の解析については、耐性菌の発生がその要因の一つと考えられるケースが日々生じており、これを検証するための即応的な作業とみられる。この場合、根拠を得るための様々な調査はもとより、地域の実態調査、対策のための防除試験も同時に実施する必要がある。さらに、以上により防除体系等を変更した後の④対策の検証についても、追跡調査されている実態が伺えた。なお、学術的な情報を収集して⑤論文化し、広く知見を周知することを目的とするケースでは精細な研究が要求される。

表14 感受性検定の目的

検定の目的	回答数	備考
実態把握（広域）	499	地域全体の耐性菌発生状況の把握
定期調査・変動解析	258	毎年あるいは数年おきの変化を把握
多発要因解析	150	突発あるいは多発した病害の発生要因の解析
対策の検証	44	対策（防除体系の変更）の検証
論文化	8	学術的に必要な情報の収集
その他	1	
未回答	17	
計	977	（重複回答を含む）

（４）検定法の参考とした資料

実施されている感受性検定は、日本植物病理学会殺菌剤耐性菌研究会が編集した「植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル」を参考にした事例が最も多く、次いで学術雑誌あるいは専門雑誌（植物防疫）の論文・資料であった（表 15）。また、各機関の過去の成績（研究蓄積）や他県の情報を参考に実施している例も多く認められた。なお、未回答も多かったが、継続的实施されている検定の中にも根拠が不明なケースも少なからずあろう。

表15 培地検定の際に参考とした資料

検定の参考とした資料	該当数	回答に占める割合
学術雑誌	89	15.7
日本植物病理学会殺菌剤耐性菌研究会編		
植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル	147	26.0
同研究会シンポジウム講演要旨集	10	1.8
月刊「植物防疫」（上記、マニュアルを除く）	24	4.2
機関誌	6	1.1
過去の試験成績（未公開含む）等	102	18.0
他県の手法	13	2.3
独自に設定	21	3.7
その他	154	27.2
未回答	258	

2) 検定法の考え方と標準的手法の確認

(1) 検定法の方向性（手法の簡素化）

既往の検定法に関する報告あるいはマニュアルの多くは、新発生の耐性菌の発生報告の過程で得た情報を示すものが多く、薬剤耐性であることを証明するための論拠、基準を示すことに重点が置かれ、多数の検体を調査すること、さらに、異なる種類の薬剤を同時に調べることを前提として組み立てられていない。このため、実際に薬剤感受性検定の事業を運用する際には、マニュアルも含めた既往の知見を基にしながら、可能な限り作業を選択し、最大限の情報を得る方向に検定作業の全体構成が調整される。

特に、検定すべき薬剤の多い灰色かび病菌においては、既往の研究蓄積に独自の研究結果を加えた検定システムが構築され（鈴木ら、2016）、運用例が報告されている（川上ら、2020）。同様に、生育が遅く、感受性検定が難しいとされるトマト葉かび病菌においては、精度の高い検定法が開発され（渡辺、2017）、今回のアンケートにおいても、これらの方法が全国で活用されている実態を知ることができた。

そして、EC₅₀ や MIC での評価ではなく、特定濃度での生育の「有無」や「程度（率）」で評価しようとする方向性にあると判断される（図4）。また、既往の研究蓄積からその特定濃度が明らかでない薬剤も多いため、常用濃度で統一して検定している事例が散見される（表 13）。先にも述べたが、培地検定や遺伝子診断は間接的に防除効果の低下（耐性菌の発生）を知ろうとするものであり、むしろ「生物検定における常用濃度」での検定は直接的に評価する手段であるが、「培地検定での常用濃度」で、正確な判定が下せるかの検証が必要である。常用濃度で生育が認められない場合に感受性と判定することは理解できるが、生育した場合に耐性菌とする場合には追加の検証が必要に思える。

情報が少ない薬剤・病原菌においては暫定的に判定する目安を設けて、リスク管理や適時の情報提供を行う必要があり、生産現場からもそれを求められている。このため、走りながらも検定の的確性を高めてゆく立ち位置と理解される。

なお、簡易検定法として、過去には薬剤含有培地に病斑上の孢子を塗布する方法、薬剤を染み込ませた楊枝を病果に突き刺す方法等々、現地でもできる簡易検定法が提案されているが、応用できる薬剤の種類が限定され、判定に苦慮するケースがあること、検定資材を自作することの煩雑さなどから、汎用的な技術にはなっていない。

その菌が耐性菌かどうかを重視するのではなく、地域あるいは園地の耐性菌の発生状況を知り、指導に活用するのが目的であれば、MIC や EC₅₀ という評価基準は必ずしも必要とはならない。

参考となるのは、5、10 年おきに主要な薬剤の感受性を継続調査している栃木県の例で、各濃度での生育抑制率の経年的変化から、感受性のおおまかな変化を知ろうとするものである。病害や薬剤の種類を問わない万能の手法ではないが、基礎的な情報として集積する価値のある情報であると考えられる。

耐性菌と感受性菌の比率を重視した議論があるが、比率よりも耐性菌による被害やその伝染源密度が問題である。それを知るにはサンプリングの考え方の方が重要で、これに関する検討や議論は少ない。いずれにせよ、培地検定での感受性検定が難しい薬剤が増えてきており、煩雑な培地検定が要求される方向にある。このため、最も確からしい情報が得られる生物検定で評価しようとする取り組みも目立ち始めている。

(2) 基本の確認

糸状菌病の基本的な培地検定の条件を表 16 に示す。これを基本とし、病原菌や薬剤の種類に応じて、最

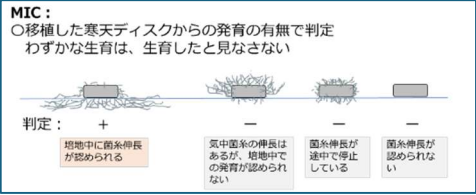
適化（簡易化）を図るものとして。また、検定を行うにあたり、実施後のアウトプットを想定し、必要とされる情報が得られるようデザインすること、中長期的な視点も持ちながら検定計画を立案することが求められる。

表16 糸状菌病の基本的な培地検定の条件

薬剤濃度 mg/L	案1 : 0, 0.01, (0.03), 0.1, (0.3), 1, 3, 10, 30, (100), (300) 又は 案2 : 0, 0.01, (0.05), 0.1, (0.5), 1, 5, 10, 50, (100), (500)	() 内の濃度は必要に応じて設置
検定培地	PDA (基本) YBA・YBG(SDHI), FGA(AP, KRI)	全般 (QoIにはPGまたはSHAM添加) SDHI, AP, KRI剤など
前培養培地	PDA, PDB, WA	
接種源	菌叢ディスク (PDA) 菌叢破砕液、菌叢ディスク (WA) 孢子 (ペーパーディスク法)	MICでの判定が容易な薬剤、EC ₅₀ を調査する場合 MICでの判定が難しい薬剤(SDHI剤ほか)、生育の遅い菌 (葉かび病) 孢子形成が容易な菌 (<i>Botrytis</i>)
培養温度	20℃ (暗黒下) 25℃ (暗黒下) 28℃ (暗黒下)	灰色かび病、黒星病ほか その他の多くの菌 一部の中高温性の菌
判定基準	MIC (または発育の有無) EC ₅₀ (または生育阻止率、RG)	・過去の情報と比較し、感受性の低下を考察して判定 (暫定的な判定) MIC値が常用濃度より低ければ感受性菌 ・過去の情報と比較し、感受性の低下を考察して判定 (暫定的な判定) 常用濃度の生育阻止率が80~90%以上であれば感受性菌

※： 耐性菌であると判断するには、当該要件が過去も含めて生物検定で効果が減退していることが示されていること

- 注1) ベースラインより感受性が低下している場合→ 感受性低下菌
さらに、防除効果が低下が認められるものを→ 耐性菌
- 注2) 判定基準は薬剤および菌によって異なる
- 注3) 常用濃度で生育した場合の判定は薬剤によって異なる



A 感受性検定を行うにあたり

1 まずは目的の理解

① 多発要因の解析

気象、伝染源密度、耕種的要因、不適期防除、薬剤感受性の低下
その検討項目の一つとして、薬剤感受性の低下の有無を調査し、
対策の資料とする

② 状況の把握（サーベイランス）

(定期的な状況調査)

感受性低下のリスクの高い病害と薬剤、あるいは、
かねてより薬剤感受性の低下事例がある病害について、
耐性菌の発生状況（構成割合）を明らかにする

(継続的な兆候調査)

薬剤感受性低下が想定される病害について、
広域的な調査を継続的に行い、被害の顕在化を防止する

③ その他（対策の検証、論文文化ほか）

○対策のための調査・解析であるから、実施後のアウトプットを想定

2 情報収集と検定計画の策定

① 情報収集（背景の理解、適切な作業のため）

- ・現地での耕種概要、薬剤の使用実態、防除暦の内容
- ・農業者、指導者の見解
- ・既往の耐性菌発生状況、適切な検定方法
- ・代替剤の有無、他県での対応など

② 検定計画（目的に応じた設計）

- ・サンプリングの規模（精度、検定数、迅速性の何を優先）
- ・検定法の選定（薬剤の作用特性等に応じる）
 - 少ない頻度の検出、比率を知る→数を優先
 - 初知見→精度、確かさを優先
 - まずは対応→迅速性を優先
- ・検定薬剤の選定（疑義剤、基幹剤、代替剤）
- ・作業の時期（情報発出の時期に応じる）
- ・薬効試験（耐性菌未報告病害では、必須）
(ケースによっては、代替防除の試験を同時並行で行う必要がある)

3) 主要な病原菌の検定法

5種の病原菌（グループ）①*Botrytis*、②*Venturia*、③*Fusarium*、④*Colletotrichum*、⑤*Cercospora*・*Corynespora*について、既往の研究を基に標準的な検定法として以下のように取りまとめた。

なお、それぞれで紹介する標準的手法は、既往の情報を基にしながらも、必ずしも各グループの全体に適応できるものではない点、留意願いたい。

①灰色かび病菌 *Botrytis cinerea*

本病菌は多犯性で、さらに植物遺体上で豊富に分生子を形成し、圃場内で速やかに世代を繰り返すため、薬剤耐性が発達しやすい病原菌である。さらに、圃場外も含めて伝染源が存在し、定期的な薬剤防除が必要なことはもとより、収穫物に直接被害を及ぼすことから、収穫期間が長い品目では、防除回数が多くなってしまう。施設栽培では夜間に高湿度条件となる。このような病原菌の特性および薬剤防除回数の多さから、様々な薬剤に対する耐性菌の被害が顕在化している。

このため、薬剤耐性菌対策の必要性が高く、モニタリングやその対策の検証がすすめられている。その薬剤感受性検定は、薬剤を含む寒天培地上に菌叢ディスクを置き、その生育の状況から判定するのが常法であるが（木曾, 1994）、薬剤の種類によっては、①適切な培地の選択が必要なこと、②菌叢ディスクの代わりに孢子を含むペーパーディスクを用いる必要があること、③生物検定の併用が必要なことなどが明らかになっている。

そして、定期的なモニタリングを実施するため、それぞれの薬剤の判定基準が設定されるとともに、その工程管理、SOPが示され（鈴木ら, 2016 ; 川上ら, 2019）、これに倣った検定が実施されている（大森ら, 2019 ; 祖田ら, 2022 ; 浅野ら, 2024）。本章では、これをベースにしながら、一部に筆を入れて今日版の標準的検定法を示す（表①1）。

なお、FRACが、KRI、DMI、SDHI、QoI剤等の検定にマイクロプレートを用いる方法を提案しているが（<https://www.frac.info/knowledge-database/monitoring-methods>）、国内での実施例は少ない。また、生物検定でのみ評価しようとする試み（堀川ら, 2024）や、検定手法の改善（小島ら, 2021）が図られているところである。検定法には、それぞれ一長一短があり、改善しながら検定の目的に応じて使い分けていくのが、現実的であると考えられる。なお、感受性低下菌として判定された場合の指導上の対応や、実用上の薬効低下との関連について、継続的なモニタリングと協議が必要である。

本病菌の薬剤感受性低下に関与する遺伝子の変異は他の病原菌と同様に特定されつつあるが（表①2）、本病菌が様々な薬剤に耐性を示し、遺伝子の変異は多様なため、日常的なモニタリングの手段として活用するには、検出すべき変異を体系的に整理する必要がある。

表① 1 灰色かび病菌の標準的薬剤感受性検定法（培地検定、生物検定）

薬剤 系統	FRAC コード	検定 薬剤名	検定法	検定培地 検定植物	検定成分濃度 (mg/L)	培養温度 ℃	時間 日	判定基準 MICと菌叢生育阻止率の併用	
MBC	1 *	ベノミル	菌叢ディスク法	PDA	1 ** 100	20	2	生育しない（感受性菌） 上記で生育した菌株で、生育しない （中度耐性）、生育あり高度耐性）	木曾・山田（1998）
ジ ^カ ホ ^ホ チ ^ホ イト ^ホ	2	イプロジオン	菌叢ディスク法	PDA	5	20	2	菌叢生育阻止率 <20%（高度耐 性）、20-99%（中度耐性）	木曾・山田（1998）
SDHI	7	ボスカリド/ペンチオ ピラド	ペーパーディスク法 （蒸留水） ペーパーディスク法 （1/2PDB）	YBA 生物検定： キュウリ子葉	1 常用濃度	20	7 3	生育あり（感受性低下菌） 上記で生育した菌株を評価 病斑形成抑制率が60%未満（耐性菌）	鈴木ら（2016）
AP	9	メバニピリム	ペーパーディスク法 （蒸留水） ペーパーディスク法 （1/2PDB）	FGA 生物検定： キュウリ子葉	3 常用濃度	20	4 3	生育あり（感受性低下菌） 上記で生育した菌株を評価 病斑形成抑制率が60%未満（耐性菌）	高垣（2000） 川上ら（2017）
QoI	11	アゾキシストロピン ピリベンカルブ	菌叢ディスク法 菌叢ディスク法	PDA *** （SHAM1mM 同上）	1, 100 同上	20	3 同上	100mg/Lの生育阻止率<80%（耐性 菌） 同上	間佐古（2009） 尾崎・小野（2016）
PP	12	フルジオキシニル	菌叢ディスク法 ペーパーディスク法 （1/2PDB）	PDA 生物検定： キュウリ子葉	0.2 常用濃度	25	2 3	生育あり（感受性低下菌） 上記で生育した菌株を評価 病斑形成抑制率が60%未満（耐性菌）	平田（2000） 川上ら（2017）
KRI （SBIクラス III）	17	フェンヘキサミド	ペーパーディスク法 （蒸留水） ペーパーディスク法 （1/2PDB）	FGA 生物検定： キュウリ子葉	1 常用濃度	20	4 3	生育あり（感受性低下菌） 上記で生育した菌株を評価 病斑形成抑制率が60%未満（耐性菌）	沢田（2001） 川上ら（2017）

* MBC剤とN-フェニルカーバメートの耐性菌が広く発生しているが、灰色かび病防除剤として使用されていない地域では、検定が行われないことが多い。

** 中度耐性を重視しない地域では、1mg/Lは検定されていない。

*** SHAMの代わりにPG（没食子酸n-プロピル）を用いても良い。

表① 2 灰色かび病菌の薬剤感受性に関与する遺伝子の変異

薬剤	FRACコード	遺伝子	変異
MBC	1*	β -tub	E198A/G/K/V T351I F200Y
ジ ⁺ カルホ ⁺ キ ⁺ ミド ⁺	2	bos1	I365S I365N
QoI	11	cytb	G143A
SDHI	7	sdhB	P225F/L/T N220I H227R N230I H272L/R/V/Y I274V K283N
		sdhC	P80H A85G/V
		sdhD	H132R

参考資料（web 上で閲覧できるものを中心に抜粋）

・検定手法

木曾 皓（1994）植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル(6)野菜類灰色かび病菌．植物防疫．

48(1):42-46. https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/48_01_42.pdf

高垣真喜一ら（2000）アニリノピリミジン系殺菌剤の灰色かび病菌に対する感受性検定法．植物防疫

54(4):153-157. https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/54_04_23.pdf

鈴木啓史ら（2010）灰色かび病菌のペンチオピラドとボスカリドに対する感受性検定法．関西病虫研報

52:45-51. <https://doi.org/10.4165/kapps.52.45>

鈴木啓史ら（2016）植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル 2016（6）野菜類灰色かび病菌—SDHI 剤（培

地・生物検定法）一．植物防疫 70(9):610-615. https://jppa.or.jp/archive/pdf/70_09_40.pdf

尾崎剛一・小野友慈（2016）植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル 2016（7）野菜類灰色かび病—ピリ

ベンカルブ（培地・生物・遺伝子検定）一．植物防疫 70(9):616-620.

https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/70_09_46.pdf

小島一輝ら（2021）灰色かび病菌のフルジオキシニル感受性検定法の改良と岐阜県内トマト産地におけ

る感受性の状況．関西病虫害研究会報 63:109-113. <https://doi.org/10.4165/kapps.63.109>

川上 拓ら（2020）トマト灰色かび病菌の主要殺菌剤に対する耐性菌の発生動向．植物防疫

74(6):333-337. https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/74_06.pdf#page=17

・モニタリング事例

川上 拓ら（2019）トマト栽培圃場における灰色かび病菌の主要殺菌剤に対する耐性菌の発生動向．関西

病虫研報 61:15-22. <https://doi.org/10.4165/kapps.61.15>

大森 雅子ら（2019）栃木県におけるトマト、イチゴの灰色かび病菌の薬剤感受性．関東東山病虫研報

66:7-11. <https://doi.org/10.11337/ktpps.2019.7>

祖田 嘉教ら（2022）大分県におけるイチゴ灰色かび病菌の殺菌剤感受性．九病害虫研報 68:36-43.

<https://doi.org/10.4241/kyubyochu.68.36>

堀川 英則ら（2024）愛知県におけるトマト・イチゴ等灰色かび病菌の QoI・SDHI 剤等 16 殺菌剤に対する感受性検定結果. 関西病虫研報 66 : 37-45. <https://doi.org/10.4165/kapps.66.37>
浅野 峻介ら（2024）奈良県での感受性検定に基づくトマト灰色かび病に対する有効な薬剤の探索. 関西病虫研報 66:11-16. <https://doi.org/10.4165/kapps.66.11>

② *Venturia* 属菌

ナシ黒星病菌 *Venturia nashicola*

リンゴ黒星病菌 *Venturia inaequalis*

果樹病害は、圃場に伝染源が残存しやすく、病害の発生が当年ばかりか次年度以降にも影響が残るため、高い水準の防除対策が求められる。さらに、草本植物よりも生育期間は長く、期間を通じて薬剤が散布されるため、薬剤散布回数が多くなる傾向にある。このため、耐性菌が惹起される機会は多く、その被害は慢性的となる。

こうしたなか、*Venturia* による黒星病は、MBC 剤（メチルベンゾイミダゾールカーバメート剤）耐性菌が発生して以降、様々な薬剤に対する耐性菌が顕在化し、時にこれによる大きな被害が生じている。使用できる薬剤が限定される方向にあり、継続的な薬剤感受性のモニタリングとマネジメントが必要な病害となっている。

黒星病菌は培地上での生育が遅いため、新鮮な病斑のある標本から（単孢子）分離して、雑菌の混入を防ぐ必要があり、分離しやすい標本（幼果や果梗）を採集したら、できるだけ早く分離作業に取り掛かる必要がある。

用いられている検定法について、表②1 に標準的手法として取りまとめた。

QoI 剤、MBC 剤は、他の野菜類病害の検定法と共通するが、DMI 剤については、以下示す理由から生物検定が信頼できる検定法とされている。すなわち、ナシ黒星病菌の場合、培地検定の結果と防除効果が一致しないケースがあり、さらに培養保存中に薬剤感受性が変化することが確認されている（石井・菊原, 2007）。このため、ナシの場合は、生物検定による評価が推奨されている（Ishii et al., 2021 ; 菊原ら, 2018）。一方、近年、国内で顕在化したリンゴの黒星病の DMI 耐性菌では、今のところ薬剤感受性検定と圃場での防除効果の結果がおおむね一致している。両者でこのような違いが生じる理由は定かではないが、今後、リンゴの場合もナシと同様状態となる可能性がある。

DMI 剤耐性は、①ステロール脱メチル化酵素遺伝子 CYP51 の突然変異、②本遺伝子及び酵素の過剰発現、③ABC トランスポーターの活性化による薬剤の細胞外排出であることが知られており、さらに耐性に係わる①の変異箇所は複数ある。一般に、いくつかの変異が重なりながら感受性の低下は徐々に進むとされており、ナシの場合は CYP51 の特定の変異のみで耐性の有無を評価できない状況にある。一方、近年、国内で顕在化したリンゴの黒星病菌では、CYP51A1 遺伝子の 133 番目の変異が関与しているケースが認められるが（Yaegashi et al., 2020）、海外では③によるケースが知られており、北海道では本変異を確認できない感受性低下菌が確認されている。将来、その他の変異が伴う耐性菌の発生も予想されることから、遺伝子診断で薬剤感受性を判定する際はこの点に留意する必要がある。

なお、ナシでは耐性菌のモニタリング手段として、薬剤を処理したポット苗を圃場に暴露し、発病の有

無から感受性の変化を捉えようとする試みも行われている（青木，2021）。健全苗を準備する手間は生じるものの、現地での迅速な意思決定をするための有力な手段になると期待される。

ナシ黒星病菌の場合、培地検定や遺伝子診断での DMI 剤耐性菌の評価の困難さが指摘されている（Ishii et al., 2021）。いずれにせよ、黒星病菌の培地上での生育は遅く、培養日数を要することは、薬剤の種類を問わず判定の合理性に強く影響すると考えられる。

同様に菌叢生育の遅いトマト葉かび病菌では、菌叢破砕液を検定培地にスポットすることにより、各種薬剤の感受性が評価されている（渡辺，2016）。黒星病菌も同様に、湯谷ら（2020）が SDHI 剤であるペンチオピラドの薬剤感受性を調査する際、菌叢破砕液を検定培地にスポットし、MIC を測定している。菌糸片を破砕するという煩雑な手間は生じるものの、本法の黒星病菌での応用を探るべきであると考えられる。併せて、さらに簡便で適切な評価法の開発が望まれる。それまでは、最終的な判断は、生物検定をベースにせざるを得ない。

表②1 <i>Venturia</i> 属菌（黒星病）の標準的薬剤感受性検定法（培地検定） * DMI, QoIについては手法の検証が必要									
薬剤 系統	FRAC コード	検定 薬剤名	検定法	検定培地 検定植物	検定成分濃度* (mg/L)	培養温度 ℃	時間 日	判定基準	
MBC	1	ペニシリン	MIC（菌叢ディスク）	PDA	1**	20	10	生育しない（感受性菌）	
					100			上記で生育した菌株で、生育しない（中度耐性）、生育あり（高度耐性）	
DMI***	3	ジフエノコナゾール （フェナリモル）	EC ₅₀ （菌叢ディスク）	PDA	0.01, (0.03), 0.1, (0.3), 1, (3), 10, (30), (100)	20	21	ジフエノコナゾール（EC ₅₀ , 0.1- 0.2mg/L以上）感受性低下菌（数値は目安）***	
		ミクロブタニル	RG（相対生育度）	PDA	0.3****	20	21-28	RG30以下感受性、70以上耐性、その間は混在	
QoI	11	クレンキシムメチル	RG（相対生育度）	PDA† (PG4mM含)	100	20	21	相対生育度RGを計測、80%以上は耐性菌	
SDHI	7	ペンチオピラド	MIC（菌叢破砕液） 湯谷ら(2020)	YBG	0.1, 1, 5, 10, 50	20	10	10mg/L以上で生育（感受性低下菌）	

* 対照に薬剤無添加培地も用意する

** 中度耐性を重視しない地域では、1mg/Lは検定しない

*** *V. nashicola*はDMI剤の感受性を培地検定で評価することが難しいため、生物検定で判定する

**** 国内での検証事例はない

† 50℃に冷えたPDAにPG（没食子酸n-プロピル）を4mMになるよう添加し、次いで薬剤を加える
DMSOに溶解しておく。PGの代わりにSHAMを使用してもよい。

EC₅₀を求める際の注意点：

- ・初めて検定を行う際は、0, 0.01, 0.03, 0.1, 0.3, 1, 3, 10, 30, 100mg/Lで検定
- ・その後、必要な範囲の濃度を設定して省力化を図る(薬剤によっては0.003mg/Lを設定)
- ・培養温度と日数を厳守する
- ・阻止率をプロビット変換し、濃度を対数としてEC₅₀を求める
- ・感受性低下菌のEC₅₀値の目安は示されているが、研究者によって異なる点に留意する
- ・対照に、感受性菌と耐性菌を加えると判定の参考となる
- ・複数の菌株を併試し、感受性程度の分布を概観し、総合的に判断する

表② 黒星病菌 (*Venturia*) の標準的薬剤感受性検定法 (生物検定)

植物体	鉢植えのリンゴまたはナシ苗木 (感受性品種) 接種のタイミングにあわせて感染しやすいやわらかい新生葉が展開するように苗木を育成する 方法: 苗木を冷蔵保存あるいは強剪定により、展葉時期を遅らせる。遮光して栽培する。 接種後の保管スペースに応じて、草高を調整する	
接種源	主に①と②が用いられている ① 園地の罹病葉、幼果上の分生子を回収 (水に懸濁) し、直ちに接種源として使用* ② 園地の罹病葉、幼果上の分生子を筆でシャーレ上に払落し、風乾後に凍結保存、要時に懸濁使用 ③ 分離した保存菌株を培養し、形成された分生子を使用 菌株によっては、培地上で分生子を形成しない	
検定**	① 植物体に常用濃度の薬剤を噴霧し、完全に乾くのを待つ (対照区には水を噴霧する) 注: 当日時間がなければ翌日まで置く ② 分生子を水に懸濁し (約10 ⁵ 個/ml)、葉に噴霧接種する ③ 接種後は乾かないように、ポリ袋などで覆うか、高湿度条件の装置内に移す*** ④ 20~25℃で、1 ないし2日間おいた後、雨除け条件で栽培する ⑤ 必要に応じ寒冷紗で遮光するとともに、栽培温度が高湿にならないよう留意する ⑥ 接種28日後 (発病状況に応じて変更) に、発病調査を行い、無接種区との対比から防除効果を確認する	
判定	① 病斑数/葉 (または、これに対応した発病度) から求めた防除価で、80以上あれば、感受性菌、50程度であれば中等度の耐性、30以下であれば高等度の耐性菌と判定する ② なお、薬剤の活性には薬剤間に差があることから、薬剤の種類に応じて、上記の判定を補正する	

* ナシ黒星病の場合、自然発病標本から回収した分生子を遠心分離機で濃縮・再懸濁して接種することがある
濃縮したものは-80℃で数年間保存可能
** 必ず無接種区を設け、自然発病の有無を確認する

表③ *Venturia* 属菌の薬剤感受性関連遺伝子

菌種	系統	コード	遺伝子	変異*	EPPOcode	未記載はFRAC報告または参考資料参照
<i>Ventria</i> spp.	MBC	1	β 2-tubulin	E198A/K	VENTIN	
				L240F	VENTIN	
				F200Y	VENTIN	
	DMI	3	CYP51A1	Y133F	VENTIN	Yaegashi et al. 2020 森ら2022
			CYP51A1の過剰発現		VENTIN	Schnabel and Jones 2001
	QoI	11	Cytochrome b	G143A	VENTIN	
				F129L	VENTIN	
				G143R	VENTIN	

* 太文字は国内も含め主体的な変異

注) *V. nashicola* のCYP51の変異についてはIshiiら(2021) を参照

参考資料 (web 上で閲覧できるものを中心に選定)

(検定法)

石井英夫 (1994) 植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル(14)ナシ黒星病菌. 植物防疫 48(10):442-444. https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/48_10_38.pdf

石井英夫 (2007) DMI 剤耐性菌をめぐって. 植物防疫 61(8):407-409.
https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/61_08_01.pdf

石井英夫・菊原賢次 (2007) ナシ黒星病菌の DMI 剤耐性. 植物防疫 61(8):426-429.
https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/61_08_20.pdf

平野泰志ら (2016) DMI 剤耐性遺伝子(CYP51)の解析と機能性を活用したナシ黒星病発生リスクの低減技術. 埼玉農総研報 15:1-7. <https://www.pref.saitama.lg.jp/documents/32295/15-1-1.pdf>

湯谷 智ら (2020) ペンチオピラドのリンゴ黒星病菌に対する感受性検定法. 植物防疫 74(7):412-417. https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/74_07.pdf#page=40

(モニタリング)

富田恭範ら (2011) 茨城県におけるナシ黒星病に対する薬剤防除. 植物防疫 65(2):131-133.

https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/65_02_61.pdf

雪田金助（2017）青森県由来のリンゴ黒星病菌にみられた DMI 剤，QoI 剤および MBC 剤への感受性低下．北日本病虫研報 68:102-107. https://doi.org/10.11455/kitanihon.2017.68_102

赤平知也ら（2017）青森県における DMI 剤耐性リンゴ黒星病菌の発生と防除対策．植物防疫

71(9):604-609. https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/71_09.pdf#page=44

平山和幸・雪田金助（2018）青森県で発生したリンゴ黒星病の QoI 剤耐性菌とその分布．植物防疫

72(6):364-368. https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/72_06.pdf#page=22

菊原賢次（2018）福岡県におけるナシ黒星病 DMI 剤感受性低下と防除対策．植物防疫 72(6):369-

372. https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/72_06.pdf#page=27

菊原賢次ら（2018）ナシ赤星病の多発生と DMI 剤の効果減退との関連—福岡県八女地域での後ろ向きコ

ホート研究—．日植病報 84(2):98-104. <https://doi.org/10.3186/jjphytopath.84.98>

青木 由（2021）千葉県における DMI 剤耐性ナシ黒星病菌の発生リスク軽減に向けた取り組み．植物防

疫 75(10):535-541. https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/75_10.pdf#page=13

武田知明ら（2023）和歌山県における QoI 剤耐性ウメ黒星病の発生．植物防疫 77(6):332-335. (web 未公開)

森 万菜実・山名利一（2022）北海道におけるリンゴ黒星病菌 DMI 剤耐性菌の発生．北日本病虫研報

73:76-80. https://doi.org/10.11455/kitanihon.2022.73_76

森 万菜実（2023）北海道で採取したリンゴ黒星病のピリベンカルブ水和剤に対する感受性．北日本病虫

研報 74 : 32-34. https://doi.org/10.11455/kitanihon.2023.74_32

（薬剤感受性遺伝子）

Schnabel, G. and Jones, A. L. (2001) The 14a-demethylase (CYP51A1) gene is overexpressed in *Venturia inaequalis*. Phytopathology 91:102-110.

<https://doi.org/10.1094/PHYTO.2001.91.1.102>

Wesley, M. W. et al. (2016) Proposal for a unified nomenclature for target-site mutations associated with resistance to fungicides. Pest Manag Sci. 72(8):1449-59.

<https://doi.org/10.1002/ps.4301>

Yaegashi, H. et al. (2020) Point mutation in CYP51A1 of *Venturia inaequalis* is associated with low sensitivity to sterol demethylation inhibitors. JGPP 86(4):245-249.

<https://doi.org/10.1007/s10327-020-00924-4>

Ishii, H. et al. (2021) DMI-Fungicide Resistance in *Venturia nashicola*, the Causal Agent of Asian Pear Scab—How Reliable Are Mycelial Growth Tests in Culture? Microorganisms 9:1377.

<https://doi.org/10.3390/microorganisms9071377>

Oliver, R. et al. (2024) The 2023 update of target site mutations associated with resistance to fungicides and a web-tool to assist label designations. J Plant Dis Prot 131:1265-1270.

<https://doi.org/10.1007/s41348-024-00872-7>

③ *Fusarium* 属菌

イネばか苗病菌 *Fusarium fujikuroi*

ムギ類赤かび病菌 *Gibberella zeae*, *Monographella nivalis*

ムギ類紅色雪腐病菌 *Monographella nivalis* (*Microdochium majus*, *Microdochium nivale*)

ラッキョウ乾腐病菌 *F. oxysporum* f.sp. *allii*

チューリップ球根腐敗病菌 *F. oxysporum* f.sp. *tulipae*

上記、*Fusarium* 病で実用上の薬剤感受性の低下が顕在化している薬剤は、MBC 剤（メチルベンゾイミダゾールカーバメート剤）、ステロールの脱メチル化阻害剤である DMI 剤であり、今後は QoI 剤の耐性菌の発生も懸念されるところである。

イネや球根植物では、種子や球根の消毒に用いられており、ムギ類ではかび毒対策の必要性から、薬剤には高い防除効果が要求される。いずれも代替剤に乏しく、耐性菌の発生を防ぐための取り組みが重要である。なお、種子・球根消毒では、薬剤の処理回数は少ないものの、高濃度の薬剤が長期間残存する条件に病原菌が曝される。また、これらが主要な伝染源である場合、耐性菌であることが生存上の優位性を保つ重要な形質となっている。このため、一般に耐性菌が発生したときの耐性菌比率は高い傾向にある。一方、赤かび病菌群の中でも、種子伝染の重要性があまり高くない *F. graminearum* sensu stricto の場合は、種子伝染性病害のように耐性菌比率は高くないと推定される。ただし、海外では *F. graminearum* の DMI 感受性が徐々に低下している事例があり (Anderson et al., 2020)、継続的なモニタリングが必要な状況にある。

広く用いられている検定法について、表③ 1 に標準的手法として取りまとめた。MBC 剤、DMI 剤、QoI 剤ともに他の病原菌での検定法と同様であるが、以下のような特徴がある。

一般に、海外も含めて DMI 剤は EC₅₀ で感受性を評価することが多いが、わが国ではイネばか苗病菌の感受性を MIC で評価する場合が多い。近年、顕在化してきたばか苗病菌のプロクロラズ剤耐性菌の場合、MIC 値での感受性の識別が可能であるとされる。その他の DMI 剤でも、2 峰性にはならずとも、特定の濃度以上を耐性菌として扱われており、再現性が課題である。また、MIC で評価する場合、検定濃度の段階設定の違いによって、検定した薬剤の濃度に違いが生じる（表③ 2）。また、細かな濃度段階の設定も必要になるため、簡便化するため、生育の有無で判定するものとした（表③ 1）。

今後、防除効果との関係と照らし合わせながら、必要に応じて EC₅₀ での評価も行い、データを蓄積する必要がある。また、海外のジャーナルに成果を投稿する場合は、これが求められる可能性がある。

なお、DMI 剤耐性に係わる CYP51 の変異は、イネばか苗病菌のプロクロラズ剤感受性に CYP51 パラログ（CYP51A、CYP51B、CYP51C）のうち CYP51B の変異が強く関与している。一方、これらパラログの変異箇所によって、各種 DMI 剤に対する耐性の程度が異なることが示されており、DMI 剤には交叉耐性は認められるものの、薬剤によって効果に差が生じる要因として、これら遺伝子の変異の多様性とその耐性への寄与度（正と負）が異なるためと推察される。生物の変異は常に多様化していくことから、遺伝子診断で耐性菌を判別する際には、このことに留意する必要がある。

なお、イネばか苗病を分離する際、非病原性株が分離されることが多いので、病原性を生物検定や病原性遺伝子の解析により確認する必要がある。

表③1 Fusarium属 菌の標準的薬剤感受性検定法 (培地検定、菌叢ディスク法)

菌種	薬剤 系統	FRAC コード	検定 薬剤名	検定法	検定培地	検定成分濃度* (mg/L)	培養温度 ℃	時間 日
各菌共通	DMI	3	フロクロラス、ペフラ ゾエート、トリフルミ ゾール、プロピコナ ゾール、デブコナゾー ルほか	EC ₅₀ (菌叢ディスク) MIC (菌叢ディスク)	PDA	0.01, (0.03), 0.1, (0.3), 1, (3), 10, (30), (100)	20/25	5
								EC ₅₀ : 菌の種と薬剤の組合せにもよるが、 値は0.01~3mg/Lになることが多い MIC:DMIは一般にはMICで評価することは 少ない (注: わずかに生育したものを生育 したとは見なさない)
								5mg/Lで生育 (耐性菌)、必要に応じ、表 ③2を参考にその他濃度での発育を調査して 全体の感受性を評価する**

※新たなDMI耐性菌の報告や国際誌に投稿する際は、EC₅₀の調査も行う

Monographella nivalis =Microdochium nivale	QoI	11	クレソキシムメチル (またはアソキシスト ロピン)	MIC (菌叢ディスク)	PDA +PG***	1	20	5	1mg/Lで発育 (耐性)、10mg/Lでの検定 でも可
F. oxysporum Monographella nivalis F. graminearum speices complex	MBC	1	ベノミル	MIC (菌叢ディスク)	PDA	10, 100	25 20 20	3 3 3	10mg/Lあるいは100mg/Lで発育 (耐 性)、種によって耐性の程度の基準が異な る

* 対照に薬剤無添加培地も用意する

** 複数菌株を検定して全体から耐性菌の発生状況を判断する

必要に応じて生物検定で防除効果低下の有無を確認する

*** 50℃に冷えたPDAにPG (没食子酸n-プロピル) を2mMになるよう添加し、次いで薬剤を加える
DMSOに溶解しておく。PGの代わりにSHAMを使用してもよい。

EC₅₀を求める際の注意点 : 複数の菌株を試し、感受性程度の分布やベースラインの情報を基に、総合的に判断する

その他、表②1の脚注を参照

表③2 DMI剤含有培地におけるイネばか苗病菌の生育の有無

薬剤	事例	感受性	薬剤濃度mg/L							
			0.78	1.56	3.13	5	6.25	10	12.5	25
ペフラゾエート	A県	S	+	-	-	-	-	-	-	-
		R	+	+	+	-	+	-	-	-
プロクロラズ	B県	MR	+	+	+	-	-	-	-	-
		S	+	-	-	-	-	-	-	-
	C県	MR?	+	+	±	-	-	-	-	-
		R	+	+	+	-	+	±	±	-
	D県	S	+	+	-	-	-	-	-	-
		MR?	+	+	±	-	-	-	-	-
	E県	R	+	+	+	+	+	±	±	-
		S	+	+	+	-	-	-	-	-
MIC値	D県		1.56	3.13	5	6.25	10	12.5	20	>20
	その他		1.56	3.13	6.25	-	12.5	-	25	50
			S	S・MR	MR	R	R	R	R	

注) S:感受性、MR:感受性低下菌、R:耐性菌 (MR ? は当方の判断で設定)

表③3 *Fusarium*属 菌の薬剤感受性関連遺伝子

菌種	系統	コード	遺伝子	変異*	備考
<i>F. fujikuroi</i>	MBC	1	β2-tubulin	E198K/V	Li et al. 2022
				F200Y	
<i>F. graminearum</i> species complex	DMI	3	CYP51B	F167Y	Komura et al. 2018
				F200Y	
				E198K/L/Q	
				S312T	
<i>Fusarium fujikuroi</i>	QoI	11	Cytochrome b	F511S	Zhang et al. 2020 Gao et al. 2022 上記に加え、この変異があるとHR Fangjing et al. 2023
				F523S	
				CYP51AとBの過剰発現	
				Y123H	
<i>F. graminearum</i> species complex	QoI	11	Cytochrome b	Y137H	Zhao et al. 2021 Qianet et al. 2018
				G143A	
<i>Monographella nivalis</i>	QoI	11	Cytochrome b	G143A	Walker et al. 2009 FRAC

* 太文字は国内も含め主体的な変異

参考資料 (web 上で閲覧できるものを中心に選定)

(検定法)

入江和己・井上幸次 (1993) 植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル(3)イネばか苗病菌. 植物防疫 47(8):376-380. https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/47_08_34.pdf

(モニタリング)

小澤 徹 (2016) (2) QoI 剤耐性赤かび病菌 (*Microdochium nivale*). 植物防疫 70(8):537-541. https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/70_08_39.pdf

松本純一ら (2022) 兵庫県におけるイネばか苗病のペフラゾエートに対する感受性低下. 関西病虫研報 64 : 108-111. <https://doi.org/10.4165/kapps.64.108>

Nakajima, K. et al. (2024) Monitoring of thiophanate-methyl-resistant strains of the fungi causing *Fusarium* head blight in Mie Prefecture, Japan. 関西病虫害研究会報 66 : 20-26. <https://doi.org/10.4165/kapps.66.20>

前原 瞳ら(2022) 福島県におけるイネばか苗病菌のプロクロラズ剤に対する感受性低下. 北日本病虫研報 73:61-64. https://doi.org/10.11455/kitanihon.2022.73_61

森谷真紀子ら(2022) 山形県におけるイネばか苗病菌のプロクロラズ剤感受性. 北日本病虫研報 73 : 65-

69. https://doi.org/10.11455/kitanihon.2022.73_65

藤晋一 (2019) イネばか苗病の増加要因とその対策について. 植物防疫 73(9):556-561.

https://www.jpapa.or.jp/archive/pdf/73_09.pdf#page=24

(感受性遺伝子)

Tateishi, H. and Suga, H. (2015) Species composition, gibberellin production and sensitivity to ipconazole of the *Fusarium fujikuroi* species complex isolates obtained before and after its launch. 40(3):124-129. <https://doi.org/10.1584/jpestics.D14-083>

Mair, W. et al. (2016) Proposal for a unified nomenclature for target-site mutations associated with resistance to fungicides. Pest Manag Sci. 72(8):1449-59.

<https://doi.org/10.1002/ps.4301>

Komura, R. et al. (2018) Simultaneous detection of benzimidazole-resistant strains of *Fusarium* head blight using the loop-mediated isothermal amplification-fluorescent loop primer method. JGPP 84(4):247-253. <https://doi.org/10.1007/s10327-018-0788-1>

Li, F. J. et al. (2022) Molecular Diagnosis of Thiophanate-Methyl-Resistant Strains of *Fusarium fujikuroi* in Japan. Plant Dis. 106:634-640. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-21-1501-RE>

Oliver, R. et al. (2024) The 2023 update of target site mutations associated with resistance to fungicides and a web-tool to assist label designations. J Plant Dis Prot 131:1265-1270. <https://doi.org/10.1007/s41348-024-00872-7>

(その他)

Anderson, N.R. et al. (2020) Sensitivity of *Fusarium graminearum* to Metconazole and Tebuconazole Fungicides Before and After Widespread Use in Wheat in the United States. Plant Health Progress 21:85-90. <https://doi.org/10.1094/PHP-11-19-0083-RS>

① 炭疽病菌、晩腐病菌 *Colletotrichum*, *Glomerella*, *Discula*

炭疽病菌は、被子植物、裸子植物、草本、木本を問わず多くの種子植物で寄生が確認され、それに応ずるように多くの種の炭疽病菌が記録されている。そして、分子系統学的な解析により、種複合体が整理されて種が細分化 (佐藤, 2022) されるにつれ、植物との共進化の早い段階からその生存環境、あるいは栽培化による新たな環境に適応し、生き方を変えてきてきた糸状菌であることが想像できる。本病菌は雨滴伝染するため、露地栽培での発生が多く、中でも果実被害の損害が大きい。一方では、植物体に潜在感染していることも多く、被害が生じない限り、その存在に気付かないことも多い。これは、本病を対象としない薬剤の散布にも遭遇していることを示す。

薬剤感受性の程度は、種によって異なることがあり (Yokosawa et al., 2017; Ishii et al., 2022; Liang et al., 2022; Chen et al., 2022)、これが耐性菌の発生頻度にも影響すると予想される。薬剤では、MBC 剤や QoI 剤の耐性菌の発生が確認されており、果樹では防除暦の策定に苦慮する状況にある。また、海外では *C. siamense* や *C. truncatum*, *C. fruticola* などで DMI 剤あるいは SDHI 剤の感受性低下が確認されており、その他の薬剤も含めたマネジメントが求められる。なお、近年では形態で種を識別できない状

況にあり、いずれ既往の情報の整理と再評価が必要になると考えられる。

広く用いられている検定法について、表④ 1 に標準的手法として取りまとめた。耐性に関与する遺伝子も明らかになりつつあるが（表④ 2）、他の菌と同様に DMI 剤には多様な変異が関与していると想定される。

表④ 1 炭疽病菌の標準的薬剤感受性検定法（培地検定）

薬剤 系統	FRAC コード	検定 薬剤名	検定法	検定培地 検定植物	検定成分濃度* (mg/L)	培養温度 ℃	時間 日	判定基準
MBC	1	ベノミル	MIC（菌叢ディスク）	PDA	100	25	4	MIC100mg/Lをこえる＝ 生育あり（耐性菌）
QoI	11	アゾキシストロビン	相対生育度RG・ MIC（菌叢ディスク）	PDA*** (PG6mM含)	100	25	4	MIC100mg/Lをこえる＝ 生育あり（耐性菌）
DMI***	3	テブコナゾール ほか	EC ₅₀ （菌叢ディスク）	PDA	0.01, (0.03), 0.1, (0.3), 1, (3), 10, (30), (100)	25	5-7	菌の種と薬剤の組合せにもよるが、 EC ₅₀ は0.03～3mg/Lの間で比較するこ とが多い
SDHI***	7	ベンチオピラド ほか	MIC（菌叢破砕液・菌叢 ディスク）	YBA	0.1, 1, 5, 10, 50	25	4	仮：5mg/L以上で生育（感受性低下 菌）
			EC ₅₀ （菌叢ディスク）	PDA YBA	0.01, (0.03), 0.1, (0.3), 1, (3), 10, (30), (100)	25	5-7	菌の種と薬剤の組合せにもよるが、 EC ₅₀ は0.03～3mg/Lの間で比較するこ とが多い

* 対照に薬剤無添加培地も用意する

** SHAM1000mg/Lでもよいが、AOX剤の種類と濃度により生育阻止率が異なる点、留意する

*** DMI、SDHIは、その系統及び菌の種によってそもそもの感受性が大きく異なる。検定法は仮に設定（検証必要）

EC₅₀を求める際の注意点：複数の菌株を試し、感受性程度の分布やベースラインの情報を基に、総合的に判断する

その他、表②1の脚注を参照

表④ 2 *Colletotrichum* 菌の薬剤感受性関連遺伝子

系統	コード	遺伝子	変異	EPPOcode	
MBC	1	β -tubulin	E198A	COLLDU	COLLSM
			F200Y	COLLDU	
QoI	11	CytB	G143A	COLLGR	COLLDU
			F129L	COLLDU	
DMI	3	Cyp51A	V46I	COLLSM	
			D115V	COLLSM	
			P163S	COLLSM	
			S164Y	COLLSM	
			R306K	COLLSM	
			P339T	COLLSM	
			E397D	COLLSM	
			S400N	COLLSM	
			Cyp51B	R266H	COLLSM
SDHI	7	SdhB	S208Y	COLLDU	

参考資料（web 上で閲覧できるものを中心に選定）

（検定法）

楠 幹生・佐古 勇（1994）植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル(9)野菜類炭そ病菌・つる枯病菌・ラッキョウ乾腐病菌. 植物防疫 48(4):179-184.

https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/48_04_33.pdf

西島卓也（1995）植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル(20)チャ炭そ病菌・輪斑病菌・赤葉枯病菌. 植物防疫 49(8):349-352. https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/49_08_39.pdf

稲田 稔（2010）イチゴ炭疽病菌の薬剤感受性検定法と耐性菌の発生状況. 植物防疫 64(12):790-793. https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/64_12_12.pdf

渡邉久能（2017）植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル 2016（16）ナシ炭疽病－QoI 剤（生物・培地検定）－. 植物防疫 71(5):327-330.

https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/71_05.pdf#page=43

近藤賢一（2017）植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル 2016（20）ブドウ晩腐病菌－QoI 剤（培地・生物・遺伝子検定法）－. 植物防疫 71(7):487-491.

https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/71_07.pdf#page=53

赤平知也（2017）植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル 2016（21）リンゴ炭疽病菌－QoI 剤（培地検定・生物検定）－. 植物防疫 71(8):547-550.

https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/71_08.pdf#page=49

Ishii, H. et al. (2022) Sensitivity to fungicides in isolates of *Colletotrichum gloeosporioides* and *C. acutatum* species complexes and efficacy against anthracnose diseases. Pesticide Biochemistry and Physiology 182:105049. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2022.105049>

Furuta, A. et al. (2024) First report of fludioxonil resistance isolate of *Colletotrichum fructicola* emerging on strawberry in Japan. J Gen Plant Pathol 90:180-186.

<https://doi.org/10.1007/s10327-024-01174-4>

（モニタリング）

赤平知也ら（2016）リンゴ炭疽病に対する各種殺菌剤の効果. 北日本病虫研報 67 : 140-145.

https://doi.org/10.11455/kitanihon.2016.67_140 <https://doi.org/10.11337/ktpps.69.38>

野口真弓（2015）佐賀県における QoI 剤耐性ナシ炭疽病菌の発生とその対策. 植物防疫 69(8):494-497. https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/69_08_26.pdf

澤岬哲也（2015）沖縄県における QoI 剤耐性マンゴー炭疽病菌の発生. 植物防疫 69(8):503-506. https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/69_08_35.pdf

Yokosawa, S. et al. (2017) Phylogenetic relationship and fungicide sensitivity of members of the *Colletotrichum gloeosporioides* species complex from apple. JGPP 83(5):291-298. <https://doi.org/10.1007/s10327-017-0732-9>

井上麻里子ら（2022）茨城県のナシ炭疽病罹病葉から分離された *Colletotrichum gloeosporioides* 種複合体の種構成および QoI 剤に対する薬剤感受性. 関東東山病虫研報 69 : 38-40. <https://doi.org/10.11337/ktpps.69.38>

（その他）

佐藤豊三（2022）植物炭疽病菌 *Colletotrichum* species. MAFF 微生物遺伝資源利用マニュアル (45):1-51. <https://www.gene.affrc.go.jp/dl/pdf/manual/micro-45.pdf>

Chen, W., Wei, L., Hou, R. et al. (2022). Sterol demethylation inhibitor fungicide resistance in *Colletotrichum siamense* from chili is caused by mutations in CYP51A and CYP51B. Phytopathol Res 4, 41. <https://doi.org/10.1186/s42483-022-00146-w>

⑤ *Cercospora*・*Corynespora* 属菌

Cercospora

テンサイ褐斑病菌、ダイズ紫斑病菌、アスパラガス褐斑病菌ほか

Corynespora

キュウリ褐斑病菌、ダイズ褐色輪紋病菌ほか

Cercospora 属菌、*Corynespora* 属菌ともに、淡褐色の細長い多胞性の分生子を形成する子嚢菌である点で類似するが、菌学的には離れた場所に位置にする。また、前者に属する種の宿主範囲は狭いが、*Corynespora cassiicola* の宿主範囲は広く、多様な系統を含むことが知られている (Dixon et al., 2009)。前者は宿主と密接な関係を築き、共進化してきたと推定され、多くが種子伝染する。後者は、野外で双子葉類を中心に広く侵し、植生に応じて寄生性などの適応性を高めてきたものと推察され、野外での胞子の生残能力は高いほうである。このように両者は、生き方などの性質の異なる菌であるが、ここではまとめて標準的な感受性検定法を示す（表⑤1）。

両菌とも、MBC 剤、QoI 剤の耐性菌の発生が知られており、変異の箇所も共通する。また、国内では *Cercospora* の DMI 剤や *Corynespora* の SDHI 剤の耐性菌の報告があり、海外では両者ともに耐性菌が報告されている。関与する遺伝的変異も明らかにされつつあり（表⑤2）、DMI 耐性には CYP51 遺伝子の過剰発現が関与する場合があることも報告されている。

Cercospora は培地上で胞子の形成がうまくいかないことが多いため、生物検定には胞子の代わりに菌叢破砕液が使用されることがある。

表⑤ 1 Cercospora、Corynespora 菌の菌叢的薬剤感受性検定法 (培地検定)

薬剤 系統	FRAC コード	検定 薬剤名	検定法	検定培地 検定植物	検定成分濃度* (mg/L)	培養温度 ℃	培養時間 日	判定基準
MBC	1	ベノミル	MIC (菌叢ディスク)	PDA	50	25	4	MIC50mg/Lをこえる = 生育あり (耐性菌)
QoI	11	アゾキシストロビン	MIC (菌叢ディスク)	PDA*** (PG2-4mM含)	100	25	4	MIC100mg/Lをこえる = 生育あり (耐性菌)
DMI Cercospora	3	ジフエノコナゾール	EC ₅₀ (菌叢ディスク)	PDA	0.01, (0.03), 0.1, (0.3), 1, (3), 10, (30), (100)	25	5	Cer. beticola は1mg/Lを超えたものを 耐性菌としている。DMI剤の種類が異 なると基準も異なる
SDHI Corynespora	7	ベンチオピラド	MIC (菌叢破砕液・菌叢 ディスク) EC ₅₀ (菌叢ディスク)	YBA	0.01, (0.03), 0.1, (0.3), 1, (3), 10, (30), (100)	25	5	Cor. Cassicola は30mg/Lで生育 (耐 性) 病原菌、薬剤の種類によって大きく異 なる

既往のDMI剤はCorynespora、SDHI剤はCercospora に対する活性が低いものが多い (普遍性を示すものではない)

* 対照に薬剤無添加培地も用意する

** 中度耐性を重視しない地域では、1mg/Lは検定しない

*** 50℃に冷えたPDAにPG (没食子酸-n-プロピル) を2mMになるよう添加し、次いで薬剤を加える

DMSOに溶解しておく。PGの代わりにSHAMを使用してもよい。

EC₅₀を求める際の注意点：複数の菌株を試し、感受性程度の分布やベースラインの情報を基に、総合的に判断する

その他、表③1の脚注を参照

表⑤ 2 Cercospora、Corynespora 菌の薬剤感受性関連遺伝子

系統	コード	遺伝子	変異	EPPOcode	
				Cercospora	Corynespora
MBC	1	β-tubulin	E198A	CERCBE	
			F167Y	CERCCKI	
			F200Y	CERCBE	
					CORYCA
QoI	11	CytB	G143A	CERCSCO	CORYCA
				CERCCKI	
				CERCBE	
DMI	3	Cyp51B	L144F	CERCBE	
			E297K	CERCBE	
			I330T	CERCBE	
			P384S	CERCBE	
			I387M	CERCBE	
SDHI	7	SdhB	I280V		CORYCA
			H278R/Y		CORYCA
		SdhC	S73P		CORYCA
		SdhD	S89P		CORYCA
			G109V		CORYCA

参考資料（web 上で閲覧できるものを中心に選定）

Corynespora

挟間 渉・中澤靖彦・大塚範夫（1994）植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル(10)野菜類褐斑病菌(黒枯病菌)・ウリ類うどんこ病菌. 植物防疫 48(6):267-272.

https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/48_06_33.pdf

宮本拓也（2011）ボスカリド剤耐性キュウリ褐斑病菌の茨城県における発生状況とその特徴. 植物防疫 65(1):23-27. https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/65_01_23.pdf

角田佳則・西見勝臣（2020）早期落葉の原因となるダイズ褐色輪紋病の発生生態と防除対策. 植物防疫 74(12):692-699. https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/74_12.pdf#page=20

近藤誠（2012）薬剤耐性キュウリ褐斑病菌に対する各種薬剤の残効期間. 北日本病虫研報 63 : 57-59. https://doi.org/10.11455/kitanihon.2012.63_57

Cercospora

築尾嘉章・谷井昭夫・堀田治邦・福西 努（1995）植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル(19)テンサイ褐斑病菌・マメ類灰色かび病菌・ダイズ紫斑病菌. 植物防疫 49(5):208-214.

https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/49_05_36.pdf

清水基滋（2007）テンサイ褐斑病菌の DMI 剤耐性. 植物防疫 61(8):421-425.

https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/61_08_15.pdf

大橋俊子ら（2013）茨城県におけるダイズ紫斑病菌の薬剤感受性. 関東病虫研報 60 : 23-27.

<https://doi.org/10.11337/ktpps.2013.23>

栢森美如（2019）北海道における薬剤耐性テンサイ褐斑病菌について. 植物防疫 73(8):478-485.

https://www.jppa.or.jp/archive/pdf/73_08.pdf#page=12

Matsuzaki, Y. et al. (2021) Microtiter plate test using liquid medium is an alternative method for monitoring metyltetraprole sensitivity in *Cercospora beticola*. Pest Management Science 77:1226-1234. <https://doi.org/10.1002/ps.6133>

齋藤隆明ら（2022）秋田県におけるアスパラガス褐斑病の発生実態と薬剤耐性菌の発生状況. 植物防疫 76(10):548-552. (web 未公開)

齋藤隆明ら（2022）秋田県における QoI 剤耐性アスパラガス褐斑病菌の発生. 北日本病虫研報 73 : 19-22. https://doi.org/10.11455/kitanihon.2022.73_19

板橋 建ら（2023）KASP 法によるダイズ紫斑病菌のアゾキシストロビン感受性に関与する一塩基多型の検出. 北日本病虫研報 74 : 14-20. https://doi.org/10.11455/kitanihon.2023.74_14

4) 参考情報の取りまとめ

殺菌剤感受性検定の経験が浅い技術者が、業務に取り組みやすいよう関連する情報を以下のように取りまとめた。

(1) 文献・技術情報

web 上に公表されている文献、レポート、成果情報等とし、検定法として特に参考になるものが分かるように Excel 上で編纂した。

- ・専門誌に掲載されている文献・レポート・マニュアル (図 3、a、b)
- ・都道府県が提供している主要成果情報、病害虫防除所情報 (図 3、c)

(2) 検定法のノウハウ

- ・薬剤感受性検定の考え方、技術的なノウハウをマニュアルとして作成した (図 4)。

以上は、今後、殺菌剤耐性菌研究会と連携し、日本植物防疫協会の HP 等で公開するとともに、情報の随時更新を行い、広く活用を図る予定である。

植物防疫アーカイブ https://www.jpapa.or.jp/archive/						
対象	著者	年	題名	巻号	URL	
Pyricularia	深谷富夫	1993	植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル(2)イネいもち病菌	47(7):324-328	https://www.jpapa.or.jp/archive/pdf/47_07_40.pdf	
Fusarium	入江和己・井上幸次	1993	植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル(3)イネばか苗病菌	47(8):376-380	https://www.jpapa.or.jp/archive/pdf/47_08_34.pdf	
Fusarium	宮島邦之・中澤靖彦	1993	植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル(4)コムギ赤かび病菌・うどんこ病菌	47(9):428-432	https://www.jpapa.or.jp/archive/pdf/47_09_38.pdf	
うどんこ病菌	宮島邦之・中澤靖彦	1993	植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル(4)コムギ赤かび病菌・うどんこ病菌	47(9):428-432	https://www.jpapa.or.jp/archive/pdf/47_09_38.pdf	
眼紋病菌	竹内 徹	1993	植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル(5)ムギ眼紋病菌	47(10):468-471	https://www.jpapa.or.jp/archive/pdf/47_10_36.pdf	
Botrytis	木曾 隆	1994	植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル(6)野菜類灰色かび病菌	48(1):42-46	https://www.jpapa.or.jp/archive/pdf/48_01_42.pdf	
べと病菌	中澤靖彦・黒沢美保子	1994	植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル(7)キュウリべと病菌	48(2):86-89	https://www.jpapa.or.jp/archive/pdf/48_02_36.pdf	
疫病	辻本一幸	1994	植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル(8)ジャガイモ疫病菌及び各種疫病菌	48(3):141-144	https://www.jpapa.or.jp/archive/pdf/48_03_14.pdf	
炭疽病菌	楠 幹生・佐古 勇	1994	植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル(9)野菜類炭そ病菌・つる枯れ病菌	48(4):179-184	https://www.jpapa.or.jp/archive/pdf/48_04_17.pdf	
つる枯れ病菌	楠 幹生・佐古 勇	1994	植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル(9)野菜類炭そ病菌・つる枯れ病菌	48(4):179-184	https://www.jpapa.or.jp/archive/pdf/48_04_17.pdf	
Corynespora	狭間 渉・中澤靖彦・大	1994	植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル(10)野菜類抱卵斑病菌(黒枯病)	48(6):267-272	https://www.jpapa.or.jp/archive/pdf/48_06_26.pdf	
うどんこ病菌	狭間 渉・中澤靖彦・大	1994	植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル(10)野菜類抱卵斑病菌(黒枯病)	48(6):267-272	https://www.jpapa.or.jp/archive/pdf/48_06_26.pdf	
細菌	松崎正文・林 喜夫	1994	植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル(11)野菜類細菌病菌・コンゴ	48(7):310-312	https://www.jpapa.or.jp/archive/pdf/48_07_31.pdf	
細菌	尾形 正・小泉銘磨	1994	植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル(12)モモせん孔細菌病菌・力	48(8):350-353	https://www.jpapa.or.jp/archive/pdf/48_08_35.pdf	
Alternaria	石井英夫	1994	植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル(13)ナシ黒斑病菌・リンゴ	48(9):395-401	https://www.jpapa.or.jp/archive/pdf/48_09_39.pdf	
Ventria	石井英夫	1994	植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル(14)ナシ黒星病菌	48(10):442-444	https://www.jpapa.or.jp/archive/pdf/48_10_38.pdf	
Ventria	石井英夫	1994	植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル(15)リンゴ黒星病菌	48(12):524-526	https://www.jpapa.or.jp/archive/pdf/48_12_32.pdf	
Penicillium	外間正之・深谷雅子	1995	植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル(16)リンゴ白腐病菌			

a:「植物防疫アーカイブ」から抽出

学術雑誌ほか						
対象	著者氏名	年	掲載論文題名	掲載誌名	巻	URL, doi
Botrytis	大森 雅子ら	2019	栃木県におけるトマト、イチゴの灰色かび病菌の薬剤感受性	関東甲信越農学研究会報	66	https://doi.org/10.11337/ktpp.2019.7
Botrytis	川上 拓ら	2019	トマト栽培圃場における灰色かび病菌の主要殺菌剤に対する耐性菌の発生	関西府県農学研究会報	61	https://doi.org/10.4165/kappa.61.15
	小島一輝ら	2021	灰色かび病菌のカシオネソール感受性検定法の改良と殺菌剤内ドマト産地における感受性の状況	関西府県農学研究会報	63	https://doi.org/10.4165/kappa.63.109
	祖田 嘉孝ら	2022	大分県におけるイチゴ灰色かび病菌の殺菌剤感受性	九州府県農学研究会報	68	https://doi.org/10.4241/kyushu.68.36
	Ayumi Notsu et al.	2022	Distribution of benzimidazole-resistant strains of the onion gray-mold neck rot pathogens, Botrytis aclada and Botrytis allii, in	Journal of General Plant Pathology	87	https://doi.org/10.1007/s10327-021-00998-w
Cercospora	藤藤雅明ら	2021	秋田県におけるQoI耐性アスバラカス根腐病の発生	北日本府県農学研究会報	73	https://doi.org/10.11455/kitanhon.2022.73.19
Cercospora	Miyuki Kayamori et al.	2020	First report of QoI resistance in Cercospora beticola in sugar beet in Japan	Journal of General Plant Pathology	86	https://doi.org/10.1007/s10327-019-00805-1
	Wakui Mahiroshi, Wada		First report of QoI resistance in Cercospora beticola in sugar beet in Japan	Journal of General Plant Pathology	77	https://doi.org/10.1002/pa.6133

b:学術雑誌から選定

防除所情報・成果情報						
対象	作物名	病名	自治体	c:論文、 b:雑誌、 a:技術情報	URL, doi	
Botrytis cinerea	キュウリ、トマト	灰色かび病	宮城県	c	05sankou23.pdf (pref.miyagi.jp)	農研機構
Botrytis cinerea	トマト、イチゴ	灰色かび病	栃木県	c	https://www.pref.tochigi.lg.jp/q59/boujo/documents/2018-vasai-haiirokabi2.pdf	農研機構
Botrytis cinerea	果菜類 (トマト、イチゴ)	灰色かび病	三重県	c	https://www.pref.mie.lg.jp/common/content/000672274.pdf	農研機構
Botrytis cinerea	果菜類 (トマト、イチゴ)	灰色かび病	三重県	c	https://www.pref.mie.lg.jp/common/content/000871044.pdf	農研機構
Botrytis cinerea	果菜類 (トマト、イチゴ)	灰色かび病	三重県	c	https://www.pref.mie.lg.jp/common/content/001123798.pdf	農研機構
Botrytis cinerea	トマト	灰色かび病	岡山県	c	https://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/623117_5201276_misc.pdf	農研機構
Cercospora asparagi	アスパラガス	褐斑病	秋田県	c	https://www.pref.akita.lg.jp/uploads/public/archive_0000063669_00/803_055AE9F%E7%94	農研機構
Cercospora asparagi	アスパラガス	褐斑病	岡山県	c	https://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/864045_8209294_misc.pdf	農研機構
Cercospora kikuchi	ダイズ	葉斑病	秋田県	c	https://www.pref.akita.lg.jp/uploads/public/archive_0000063669_00/803_055AE9F%E7%94	農研機構
Colletotrichum	イチゴ	炭疽病	宮城県	c	https://www.pref.miyagi.jp/documents/202027256498.pdf	農研機構
Colletotrichum fructicola	イチゴ	炭疽病	栃木県	c	http://www.pref.tochigi.lg.jp/q59/boujo/documents/2019-ichigo-tango.pdf	農研機構
Colletotrichum zoenigiae	ブドウ	炭疽病	長崎県	c	https://www.pref.nagasaki.lg.jp/q59/nourin/houji/PPP/center/26budoubananpukent.pdf	農研機構
Colletotrichum fructicola	イチゴ	炭疽病	岡山県	c	https://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/726333_6598887_misc.pdf	農研機構
Colletotrichum gloeosporioides	ナシ	炭疽病	栃木県	c	http://www.pref.tochigi.lg.jp/q59/boujo/documents/2022-nashi-tango-hyo.pdf	農研機構
Colletotrichum gloeosporioides	イチゴ	炭疽病	佐賀県	c	https://www.pref.saga.lg.jp/kiji/00385836/3_85836_240875_up_acsjpuen.pdf	農研機構
Colletotrichum spp.	ブドウ	炭疽病	佐賀県	c	https://www.pref.saga.lg.jp/kiji/00380591/3_80591_205655_up_206e1m53.pdf	農研機構
Corynespora cassicola	キュウリ	褐斑病	秋田県	c	https://www.pref.akita.lg.jp/uploads/public/archive_0000009422_00/H26-	農研機構

c:都道府県の公開情報

図 3 薬剤感受性検定に関する情報をリスト化 (一部抜粋)

ものではない。このため、実際に調査を運用する際には、これを参考にしつつ、それぞれの判断で必要に応じた簡素化が図られている。

また、耐性菌の発生が未確認の場合、研究蓄積が少ない場合など、手法や判定基準を独自に設定せざるを得ない。このため、「可能な限り適切であろう方法」を設定して、実施されている状況が伺えた。論文情報を収集する限りにおいては、多様な薬剤に応じた検定法を取り入れながら、学術性を担保するため、従前の解析法に加えて遺伝子解析も行い、結果を補強する作業が行われていた。多様化、高度化する方向にあるように思えたが、アンケートの結果からは、工夫を重ねてそれぞれの機関が簡素化を図っている状況が明らかになった。検定濃度も1濃度ないし2濃度で実施している例が多く(表13)、すでに多くの場合、簡易法で検定されていると言える。

ただし、その一部には検定法の見直しを要するものもあり、それぞれの工夫ではなく、関係者が協議して「確からしい」手法に収斂していくことが必要であると考えられた。

本稿では、標準的手法として示したが、手法の比較検証を行っていないため、十分な信頼性が確保されているとは言えないし、まだまだ検証や簡略化が足りないとの意見が予想される。大幅な改変は可能だが、従来の継続性が無ければ過去と今を知ることとはできない。残された課題は多いが、その議論の題材となれば良いと考える。

植物防疫事業を行うなかで、本課題に費やせる資源(人と時間、資金)は限られており、その限られた資源でそれぞれの役割を果たすための資料として、本稿が活用されることを期待したい。

6. 今後の課題

- ・対照とする菌株(感受性菌、耐性菌)の一元的な保存・供給体制の整備が必要である。
- ・暫定的に基準を設置しているケースがあり、実施機関によってその基準が異なるため、目安となる数値を明らかにする必要がある。
- ・培養温度、培地の種類、その銘柄、接種源が検定結果に及ぼす影響を明らかにする必要がある。
- ・菌叢生育阻止率で評価できる基準を薬剤ごとに設定する必要がある。
- ・SDHI剤など、薬剤によっては検定法そのものの再検討が必要である。
- ・以上の課題について、調査研究する事業を行う必要がある。

7. 要約

検定手法は、論文やマニュアル等を参考にしながらも、各機関が過去に得た知見と照らし合わせながら、独自の基準で設定することが多いため、様々な検定法が派生している状況が明らかになった。一部には、その意味が十分に理解されないまま、実施されているケースもあると予想される。実施されている検定法は、工夫して簡便化が図られているが、多様な基準で判定されていることから、これを比較検討する機会が必要であると判断された。いずれにせよ、耐性菌かどうかは生物検定でないとは判断できず、培地検定や遺伝子診断はその手間を省くための間接的な代替手段であること念頭におき、判定を行う。検定の基本的な検定法を改めて示すとともに、関連情報を利用しやすいスタイルで取りまとめた。主要な病害の標準的な検定法を取りまとめるとともに、その課題を示した。

8. 謝辞

今回の報告書をまとめるにあたって、アンケート調査にご協力いただいた都道府県関係者、文献情報並びに終始有益なご助言を下さった日本植物病理学会殺菌剤耐性菌研究会の皆様に厚くお礼申し上げます。

「殺虫剤」

1. 殺虫剤における背景と目的

植物防疫法の改正（令和5年4月1日施行）に合わせて定められた植物防疫事業実施要綱（令和5年3月24日付け4消安第7238号消費・安全局長通知）第4に基づき、都道府県は病害虫防除所等に地域の実情に応じた薬剤抵抗性の発達の有無のモニタリングを行わせ、農業者団体等の関係者に情報共有するものとされている。

しかし、当該モニタリングに必要な薬剤感受性検定については検定手法が明示されておらず、各都道府県で異なる手法で検定が実施されていることから、検定結果の比較や集約が困難となっている。

そこで、都道府県で行われている薬剤感受性検定の実態調査と文献調査に基づき、主要害虫の標準的薬剤感受性検定法を策定して、令和7年度以降に実施する発生予察事業の調査実施基準に取り入れることにより、地域における主要害虫の薬剤感受性の低下を迅速に把握するための予察精度の向上に資することとした。

2. 調査方法

（1） アンケート調査により、都道府県で過去5カ年以内（可能なら過去10カ年以内）に実施された薬剤感受性検定の結果を取りまとめ、検定手法や傾向を分析した。

（2） 令和3年度に全国で行われた757件の薬剤感受性検定において、検定件数が多かった下記5種の害虫について、（1）のアンケート調査の結果及び文献調査に基づき、発生予察事業への適用が推奨される検定手法を整理した。

- ・ネギアザミウマ（1）*
- ・ハスモンヨトウ（2）
- ・ネギハモグリバエ（3）
- ・ミカンハダニ（5）
- ・タバココナジラミ（8）

*（1）内の数字は令和3年度に薬剤感受性検定件数が多かった順位。多様な害虫種を調査対象とするために、アザミウマ類のミカンキイロアザミウマ（4）、ミナミキイロアザミウマ（6）、ヒラズハナアザミウマ（7）は対象から外した。

3. 専門有識者による中間検討

とりまとめにあたって、以下の要領で開催した中間検討会にて、検定基準の見直しなど、内容の修正を行った。また、標準的手法を示すことはよいが、検定を行う目的によって適切な手法は変わるため、検定手法の適用範囲の提示や、実証試験の必要性を指摘された。

開催日時：2025年1月9日（木）13時～16時

開催場所：一般社団法人日本植物防疫協会 本部会議室（オンライン併用）

参加者：

外部評価委員：北海道立総合研究機構上川農業試験場 栢森美如*、日本農薬株式会社 寺本健*、静岡県

農林技術研究所 増井伸一*

有識者：奈良県病害虫防除所 井村岳男*、和歌山県農業試験場 岡本崇*

オブザーバー：J IRAC (CLJapan) / エフエムシー・ケミカルズ株式会社 島克弥

受託者：(一社) 日本植物防疫協会 富田恭範、高梨祐明、野田隆志*、舟木勇樹、守川俊幸*、富田俊介

*はオンラインにて参加

4. 調査結果

(1) 薬剤感受性検定に関する都道府県へのアンケート調査

アンケートの実施に当たっては、過去5カ年以内（可能なら10カ年以内）に実施された薬剤感受性検定の手法について、下記の項目について回答を求めた。

1. 基本項目（実施年、作物名、害虫名、対象薬剤名、検定の目的等）
2. 生物検定（供試薬剤名、処理方法、発育ステージ、検定濃度、判定日数、判定基準等）
3. 遺伝子診断（実施していれば）
4. サンプル単位、採集から検定までの世代数
5. 検定法の参考にした文献情報
6. 検定結果について公表可能な資料、成績書、論文等

アンケートへの協力依頼は全47都道府県の病害虫防除担当者に対して行われ、殺虫剤に関しては34都道府県から回答を得た。すべての回答データは電子ファイル（薬剤感受性検定手法アンケート(殺虫剤).xlsx）に害虫グループ別に取りまとめて報告する。回答のあった害虫について、検定実施報告のあった都道府県、実施件数、検定法の種類を表1に取りまとめた。以下に害虫グループごとに概要を報告する。

イネウンカ類では、トビイロウンカについて、佐賀 長崎 熊本 鹿児島 の4県から報告があり、延べ検定件数は107件であった。検定手法は微量局所施用法が主であったが、鹿児島県では粉剤の試験にベルジャダスター法が用いられており、佐賀県、兵庫県ではIGR剤の検定に稲葉鞘浸漬法が用いられていた。ヒメトビウンカについては、茨城、神奈川、兵庫、香川、長崎、熊本の6県から報告があり、延べ検定件数は80件であった。検定手法は微量局所施用法を中心に、食草浸漬法（水稻苗、コムギ苗）、虫体浸漬法、粒剤処理苗投与（水稻苗）も用いられていた。

斑点米カメムシ類では、アカスジカスミカメについて、秋田、新潟、静岡、滋賀の4県から報告があり、延べ検定件数は26件であった。検定手法は、微量局所施用、虫体散布、虫体浸漬、葉片浸漬（コムギ苗）が用いられていた。アカヒゲホソミドリカスミカメについては、秋田、山形、新潟、滋賀の4県から報告があり、延べ検定件数は22件であった。検定手法は、微量局所施用、虫体散布、葉身浸漬（コムギ苗）が用いられていた。近年被害地域が拡大しているイネカメムシについては、茨城、愛知、三重、愛媛の4県から報告があり、延べ検定件数は43件であった。検定手法は、虫体浸漬、稲体散布、食餌浸漬法が用いられていた。その他、クモヘリカメムシ（茨城、滋賀、鹿児島 の3県から計20件）、トゲシラホシカメムシとホソハリカメムシ（いずれも滋賀でそれぞれ5件）について報告があった。その他のカメムシ類として、ウスモンミドリカスミカメ（千葉から8件）、チャバネアオカメムシ（神奈川から14件）、ヒメナガカメ

ムシ（佐賀から 13 件）、ミナミアオカメムシ（茨城から 3 件）の報告があった。

アブラムシ類では、モモアカアブラムシについて、宮城、栃木、高知の 3 県から報告があり、延べ検定件数は 44 件であった。検定手法は、ナス葉あるいはパプリカ葉を使った葉片浸漬法が用いられていた。ワタアブラムシについては、宮城、岐阜、奈良、和歌山、愛媛、鹿児島県の 6 県から報告があり、延べ検定件数は 93 件であった。検定手法は、葉片浸漬法（パプリカ葉、キュウリ葉、イチゴ葉、インゲン葉）、幼苗浸漬法（キュウリ、スイカ）の他、イチゴ苗、トレニア苗を使った散布法も用いられていた。その他、イチゴケナガアブラムシ（栃木から 23 件）、ダイコンアブラムシ（愛媛から 5 件）の報告があった。

コナジラミ類では、タバココナジラミについて、栃木、千葉、愛知、三重、奈良、和歌山、香川、愛媛、高知、福岡、佐賀、熊本、鹿児島県の 13 県から報告があり、延べ検定件数は 301 件であった。検定手法は、キャベツ、インゲン、ナス、またはキクの葉を使った葉片浸漬法（インゲン葉を使ったプラスチック管瓶法を含む）が用いられていた。オンシツコナジラミについては、宮城、千葉、奈良、愛媛の 4 県から報告があり、延べ検定件数は 41 件であった。検定手法は、インゲン葉を使った葉片浸漬法（プラスチック管瓶法を含む）が用いられていた。

カイガラムシ類では、クワシロカイガラムシについて、静岡、和歌山の 2 県から報告があり、延べ検定件数は 16 件であった。検定手法は茶葉を用いた葉片浸漬法、ばれいしょ塊茎浸漬法が用いられていた。その他、ミカンコナカイガラムシ（奈良、沖縄から計 29 件）、ナスコナカイガラムシ（高知、鹿児島から計 24 件）、クロテンコナカイガラムシ（沖縄から 15 件）についての報告があり、リーフディスクへの散布や茎葉浸漬法が用いられていた。

アザミウマ類では、ネギアザミウマについて、宮城、千葉、神奈川、三重、滋賀、大阪、兵庫、奈良、和歌山、香川、高知、佐賀の 12 府県から報告があり、延べ検定件数は 242 件であった。検定手法は、インゲン葉を使った葉片浸漬法（プラスチック管瓶法を含む）を主として、その他にソラマメを用いた催芽種子浸漬やインゲンリーフディスクへの散布法などが用いられていた。ミカンキイロアザミウマについては、宮城、栃木、愛知、大阪、奈良、広島、香川、高知、愛媛、佐賀、鹿児島県の 11 府県から延べ 265 件、ミナミキイロアザミウマについては、栃木、神奈川、大阪、奈良、香川、愛媛、高知、佐賀、鹿児島県の 9 府県から延べ 230 件、ヒラズハナアザミウマについては、宮城、栃木、千葉、神奈川、奈良、愛媛、熊本、鹿児島県の 8 県から延べ 170 件の報告があった。検定手法は、ネギアザミウマと同様、葉片浸漬法（インゲン葉）を主として、その他に葉片浸漬（ソラマメ葉、ピーマン葉、キク葉）、催芽種子浸漬（ソラマメ）、虫体・葉片浸漬（インゲン葉）、ドライフィルム法などが用いられていた。チャノキイロアザミウマについては、奈良、和歌山、広島、高知、佐賀、長崎、鹿児島、沖縄の 8 県から延べ 139 件の報告があった。検定手法は、葉片浸漬（カンキツ葉、マンゴー葉、茶葉、トルコギキョウ葉）、インゲンリーフディスクへの散布、イチゴの寄生葉への散布、虫体浸漬、餌混和（ショ糖）などが用いられていた。その他、ハナアザミウマ（和歌山、広島、香川から計 29 件）、クロゲハナアザミウマ（佐賀、鹿児島から計 21 件）、モトジロアザミウマ（高知から 12 件）、ワサビクダアザミウマ（静岡から 13 件）、*Megalurothrips usitatus*（沖縄から 5 件）について報告があった。

ハダニ類では、ナミハダニについて、青森、宮城、茨城、栃木、千葉、岐阜、静岡、愛知、三重、奈良、愛媛、高知、福岡、佐賀、長崎、鹿児島県の 16 県から延べ 593 件、カンザワハダニについて、茨城、静岡、奈良、愛媛、佐賀の 5 県から延べ 127 件の報告があった。検定手法は、寄生葉片への散布が最も多く、次

いで葉片浸漬法（風乾後接種）が多かった。用いる葉はほとんどがインゲン葉であった。ミカンハダニについては、和歌山、広島、香川、佐賀、長崎、鹿児島 の 6 県から報告があり、延べ検定件数は 218 件であった。検定手法は、主にカンキツ葉を使った葉片浸漬法で、虫体散布法も用いられていた。その他、リンゴハダニ（青森、茨城から計 35 件）、ミナミヒメハダニ（鹿児島から 16 件）、ハダニ類（熊本から 8 件）の報告があった。

ネギハモグリバエについては香川県から報告があり、延べ検定件数は 58 件、検定手法はすべて葉片浸漬法（ネギ葉）であった。

チョウ目害虫では、ハスモンヨトウについては、茨城、神奈川、岐阜、奈良、広島、香川、愛媛、高知、福岡、佐賀、鹿児島 の 11 県から報告があり、延べ検定件数は 347 件であった。コナガについては、宮城、秋田、茨城、神奈川、愛知、大阪、奈良、広島、香川、愛媛、長崎、鹿児島 の 12 府県から報告があり、延べ検定件数は 277 件であった。シロイチモジヨトウについては、茨城、愛知、大阪、兵庫、奈良、和歌山、広島、香川、愛媛、高知、佐賀、鹿児島 の 12 府県から報告があり、延べ検定件数は 216 件であった。オオタバコガについては、青森、茨城、神奈川、奈良 の 4 県から報告があり、延べ検定件数は 81 件であった。検定手法は、いずれの種もキャベツを用いた葉片浸漬が多かったが、その他に種によってコマツナ、チンゲンサイ、ダイズ、サトイモなども用いられていた。また、ハスモンヨトウ、シロイチモジヨトウ、オオタバコガでは人工飼料を浸漬または人工飼料に添加する方法も用いられていた。この他の種として、ツマジロクサヨトウ（愛媛、鹿児島から計 30 件）、ウラナミシジミ（和歌山から 46 件）、チャノコカクモンハマキ（静岡から 26 件）、チャハマキ（静岡から 17 件）、ワタヘリクロノメイガ（奈良から 22 件）、イラクサギンウツバ（愛媛から 21 件）、アワノメイガ（香川から 19 件）、クワゴマダラヒトリ（佐賀から 14 件）、タバコガ（茨城から 10 件）、ジャガイモガ（広島から 4 件）、ヨトウガ（奈良から 8 件）、イネヨトウ（鹿児島から 1 件）、コブノメイガ（鹿児島から 6 件）について報告があった。

コウチュウ目の害虫では、イネドロオイムシについて北海道から 1 件の報告があり、局所施用法が用いられていた。その他、タバコノミハムシ（奈良から 31 件）、キスジノミハムシ（奈良から 20 件）、ダイコンハムシ（奈良から 18 件）について報告があった。

その他の害虫では、サビダニ類（愛知、和歌山、高知から計 24 件）、ネダニ類（千葉、石川、高知から計 65 件）、ハクサイダニ（香川から 27 件）、チャノミドリヒメヨコバイ（静岡から 40 件）、アカハネオンブバッタ（大阪から 9 件）、オカダンゴムシ（広島から 6 件）、チュウゴクナシキジラミ（佐賀から 6 件）、マンゴーハフクレタマバエ（沖縄から 15 件）等、各地域で問題となっている害虫について報告があった。

表1. 薬剤感受性検定に関するアンケートで回答があった害虫の検定件数、検定法			
害虫名	実施報告のあった都道府県	延べ検定件数	検定法
(イネウンカ類)			
トビイロウンカ	佐賀、長崎、熊本、鹿児島	107	微量局所施用、稲葉鞘浸漬法、ベルジャーダスター法
ヒメトビウンカ	茨城、神奈川、兵庫、香川、長崎、熊本	80	微量局所施用、食草浸漬法(水稻苗、コムギ苗)、虫体浸漬法、粒剤処理苗投与(水稻苗)
(斑点米カメムシ類)			
アカスジカスミカメ	秋田、新潟、静岡、滋賀	26	微量局所施用、虫体散布、虫体浸漬、葉身浸漬(コムギ苗)
アカヒゲホソミドリカスミカメ	秋田、山形、新潟、滋賀	22	微量局所施用、虫体散布、葉身浸漬(コムギ苗)
イネカメムシ	茨城、愛知、三重、愛媛	43	虫体浸漬、稲穂散布、食餌浸漬
クモヘリカメムシ	茨城、滋賀、鹿児島	20	虫体浸漬、葉片浸漬(水稻)、虫体散布
トゲシラホシカメムシ	滋賀	5	虫体散布
ホソハリカメムシ	滋賀	5	虫体散布
(その他カメムシ類)			
ウスモンミドリカスミカメ	千葉	8	葉片浸漬(レタス葉)
チャバネアオカメムシ	神奈川	14	虫体浸漬、食餌浸漬(落花生)
ヒメナガカメムシ	佐賀	13	幼果浸漬(いちご果実)
ミナミアオカメムシ	茨城	3	虫体浸漬
(アブラムシ類)			
モモアカアブラムシ	宮城、栃木、高知	44	葉片浸漬(ナス葉・パプリカ葉)
ワタアブラムシ	宮城、岐阜、奈良、和歌山、愛媛、鹿児島	93	葉片浸漬(パプリカ葉・キュウリ葉・イチゴ葉・インゲン葉)、幼苗浸漬(キュウリ・スイカ)、イチゴ苗、トレニア苗への散布
イチゴケナガアブラムシ	栃木	23	虫体浸漬、食餌浸漬
ダイコンアブラムシ	愛媛	5	葉片浸漬(キャベツ葉)
(コナジラミ類)			
タバココナジラミ	栃木、千葉、愛知、三重、奈良、和歌山、香川、愛媛、高知、福岡、佐賀、熊本、鹿児島	301	葉片浸漬(インゲン葉、キャベツ葉、キク葉、ナス葉、タバコ葉、ミニトマト葉)
オンシツコナジラミ	宮城、千葉、奈良、愛媛	41	葉片浸漬(インゲン葉)
(カイガラムシ類)			
クワシロカイガラムシ	静岡、和歌山	16	茎葉浸漬(茶)、ジャガイモ塊茎浸漬
コナカイガラムシ類	高知	7	回転式散布塔(インゲン葉)
ミカンコナカイガラムシ	奈良、沖縄	29	葉片散布(インゲン葉)
ナスコナカイガラムシ	高知、鹿児島	24	回転式散布塔(インゲン葉)、葉片浸漬(インゲン葉)
クロテンコナカイガラムシ	沖縄	15	葉片散布(インゲン葉)?
(アザミウマ類)			
ネギアザミウマ	宮城、千葉、神奈川、三重、滋賀、大阪、兵庫、奈良、和歌山、香川、高知、佐賀	242	葉片浸漬(インゲン葉・ソラマメ葉)、葉片浸漬(インゲン葉)+ドライフィルム、プラスチック管瓶法(インゲン葉)、簡易薬剤感受性検定キット、催芽種子浸漬(ソラマメ)、回転式散布塔(インゲンリーフディスク)
ミカンキイロアザミウマ	宮城、栃木、愛知、大阪、奈良、広島、香川、高知、愛媛、佐賀、鹿児島	265	葉片浸漬(インゲン葉・ソラマメ葉・キク葉)、プラスチック管瓶法(インゲン葉)、ソラマメ葉片浸漬法(柴尾(2013))、葉片浸漬(インゲン葉)+ドライフィルム、虫体・葉片散布法、回転式散布塔(インゲンリーフディスク)、ドライフィルム法
ミナミキイロアザミウマ	栃木、神奈川、大阪、奈良、香川、愛媛、高知、佐賀、鹿児島	230	葉片浸漬(インゲン葉・ナス葉)、回転式散布塔(インゲンリーフディスク)、ソラマメ葉片浸漬法(柴尾(2013))、プラスチック管瓶法(インゲン)、葉片浸漬(キュウリ葉)+ドライフィルム
ヒラズハナアザミウマ	宮城、栃木、千葉、神奈川、奈良、愛媛、熊本、鹿児島	170	葉片浸漬(インゲン葉・ソラマメ葉、ピーマン葉)、プラスチック管瓶法(インゲン葉)、催芽種子浸漬(ソラマメ)、虫体・葉片散布(インゲン葉)
チャノキイロアザミウマ	奈良、和歌山、広島、高知、佐賀、長崎、鹿児島、沖縄	139	葉片浸漬(カンキツ、茶、マンゴー、トルコギョウ)、回転式散布塔(インゲンリーフディスク)、寄生葉に散布(イチゴ)、虫体浸漬、餌混和(ショ糖)
ハナアザミウマ	和歌山、広島、香川	29	葉片浸漬(カンキツ葉・インゲン葉)、葉片浸漬(インゲン葉)+ドライフィルム
クロゲハナアザミウマ	佐賀、鹿児島	21	葉片浸漬(インゲン葉)
モトジロアザミウマ	高知	12	回転式散布塔(インゲンリーフディスク)
ワサビクダアザミウマ	静岡	13	改変葉片浸漬(ワサビ葉)
<i>Megalurothrips usitatus</i>	沖縄	5	不明(間接法)

表1. (続き)			
害虫名	実施報告のあった都道府県	延べ検定 件数	検定法
(ハダニ類)			
ナミハダニ (赤色型を含む)	青森、宮城、茨城、栃木、千葉、岐阜、静岡、愛知、三重、奈良、愛媛、高知、福岡、佐賀、長崎、鹿児島	593	葉片虫体散布 (インゲン葉、いちご葉)、葉片散布 (インゲン葉)、葉片浸漬 (インゲン葉)
カンザワハダニ	茨城、静岡、奈良、愛媛、佐賀	127	葉片虫体散布 (インゲン葉、いちご葉)、葉片浸漬、葉片卵浸漬、虫体散布
ミカンハダニ	和歌山、広島、香川、佐賀、長崎、鹿児島	218	葉片浸漬 (カンキツ葉)、虫体散布
リンゴハダニ	青森、茨城	35	葉片散布 (モモ葉)、虫体散布
ミナミヒメハダニ	鹿児島	16	虫体散布
ハダニ類	神奈川、熊本	15	葉片浸漬 (インゲン)、リーフディスク (インゲン葉)
(ハモグリバエ類)			
ネギハモグリバエ	香川	58	宿主植物浸漬 (ネギ葉)
(チョウ目害虫)			
ハスモンヨトウ	茨城、神奈川、岐阜、奈良、広島、香川、愛媛、高知、福岡、佐賀、鹿児島	347	葉片浸漬 (キャベツ葉・ダイズ葉・サトイモ・ナス葉)、人口飼料混入法
コナガ	宮城、秋田、茨城、神奈川、愛知、大阪、奈良、広島、香川、愛媛、長崎、鹿児島	277	葉片浸漬 (キャベツ葉、パクチョイ葉・コマツナ葉・チンゲンサイ葉・ケール葉)、虫体散布法
シロイチモジヨトウ	茨城、愛知、大阪、兵庫、奈良、和歌山、広島、香川、愛媛、高知、佐賀、鹿児島	216	葉片浸漬 (キャベツ葉・コマツナ葉・パクチョイ葉・ダイズ葉)、人口飼料混入法
オオタバコガ	青森、茨城、神奈川、奈良	81	葉片浸漬 (キャベツ葉・インゲン葉)、人口飼料混入法
ツマジロクサヨトウ	愛媛、鹿児島	30	葉片浸漬 (トウモロコシ葉)
ウラナミシジミ	和歌山	46	虫体浸漬、虫体散布、食餌浸漬 (サヤエンドウ)
チャノコカクモンハマキ	静岡	26	茎葉浸漬 (チャ)
チャハマキ	静岡	17	茎葉浸漬 (チャ)
ワタヘリクロノメイガ	奈良	22	葉片浸漬 (キュウリ葉)、インセクタ輪切り法
イラクサギンウワバ	愛媛	21	葉片浸漬 (キャベツ葉)
アワノメイガ	香川	19	苗浸漬 (トウモロコシ)
クワゴマダラヒトリ	佐賀	14	虫体浸漬、食餌浸漬 (カラスノエンドウ)
タバコガ	茨城	10	葉片浸漬 (キャベツ葉)
ジャガイモガ	広島	4	食餌浸漬 (ジャガイモ)
ヨトウガ	奈良	8	インセクタ輪切り法
イネヨトウ	鹿児島	1	食餌浸漬
コブノメイガ	鹿児島	6	食餌浸漬
(コウチュウ目)			
イネドロオイムシ	北海道	1	微量局所施用 (0.5 μ L/頭)
タバコノミハムシ	奈良	31	食餌浸漬法 (ナス葉)
キスジノミハムシ	奈良	20	葉片浸漬 (コマツナ葉)
ダイコンハムシ	奈良	18	葉片浸漬 (ダイコン葉)
(その他の害虫)			
シンサビダニ	愛知、高知	19	葉片虫体散布 (オオバ葉)、葉片虫体浸漬 (オオバ葉)
ミカンサビダニ	和歌山	5	葉片浸漬 (カンキツ葉)
ネダニ類	石川	15	球根浸漬 (フリージア)
ロビンネダニ	千葉、高知	50	人工飼料浸漬、ろ紙に処理
ネダニモドキの一種	高知	12	ろ紙に処理
ハクサイダニ	香川	27	葉片浸漬 (ミズナ葉)
チャノミドリヒメヨコバイ	静岡	40	茎葉浸漬 (チャ)
アカハネオンブバッタ	大阪	9	葉片浸漬 (キャベツ葉、チンゲンサイ葉)
オカダンゴムシ	広島	6	食餌浸漬 (ニンジン根)、虫体浸漬
チュウゴクナシキジラミ	佐賀	6	ナシ新梢に散布後接種
マンゴーハフクレタマバエ	沖縄	15	不明 (直接法)

（２）発生予察事業への適用が想定される薬剤感受性検定手法

令和３年度に薬剤感受性検定件数が多かった５種の害虫種（上記調査方法で取り上げた種）について、指定有害動植物を対象としたアンケート回答を取りまとめ（表２～表６）、併せて文献情報から薬剤感受性検定に関わる各種の条件を検討して、発生予察事業への適用が推奨される検定手法を整理した（表７）。策定に当たっては出来るだけ簡便な手法を採用したが、検定に使用する植物によって薬液の付着量が異なることを考慮して、使用する植物の種類は１害虫１種にすることとする。なお、ここで推奨する検定法は、生産現場における対象害虫の薬剤感受性の低下を迅速に把握するための手法であり、LC50等を算出するための精密な手法ではないことに留意されたい。このため希釈濃度は常用濃度のみとする。累代飼育を重ねると薬剤感受性がほ場の実態と乖離する可能性があるため、採集から検定までの世代数は長くても２世代までとする。また検定を実施する薬剤の特性によっては、推奨する検定法が適合しない場合がある。例えば虫体に直接かからないと十分な効果を発揮できない薬剤に対しては、葉片浸漬法は適さない。この場合は、虫体浸漬法や散布法の適用を考えるべきである。

検定法を策定するにあたり、参照した参考文献リストを害虫種ごとに付し、全文献のPDFファイルを報告書に添付する。

１）ネギアザミウマ

表２にネギアザミウマに関してアンケートで回答があった１２府県の情報を取りまとめた。検定法は、成虫に対するインゲン葉またはソラマメ葉を使った葉片浸漬法（一部ドライフィルム法併用、プラスチック菅瓶法を含む）、ソラマメ催芽種子浸漬法、回転式散布塔（インゲンリーフディスク）、簡易薬剤感受性検キット（吸水管の内壁を薬剤含有寒天でコーティング）が用いられていた。また文献調査では、柴尾(2013)がソラマメ催芽種子、ソラマメ葉片、ナス葉片を用いた浸漬法を詳しく紹介しており、また虫体浸漬法（松田・新藤、2010）やソラマメ催芽種子を用いた報告（野中健人ら、2013；小川・糸山、2016）もあったが、大半の報告はインゲン葉を使った葉片浸漬法を採用していた。薬液への浸漬時間は、文献調査では１０秒間から３０秒間の間で幅があったが、３０秒間が最も多く、次いで１０秒間だった。また判定日数は、アンケート調査では全府県で２日（４８時間）であり、文献調査でも２日が圧倒的に多く次いで２４時間だった。

＜推奨する検定法＞

本報告では、インゲン初生葉の葉片浸漬法を使った成虫を対象とする薬剤感受性検定を推奨する（表７）。検定の具体的手順については、柴尾(2013)のソラマメ葉片浸漬法に準じてインゲン初生葉に代えるか、井村（2022）の方法を参考にされたい。薬液浸漬時間は３０秒間とし、判定日数は２日（４８時間）、判定基準は補正死虫率（％）、管理条件は２５℃、１６Ｌ８Ｄとする。また採集から検定までの世代数は０～２世代とする。

※留意事項

検定用にほ場でサンプリングする単位は、地域の実情に合わせて決定する。使用するインゲンの品種は問わないが、葉がしっかりした品種を選ぶ。対照は水道水とする。薬液には地域で使用されている一般展着剤を規定濃度で加用し、対照の水道水にも加用する。

表2. 薬剤感受性検定アンケートで回答があった検定実施状況（ネギアザミウマ）

都道府県	検定実施年									検定法	発育ステージ	判定日数	判定基準	管理条件	検定までの世代数
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023						
宮城			18							葉片浸漬(ソラマメ葉)	成虫	48時間	補正死亡率	25°C,16L8D	2～5世代
千葉					26		26			ソラマメ催芽種子浸漬法	成虫	2日、4日	補正死亡率	25°C,16L8D	世代不明
神奈川							17	9		催芽種子浸漬(ソラマメ)、葉片浸漬(キュウリ)	成虫	3～9日	補正死亡率	25°C,16L8D	当世代
三重		3	10	7	12					葉片浸漬(インゲン葉)+ドライフィルム	成虫	2日	補正死亡率	25°C,16L8D	1～数世代
滋賀							8			葉片浸漬(インゲン葉)	成虫	48時間	補正死亡率	25°C,16L8D	第2世代成虫
大阪	3	3	3	3	7					葉片浸漬(インゲン)	成虫	2日	補正死亡率	25°C,16L8D	当世代
兵庫						4				葉片浸漬(インゲン葉)	雌成虫	2日	補正死亡率	25°C,16L8D	当世代～1世代
奈良				11			12			プラスチック管瓶法(インゲン)	成虫	2日	補正死亡率	25°C,16L8D	当世代
和歌山									6	葉片浸漬(インゲン葉)+ドライフィルム	雌成虫	48時間	補正死亡率	25°C,16L8D	1世代
高知					6	9		11		回転式散布塔(インゲンリーフディスク)	2齢幼虫	1日、2日	補正死亡率	25°C,16L8D	当世代、2～3世代
香川							2			簡易薬剤感受性検定キット	成虫	48時間	補正死亡率	23°C,16L8D	当世代
佐賀								26		葉片浸漬(インゲン葉)	成虫	2日	補正死亡率	25°C,16L8D	次世代

（参考文献）

- 1) 相澤美里（2018）ネギアザミウマの異なる生殖系統における合成ピレスロイド剤抵抗性機構と広域的・局所的分布に関する分子生態学的研究。 香川県農業試験場研究報告 69号。
- 2) 土井 誠ら（2014）静岡県西部地域の露地ネギに発生するネギアザミウマの薬剤殺虫効果。 関西病虫研報 56:111-113。
- 3) 福田 充ら（2010）ニラのネギアザミウマに対する高温処理および薬剤による殺虫効果。 関東病虫研報 57:67-69。
- 4) 春山直人・松本華苗（2013）栃木県の園芸作物に発生したアザミウマ類6種に対する各種薬剤の殺虫効果。 関東病虫研報 60:121-124。
- 5) 橋本典久（2017）京都府内のネギから採集したネギアザミウマに対する各種殺虫剤の殺虫効果。 関西病虫研報 59:89-91。
- 6) 井村岳男（2019）奈良県のネギから採集したネギアザミウマに対する各種殺虫剤の殺虫効果。 関西病虫研報 61:149-150。
- 7) 井村岳男（2022）病害虫診断技術調査事業 1. 害虫の殺虫剤感受性検定 ②ネギのネギアザミウマに対する各種殺虫剤の殺虫効果。 近畿中国四国農業単年度試験研究成績（奈良県）。
- 8) 猪苗代翔太ら（2018）宮城県における園芸作物圃場から採取したアザミウマ類3種に対する各種薬剤の殺虫効果。 北日本病虫研報 69:168-172。
- 9) 伊藤政雄ら（2011）ネギアザミウマに対する有効薬剤およびニラえそ条斑病に対する防除対策。 高知県農業技術センター研究報告 20:27-34。
- 10) 鹿島哲郎ら（2013）ネギアザミウマの薬剤感受性およびハウス栽培ニラにおけるネギアザミウマに対する防虫ネットの防除効果。 茨城県農業総合センター園芸研究所研究報告 20:35-42。
- 11) 北野大輔（2024）滋賀県のネギ属野菜で発生するネギアザミウマ2 生殖系統の地理的分布とベイズモデルによる殺虫剤の効果の推定。 応動昆 68:39-49。
- 12) 松田正利（2010）青森県南部地域の露地栽培ネギ圃場で発生するネギアザミウマの合成ピレスロイド系剤に対する感受性。 北日本病虫研報 61:170-173。
- 13) 松田正利・新藤潤一（2010）青森県南部地域の露地栽培ネギ圃場で発生するネギアザミウマに対する各種薬剤の殺虫効果。 北日本病虫研報 61:174-179。

- 14) 松田正利・新藤潤一（2011）ネギアザミウマに対する IGR 系殺虫剤 2 剤の特性と露地栽培ネギにおける防除効果. 北日本病虫研報 62:148-152.
- 15) 松田正利ら（2009）青森県南部地域の露地ネギ栽培におけるネギアザミウマの発生状況. 北日本病虫研報 60:220-222.
- 16) 森下正彦（2008）カキ果実を加害するピレスロイド剤抵抗性のネギアザミウマ. 植物防疫 62:201-204.
- 17) 村井 保（2003）ネギアザミウマの発生状況と被害拡大. 植物防疫 57:53-55.
- 18) 野中健人ら（2013）秋田県で採集されたネギアザミウマにおける殺虫剤感受性の個体群間差. 北日本病虫研報 64:186-190.
- 19) 小川将司・糸山 享（2016）明治大学黒川農場におけるネギアザミウマ *Thrips tabaci* の殺虫剤感受性. 明治大学農学部研究報告 65:75-78.
- 20) 大井田 寛（2012）アザミウマ類 4 種の千葉県内個体群に対する各種薬剤の殺虫効果. 関東病虫研報 59:131-133.
- 21) 笹山哲央ら（2020）三重県におけるネギアザミウマの産雄性単為生殖系統の発生と殺虫剤感受性. 関西病虫研報:62:161-163.
- 22) 柴尾 学（2013）植物防疫基礎講座：殺虫剤感受性検定マニュアル（4）アザミウマ類. 植物防疫 67:248-251.
- 23) 柴尾 学（2024）アザミウマ類の発生生態と総合防除法—大阪府における研究トピックスを中心に—. 応動昆 68:1-16.
- 24) 柴尾 学・田中 寛（2003）ネギ葉片浸漬法およびソラマメ催芽種子浸漬法によるネギアザミウマの薬剤殺虫効果. 関西病虫研報 45:61-62.
- 25) 柴尾 学・田中 寛（2012）大阪府におけるネギアザミウマ産雄単為生殖系統の薬剤殺虫効果. 関西病虫研報 54:185-186.
- 26) 城塚可奈子ら（2019）ネギアザミウマに対する薬剤殺虫効果の大阪府内での変遷. 関西病虫研報 61:161-163.
- 27) 城塚可奈子ら（2020a）大阪府内におけるアザミウマ類の薬剤殺虫効果の現状と新たな防除体系. 日本農薬学会誌 45:1-6.
- 28) 城塚可奈子ら（2020b）大阪府内のミナミキイロアザミウマおよびネギアザミウマに対する薬剤殺虫効果. 関西病虫研報 62:193-195.
- 29) 十川和士ら（2013）四国におけるネギアザミウマ生殖系統の分布とその薬剤感受性. 植物防疫 67:666-671.
- 30) 竹内浩二ら（2007）ネギアザミウマの薬剤感受性調査および近紫外線除去フィルムと防虫網を利用したワケネギ栽培. 関東病虫研報 54:151-158.
- 31) 多々良明夫ら（2010）静岡県西部地域のネギ類に寄生するネギアザミウマの殺虫剤感受性. 関西病虫研報 52:105-107.
- 32) 徳丸晋虫（2022）京都府におけるネギアザミウマ（アザミウマ目：アザミウマ科）の生殖型に応じた殺虫剤の効果. 応動昆 66:45-52.

- 33) 山脇美樹（2022）施設ニラにおけるネギアザミウマの防除技術の開発(1) ニラのネギアザミウマに対する各種殺虫剤の殺虫効果． 近畿中国四国農業単年度試験研究成績（高知県）．
- 34) 横山朋也・鹿島哲郎（2013a）茨城県におけるネギアザミウマ産雄単為生殖型の分布と薬剤感受性． 茨城県病害虫研究会報 52:47-50．
- 35) 横山朋也・鹿島哲郎（2013b）茨城県で発生しているネギアザミウマにおける合成ピレスロイド系剤抵抗性遺伝子の頻度． 関東病虫研報 60:125-127．

2) ハスモンヨトウ

表3にハスモンヨトウに関してアンケートで回答があった 11 県の情報を取りまとめた。検定法はいずれも食餌浸漬法であり、検定に使った植物は、キャベツ葉が茨城、神奈川、広島、佐賀、鹿児島 の 5 県、キャベツ葉とサトイモ葉が愛媛、キャベツ葉とナス葉が高知、ダイズ葉が岐阜、香川の 2 県、人工飼料が奈良、福岡の 2 県であった。発育ステージは 3 齢幼虫のみが茨城、岐阜、高知、佐賀の 4 県であり、2 齢、2～3 齢、3～4 齢、3～5 齢で行った例もあった。検定濃度は常用濃度 1 種類、判定日数は 2～3 日から 7 日まで幅があり、判定基準は補正死虫率、管理条件は 25℃、16L8D が多かった。サンプリングの単位は 1 個体群/地域から多いところでは 9 個体群の事例もあり、採集から検定までの世代数は当世代と次世代が多かった。文献調査では、キャベツ葉を使った葉片浸漬法が最も多く（21 報中 16 報）、インゲン葉、ナス葉、人工飼料（インセクタ LFS）を使った試験も行われていた。また浸漬時間は 30 秒間が最も多く、次いで 10 秒間だった。また判定日数は、アンケート調査では 2 日から 7 日の間でばらついてはいたが、遅効性の IGR 剤や BT 剤では 5 日または 7 日後まで調査を継続している例が多かった。

＜推奨する検定法＞

本報告では、キャベツ葉の葉片浸漬法を使った 3 齢幼虫（2 齢後期を含めても良いが大きさは出来るだけ揃える）を対象とする薬剤感受性検定を推奨する（表 7）。検定の具体的手順については、広瀬（1997）の方法を参考にされたい。薬液浸漬時間は 30 秒間とし、判定日数は通常は 2 日、遅効性の薬剤は 7 日とする。判定基準は補正死虫率（%）、管理条件は 25℃、16L8D とする。また採集から検定までの世代数は 0～2 世代とする。

※留意事項

検定用にほ場でサンプリングする単位は、地域の実情に合わせて決定する。ほ場から卵塊を採集して当世代の虫を検定に供する場合は、産卵場所が異なる卵塊を出来るだけ多く集めるなど、検定結果が偏らないように配慮する。使用するキャベツの品種は問わない。対照は水道水とする。薬液には地域で使用されている一般展着剤を加用し、対照の水道水にも加用する。

表3. 薬剤感受性検定アンケートで回答があった検定実施状況（ハスモンヨトウ）

都道府県	検定実施年											検定法	発育ステージ	判定日数	判定基準	管理条件	検定までの世代数
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023							
茨城									23		葉片浸漬（キャベツ葉）	3 齢幼虫	7日	補正死虫率	25℃,16L8D	1～2世代	
神奈川								21		5	葉片浸漬（キャベツ葉）、虫体浸漬	3～4 齢幼虫	3日	補正死虫率	25℃,16L8D	1～2世代	
岐阜	11	11									葉片浸漬（ダイズ葉）	3 齢幼虫	2日	補正死虫率	不明	当世代（卵塊採取）	
奈良							8		5	25	インセクタ輪切り法	2 齢, 3 齢幼虫	3～5日	補正死虫率	25℃,16L8D	次世代	
広島						16	5	8			葉片浸漬法（キャベツ葉）	幼虫(齢期不明)	2～4日	補正死虫率	20～25℃	ふ化後当世代	
香川		21				12					葉片浸漬（ダイズ葉）	3～5 齢幼虫	7日	補正死虫率	25℃,16L8D	当世代	
愛媛		8					9	18			葉片浸漬（サトイモ葉、キャベツ葉）	3～4 齢幼虫	2, 4日または3, 6日	補正死亡率	25℃,15L9D	-	
高知						32	25				葉片浸漬（キャベツ葉、ナス葉）	3 齢幼虫	4または5日	補正死虫率	25℃,16L8D	次世代	
福岡										5	人工飼料浸漬法	2～3 齢幼虫	5日	補正死虫率	25℃,16L8D	次世代	
佐賀							7	10		10	葉片浸漬（キャベツ葉）	幼虫(3 齢)	3日または5日	補正死虫率	25℃,16L8D	0～1世代	
鹿児島		15	16	18							葉片浸漬（キャベツ葉）	2～3 齢幼虫	24h,48h,72h	補正死虫率	25℃室内	0～1世代	

（参考文献）

- 1) 浅野昌司・鈴木伸和(1995) 飼料混入法を用いる *Bacillus thuringiensis* 製剤のハスモンヨトウ に対する生物検定法について. 応動昆 39:135-141.
- 2) 福岡県(2023) 大豆におけるハスモンヨトウの薬剤感受性検定.
- 3) 林川修二・西 裕之（2023）鹿児島県におけるハスモンヨトウ, シロイチモジヨトウのジアミド系殺虫剤に対する薬剤感受性および各種薬剤の殺虫効果. 鹿児島県農総セ研報 17:21-28.
- 4) 林川修二ら（2017）ハスモンヨトウに対する各種薬剤の殺虫効果とその特徴. 九州病虫研究会報(講要) 63:128.
- 5) 平野忠美・子安英雄(2013) 愛知県におけるケブカノメイガおよびハスモンヨトウの薬剤感受性の差異. 関西病虫研報 55:51-55.
- 6) 平野忠美・子安英雄(2014) 愛知県におけるイラクサギンウワバおよびハスモンヨトウの薬剤感受性の差異. 関西病虫研報 56:103-105.
- 7) 平野忠美ら（2015）愛知県におけるツゲノメイガおよびハスモンヨトウの薬剤感受性の差異. 関西病虫研報 57:121-123.
- 8) 広瀬拓也(1995) ハスモンヨトウの合成ピレスロイド系殺虫剤に対する抵抗性発達. 応動昆 39:165-167.
- 9) 広瀬拓也(1997) 農業害虫および天敵昆虫等の薬剤感受性検定マニュアル(14) 野菜・花き 害虫:ハスモンヨトウ・シロイチモジヨトウ. 植物防疫 51:483-487.
- 10) 広瀬拓也・浜 弘司(1996) 性フェロモントラップで捕獲した雄成虫を用いたハスモンヨトウの薬剤感受性簡易検定法. 応動昆 40:61-69.
- 11) 本間宏基（2004）千葉県におけるハスモンヨトウの薬剤感受性. 関東病虫研報 51:155-158.
- 12) 一家伴安ら（1999）県西地区におけるハスモンヨトウの発生状況と薬剤感受性. 茨城県病害虫研究会報 38:34-37.
- 13) 市川耕治ら(1991) ハスモンヨトウのメソミル剤に対する感受性検定. 関西病虫研報 33:125-125.
- 14) 井村岳男（2021）人工飼料を用いた5種チョウ目害虫の簡易な殺虫剤感受性検定. 関西病虫研報 63:33-38.

- 15) 井村岳男(2024a) 病害虫診断技術調査事業 1.害虫の殺虫剤感受性検定(1) ナスのハスモンヨトウに対する各種殺虫剤の殺虫効果. 奈良県単年度試験研究成績.
- 16) 井村岳男(2024b) 病害虫診断技術調査事業 1.害虫の殺虫剤感受性検定(4) キクのハスモンヨトウに対する各種殺虫剤の殺虫効果. 奈良県単年度試験研究成績.
- 17) 伊藤祐気・杖田浩二(2022) 岐阜県におけるハスモンヨトウの殺虫剤感受性について. 関西病虫研報 64:137-140.
- 18) 菊池克利(1996) 栃木県におけるハスモンヨトウの薬剤感受性. 関東病虫研報 43:223-225.
- 19) 増井伸一・池田雅則(1998) 静岡県におけるハスモンヨトウに対する殺虫剤の効力. 静岡県農業試験場研究報告 43:13-19.
- 20) 丸山 威ら(2000) ハスモンヨトウの新規 BT 剤に対する感受性. 関東病虫研報 47:121-124.
- 21) 宮園 稔ら(1991) ハスモンヨトウの殺虫剤抵抗性. 関西病虫研報 33:123-124.
- 22) 宗石佳奈・下村文那(2021) 突発性病害虫、生育障害等の原因究明と対策(5) ハスモンヨトウに対する各種薬剤の殺虫効果. 近畿中国四国農業単年度試験研究成績(高知県).
- 23) 中野昭雄・喜田直康(1994) 徳島県におけるハスモンヨトウの薬剤感受性について. 四国植防 29:123-132.
- 24) 及川雅彦ら(1999) BT 剤のハスモンヨトウに対する殺虫効果と寄主植物の関係. 関東病虫研報 46:89-92.
- 25) 西東 カ・小林義明(1989) 関西病虫研報 31:73.
- 26) 西東力ら(1991) ハスモンヨトウのメソミル剤抵抗性と合成ピレスロイド剤の効力. 関東病虫研報 38:191-193.
- 27) 嶋田知英・根本 久(1996) ドライフィルム法によるハスモンヨトウの薬剤感受性. 関東病虫研報 43:221-222.
- 28) 下八川裕司(2020) 施設ミョウガにおける総合的害虫管理技術の確立 (3)ハスモンヨトウに対する各種薬剤の殺虫効果. 近畿中国四国農業単年度試験研究成績(高知県).
- 29) 杉山恵太郎・水井陽介(2011) 静岡県内のハスモンヨトウに対する殺虫剤の食餌浸漬法による殺虫効果. 関東病虫研報 58:103-105.
- 30) 高井幹夫(1991) 高知県におけるハスモンヨトウの薬剤感受性について. 四国植防 26:67-76.
- 31) 吉田早苗ら(2012) 茨城県におけるハスモンヨトウの薬剤感受性. 関東病虫研報 59:135-136.
- 32) 吉川 誠(2001) 栃木県におけるハスモンヨトウに対する薬剤感受性. 関東病虫研報 48:121-123.

3) ネギハモグリバエ

表4にネギハモグリバエに関してアンケートで唯一回答があった香川県の情報を掲載した。検定法はネギ葉を使った宿主植物浸漬法が用いられていた。文献調査では、ネギポット苗に産卵させた後、卵または若齢幼虫期にネギ葉部を葉液に浸漬させ、その後生存、蛹化、死亡個体数を計数して効果判定を行っている例が圧倒的に多かった。また過去にはマメハモグリバエの薬剤感受性に関して多くの報告があり、局所施用法やドライフィルム法については、西東(1997)が参考になる。

<推奨する検定法>

本報告では多くの研究で使用されているポット植えのネギ苗を使った葉部浸漬法による卵または2齢幼虫の薬剤感受性検定を推奨する(表7)。ネギハモグリバエの卵または2齢幼虫が寄生したネギ葉部の薬液への浸漬時間は10秒間とし、判定日数は卵の場合は5日、2齢幼虫の場合は3日とする。判定基準は補正死虫率(%)、管理条件は25℃、16L8Dとする。また採集から検定までの世代数は1~2世代とする。検定の具体的手順については、徳丸(2004, 2013)、徳丸・岡留(2004a)に詳しく解説されているので参照されたい。

※留意事項

検定用には場でサンプリングする単位は、地域の実情に合わせて決定する。使用するネギの品種は問わない。対照は水道水とする。薬液には地域で使用されている一般展着剤を規定濃度で加用し、対照の水道水にも加用する。

表4. 薬剤感受性検定アンケートで回答があった検定実施状況(ネギハモグリバエ)

都道府県	検定実施年			検定法	発育ステージ	判定日数	判定基準	管理条件	検定までの世代数
	2021	2022	2023						
香川	11	13	5	宿主植物浸漬(ネギ葉)	卵	5日	補正死虫率	25℃,16L8D	後世代(世代数不明)
香川	11	13	5	宿主植物浸漬(ネギ葉)	若齢幼虫	3日	補正死虫率	25℃,16L8D	後世代(世代数不明)

(参考文献)

- 1) 森 晴香ら(2022) 茨城県のネギ栽培におけるネギハモグリバエ別系統による被害の消長および各種殺虫剤に対する感受性の検討. 茨城県病害虫研究会報 61:16-22.若齢苗葉部 10-72
- 2) 西東(1997) 農業害虫および天敵昆虫等の薬剤感受性検定マニュアル(11) 野菜・花き害虫:マメハモグリバエ. 植物防疫 51:337-340.
- 3) 佐藤信輔ら(2022) 茨城県のネギほ場から採集されたネギハモグリバエ別系統に対する各種薬剤の殺虫効果および現地ほ場における防除効果の検討. 関東病虫研報 69:80-84.
- 4) 武政 彰・繁田ゆかり(2009) 小ネギのネギハモグリバエに対する有効薬剤および展着剤との組み合わせ. 九病虫研会報 55:146-151.
- 5) 徳丸 晋(2004) トマトハモグリバエ,マメハモグリバエおよびナスハモグリバエの殺虫剤感受性検定法. 日本農薬学会誌 29:170-172.
- 6) 徳丸 晋(2008) ハモグリバエ類の生態と防除に関する研究の現状と課題. 関西病虫研報 50:55-59.
- 7) 徳丸 晋(2013) 殺虫剤感受性検定マニュアル(3) ハモグリバエ類. 植物防疫 67:244-247.
- 8) 徳丸晋虫(2021) 京都府における近年の難防除野菜害虫に関する研究動向. 日本農薬学会誌 46:11-19.
- 9) 徳丸 晋・岡留和伸(2004a) ネギハモグリバエの殺虫剤感受性. 関西病虫研報 46:23-27.
- 10) 徳丸 晋・岡留和伸(2004b) ネギハモグリバエの発生活長と各種粒剤の防除効果. 京都府農業研究所研究報告 26:1-6.

11) 徳丸 晋・上杉龍士（2019） 京都府におけるネギハモグリバエ別系統の発生. 植物防疫 73:581-583.

4) ミカンハダニ

表5にミカンハダニに関してアンケートで回答があった6県の情報を取りまとめた。薬剤感受性検定手法としては、カンキツ葉（温州みかんやなつみかんの当年発生葉）を用いた卵を対象とする葉片浸漬法（リーフディスク法）がほとんどであり、一部成虫対象の検定も行われていた。リーフディスクを使った検定法は大政（1998）に解説されているが、プラスチックカップと濾紙を用いる方法と寒天平板ゲルを用いる方法があり、文献調査によると前者は福岡や佐賀、後者は和歌山で使用されている。薬液への浸漬時間は10秒間、判定日数は7～10日が多かった。

<推奨する検定法>

本報告では、温州みかんのリーフディスクを使った葉片浸漬法によるミカンハダニ卵の薬剤感受性検定を推奨する（表7）。薬液への浸漬時間は10秒間とし、判定日数は10日とする。判定基準は補正死虫率（%）、管理条件は25℃、16L8Dとする。またサンプリングの単位は最低1個体群/地域とし、採集から検定までの世代数は0～1世代とする。検定の具体的手順については、大政（1998）を参考にされたい。判定基準は補正死虫率（%）、管理条件は25℃、16L8Dとする。また採集から検定までの世代数は0～1世代とする。

※留意事項

検定用には場でサンプリングする単位は、地域の実情に合わせて決定する。使用する温州みかんの品種は問わない。対照は水道水とする。薬液には地域で使用されている一般展着剤を規定濃度で加用し、対照の水道水にも加用する。リーフディスクを保持する基質としてプラスチックカップ+濾紙と寒天平板ゲルのどちらを用いるかは任意とする。

表5. 薬剤感受性検定アンケートで回答があった検定実施状況（ミカンハダニ）

都道府県	検定実施年											検定法	発育ステージ	判定日数	判定基準	管理条件	検定までの世代数
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024						
和歌山								5		6		葉片浸漬(カンキツ葉)	卵	8日,10日	補正死虫率	25℃,16L8D	未回答
広島	3	3	3	4	4	5	5	5	5	5	4	虫体浸漬法	卵	7日	補正殺卵率	25℃	当世代
香川									23			リーフディスク法(殺卵試験)	卵	8, 10, 11, 12日	補正死虫率	25℃,16L8D	第1世代
佐賀	9	10	10	10	10				8	9		卵浸漬法	卵	7日	補正死虫率	25℃,自然日長	次世代
長崎	5	7	6	6	6	6	6	6	6	5		葉片浸漬(カンキツ葉)	卵	7～15日	補正死虫率	25℃,16L8D	当世代
鹿児島									13			虫体散布法	雌成虫, 卵	1, 2, 3日, 7日	補正死虫率	25℃	0, 1世代

(参考文献)

- 1) 衛藤友紀ら（1996） 佐賀県で採集されたミカンハダニの各種殺ダニ剤に対する感受性. 九病虫研会報 42:141-145.
- 2) 衛藤友紀ら（1998a） 佐賀県で採集されたミカンハダニ *Panonychus citri* McGregor の数種殺ダニ剤に対する感受性. 佐賀県果樹試験場研究報告 14:55-64.
- 3) 藤本博明・平松高明（1995） 岡山県のモモにおけるクワオオハダニとミカンハダニの発生分布と薬剤

感受性. 日本ダニ学会誌 4:103-111.

- 4) 古橋嘉一(1989) ニッソラン抵抗性ミカンハダニの数種ダニ剤に対する交差抵抗性. 関東病虫研報 36:197-198.
- 5) 古橋嘉一(1994) 静岡県におけるミカンハダニの薬剤抵抗性. 関東病虫研報 41:267-269.
- 6) 浜村徹三(1997) 農業害虫および天敵昆虫等の薬剤感受性検定マニュアル(15) 野菜花き害虫: ハダニ類. 植物防疫 51:547-549,
- 7) 井上智広・斎藤哲夫(1972) ジコホル抵抗性感受性ミカンハダニのジコホルに対するステージ別感受性. 応動昆 16:154-156.
- 8) 神山光子・戸田世嗣(2021) ハウスミカンにおける天敵保護資材「バンカーシート(R)」を利用したスワルスキーカブリダニ放飼と殺ダニ剤散布の併用によるミカンハダニ防除効果. 熊本県農業研究センター研究報告 28:55-65.
- 9) 口本文孝・村岡 実(1996) ミカンハダニのヘキシチアゾクス水和剤抵抗性. 佐賀県果樹試験場研究報告 13:95-103.
- 10) 増井伸一ら(1995) 静岡県におけるミカンハダニの殺ダニ剤感受性の現状. 関東病虫研報 42:245-246.
- 11) 松山尚生(2021) 果樹病虫害防除技術の開発 2) 各種害虫に対する防除対策の検討 (1) 海南市下津町のミカンハダニに対する各種化学合成殺ダニ剤の殺卵効果. 和歌山県単年度試験研究成績.
- 12) 松山尚生(2023) 果樹病虫害防除技術の開発 3) 防除が困難となっている作物に対する防除体系の確立 (2) 県内各地域で採集したミカンハダニの各種殺ダニ剤に対する感受性. 和歌山県単年度試験研究成績.
- 13) 村岡 実・鶴 範三(1985) 佐賀県におけるミカンハダニの主要殺ダニ剤に対する感受性の年次推移. 九州病虫害研究会 31:191-195.
- 14) 大政義久(1998) 農業害虫および天敵昆虫等の薬剤感受性検定マニュアル (25)果樹害虫: ミカンハダニ. 植物防疫 52:534-537.
- 15) 武久 喬(1967) 寒天薄層電気泳動法によるミカンハダニ薬剤抵抗性の検定法について. 九病虫研会報 13:126-132.
- 16) 辰己 勲ら(1983) ミカンハダニのベンゾメート抵抗性 1. 感受性,抵抗性ミカンハダニの抵抗性比較. 応動昆 27:112-116.
- 17) 鶴 範三ら(1979) 佐賀県におけるミカンハダニの各種薬剤に対する感受性. 九病虫研会報 25:156-159.
- 18) 寺本 健ら(1990) 長崎県における薬剤抵抗性ミカンハダニの発生状況. 九病虫研会報 36:160-163.
- 19) 真梶徳純・波多野連平(1983) Fenbutatinoxide のミカンハダニに対する効果検定法について. 千葉大学園芸学部学術報告 31:93-99.
- 20) 山本敦司ら(1995) 柑橘園におけるミカンハダニのヘキシチアゾクスによる圃場淘汰試験. 日本農薬学会誌 20:307-315.

5) タバコナジラミ

表6にタバコナジラミに関してアンケートで回答があった13県の情報を取りまとめた。検定に使った植物はキャベツが4県、インゲンが8県（愛知はキクとキャベツも使用）、ミニトマト、ナスが各1県であった。また発育ステージは成虫のみの県が9県あり、卵を対象にした試験を行ったのは愛媛のみであった。文献調査では、キャベツが8報、インゲンが8報であったが、成虫対象ではキャベツを用いた方法を参考にして植物をインゲンに代えた試験例が2報あった。判定日数は、検定する発育ステージによって変えている県が多く、卵で2週間、1齢幼虫で8～9日、2～3齢幼虫で7～14日、3～4齢幼虫で11日、成虫では1～5日と幅が大きかった。タバコナジラミの薬剤感受性検定手法としては、古くは浜村(1997)が開発した「キャベツ葉浸漬・水挿法」がある。この方法は成虫、幼虫のどちらを対象とする場合にも大きな容器を必要とするため、これを改良してキャベツ葉と小型シャーレを用いる成虫限定の方法（通称、熊本法）（樋口、2004）が開発されている。今回のアンケートで回答があった茨城県は熊本法を採用して成虫の検定を行っていた。また千葉では、熊本法を基本にキャベツの代わりにインゲン葉を用いて成虫の検定を行っている（大井田・津金、2008）。徳丸（2013）は、これらとは別に試験管を用いたキャベツ葉浸漬・水挿法の改良法を紹介している。キャベツとインゲンのどちらを使うは別として、成虫の検定を行う時は熊本法または徳丸の方法を使用するのが簡便であると思われる。

タバコナジラミバイオタイプQはインゲンでも発育するが、バイオタイプBはインゲンを餌とした場合の生存率が低いという報告があるので（Iida、2007）、バイオタイプBの卵や幼虫の検定を行う場合はキャベツを使用する必要がある。あらかじめ成虫に産卵させた寄主植物を検定する薬液に浸漬した後、プラスチックカップ（浜村法）、あるいは試験管（徳丸法）に差してケージに収容する必要があるので成虫より煩雑な作業が必要になる。しかし、発育ステージによって薬剤感受性が大きく異なる例が報告されているので（山口、2010）、薬剤感受性検定を成虫のみで行っていると幼虫期の感受性低下を見逃す可能性があるので注意が必要である。

<推奨する検定法>

キャベツとインゲンのどちらを用いるかであるが、アンケートでインゲンを使用している県が多かったのは、検定に使用出来る大きさまで生育する期間が短いことや、ハダニ類など他の害虫の飼育にも使用出来る利点があるからかも知れない。しかし、前述のようにバイオタイプBの幼虫を用いて検定を行う場合にインゲンは使えないので、本報告ではキャベツ葉を使った葉片浸漬法を推奨したい（表7）。判定日数は、遅効性の薬剤があることを考慮して、幼虫では10日、成虫で2日（遅効性の薬剤は5日）、卵は2週間程度、幼虫は10日程度とする。判定基準は補正死虫率（%）、管理条件は25℃、16L8Dとする。また採集から検定までの世代数は1～2世代とするが、成虫は当世代でも良いこととする。検定の具体的手順については徳丸（2013）を参考にされたいが、試験管を使うこの方法では成虫は2日後までしか持たないので、遅効性の薬剤を成虫で検定する場合は樋口（2004、2017）の方法（熊本法）を参考にする。熊本法は検定容器を作製する手間はかかるが、成虫を対象とする場合は簡便な手法である。

※留意事項

検定用には場でサンプリングする単位は、地域の実情に合わせて決定する。使用するキャベツの品種は問わない。対照は水道水とする。薬液には地域で使用されている一般展着剤を規定濃度で加用し、対照の水道水にも加用する。

表 6. 薬剤感受性検定アンケートで回答があった検定実施状況（タバコナジラミ）

都道府県	検定実施数										検定法	発育ステージ	判定日数	判定基準	管理条件	検定までの世代数
	2014	2016	2017	2019	2020	2021	2022	2023	2024							
栃木	7				11					食餌浸漬法(樋口(2013))	成虫	96,120時間	補正死亡率	25℃,16L8D	未回答	
千葉						13				葉片浸漬(インゲン葉)	成虫	120時間	補正死亡率	25℃,16L8D	1～3世代	
愛知		12								葉片浸漬(インゲン葉)	1齢	8日	補正死亡率	25℃,16L8D	未回答	
		12								葉片浸漬(インゲン葉)	3・4齢	11日	補正死亡率	25℃,16L8D	未回答	
		12								葉片浸漬(インゲン葉)	成虫	4日	補正死亡率	25℃,16L8D	未回答	
							22			葉片浸漬(キク葉、キャベツ葉、インゲン葉)	成虫または1齢	成虫4日、1齢8日	補正死亡率	25℃,24D	2～3世代	
三重						17	2			葉片浸漬(インゲン、タバコ)	成虫または幼虫	成虫5日後、幼虫7日後	補正死亡率	25℃,16L8D	1～2世代	
奈良			7							プラスチック管瓶法(インゲン)	成虫	48時間	補正死亡率	25℃,16L8D	当世代	
和歌山							15			葉片浸漬(キャベツ葉)	成虫、2～3齢幼虫	成虫72時間、幼虫14日	補正死亡率	23℃,16L8D	2～4世代	
香川			19							葉片浸漬(ミニトマト葉)	成虫(インゲンマメで選抜)	3日	補正死亡率	25℃	2～3世代	
愛媛			10							寄主植物浸漬(インゲン)	1齢幼虫	9日	補正死亡率	25℃,15L9D	未回答	
					12					寄主植物浸漬(インゲン)	2齢幼虫	8日	補正死亡率	25℃,15L9D	未回答	
								9	16	寄主植物浸漬(インゲン)	2～3齢幼虫	約1週間	補正死亡率	25℃,15L9D	1～2世代	
									3	寄主植物浸漬(インゲン)	卵	約2週間	補正死亡率	25℃,15L9D	1世代	
高知							6			葉片浸漬(インゲン複葉)	成虫	2日	補正死亡率	25℃,16L8D	当世代	
福岡							4	4		ナス葉浸漬	成虫主体	3日	補正死亡率	25℃,16L8D	当世代	
佐賀					12	29				葉片浸漬(インゲン葉)	成虫	5日	補正死亡率	25℃,16L8D	1～2世代	
熊本				12	20					葉片浸漬(キャベツ葉)	成虫	5日	補正死亡率	25℃,16L8D	不明	
鹿児島			15							葉片浸漬(インゲン)	成虫	24h,48h,72h	補正死亡率	-	2世代	

(参考文献)

- 樋口聡志（2004）シルバーリーフコナジラミ成虫の薬剤感受性検定法．平成 16 年度九州沖縄農業研究成果情報．
- 樋口聡志（2006）熊本県におけるタバココナジラミバイオタイプ Q の発生状況と薬剤の殺虫効果．
今月の農業 50:84-88.
- 樋口聡志（2014）九州地域におけるタバココナジラミの発生と防除． 応動昆 58:333-341.
- 樋口聡志（2017）ウイルスを媒介するタバココナジラミの生態および防除に関する研究． 鹿児島大学 学位論文 136p.
- Iida, H. et al. (2009) Comparison of egg-hatching rate, survival rate and development time of the immature stage between B- and Q-biotypes of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae) on various agricultural crops. Appl. Entomol. Zool. 44:267-273.
- 井村岳男（2018）ミニトマトのタバココナジラミ類に対する各種殺虫剤の殺虫効果（1）成虫に対する化学殺虫剤の殺虫効果． 近畿中国四国農業単年度試験研究成績（奈良県）.
- 石川博司ら（2018）愛知県内の主要トマト3産地から採取したタバココナジラミバイオタイプ Q に
対する主要薬剤の殺虫効果． 関西病虫研報 60:117-120.
- 鹿島哲郎ら（2008）タバココナジラミバイオタイプ Q に対する各種殺虫剤の殺虫効果の検討．茨城
県病害虫研究会報 47: 21-25.
- 貴島圭介ら（2012）タバココナジラミバイオタイプ Nauru に対する各種薬剤の殺虫効果． 応動昆
56:9-12.
- 近 達也・岩瀬亮三郎（2011） トマト黄化葉巻病を媒介するタバココナジラミ類の総合防除体系の確
立． 埼玉県農林総合研究センター研究報告 10:12-20.
- 久保田篤男（1991） タバココナジラミ(*Bemisia tabaci*)の発育各態に対する有効薬剤． 埼玉県園

芸試験場研究報告 18:29-36.

- 12) 窪田聖一ら（2017） 久万高原町の夏秋トマトにおけるコナジラミ類の発生生態と防除. 愛媛県農林水産研究所企画環境部・農業研究部研究報告 9:14-27.
- 13) 桑名 篤ら（2007） 福島県におけるタバココナジラミの発生状況と薬剤感受性. 北日本病虫研報 58:118-120.
- 14) 岡崎真一郎ら（2010） 大分県の施設栽培におけるコナジラミ類の発生実態およびタバココナジラミ在来系統の薬剤感受性. 大分県農林水産研究センター研究報告 農業編 4:13-22.
- 15) 大井田 寛・津金胤昭（2008） 千葉県におけるタバココナジラミバイオタイプ Q 成虫の薬剤感受性. 関東病虫研報 55:155-158.
- 16) 大井田 寛ら（2010） タバココナジラミ及びオンシツコナジラミ千葉県内個体群の幼虫に対する有効薬剤の検討. 千葉県農林総合研究センター研究報告 2:77-81.
- 17) 徳丸 晋（2013） 殺虫剤感受性検定マニュアル(5) タバココナジラミ. 植物防疫 67:307-310.
- 18) 徳丸 晋・林田吉王（2010） タバココナジラミ・バイオタイプ Q（カメムシ目：コナジラミ科）の薬剤感受性. 応動昆 54:13-21.
- 19) 浦 広幸・嶽本弘之（2008） 福岡県におけるタバココナジラミバイオタイプ Q の発生状況と施設栽培トマトおよびナスに発生するタバココナジラミ個体群の薬剤感受性. 福岡県農業総合試験場研究報告 27:23-28.
- 20) 渡邊丈夫ら（2008） 香川県のタバココナジラミ（バイオタイプ B）の殺虫剤感受性について. 香川県農業試験場研究報告 59:1-8.
- 21) 山口いくこ（2010） 山梨県におけるタバココナジラミの薬剤感受性. 関東病虫研報 57:123-126.
- 22) 山城 都（2007） 栃木県におけるタバココナジラミバイオタイプ Q の発生分布と薬剤感受性. 関東病虫研報 54:113-115.

6) 推奨する薬剤感受性検定法

表7に、今回実施したアンケート調査の回答と文献情報に基づき、5種の害虫に対して発生予察事業への適用が推奨される検定手法を整理した。

表7. 推奨される薬剤感受性検定手法

発育ステージ	検定法	判定日数	判定基準	管理条件	検定までの世代数
ネギアザミウマ					
成虫	葉片浸漬法(インゲン初生葉)	2日	補正死虫率(%)	25°C,16L8D	0~1世代
検定の具体的手順については、柴尾(2013)、井村(2022)を参照。					
ハスモンヨトウ					
3齢幼虫	葉片浸漬法(キャベツ葉)	2日(遅効性の薬剤は7日)	補正死虫率(%)	25°C,16L8D	0~1世代
検定の具体的手順については、広瀬(1997)を参照。					
ネギハモグリバエ					
卵	葉部浸漬法(ネギ苗)	5日	補正死虫率(%)	25°C,16L8D	1~2世代
2齢幼虫	葉部浸漬法(ネギ苗)	3日	補正死虫率(%)	25°C,16L8D	1~2世代
検定の具体的手順については、徳丸(2004, 2013)、徳丸・岡留(2004a)を参照。					
ミカンハダニ					
卵	葉片浸漬法(温州みかんリーフディスク/当年発生葉)	7日	補正死虫率(%)	25°C,16L8D	0~1世代
検定の具体的手順については、大政(1998)を参照。					
タバココナジラミ					
成虫	葉片浸漬法(キャベツ葉)	2日(遅効性の薬剤は5日)	補正死虫率(%)	25°C,16L8D	0~2世代
卵	葉片浸漬法(キャベツ葉)	14日	補正死虫率(%)	25°C,16L8D	1~2世代
幼虫	葉片浸漬法(キャベツ葉)	10日	補正死虫率(%)	25°C,16L8D	1~2世代
検定の具体的手順については、徳丸(2013)(成虫対象の遅効性薬剤の場合は樋口(2004、2017)を参照。					

5. 今後の課題

本報告では、薬剤感受性検定手法として主に葉片浸漬法を採用したが、使用する植物は対象害虫の好適食餌植物であることに加えて、検定用に栽培が容易であることが重要になる。準備の簡便さを考えると、例えばハスモンヨトウでは人工飼料への薬液滴下や薬液浸漬による手法も検討すべきであろう。またタバココナジラミについてはキャベツ葉を用いることとしたが、準備の簡便さではインゲン葉の方が上であり、実際タイプQ成虫の薬剤感受性検定ではインゲン葉を使った報告が多かった。インゲン葉は薬剤付着性が高く、ナミハダニやネギアザミウマの薬剤感受性にも使えるので、これらの害虫が問題になる地域では常備しておけば便利である。一方で、キャベツを準備しておけば、ハスモンヨトウやシロイチモジヨトウの薬剤感受性検定にも使えるので、これらの害虫が問題になる地域では好都合になる。薬液付着性の問題は展着剤を加用することで軽減される。地域の実情によって薬剤感受性検定を実施する害虫種は異なるので

検定用植物の選定にはさらなる検討が必要である。

葉片浸漬法以外の検定法としては、以前は虫体散布法が広く用いられており、今回のアンケート調査でもカスミカメ類、ハダニ類、アザミウマ類、コナカイガラムシ類を対象として、虫体散布法の実施を報告した県が10県以上あった。しかし、単位面積当たりの付着量を一定に出来る「回転式薬剤散布塔」は既に製造、販売中止となっており、すべての試験研究機関が保有しているわけではない。代替手法として提案されたエアブラシ法（國本ら、2017b）は、アンケート調査で栃木、静岡、奈良でナミハダニを対象として実績報告があったが、適用範囲については今後の検討が必要である。國本・今村(2017a)によると、ナミハダニを対象に浸漬法と散布法とを比較した試験で、補正死虫率が大きく異なる薬剤の存在を示し、その理由として虫体に直接薬液がかからないと十分な効果が発揮できない可能性に言及している。このように、葉片浸漬法が必ずしもすべての薬剤の感受性検定に適用可能ではないことは銘記すべきである。

- 1) 國本・今村(2017a) ナミハダニの薬剤感受性検定における簡易な接種法の開発。 植物防疫 71:154-158.
- 2) 國本ら(2017b) 回転式散布塔に代わる散布装置の構築。 応動昆 61:192-194.

6. 謝辞

今回の報告書をまとめるにあたって、アンケート調査にご協力いただいた都道府県関係者の皆様並びに薬剤感受性検定文献データベースの利用を許可いただいた農林害虫防除研究会殺虫剤抵抗性対策タスクフォースの皆様にお礼申し上げます。

4. 総合考察

リンゴ病害

褐斑病、黒星病を対象に防除所調査員が判別に苦慮する褐斑病、黒星病初期病斑識別のための遺伝子診断法開発を行なった。褐斑病菌、黒星病菌を検出するための LAMP プライマーを作製し実験室レベルでは検出が可能なことを確認した。また孢子トラップに捕捉された孢子から定量 PCR で孢子数を推定することを想定し孢子の付着したトラップからの DNA 抽出が可能であることを確認した。今後、リンゴ葉に生じた初期病斑を対象に LAMP 法の実用性について実証を行うとともにトラップに捕捉された孢子を対象に遺伝子診断が可能かどうかを検証する必要がある。

また調査員が効率的に圃場調査を行うためには病気の発生時期を適切に予測できることが必要である。岩手県で開発された褐斑病の初発日推定モデルを青森県、岩手県、長野県で評価を行ったところ一部モデルから外れる事例がみられた。地域間差、気象条件（降雨）の影響が考えられまた単年の結果でもあることから今後も検証の必要があると思われる。

褐斑病初発日推定モデルにもとづき黒星病初発日推定モデルの開発も合わせて行っている。参画公設試で実証を行ったところ概ね各地域での生態に一致するという結果が得られたが、これも単年の結果であるため今後の検証が必要である。

遺伝子診断法、初発日予測のいずれについても、今後調査員が使いやすい形にまとめていく必要がある。

イネウンカ

飛来および発生量調査には AI 自動カウントシステムが用いられ調査に要する人員や時間の削減が期待できる。ここではイネウンカ AI 自動カウントシステムの現地実証を行い、作業手順取りまとめに必要なデータの収集に取り組んだ。

粘着板の経時劣化を低減させるための保存方法として冷凍庫（-20℃）で保存することで虫体の劣化を遅らせることができ、粘着板回収後 10 日程度は AI カウントが可能と考えられた。一方で巡回調査中に一旦は車内で粘着板を保管することになるため車内に置いてから冷凍など長期保存に切り替えた場合の虫体の劣化状況を今後検討する必要がある。また粘着板の種類を検討した結果、白色板に比較して黄色板の方が捕獲能力が高いことが明らかになった。しかし黄色板は作業性が劣り AI 自動カウントでは使用できないことから、自動カウントを利用する場合には多少捕獲能力が低下しても白色板を利用することが適切と考えられた。

他に、払い落とし調査では、イネクロカメムシや Tagosodes 属ウンカなどは誤判別を引き起こすこと、粘着板の設置高は水面 10cm 上が明らかになった。

今後の作業手順作成に当たっては AI 自動カウントシステムを現地で活用するための問題点を洗い出し、調査員がシステムの限界を理解した上で効率的な調査に活用できるよう、取りまとめていく必要がある。

アザミウマ

施設野菜で問題となるアザミウマ類は微小であるため熟練者でなければ種の同定は難しく調査にかかる労力が大きい。高知県と農研機構の開発した画像診断アプリでは、施設野菜で問題となる5種のアザミウマ（ミカンキイロアザミウマ、ヒラズハナアザミウマ、ネギアザミウマ、ミナミキイロアザミウマ、チャノキイロアザミウマ）およびオスを自動判別でき熟練者でなくても容易に調査が可能であるとともに作業時間の短縮が図れることから新たな調査手法として期待されている。一方、本アプリは施設内での調査を想定して開発されたものであるため圃場調査に利用した場合にどのような問題があるのか未検証である。今年度は（1）診断精度、（2）診断所要時間及び経費、について検証を行った。

（1）について、いずれのアザミウマ類についても目視より自動判別のほうが多くの頭数がカウントされ、自動判別では誤検出が診断精度に影響することが明らかになった。野外に粘着板を設置した場合には施設内よりも多くの微小昆虫が捕獲されることが考えられ診断精度が低下する懸念がある。また学習済みのアザミウマについても時期によって体色が変わることが誤検出につながることも示唆された。このため診断精度の検証は季節的な要因も考慮して周年で実施する必要性が考えられた。

（2）については、アザミウマ類を正確に分類できない初心者は自動診断を利用したほうが真の値に近い捕獲頭数を得ることができると考えられる。一方で熟練者の場合には粘着板全体を見回し、捕獲数が少ない場合には目視のほうが早くかつ正確、捕獲数が多い場合で多少の誤差が許される調査であれば自動判別と、その時の状況によって使い分けることで効率的な調査が可能と考えられた。実用面を考えた場合、利用目的、場面ごとにアプリの評価方法を検討する必要がある。

薬剤抵抗性

薬剤抵抗性検定の多くは植物防疫事業の中で行われ、迅速な情報提供、現地指導に活用されている。一方で迅速な対応のため検定法の簡便化が行われさまざまなバリエーションが派生している状況である。あるいは薬剤抵抗性のモニタリングに必要な検定法が明示されておらず、各都道府県で異なる手法で検定が行われ検定結果の比較や集約が困難となっている。ここでは都道府県へのアンケート調査を実施し、集約した結果に基づき薬剤抵抗性の調査法として有用と思われる情報について整理した。現在問題の多い代表的な菌種、害虫種に対する薬剤抵抗性検定法について網羅的に整理されており調査を行う際に有益と考えられる。

参考資料

1. 設計検討会質疑応答（2024.6.24）

(1) リンゴ病害

佐藤（外部委員）：黒星も褐斑と同じレベルで解析（予察）するのか。

永坂（農研機構）：遺伝子検査については同時並行。気象データ活用は褐斑が先行しているので、黒星がそれを追う形で解析する。

猫塚（岩手県）：褐斑はある程度の温度と濡れ時間に関係してピークがあるが、黒星ではもっと温度が低くても孢子飛散が起きている。海外でも低温で孢子飛散が起こる報告もあるから、ちょっと違う方向での解析が必要かと思われる。

須崎（農研機構）：遺伝子診断の進行状況は。一次病斑は収集したりしているのか。

佐々木（農研機構）：既報のプライマーを作成し、また褐斑病では自前のプライマーも作成した。今後検討予定。一次病斑は収集したが、今年は少発生で数がそれほどないので、今年は今後出現する二次病斑でまず解析予定。

須崎：配列に違いがあるのであれば、各県に検証を求めるのか。

佐々木：県の担当者に相談してみる。

(2) イネウンカ

岡田（植防課）：実物を拝見したが、非常に高精度なのがわかった。現地で使用する際の課題を洗い出してほしい。

寺本（外部委員）：白色粘着板が使えるのか、黄色粘着板で AI が検知できるのかの検証と理解した。①実施機関ごとにかなりオプションな解析を行っているが、やっていけるのか。根幹がゆらぐことがないようにしてほしい。②既に飛来シーズンだと思うが解析は始めているのか。

眞田（農研機構）：①それぞれの県がこれまで違う方法でやってきているので致し方ない面もある。それぞれに即した方法で行ってもらいたいが、基本はもう定まっているので根幹はゆらがない。②皆さん始められている。

（以下各県からの補足）

楠畑（鹿児島県）：先週金曜から調査開始。

本田（山口県）：解析を初めていて、トビイロウンカを確認した。詳しくは明日調査。

高田（長崎県）：先週粘着板の1回目をしかけた。明日解析予定。

須崎（農研機構）：AI が使えるスペックの PC を各県公設試に導入するハードルの高さはどうか。

眞田：最低であれば Nvidia の GPU を積んで 30 万切るか切らないかくらい。16G のメモリを積んだ PC だと 50 万を超える。どちらもノートの場合。デスクトップに GPU を後付けしても使用はできるが、利便性を考慮するのであればノートのほうが良い。

（以下各県からの補足）

本田：別課題の良い PC を使用。

本田：1つの粘着板のスキャンに2分30秒ほどかかるが、これはこのようなものなのか。

眞田：スキャンは概ね1分程度。ウイルスチェックが邪魔をしているのでは。

高田：数十万のPCならば導入を考える。

楠畑：長崎と同じ。

須崎：AIリテラシーがないと使いこなせないのか。

眞田：誰でも使用可。エクセルの知識が少々必要。

(3) アザミウマ

岡田（植防課）：意見なし。

増井（外部委員）：施設野菜でのアザミウマ主要5種の判別は有用性が高い。①精度検証と②省力化はどうか。

下八川（高知県）：①はミナミキイロとチャノキイロで精度が低い。前者は体色とサイズが良く似た他のアザミウマがあるため。後者は体のサイズが小さいのでAIが判断するピクセル数が少ないため。

増井：ネガコンとポジコンの学習は。

下八川：ネガコンとして（種名メモ取れず）2種のアザミウマを学習させた。

増井：①についてはコナジラミを間違ふとのことなので、精度について4つの作目ごとの違いを合わせて検証して欲しい。作目ごとに混入してくるものが違うと思うので。②については(1)ヒトでの変動をどう思うか、(2)PCの性能の対費用効果、(3)解析する枚数について検討して欲しい。

須崎（農研機構）：2月いっぱいまで検証を行う計画だが、2月中に成績検討を行い、3月に成績提出のスケジュールなので、検証期間を再考して欲しい。

下八川：1～2月は圃場内の密度が高くないので1月までに調査を終えられる。

(4) 薬剤抵抗性

岡田（植防課）：薬剤検定法のまとめは今後全てについてやって欲しい。EC₅₀は各県で基本的なものがまとめられていると思うので、それを一定基準でまとめて欲しい。日植防の優れたバランス感覚でまとめられることを期待する。

栢森（外部委員）：剤によって検定法が違う。灰色かびは色々な系統があるし、褐斑は作物で菌の系統が違うがどうするのか。

富田（日植防）：防除法でやっている検討を整理し、過去のものも必要であれば用いる。5種を挙げたが、褐斑は野菜とリンゴがある。まずはやってみて専門家で議論を行って決めて行きたい。

栢森：EC₅₀の手法簡便化だが、薬剤抵抗性が初めての剤と菌の組み合わせであれば定石どおりのEC₅₀検定が必要だが、一度発生した県内での分布等の解析であれば簡便化（1濃度）でOKだと思う。手法の整理も一緒に行って欲しい。

富田：新たな耐性菌出現の場合は学会発表できるようなEC₅₀検定が必要だが、防除所等の検討であれば1濃度でOKだと思う。今後どうやって利用していくかを含めて提案していく。

須崎（農研機構）：専門家による協議は日植防主催で会議を開催するのか。

富田：その予定だ。

須崎：最終成果に協議を活かして欲しい。①会議のスケジュールと②規模はどう考えているか。

富田：①年明けに②防除所中心に複数名。「実施等」にあたるのが専門家協議。

須崎：自分も参加希望。

総合討論

須崎（農研機構）：完成度はどれくらい求められているのか。最終目標の何%くらい等。初年度前提の検討で良いのか。

岡田（植防課）：それぞれの課題で今年やれる範囲で行って欲しい。ある程度技術が出来上がっているものと、そうでないものは違うので。

須崎：AI の PC は 1 年ごとの返納なのか。

岡田：継続ならばそのまま使用で OK。

須崎：数年でプロジェクトが切れてしまったらそこで返納か。

眞田（農研機構）：返納は初めて聞いた。

須崎：年度が変わるごとの返納はない。

眞田：購入するか相談は振替が必要か。

須崎：購入は可能。プロジェクトが続く限り返納はない。

須崎：リンゴの遺伝子検出の実験の実証は必要か。

岡田：どこか別の課題で 2 箇所以上実証していれば良い。

外部委員講評

佐藤（リンゴ病害担当）：LAMP 法は診断に使えるようで興味があった。遺伝子診断はトラップから検出できるかがボトルネックになっていると思う。この点が早く成果が出せるよう期待している。

寺本（イネウンカ担当）：AI によるウンカの診断は精度が高く期待している。今は防除所でも予察ができる場所が少なくなっている、防除所がどこまで使いやすくなるかにかかっている。

増井（アザミウマ担当）：どの課題も生産現場へ向けた技術の提唱で、県の防除所が使うものである。アザミウマは JA 等でも使うケースがあるので、それを想定した開発をして欲しい。

栢森（薬剤抵抗性担当）：薬効低下が見られた場合、担当は 1 から文献をあつめるところから始めなければならず、時間がかかる。日植防の金銀の書籍（植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル）が教科書となるが、カバーしきれていないところを補足してくれれば、農薬メーカーや農協が使うと思う。

2. 成績検討会質疑応答（2025.2.25、薬剤抵抗性）

（1）殺菌剤

須崎（農研機構）：表④（炭そ病菌）あるいは⑤（*Cercospora*、*Corynespora* 菌）の標準的薬剤感受性検定法で背景が黄色塗りつぶしとなっている数値は自信がない（今後さらに検討が必要）としているが、本報告書での取り扱いはどうするか？

守川（日植防）：報告書としてはこの数値を出していくことになるが、これをそのまま標準的な手法と位置付けることは困難。

須崎：注釈を入れる必要があるのでは？

守川：この点以外にも今後精査が必要な部分があるので、報告書としてこの部分のみを黄色塗りつぶしで強調することは取りやめる。

城野（植防課）：現場で実施可能な労力の範囲での折衷案ということで標準的な薬剤感受性検定法をまとめていただいていると承知している。取りまとめ結果については殺菌剤耐性研究会と連携して日植防のホームページ等で公開するということだがスケジュールを教えてください。

守川：現段階でオープンにしようと考えているのは、文献リストとアンケート結果に基づく検定方法。この事業が終わってからでないと公開できない。また日植防内部での検討がまだ終わっていないので時期については具体的に申し上げられない。

城野：取りまとめた内容を成果報告書として公表することは問題ないか？

守川：事業の報告書として公開していただく。

（2）殺虫剤

須崎：取りまとめ内容について植防課からコメントをいただきたい。

河合（植防課）：とくにない。

外部委員等講評

栢森（薬剤抵抗性担当）：膨大なデータの取りまとめに取り組んでいただき感謝する。公表の方法については留意が必要。アンケートの段階で回答者が正式なマニュアルの作成と取り違えていると伺わせる回答もあった。あくまでも簡易法であること、学術的な担保とする上では、特に初報告の場合には別途検証が必要であることを明記されるのが良いかと思う。

河合（植防課）：この課題に取り組んでいただいたことに感謝申し上げる。現在、都道府県が行う薬剤抵抗性検定の手法は事情に応じて異なる手法が取られているところであり、その結果の取りまとめが困難になっている。また一方で都道府県においても統一された手法がないため、検定の実施が困難となっている。今回の事業により、殺菌剤、殺虫剤いずれも検定手法がある程度まとまり、都道府県にとっても有益な情報となったと考える。一方で今後の課題も見えてきたところであり、来年度も事業を予定しているため、今年度の事業成果をベースに、さらに検定手法の制度を統一させるようお願いしたい。

3. 成績検討会質疑応答（2025.2.26、果樹、水稻、野菜）

(1) リンゴ病害

農研機構（盛岡）

須崎（農研機構）：作製した孢子採集器は防除所などが使えるように設計図は公開可能か？

近藤（長野県）：特段非公開にしているものではないので必要があれば公開したい。細かな設計図はない。長野県内で必要なところに貸出を行っている実績もある。

須崎：資料 8 ページの電気泳動の写真について、バンドの濃さがテープに付着した孢子数を反映しているのか？

永坂（農研機構）：孢子数は概ね揃えている。テープからの切り出しを行なっているのでどうしてもテープ全部入れられるわけではないので、おそらく切り出しの方法の影響があったのかも。テープに孢子が付着した部分をどのように切り出していくかは今後検討が必要。

猫塚（岩手県）：褐斑病の LAMP プライマーは良好な結果が得られなかったことについて詳細な説明がほしい。

佐々木（農研機構）：海外で報告されている褐斑病のプライマーについてはうまく検出できなかった。国内の菌株と海外の近株では ITS 領域の配列が結構異なるのでそれが影響した？また鋳型が低濃度になると反応したりしなかったりすることについては系の見直しをした。

猫塚：海外では（褐斑病菌の）完全世代の報告がほとんどないので国内の菌と異なる可能性はある。

須崎：仕様書では遺伝子診断の系を確立することになっているが、次年度以降、実証が行えるよう県との調整は取っているのか？

佐々木：これから行う。青森の菌株でしか試していないので他県の菌株でも試したい。

永坂：3 月中に次年度の計画について各県と打ち合わせを行う予定。

須崎：LAMP はリアルタイム PCR 装置で検出を行っているが、診断する現場では必ずしも持っているわけではないのでヒートブロックのような簡易な装置でも検出できるようにしてほしい。また検出も蛍光色素を使っているが別の色素を使って目視で確認できるようにしてほしい。

佐々木：現状では PCR 装置がかなり普及しているので PCR 装置で検出可能な系で問題ないと思う。必要であればヒートブロックも検討したい。

佐藤（外部委員）：孢子採集器のスリットは同じ規格で揃えているのか？各県手製なのでばらつきはないのか？またスライドガラスに両面テープを貼つけて吸引しているのか？

永坂：スリットについては長野県から提供されたメモの通り加工している。トラップの作りは各県でバラバラと思うので、一つの例として作製して使っている。両面テープの使い方についてははまだ検討の余地があると思っている。

増井（外部委員）：将来的には実用場面で例えば落葉から取ったサンプルとか粘着テープに捕捉された孢子を LAMP 法で検出するという理解でよろしいか？LAMP 法は定性的な検出法

なのでテープではデータが出なかったという理解でよろしいか？また実際の胞子の飛散とか、発病がいつなのという時系列の現象と、遺伝子診断で検出されるかどうかの整合性をこれから検証するという理解でいいのか？

佐々木：落葉については対象として考えていない。葉の上に形成された一次病斑、あるいは胞子トラップのテープに捕捉された胞子からの検出を予定している。将来的には胞子飛散量が定量できるようになるといい。

青森りんご研

猫塚（岩手県）：褐斑病の初発を捉えるために花そう葉調査の規模拡大が必要では。

平山（青森県）：現状の 50 花そう 3 樹調査は初発をみつけるのに十分ではないと感じており、規模は大きくしたい。

猫塚：黒星病の感染リスク判定に用いている手法は、ナシなびの元となっている梅本の方法か、リンゴ黒星病で知られる Mill's Table のいずれか。

平山：梅本の方法。湿度の閾値を一部調整している。

佐藤（外部委員）：褐斑病の花そう調査で、対象の 50 花そうは固定しているか、調査の都度ランダムに選んでいるか。

平山：目通りの高さのものをランダムに選んでいる。

佐藤：初発見つけた後は調査対象を固定するか？

平山：初発までの調査としている。

佐藤：初発を見つける上でポイントとしている点などあるか。年次によっては目通りより高いところや低いところに出ることがある。

平山：（樹冠の）内側に比較的発生しやすいと感じており、重点的に見ている。判別しづらい病斑もあり、LAMP 法等にも期待するところ。

佐藤：調査精度が高くなると初発を捉える時期が早くなる可能性があると感じる。

平山：見落としている可能性はあると感じている。

猫塚：調査規模を大きくすると労力の問題がある。その上でも気象データを活用し、初発が予測される時期のみ調査規模を増やすなどのメリハリがつけられるようになれば良いと考える。

岩手県

佐藤（外部委員）：黒星病について、（Mill's Table の）感染危険度はどの段階を重視している？

猫塚：（Mill's Table の）危険度は L, M, S の 3 段階。M と S の生じた条件が主要な感染につながっていると考えている。防除は降雨に合わせて行う考え方もあるが、現状は開花期より早い段階での防除を指導している。

佐藤：降雨により危険度 M（や S）が発生した直後に治療効果のある薬剤を散布するという

指導につながるのか？

猫塚：そのような指導方法もあると考える。

増井（外部委員）：報告書の 18 ページにある有効積算温度と黒星病菌の子のう胞子飛散数の累積割合との関係について、地域差がある要因とは？

猫塚：子のうの成熟には水分が必要とされており、北東北では積雪があることからからより成熟が進みやすいのではと考えている。

増井：年次変動を含めたとしても、積雪の影響は大きい？

猫塚：地域間での防除時期とも関係していることから、地域（間の積雪の）差が反映されていると考える。

須崎（農研機構）：黒星病のモデルについて、岩手県は南北に長いが県内の地域差とも関係するか？

猫塚：黒星病の主要な発生地域が県北部であり、実態は不明。長野県より北に位置する山形県、秋田県の横手を通るライン上で（累積飛散割合が）増えていくような状況になるのではと考える。

須崎：長野県も南北に長いが、黒星病の発生状況に違いはあるか？

近藤（長野県）：主要な発生地域は北部と松本市までの地域、東部は比較的少ない。

後藤（オブザーバー）：褐斑病の（ポット樹を用いた）暴露試験、山形県でも実施しているが初発が捉えられない状況。改善方法などないか？

猫塚：R6 の 4-6 月は降雨が少なく、このことが影響している可能性がある。

長野県

須崎（農研機構）：褐斑病の初発を捉えるための花そう葉調査について、規模を大きくしていきたいとのことだが具体的にはどのような予定か。調査規模が大きいと予察事業の調査方法として難しくなるのでは。

近藤（長野県）：あくまで猫塚によるモデルの精度を確かめる目的で調査規模を大きくしようとしている。具体的な規模はまだ検討中だが、果そうごとの有無を調べるような調査方法で規模拡大できると考える。

猫塚（岩手県）：褐斑病の初発を捉える方法として圃場に苗木を植え付けているが、詳細を教えてください。

近藤：圃場に植えた苗木での褐斑病の初発が早いことを経験しているので、これまで子のう胞子の飛散調査と合わせて実施してきた。地面から葉までの距離が近い分、湿度が保たれやすいことも影響しているのではと考える。立木調査と暴露法との中間的な時期（の感染）を捉えられるのではと見ている。

佐藤（外部委員）：苗木の栽植密度や高さについて伺いたい。密植では葉の濡れ時間が増えることも予想される。

近藤：決まった方法はないが、1-2 年生の苗を 5 本くらい、樹から 20-30cm 離して植え付

けている。密植とは考えていない。葉の高さが高すぎると立木調査と条件が変わらなくなるので、接木部が地表面から 20cm くらいになるよう植え付けている。

佐藤：葉と地表面の落葉との距離が近いことが影響している可能性もある。

(2) イネウンカ

農研機構（合志）

須崎（農研機構）：調査手順書の作成というのは？事業の成績として出すのか、あるいは農研機構の SOP のようなものを作るのか？

眞田（農研機構）：SOP というのではなく事業の成果として出す予定。手順書は農研機構の審査を経てから出す。

須崎：Tagosodes 属ウンカは沖縄限定で九州や中四国では見られないのか？

眞田：そうは言い切れない。

矢代（農研機構）：未発表だが九州でもほんのちょっと採れるというのがわれわれの調査で分かってきた。ただし九州以北の水田で採れることはほぼないと考えている。

須崎：Tagosodes 属ウンカが粘着板に捕捉された場合 AI カウントでは誤認識されるが混入した場合には目視で除くのか？労力的に大変ではないのか？

眞田：県ごとの判断になるかと思うが数が多い場合にはサンプリングして全数を推定する。沖縄県と相談してどう扱うか検討したい。

矢代：Tagosodes 属は基本的にはヒエにつくので、ヒエが近くにないような水田で使うというような提案もできる。

須崎：マニュアルの中ではこういった弱点があるということも記述していただければいいと思う。

植防課：来年度の計画としては（カウントした結果を整理するための）エクセルのマクロを作ることがメインになるのか？

眞田：エクセルについては使い勝手の良い精度の良いものを開発していきたい。

植防課：先の話になるが来年の成果についてもマニュアルの方に反映させていくというイメージか？

眞田：手順書マニュアルについては新しい情報があったら更新していくというつもり。

増井（外部委員）：イネクロカメムシを誤判定したことに関係して AI カウントシステムで学習する時の教師データとしてウンカ類の他にネガティブコントロールとして他の虫を学習させたりはしているのか？

眞田：イネウンカ類 3 種以外は全部バックグラウンドとして学習させている。イネクロカメムシもバックグラウンドということで学習させれば除くことはできる。

長崎県

須崎（農研機構）：粘着板はある程度の日数保管しておくとも AI カウントの精度が落ちるとい

う話のだがこれは虫の色が変化するためなのか？

高田（長崎県）：色が変わったり虫の形がちょっと縮小してきたり、また体液が滲み出してきて形が変わっていくためと考えている。

須崎：冷凍庫は家庭用冷蔵庫のフリーザーでいいのか？

高田：問題ない。

高知県

須崎（農研機構）：鹿児島県は東西に広く移動に時間がかかるため、回収した粘着板をすぐにスキャンできないので保存をどうするかについて何か解決の方法はあるのか？長崎県から冷蔵庫で一晩ぐらいはもつというデータは示されたが。

楠畑（鹿児島県）：考えていかないといけない。今年度の試験では「岡持ち」と呼ばれる容器にそのまま粘着板を回収していたが、サイズが大きいので冷蔵庫も抱えていくとなると大変。小分けにできるような回収容器があれば。回収後の粘着板は常温下に置いている、例えば自動車の中も冷房があり宿泊先にも冷房はあるのでどこまでAI カウントの精度が低下するかは検証の必要がある。

眞田（農研機構）：粘着板回収後に時間経過とともに特に虫体の色の変化によって誤判定が出るのであれば色変換することによって精度の向上が見込めないかと考えたが、（虫の）形も変形するのであれば話が違ってくる。24 時間とか 48 時間であれば（虫の）形が変形するまでの劣化はないと思うが色はすぐ変わるので、次年度それも課題にできないか？皆さんが良ければ。

矢代（農研機構）：（虫の種類が）どれがどれか分からない状況で、全体として画像変換することになると思うがきついような難しい気はする。回収した粘着板を（冷やした状態で）運びやすくすることのほうが現実的な気がする。

山口県

須崎（農研機構）：屋根付きの白色粘着板が結構使えそうという説明だが、屋根の加工はご自分でされているのか？あるいはメーカーで出来合いのものがあるのか？

東浦（山口県）：自作している。出来合いのものがあればいいと思う。

城野（植防課）：AI カウントには白色粘着板の方がよいという話だが黄色粘着板にも調査の使い道があるのでは？

東浦：（捕捉の）効率が良いのとコスト面で黄色粘着板は色々な利点がある。これを使った調査も考えていく余地はある。予察手法とAI がうまく合流できないか。飛来調査については一番うまくいく方法を探していく。（粘着板を回収する時に）3 日あるいは4～5 日おいたりすることがあるので判定結果に影響するかどうか。SE トラップの面が白じゃなくて黄色だったら（捕捉）効率がかなり高まるのではないかと？粘着板を黄色にするのが難しいから容器の方での工夫が必要。

須崎：確認になるが今回白色粘着板で捕捉された虫については AI システムでカウントしているのか？それとも目視だけか？

東浦：今回の数字については目視の結果。AI カウントについては合志拠点で評価中。

眞田：現在、解析の途中。粘着板については取り扱いが楽になるように各県で工夫していただいているところ。

(3) アザミウマ

植防課：学習済みのアザミウマを自動診断が誤判定しているが施設内と圃場でのすべてを合計した結果なのか？

田村（高知県）：施設と野外を合わせた数字。

植防課：施設内だけに絞るとさらに精度が向上するのか？

田村：施設内に限定しても学習させていないアザミウマも排除した環境では精度はあまり変わらないと思う。

植防課：（アザミウマの）種ごとに識別していくのは防除指導上非常に重要と思うが、グループでアザミウマ類として検出することは可能か今後検討の予定は？

田村：種によって防除対策が異なるのでアザミウマ類として検出することは現状では考えていない。できると思うが。

植防課：（アザミウマが媒介する）ウイルスの問題もあり、対策が異なってくるので発生初期を捉えるなら種ごとの方がいいか？

田村：そのとおり。

増井（外部委員）：AI の検出の精度については誤検出と見逃しの問題があるということだが、アザミウマ識別 AI の考え方はイネウンカの AI と同じ考え方で成り立っているという説明がありネガコンの扱いをどうしているのか？対象とした 5 種類のアザミウマについて教師データとして学習させ、他のアザミウマや埃などはバックグラウンドとして学習させてるって理解でよろしいか？

田村：そのとおり。

（途中聞き取れず）

増井：今後、使用の場面を広げていった場合には、同じような問題が発生してくる可能性があるのか？

田村：実際に今回野外で設置したとはいえ施設栽培ハウスの周りに設置した状態なので、これを例えば露路圃場に設置した場合には環境が変わってくる可能性はある。

増井：（虫の色が）捕まえてから経時的に変色することで検出精度が変わってくるという話があった。アザミウマでは粘着板の回収を 1 週間か 2 週間に 1 回していると思うが、アザミウマの場合もそういった問題はあるのか？

田村：そこに関しては次年度、どれぐらいの期間保存したホリバーを使って診断に耐えるかをやってみたいと思う。実際に今年やった感覚としては、冷蔵庫に保存しているが、さほど

影響がないかなと思っているところ。というのもホリバーを回収するときにサランラップに包んだ状態で回収してそのまま保存をするので、その分劣化は進みにくいのではないかなと思う。

増井：ハードウェアの導入について診断 PC 等のセットは 34～35 万円もかかるような話だったと思うが、どういったところに導入することを想定しているのか？例えばえっと普及センターや JA が対象か？また PC1 台でどのくらいの面積の圃場をカバーできるのか？

田村：実用のところに関してはまだ検討中。現状では普及指導センター単位を想定。

もう一つ可能性として考えているのは JA の集出荷場に 1 台設置しておいて生産者が出荷するタイミングで自身の圃場の粘着板を持ってきて出荷してる間に診断するというような仕組みができたらと思う。診断の所要時間については、5～6 分程度なので 5～6 分で診断が終わると次の人が診断をできるというようなイメージ。

須崎：初年度ではあるがいろいろと問題点が抽出されてきた。この報告書だけをみて現場で診断を行う人たちが必ずしも理解できるかということそういうわけでもないのでマニュアルなりガイドなりを作っていただきたい。

田村：イネウンカ AI カウントのような手順書を作る必要があると考えている。

外部委員等講評

佐藤（リンゴ病害担当）：リンゴ病害に関する課題について、遺伝子検査の内容は概ね当初目的を達成したと考える。（褐斑病菌の）ITS の配列は海外の菌株と異なるのではと見ている。LAMP は実験系としては完成しているので、これをどう実装していくかが求められる。屋外で行う試験では異物の混入が起こるので阻害要因にならないかを不安に思っている。両面テープの比較についても、現場での利用を想定してさまざま検討した試験と見ている。気象データについては、各県が精力的に進めており、猫塚氏のモデルに基づいた確度の高い予察モデルができると期待している。（初発を捉える方法について）ポットによる暴露試験の失敗を自分自身も経験しており、長野県の苗木定植による調査に伝染源を用いた接種を組み合わせるなどすればより早く捉えられるようになる可能性はある。ただ、試験場レベルでは可能だが栽培現場では難しいので、調査法にどのように反映させていくか検討することも必要と考える。（褐斑病について）発生消長調査や果そのの感受性の調査などについても、岩手県が以前に黒星病で研究されており、今後の成果に期待したい。

寺本（イネウンカ担当）：事前に成績検討会に参加してまた本日聞かせていただいて設計会議の時は少し不安になるような言葉を言わせてもらったが方向性が見えてきたのは良かった。やはり黄色粘着板の併用というところを少し考えながらやっていくのがいいのではないかな。またマニュアル作成の話もあったが言葉や用語がちょっと難しいところもありまた統一も必要と感じた。あと今後これを使う防除所あるいは若い人たち、経験がない人たちにも、わかりやすいようなマニュアルを作成してほしい。あと課題として粘着板のことがある。

保存条件なり保存方法についてはまだ課題があるので宿題として取り扱っていただければと思う。AI については非常に楽になって効率よく仕事ができるという判明した。一方でウンカやアザミウマを正確に見れる人間が少なくなるのではないかという心配もある。逆に AI を使った診断結果をもとに、新しい人材を育成するような教材としての活用というところも今後考えていただけると非常に良いと思う。

増井（アザミウマ担当）：施設野菜ではアザミウマの種の判別は非常に現場から求められている技術。これまでは識別の技術を持った技術員さんや普及員さんをどうやって育てるかということで講習会とかをやってきたわけだが、AI はそれに代わるものとして非常に期待されるものと考えている。ただ現状ではまだ道半ばという印象があり、精度の向上について現場での実証とともに進めていただきたい。アザミマの分類については現地実証の段階ではまだミカンキイロが発生していない状況だったということで、ヒラヅとの見分けについてはまだ検証が済んでいない、誤検出の問題あるいは学習した種間での混同のようなこともあるようなので、このようなところを改良していただき現場で使えるような段階になることを期待している。