

植物防疫

3

2023
VOL.77

Plant Protection

特集：海外から侵入したシストセンチュウ類の
防除について



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



無処理 残葉率 0%



A剤 残葉率 20%



グレースシア乳剤 残葉率 90%

食害される前に駆除できる。*

野菜・
茶用
殺虫剤

グレースシア[®]乳剤



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

*1 作物によって適用害虫は異なります。詳しくはグレースシアホームページをご覧ください。

*2 効果は害虫の発生密度や天候、栽培環境等によって異なる場合があります。

※ グレースシア乳剤のハスモンヨトウ終齢幼虫に対する速効性試験 2018年日産化学生物科学研究所（社内試験）

【試験方法】虫体浸漬、処理1時間後飼入、20時間後撮影



お客様窓口

TEL.03-4463-8271
(9:00~17:30 土日祝日除く)

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



日産化学株式会社

病害虫防除の新たな切り札！

～それぞれの特長で効果的な防除を～

ハダニ類・コナジラミ類・
うどんこ病防除に！
有機JAS対応！

®はサンケイ化学(株)の登録商標

殺虫殺菌剤

サンクリスタル[®] 乳剤

有効成分：脂肪酸グリセリド …… 90.0%



コナジラミ類・アザミウマ類・
ハダニ類・ハモグリバエ類・
チョウ目害虫の防除に！

サンケイ

殺虫剤

ダブルシューターTM SE

有効成分：脂肪酸グリセリド …… 75.0%
スピノサド …… 5.0%

TM® コルテバ・アグリサイエンスならびにその関連会社商標



濡れ性・速乾性・
汚れ軽減で選ぶなら！

展着剤

ブレイクスルー[®]

BREAK THRU[®] ®はアルツケム社の登録商標

有効成分：
ポリオキシアルキレンオキシプロピルヘプタメチルトリシロキサン…80.0%
ポリオキシアルキレンプロペニルエーテル ……20.0%



サンケイ化学株式会社

本 社 鹿児島市南栄2丁目9番地 TEL (099) 268-7588
東京本社 東京都台東区上野7-6-11 TEL (03) 3845-7951
東京営業部 埼玉県深谷市幡羅町1-13-1 TEL (048) 551-2122



ナティーボ®

フロアブル

かんきつでも、かきでも、
うめでも、ももでも、
ナティーボ®なら、できる。

かんきつの黒点病、そうか病、
灰色かび病、炭疽病(さび果)の防除に
収穫前日まで黒点病防除に

かきの落葉病、炭疽病、
灰色かび病、うどんこ病の防除に

ももの灰星病、炭疽病、
うどんこ病、黒星病の防除に

うめの黒星病、すす斑病、
灰色かび病の防除に



製品情報の詳細は
こちらから

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

バイエル クロップサイエンス株式会社

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

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

新規有効成分 キノプロール含有

ミキワ®20
フロアブル

農林水産省登録
第24408号

キノプロール
KINOPROL®
ACTIVE INGREDIENT



ミキワ
病害を水際でブロック!

- 新規作用機構で既存剤の耐性菌まで防除。
- 浸透移行性に優れ、しっかり予防。

登録
作物

りんご、なし、おうとう、もも、ネクタリン、
小粒核果類、かき、ぶどう、かんきつ、茶



日本曹達株式会社

東京都千代田区大手町2丁目2番1号
お問合せ (03)3245-6178(平日9~12時、13~17時)



最新の登録内容

®は日本曹達(株)の登録商標

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

目 次

巻 頭 言

巻頭言

栽培技術の変化と病害虫防除	門田 育生	1
---------------------	-------	---

特集：海外から侵入したシストセンチュウ類の防除について

ジャガイモシロシストセンチュウおよびテンサイシストセンチュウの確認と緊急防除

.....	前田清明・前田晃輝	2
マルチプレックス PCR 法によるジャガイモシストセンチュウ類同時診断技術の改良	酒井 啓充	6
ジャガイモシロシストセンチュウ緊急防除における密度低減技術の効果と特徴	伊藤 賢治	11
ジャガイモシロシストセンチュウ抵抗性バレイショ品種の開発と課題	浅野 賢治	17
土壌サンプルからのテンサイシストセンチュウ DNA の検出と定量	浅水恵理香・岩堀英晶・北林 聡	23
テンサイシストセンチュウに対する各種殺線虫剤の防除効果	金子政夫・北林 聡	27
テンサイシストセンチュウ対策としての輪作に使用可能な作物	岡田 浩明	34

新技術解説

農薬の製剤・施用法の最近の動向	辻 孝三	39
-----------------------	------	----

新農薬の紹介

新規殺菌剤キノプロール®（イプフルフェノキン）の特長	藤井 聡	48
新規殺虫剤インスカリス®（セフィーナ®DC）の特長	竹田 遼	52

農林水産省プレスリリース（2023.1.1～2023.1.31）	38
新しく登録された農薬（2023.1.1～2023.1.31）	60～62
登録が失効した農薬（2023.1.1～2023.1.31）	5
発生予察情報・特殊報（2023.1.1～2023.1.31）	38

【表紙写真】

上段：ジャガイモシロシストセンチュウ（Gp）に効果のある捕獲作物（トマト野生種）（左），テンサイシストセンチュウ（Hs）の雌成虫と幼虫（中央），Gpとジャガイモシストセンチュウに抵抗性をもつバレイショ品種‘きたすずか’（右）
下段：ふだんそう属のHsによる被害根（左），根に寄生するHs雌成虫（中央左上），Gpの割れたシストから出た卵と幼虫（中央右上），緊急防除で使用された土壌消毒機（中央下），Gpの雄成虫と幼虫（右）



農林水産省登録
第22801号

殺ダニ・殺虫剤

サフオイル[®]乳剤

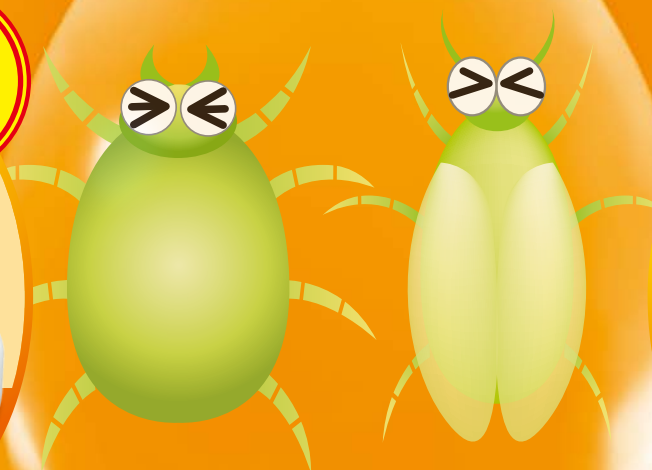
Suffoil

調合油乳剤 1ℓ、5ℓ入

一歩上の物理防除剤
残効性・殺卵効果もあるんです！

有機JAS
使用可能農薬

5ℓ
大型規格
発売中



天然物由来
紅花油・綿実油



サフオイル乳剤の特長

- 物理的に作用する剤であり、抵抗性が発達するおそれが殆どないので連続散布が可能です。
- 既存の薬剤に対して抵抗性の発達したハダニ類及びコナジラミ類にも効果を発揮します。
- ハダニ類への残効性が認められています。
- 殺卵活性も認められ、ハダニ類及びコナジラミ類の全発育ステージに対して有効です。
- 天敵や有用昆虫に対する影響が小さく、IPM(総合的病害虫管理)に適しています。
- 有効成分は食用の植物油なので、安心して収穫前日まで散布可能です。
- 日本農林規格(有機JAS)別表2の有機農産物に使うことのできる農薬(調合油乳剤)です。

®はOATアグリオ(株)の登録商標

本製品は、国立研究開発法人理化学研究所の研究成果が利用されています。

 OAT アグリオ株式会社

<https://www.oat-agrio.co.jp/> 〒101-0052 東京都千代田区神田小川町1-3-1

コールセンター: ☎0120-210-928 (9:00~12:00, 13:00~17:00)
土・日・祝日をのぞく

巻頭言

栽培技術の変化と病虫害防除

一般社団法人日本植物防疫協会 技術顧問 かど た いく お
門 田 育 生



私が生まれ育った昭和の時代と今とを比較すると、身の回りで様々なものが変化している。パソコンは既に広く普及し、携帯電話、メール、カーナビ等当時想像もしなかった機器やサービスが普通に使えるようになった。まさに技術革新であり、大なり小なり誰もがその恩恵を受けていると思われる。一方、農業分野はどうであろうか。田園風景を眺めると昔も今も変わらないように見えるが、そこに投入されている技術は大きく進化している。例えば水稻の機械移植とそれに対応した箱育苗方法である。この技術が開発され広く普及したのは1970年代であると思うが、農林水産省の統計を見ると、10a当たりの米生産全体にかかる労働時間が1960年で173.9時間であったものが、1980年には64.4時間となり、2020年には21.6時間と急激に少なくなっている。これには機械移植技術の登場が大きくかかわっているものと考えられ、水田耕起や収穫・調製等の機械化にも影響して効率的な水稻栽培への転機になったことを示している。しかし、このような栽培体系の大きな変化は、それまでにほとんど発生せずに問題にはならなかった病害が育苗時に多発し、機械移植育苗の不足を招くという問題点も同時に発生した。そこで、病害発生に関与する病原菌の特定やそれらの発生生態を解明するとともに、病原体に効果がある薬剤を明らかにすることで防除体系が確立することになるが、農薬という防除技術の登場も農業の機械化に大きく貢献しており、今から考えると時代の要請であるとも言える。

ところで、食料は人間が生きていくうえで必須のもののなので、毎年確実に一定量を生産する必要がある。そのため、平野部では隅々まで田畑が広がり、このような広い面積を確保しているのであれば、国内の食料生産に問題はないとつい思ってしまうが、各国の耕地面積を人口で割った一人当たりの面積は日本が約3.5a(350m²)であるのに対して、ドイツが約20a、フランスが約44aであり、日本の耕地面積は意外と少ない。そのため、日本の農業は諸外国に比べると集約的に行う必要があり、また一方で持続的な作物生産体系も必要で、特に病虫害防除は今でも避けて通れない重要事項となっている。そのため、防除方法についても新たな技術が開発され、既存技術もさらなる改良が加えられる等、今も進化が続いている。

現在の病虫害防除は薬剤防除に大きく依存しているとよく言われるが、そうであろうか。日本植物防疫協会発

行の「農業概説2022」によると、農薬生産金額は1972年の1,000億円から1996年には4,455億円となったが、その後は横ばいから減少の傾向が見られ、2020年には3,936億円になっているとある。このことは、作物生産における薬剤の必要性は今でも変わっていないが、発生予察の利用や病虫害の発生生態に基づいて必要な農薬を適期に処理するようになったことや、耐病性品種の育成や新たな防除技術との組合せにより防除効果が向上したことで、農薬使用量が一定のペースで維持されるようになったと思われる。

とはいえ、無駄な薬剤使用は中止し、防除効果をさらに高めて使用量を削減できれば農家の経営にも大きなメリットとなる。そこで、例えば植物が発病するには主因(病原菌)、素因(植物の特性)、誘因(環境的要素)の3要因が揃うことが必要だと言われており、主因である病原菌の密度を低下させる目的で使用しているのが薬剤であるが、その効果を持続的かつ効果的に発揮させる工夫が必要である。それには素因となる作物の耐病性と組合せることが最も重要であり、既に実施されている。残るは誘因を組み込んだ防除であるが、これが難しい。誘因の要素としては、栽培時における施肥量、土壤水分、温湿度等様々なものがあるが、作物生産にはどの要素においても一定の水準が必要であり、その水準内で病原菌の感染・発病を抑えるように制御するのは非常に困難だからである。しかし、近年各種センサーが高機能化かつ低価格化し、それらによって得られたデータを使って施設栽培の環境であればかなり正確に制御できるようになった。これにより、一部の病害では既に防除につながる成果が出てきている。このように、ようやく発病の3要因を制御あるいは監視する技術が揃い始めたので、今後はそれらを効果的に統合して防除に適用することが重要と考えられる。

作物の栽培技術の変化に対応して病虫害防除技術も変化してきたが、これからも栽培技術に対応した防除技術の開発は重要である。現在、ICTやAI、ロボット等の先端技術を用いた栽培管理技術が急速な発達を遂げる中で、病虫害防除においてもそれらを利用した防除体系の開発が進められている。水稻の苗代育苗から機械移植のための箱育苗へと栽培体系が劇的に変化することにより技術革新がなされたように、農作物の安定生産に向けたさらなる技術革新がなされることを期待している。

(「植物防疫」編集委員)

特

集

海外から侵入したシストセンチュウ類の防除について ジャガイモシロシストセンチュウおよび テンサイシストセンチュウの確認と緊急防除

農林水産省 消費・安全局 植物防疫課 ^{まえだ}前田 ^{きよあき}清明・^{まえだ}前田 ^{こうき}晃輝

はじめに

2015年8月に北海道網走市内の一部地域においてジャガイモシロシストセンチュウ (*Globodera pallida*, 以下「Gp」という。)が、また、2017年9月には、長野県諏訪郡原村の一部地域においてテンサイシストセンチュウ (*Heterodera schachtii*, 以下「Hs」という。)が国内で初めて確認された。これらシストセンチュウは、生活史の中にシストという段階を持つ植物寄生性線虫であり、植物の根に寄生、養分を吸収し、寄生した植物の生育を阻害することで、植物を枯らすこともあるため、農業生産に大きな被害を与える。このため、Gpでは2016年10月から、Hsでは2018年4月から植物防疫法に基づく緊急防除を開始し、これらシストセンチュウのまん延防止対策や土壌消毒等による密度低減を図るための防除対策を講じている。

I ジャガイモシロシストセンチュウ

1 生態と被害

(1) Gpは、植物の地下部(主に根)に寄生する。本線虫に寄生されたバレイショは生育が不良となり、下葉からの枯れ上がりや枯死が見られ、減収となる。

(2) 根に寄生した若い雌線虫は、最初は細長い糸状であるが、成熟、交尾後に体内に数百個の卵を持つシストを形成する(図-1)。

(3) 土壌中にシストの状態では15年以上の生存が可能である。また、Gpはほとんど移動しないため、シストを含んだ土壌が、ジャガイモや農機具等に付着して、人為的に移動する。



A: 雄成虫 B: 幼虫 C: シスト

注1: 雄成虫は1.2 mm程度、幼虫は0.5 mm程度。

注2: シストとはメス成虫が変化したもので直径0.6 mm程度。

図-1 ジャガイモシロシストセンチュウ

2 国内での確認状況と緊急防除の実施

(1) 網走地区

2015年8月に北海道網走市内の一部地域において、国内で初めてGpが確認されたことを受け、2016年10月から植物防疫法に基づき緊急防除を実施し、その後の調査でこれまでに網走市の11大字および大空町の1大字の計12大字においてGpが確認された。

(2) 斜里地区

2019年8月に北海道斜里町の一部地域において、新たにGpが確認され、2020年6月から緊急防除を実施し、その後の調査でこれまでに斜里町の7大字および清里町の1大字の計8大字においてGpが確認された。

3 緊急防除の内容

Gpの緊急防除では以下の対策を実施している。

(1) 作付けの禁止

Gp確認圃場におけるバレイショなどのナス科植物の作付けを禁止。

(2) 移動の制限

防除区域内で生産されたナス科植物の地下部(バレイショ)やその他植物の地下部であって土の付着したもの

Outbreak and Emergency Pest Control of pale cyst nematode (*Globodera pallida*) and beet cyst nematode (*Heterodera schachtii*).
By Kiyooki MAEDA and Koki MAEDA

(キーワード: ジャガイモシロシストセンチュウ, テンサイシストセンチュウ, 緊急防除)

(テンサイなど)の移動を制限(移動する場合は、植物防疫官が土壌の分散防止措置などが講じられていることを確認)。

(3) 廃棄

防除区域内に存在する移動制限植物などのうち、Gpが付着し又は付着しているおそれがあるもので、Gpのまん延を防止するため必要があると認めて植物防疫官が指定するものを廃棄。

4 Gp 確認圃場での防除

Gpが確認された圃場において、対抗植物の植栽や土壌くん蒸による防除を実施し、Gp密度の低減を図ってきたところ(図-2)。

5 これまでの緊急防除の実績

防除対策の結果、大字内のすべての圃場でGpが検出されなくなった場合は、適宜、防除区域から除外しており、これまでに2市町5大字を防除区域から除外している。また、防除の進捗に応じ、大字内の発生状況や地理的条件(河川など)等を踏まえ、Gpのまん延リスクが低いと判断された場合は、大字の一部地域を除外している。

2022年12月時点では、網走地区と斜里地区を合わせて3市町15大字を防除区域に指定し、対策を講じている。

6 防除区域における防除指導

防除対策によりGpの密度を低下させたとしても、その後の農機具の洗浄や輪作等の適切な管理が実施されなければ、Gpが再発したり、新たな圃場でGpが確認されたりするおそれがある。

このため、北海道、市町村および農業者団体は、国と連携して以下の指導を生産者に対して、実施していくことが必要である。

(1) 農機具などを移動する場合は、土の付着がない

ことを確認することにより、土壌の分散防止を図ること。

(2) Gp発生履歴のない圃場およびGpが検出されなくなった圃場においてパレイショを栽培する場合は、積極的にGp抵抗性品種を選択するとともに、非寄主植物を組合せて3年以上の輪作体系を組むこと。

(3) 野良生えの処理を徹底すること。

7 今後の予定

2023年度は、2022年度までに実施した土壌検診の結果、Gpが検出された圃場を対象に対抗植物の植栽などによる防除対策を実施する。

II テンサイシストセンチュウ

1 生態と被害(図-3)

(1) HsはGpと同様、植物の地下部に寄生する。

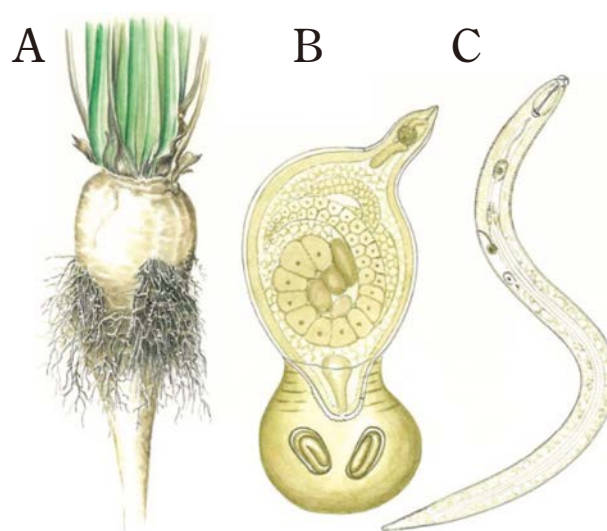


図-3 テンサイシストセンチュウ

A: ふだんそう属の被害根。

B: 雌成虫。

C: 幼虫。



図-2 対抗植物および防除機器(左:対抗植物〈トマト野生種〉,右:土壌消毒剤灌注機器)

出典:(対抗植物原図)国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター。

本線虫に寄生されると、生育の遅れや黄化症状、地上部のしおれ等が見られ、枯死する場合もある。被害株の地下部はひげ根が異常に増え、奇形となり収量が著しく低下する。

(2) 雌成虫は、交尾後体内に多数の卵を形成し保持する。雌成虫は死ぬと、体表皮は硬化して褐色のシストとなり、内部に多数の卵を内蔵する。

(3) Hs 土壤中にシストの状態でも6年以上の生存が可能である。また、Gpと同様ほとんど移動せず、1年からあるいは一生のうちに数cmから数十cm移動する。よって農機具や、車両、風雨によって移動する。

2 国内での確認状況と緊急防除の実施

2017年9月に長野県諏訪郡原村の一部圃場で、Hsが国内で初めて確認されたため、発生範囲を特定する調査を実施した結果、同村内の117圃場約35haでHsの発生が確認されたことを受け、Hsのまん延を防止するため、植物防疫法に基づき「テンサイシストセンチュウの緊急防除に関する省令」等が交付され、2018年4月から緊急防除が実施されている。

3 緊急防除の内容

Hsの緊急防除では以下の対策を実施している。

(1) 作付けの禁止

Hs 確認圃場において、しょくようだいおう、トマト、ほうれんそう、あぶらな属植物、ふだんそう属植物（以下「あぶらな属等」という。）の作付けを禁止。

(2) 移動の制限

あぶらな属等の地下部および、あぶらな属等以外の植物の地下部であって土が付着したものの移動を制限（移動する場合は、植物防疫官が土壤の分散防止措置などが講じられていることを確認）。

(3) 廃棄

防除区域内に存在する移動制限植物などのうち、Hsが付着したまたは付着しているおそれがあるもので、Hsのまん延を防止するため必要があると認めて植物防疫官が指定するものを廃棄。

4 Hs 確認圃場での防除

Hsが確認された圃場において、土壤くん蒸（D-D剤）、捕獲作物による防除を実施し、Hs密度の低減を図ってきたところ（図-4）。

5 これまでの緊急防除の実績

当初Hsが確認された圃場については、防除の結果、2019年度までにはすべての圃場でHsが確認されなくなったが、寄主植物を作付けした一部の圃場ではHsが再検出され、また、茅野市、富士見町および原村の一部圃場では、新たにHsが確認された。

2021年度には、これまでHsが確認されたことのある圃場での防除体系の実証試験、2021年度に新たにHsが確認された圃場でのD-D剤による防除を実施した結果、17圃場でHsが検出されたこと等を踏まえ、緊急防除の期間を2年間（2024年3月31日まで）延長し、引き続き対策を講じている。

6 防除区域における防除指導

Hsの再発を抑えるためには、土壤くん蒸や捕獲作物による防除のほか、農機具、資材の洗浄等の土壤のまん延防止だけでなく、非寄主作物の栽培や輪作が有効である。よって2022年度から、輪作を前提とした防除体系について、現地での実証試験を実施している。

7 今後の予定

2023年度は、Hs発生圃場を対象に防除対策を実施するとともに、2022年度から継続している輪作を前提と

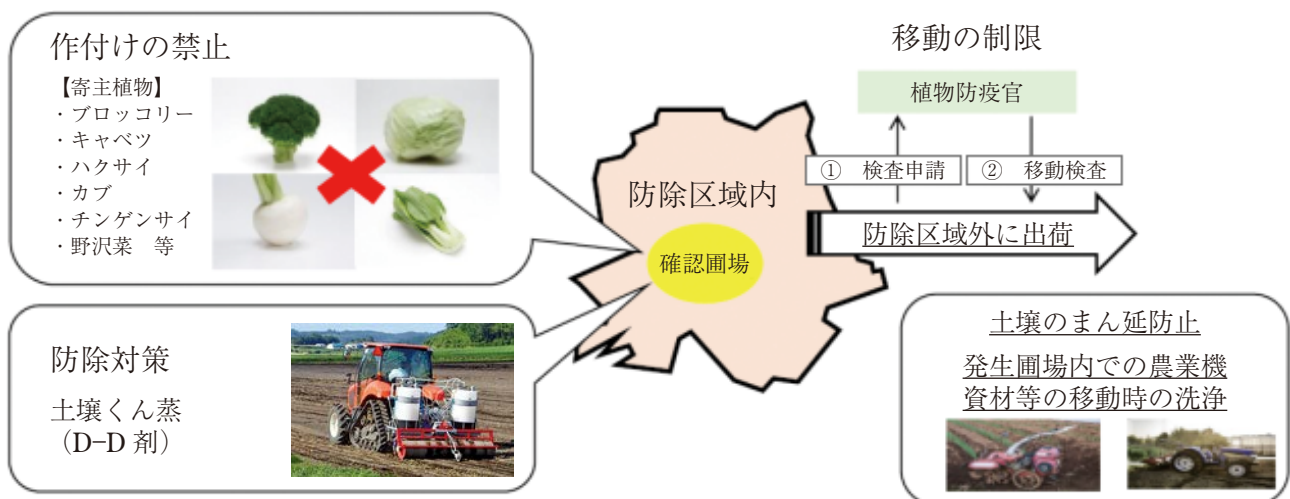


図-4 Hsの緊急防除の取組概要

した防除体系の実証試験を引き続き実施する。

お わ り に

Gp・Hs の緊急防除の円滑な実施には、関係各位の協力が不可欠である。今後、地域の農産物の安定生産が図られるよう、引き続き緊急防除の実施にご理解とご協力をいただくようお願いしたい。

また、検出されないことが確認された圃場や防除区域から除外された地区においても、引き続き発生リスクがあることを認識し、輪作、抵抗性品種の活用、農機具の洗浄、野良生え処理などの基本的な取組を徹底するなど、地域が一体となって当該線虫のまん延防止対策に積極的に取り組んでいただきたい。

登録が失効した農薬 (2023.1.1～1.31)

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

「殺虫剤」

- クロマフェノジド・シラフルオフェン粉剤
21339：マトリックジョーカー粉剤 DL（日本化薬株式会社）23/1/31

「除草剤」

- トリクロピル粉粒剤
14708：石原ザイトロン微粒剤（石原産業株式会社）23/1/11
- カフェンストロール・ダイムロン・ベンスルフロンメチル粒剤
19612：クサトリエース H ジャンボ（クミアイ化学工業株式会社）23/1/31
- カフェンストロール・ダイムロン・ブロモブチド・ベンスルフロンメチル水和剤
20248：ラクダープロフロアブル（クミアイ化学工業株式会社）23/1/31
- カフェンストロール・ダイムロン・ブロモブチド・ベンスルフロンメチル水和剤
20972：ラクダープロ L フロアブル（クミアイ化学工業株式会社）23/1/31
- インダノファン・クロメプロップ・ダイムロン・ベンスルフロンメチル粒剤
21162：ダイナマン D1 キロ粒剤 51（クミアイ化学工業株式会社）23/1/31
- インダノファン・クロメプロップ・ダイムロン・ベンスルフロンメチル水和剤
21180：ダイナマン D フロアブル（クミアイ化学工業株式会社）23/1/31
- カフェンストロール・ダイムロン・ブロモブチド・ベンスルフロンメチル粒剤

- 21188：ラクダープロ 1 キロ粒剤 75（クミアイ化学工業株式会社）23/1/31
- カフェンストロール・ダイムロン・ブロモブチド・ベンスルフロンメチル粒剤
21190：ラクダープロ 1 キロ粒剤 51（クミアイ化学工業株式会社）23/1/31
- インダノファン・クロメプロップ・ベンスルフロンメチル粒剤
21240：ダイナマンジャンボ（クミアイ化学工業株式会社）23/1/31
- フェントラザミド・ブロモブチド・ベンスルフロンメチル粒剤
21423：クサトリー DX1 キロ粒剤 75（クミアイ化学工業株式会社）23/1/31
- フェントラザミド・ブロモブチド・ベンスルフロンメチル水和剤
21535：クサトリー DX フロアブル H（クミアイ化学工業株式会社）23/1/31
- フェントラザミド・ブロモブチド・ベンスルフロンメチル水和剤
21537：クサトリー DX フロアブル L（クミアイ化学工業株式会社）23/1/31
- フェントラザミド・ブロモブチド・ベンスルフロンメチル水和剤
21605：クサトリー DX1 キロ粒剤 H75（クミアイ化学工業株式会社）23/1/31

「その他」

- 生石灰
3971：マルヤマ印農薬用生石灰（近藤石灰工業株式会社）23/1/17

特集

海外から侵入したシストセンチュウ類の防除について マルチプレックス PCR 法によるジャガイモ シストセンチュウ類同時診断技術の改良

国立研究開発法人 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

さか い ひろ みち
酒 井 啓 充

はじめに

シストセンチュウ類は植物の根に寄生・加害する植物寄生性線虫の一群である。感染態である2期幼虫が根に侵入・定着し、栄養を収奪しながら成育し、3回の脱皮を経て丸く肥大した雌成虫となる。乳白色の体の大半は根の外に露出し、体内に産卵後死亡すると体皮が硬化・褐変してシストと呼ばれる耐久態となる（図-1）。シスト内にある卵の中で発生した1期幼虫は卵内で1回脱皮して2期幼虫となってから休眠し、時間経過や寄主植物の根からの刺激などに応じてふ化する。

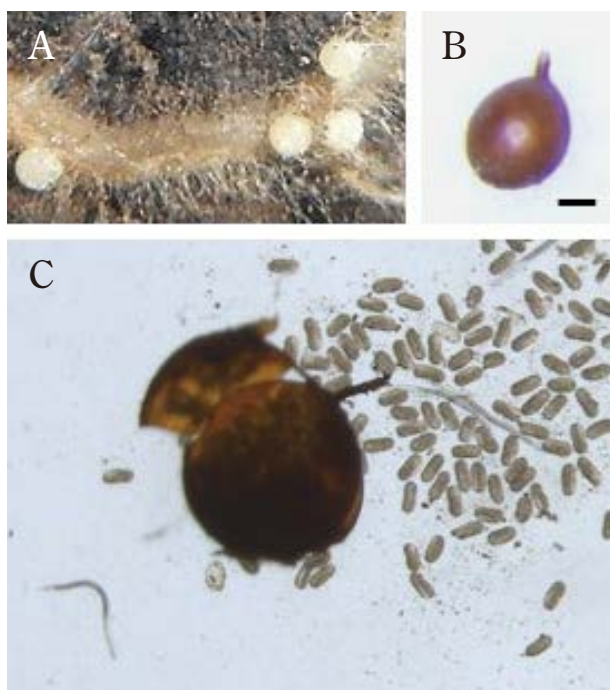


図-1 ジャガイモシストセンチュウ
A: ジャガイモの根に寄生する雌成虫。
B: シスト（バーは0.2 mm）。
C: 割れたシストから出た卵と幼虫。

Improvement of Reliability in Multiplex PCR Assay for Diagnosis of the Potato Cyst Nematodes. By Hiromichi SAKAI

（キーワード：ジャガイモシストセンチュウ，偽陰性，偽陽性，同時診断，キャリーオーバー，UNG）

バレイショの根に寄生して加害するジャガイモシストセンチュウ類は主にジャガイモシストセンチュウ（*Globodera rostochiensis*, 以下 Gr）およびジャガイモシロシストセンチュウ（*G. pallida*, 以下 Gp）の2種を指すが、Grは1972年に、Gpは2015年に国内で初めて確認された。Grに対しては防除対策の一環として抵抗性品種が多数育成されてきており、‘キタアカリ’や‘とうや’等のGr抵抗性バレイショ品種の青果を小売店で見かけることも珍しくなくなっている。これらの抵抗性品種は少なくとも日本でこれまでに確認されているGr個体群に対して完全な抵抗性を発揮することから、Gr抵抗性品種の普及が対策として有効である。これに対してGpは、こうしたGr抵抗性品種にも寄生してしまうことなどから、発生リスクの極めて高い有害種として発生地での根絶防除の取り組みや抵抗性品種の開発・導入が進められている。このように、これら2種に対してそれぞれ異なる対策を講じる必要があることなどから、その識別は非常に重要である。しかも、Gpの発生圃場においてGrが同所発生している事例もあるが、両種は互いに近縁であることから形態学的特徴のみで識別することは容易ではない。

PCR法の登場以降、日本において*Globodera*属シストセンチュウの識別はPCR-RFLP法が標準的に用いられてきた（植原ら，2006）。この方法は、特定の遺伝子領域のDNA断片をPCR増幅し、それを制限酵素によって切断した際の断片長の種間差を電気泳動像により確認するというもので、複数種の同時診断が可能であるが、PCR増幅に加えて制限酵素処理を要し、通常半日～1日程度かけて診断に至る。一方、海外においてはGpおよびGrにそれぞれ特異的なプライマーを組合せたマルチプレックスPCR法による2種同時診断技術が複数報告されており、1回のPCR反応で両種を同時に識別・検出できるため、PCR-RFLP法に比べて簡便かつ迅速な同時診断が可能である。しかし、既往の方法では、陰性となった場合にそれが非標的種ある場合（＝真陰性）とPCR増幅やDNA抽出に失敗した場合（＝偽陰性）との

区別がつかないという問題があった。また、特に診断を頻繁に繰り返した場合、過去の PCR 産物が反応系に混入するキャリーオーバーによると見られる偽陽性が生じる問題が認められた。そこで筆者らは、これら偽陰性および偽陽性を防げるように改良したマルチプレックス PCR 法によるジャガイモシストセンチュウ類の同時診断技術を新たに開発した (SAKAI et al., 2019)。本稿では、PCR 法による診断技術の偽陰性や偽陽性の防止といった信頼性にかかわる改良を中心に紹介する。なお、本技術の詳細については「ジャガイモシストセンチュウ類 2 種の同時判別技術標準作業手順書」(https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/laboratory/naro/sop/151619.html) として公開されているので参照願いたい。

I 共通プライマーの組込みによる偽陰性の防止

既往のマルチプレックス PCR 法による診断技術では、標的種である Gp と Gr のみの DNA 断片を増幅し、それ以外の種 (非標的種) である場合には DNA 断片の増幅がないことから、電気泳動像でバンドが見られない場合に、それが非標的種であるためか、そもそも PCR 増幅や DNA 抽出に失敗した結果であるのか判別できない (図-2)。そこで、少なくともシストセンチュウ類に共通して DNA 断片を生じるプライマーをマルチプレックス PCR 診断技術に組入れることとした。標的領域としては、種間で安定してプライマーの適合が見込める保存領

域を有する核リボソーム RNA 遺伝子が適当であると判断した。そこで、約 450 bp の PCR 産物を生じるように ITS2 領域を挟んで 5.8S rRNA 遺伝子と 28S rRNA 遺伝子にプライマーを設計した (以下、共通プライマー)。また、種特異的プライマーは、ミトコンドリア DNA の非コード領域上に Gp および Gr でそれぞれ 287 bp および 150 bp の DNA 断片を生じるように設計した (表-1)。これらを同じ PCR 反応液中に組合せて (マルチプレックス) 用いることにより、1 回の PCR 増幅で対象サンプルが Gp なのか Gr なのか (=陽性)、あるいは別のシストセンチュウなのか (真陰性)、そもそも実験の失敗なのか (=偽陰性)、それぞれ区別できるようにした (図-3)。なお、対象サンプルが Gp や Gr である場合、共通プライマーによる DNA 断片の増幅は弱くなる。診断では、Gp および Gr の増幅産物を確認することが主目的であるため、それぞれの特異的プライマーによる増幅効率が共通プライマーよりも上回るように設計しているためである。供試サンプルが非標的種であった場合には、共通プライマー以外に PCR 増幅に寄与するものがないため、十分な増幅産物を生じる。

また、PCR 反応時間の短縮を目的として、すべてのプライマーのアニーリング温度 (プライマーが鋳型 DNA と結合する温度) が高くなるように設計した。各プライマーの長さを通常よりも長くし、溶解温度 (Tm 値) が 70℃ 以上となるよう調整した (表-1)。これにより、ア

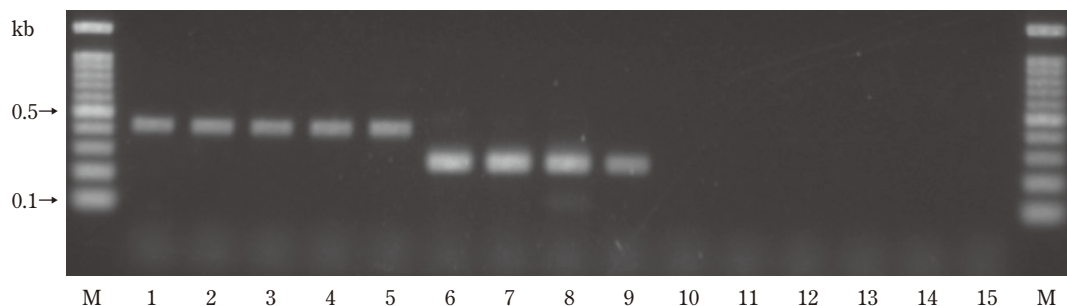


図-2 既往のマルチプレックス PCR 診断技術 (BULMAN and MARSHALL, 1997)

1~5: ジャガイモシストセンチュウ, 6~9: ジャガイモシロシストセンチュウ,
10~14: 他のシストセンチュウ, 15: 陰性対照 (滅菌水サンプル), M: マーカー。

表-1 マルチプレックス PCR 診断用に開発したプライマー (SAKAI et al. (2019) より改変)

標的種	産物長	プライマー名	プライマー配列 (5' => 3')	Tm 値
ジャガイモシストセンチュウ	150 bp	GRmt1SP2 f	CAATGGTGAGATGGAGTCCCTTGTGT	70.7
		GRmt1SP2 r	CGAGCCAACCCAGTAACACCACCAGAG	74.9
ジャガイモシロシストセンチュウ	287 bp	GPmt4SP4 f	CGAAGAGGCGTCACGAACCAGGAGA	75.5
		GPmt4SP7 r	CGCAGGCCTAACTCCTTCCTCTTCT	70.1
共通	453 bp	5.8Sf2	CGGTGGATCACTCGGCTCGT	70.7
		28Sr	CTCGCCGTTACTAAGGGAATCCTCG	70.7

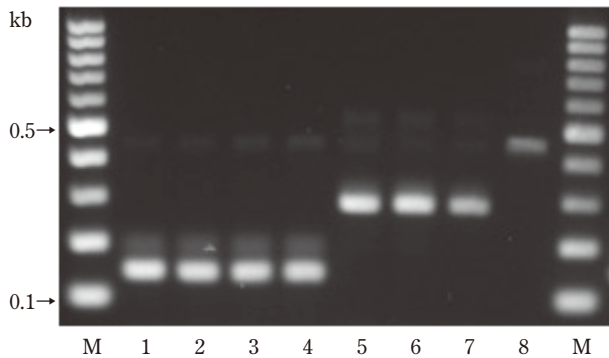


図-3 開発したマルチプレックス PCR 診断技術

Taq ポリメラーゼの泳動色素入りマスターミックスを用いてアニーリングと伸長反応を合わせて 70℃・30 秒 (35 サイクル) とした 2 ステップ PCR による増幅結果.

1~4: ジャガイモシストセンチュウ, 5~7: ジャガイモシロシストセンチュウ, 8: *Globodera ellingtonae*, M: マーカー.

ニーリングと伸長反応を同じ温度で行えるようになり、PCR 反応時間の短縮につながった。

II PCR キャリーオーバーを防止する dUTP/UNG 系の適用による偽陽性の防止

開発したマルチプレックス PCR 診断技術について、特異性の検証等を進めていたところ、陰性対照の水を含めてサンプルに関係なく、Gp や Gr に特異的な PCR 産

物が増幅される場合が認められた (図-4A)。これは、過去の PCR 産物が反応系に入り込んで汚染する「キャリーオーバー」による偽陽性と考えられた (BORST et al., 2004)。キャリーオーバーが起こる原因作業として最も可能性が高いのは、PCR 反応チューブを開けて取り扱う電気泳動である。PCR 産物が何らかの原因で飛散したり、あるいはエアロゾルとなって室内を汚染することがある。電気泳動を行った同じ部屋で新たな同じ反応系の PCR 反応液を調製していたため、試薬や器具等のいずれかが汚染されたことが原因と思われる。このような事態を防止するには、反応液調整の場と電気泳動の場、試薬、使用器具等を実験段階ごとに物理的に隔離することと、汚染物を破壊することが対応策として挙げられる (HARTLEY and RASHTCHIAN, 1993)。しかし、多くの場合、実験スペースに限りがあるなどして、同一の実験室内で反応液調整と電気泳動を行うことも珍しくないと思われることから、汚染物の破壊という手順を取り入れることとした。この方法として、ウラシル-N-グリコシラーゼ (UNG) により過去の PCR 産物を破壊する“dUTP/UNG系”が報告されている (Longo et al., 1990)。これは、塩基のチミンの代わりにウラシル (dUTP: デオキシウリジン三リン酸) を入れて PCR 反応を行い、チミンがウラシルに置き換わった DNA 断片を増幅させ、2 回目

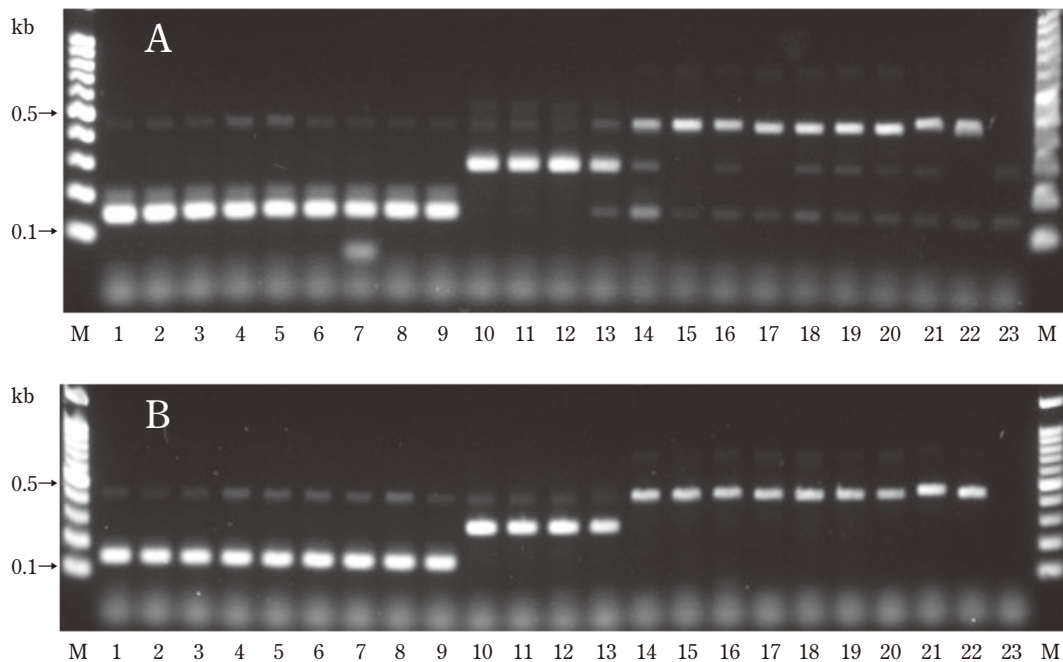


図-4 マルチプレックス PCR 診断における偽陽性対策

A: 標準的な PCR 反応において偽陽性が見られた結果.

B: 偽陽性を防止する dUTP/UNG 系を導入した結果 (SAKAI et al. (2019) より改変).

1~9: ジャガイモシストセンチュウ, 10~13: ジャガイモシロシストセンチュウ, 14~22: 他のシストセンチュウ, 23: 陰性対照 (滅菌水サンプル), M: マーカー.

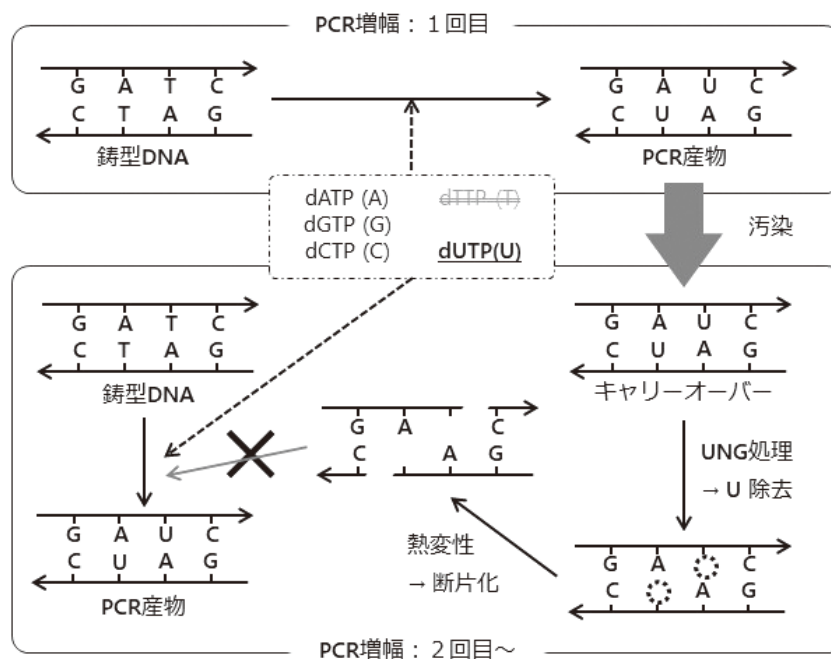


図-5 dUTP/UNG 系による PCR キャリーオーバーの防止

以降の PCR 反応ではその前段にウラシルを除去するウラシル-N-グリコシラーゼ (UNG) を作用させて DNA 鎖を分断することで混入した PCR 産物を破壊する。これにより、キャリーオーバー汚染を防ぐことができる (図-5)。試薬メーカーでは dUTP ミックスや UNG を単体または PCR 試薬セットとして上市しており、これを活用するだけで実施できる。しかし、通常の PCR に比べて反応効率が低下するため反応条件の検討が必要となり、主に伸長反応の時間を調整することとなる。改良したマルチプレックス PCR では、アニーリングと伸長反応を合わせて 68℃・40 秒にすることで問題なく PCR 増幅することを確認し、ジャガイモシストセンチュウ類とその他のシストセンチュウ種の幼虫から抽出した DNA を供試して検定した結果、Gp および Gr のみでそれぞれ特異的な DNA 断片の増幅が見られ、陰性対照 (滅菌水) では DNA 断片は増幅されず、キャリーオーバーによる偽陽性を防止できた (図-4B)。なお、サーマルサイクラーの種類によっては増幅が不十分であることもあり、この場合はアニーリング/伸長反応の時間を延ばす (50~60 秒にする) ことで十分な増幅が見られる。

III その他の改良：DNA 粗抽出法の簡便化

その他の改良点として、診断の標的となる 2 期幼虫およびシストからの DNA 抽出法を簡便化した (図-6)。幼虫の場合、物理的破壊は不要で簡易に DNA 抽出できるが、幼虫をマイクロピペットを用いて液とともにチュー

ブに移し入れる際に、虫体がチップ内壁に張り付いてしまうことが難点である。界面活性剤のドデシル硫酸ナトリウム (SDS) 溶液中では幼虫がプラスチックに張り付かないため、緩衝液である Tris-EDTA (TE, pH 8.0) で希釈した SDS 溶液中でシストから幼虫を割り出すなどしてから操作を開始する。溶解液として還元剤であるジチオスレイトール (DTT) とタンパク質分解酵素であるプロテイナーゼ K を混合した液を用いる。SDS は細胞溶解作用を有する一方で PCR 反応を阻害するため、これを回避するために粗抽出液は最後に希釈しておく。なお、DTT は還元剤であり、室温だと酸化が進んで失活してしまうため、液を小分けにして -20℃ で冷凍保存しておく。

シストから DNA を抽出する場合は、事実上卵からの DNA 抽出ということになるが、DNA を傷つけずにシスト殻や卵殻を化学的処理で溶解させることは困難であるため、ここではホモジナイザーを用いて物理的に破壊する。破碎効率の高いホモジナイザーを用いるとよい (ニッピのバイオマッシャー II など)。破碎後は、幼虫の場合と同様の手順となる。

おわりに

侵入病害虫対策において、診断技術の簡便性や迅速性もさることながら、その信頼性も重要である。偽陰性や偽陽性を抑制・防止して診断の信頼性を高めることは、非専門家をユーザーの対象とする技術普及の観点からも

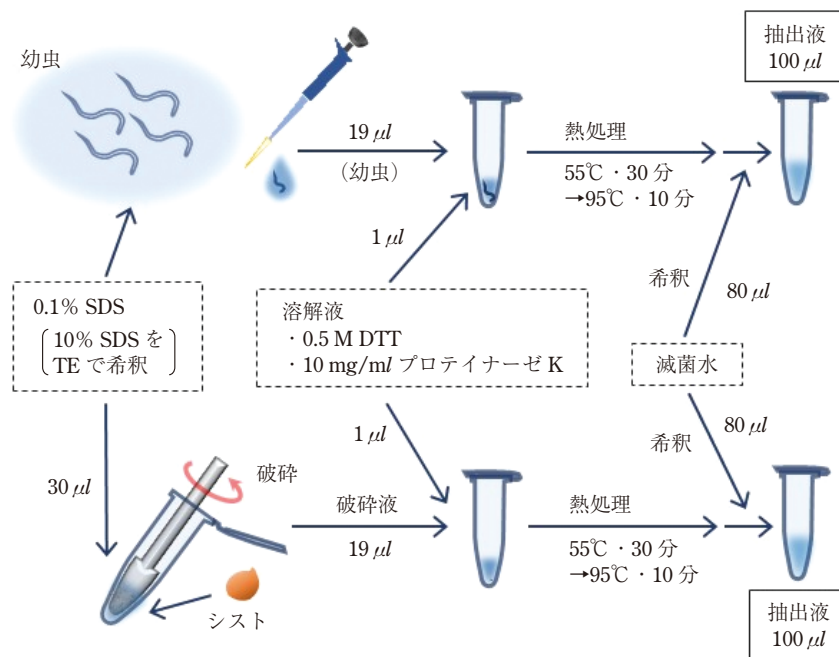


図-6 簡便化した DNA 抽出法

望ましい。これまで農業病害虫の診断において、PCR キャリーオーバー汚染がもたらす偽陽性の問題は、あくまで個々の事例にとどまるものであって、回避すべき取り組みについて本格的に議論されてはこなかったと思われる。既往の技術や今後開発される技術においても、ここで紹介したような改良が加えられることが望ましいと言えよう。一方、DNA 増幅産物を環境中に放出する必要がない診断技術として、リアルタイム PCR 法や LAMP 法がある。筆者は Gp および Gr の DNA をそれぞれ特異的に増幅するための LAMP プライマーも開発している（特許第 7016180 および特許第 6940191）。また、筆者らは、Gp と Gr が同所発生する圃場において両種の存在比が極端に偏っているような条件下でも双方を検出できるよう高感度に特化したマルチプレックス PCR 法（KUSHIDA and SAKAI, 2022）も開発しており、診断技術の選択肢の充実化に努めてきた。これらの技術が活用さ

れ、ジャガイモシストセンチュウ類のリスク管理がさらに進展することを期待したい。

なお、本技術は（公社）北海道馬鈴しょ生産安定基金協会（現・北海道農産基金協会）の助成を受けて開発されたものである。

引用文献

- 1) BORST, A. et al. (2004): Eur. J. Clin. Microbiol. Infect. Dis. **23**: 289~299.
- 2) BULMAN, S. R. and J. W. MARSHALL (1997): N. Z. J. Crop Hortic. Sci. **25**: 123~129.
- 3) HARTLEY, J. L. and A. RASHTCHIAN (1993): Genome Res. **3**: S10~S14.
- 4) KUSHIDA, A. and H. SAKAI (2022): J. Gen. Plant Pathol. **88**: 251~258.
- 5) LONGO, M. C. et al. (1990): Gene **93**: 125~128.
- 6) SAKAI, H. et al. (2019): Nematol. Res. **49**: 19~27.
- 7) 植原健人ら (2006): 日本線虫学会誌 **36**: 33~37.

特

集

海外から侵入したシストセンチュウ類の防除について ジャガイモシロシストセンチュウ緊急防除に おける密度低減技術の効果と特徴

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
北海道農業研究センター 研究推進部

伊 藤 賢 治

はじめに

ジャガイモシロシストセンチュウ *Globodera pallida* (以下 Gp) は、バレイショの根に寄生して養水分を収奪し、深刻な減収被害をもたらす植物寄生性線虫である。南米を原産地として世界各地に分布を拡げており、国内では2015年に網走市において初確認され (NARABU et al., 2016)、現在は網走市、清里町、斜里町の一部で発生が確認されている。Gp は通常、200~500 個の卵を内蔵する球形のシスト (直径約 0.5 mm) の状態で土壤中に潜んでおり、バレイショが栽培されるとその根から放出される特異的な物質 (ふ化促進物質) に反応してシスト内の卵が一斉にふ化し、バレイショを加害する。シスト内の卵は乾燥や低温に対して強い耐性があり、寄主植物がなくても10年以上生存可能である。Gp がまん延するとバレイショの安定生産の大きな脅威となるため、2016年秋から植物防疫法に基づく緊急防除が実施されている。

ここでは緊急防除で利用された Gp 防除技術の効果や特徴 (伊藤ら, 2017; 2020) について、その作業内容とともに紹介する。

I 土 壌 燻 蒸 剤

土壌燻蒸剤の一つである D-D 剤 (1,3-ジクロロプロ

ペン (D-D) 97%油剤) は、刺激臭のある透明な液体で、土壤中に注入処理されると容易に気化し、線虫をはじめとする土壌害虫に殺虫効果を示す。有効成分がガス化して土壤中に拡散し、土壤中に潜むシスト内の卵を死滅させることができ、バレイショのジャガイモシストセンチュウ *G. rostochiensis* (以下 Gr) (処理量 30~40 l/10 a) および Gp (処理量 40 l/10 a) に対して農薬登録されている。

なお、Gp に対しては主要な殺線虫粒剤も農薬登録されているが、これらは D-D 剤と異なりシスト内の卵には効果がない。バレイショの栽培時に土壌処理し、ふ化した幼虫に対して効果を発揮するものであるため、バレイショの栽培が禁止されている緊急防除下では使用の機会がない。

D-D 剤による土壌消毒の方法は一般的な線虫防除と同様である。あらかじめロータリーで整地した圃場に、トラクターで牽引した土壌消毒機で 30 cm 千鳥状に深さ 15~20 cm の層に薬液を注入し、ローラーで土壌を鎮圧する。その後一定期間経過した後にガス抜きのためロータリー耕起する (表-1)。これらの作業のうち、消毒前の整地とガス抜きは農家が実施し、土壌消毒処理を北海道が専用の土壌消毒機で実施した。実施時期は捕獲作物栽培前の6月上中旬 (初夏処理)、または捕獲作物

表-1 D-D 剤処理の作業手順

作業	時期	作業内容
処理前の整地	処理の直前	あらかじめ、ロータリーハローにより耕起し、整地する
土壌消毒	6~9月の温暖な時期	トラクターでけん引した土壌消毒機により薬液を 40 l/10 a の処理量で地中 15~20 cm の深さに注入し、消毒機の直後に接続したローラーにより土壌表面を鎮圧し、ガス化した薬液を地中にとどめる
ガス抜き	処理約 10 日後	直後の栽培作物に薬害が生じないように、ロータリーハローにより耕起し、土壌中のガスを抜く

Effects and Characteristics of Control Techniques for *Globodera pallida*. By Kenji Irou

(キーワード: ジャガイモシロシストセンチュウ, 土壌燻蒸剤, 捕獲作物, 緊急防除)

栽培後・小麦収穫後の8月中旬～10月初旬（秋処理）であった。

土壤消毒機は市販されているものが利用できるが、緊急防除ではオホーツク地域の広大な圃場に対応するため、200 lの貯留タンクを2基設置し、薬液の補充なしで90 aの面積を処理できるように改造した機械を使用した（図-1；改造前の処理面積は無補充で18～36 a）。



図-1 緊急防除で使用された土壤消毒機

また、土壤消毒機の移動にあたっては、圃場間で土壌が移動しないよう、圃場から出る前に高圧洗浄機での洗浄が徹底された。

2016～18年にD-D剤（40 l/10 a）で土壤消毒処理を実施した圃場において、処理前後のGp密度推移を調査した結果を表-2に示す。3年間に調査したのべ18圃場のGp残存率は平均で7.0%（0～42.2%）であった。なお、D-D剤は地表から15～20 cmの深度に注入されるが、それより深い地表下20～40 cmでもGp残存率が10%以下になっていたことから、D-D剤は土壌の深い層のGp防除にも有効であることが明らかになった（図-2）。また、処理時期（初夏処理、秋処理）にかかわらずGp密度は処理前の10%以下に減少したことから、処理の適用時期は比較的広く、輪作や捕獲作物栽培スケジュールに合わせやすいと判断される。

ただし、一部の秋処理ではGp残存率が22.2～42.2%と、防除効果がやや劣る事例があった。緊急防除における土壤消毒処理では、ビニールシートなどによる被覆は実施していないため、ガスが土壌表面から抜けやすい。加えて、秋処理では直前に作付けされていた作物残渣が圃場表層に残っていることが多く、鎮圧が不完全とな

表-2 D-D剤処理圃場の定点におけるGpの密度推移（2016～18年）^{a)}

	処理体系 ^{b)}	処理前密度 ^{c)} (頭数/1 g 乾土)	処理後密度 ^{c)} (頭数/1 g 乾土)	残存率 ^{d)} (%)
2016	D→捕	13.9	0.1	0.7 ± 0.7
	D→捕	3.6	0.0	0.9
	D→捕	45.9	2.3	7.1 ± 6.0
	麦→D	17	0.7	3.9 ± 4.0
	麦→D	15.4	0.4	3.2 ± 1.8
2017	捕→D	1.7	0	0 ± 0
	捕→D	3.8	0.03	1.9 ± 3.2
	捕→D	1.6	0	0 ± 0
	捕→D	1.2	0	0
	麦→D	34.7	0.3	1.5 ± 2.9
	麦→D	17.7	0.2	1.0 ± 0.4
2018	D→捕	2.1	0	0 ± 0
	D→捕	5.6	0.1	0.9 ± 1.4
	D ^{e)} →捕	3.2	0.1	3.3 ± 4.7
	D→捕	2.2	0	0 ± 0
	麦→D	1.2	0.4	37.0
	捕→D	3.0	0.7	22.2 ± 38.5
	捕→D	16.3	6.8	42.2 ± 6.4

a) 伊藤ら，2020 から引用。

b) 処理体系の「D」はD-D剤，「捕」は捕獲作物，「麦」は秋まき小麦または大麦を示す。

c) 密度は定点4箇所の平均（ただし，処理前密度が1頭/1 g 乾土未満の定点は除外して集計）。

d) 残存率は定点ごと残存率の平均±標準偏差を示す。

e) D-D剤処理量は20 l/10 a（他はすべて40 l/10 a）。

り、さらにガスが抜けやすかったものと推測される。また、未熟な有機物や作物残渣が含まれる土壌では、ガスが吸着され、防除効果が低下することが報告されている (WHITEHEAD and TURNER, 1998)。現地で防除効果が低くなった事例は、これらの要因が関与していた可能性があると考えられる。したがって、作物残渣が多く残る圃場において D-D 剤を処理する場合には、処理に先だってプラウ耕を実施して作物残渣を地中深くすき込み、D-D 剤の注入処理直後には土壌面をしっかりと鎮圧することにより、効果が安定すると考えられる。

D-D 剤による土壌消毒処理にかかる経費は、薬剤費や作業人件費等の合計で 10 a 当たり 43,900 円であった (2018 年緊急防除における実績)。

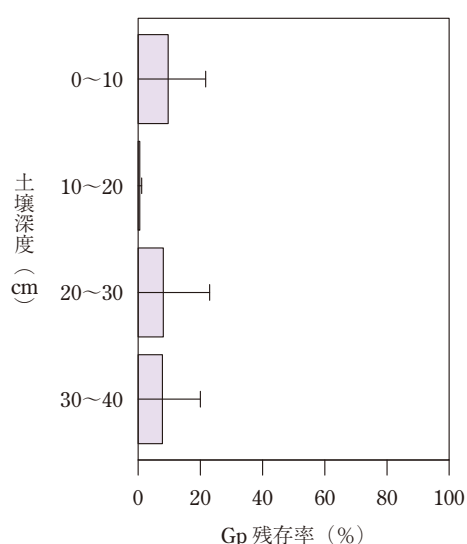


図-2 D-D 剤処理による土壌深度別 Gp 密度低減効果
D-D 剤処理後の土壌深度別 Gp 残存率の平均値 ± 標準偏差。4 圃場調査平均。

II 捕獲作物の利用

捕獲作物は、バレイショなどの寄主作物と同様に根から線虫に対するふ化促進物質を放出して卵をふ化させる効果を持つと同時に、線虫に対して高い抵抗性を有する植物のことを指す。これを栽培すると土壌中のシスト内卵がほとんどふ化するものの、ふ化した幼虫は根に寄生しても成長できずにほとんどが死滅するため、結果として土壌中の Gp を大幅に減少させることができる。Gp に対する捕獲作物としてはトマト野生種の一つ *Solanum peruvianum* やハリナスビ *S. sisymbriifolium* があり (図-3)、Gr に対しても高い密度低減効果があることが報告されている (伊藤ら, 2015)。Gp 発生圃場では、緊急防除によりナス科作物の栽培が禁止されているが、トマト野生種とハリナスビは防除効果を有するため、栽培が禁止されている植物から除外されている。このうち、今回の緊急防除ではトマト野生種 (雪印種苗株式会社 ‘ポテモン’) が用いられたことから、本稿ではこれについて紹介する。

播種は、あらかじめ施肥 (NPK 各 5~8 kg/10 a 相当) して浅めに耕起した圃場に、ディスクハローと鎮圧ローラーが装着されたエアシーダーで 10 a 当たり 320~350 g の割合で散播する (表-3, 図-4)。エアシーダーがない場合は、種子と肥料を混和してドリルシーダーの肥料ホッパーから播くこともできるが、トマト野生種の種子が非常に小さいため、均等な混和が難しく、播きムラを生じやすい。いずれの播種機においても、ローラーでの鎮圧は必須である。

トマト野生種は発芽と初期生育が遅いため、雑草との競合に負けやすく、十分に生育できない可能性がある。



図-3 Gp に効果のある捕獲作物
左：トマト野生種、右：ハリナスビ。

表-3 捕獲作物（トマト野生種）の栽培概要

作業	時期	作業内容・備考
耕起・整地	播種前	必要に応じて機械除草を行った後、ロータリーハローで浅めに整地
施肥、 播種・鎮圧	6月中旬～下旬	化成肥料（NPK 各 5～8 kg/10 a 相当）を施肥した圃場に種子 320 g/10 a をエアシーダーなどで播種（ドリルシーダーで代用する場合は肥料と種子を混和して同時に播種）、鎮圧 播種後出芽までに除草剤を散布
栽培終了	8月中旬～9月上旬	播種 2 か月後にチョッパーで細断してすき込み、後作作付けまで腐熟期間（2～3 週間）が必要

表-4 試験圃場におけるトマト野生種栽培前後の Gp 卵数の推移^{a)}

栽培年	圃場	調査区数	播種日、備考	卵密度（個/1 g 乾土）		Gp 卵残存率（%）
				栽培前	栽培後	
2017	A	4	6/19	10.9 ± 14.9	0.3 ± 0.3	3.9 ± 4.6
2017	B	4	6/18	2.9 ± 2.1	0.1 ± 0.1	4.6 ± 8.1
2017	C	4	6/14	10.5 ± 3.1	0.5 ± 0.4	5.0 ± 2.6
2017	D	4	6/16	29.3 ± 10.7	1.6 ± 0.3	6.6 ± 4.5
2017	E	4	6/17	18.8 ± 5.0	1.4 ± 0.8	7.7 ± 4.3
2017	F	4	6/16	17.8 ± 7.5	1.5 ± 0.8	9.7 ± 5.8
2017	G	4	6/14	12.5 ± 1.5	3.1 ± 3.2	25.3 ± 26.3
2018	H	1	6/23	3	0	0
2018	I	4	6/20	16.5 ± 5.4	2.4 ± 1.5	18.0 ± 18.2
2018	J	4	6/11	42.0 ± 28.3	16.3 ± 14.2	34.8 ± 17.1
2016	K	4	対照（小麦）	51.9 ± 32.4	17.0 ± 11.8	34.1 ± 13.4
2016	L	4	対照（小麦）	93.8 ± 20.1	76.2 ± 16.1	82.1 ± 15.4
2017	A	3	対照（緑肥）	65.0 ± 33.4	27.7 ± 4.0	54.4 ± 36.4
2018	M	3	対照（裸地）	43.6 ± 26.3	37.6 ± 9.6	104.2 ± 49.1
2018	C	3	対照（裸地）	69.7 ± 25.8	39.2 ± 9.6	56.3 ± 13.6

^{a)} 伊藤ら，2020 から一部引用。



図-4 緊急防除で使用されたエアシーダー

その対策として播種直後にメトリブジン水和剤 100 g/10 a の土壌処理を行うと、雑草を効果的に抑制し、トマト野生種の生育が良好であったことから、その後の Gp 防除においてはトマト野生種栽培管理の一環として

実施された。また、トマト野生種は疫病に弱いため、栽培中の疫病防除が必要である。殺菌剤はバレイシヨに登録のあるものを播種後 35 日以降から 2～3 回散布する。なお、これらの農薬はいずれもトマト野生種に対して登録がないが、緊急防除で使用する場合には、農薬取締法に基づく農薬を使用する者が遵守すべき基準の適用対象から除外されている。播種後 60 日経過したら地上部をチョッパーで細断してからプラウですき込んで栽培を終了させる。

2017～18 年にトマト野生種を 6 月中旬に 320～350 g/10 a 播種して約 60 日間栽培した圃場における栽培前後の Gp 卵密度推移は表-4 の通りである。2 年間に調査した 10 圃場の Gp 卵残存率は平均 11.6%（0～34.7%）で、同時期の非寄主栽培および裸地休耕の卵残存率 66.2%（34.2～104.2%）と比較して Gp 密度を大幅に低下させていた。

しかし、圃場によって Gp 密度低減効果がやや劣る場

合も認められ、特に2018年は残存率が20%を超える調査区が多い傾向だった。2018年は生育不良の圃場が散見され、この影響で防除効果が低下したのと考えられる。この年はトマト野生種の生育最盛期である7月上～中旬の天候が不順で、これにより生育不良となったと考えられるが、気象要因と生育量および防除効果の関係は明瞭ではなく、捕獲作物の発芽・生育の安定向上への取り組みが続いている。

また、防除効果の低下には野良イモの関与も推察された。野良イモは前年以前のバレイショ栽培時に収穫されなかった小イモなどが翌年以降に出芽し、雑草化したものを指すが、これらはGpの寄主であることから、本来は捕獲作物に寄生して死亡するはずのGp幼虫が野良イモに寄生してしまうと増殖することとなる。実際、捕獲作物栽培圃場の中には野良イモが発生する圃場も多く見られた。野良イモが発生すると捕獲作物による防除効果を大幅に低下させてしまう恐れがあるため、抜き取りや除草剤の塗布等により、徹底的に防除する必要がある。冬季間に土壌を凍結させることにより、土壌中の野良イモを凍結・死滅させる対策技術も開発されている（農研機構，2020）。土壌凍結が期待できる地域ではこの技術を活用することも推奨される。

捕獲作物栽培の経費はトマト野生種の種子代や作業人件費、農薬や肥料等で10a当たり32,800円であった（2018年緊急防除における実績）。ただし、トマト野生種の栽培は通常の作物栽培を休閑する必要があるため、そのための所得補償が必要となる場合がある。

Ⅲ 組合せ防除

D-D剤処理または捕獲作物栽培（または両方）による防除実施後には、植物防疫所によって土壌検診が実施される。この検査でGpが検出されなくなった圃場では、バレイショの栽培が可能になる。D-D剤処理と捕獲作物栽培によるGp防除効果は高いものの、多くの場合、1回の防除で検出されなくなるまでに密度を低下させることは困難である。このため、数年にわたって複数回の防除を継続することが不可欠である。

2018年までに防除が実施された149筆について、防除歴とGp残存との関係を調査した結果、D-D剤処理2回と捕獲作物栽培1回の合計3回の防除を実施すると、高密度の圃場でも高確率にGpが検出されなくなることがわかった（表-5）。なお、非寄主作物の輪作下でもGp密度は多少低下することから、この結果は輪作効果も加味されていると考えられる。今回の調査はすべての組合せを検討できたわけではないが、この組合せはGp防除計画を立てるうえでの一つの指標になり得ると考えられる。

そこで、早期にGp防除終了を達成するために、この組合せ防除を実施する防除体系を提案した（図-5）。Gpが発見された圃場では、原則として防除体系Aを実施し、既に秋まき小麦が栽培されていた場合は体系BまたはC（輪作予定に応じて選択）を実施することで、早期に効果的なGp防除が期待できる。

ただし、1回の防除でもGpが検出されなくなる場合もある。このような圃場での過剰な防除を回避するには、防除後には必ず土壌検診を行ってGp密度を確認することが必要である。

なお、D-D剤処理は緊急防除の初期段階で実施され高い効果を上げたが、環境負荷への配慮から、2019年以降は実施されていない。このため、現在の組合せ防除は捕獲作物栽培と非寄主作物の輪作といった耕種的防除により実施されている。

おわりに

これまでの緊急防除により、多くの圃場で防除が終了になり、Gp発生圃場は95圃場330haまで減少した（2022

表-5 2018年防除終了後の149圃場の生存Gp検出状況^{a)}

防除回数	防除内容 ^{b)}	該当圃場数	生存Gp非検出圃場数	生存Gp非検出圃場率 ^{c)}
1回防除	D-D剤1回	7	5	71%
1回防除	捕獲作物1回	64	30	47%
2回防除	D-D剤1回、捕獲作物1回	50	25	50%
2回防除	捕獲作物2回	3	1	33%
3回防除	D-D剤2回、捕獲作物1回	25	24	96%
計		149	85	57%

^{a)} 伊藤ら，2020から引用して改変。

^{b)} 2016～18年の3年間で実施された防除内容。

^{c)} Gp非検出の圃場数/調査圃場数。

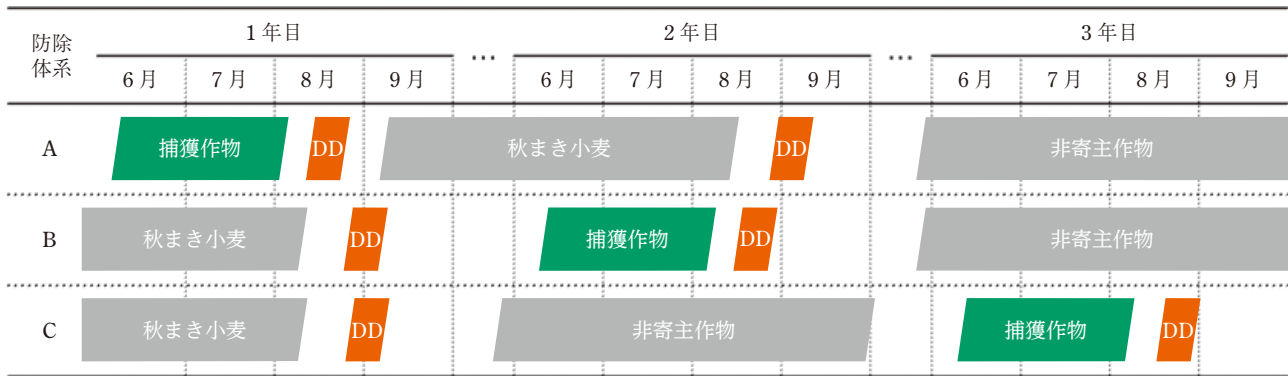


図-5 Gp 密度をごく低密度へ低下させるための防除実施体系例

図中の A, B, C はオホーツク地域における代表的な輪作体系（ただし、バレイショの栽培は禁止）に D-D 剤処理 2 回と捕獲作物栽培 1 回を組み込んだ場合の体系例を示す。通常は体系 A を実施し、Gp 検出時（図中 1 年目の前年、一般的に秋から冬に検査実施）に秋まき小麦がすでに作付けされている圃場では、体系 B または C を実施する。図中の「DD」は D-D 剤による土壌消毒を示す。「非寄主作物」はてん菜、春まき小麦、二条大麦、豆類、野菜（ナス科を除く）等。

年 3 月)。今後も着実な防除実施が求められる。Gp が検出されなくなった圃場ではバレイショの栽培が順次再開されている。しかし、これらの圃場の土壌中には通常の検診技術では検出できないごくわずかな密度で Gp が残存している可能性があり、Gp 感受性バレイショ品種を作付けすると、Gp が増殖して再検出される恐れが生じる。そのため、これらの圃場では Gp の再発生を防ぐために Gp 抵抗性バレイショ品種「フリア」の作付けが推奨されており、その普及が進んでいる。また新たな抵抗性品種「きたすずか」も品種登録された。「きたすずか」については、周辺未発生圃場で活用することにより、Gp のまん延防止に寄与することが期待される。今後はこれら Gp 抵抗性バレイショと非寄主作物の輪作の徹底により、Gp 封じ込めを恒常的に維持することが望まれる。また、Gp の再発生を防ぐ栽培体系や予防的な防除技術、再発生を監視する土壌調査（フォローアップ調査）の実施方法についての調査研究を継続し、対応策をより確実なものにしていくことも必要である。

本稿で紹介した Gp 防除は、北海道農政部、オホーツク総合振興局産業振興部農務課、網走農業改良普及センター網走支所の協力により実施し、調査土壌の一部は横浜植物防疫所札幌支所から譲り受けた。また、調査にあたっては道総研北見農業試験場の小野寺鶴将氏、中辻敏朗氏、村松康一氏、佐々木太陽氏、農研機構北海道農業研究センターの奈良部孝氏、相場聡氏、串田篤彦氏、酒井啓充氏、坂田至氏の協力により実施した。この場を借りてお礼を申し上げる。

引用文献

- 1) 伊藤賢治ら (2015): 北農 82: 399~406.
- 2) ————ら (2017): 北日本病虫研報 68: 160~163.
- 3) ————ら (2020): 北農 87: 281~289.
- 4) NARABU, T. et al. (2016): Plant Disease 100(8): 1794.
- 5) 農研機構 (2020): 土壌凍結深制御技術標準作業手順書.
- 6) WHITEHEAD, A. G. and S. J. TURNER (1998): Potato Cyst Nematodes Biology, distribution and Control, CAB International, Wallingford, UK, p.135~152.

特

集

海外から侵入したシストセンチュウ類の防除について ジャガイモシロシストセンチュウ抵抗性 バレイショ品種の開発と課題

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
北海道農業研究センター 寒地畑作研究領域

あさ 浅
の 野
けん 賢
じ 治

はじめに

2015年に北海道の一部の圃場において、日本で初めてジャガイモシロシストセンチュウ (*Globodera pallida*, 以下 Gp) の発生が確認され、発生地域では植物防疫法に基づく緊急防除が実施されている。Gp 発生圃場ではこの措置により、防除に使用される捕獲作物を除いてナス科作物の栽培は原則禁止され、Gp の密度を低減させる対策が実施されている。緊急防除によって Gp が検出されなくなった圃場ではバレイショの栽培が再開できるが、Gp の再発を防ぐために抵抗性バレイショ品種の作付けが推奨される。Gp 発生当時、国内には利用可能な Gp 抵抗性品種がなかったことから、Gp 抵抗性品種の早期開発が求められた。なかでも今回の発生地域で栽培される基幹品種がでん粉原料用であったことから、その用途の抵抗性品種開発が強く求められた。また、周辺未発生圃場においても抵抗性品種を利用することにより、Gp の侵入・定着リスクを低減でき、発生地の拡大防止・確実な封じ込めが期待できることから、でん粉原料用以外の用途でも早期の抵抗性品種の開発・普及が求められた。なお、Gp 発生地域ではジャガイモシロシストセンチュウ (*G. rostochiensis*, 以下 Gr) も同時に発生していることから、抵抗性品種は Gr 抵抗性も併せもつことが必須とされた。

農研機構北海道農業研究センターでは、Gp の発生確認以前から備えの一環として Gp 抵抗性品種開発の準備を進めてきたが、2015年の発生確認を受けて、開発を加速化させた。本稿では、北海道農業研究センターにおける Gp 抵抗性品種開発のこれまでの取り組みと将来の課題について紹介する。他の防除技術については本特集の他稿を参照いただきたい。

I 抵抗性品種開発のための基盤技術

抵抗性品種を育成するためには、「抵抗性の遺伝資源」と「抵抗性評価手法」が必須であり、効率的な育成のためには「抵抗性個体の効率的な選抜技術」が必要である。

1 DNA マーカーを活用した抵抗性遺伝資源の探索

北海道農業研究センターでは、Gp の発生確認前から将来の侵入に備えて DNA マーカーを利用した抵抗性遺伝資源の探索を進めていた。筆者らが2010年に開始した研究では Gp 抵抗性遺伝子については、*Gpa2*, *GpaIV^{adg}*, *Gpa5*, *Grp1* の4種の DNA マーカーの利用を試みたが、*GpaIV^{adg}*, *Gpa5*, *Grp1* は原著論文通りの条件では良好な結果が得られなかった。そのため、Gp に関しては *Gpa2* の DNA マーカーでの遺伝資源評価にとどまった。北海道農業研究センターで保有していた遺伝資源 812 点を評価した結果、142 点が *Gpa2* を保有していることが明らかになった (ASANO et al., 2012)。しかし、*Gpa2* は極一部の Gp 集団にのみ抵抗性を示す遺伝子であり、多くの Gp に対しては抵抗性を示さないことが知られていた。その後の調査により、我が国で発生が確認された Gp も *Gpa2* を有する品種に寄生可能であることが明らかとなり、*Gpa2* は我が国の抵抗性品種育成に利用できないことが明らかとなった。

2015年の Gp 初確認を受け、抵抗性品種の育成が急務となったことから、世界的に実用品種の育成に利用され、育種的に利用しやすいとされる *GpaIV^{adg}*, *Gpa5* に着目し、改めて遺伝資源の探索を行うこととした。論文情報を元に *GpaIV^{adg}*, *Gpa5* のマーカーを新たに設計し、我が国の材料でも安定的な評価が可能となった。それらのマーカーを用いて改めて保有する遺伝資源の評価を行い、*GpaIV^{adg}* や *Gpa5* のマーカーが増幅する遺伝資源を複数見いだした。接種検定の結果、マーカーが増幅する遺伝資源の中には感受性のものも含まれており、これらのマーカーが利用できる組合せが限られること、より高精度な DNA マーカー開発が必要であることが明らかとなった。これらのマーカーを用いた評価の結果、‘Eden’

Development of White Cyst Nematode Resistant Potato Varieties and Its Future Challenges. By Kenji ASANO

(キーワード: バレイショ, ジャガイモシロシストセンチュウ, 抵抗性品種)

や‘12601 ab1’等が *GpaIV^{adg}* を、‘Innovator’や‘フリア’等が *Gpa5* を有する抵抗性遺伝資源として新たに見いだされた。これらの抵抗性遺伝資源は、国内の遺伝資源と交配し抵抗性品種の育成に利用されている。また、本研究では疫病抵抗性やポテトチップス品質の向上を目的として選抜された遺伝資源の中にも Gp 抵抗性を有する遺伝資源があることが明らかとなった。これらの遺伝資源は系譜情報から抵抗性と推定することは困難であり、DNA マーカーを用いて選抜したことで見いだすことができたものである。

また、*GpaIV^{adg}* と *Gpa5* に加えて、Gr 抵抗性遺伝子 *H1* のマーカーを 1 回の PCR で同時検出できる技術を開発し (図-1)、Gp と Gr に対する抵抗性遺伝子を併せもつ個体の効率的な選抜を可能にした (ASANO et al., 2021)。この同時検出技術は、実際に育種現場で使用され抵抗性個体の一次選抜に使用されている。

2 Gp 抵抗性評価手法の確立

Gr 抵抗性遺伝子 *H1* による Gr 抵抗性はほぼ完全な抵抗性を示すため、接種試験においてシストが形成されるか否かという質的な評価が可能である。それに対し、Gp 抵抗性では一つの抵抗性遺伝子で完全な抵抗性を示す実用的な抵抗性遺伝子は見つかっておらず、Gp 抵抗性遺伝子を持っていても一定数のシストが形成されてしまう。そのため Gp 抵抗性の評価は量的な評価を行う必要があるが、Gp 発生当時我が国では Gp 抵抗性を評価する手法は確立されていなかった。ヨーロッパでは、抵抗性の評価手法はヨーロッパおよび地中海地域植物防疫機関

(EPPO) の定める方法に基づき行われており、基準品種‘デジレー’に対するシスト着生数との比較で 1~9 の 9 段階で評価している。そこで、EPPO の方法を参考に我が国でも Gp 抵抗性の評価方法を確立した。‘デジレー’はシストが多く着生することからヨーロッパで基準品種として利用されているが、我が国では‘デジレー’は商業栽培されていないため、種イモの安定的な確保が困難であった。そこで国内で栽培されている品種の中から‘デジレー’に代わる基準品種を選定する必要がある。国内のいくつかの品種と‘デジレー’を用いてシストの着生数を比較した結果、‘パルスターチ’と‘さんじゅう丸’が‘デジレー’と同様に多数のシストが着生することが明らかとなり、基準品種として用いることとした。さらには検定に使用する土壌の種類や接種する Gp の卵数等の条件検討を行い、カップ法とポット法の二通りの Gp 抵抗性検定法を確立した。簡易法であるカップ法では、容量が 250 ml の小さな透明のプラスチックカップに土壌と検定したい品種・系統の塊茎を入れ、そこに所定量の Gp 卵懸濁液を接種する。適度に灌水した後蓋を閉め、暗黒条件下 18~20℃ で約 70 日間生育させる。植付から約 70 日後には、カップ内で伸びた根に寄生した Gp がシストへ成育し、根に付着している状況をカップの壁面越しに観察できるようになるため、それを計数する。

ポット法はカップ法に比べて野外環境に近いため、より正確に抵抗性を評価することができる。ポット法では直径 12 cm のポリポットに種イモを植付け、植物体が 1~2 cm 程度に成長してから Gp を接種する。土壌の乾

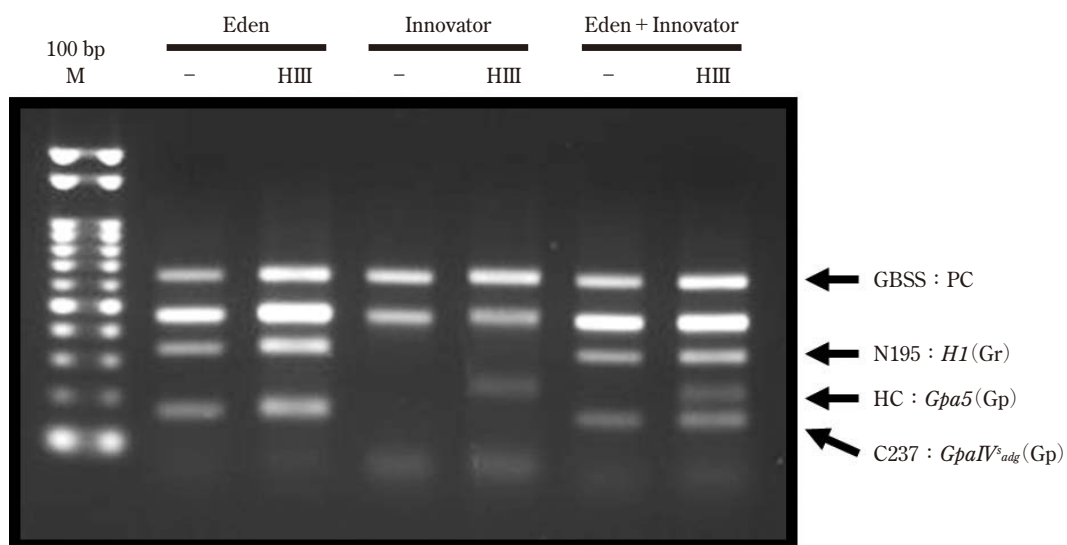


図-1 ジャガイモシロシストセンチュウ抵抗性遺伝子マーカーの同時検出技術

GpaIV^{adg}, *Gpa5*, *H1* の 3 種の DNA マーカーを同時に PCR し、制限酵素 Hind III で処理することにより一度で検出できる。GBSS はすべてのサンプルで増幅するコントロールとして加えた。Eden : Gp 抵抗性遺伝子 *GpaIV^{adg}* と Gr 抵抗性遺伝子 *H1* を有する品種。Innovator : Gp 抵抗性遺伝子 *Gpa5* を有する品種。

乾燥や過湿を避け、適切に灌水しながら 18～20℃ で栽培する。接種日を 0 日として 80～90 日間栽培後、灌水を停止する。栽培終了後にポット内の一部の土壌からシストを分離し、ポット全体のシスト数を算出する。

カップ法でもポット法でも 1 品種・系統当たり 4 反復以上を供試し、基準品種も同時に供試する。各品種・系統のカップもしくはポット当たり形成されたシスト数の平均から、基準品種比 $\{(\text{調査品種} \cdot \text{系統の平均シスト数}) / (\text{基準品種の平均シスト数}) \times 100\}$ を算出する。表-1 に示した判定基準に従い、基準品種比から 1～9 の 9 段階もしくは弱～強の 5 段階で抵抗性程度を判定する。

カップ法は省スペースかつ簡便に評価が行えるため、多数の品種・系統を評価する一次スクリーニングに適している。ポット法はより正確な評価が可能であるが、カップ法に比べスペースが必要なうえ、評価に手間が掛かることから、カップ法での一次スクリーニングにより抵抗性が期待されたものについて詳細に評価をするために利用している。Gp の抵抗性評価手法はマニュアルとして取りまとめているため、より詳細な情報はマニュアルを参照していただきたい（坂田ら、2020）。

II 導入品種の評価と‘フリア’の選抜

1 開発の経緯

2015 年に Gp の発生が確認された地域では、でん粉原料用品種が主に作付けされており、Gp 抵抗性をもつでん粉原料用品種の早期開発が求められていた。北海道農業研究センターでは発生確認の前から Gp 抵抗性品種の育成を進めていたが、でん粉原料用の開発は進めておらず交配から始める必要があった。抵抗性品種の開発を交

配から始めた場合、抵抗性品種が開発されるまでに早くても 10 年程度かかり、一般に出回るようになるまでにはさらに 3 年程度かかり、抵抗性品種の早期開発というニーズには応えられない。そこで、抵抗性品種をいち早く普及させることを最優先させるため、既に国内にある品種・系統の中から Gp 抵抗性と普及に支障のないレベルの収量性やでん粉品質をもつ品種を選定することとなった。なお、収量性や品質は当時でん粉原料用の主力品種であった‘コナフブキ’との比較で評価した。保有する遺伝資源から、上記の DNA マーカーによる評価や系譜情報を元に約 50 点を候補として選抜した。しかしながら、その多くは抵抗性がないか、抵抗性があっても収量性が不十分である等により、淘汰された。その中でフランスの Germicopa 社が育成した‘フリア（試験当時の系統名は G05SC266.006）’、‘イリダ’、‘G06SC278.004’の 3 品種・系統が Gp 抵抗性をもち比較的多収であったことから普及させる品種の候補として選定された。その後北海道農業研究センターや北海道立総合研究機構北見農業試験場のほか、網走市や斜里町内での栽培試験を複数年実施した。各地での栽培試験に加え、各種病害虫抵抗性やでん粉品質の評価試験を実施した結果、‘フリア’が Gp 発生地帯のでん粉原料用品種として優れていることが明らかとなった。農研機構種苗管理センターでは、Gp 発生に伴い新設された Gp 抵抗性品種緊急増殖施設を活用して、‘フリア’の原原種生産を通常より前倒しで行っていたことから、速やかな原原種の配付が可能となり 2021 年から現地での本格的な栽培が開始されている。

2 品種の特性

‘フリア’の熟期は‘コナフブキ’並の晩生であるが、試験地や年次によって傾向が異なっており、‘コナフブキ’より熟期が遅くなることもある。‘コナフブキ’よりも上イモ数が多く、小玉である（図-2）。塊茎の収量は‘コナ

表-1 ジャガイモシロシストセンチュウ抵抗性検定の評価基準

基準比	1～9 の 9 段階	弱～強の 5 段階
< 1	9	強
1.1-3	8	
3.1-5	7	
5.1-10	6	やや強
10.1-15	5	
15.1-25	4	中
25.1-50	3	
50.1-100	2	やや弱
> 100	1	

各品種・系統の平均シスト数から、基準品種比 $\{(\text{調査品種} \cdot \text{系統の平均シスト数}) / (\text{基準品種の平均シスト数}) \times 100\}$ を算出し、本表の基準に従い抵抗性レベルを判定する。

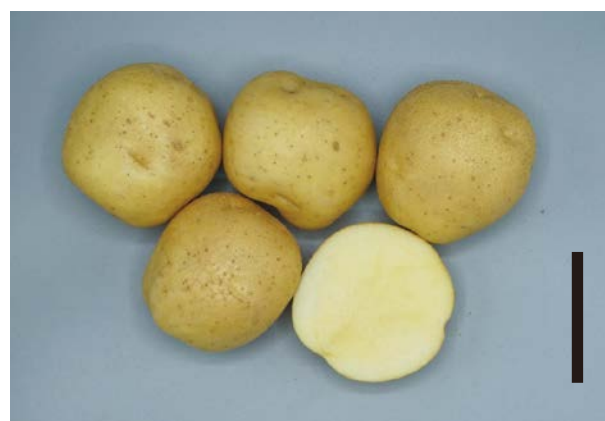


図-2 ‘フリア’の塊茎

写真中の黒色バーは 5 cm を示す。

フブキ' よりもかなり多収だが、でん粉価が'コナフブキ' より4%ほど低く、でん粉収量は'コナフブキ' と同程度となる。栽植密度および施肥量に対する反応はおおむね'コナフブキ' と同様で、株間を広くし基肥窒素増または開花期追肥で窒素を多く施用することにより、でん粉価を低下させることなく大玉化でき、でん粉収量も多収となる。

'フリア' の Gp 抵抗性は“やや強 (スコア 7)”であり、'フリア' の栽培により栽培前に比べて Gp 密度を減少させることができる (図-3)。Gr 抵抗性を有し、Y モザイク病抵抗性は“弱”である。疫病抵抗性は“強”であるが夏疫病の発生は見られるため、無農薬栽培は推奨できない。

'フリア' のでん粉品質は各種評価基準において、'コナフブキ' と若干の違いはあるものの顕著な違いは見られなかった。実需者によるでん粉を用いた加工製品の評価試験でも、製品の仕上がりに'コナフブキ' と若干の違いはあるものの、大きな差ではなく'コナフブキ' に近い物性であることが明らかとなった。以上から'フリア' のでん粉は'コナフブキ' に近い特性を有し、実用上問題ない品質であると言える。

3 栽培上の注意点

防除を実施後に植物防疫所によって実施される土壤検

診で Gp が検出されなくなった圃場では、バレイショの栽培が可能になる。その際 Gp 感受性品種の作付けは Gp の再発リスクを高めることから避け、'フリア' の活用が推奨される。また、海外では既存の抵抗性を打破した Gp の出現が報告されていることから、'フリア' の栽培に際してはできるだけ長期の輪作期間を確保することが推奨される。さらには'フリア' はやや小玉であるため、掘り残しによる野良イモ (収穫時に掘り残した塊茎が雑草化したもの) が発生しやすい。野良イモの発生は輪作の効果を低下させるため、野良イモの発生を低減させることは重要である。前述のように栽植密度をやや疎植にして、窒素を多く施肥することで大玉化し掘り残しを減らすようにするとともに、土壤凍結深制御技術 (詳細は「土壤凍結深制御技術標準作業手順書」を参照) を活用した野良イモの駆除などの対策を適切に実施することが望ましい。

III 加工・生食用品種 'きたすずか' の育成

1 育成の経緯

Gp の発生地域では主にでん粉原料用品種が作付けされているが、そのほかに生食用や加工用品種の作付けも行われており、それらの用途でも Gp 抵抗性品種の開発が求められていた。'きたすずか' は Gp と Gr 抵抗性を

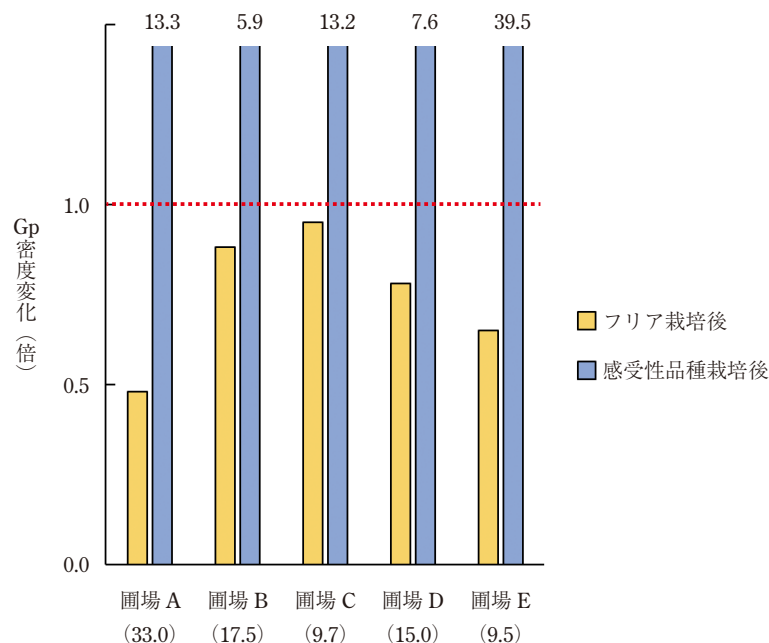


図-3 'フリア' の Gp 密度低減効果

初期密度の異なる 5 圃場の土壌でのポット試験の結果。括弧内の数字は初期密度 (卵数/1g 乾土) を示す。栽培前の Gp 密度を 1 とし、栽培後に何倍になったかを示す。赤破線は 1 を示し、1 以下で栽培前に比べ減少、1 以上で栽培前に比べて増加したことを示す。'フリア' の栽培により Gp 密度はやや減少する。

もつ加工・生食用品種の育成を目標として、Gp 抵抗性およびGr 抵抗性の遺伝資源として導入した‘Eden’を母、Gr 抵抗性で調理適性が優れる早生の‘十勝こがね’を父として育成された品種である。‘きたすずか’の育成開始は2012年であり、Gpの発生確認前から発生に備えて育成を進めてきたものである。2012年に人工交配を行い、翌2013年に播種した実生集団から選抜された品種である。2014年以降各種栽培試験を行い、品質、収量、耐病性等による選抜を進めた。その結果、多収でGp抵抗性およびGr抵抗性をもつことから、2019年に‘北海112号’の地方番号を付与して北海道の優良品種決定基本調査に供試し、2020年から優良品種決定現地調査に供試して実用性を検討してきた。その結果優良品性が認められたことから、2021年に北海道の優良品種に認定された。2022年5月に‘きたすずか’として品種登録出願し、同年9月に出願公表された（出願番号36247）。

2 品種の特性

‘きたすずか’の枯ちょう期は加工用の主要品種‘さやか’より早く生食用の主要品種‘男爵薯’より遅い、“やや早”である。‘さやか’に比べいも数がやや多く、平均重がやや軽い。生食規格内いも重は‘さやか’並で‘男爵薯’より多収である。でん粉価は‘さやか’より低い。

塊茎の形は‘男爵薯’同様の“円形”、目の深さは‘男爵薯’より浅い“中”、肉色は“白”である（図-4）。休眠期間は‘男爵薯’並の“やや長”である。

水煮特性の評価結果は‘さやか’と同等で、Gp抵抗性であっても通常通りの調理が可能である。実需者によるポテトサラダや冷凍ダイスカットへの加工適性評価は既存品種よりは劣るものの、おおむね使用可能な水準であ

った。

Gp 抵抗性について、‘きたすずか’は“中（スコア5）”の抵抗性をもち、Gr 抵抗性も併せ持つ。Gpのシストを含む土壌でポット栽培した場合のGp増殖率は、感受性品種を栽培した場合に比べ10分の1程度と低い（図-5）。そのため感受性品種を栽培する場合に比べてGpの増殖を抑制することができ、Gp発生地拡大リスクを低減できると期待される。また‘きたすずか’はGpとGr以外の病害虫に対して抵抗性はない。

3 普及地帯と栽培上の注意

普及地帯は北海道一円だが、特に侵入リスクの高いGp発生地域の周辺地域に普及させることにより、Gpのまん延防止への貢献を期待するものである。作付け時には国や北海道の指導に従うことが推奨される。そのほかの注意点としては褐色心腐が多発する場合があるので高温・乾燥条件を避けるために適切な培土管理を行うと

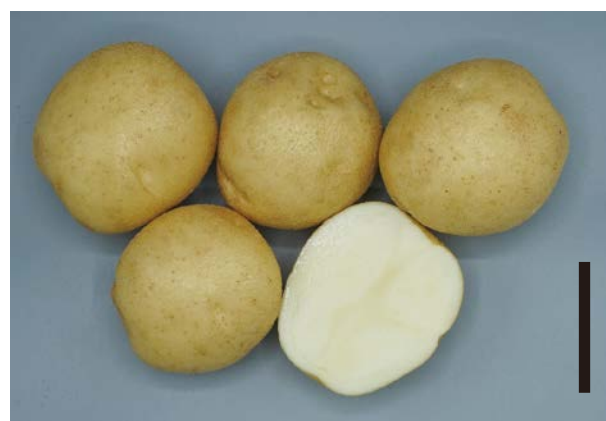


図-4 ‘きたすずか’の塊茎
写真中の黒色バーは5 cmを示す。

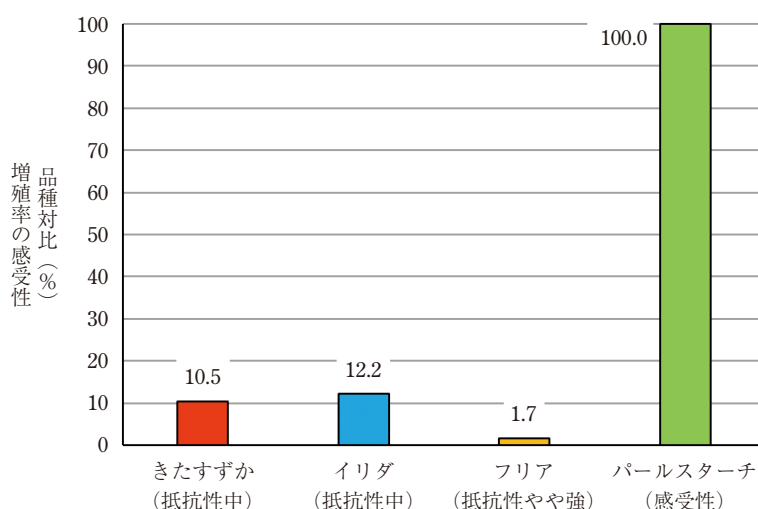


図-5 ‘きたすずか’の栽培によるGp増殖抑制効果
Gpのシストを含む土壌でポット栽培した際の増殖率の対感受性品種比（感受性品種‘パールスターチ’の増殖率=100）を示す。

もに多肥・疎植を避けること、葉の色むらや凹凸が強くウイルス病徴が見分けづらいので、ウイルス株の抜き取りに注意することがあげられる。

‘きたすずか’は、国内で育成された初めての Gp 抵抗性バレイショ品種である。Gp 抵抗性のように新たな特性を付与してこれまで以上に優れた品種を育成することは容易ではなく、‘きたすずか’には目が比較的深いことやサラダ適性がやや低い等の欠点がある。また、どの程度の Gp 抵抗性があればどの程度の Gp 密度低減効果が期待できるかといった知見も少なく、今後も試験を継続し知見を蓄積する必要がある。しかし、Gp が地域に侵入した際の影響は非常に大きなものであることから、侵入・拡大リスクの低減のために‘きたすずか’の活用は長期的に大きなメリットにつながると考えられる。

IV 将来に向けた課題

1 抵抗性選抜の効率化

現在 Gp や Gr 抵抗性個体の選抜は、DNA マーカーにより選抜した候補個体の抵抗性を接種試験により確認するという方法で行っている。Gr 抵抗性の選抜に利用している DNA マーカーは非常に高精度に抵抗性個体を選抜可能で、マーカーで抵抗性と判定された個体が感受性であることは滅多にない。しかしながら Gp 抵抗性の選抜に使用している DNA マーカーは、選抜精度がそれほど高くなく、DNA マーカーで抵抗性と判定されても感受性であることがあり、DNA マーカーのみで確実に抵抗性個体を選抜することは難しい。そのため、接種検定による抵抗性検定に依存せざるを得ない状況となっているが、接種検定を実施可能な施設は現時点では北海道農業研究センター本所に限られており、施設の・人力的制約により十分な規模の接種検定は行えていない。Gp 抵抗性検定に掛かる多大な労力を考えると接種規模の拡大は現実的ではなく、DNA マーカーのみで確実に抵抗性個体を選抜できるようマーカー精度を改良することが重要であると考えている。現在バレイショのゲノム情報を利用した *GpaIV^s_{adg}* の DNA マーカーの改良を進めており、将来は Gr 抵抗性のようにマーカーにより確実に抵抗性個体を選抜できるようにしたい。

2 多様な品種育成と能力向上

今後普及が予定されている品種を含めて、当面国内で

栽培可能な抵抗性品種は‘フリア’と‘きたすずか’と海外から新たに導入されたでん粉原料用品種‘ユーロビバ’のみである。発生地域ではポテトチップス用品種などの作付けも行われており、それらの用途での抵抗性品種開発も必要である。また、かつてジャガイモシロシストセンチュウの発生が全国に広がったように、Gp でも他地域に発生が拡大する可能性は否定できない。発生地域では緊急防除が行われており、防除区域は年々減少している。しかし品種育成には 10 年以上掛かることから、他の地域に広がった際にもすぐに対応できるように様々な用途の品種を取りそろえる必要がある。

‘フリア’は試験では既存品種と同等のでん粉収量が得られていたが、普及地域の拡大に伴い収量性に地域間差や年次間差が見られ、期待していたほどの収量が得られない場合があることもわかってきている。また、塊茎とストロンが離れにくいなどの栽培上の欠点も明らかとなってきた。現在安定的な多収性をもち、栽培しやすさや優れた品質をもつとともに強い抵抗性をもつ品種の開発を進めている。

現在農研機構を中核としたプロジェクトにおいて民間企業を含めた北海道内の主な育種機関のほか、長崎県でも Gp 抵抗性品種の育成が進められている。また、民間種苗会社により海外の Gp 抵抗性品種の導入と国内での適性評価が進められている。これらの取り組みを通じて、より優れた多様な Gp 抵抗性品種が育成されることを期待する。

謝辞 本稿で紹介した研究は、農研機構生研支援センター革新的技術開発・緊急展開事業（うち先導プロジェクト）「北海道畑作で新たに発生が認められた難防除病害虫ジャガイモシロシストセンチュウおよびビート西部萎黄ウイルスに対する抵抗性品種育成のための先導的技術開発」（ID：16802900）の研究成果である。

引用文献

- 1) ASANO, K. et al. (2012): Breed. Sci. **62**(2): 142~150.
- 2) ——— et al. (2021): ibid. **71**(3): 354~364.
- 3) 土壤凍結深制御技術標準作業手順書, https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/laboratory/naro/sop/136935.html
- 4) 坂田 至ら (2020): バレイショのジャガイモシロシストセンチュウ抵抗性検定マニュアル, https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/134414.html

特

集

海外から侵入したシストセンチュウ類の防除について 土壌サンプルからのテンサイシストセン チュウ DNA の検出と定量

龍谷大学農学部 ^{あさみず}浅水 ^{えりか}恵理香・^{いわほり}岩堀 ^{ひであき}英晶
長野県諏訪地域振興局諏訪農業農村支援センター ^{きた}北 ^{ばやし}林 ^{さとし}聡

はじめに

2017 年、長野県原村のアブラナ科野菜圃場において、国内最初のテンサイシストセンチュウ発生が認められ、翌 2018 年には植物防疫法に基づき、農林水産省による緊急防除が開始された。特に農薬を用いた防除は功を奏し、汚染圃場における線虫密度は低下し、一部では作物の栽培を再開する圃場も出てきた。再開は検出感度以下になったことが確認された圃場ではあるが、土壌中にわずかにでもシストおよび幼虫が残存すると、再発の原因となる。また、線虫密度調査のための土壌サンプリングは労力的な問題からサンプル調査にならざるを得ず、「検出感度以下」は根絶されたことを保証するものではない。したがって、営農再開に向けて、作付け前の迅速な土壌中のシスト数の定量方法の開発が喫緊の課題となる。

従来のふ化促進法を用いた検出法は生物検定的一种であり、確実な線虫の生存が確認できるものの、幼虫ふ化まで 1 週間以上を要し、かつ、専用の設備や施設を用意する必要がある。そこで、DNA レベルでの検出と定量を目的として、土壌からの線虫 DNA 単離と、種特異的プライマーを利用したリアルタイム PCR の条件検討を行い、土壌中の線虫密度の推定を行った。さらにふ化試験によって、シスト中の幼虫数と検出 DNA 量との関連を調べ、生存シストおよびその中の幼虫数と、リアルタイム PCR における Cq 値が相関していることを明らかにした。本手法は、迅速に多数の土壌サンプルを扱い、線虫 DNA 量より推定された線虫密度 (Cq 値) から、圃場におけるテンサイシストセンチュウの再発可能性を判断するのに有効である。

I 土壌 DNA 単離とテンサイシストセンチュウ DNA 検出方法の開発

1 土壌サンプルからの DNA 単離

本研究の目的は、テンサイシストセンチュウの発生が確認された圃場において、農薬処理による緊急防除後の営農再開可否を判断する技術開発であり、多数の土壌サンプルから迅速かつ簡便に線虫 DNA を検出する方法の開発である。近年、水や土壌等の環境サンプルから直接 DNA を単離する「環境 DNA」とよばれる実験手法が注目されている。そこで、本研究では、TABERLET et al. (2018) に基づいて、方法を最適化した。

(1) 土壌サンプルの採取

テンサイシストセンチュウの発生が確認された長野県原村の圃場では、2018 年に緊急防除が開始された。試験圃場全体 (42 × 20 m²) を処理区 (3 × 4 m²) に分割し、処理区間を互いに 0.5~1.0 m 隔てたうえで、農薬が処理された。農薬処理後にブロッコリー、カリフラワー、キャベツ、ハクサイ、ホウレンソウ等の野菜類が栽培され、防除効果が検証された。農薬と野菜類の組合せについては、表-1 に記載した。野菜類栽培後の 2018 年 8~10 月にかけて各処理区から土壌をサンプリングした。

(2) 飽和リン酸バッファ法による土壌 DNA 単離

TABERLET et al. の方法では、飽和リン酸バッファを用いて土壌粒子に結合した DNA を遊離させており、元々は排泄物や遺体等に由来する細胞外 DNA の単離を目的としている。対象とするサンプルは、土壌中に存在する硬い殻に覆われたシストであり、シスト内に卵が含まれる。卵の DNA を得るには、まず土壌ごとシストを粉碎する必要があった。加えて多数のサンプルを扱うには、サンプル当たりの土壌量はできるだけ少ないほうが好都合であった。そこで、各サンプルの乾燥土を 10 g ずつ測り取り、マルチビーズショッカー MB3000 (安井器械株式会社) を用いて粉碎し、ここから飽和リン酸バッファ法により DNA の単離を行った (単離法の詳細につい

A Rapid DNA Detection and Quantification Method from Field Soil Infested by the Beet Cyst Nematode, *Heterodera schachtii*.

By Erika ASAMIZU, Hideaki IWAHORI and Satoshi KITABAYASHI

(キーワード: 土壌 DNA, リアルタイム PCR, 半定量的検出, 休眠シスト)

ては ASAMIZU et al., 2022 を参照)。

2 リアルタイム PCR 法による線虫 DNA の定量

テンサイシストセンチュウのミトコンドリアシトクロム c オキシダーゼサブユニット I (COI) 遺伝子を増幅するプライマー (Hs_C1 f: 5'-GACTAATGAGGATTTATG GTACAC-3', Hs_C2 r: 5'-GTGCTACGACATAATAGG TATC-3') を設計した。土壌から単離した DNA の検出限界を探るため、次のような実験を行った。25℃の恒温室内で増殖したテンサイシストセンチュウのシストおよび、2 期幼虫を顕微鏡下で計数して 10 g の滅菌済み培養土に混ぜ、上記の方法で DNA を単離してリアルタイム PCR に供した。2 期幼虫を 1, 5 または 10 頭混合した土壌では、テンサイシストセンチュウ DNA の検出は成功した。一方で、シスト混合土壌では、シスト 10 個では検出が可能であったが、10 個未満では成功率が下がり、1 個では検出できなかった。

II ふ化試験

1 ふ化促進液の調製

シストセンチュウの卵を人為的にふ化させる際には、ふ化促進効果のある寄主植物の根浸漬液がしばしば使用される。そこで、寄主植物の種類と栽培日数について次のように条件を検討した。最初の試験では、ハクサイを用いた。育苗トレイに播種し、ガラス温室で 3 週間育成後、水道水を張ったバットにトレイごと 24 時間浸し、ろ過液をふ化促進液とした。2 回目の試験では、ブロッコリーまたはカリフラワーを 43 日間栽培し、同様に調製したろ過液をふ化促進液とした。

2 休眠シストの吸水とふ化促進

テンサイシストセンチュウでは、シストの休眠程度がふ化効率に大きく影響することが知られており、ふ化促進前の吸水処理が有効とされている。そこで、乾燥土壌

表-1 土壌サンプルの分類

処理区 (有効濃度)	栽培作物	サンプル数	小計
ダズメット (96.5%)	ブロッコリー	7	9
	カリフラワー	2	
クロルピクリン (70.0%)	ブロッコリー	3	18
	キャベツ	4	
	カリフラワー	3	
	ハクサイ	1	
	ホウレンソウ	1	
	ND*	6	
1,3-ジクロロプロペン (97.0%, 20 l/10 a)	ハクサイ	6	13
	ホウレンソウ	7	
1,3-ジクロロプロペン (97.0%, 30 l/10 a)	キャベツ	4	12
	ハクサイ	8	
メチルイソチオシアネート (20%) と 1,3-ジクロロプロペン (40%)	キャベツ	5	5
イミシアホス (1.5%)	キャベツ	4	10
	ホウレンソウ	6	
ホスチアゼート (1.5%)	ブロッコリー	6	16
	キャベツ	1	
	カリフラワー	8	
	ハクサイ	1	
農薬なし	ブロッコリー	2	47
	キャベツ	17	
	カリフラワー	5	
	ハクサイ	9	
	ホウレンソウ	12	
	ND*	2	
農薬なし	作物なし	11	11
合計			141

*記録がたどれないもの。

を実体顕微鏡下で広げ、シストをピンセットで拾い上げ、水道水で湿らせたろ紙に乗せて吸水させた。ここでも次のように条件検討を行い、最初の試験では3日間、2回目の試験では4週間に渡って吸水させた。吸水処理はいずれも20~25℃で行った。吸水後のふ化は、上記の方法で調製したふ化促進液を用いて、ベルマン漏斗法で2週間行った。

III リアルタイム PCR 結果とふ化幼虫数の関係

1 リアルタイム PCR で検出された DNA レベル

表-2 に土壌中から単離した DNA について、処理区別に平均 Cq 値を示した。この値が小さいほど DNA 量は多く、大きいほど少ないことを意味している。この結果から、農薬の有無や種類によらず、どの試料からもテンサイシストセンチュウの DNA が検出されたことがわかる。農薬なしで作物栽培あり区の平均 Cq 値が 29.4 である。これを基準として他の農薬処理区と比較すると、農薬処理によって劇的に DNA 量が減っているとはいえない。本研究では土壌粉碎後に DNA 単離を行っているため、土壌ごと粉碎されたシスト中の卵 DNA を検出している可能性があると考え、ふ化試験結果との関連を調べた。

表-2 処理区別のリアルタイム PCR の平均 Cq 値

処理区	平均 Cq 値
ホスチアゼート	28.5
イミシアホス	29.2
ダゾメット	29.4
農薬なし（作物栽培あり）	29.4
メチルイソチオシアネートと 1,3-ジクロロプロベン	29.5
クロルピクリン	30.2
1,3-ジクロロプロベン（30 l/10 a）	30.5
農薬なし（作物栽培なし）	31.1
1,3-ジクロロプロベン（20 l/10 a）	31.2

2 ふ化幼虫数

表-3 に2回のふ化試験結果を処理区別に示した。土壌 10 g 中の平均ふ化幼虫数を比較すると、農薬なしで作物栽培なし区からのふ化数が 7.9 頭と最も低かった。この結果は、農薬を処理するよりも、作物を栽培しないことの方がシスト数の低減につながることを表しており、農薬処理区においてもシストが残存していれば再増殖が起こることを示している。次に、リアルタイム PCR で検出された DNA レベルが、シスト中の卵 DNA を反映しているかどうかについて検証した。

3 検出 DNA レベルとふ化数との関連について

図-1 に示したように、DNA レベルが高かったサンプルではふ化幼虫数が多く、低かったサンプルではふ化幼虫数が少ないという関連が、統計的に裏付けられた。検出 DNA レベルは土壌中の生存卵量を反映しているといえる。当初、本研究で採用した土壌 DNA 単離方法は、環境中の細胞外 DNA を対象としていることから、遺体に由来するような、再発と関係しない線虫 DNA を検出する可能性を危惧していた。土壌中の細胞外 DNA の安定性については、分解速度が速く、その速度は温度および湿度と正の関係にあり、耕起土壌ほど分解が速いことが報告されている（Sirois and Buckley, 2019）。このような知見に基づくと、本研究の条件では、農薬処理でいったん死滅した幼虫の DNA はほとんど残っていない可能性が高い。ふ化数との有意な関連からも示唆される通り、本手法で検出された DNA については、再発の指標となるシスト数を表すといってよいと考えられる。

お わ り に

本研究では土壌から単離した DNA を用い、リアルタイム PCR 法により圃場中のテンサイシストセンチュウ密度の推定を行うことができた。その範囲は、シスト数

表-3 10 g 土壌サンプルからふ化した2期幼虫数

処理区	サンプル数	ふ化数（1回目）	ふ化数（2回目）	10 g 中の平均数
ダゾメット	9	91	345	24.2
メチルイソチオシアネートと 1,3-ジクロロプロベン	5	121	61	18.2
ホスチアゼート	16	280	260	16.9
イミシアホス	10	173	164	16.9
農薬なし（作物栽培あり）	47	726	720	15.4
1,3-ジクロロプロベン（30 l/10 a）	12	288	64	14.7
1,3-ジクロロプロベン（20 l/10 a）	13	159	173	12.8
クロルピクリン	18	111	259	10.3
農薬なし（作物栽培なし）	11	46	127	7.9
合計	141	1,995	2,173	

吸水は1回目は3日、2回目は4週間行った。その後、1回目にはふ化促進にハクサイ根浸漬液を用い、2回目にはブロッコリーまたはカリフラワー根浸漬液を用いた。

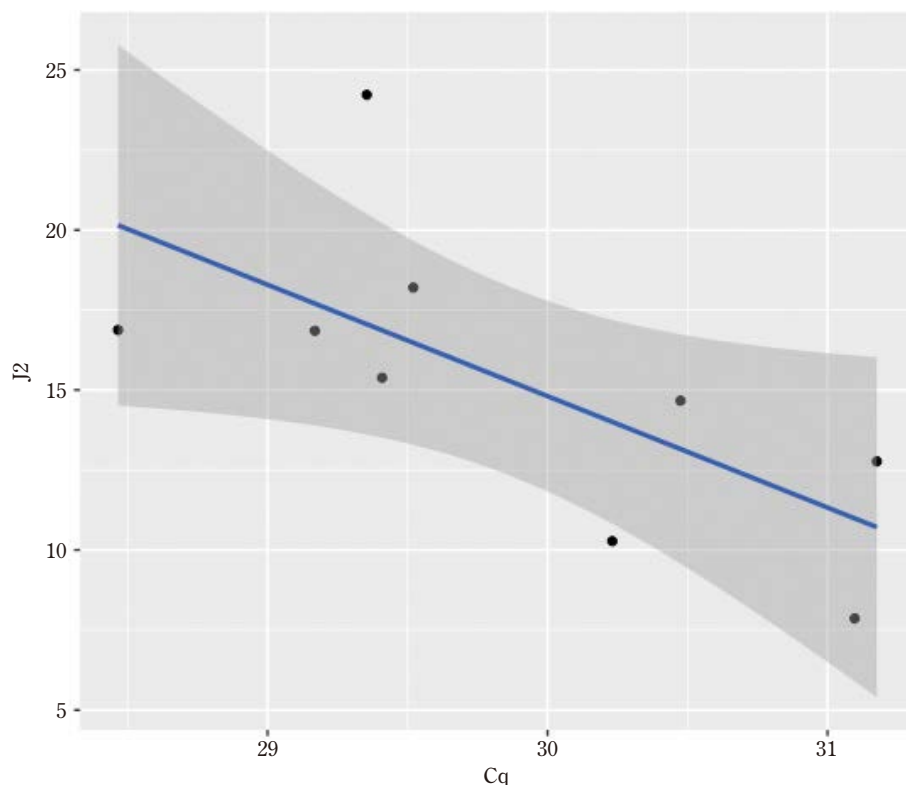


図-1 リアルタイム PCR 結果 (Cq 値) とふ化 2 齢幼虫数との関連を示すドットプロット
処理農薬別に関連を調べた結果, 有意な相関が認められた. 青線は, ピアソン相関係数
-0.67 ($P < 0.05$) を示し, 灰色の領域は 95% 信頼区間を示す (ASAMIZU et al., 2022 より
転載).

では 10 g の土壌中で 10 個程度, ふ化幼虫では 1 頭でも検出可能であった。しかしながら, シストは土壌中に長期間存在し, 様々な環境条件によって生存率が変化する。また, 圃場の土質によって DNA の単離効率が変化する可能性も否定できない。今後は, 圃場ごとの詳細なデータを集め, より正確な線虫密度推定技術に仕上げていく必要があるだろう。

近年の気候変動や国境を超えた人と物の往来の増加により, これまでに侵入が見られなかった線虫種による作物被害は, 今後も起こりうると予想される。今回紹介した内容はテンサイシストセンチュウに対して応用したものであるが, 本手法の利点は, PCR プライマーを対象

とする種に応じて変えればよいという汎用性である。検出感度の向上などの課題は残っており, 引き続き開発の取り組みを継続していきたい。

本研究は 2019 年～2021 年度生物系特定産業技術研究支援センターイノベーション創出強化研究推進事業 01024C の支援を受けて行った。

引用文献

- 1) ASAMIZU, E. et al. (2022): Nematological Research, in press.
- 2) SIROIS, S. H. and D. H. BUCKLEY (2019): Environmental Microbiology Reports 11 (2): 173~184.
- 3) TABERLET, P. et al. (2018): Environmental DNA, Oxford University Press, UK, p.35~40.

特

集

海外から侵入したシストセンチュウ類の防除について テンサイシストセンチュウに対する 各種殺線虫剤の防除効果

長野県野菜花き試験場 ^{かね こ}金子 ^{まさ お}政夫*・^{きたばやし さとし}北林 聡**

はじめに

2017年9月に長野県諏訪郡原村のアブラナ科野菜の栽培圃場において、テンサイシストセンチュウ *Heterodera schachtii* Schmidt (以下、Hs と表記) が国内で初確認された (SEKIMOTO et al., 2019)。Hs は、国内にまん延すると有用な植物に重大な損害を与えるおそれがあるため、植物防疫法施行規則第5条の2に基づき検疫有害動植物に指定されている。Hs はハクサイやキャベツ、ブロッコリー、ダイコン等のアブラナ科植物をはじめ、テンサイ等のフダンソウ属植物、ルバーブ等のダイオウ属植物、ホウレンソウ、トマト等の幅広い植物群の地下部に寄生し (図-1)、野菜生産の大きな障害となる (STEELE, 1965)。

2018年4月から植物防疫法第17条に基づく緊急防除が始まり、土壌くん壤剤の複数回処理等による防除が実

施されている。そして、土壌検診により Hs が検出限界以下となった圃場では、営農が再開されている。その一方で、検出限界以下となった圃場において寄主植物の栽培後に土壌検診を実施した結果、2019年度までに25%の圃場で Hs が再検出された (農林水産省, 2021)。このことから、寄主植物の栽培を再開する場合、再発予防のために何らかの防除手段が必要と考えられた。

これまでに、営農再開後の防除対策に有効な殺線虫剤の登録拡大に向けて、2018年に各種殺線虫剤の Hs に対する防除効果を検討した。また、2019年には Hs 発生地域で生産が盛んなブロッコリーおよびカリフラワーに適用害虫の登録があり、くん蒸剤と比較し処理が簡便なホスチアゼート粒剤の処理適期について検討したので紹介する。

I 試験実施に向けた準備

原村では緊急防除が実施されているため、植物防疫法第18条に基づき、寄主作物の栽培と、Hs が付着しているおそれがある植物等の移動が禁止となる。このため、Hs 発生圃場での薬効・薬害試験の実施に際し、寄主作物の作付けを行うための「作付禁止植物作付許可申請書」と、調査拠点までの土壌移動を行うための「移動制限植物等移動許可申請書」を提出し、農林水産大臣許可を得る必要があった。幸いにも同村内に本県の関連施設があり、農研機構北海道農業研究センター、名古屋植物防疫所に助言をいただきながら、汚染水の貯留装置や飛散防止用粘着シートの設置、二重扉の整備等を県職員自らの手で行い、前述の許可を得て試験実施に至った。

試験圃場の設置に際し、Hs 発生範囲の特定調査において名古屋植物防疫所の土壌検診により Hs シストが検出され、かつ地上部の調査に際しアブラナ科根こぶ病による影響を避けるため、生産者への聞き取りによりアブラナ科本病の発病が見られない圃場の中から、各年1圃場を選定した。2018年に試験を実施した圃場における、薬剤処理前の平均シスト数は 185.2 ± 65.2 S.D./風乾土壌 100 g であり、高密度条件での試験となった (図-2)。ま

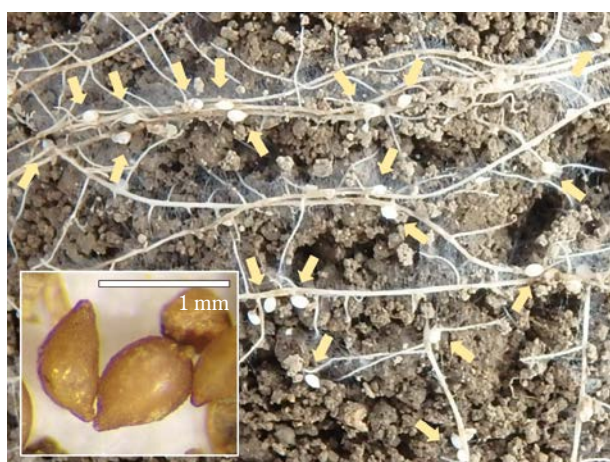


図-1 根に寄生する Hs 雌成虫 (矢印) と土壌中から採集されたシスト (写真左下)

Comparison Among Nematicides on Control Effect of Sugar Beet Cyst Nematode, *Heterodera schachtii* Schmidt. By Masao KANEKO and Satoshi KITABAYASHI

(キーワード: テンサイシストセンチュウ, *Heterodera schachtii*, Hs, 殺線虫剤)

*現所属: 長野県農政部農業技術課農業試験場駐在

**現所属: 長野県諏訪地域振興局諏訪農業農村支援センター

3 m		南側															
東側	5 m	144	107	171	121	101	77	198	69	147	124	192	180	171	203	121	151
		211	103	229	142	250	146	168	121	113	126	118	109	134	205	92	200
		210	118	291	148	176	130	135	108	125	141	170	168	180	269	98	172
		159	136	112	175	97	73	145	73	102	124	181	145	109	183	101	159
		331	159	331	289	205	165	134	203	195	240	253	281	239	217	178	174
		264	275	312	318	244	167	151	242	235	282	232	227	209	181	221	196
		293	145	412	289	307	233	132	187	183	223	241	242	192	245	192	166
		153	131	347	271	273	219	119	232	200	180	223	173	196	194	141	159

図-2 2018年試験圃場における処理前の乾燥土壌 100 g に含まれる Hs シスト数

	5 m	南側			
3 m	0	5	10	3	32
東側	2	12	16	2	39
	1	5	7	2	45
	0	4	9	3	18
	3	2	10	2	13
	8	3	4	1	6

図-3 2019年試験圃場における処理前の乾燥土壌 100 g に含まれる Hs シスト数

た、2019年の試験では、2018年にアブラナ科野菜が作付けされ、Hsシストが新たに検出された圃場で試験を実施した。薬剤処理前における平均シスト数は 8.9 ± 11.2 S.D./風乾土壌 100 g と、2018年と比較し低密度条件での試験となった（図-3）。これらの図に示す通り、圃場内でのシスト分布のばらつきが大きく、困難な条件での試験となった。なお、いずれの圃場も、土質は礫質普通アロフェン質黒ボク土に分類された。

II Hs に対する各種殺線虫剤の防除効果 (2018年)

1 試験方法

夏どりと秋どりの2作型において6薬剤、5品目を組み合わせ、1区 15 m² (3×5 m) 3反復の試験区を設置した。1,3-ジクロロプロペン（以下、1,3-D）、メチルイ

ソチオシアネート（以下、MITC）と1,3-Dの混合剤（以下、MD剤）は土壌消毒機（丸山製作所製 MI-3A）を用いて縦横 30 cm 間隔で格子状に灌注し、またクロルピクリン錠剤は縦横 30 cm 間隔で埋め込み、踏圧した。ダゾメット微粒剤、イミシアホス粒剤およびホスチアゼート粒剤は手で均等に散布した後、歩行型耕うん機を用いて耕起し土壌混和した。土壌くん蒸剤の処理時期を表-1に示す。イミシアホスは定植または播種の直前に、またホスチアゼートは登録申請時に予定されていた使用時期に合わせて定植 21 日前に処理した。なお、ダゾメットおよびクロルピクリンの処理後は、速やかにポリ塩化ビニール製シート（0.07 mm 厚）で被覆した。

2 調査方法

土壌中シスト数の調査は、各試験区を9分割し、それぞれから線虫スコップを用いて土壌を採集した。そして、混和後に風乾土壌 100 g を秤量し、ふるい分けシスト流し法（相場，2014）によりシストを抽出した。ろ紙上に回収したシストを実体顕微鏡下で柄付き針を用いて破壊し、外観から生きていると判断した卵や幼虫が認められたシストを計数し、補正密度指数を算出して評価した。根部寄生シスト数は、ショベルを用いて調査株を中心に掘り上げて軽く土を払い落とし、根部に寄生する白色のシスト（雌成虫）を、ルーペを併用して計数した。

また、根部寄生シスト数の確率密度分布はポアソン分布に従うと仮定し、応答変数を根部寄生シスト数、供試薬剤、品目および作型を説明変数、さらに処理前における Hs シスト分布のばらつきが大きいことから処理前の土壌中シスト数をオフセット項とし、一般化線形モデル

表-1 供試した土壌くん蒸剤の処理時期

供試薬剤の有効成分（含有割合）	供試品目	夏どり作型		秋どり作型	
		処理日	定植・播種日	処理日	定植・播種日
1,3-ジクロロプロペン（97.0%）	キャベツ ハクサイ ホウレンソウ	5月18日	6月 8日	6月19日	7月 4日
ダゾメット（96.5%）	ブロッコリー カリフラワー	5月17日	6月 8日	6月19日	7月10日
クロルピクリン（70.0%）	キャベツ	－	－		
	ハクサイ	－	－	6月19日	7月 4日
	ホウレンソウ	－	－		
	ブロッコリー カリフラワー	－	－	6月19日	7月10日
メチルイソチオシアネート（20.0%） ＋ 1,3-ジクロロプロペン（40.0%）	キャベツ	－	－	6月19日	7月10日

（GLM）を用いた統計解析により薬剤処理による根部寄生シストの低減程度を示す推定係数を算出し、各種殺線虫剤の防除効果を比較した。

3 結果と考察

（1） 1,3-D（1,3-ジクロロプロペン）

1,3-D の 20 l/10 a 処理により、夏どり作型のキャベツを除いて土壌中シストの補正密度指数はおよそ 20～50 まで低下し、根部寄生シスト数も無処理と比較し有意に少なかった（表-2）。さらに、1,3-D の 30 l/10 a 処理後にハクサイを作付けした区では、20 l/10 a 処理と同等かそれ以上の土壌中シスト数および根部寄生シスト数の低減効果が認められ、地上部重も無処理と比較し有意に大きい結果となった。本剤は線虫体内の基礎代謝に係る複数の酵素の活性を阻害する作用機作を有すること、また本剤の有効成分は蒸気圧が高く（シス体 4.8 kPa, 25℃）、常温で徐々にガス化し土壌間隙をガスで満たしながら拡散するため処理むらが生じにくいこと、水への溶解度が比較的高いこと（1,3-D 技術協議会, 2015）が、本剤が高い防除効果を示す要因であると考えられた。

（2） ダゾメット

ダゾメット処理により土壌中シストの補正密度指数がおよそ 50～70 に低下したものの、夏どり作型では根部寄生シスト数が無処理と比較し有意に多い結果となった。地上部重は無処理と比較し有意に大きいことから、薬剤処理により Hs の寄生に伴う生育抑制が抑えられ、寄生部位となる根域の拡大により収穫時の根部寄生シスト数が増加したと考えられた。土壌に処理された本剤は土壌水分により速やかに分解され、活性成分である MITC を生成して土壌中に拡散し、呼吸作用における SH 基酵素を阻害する。MITC は土壌中では下方や水平

方向にほとんど移行しないこと（日本曹達, 2003）が、Hs の高密度条件において十分な防除効果が得られない一因と考えられた。

（3） クロルピクリン

クロルピクリン処理後の根部寄生シスト数は、秋どり作型のハクサイを除いて無処理と比較し有意に少なく、地上部重はすべての供試作物で有意に大きいことから、防除効果は高いと考えられた。本剤は蒸気圧が高く（3.72 kPa, 25℃）土壌拡散性が高いことが、防除効果が高い一因と考えられた。

（4） MD 剤（MITC と 1,3-D の混合剤）

MD 剤処理後の根部寄生シスト数は、無処理と比較し有意に少なく、地上部重は有意に大きい結果となったものの、土壌中シストの補正密度指数は 100 を超える結果となった。本剤はダゾメットの分解産物である MITC を 20.0%、1,3-D を 40.0% 含有した混合剤であり、前述の 1,3-D（97.0% 製剤）と比較し 1,3-D の含有割合が低いことと、前述の MITC の特性が、土壌中シスト数の低減効果が劣る要因と考えられた。

（5） イミシアホス・ホスチアゼート

イミシアホスをキャベツの定植当日、ホウレンソウの播種当日に処理した区では、土壌中シストの補正密度指数は 30～50 まで減少した。無処理と比較し、根部寄生シスト数は秋どり作型のキャベツを除いて有意に少なく、地上部重は夏どり作型のホウレンソウを除いて有意に大きい結果となった。一方で、ホスチアゼートをブロッコリーおよびカリフラワーの定植 21 日前に処理した区では、いずれの作型においても根部寄生シスト数は無処理と比較し同等が多く、特に秋どり作型では地上部重が無処理よりも小さい結果となった。

表-2 各種殺線虫剤によるテンサイシストセンチュウに対する防除効果 (金子・北林, 2019 を改変)

種類	殺線虫剤の有効成分 (含有割合) [商品名]	供試品目 ‘品種名’	10 a 当たり ^{a)} 処理量	夏どり作型 ^{b),c)}				秋どり作型 ^{b),c)}						
				乾燥土壌 100 g 中の 生存シスト数		補正 ^{d)} 密度 指数	根株当たり ^{e),f)} 寄生シスト数	地上部の ^{e),f)} 平均重量 (g)	乾燥土壌 100 g 中の 生存シスト数		補正 ^{d)} 密度 指数	根株当たり ^{e),f)} 寄生シスト数	地上部の ^{e),f)} 平均重量 (g)	
				処理前	処理後				処理前	処理後				
土壌くん殺剤	1,3-ジクロロプロベン (97.0%) [D-D, 旭 D-D, DC 油剤, テロン]	キャベツ ‘信州 868’	20 l 無処理	258.0 141.0	64.0 36.3	96.4 100	59.3 76.5 ns	1,799.0 ** 932.1	115.7 126.7	41.3 85.0	53.2 100	9.0 ** 127.2	2,027.4 ** 900.2	
		ハクサイ ‘信州大福’	20 l 30 l 無処理	221.3 173.0 204.0	53.0 21.7 118.3	41.3 21.6 100	11.5 b 1.9 a 31.3 c	2,236.6 a 2,008.0 a 419.8 b	123.7 158.7 126.0	46.7 34.3 96.3	49.4 28.3 100	1.4 a 2.0 a 28.9 b	1,996.9 a 2,014.8 a 704.8 b	
		ホウレンソウ ‘晩抽サンホープ’	20 l 無処理	220.7 232.0	56.0 124.7	47.2 100	4.7 ** 19.6	65.3 ** 19.9	146.3 163.0	34.3 100.7	37.9 100	0.6 ** 7.4	37.9 ** 6.1	
		ブロッコリー ‘SK9-099’	30 kg 無処理	245.0 257.7	45.3 86.3	55.2 100	138.5 ** 66.2	786.9 ** 520.4	122.7 185.0	55.0 113.7	72.9 100	58.2 ns 97.1	753.0 ns 823.4	
	ダゾメット (96.5%) [バスアミド微粒剤]	カリフラワー ‘スノークラウン’	30 kg 無処理	250.3 281.3	47.0 90.7	58.2 100	98.9 ** 35.1	927.4 ** 325.8	222.7 147.7	62.7 95.3	43.6 100	74.6 ns 116.3	1,138.4 ns 1,153.7	
		キャベツ ‘信州 868’	11,000 錠 無処理	—	—	—	—	—	192.0 126.7	—	—	—	29.5 ** 127.2	2,024.1 ** 900.2
		ハクサイ ‘信州大福’	11,000 錠 無処理	—	—	—	—	—	125.3 126.0	—	—	—	17.5 ns 28.9	1,707.0 ** 704.8
		ホウレンソウ ‘晩抽サンホープ’	11,000 錠 無処理	240.7 232.0	65.7 124.7	50.8 100	1.9 ** 19.6	61.0 ** 19.9	192.0 115.0	—	—	—	1.8 ** 21.5	15.2 ** 5.9
	メチルイソチオシアネート (20.0%) + 1,3-ジクロロプロベン (40.0%) [ディ・トラベックス油剤]	ブロッコリー ‘SK9-099’	11,000 錠 無処理	—	—	—	—	—	125.3 185.0	—	—	—	31.6 ** 97.1	1,324.5 ** 823.4
		カリフラワー ‘スノークラウン’	11,000 錠 無処理	—	—	—	—	—	125.3 147.7	—	—	—	11.7 ** 116.3	1,559.9 ** 1,153.7
キャベツ ‘信州 868’		30 l 無処理	—	—	—	—	—	135.0 158.3	90.7 102.0	104.3 100	42.5 ** 96.9	1,749.4 ** 1,050.2		
キャベツ ‘信州 868’		20 kg 無処理	249.7 198.3	—	—	3.5 ** 10.9	1,668.0 ** 1,356.1	137.7 158.3	44.3 102.0	49.9 100	63.9 ns 96.9	1,682.7 ** 1,050.2		
非くん殺剤	イミシアホス (1.5%) ^{e)} [ネマック粒剤]	ホウレンソウ ‘晩抽サンホープ’	20 kg 無処理	221.0 246.0	34.0 125.0	30.3 100	2.5 ** 11.8	42.7 42.5 ns	170.0 115.0	51.0 103.7	33.3 100	11.7 * 21.5	11.8 ** 5.9	
		ブロッコリー ‘SK9-099’	20 kg 無処理	217.7 257.7	97.7 86.3	134.0 100	82.6 ns 66.2	623.9 ** 520.4	130.0 185.0	53.0 113.7	66.3 100	149.3 * 97.1	582.2 ** 823.4	
		カリフラワー ‘スノークラウン’	20 kg 無処理	191.3 281.3	127.0 90.7	205.9 100	68.9 ns 35.1	740.4 ** 325.8	144.3 147.7	69.0 95.3	74.1 100	110.3 ns 116.3	1,114.7 ns 1,153.7	

a) 無処理区において同作型、同品種で同じ数値が記載されているものは、同じ試験区に由来する。

b) 土壌中のシスト数は n = 3, 根部シスト数は n = 15 (ただしホウレンソウのみ n = 30), 地上部重は n = 30 (ただしホウレンソウは n = 60, クロルピクリン処理区のハクサイは n = 24, ブロッコリー・カリフラワーは n = 15)。

c) ハイフン (—) は試験を実施しなかった。

d) 補正密度指数 = {(無処理区の処理後シスト数 × 処理区の処理前シスト数) / (処理区の処理後シスト数 × 無処理区の処理前シスト数)} × 100。

e) Welch の t 検定により、無処理と比較し有意差あり (* p < 0.05, ** p < 0.01)。

f) Tukey の多重比較により、異なるアルファベットの区間に有意差あり (p < 0.05)。

g) イミシアホスは定植または播種直前に処理した。

h) ホスチアゼートは定植 21 日前に処理した。

イミシアホスとホスチアゼートはいずれも有機リン系の殺線虫剤で、土壌中のふ化促進物質により卵からふ化した2期幼虫が有効成分に接触することで制線虫作用や殺線虫作用を示す(小柳ら, 1998; 大崎ら, 2010)。イミシアホスを定植または播種直前に処理した区では、寄主植物の根から滲出したふ化促進物質により、卵からふ化した2期幼虫が有効成分に接触して防除効果が発揮されたと考えられた。一方で、ホスチアゼート処理区では薬剤処理から定植まで21日間空いたことにより、寄主植物の定植時には有効成分の流亡や加水分解、土壌微生物による分解等により土壌中の有効成分濃度が低下し(小林, 2000)、寄主植物の定植によりふ化した2期幼虫が有効成分に接触する機会を逸して防除効果が低下したと考えられた。

(6) 各種殺線虫剤の比較

統計解析の結果を図-4に示す。推定係数が低いほど、薬剤処理による根部寄生シスト数の低減効果が高いことから、夏どり作型で最も防除効果が高いと推測されたのは1,3-Dの30 l/10 a処理で、クロルピクリン、イミシアホスの定植または播種直前処理、1,3-Dの20 l/10 a処理と続いた。秋どり作型でも1,3-Dの30 l/10 a処理が最も防除効果が高いと推測され、同20 l/10 a処理、クロルピクリン、MD剤、イミシアホスの定植または播種直前処理、ダゾメットと続いた。

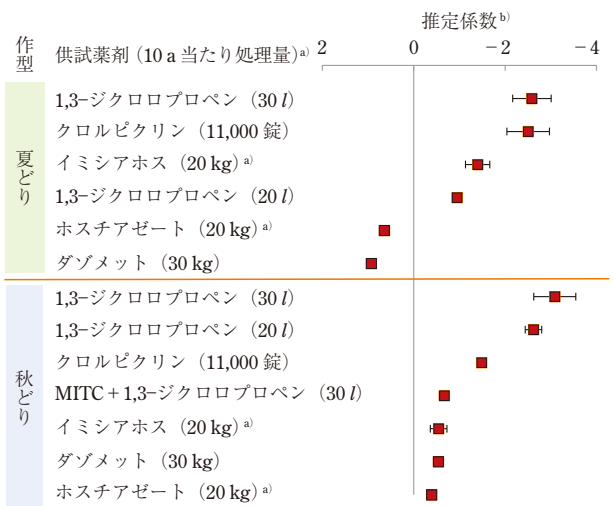


図-4 一般化線形モデルにより解析された推定係数
a) 土壌くん蒸剤の処理時期は表-1のとおり。イミシアホスは定植または播種直前に、ホスチアゼートは定植21日前に処理。
b) 応答変数を根部寄生シスト数とし、供試薬剤、品目および作型を説明変数、処理前の土壌中シスト数をオフセット項として算出。推定計数(供試薬剤ごとの偏回帰係数)が小さいほど、無処理と比較し根部シスト数を減少させる効果が高いと推定される。なお、エラーバーは標準誤差を示す。

くん蒸剤は防除効果が高いものの、土壌灌注器等の処理機器が必要なこと、処理時に臭気に曝され眼や皮膚に対して刺激性があること、ガス抜き作業が必要なことから、生産者個人によるくん蒸剤の処理は容易ではない。しかしながら、ダゾメットやMD剤はアブラナ科作物の根こぶ病対策として、クロルピクリンはハクサイの黄化病やハウレンソウの立枯病、雑草対策等として使用されることがあり、Hsの密度抑制効果に加えてこれらの副次的効果にも期待できるため、生産者に受け入れられやすいと考えられた。また、取り扱いが容易なイミシアホスを定植または播種直前に処理した場合にも一定の防除効果に期待できると考えられた。

III ホスチアゼート粒剤の処理適期の検討 (2019年)

1 試験方法

試験区は1区15 m² (3×5 m)の3反復とした。寄主植物の定植28, 14, 7日前および定植直前に歩行型耕うん機を用いて耕起し、ホスチアゼート粒剤を手で均等に散布して同耕うん機を用いて土壌に混和した。そして、7月3日にカリフラワーおよびブロッコリー苗を定植した。

2 調査方法

定植42日後にスコップを用いて根部を掘り上げ、根部に寄生する白色のシスト(雌成虫)を計数した(n=15)。また、収穫期となる定植56日後に花蕾部の長径を計測し、その翌日に外葉と花蕾部を含めた地上部の生重を計量した(n=60)。さらに、定植57および76日後に線虫スコップを用いて株元の土壌を採集し、風乾土壌100 gに含まれる生存シストを計数した(n=3)。

3 結果と考察

ホスチアゼート処理により、ブロッコリーおよびカリフラワー収穫期の土壌中のシスト数が減少し、特に本剤を定植7日前に土壌処理した区において、補正密度指数が低い傾向が認められた(表-3)。定植42日後における根部寄生シストの補正密度指数を比較すると、ブロッコリーでは本剤を定植14, 7日前および定植当日に土壌処理した区において低い傾向が認められたものの、カリフラワーでは判然としない結果となった。地上部重を比較すると、ブロッコリーでは本剤の定植7日前処理により、無処理区と比較して有意に大きい結果となった(表-4)。一方で、カリフラワーでは処理区間で有意な差は認められなかった。花蕾径を比較すると、ブロッコリーでは本剤の定植14または7日前処理、カリフラワーは定植当日処理により、無処理区と比較し有意に大きい結果とな

表-3 ホスチアゼートの処理時期が土壤中の Hs シスト数および根部に寄生するシスト数に及ぼす効果 (金子・北林, 2020 改変)

品目 ‘品種’	処理日	乾燥土壌 100 g に含まれる 生存 Hs シスト数			補正密度指数		株当たり根部寄生 Hs シスト数	(参考) ^{a)} 補正密度指数
		処理前 (5月29日)	定植 57日後 (8月29日)	定植 76日後 (9月17日)	定植 57日後 (8月29日)	定植 76日後 (9月17日)	定植 42 日後 (8月14日)	
ブロッコリー ‘SK9-099’	定植当日	7.0	0.7	5.7	3.5	5.8	3.6	23.1
	定植 7 日前	3.3	0.3	1.7	3.1	3.6	1.0	13.6
	定植 14 日前	8.3	1.7	10.0	7.1	8.5	4.4	23.8
	定植 28 日前	4.7	1.0	6.0	7.4	9.0	9.7	92.7
	無処理	5.3	15.3	75.0	100	100	11.8	100
カリフラワー ‘スノークラウン’	定植当日	15.3	1.0	3.3	13.3	9.7	3.6	43.0
	定植 7 日前	4.0	0.0	0.3	0.0	3.4	1.5	68.6
	定植 14 日前	18.0	1.7	4.3	19.2	10.7	7.2	73.2
	定植 28 日前	2.7	0.3	0.7	22.6	11.6	2.9	196.4
	無処理	20.3	10.0	45.3	100	100	11.1	100

a) 薬剤処理前の土壤中シスト数に対する根部寄生シスト数の補正密度指数。

表-4 ホスチアゼートの処理時期が花蕾径および地上部重に及ぼす効果 (金子・北林, 2020 改変)

品目 ‘品種’	薬剤処理日	花蕾径 (cm)	地上部重 (g)
		定植 56 日後 (8月28日)	定植 57 日後 (8月29日)
ブロッコリー ‘SK9-099’	定植当日	11.1 ab	1,172 ab
	定植 7 日前	11.6 a	1,216 a
	定植 14 日前	12.4 a	1,151 ab
	定植 28 日前	11.2 ab	1,170 ab
	無処理	9.8 b	1,084 b
カリフラワー ‘スノークラウン’	定植当日	10.1 a	1,171 a
	定植 7 日前	9.4 ab	1,184 a
	定植 14 日前	9.5 ab	1,242 a
	定植 28 日前	9.7 ab	1,219 a
	無処理	7.6 b	1,117 a

※ Tukey の多重比較により、異なるアルファベットの区間に有意差あり ($p < 0.05$)。

った。

土壌に混和されたホスチアゼートは、土壌中の水分を受けて有効成分が溶出する。本剤の土壌吸着性を示す KOC 値は 25~100 であることから土壌中での移動性は低く (小柳ら, 1998), 土壌中に有効成分が拡散するには一定の時間を要すると考えられた。このため、本剤を定植当日に処理した場合、土壌中に生息する幼虫が根に到達するまでの間に有効成分に接触する機会がなく、さらに有効成分が根の内部に移行する前であるため、根部への幼虫の侵入と、根部に侵入した幼虫の生育を許すケースが生じ、定植 7 日前処理と比較し効果がわずかに劣ったと考えられた。一方で、本剤を定植 28 日前に処理した場合、定植までの間に土壌中の有効成分が減少し、寄主植物の定植後にふ化した幼虫に対して十分な防除効果が発揮されない可能性が考えられた。

これらの結果から、いずれの品目においても、ホスチ

アゼートの定植 14~7 日前処理により、土壌中シスト数および根部寄生シスト数の減少効果が大きく、花蕾径と地上部重が確保されたと考えられた。なお、ブロッコリーおよびカリフラワーにおける本剤の使用時期は定植 7 日前までである (2023 年 1 月 1 日現在)。

本試験は Hs 密度が低い条件で試験を実施したため、圃場内の密度のばらつきに伴う誤差が大きい可能性がある。本剤の処理適期については、高密度条件の圃場で再度試験することが望ましい。また、先述の通り有効成分の土壌中の移動性が低いことから、散布むらが生じた場合や農作業機械による土壌混和が不十分な場合に、十分な防除効果が発揮されない可能性がある。このため、本剤を使用する際は、散布むらのない均一な散布と十分な土壌混和が重要であると考えられた。また、有効成分の土壌中での拡散に必要な土壌水分に加えて、幼虫のふ化速度は地温の影響を大きく受けることから (STEELE et

表-5 テンサイシストセンチュウを対象害虫として登録拡大された殺線虫剤（2023 年 1 月 1 日現在）

殺線虫剤の有効成分（含有割合） [商品名]	作物名				
	キャベツ	はくさい	ブロッコリー	カリフラワー	ほうれんそう
1,3-ジクロロプロベン（97.0%） [D-D, 旭D-D, DC油剤, テロン]	テンサイシスト センチュウ 20 l/10 a	テンサイシスト センチュウ 20 l/10 a	テンサイシスト センチュウ 20 l/10 a	テンサイシスト センチュウ 20 l/10 a	テンサイシスト センチュウ 20 l/10 a
ダゾメット（96.5%） [バスアミド微粒剤, ガスタード 微粒剤]	ネコブセンチュウ ほか 20～30 kg/10 a	ネコブセンチュウ ほか 20～30 kg/10 a	テンサイシスト センチュウ 30 kg/10 a	テンサイシスト センチュウ 30 kg/10 a	ハウレンソウ ケナガコナダニほか 20～30 kg/10 a
イミシアホス（1.5%） [ネマキック粒剤]	テンサイシスト センチュウ 20 kg/10 a 定植前	ネコブ/ネグサレ センチュウほか 20 kg/10 a 播種または定植前	作物登録なし	作物登録なし	テンサイシスト センチュウ 20 kg/10 a 播種前
ホスチアゼート（1.5%） [ネマトリンエース粒剤]	作物登録なし	作物登録なし	テンサイシスト センチュウ 20 kg/10 a 定植 7 日前まで	テンサイシスト センチュウ 20 kg/10 a 定植 7 日前まで	作物登録なし

表中は対象害虫および使用量を示す。イミシアホスおよびホスチアゼートは使用時期も記載。緑色のセルは、本試験により新たにテンサイシストセンチュウを対象害虫として登録拡大された薬剤である。

al., 1982), 降水量や処理時の地温が Hs の密度低減効果に影響する可能性も考えられた。

IV Hs を対象とした登録農薬

本稿で紹介した試験に基づき、Hs を対象に登録された殺線虫剤を表-5 に示す。なお、これらの薬剤以外にも、センチュウ類に対して登録がある薬剤として MITC, MITC と 1,3-D の混合剤, クロルピクリン, 石灰窒素等がある。

おわりに

Hs の再発を抑えるためには非寄主作物の栽培や輪作が有効であり、産地では転換品目の模索が急務となっている。しかしながら、品目転換は栽培法の習得や作業労力の競合、需給バランスも含めた経済性の確保等の課題があるため、容易に進んでいないのが実情である。

緑肥用ダイコン‘コブ減り大根’（タキイ種苗）の根部には Hs の幼虫が寄生できても次世代の卵が確認されず、土壌中の線虫密度を約 7 割低下させることから、Hs の捕獲作物として有効であると考えられる（植原ら, 2021）。2022 年は殺線虫剤と捕獲作物を組合せた連作体系や、

非寄主作物との輪作体系等の実証に取り組んでいる。

なお、現時点においても国内への Hs の侵入経路は明らかとなっていない。このため、県内の他産地もしくは県外で新たに Hs が発生しないとも限らない。Hs は早期発見、早期対応が非常に重要であることから、発生地域からのまん延防止に加えて、生育不良作物の根部の観察等によるモニタリングにも力を入れる必要を感じている。

引用文献

- 1) 相場 聡 (2014): 線虫学実験 (水久保隆之ら 編). 京都大学学術出版会, 京都, p.199～200.
- 2) 1,3-D 技術協議会 (2015): D-D 剤技術資料: 4～7.
- 3) 金子政夫・北林 聡 (2019): 関東東山病害虫研報 **66**: 95～99.
- 4) ——— (2020): 同上 **67**: 69～73.
- 5) 小林裕子 (2000): マテリアルライフ **12**(3): 120～125.
- 6) 小柳 徹ら (1998): 日本農業学会誌 **23**: 174～183.
- 7) 日本曹達 (2003): バスアミド微粒剤技術資料: 10.
- 8) 農林水産省 (2021): 第 7 回テンサイシストセンチュウ対策検討会議の概要.
- 9) 大崎憲生ら (2010): 植物防疫 **64**(5): 47～51.
- 10) SEKIMOTO, S. et al. (2019): Plant Disease, <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-18-1541-PDN>
- 11) STEELE, A. E. (1965): J. Am. Soc. Sugar Beet **13**: 573～603.
- 12) ——— et al. (1982): J. Nematol. **14**(4): 588～592.
- 13) 植原健人ら (2021): 日本線虫学会誌 **51**: 1～4.

特

集

海外から侵入したシストセンチュウ類の防除について テンサイシストセンチュウ対策としての 輪作に使用可能な作物

国立研究開発法人 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

おか
岡だ
田ひろ
浩あき
明

はじめに

テンサイシストセンチュウ (*Heterodera schachtii* Schmidt, 以下「Hs」) は欧州、北米を中心に世界中に分布し、ハクサイ、キャベツ等のアブラナ科やホウレンソウ、テンサイ (サトウダイコン) 等ヒユ科の作物に多大な被害をもたらす。そのため植物防疫法で重要病害虫に指定され、日本への侵入が警戒されていた。しかし、2017 年 9 月に長野県諏訪郡原村のアブラナ科野菜圃場で確認された。農林水産省 (以下農水省) は本線虫のまん延を防止するため、長野県や関係機関と協力して 2018 年より植物防疫法に基づく緊急防除を実施している。こうした行政サイドの取り組みや Hs の一般的特性については、本誌に掲載された記事や農水省のサイトを見て欲しい (<https://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/keneki/hs.html>)。

Hs の発生した圃場では、くん蒸剤処理を実施している。しかし、Hs のシスト (抱卵したまま体表が硬化した雌成虫) は土壤中で 5 年以上生存するため、その再発を防ぎつつ営農を再開するためには、輪作体系の構築が重要である。そのため、現地で栽培可能な作物品目・品種について、いずれが Hs の寄主、非寄主または抵抗性品種になるのかを解明する必要がある。

シストセンチュウは一般に、ネコブセンチュウやネグサレセンチュウに比べて寄主植物の範囲が狭い。日本に分布するシストセンチュウのうち、グロボデラ (*Globodera*) 属では特に顕著で、今回の特集記事で紹介されているジャガイモシロシストセンチュウ (*G. pallida*) はナス科のみに寄生し、国内での農業被害はほぼジャガイモのみで出ている。また卵のふ化は、寄主植物の根の存在によってほぼ一斉に起こる。一方、Hs が属するヘテロデラ (*Heterodera*) 属の種は、シストセンチュウの中でも寄主植物との結びつきが比較的弱く、寄主植物の

範囲が広い。また、寄主植物の根が存在しなくても一部の卵がふ化する。本稿で紹介する Hs はヘテロデラ属の中でも特に寄主植物の範囲が広い。Hs が国内で確認された当初、寄主とされ防除区域内での作付が農水省令で禁止されたのはシヨクヨウダイオウ、ホウレンソウ、アブラナ (*Brassica*) 属およびフダンソウ (*Beta*) 属の植物のみであった。しかし以下に紹介する筆者の試験で、ダイコン (*Raphanus*) 属およびトマトにも寄生、産卵することが判明し、これらも作付禁止とする省令の改正につながった。また、Hs が発生した長野県原村はブロッコリーなどの高原野菜の産地で、特に夏期のセルリーは国内の生産量の 9 割を占める。一方海外にはセルリーを Hs の主要寄主の一つとする報告もあり (CABI crop protection compendium), 国内個体群の寄主となるか否かが懸念されていた。しかし筆者の試験により幸い非寄主と判定され、セルリーの栽培継続につながった。

土壌病害虫の防除手段の一つとして「捕獲作物」の利用がある。シストセンチュウでは、寄主植物の根の滲出液に反応して卵がふ化する。捕獲作物はセンチュウ卵のふ化を促し幼虫を根内に誘引するが、その後の雌成虫への發育を阻害し、結果的に土壤中の密度を低減する効果を持つ。海外では、Hs に対して効果を持つ捕獲作物が知られている (MÜLLER, 1999; HAUER et al., 2016)。そこで、国内で発生した Hs 個体群に対してもこうした作物が捕獲作用を持つか解明する必要がある。

以上のような背景のもと、本稿では主に、接種試験によって明らかにした長野県産 Hs 個体群の寄主作物の範囲および、捕獲作物の効果について紹介する。Hs の発生が確認されて以来、農研機構、長野県野菜花き試験場、龍谷大学、カネコ種苗株式会社はコンソーシアムを組み、イノベーション創出強化研究推進事業などで対策研究を実施してきた。国内で発生したことのない線虫種について、緊急防除に対応して極めて短期間 (特に 2017 年度の課題では実質 2 か月) で結果を出さねばならず、試験条件などについて「走りながら考え」た。これは本特集で紹介している Hs への農薬効果試験や検出技術開

Useful Crops for Rotation System in Management of Sugar Beet Cyst Nematode, *Heterodera schachtii* Schmidt. By Hiroaki OKADA
(キーワード: 寄主, 非寄主, 捕獲作物, 根箱)

発でも同様である。そのため、筆者が実施した8回の接種試験の材料や条件は少しずつ異なった。一方、植物根系上の雌成虫の出現数を効率的に調査するために、簡易な「根箱」を考案した。これは他の土壌病害虫研究にも利用できる可能性があるため、本稿でも簡単に紹介したい。なお、本稿の主要な部分はOKADA et al. (2020 ; 2021)、植原ら (2021) で公開している。

I 寄主作物範囲

長野県原村で栽培可能な食用作物品目を主とした作物苗に対しHsの幼虫を接種する試験を実施した。いずれの試験でも、現地土壌または園芸培土を充てんした容器で供試植物の苗を7~10日間育て、寄主植物の水耕栽培液を処理して事前にふ化させたHsの幼虫を接種し、24℃程度の温度設定の温室で実施した。1か月ほど栽培した後、容器内に出現した雌成虫の個体数の多少で寄主・非寄主の判定を行った(表-1)。

寄主植物の根内で发育したHsは成虫になると根外に出現する。雌成虫は最初白色であるが、体内に卵を生産して成熟するにつれてレモン型に膨張し、茶色で体表が堅いシストとなる。試験の都合上、根系に出現した未成熟の白色雌成虫を計数の対象とする場合もあったが、判定には支障ないと判断した。8回の試験により、セルリー、パセリ、レタス、トウモロコシ、ズッキーニ、クローバーおよびハゼリソウでは雌成虫が全く出現せず、

これらの品種は非寄主と判定した(図-1に試験結果の一部を例示)。これについては、同一品種について2回以上または、同一品目の2品種以上について試験を行った結果に基づいている。

一方、ハクサイ6、ブロッコリー20、キャベツ5、カリフラワー3、食用ダイコン5、ホウレンソウ42、テンサイ1、トマト2、フダンソウ2、ソバ1品種について

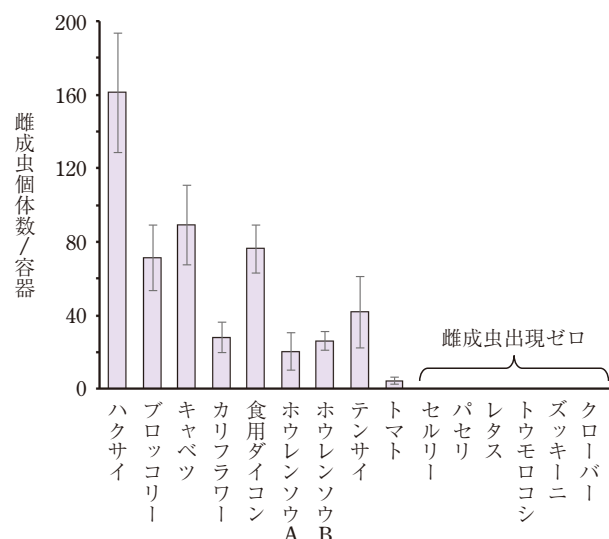


図-1 非寄主探索のための接種試験の結果の例
Hs 幼虫約4,000匹を含む現地土壌を充てんした容器に作物苗を定植し、25℃で33日間栽培後に根系に出現した雌成虫数。3~5反復の平均値とSE(縦棒)。

表-1 接種試験の条件の概要

「容器」の「根箱」については本文を参照,「カップ」は約200mlのプラカップを示す。「接種源」のうち「現地土壌」は幼虫約10匹/g生土を含む。「接種源」および「調査対象」の「シスト」は、体表が硬化した茶色の雌成虫を示す。

試験	容器	土壌	植物	接種源	接種後の栽培日数	調査		供試品目数(品種数)
						接種後の日数	対象	
A	根箱	現地土壌	苗	現地土壌	57	33	白色雌成虫	アブラナ科5(5), ヒユ科2(3), セリ科2(2)のほか, キク科, ウリ科, ナス科, マメ科, イネ科を1(1)ずつ
B	根箱	市販培土	苗	幼虫	43	86	シスト	アブラナ科2(7), ナス科1(1)
C	根箱	市販培土	苗	シスト	59	57	白色雌成虫	アブラナ科1(1), セリ科2(2), キク科1(2)のほか, ウリ科, ナス科, イネ科を1(1)ずつ
D	根箱	市販培土	苗	幼虫	35	28	白色雌成虫	アブラナ科4(17)
E	根箱	市販培土	苗	幼虫	51	28	白色雌成虫	ヒユ科2(2), セリ科2(2)のほか, キク科, ウリ科, ナス科, イネ科を1(1)ずつ
F	カップ	市販培土	種子	幼虫	61	74	シスト	アブラナ科2(2), ヒユ科2(44)
G	根箱	市販培土	種子	幼虫	51	51	白色雌成虫	アブラナ科, タデ科, ハゼリソウ科を1(1)ずつ
H	カップ	市販培土	種子	幼虫	48	52	シスト	アブラナ科3(25), ヒユ科1(3)のほか, タデ科, ハゼリソウ科, ナス科を1(1)ずつ

同様の試験を行ったところ、いずれでも容器内に雌成虫が出現し寄主と判定され、出現が皆無の抵抗性品種は見つからなかった。ただしソバは出現数が少なく（アブラナ科の2%程度）、好適な寄主ではないと判定した。

II 捕 獲 作 物

Hs やアブラナ科根こぶ病菌に対する捕獲作物として海外で知られている緑肥作物など、アブラナ科の3品目5品種を供試した。まずHsの寄生程度を確認するため、園芸培土を充てんした容器で栽培した植物苗に幼虫を接種する試験を行った。その結果、雌成虫の出現数は品目や品種間で異なるが、シロガラシと葉ダイコンでは出現数が少なく、捕獲作物の候補と考えられた（図-2）。このうち、雌成虫が全く出現しない葉ダイコン品種C（‘コブ減り大根’（タキイ種苗）, 図-3）について、Hsの卵を

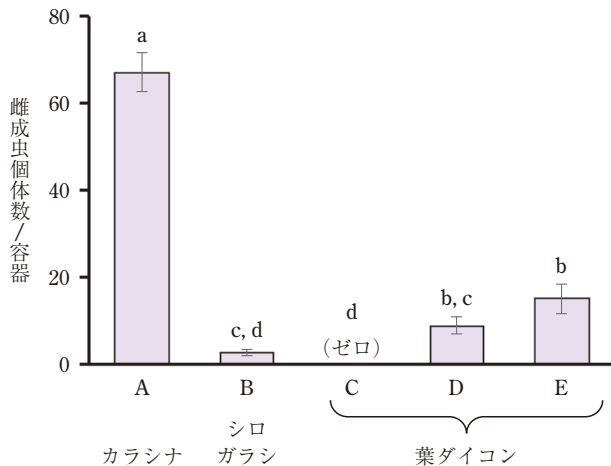


図-2 緑肥作物での寄生性を調べるための接種試験の結果
作物苗にHs幼虫を700匹接種し、25℃で49日経過後の容器当たりの雌成虫数。シロガラシは5、ほかは6反復の平均値とSE（縦棒）。英大文字は品種を示す。同じ英小文字の値には有意差がない（Steel-Dwass 検定, $P < 0.05$ ）。



図-3 ‘コブ減り大根’（左）とその栽培の様子（タキイ種苗(株)のご厚意による画像提供）

含む現地土壌と園芸培土を混合して作成した土壌を用い、Hs 卵密度への低減効果を調べた。その結果、初期密度（56 卵/g 乾土）を7割減らした（図-4）。また、この品種の根浸出液がHs 卵に対しふ化促進効果を持つことが確認されている。したがってこの品種は、密度低減効果を持つ輪作作物として利用可能と判定した。この品種をHs 発生圃場で実際に栽培した場合にも密度低減効果が確認されている。

III 根 箱

土壌中のシストセンチュウ密度の推定には、土壌からの成熟シストの分離と回収が前提になる。そのためには

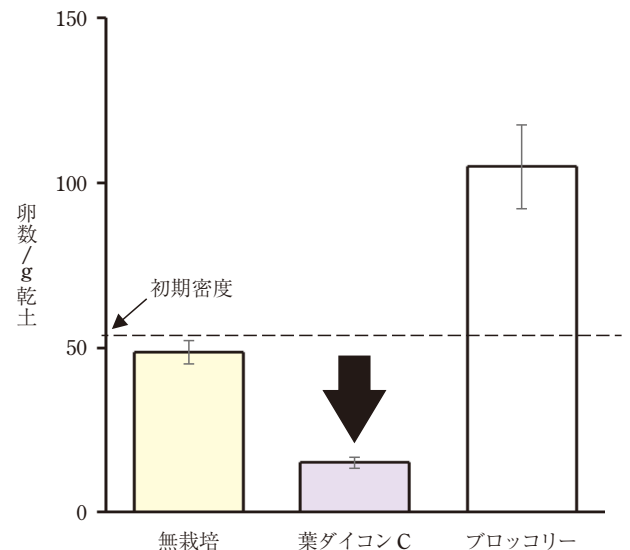


図-4 葉ダイコンの密度低減効果を調べる試験の結果

初期卵密度 56 個/g 乾土の土壌に、図-2 で用いた葉ダイコン C（‘コブ減り大根’）の苗を定植し25℃で61日栽培した後の卵密度。比較のため、無栽培およびブロッコリーを定植した区の結果も示す。葉ダイコンは4、無栽培とブロッコリーは3反復の卵密度の平均値とSE（縦棒）。



まず土壌を風乾し、ピーカーなどに入れて水を添加後に攪拌してシストを浮かせ、それをろ紙上に回収して顕微鏡下で計数する（ふり分けシスト流し法；相場，2014）。この一連の作業を効率的に行うには熟練を要する。また、ピーカーには2〜3 lの水を入れる場合が多く、サンプルが多いと、身体的な負担が大きい。さらに接種試験では、雌成虫が出現した後に植物を枯死させて土壌を風乾する時間を要する。

そこで「根箱」を試験に利用した。透明板で挟まれた狭い空間に土壌を充てんし、そこで植物を栽培する根箱を利用すれば、容器を解体せずに植物根系およびそのうえに出現するシストを直接観察、計数できる。このアイデアは以前からあるが（MEYER et al., 1998）、筆者はHsの試験用に、小型、簡易で安価な根箱を考案した（OKADA et al., 2020）。根箱本体には、100円程度で市販されている透明で浅いプラスチックケースを利用した。穴を開けるなどの加工を施したケース1枚に無加工のもう1枚を重ねて側面に養生テープを貼って固定した（図-5）。この容器に園芸培土を充てんしてハクサイ苗を栽培し、そこに個体数を変えてHs幼虫を接種し、一定期間栽培後に根系上に出現して根箱表面から見える雌成虫個体数と、根箱内に出現したそれとの間には高い相関があった（ $R^2 = 0.94$ ）。このような根箱の利用により、植物栽培後の土壌の風乾、シストの洗い出しや顕微鏡下での計数に要する時間や手間を省くことができた。しかしその根箱

でも、土壌に植物を直接播種または定植するため、一部の根系や雌成虫は土壌中に隠れ、直接観察することができない。そこで、根箱を改造した「シート根箱」を考案した。詳細は省くが、青く染めたナイロンシートで土壌表面で覆い、植物をこのシートとケースとの間に播種した。この場合植物は根毛を通じてシートの下（裏の）培土から養分を吸収して生育するが、根系自体はシート表面のみに発達し土壌中に入らないため、根系全体を表面から観察できる。Hsの雌成虫も表面にのみ出現し、ほとんどの個体を表面から観察、定量化できる。このようなシート根箱を利用して、抵抗性品種の探索などを続けている。

おわりに

本稿では、長野県で発生したHs個体群の再発防止のための輪作体系に使用できる非寄主作物と捕獲作物について紹介した。ただし、前者が線虫密度を下げる効果は一般に小さく、後者には密度低減効果はあるものの、換金性がほぼない。よって再発防止を行いつつ収益を上げるためには、抵抗性のアブラナ科野菜やホウレンソウの品種の探索・開発が必要である。韓国では、抵抗性もしくは雌成虫の出現がわずかなホウレンソウやブロッコリーの品種が見つかった（Kim et al., 2016）。日本でもこうした品種を見つける努力を続けるべきだと考えている。



図-5 左は植物栽培中の根箱

高さ約 22、幅約 16 cm、厚さ 13 mm の根箱に園芸培土を充てんしホウレンソウと食用ダイコンを混植。栽培中は厚紙などで側面を覆って遮光する。中央は、根箱の表面で観察したブロッコリーの根系とそこに出現した Hs 雌成虫（白色で長径約 1 mm の粒状）の拡大図。右は同じく、シート根箱（本文を参照）の表面で観察したもの。

Hs 発生確認以来、現地ではくん蒸剤による緊急防除が続けられているが、密度が検出限界以下になった圃場での再発や、発生圃場が新規に発見されるなど、予断を許さない。そのため筆者らは、今までの研究や文献から得られた知見をまとめて作成した Hs 対策マニュアル（標準作業手順書）を一般公開する準備をしている。

謝辞 本稿に対し有益な助言をいただいた農研機構植物防疫研究部門の植原健人氏にお礼申し上げる。本研究の一部は、2017 年度農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業 29032C、2018 年度安全な農林水産物安定供給のためのレギュラトリーサイエンス研究委託事業 3008、2019～21 年度イノベーション創出強化研究推進

事業 01024C の支援を受けて行った。

引用文献

- 1) 相場 聡 (2014): 線虫学実験 (水久保隆之ら 編), 京都大学学術出版会, 京都, p.199～200.
- 2) CABI crop protection compendium, <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.1079/cabicompndium.27036#sec-10>
- 3) HAUER, M. et al. (2016): Appl. Soil Ecol. **99**: 62～69.
- 4) KIM, D. H. et al. (2016): Korean J. Appl. Entomol. **55**: 389～403.
- 5) MEYER, S. L. F. et al. (1998): J. Nematol. **30**: 451～460.
- 6) MÜLLER, J. (1999): Helminthologia **36**: 205～213.
- 7) OKADA, H. et al. (2020): Nematol. Res. **50**: 35～39.
- 8) ——— et al. (2021): ibid **51**: 11～18.
- 9) 植原健人ら (2021): ibid **51**: 1～4.

農林水産省プレスリリース (2023.1.1～2023.1.31)

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

- ◆「令和 4 年度鳥獣対策優良活動表彰式」及び「第 10 回全国鳥獣被害対策サミット」の開催並びにサミットにおける資機材展示等の募集について (23/1/11)
[/j/press/nousin/tyozyu/221227.html](https://j/press/nousin/tyozyu/221227.html)
- ◆令和 5 年度「みどりの食料システム戦略実現技術開発・実証事業のうち農林水産研究の推進（委託プロジェクト研究）」の公募及び公募説明会の開催について (23/1/12)
[/docs/press/230112.html](https://docs/press/230112.html)
- ◆令和 3 年度農薬の使用に伴う事故及び被害の発生状況について (23/1/13)
[/j/press/syouan/nouyaku/230113.html](https://j/press/syouan/nouyaku/230113.html)
- ◆「令和 4 年度鳥獣対策優良活動表彰式」及び「第 10 回全国鳥獣被害対策サミット」について観覧者を募集します！ (23/1/31)
[/j/press/nousin/tyozyu/230131.html](https://j/press/nousin/tyozyu/230131.html)

発生予察情報・特殊報 (2023.1.1～1.31)

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

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

- イチゴ：チバクロバネキノコバエ（大阪府：初）1/20
- ネギ：ネギハモグリバエ B 系統（熊本県：初）1/24



農薬の製剤・施用法の最近の動向

製剤技研 つじ

こう 孝
ぞう 三

はじめに

人間の豊かな生活にとって、安全で高品質の食料の供給は欠くことはできない。そこで農業の生産性を高め安定的に十分な食料を確保するために、病虫害や雑草の防除のために農薬の適切な使用が非常に重要である。この際農薬は高い防除効果を発揮し、さらに人間および環境に対して安全なものでなければならない。実際に使用されるのは製剤であり、その使い方（施用法）も非常に重要な役割を果たす（辻，2021）。また農薬を使用する作業は、重労働であり、農作業の省力化や軽作業化が望まれ、かつ作業者の安全性も十分に考慮しておく必要がある。

まずは農薬製剤・施用法の目的、新規製剤・施用法の開発と製剤設計、そして主な重要技術の概要と最近の動向について考察する。

I 農薬製剤・施用法の目的

最近の農薬は、低薬量で効果を発揮し、人畜および作物に対する安全性が高く、環境負荷が小さいことが要求されている。農薬は、通常 10 a 当たり数百 mg～数百 g の有効成分で効力を発揮する。しかし、このような少量の農薬を広範囲の圃場に均一に散布することは、非常に難しいので、有効成分を適当な希釈剤で希釈して散布する量を多くし、少量の有効成分を広い圃場に均一に散布しやすい形に加工している。これが農薬製剤である。したがって農薬製剤は、最終商品であり、①効力、②保存安定性、③安全性、④取り扱いやすさ、⑤作りやすさ、⑥コスト等あらゆる点で、満足のいくものでなければ実用化されない。そのため表-1 に示すような種々の目的を持っている（辻，2001；2005；2006 a；2006 b；2012；2013 a；2013 b；2014；2016；大河内ら，2018；大河内・辻，2019；辻，2021）。

表-1 農薬製剤・施用法の目的

1) ごく少量の農薬を希釈して広い田や畑に均一に散布できるようにする
2) 農薬の効力を最大限に発揮させる
3) 農薬原体の欠点をカバーする
4) 使用者の安全性を高める
5) 環境負荷を低減する
6) 作業性を改善，省力化する
7) 既存剤に新しい機能を与え用途拡大する

最近では社会の要望が高度になっていること、そして種々の新しい技術が開発されていること等から、1)～7)の目的を達成する手段にも種々の高度な技術の使用や工夫がなされるようになっている。

また先にも述べたように製剤は農薬原体が使用される際の最終製品であり、効力、安定性、安全性等に加えて使いやすさ（施用法）、作りやすさ（製造法）、コスト等についても製剤・施用法を検討する場合に、新しい考え方や技術が採用されるようになっている。

一方、国内では農業従事者の減少や高齢化（表-2）・兼業化が進行し、担い手農家への農地集積が進んでおり、営農規模の維持拡大には、大幅な生産性向上が必要である。北海道ではかなり進んでいるが、本州でもその傾向が高くなっている。ここで最近スマート農業が注目されている。スマート農業については、後に述べる。

また女性農業者の活躍推進のために病虫害防除作業の重労働性の軽減が求められ、省力化や軽作業化、さらには無人化が要望されている。

このような要望に応えることは、農薬原体のみでは困難で、表-1 に示した製剤の目的の 2)～7) が重要になり、製剤技術と施用技術に大きな期待が寄せられている。そして、安全性の向上、効力向上や省力化、軽作業化を重視した新規製剤および施用法の開発努力がなされている。

Recent Trend in Pesticide Formulation and Application Technology. By Kozo Tsuji

（キーワード：農薬製剤，施用法，製剤の目的，農薬送達システム，PDS，標的指向化技術，放出制御技術，マイクロカプセル，粒剤，剤型別生産量，スマート農業，ドローン，高濃度少量散布）

表-2 農業就業者状態

	2010 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年
農業就業人口	261 万人	210 万人	192 万人	182 万人	175 万人	168 万人
65 歳以上	161 万人	133 万人	125 万人	121 万人	120 万人	118 万人
65 歳以上の割合	62%	64%	66%	67%	69%	70%
平均年齢	66.1 歳	67.0 歳	66.8 歳	66.6 歳	66.6 歳	66.8 歳

農水省「農業労働力に関する統計」より。

表-3 製剤・施用法に求められる要望と主な新規製剤・施用法

要望	解決方法	主な新規製剤・施用法
効力向上 安全性向上 省力化	水性化 粒状化 微粒子除去 軽量化 放出制御 標的指向化	フロアブル製剤, エマルジョン製剤 顆粒水和剤 DL 粉剤 1 キロ粒剤, 250 g 豆つぶ剤, 500 g 粒剤 放出制御製剤 (マイクロカプセル, 粒剤) 刺激応答性製剤, 育苗箱処理, 種子処理 田植同時処理, 液剤少量散布, 水面浮上性粒剤, サーフ剤, マイクロカプセル, ドローン
	粉塵防止 畦畔散布 水口施用 田植同時処理 育苗箱処理 種子処理 農薬・肥料の同時処理 空中散布 ドリフト防止 高濃度少量散布	水溶性包装, 顆粒水和剤 ジャンボ剤, フロアブル原液湛水散布 水面展開剤, フロアブル原液湛水散布 田植同時粒剤散布機, 液剤散布機 長期残効性箱施用粒剤 種子処理 農薬入り肥料, 側条施肥機による処理 有人ヘリコプターおよび無人航空機防除 ドローンによる農薬散布 DL 粉剤, 微粒剤 F, ドリフト防止ノズル 製剤処方の改良, アジュバント, 散布ノズル

II 新規製剤・施用法の開発と製剤設計 (辻, 2006 c; 2012; 2014; 2016; 大河内ら, 2018; 大河内・辻, 2019; 辻, 2021)

最近では低薬量で効果を発揮し、人畜や作物に対する安全性が高く、環境負荷が小さい農薬が求められており、新規農薬の構造が複雑化するとともに、人畜や環境に対する安全性試験の項目が増加し、新しい候補化合物を見いだすスクリーニングの確率が非常に低下している。それに伴って、新規農薬の開発費が非常に増大し、開発期間も長期化している。そのうえ農薬の低コスト化も求められている。(辻, 2006 a; 2013 a; 2021) また農薬使用量の低減も求められている。

そこで種々の機能を持った新規製剤を開発する際には、製剤設計が非常に重要になる。

効力は剤型、製剤処方やその物性に依存するので、適切な製剤設計を行い、各項目を最適化する必要がある。まずその原体の持つ物理化学的性質、生化学的性質を考

慮して、製剤化できる最も適した剤型を選択する。次は最適な製剤処方と製剤方法を決める。同じ剤型であってもその製剤処方や製造方法によって製剤物性も変化し、生物効力や保存安定性、安全性、取扱い性、コスト等も変化するので最適化が重要になる。

一般的に製剤・施用法に求められる要望と、それらの解決方法、主な新規製剤・施用法の例を表-3 に示す(辻, 2001; 2005; 2012; 2013 a; 2013 b; 2014; 2016; 大河内ら, 2018; 大河内・辻, 2019; 辻, 2021)。

主な改良点は、①有機溶媒を用いた製剤を水性化することによる毒性、薬害の軽減および非危険物化、②微粉体制剤の粒状化や水溶性包装あるいは水中分散化による粉塵吸入の防止、③粉剤で微粒子部分を取り除くことによるドリフト防止、④放出制御技術による製剤の機能化、⑤施用量の低減による軽量化や畦畔からの施用技術による省力化、⑥標的指向化、⑦空中散布による省力化、⑧高濃度少量散布等である。

このように製剤・施用法に対する期待が高まり、種々

の機能を付与することが要望されており、機能性の新規製剤・施用法の開発が行われている。製剤設計の点でも、ますます高度な技術を用い、種々の工夫が施されている場合が多くなっている。

III 農薬送達システムの重要性

農薬製剤・施用法の開発にあたっては、農薬送達システム（Pesticide Delivery System, PDS）の「必要な時に、必要な場所に、必要な量の農薬を送達するという理念」を考慮しておくことが重要である。PDSは、医薬分野における薬物送達システム（Drug Delivery System, DDS）の考え方と類似しているとは言え、表-4に示すように、その実用化の観点からは、DDSより極めて難しい（辻，2013b；2021）。現在のほとんどの農薬製剤では、運搬する媒体がないので、運搬は施用技術に依存する必要がある。田植え同時処理、側条施用、育苗箱処理、種子処理等がある。最近ではドローンにより標的の近くに施用する技術が進んでいる。

このように新規製剤とそれに合った施用技術を開発することによって、少しでもPDSに近づく技術開発が望まれる。そのためには標的指向化技術や放出制御技術の開発が重要である。

IV 剤型別生産量の推移

農薬用に用いられる主な製剤について、剤型別生産量の推移を図-1に示す。（農薬要覧より）総生産量を見ると、固型剤比率が非常に高い。最も多いのは粒剤であり、次いで粉剤である。総生産量は1974年の747千tをピークにして毎年減少の一途をたどっており、2004年度では353千tと最大量の1/2以下になった。その原因としては、減反、農薬の性能が向上して単位面積当たりの使用量が減少したこと、そして剤型の変化が上げられる。剤型的には粉剤の減少が大きい。1958年には総生産量の76.3%を占め、1969年には399千tで最大となった。しかし2020年には18千tと総生産量の8%に減少した。この原因としては、主として粉剤のドリフトによる作業

者および環境に対する安全性の問題、散布の重労働性、嵩高さによるコスト高、育苗箱施用の増加およびウンカ等粉剤の標的害虫の発生減少などが考えられる。

粒剤は、1958年に水田用除草剤の粒剤が実用化されて以来、その生産量は急激に増加した。その後1985年の240千tをピークにして若干減少しているが、数年間は約200千tで1994年まではほぼ安定していたが、1995年から約100千t台に減少した。これは水田用除草剤の3キロ剤から1キロ剤への変化、除草剤の湛水直接散布、ジャンボ剤の普及等による。

このように、粒剤が最も生産量が多く安定しているのは、ほぼすべての原体が粒剤に製剤することができ、希釈することなくそのまま使用され、かつ水田や畑用除草剤での使用が定着しているからである。

水和剤は1958年には13千tであったが、1974年には最高の52千tになり、その後は若干減少したが現在まで30千t台を維持している。

乳・液剤は、1958年には5千tであったが、1980年には82千tで最大となり1991年には50千tに減少した。2010年には39千tになり、2020年には58千tになった。この生産量の総生産量に対する割合を見ると、1958年

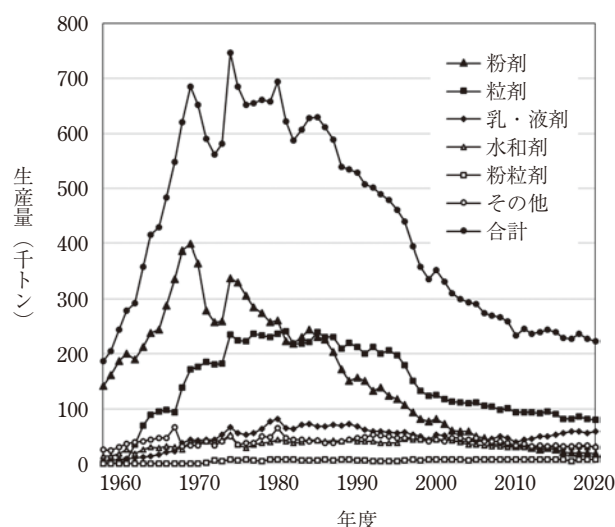


図-1 剤型別生産量の推移

表-4 PDSとDDSの比較

	PDS	DDS
対象系の状態	開放系	閉鎖系
環境条件	変化が大	一定（体液）
材料・技術の制約	高価なものは使えない	比較的高価なものも使える
運搬媒体	なし	あり（血液、体液）
環境への影響	考慮する必要がある	考慮する必要はない

は2.7%, 1968年は6%, 1979年は11.7%, 2010年は16.7%, 2020年は26%に増加している。乳・液剤の重要性が増しているようである。

乳・液剤や水和剤が量的に少ないのは、これらの製剤は水で希釈して散布されるので、製剤が比較的高濃度であるためである。

この剤型別生産量の変化を見ると、省力化、安全性の向上等を目的に使用される剤型が大きく変化していることが理解できる。

V 主な重要技術の概要と最近の動向

PDSおよび省力化の観点から最近重要になっている標的指向化技術、放出制御技術、省力化技術について、それらの概要と最近の動向について考察する。

1 標的指向化技術

農薬を有効に利用するには標的指向性が非常に重要になる。通常の散布法では、使用農薬の0.1%以下しか有効に利用されていないという報告がある(PIMENTEL and LEVITAN, 1986)。したがって少しでも標的に近いところに施用することが重要になる。標的指向化が達成されれば、農薬の不要な散布が避けられるので、農薬の使用量の削減につながる。

標的指向性には能動的標的指向性と受動的標的指向性がある(辻, 2006c)。能動的標的指向性は、使用者の方から製剤を標的の近くに施用する場合である。育苗箱施用、種子処理、水面展開剤、水面浮上性粒剤、サーフ剤、田植え同時散布、液剤少量散布、浸透移行性農薬や最近ではドローンによる施用などがそれにあたる。

受動的標的指向性は標的の方から農薬に近寄るあるいは接触する場合である。例えば誘引剤の利用、ゴキブリ、シロアリ用のマイクロカプセル、農業用殺虫剤のマイクロカプセル、殺虫剤の製剤等が考えられる。

能動的標的指向性を持つ製剤の例としてエトフェンプロックス粒剤が水稻の重要害虫であるイネミズゾウムシを主ターゲットにして開発研究が行われた(宇田川・小高, 2003)。イネミズゾウムシの生活域である水表面、土壌表層に有効成分を局在化させるように製剤設計が行われた。水表面に原体を局在化するためには、原体の比重は1以上であるので、低比重で原体と相溶する溶剤を配合して、原体を比重が1以下の液体とすることで達成した。土壌表面に有効成分を局在化させるためには用いる希釈剤の選択が重要であったが、クレーを用いると水表面、土壌表面ともに十分量の有効成分の層ができることがわかった。クレーを用いることで、製造面でも既存設備を用いることができ、コスト面でも安価な粒剤が製造

できた。この粒剤を水田に処理すると、水面と土壌表面に有効成分が局在化し、イネミズゾウムシが茎葉上と水中を移動する際にエトフェンプロックスと接触して死亡する。葉鞘内に産卵された卵から羽化した幼虫は根圏に移動する際、水面さらに土壌表層のエトフェンプロックスと接触する。したがってこの粒剤は成虫のみならず幼虫にも殺虫効果を発揮する。

また水面浮上性粒剤(U粒剤)はイネミズゾウムシ防除用シクロプロトリン粒剤として最初に開発された(関口, 1997)。この製剤の特徴は担体として水溶性の塩化カリウムを用いていることである。この製剤の比重は1以上であり、散布するといったん水中に沈むが、塩化カリウムが水中で溶解し、製剤中に含まれていた気泡の影響で、製剤比重が1以下となり水面に浮上する。その後水面で粒が崩壊分散し有効成分が水面に拡張する。そして水面にいるイネミズゾウムシを効率的に防除できる。

また最近ではドローンによる標的指向性の散布が注目されている。

2 放出制御技術

放出制御技術は最近の機能性製剤の製剤設計にとって非常に重要になっている。単なる徐放性のみではなく時限放出型の放出も重要になっている。ここではマイクロカプセルと粒剤について述べる。

(1) マイクロカプセル(MC)

最近多くの農薬についてマイクロカプセル化が行われている。いくつかの例を紹介する(辻, 2006d; 大河内ら, 2018)。

MCに期待される機能としては、次のようなものがある。①徐放性の付与と残効性の向上、②施用間隔の延長と省力化、③施用量の削減、④毒性および刺激性の軽減、⑤薬害の軽減、⑥魚毒性の軽減、⑦環境中での分解の減少(光、水、空気、微生物等)、⑧流亡、揮散による消失の減少、⑨環境負荷低減、⑩ドリフト防止、⑪臭気や味のマスキング、⑫他薬剤との接触の抑制、⑬PDSの達成等。

またMCから農薬が放出される機構としては次の二つがある。

(1) 膜を通しての拡散

(2) 膜の破壊

多くのMCは(1)の機構による徐放性で長期の残効性を出しているものが多いが、標的によるMCの破壊によって、効力を発揮される例も報告されている。

例えばフェニトロチオンやピレスロイドのMCについて次のようなことが報告されている(辻, 2006d; 大河内ら, 2018)。

ゴキブリ用、シロアリ用、農業用の効力……粒径/膜厚に依存（このことから標的害虫による MC の破壊で効力を発揮していることがわかる）

急性毒性、魚毒性……粒径×膜厚に依存（このことから膜を通しての拡散で毒性を発現していることがわかる）

薬害、耐雨性……膜厚に依存

エトフェンプロックス MC がメラミン樹脂を膜剤としてツマグロヨコバイ、ウンカ類、カメムシ類の防除に開発され、粒径/膜厚を 300~600 に設定して特徴ある効力が発揮される。MC は散布後、葉面上で自然に破壊されるか、あるいは害虫との接触で破壊され有効成分が害虫に付着することで効力を発揮する。破壊された MC は微小な容器となり、有効成分に耐雨性を付与し、植物体内への浸透を防止して長期の残効性を出すと説明されている（宇田川・小高，2003）

最近ピリプロキシフェンについて、蚕への影響を防止して茶の難防除害虫であるクワシロカイガラムシを防除する製剤として self-burst 型の MC が開発されている（諫山・津田，2008）。この製剤は製剤中およびそれを希釈した散布液中では MC 構造を維持して散布ミストの痩せを防ぎドリフトを抑制することにより蚕毒を防ぎ、茶樹の枝に付着後は希釈水が蒸発すると MC は速やかに自己崩壊して農薬を放出し茶樹に付着させる。その後農薬は茶樹の枝に長期にわたって残存してクワシロカイガラムシを防除できる。また農閑期である冬季の 1~3 月に 1 回散布するだけでカイガラムシの幼虫から第 3 世代まで防除できるので非常に省力的な製剤である。本剤は浸透移行性がないのでむらなく散布する必要がある、専用のノズルなど適切な散布器具を用いて散布水量は 1,000 l/10 a が最適である。また本 MC の膜構造に影響する可能性のある薬剤や機能性展着剤等との混用は避ける必要がある。さらに蚕に対する影響を考え空容器の回収システムや処分方法、そして販売方法についても規制を行っている。

最近ナノカプセルの研究が進行している。目的は主に農薬に徐放性を付与することであるが、農薬の溶解度、浸透性、安定性等の向上も期待されている（NURUZZAMAN et al., 2016）。さらに農薬の施用量を削減することもでき、また人体への被曝量や環境負荷の低減も期待できるが、コストや安全性についてさらなる検討が重要である。

（2）粒剤

粒剤はその製造方法によって、農薬の放出をコントロールすることができる。練り込み粒剤、コーティング粒剤、ワックスマトリックス粒剤等がある。練り込み粒剤の場合、副担体として活性炭、ゼオライト、アタパルジ

ヤイト等の吸着性担体を用いたり、ワックスなどの疎水性物質を用いることにより徐放性に行うことができる。

またワックスマトリックス粒剤（来田，2021）は種々のワックス類を連続相としその中に有効成分が分散されているものである。有効成分は粒剤の表面から徐々に水中に放出される。この粒剤はワックス、吸油性物質（ホワイトカーボンなど）、増量剤（鉱物性微粉）、有効成分からなっている。製法としては、攪拌熔融造粒法、噴霧凝固造粒法などがある。混合時や造粒時にワックスの融点付近かつ有効成分の融点未満に加熱してワックス中での有効成分の分散状態を制御して有効成分の放出速度を調節する。

コーティング粒剤では、コーティングに用いる高分子の種類によって農薬の放出がコントロールされる。またコーティング膜を何重にも被覆することによって農薬の放出挙動を変化させることができる。膜の一つに水膨潤性の高分子を用いると時限放出型の放出が可能になる。その例としてメトミノストロビンのコーティング粒剤が報告されている（田島ら，2001）。この場合珪砂を核粒として、その上に有効成分をコーティングし、その上に膨潤剤相として、アクリル酸デンプンをコーティングし、その上に第 1 水不溶性高分子膜相としてエチルセルロース、さらにその上に第 2 水不溶性高分子膜としてポリ塩化ビニリデンをコーティングしている。有効成分の放出機構としては、粒剤中に水が浸透してアクリル酸デンプンを膨潤させ、その力によって、エチルセルロース膜とポリ塩化ビニリデン膜が破壊され有効成分の放出が始まる。放出速度はポリ塩化ビニリデンの被膜量とアクリル酸デンプンの配合量によって任意に制御できる。このような時限放出型の粒剤は育苗箱施用粒剤に用いることができ初期の薬害が軽減できる。

さらに種々の粒剤化技術を併用して、混合剤の各有効成分の放出挙動を別々に制御することも可能である。

3 省力化

（1）1 キロ剤

今迄粒剤は、10 a 当たり 3 kg の散布が広く普及していたが、製剤中の農薬濃度を従来の 3 倍に増やして、10 a 当たり 1 kg 散布する 1 キロ剤の開発・普及が進んでいる。この製剤は、水田に入らず畦畔から一人で散布できるよう、畦畔噴頭で 15 m の到達距離が得られるように、その粒径は主として 1.2 mm と、3 キロ粒剤のほぼ 2 倍に大きくなっている。

（2）ジャンボ剤

「水田用除草剤の投げ込み剤」で、1 個 25~50 g の球状・円柱状・その他の塊状の製剤である。発泡性錠剤と

水溶性パック剤がある。この製剤を畦畔から 10 a 当たり 10~20 個程度手で投入すると、水中または水面上で拡散、展開し水田全体に農薬が拡がる。

(3) 豆つぶ剤

この剤は空隙を持った浮遊性担体に有効成分を混合して粒径 3~8 mm 程度の豆つぶ状に造粒した水稻用水面施用剤の製剤である(栗田, 2021)。施用量は 10 a 当たり 250 g を散布する。このように施用量が非常に少ないことが大きな特徴である。粒径が通常の粒剤よりも大きく、かつ豆つぶ状にするために、造粒機の選定から製造法まで詳細に検討された。そしてその施用法についても多くの方法を次々と開発されている。ドローンによる散布も可能である。

(4) 除草剤フロアブルの原液散布

通常フロアブルは原液を水で希釈して散布機で散布される。一方原液散布用の除草剤フロアブルは散布機を使用せず、原液のまま製品ボトルから湛水状態の水田に直接散布(手振り散布)したり、希釈せずに原液のまま蓄圧式散布機で田の中や畦畔から散布される。散布量は 10 a 当たり 500~1,000 ml である(幸内, 2021)。

その組成は通常フロアブルとほとんど変わらないが、原液散布されるので、その製剤は次のような物性を持っている必要がある。

- ①良好な分散安定性(と良好な再分散性)
- ②良好な水中拡散性
- ③表面張力 40 mN/m 以上(付着薬害の回避のため)

従来、水稻用除草剤フロアブル剤の散布方法は、手振り散布が中心であったため、サンプルビンは 500 ml が中心であったが、最近では水口施用、田植え同時処理、ラジコンヘリ、ドローン等の新しい運搬手段による散布方法が開発され、2 l ボトルなど比較的大きなボトルも増えている。

(5) 育苗箱処理

育苗箱への農薬処理は、本田での施用に比べて、非常に省力的である。また標的の近傍に処理するので、環境への飛散も、作業員への暴露もほとんどない。農薬の処理量は本田散布に比べて少なくてよい。

(6) 種子処理

この方法は農薬を圃場に散布せず、目的とする標的である種子を直接処理するので、非常に省力的であり環境負荷も少ない。

4 スマート農業

(1) 精密農法とスマート農業

以前から高度な農場管理戦略の一つとして精密農法(precision farming)の技術開発が進んでいる。(洪澤,

2010; 2015) すなわち複雑で多様なばらつきのある圃場を小区画の格子に分け、格子ごとの種々の情報をもとに格子ごとに最適な施肥や農薬散布等最適な管理を行い、地力の維持や収量と品質の向上や環境負荷軽減等を同時に達成しようとするものである。これには次の三つの技術が必要である。

①圃場マッピング技術: 圃場の土壌の情報(肥沃度, pH), 生育むら, 雑草あるいは病虫害発生状況等を測定する。また収量や品質を調べる。これらには空間的, 時間的変化も記録する。

②可変作業技術: 圃場の種々の情報に基づき, 種々の作業を変化させる必要がある。肥料や農薬の散布量も変化させる。その散布装置の自動化も検討されている。

③意思決定支援システム: 蓄積されたデータや情報を参照し圃場のばらつきに対応した栽培作物や管理法あるいは作業内容を決定する。その年の収量や収益性のみならず, 長期的な地力維持や安全性あるいは環境負荷低減効果等も考える。

これらの技術を達成するためには種々の新しい高度の技術が用いられている。IT, ICT, IoT, AI 等の先端技術が必要であり, 例えば走行式土壌センサー, リモートセンシング技術(圃場, 航空, 衛星), 種々のロボット技術(洪澤, 2015), 収量モニター付きコンバイン, 選果選別ロボット等の利用が進みつつある。

最近ではセンシング技術とドローンの利用で種々の作業が非常に省力化され, 精密化されている。ドローンによる農薬散布と関連技術の進歩により, 必要なときに, 必要な場所に, 必要な量の農薬を散布することができるようになってきている。まさに PDS の理念が達成されつつあると言える。実際にも GPS やカメラからの情報をもとにコンピューターを利用して自動的に農薬をターゲットに散布できる機械の開発も進んでいる。

精密農法とはほぼ同様の概念であるが, 進化した形でスマート農業とよばれる技術開発が進んでいる(松本, 2020; 杉浦, 2020; 小西, 2020; 野口, 2020; 農水省, 2021)。スマート農業とは「ロボット, AI, IoT 等先端技術を活用する農業」である。農林水産省では 2014 年にスマート農業の将来像を次のように提示している。①農業機械の自動走行による超省力・大規模生産を実現, ②センシングや精密農業による作物の能力を最大限に発揮, ③アシストスーツや除草作業の自動化によるきつい作業, 危険な作業からの解放, ④運転アシスト装置, 栽培ノウハウのデータ化による誰もが取り組みやすい農業を実現, ⑤生産情報のクラウドシステムによる提供で消費者・実需者に安心と信頼を提供する。そして農研機

構、全農、植物防疫協会等がそれぞれスマート農業の推進に取り組んでいる（住田，2022；舟木，2022；池町，2022）。その結果 ICT や種々の制御技術が進展して、非常に多くのデータをリアルタイムに農業生産管理に利用できるようになった。そしてロボット技術、センシング技術や ICT、AI を利用して省力的で、環境負荷が少なく、高品質の生産を実現することを目指して種々の活動が行われている。実際にロボットトラクター、ドローンを使ったリモートセンシング、農業機械の遠隔監視や圃場管理システム（スマートアシスト）が実用化されている（杉浦，2020；小西，2020）。

全農では、コストが低く導入しやすい営農システム「Z-GIS」と「ザルビオ® フィールドマネージャー」（以下、ザルビオ）の普及に力を入れている（池町，2022）。ザルビオは人工衛星画像解析データと AI を活用した栽培管理支援システムである。圃場ごとの作物の品種特性、気象情報、人工衛星画像データ、土壌データ等を AI が解析して作物の生育や病害発生予測、雑草種に応じた最適な管理プログラムを推奨する。

その主な機能は次の通りである。

①生育マップと地力マップ

人工衛星画像データの解析で生育マップ（葉面積指数で表示）と地力マップが得られ、土づくりや施肥量の最適化が図れ、収量や品質の向上に取り組める。

②可変施肥/散布マップのスマート農機連携

人工衛星画像データを用いて可変施肥農薬可変散布マップを作成できる。そして位置情報と散布量を自動的に組合せ正確な散布を実現する。

③散布天気

気象情報をベースにして、気温、湿度、風速、降水量を総合的に判断して農薬散布に適した日を示す。それによってドリフト、薬効不足、薬害を低減することができ、農薬散布作業を効率化できる。

④生育ステージ予測

地域、品種、天気等、様々な情報を AI 解析して、播種・移植から収穫までの異なる生育ステージを予測する。これによって適期作業を計画することができる。

⑤水稻の病害発生予測

品種の病害抵抗性、気象データ、薬剤の残効性を主なパラメータとして3段階で発病リスクを表示する。高リスクに到達すると殺菌剤散布を推奨する。

⑥大豆の雑草管理プログラムの推奨

中耕有無、土性、除草剤散布方法、対象雑草を設定することにより、対象雑草に最適な防除時期と作業内容を推奨する。

これらのザルビオの実証試験が行われ、ザルビオにしたがって管理することによって高い防除効果が得られ、農薬使用量の削減が図られた。

このように圃場における作物の生育状況、植物の繁茂程度（渋澤，2010；池町，2022）が測定でき、さらにいくらかの病害の検知法も開発されつつある（杉浦，2020）。

（2）ドローンによる農薬散布

ドローンの技術は農業分野では2016年から指導指針のもとで運用が開始された新しい技術である（柳，2021）。ローター数が、4, 6, 8 枚の機種がある。薬剤の搭載能力は4~16 kg である。総重量は12~45 kg であり、現行の産業用無人ヘリコプターの約100 kg と比較して、コンパクトかつ機体重量に対する薬剤の搭載能力は高いが、重量が軽いためダウンウォッシュが弱く、横風の影響を受けやすい。また動力源であるバッテリーの容量が10分程度であることも今後の課題となる。飛行緒元は機種によって異なるが、飛行速度10~20 km/h、散布高度2 m（作物上）、飛行間隔は液剤が3~4 m、粒剤が4~5 m となっている。農薬散布は現時点で液剤少量散布と粒剤散布を行うことができる。散布装置の構造は、無人ヘリコプターと同様に加圧式ノズルとロータリーアトマイザーの2種の液剤装置と、インペラー式粒剤装置がある。ドローンによる病害虫防除は2016年から開始され、水稻、ダイズ等で2018年では31千 ha（農林水産省調べ）で実施された。

また農薬や肥料等の散布用ドローン技術開発について以下のような検討がなされている（住田，2019）。

①低水量散布：蠕動ポンプによる一定量散布液供給と回転板回転速度の変更により散布液滴サイズを最適化する。

②ドリフト・作業者暴露の抑制：四つの回転翼による揚力最大化によりより強いダウンウォッシュを生み出す。さらにアトマイザー上部に回転翼を設置し乱気流による散布液飛散を最小限にする。

③安定・安全飛行：高精度位置情報取得システムにより安定した自動航行と散布、様々な地形、農地形状に対応できる飛行様式を実現する。

④作業効率：散布液タンク自動充填補充システム、バッテリーと散布液タンク装着をカートリッジ方式にする。

今後ドローンは、そのコンパクト性を活かして、小規模圃場や野菜等の新たな作物への利用拡大が期待される。また傾斜地果樹園での農薬散布への利用も期待される。従来のも水稻病害虫防除における広域一斉散布といった効率だけのコスト削減を求めるだけでなく、個人が手軽に使える防除器具の一つとしての位置づけも可能性は

あると思われる。またドローンも標的指向化技術として利用することも期待される。

(3) 濃厚少量散布

ドローンによる農薬散布は、作業効率の向上、散布時間の削減等非常に省力化が期待できるが、農薬の搭載能力とバッテリーの容量の問題があり、採用される散布法としては濃厚少量散布になる。この場合被覆面積率が低く、散布粒子が非常に細かいのでドリフト防止対策も必要である。

濃厚薬液を稲や樹体に確実に付着させるには、噴霧ノズルの形状、位置、配置や吐出量、散布時の飛行速度、飛行高度等を最適化する必要がある。飛行高度はドリフト対策上、樹上1 m程度にするのが理想である。また適切な機能性展着剤（アジュバント）を使用することも重要である（岩波，2019）。

また先にも述べたようにドローンによる濃厚少量散布ではSS散布などと比較して、被覆面積率が低いので、被覆面積率を向上する最適な散布条件を検討する必要がある。具体的には散布水量、散布粒径、飛行高度、飛行ルート、飛行速度等の最適化およびアジュバントの利用を検討する必要がある（増井，2019）。

さらに傾斜地果樹園での薬剤散布を考えると、作業の一層の省力化、軽作業化のために自動飛行、自動散布をできることが好ましい。そのためには正確な高度測定と制御、複雑な地形を飛行できるプログラム、障害物を回避できる技術の開発が必要である（岩波，2019）。

傾斜地果樹園でのカンキツの病虫害防除には、無人航空機用の農薬登録が不可欠である。登録要件がいくらか緩和されたとはいえ、登録数はまだまだ少ない。高濃度希釈でも物理化学性に問題がなく、薬害リスクが低く、残留基準をクリアでき、少量散布でも効果が安定する農薬を選抜する必要がある（増井，2019）。

アジュバントについては、界面活性剤メーカーから種々のアジュバントが開発されており、それらによって、散布水量の低減、散布回数の低減、薬量の低減、耐雨性の向上、生物効果の増強等が報告されている（川島，2021）。しかしアジュバントと対象とする農薬には相性があり、その組合せによっては、効果が発現しない場合がある。またこれらのアジュバントはドローン用に開発されたものばかりではないが、ドローン用にも使用できる可能性がある。いくつかの例を紹介する。

有機シリコン系界面活性剤であるトリシロキサンアルコキシレート（TSA）は15 l/10 aという少量散布量でもキャベツ葉で優れた拡張性を示し、小麦についてもグリホサートやプロピコナゾールの取り込みが向上した。

圃場試験でも、多くの作物について被覆面積率、取り込みが向上して殺虫効果、収量が向上した（NAUE et al., 2019 a）。

またTSAは動的表面張力も低く、散布粒子の付着量を上げ、流亡を減らし土壌汚染を減らすことができる。クロルピリホスによる稲のハネナガコブノメイガの防除に用いて、殺虫剤量を30%、散布液量を50%減らすことができることが報告されている（NAUE et al., 2018）。

有機シリコン系界面活性剤であるSilwet STIK-2は優れた付着性、拡張性を示し、通常为非イオン性界面活性剤に比べて被覆面積が10倍大きく、コスタリカでのパイナップルのコナカイガラムシの防除試験で、散布液量を30%削減でき、優れた殺虫効果を示した（NAUE et al., 2019 b）。

チャ赤焼病に対する陽イオンを有効成分とするアジュバントの添加効果が報告されている（富濱，2009）。殺菌剤としてカスガマイシン・銅水和剤および銅水和剤を用いて散布水量を400 l/10 aから200~300 l/10 aへ低減しても同等の防除効果が得られ、作業の軽減化と経費削減効果が実証された。

人畜、環境に対して安全性の高い植物由来の界面活性剤を有効成分とした機能性展着剤が開発されている（ドライバー[®]）。これは優れた濡れ性能を発揮し農薬の効果を向上させ、使用量を低減できる。ドローン用にも期待される（花王，2019）。

またドローン用機能性展着剤「KAO ADJUVANT A-200」が中国で販売されている。これは高い展着性を有し、散布時の水分蒸発を抑えてドリフトを抑制でき、作物への農薬被覆率を向上させる（花王，2021）。

そのほかにもドローン用タンク混合アジュバントの開発努力がなされている。超少量散布で、飛行高度2 m、飛行速度約50 m/hの条件下で、ドリフトおよび揮散抑制、付着量および被覆率の向上により生物効果を改善することを目標としている（KANI, 2018）。

おわりに

最近IT、ICT、IoT、AI等の先端技術が非常に進歩しており、それらを利用したスマート農業もめざましい発展をしている。製剤・施用法の観点から見ると、ドローンの利用、ロボットの利用、機械化により農作業は非常に省力化されるとともに効率化し安全性も向上している。

また種々のセンシング技術を利用して標的指向化技術が進歩しPDS（農薬送達システム）の理念が達成されていくと考えられる。こうして農薬の安全かつ有効な使

用が進み、農薬の使用量も削減できるであろう。

さらに種々の高度なスマート材料が開発され、それを農薬製剤・施用法の分野に利用して、自ら標的を検知（センサー機能）し、必要な農薬を選択（プロセッサ機能）し、施用する（アクチュエータ機能）スマート製剤・施用法ができれば農薬の施用は、環境負荷が少なく、非常に省力的でかつ安全、効率的になるであろう。将来が期待される。

謝辞 本稿の執筆にあたって、大河内武夫氏（三井化学アグロ(株)研究開発本部）より、資料作成などについて、多大なるご支援をいただきました。厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 舟木勇樹 (2022): 第 41 回農薬製剤・施用法シンポジウム講演要旨 **S2**: 5~10.
- 池町健太 (2022): 同上 **S3**: 11~15.
- 諫山真二・津田尚己 (2008): 住友化学 **2008-II**: 4~13.
- 岩波 徹 (2019): 第 39 回農薬製剤・施用法シンポジウム講演要旨 **S3**: 36~38.
- KANI, D. (2018): 第 38 回農薬製剤・施用法シンポジウム講演要旨: 14.
- 花王 (2019): 花王ケミカルだより, No.81.
- 花王 (2021): 花王ニュースリリース, 2021 年 9 月 13 日, <https://www.kao.com/jp/corporate/news/business-finance/2021/20210913-003/>
- 川島和夫 (2021): 40 周年記念誌「農薬製剤・施用技術の発展」, 日本農薬学会 農薬製剤・施用法研究会 編, 東京, p.43~48.
- 来田丈太郎 (2021): 同上, p.148~152.
- 幸内淳一 (2021): 同上, p.80~88.
- 小西充洋 (2020): 日本農薬学会誌 **45**(2): 150~155.
- 栗田和典 (2021): 40 周年記念誌「農薬製剤・施用技術の発展」, 日本農薬学会 農薬製剤・施用法研究会 編, 東京, p.73~79.
- 増井伸一 (2019): 第 39 回農薬製剤・施用法シンポジウム講演要旨 **S4**: 39~42.
- 松本賢英 (2020): 日本農薬学会誌 **45**(2): 141~145.
- NAUE, J. A. et al. (2019 a): 第 39 回農薬製剤・施用法シンポジウム講演要旨 **S5**: 46.
- et al. (2019 b): 同上: 24.
- et al. (2018): 第 38 回農薬製剤・施用法シンポジウム講演要旨: 25.
- 農林水産省 (2021): スマート農業の展開について, HP 資料, https://www.affrc.maff.go.jp/docs/smart_agri_pro/attach/pdf/smart_agri_pro-11.pdf
- 野口 伸 (2020): <https://smartagri.jp.com/smartagri/966>
- NURUZZAMAN, M. et al. (2016): J. Agric. Food Chem. **64**: 1447~1483.
- 大河内武夫ら (2018): 農薬の創製研究の動向—安全で環境に優しい農薬開発の展開—, 梅津憲治 (監修), シーエムシー出版, 東京, p.243~279.
- ・辻 孝三 (2019): 粉体工学会誌 **56**(12): 673~680.
- PIMENTEL, D. and L. LEVITAN (1986): BioScience **36**(2): 86~90.
- 関口幹夫 (1997): 農薬製剤ガイド, 日本農薬学会 農薬製剤・施用法研究会 編, 日本植物防疫協会, 東京, p.77~81.
- 浅澤 栄 (2010): 特技懇 **256**: 31~37.
- (2015): 人工知能 **30**(2): 163~166.
- 杉浦 綾 (2020): 日本農薬学会誌 **45**(2): 146~149.
- 住田弘一 (2022): 第 41 回農薬製剤・施用法シンポジウム講演要旨 **S1**: 1~4.
- 住田靖浩 (2019): 第 39 回農薬製剤・施用法シンポジウム講演要旨: 47.
- 田島 繁ら (2001): 日本農薬学会誌 **26**(3): 244~247.
- 富濱 毅 (2009): 植物防疫 **63**(4): 218~221.
- 辻 孝三 (2001): 農薬製剤・施用法研究会 20 周年記念誌「農薬製剤・施用法の進歩」, 日本農薬学会 農薬製剤・施用法研究会 編, 東京, p.45~58.
- (2005): 今月の農業 4 月号, p.68~77.
- (2006 a): 第 32 回農薬製剤・施用法シンポジウム講演要旨 **S3**: 31~41.
- (2006 b): 農薬製剤はわかり—製剤でこんなことができる—, 化学工業日報社, 東京, p.5~9.
- (2006 c): 同上, p.175~183.
- (2006 d): 同上, p.57~97.
- (2012): 第 27 回報農会シンポジウム, 植物保護ハイビジョン—2012, p.53~64.
- (2013 a): 日本農薬学会誌 **38**(2): 205~212.
- (2013 b): 応用が広がる DDS—人体環境から農業・家電まで—, NTS, 東京, p.401~408.
- (2014): 粉体技術 **6**(5): 15~20.
- (2016): 植物防疫 **70**(4): 259~263.
- (2021): 40 周年記念誌「農薬製剤・施用技術の発展」, 日本農薬学会 農薬製剤・施用法研究会 編, 東京, p.6~16.
- 宇田川隆敏・小高健次 (2003): 日本の農薬開発, 日本農薬学会, 東京, p.149~164.
- 柳 伸一 (2021): 40 周年記念誌「農薬製剤・施用技術の発展」, 日本農薬学会 農薬製剤・施用法研究会 編, 東京, p.98~102.

新農薬の紹介

新規殺菌剤キノプロール® (イプフルフェノキン) の特長

日本曹達株式会社 ふじ
藤 い
井 さとし
聡

はじめに

キノプロール® (イプフルフェノキン) は日本曹達株式会社が発明した新規骨格を有するフェニルプロパノール系殺菌剤である。核酸合成代謝において、新規の作用を示すことから FRAC により新設のコード、52 に分類された。各種果樹類の黒星病、うどんこ病、晩腐病、灰色かび病に優れた効果を示す。2014 年から開発コード NF-180 として一般社団法人日本植物防疫協会を通じて新農薬実用化試験を開始し、2020 年 7 月 14 日付で登録を取得した。商品名ミギワ®20 フロアブルとして果樹・茶向けに 2021 年より東北および甲信越地域で先行販売、2022 年 12 月より全国で販売を開始した。

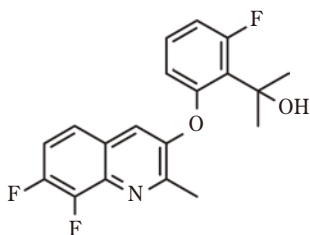
I 有効成分と物理化学的性状

一般名：イプフルフェノキン (ipflufenquin)

化学名 (IUPAC)：2-[2-(7,8-ジフルオロ-2-メチルキノリン-3-イルオキシ)-6-フルオロフェニル]プロパン-2-オール

CAS 登録番号：1314008-27-9

構造式：



分子式：C₁₉H₁₆F₃NO₂

分子量：347.3

水溶解度：9.20 mg/l (20℃)

オクタノール/水分配係数 (LogPow)：3.89 (25℃)



Characteristics of KINOPROL® (Ipflufenquin), a Novel Fungicide. By Satoshi Fujii

(キーワード：キノプロール, イプフルフェノキン, ミギワ, 殺菌剤, DHODH, NF-180, フェニルプロパノール系)

融点：114.4~115.5℃

蒸気圧：< 1.0 × 10⁻⁵ Pa (20℃)

II 人畜毒性と水生生物影響

1 人畜への安全性 (原体)

急性経口 (ラット ♀, ♂)：LD₅₀ > 2,000 mg/kg 体重

急性経皮 (ラット ♀, ♂)：LD₅₀ > 2,000 mg/kg 体重

皮膚刺激性および眼刺激性 (ウサギ)：刺激性なし

皮膚感作性 (モルモット)：感作性なし

2 水生生物への影響 (原体)

魚類急性毒性 (コイ)：LC₅₀ 35 mg/l (96 時間)

ミジンコ類急性遊泳障害：EC₅₀ > 50 mg/l (48 時間)

藻類生長障害：ErC₅₀ > 50 mg/l (72 時間)

3 有用生物への影響

セイヨウミツバチをはじめとする各種有用昆虫や天敵に対して影響が少ないことが確認されている (表-1)。

III 作用機構

キノプロール®は核酸合成代謝系のうち、遺伝子の発現に必要な RNA の生合成経路に作用する。具体的には RNA の構成成分であるピリミジン塩基の *de novo* 生合成系のうち、ジヒドロオロト酸をオロト酸へ変換する酵素ジヒドロオロト酸デヒドロゲナーゼ (DHODH) を阻害する。DHODH を阻害された植物病原菌は植物体への侵入と定着に必要な遺伝子が正常に機能しなくなり、一連の感染行動が抑えられる。

IV 特長

1 殺菌スペクトラム

表-2 に示した登録内容の通り、ミギワ®20 フロアブルは黒星病、うどんこ病、灰色かび病、晩腐病・炭疽病を中心に幅広い病害に効果を示す。また、現在登録のある果樹では収穫前日まで、茶では摘採 7 日前まで使用可能である (表-2)。

表-1 有用生物への影響（社内試験，実用濃度 2,000 倍希釈での影響）

生物種	供試ステージ	試験方法	影響 ^{a)}
セイヨウミツバチ	成虫	経口投与	影響なし
マメコバチ ^{b)}	成虫	直接散布	影響なし
ミヤコカブリダニ	成虫・次世代	直接散布	影響なし
チリカブリダニ	成虫・次世代	直接散布	影響なし
チャバラアブラコバチ	成虫	接触 (ドライフィルム法)	影響なし
ヒメカメノコテントウ	成虫	虫体浸漬	影響なし

^{a)} IOBC による評価基準に従い，死亡率 0～30%未満を影響なしとした。

^{b)} 2019 年 青森県産業技術センターりんご研究所委託試験。

表-2 ミギワ®20 フロアブルの登録内容（2023 年 1 月 12 日現在）

作物名	適用病害名	希釈倍数 (倍)	散布液量 (l/10 a)	使用時期	本剤の 使用回数	イプフルフェノキンを 含む農薬の総使用回数	使用方法
りんご	うどんこ病 黒星病 斑点落葉病 灰色かび病	2,000～4,000	200～700	収穫前日まで	3 回以内	3 回以内	散布
なし	黒星病 うどんこ病						
おうとう	灰星病						
もも							
ネクタリン	ホモプシス腐敗病						
小粒核果類	灰色かび病	2,000					
	灰星病（すもも） 黒星病						
かき	うどんこ病 炭疽病 落葉病 灰色かび病	2,000～4,000					
ぶどう	灰色かび病 褐斑病 晩腐病 黒とう病	2,000					
かんきつ	灰色かび病	2,000～4,000	200～400	摘採 7 日前まで	2 回以内	2 回以内	
茶	炭疽病						

2 既存殺菌剤耐性菌に対する効果

リンゴ黒星病菌および灰色かび病菌の各種耐性菌を用いて，DMI 剤，QoI 剤，SDHI 剤，ベンゾイミダゾール系剤，アニリノピリミジン剤，ジカルボキシイミド系剤に対して交差耐性を示さないことを確認している。

3 耐雨性

ミギワ®20 フロアブルをポット植えのリンゴに散布して 3 時間，または 24 時間風乾した後，40 mm 相当（20 mm/時間×2 時間）の降雨処理を行い，リンゴ黒星

病菌を接種したところ，いずれも高い効果を維持した（図-1）。本剤は風乾後であれば降雨の影響を受けにくいと考える。

4 移行性

薬液がかからないようリンゴ苗先端を覆った状態でミギワ®20 フロアブルを散布し，5 日後にリンゴ黒星病菌を接種したところ，先端葉で効果を示した（図-2）。新梢先端の薬剤が付着しにくい新葉にも有効成分キノプロール®が移行して一定の効果を発揮すると期待できる。

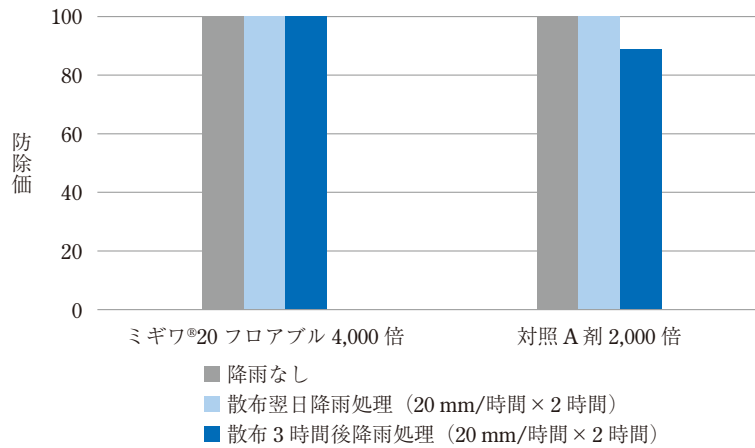


図-1 ミギワ®20フロアブルの耐雨性試験（ポット）

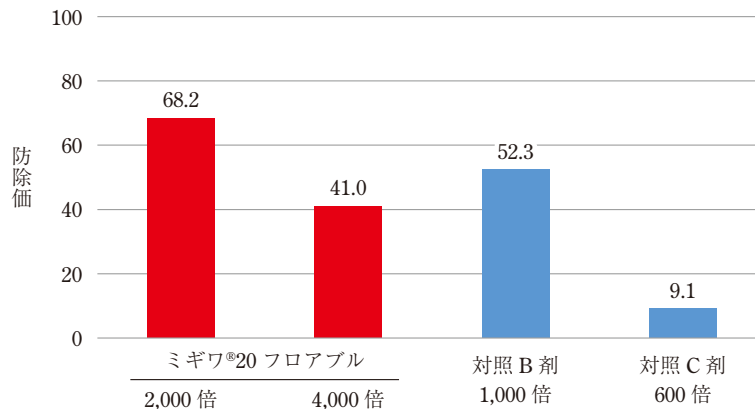
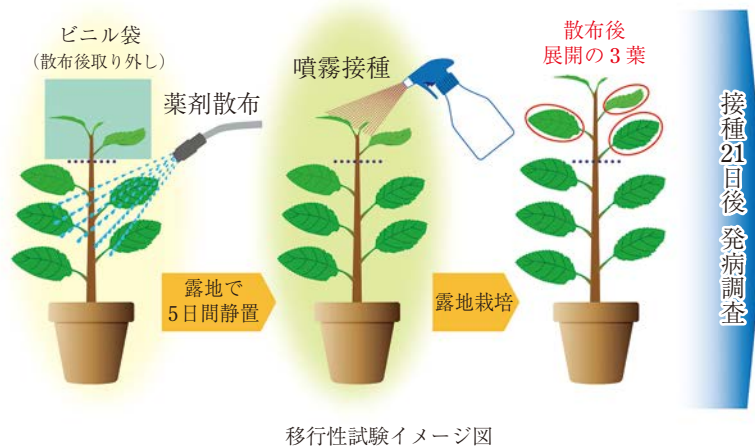


図-2 ミギワ®20フロアブルの移行性試験の方法と結果

おわりに

ミギワ®20フロアブルは上述した耐雨性および移行性のほか、感染直後の処理でも効果を示すなど優れた特性を有する殺菌剤である。新規作用のキノプロール®を有効成分としており、既存殺菌剤と交差耐性を示さないこ

とから、他の作用機構を有する殺菌剤と体系的に使用することにより薬剤耐性の発達リスクを低減して、果樹をはじめとする各種病害の防除に寄与できると考えている。なお果樹・茶向けの本剤とは別に、野菜・豆向け殺菌剤としてミギワ®10フロアブルを今後上市する予定である。



新発売

殺菌剤

ミキワ[®]20

フロアブル

新規作用機構
(殺菌剤分類52、DHODH阻害)

キノプロール
KINOPROL[®]
ACTIVE INGREDIENT

黒星病、晩腐病などの
病害を水際でブロック!

ミキワ



日本曹達株式会社

東京都千代田区大手町2丁目2番1号
お問合せ (03)3245-6178(平日9~12時、13~17時)



最新の登録内容

®は日本曹達(株)の登録商標

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

新農薬の紹介

新規殺虫剤インスカリス® (セフィーナ®DC) の特長

BASF ジャパン株式会社 たけ だ はるか
竹 田 遼

はじめに

インスカリス® (アフィドピロペン) は、学校法人北里研究所と Meiji Seika ファルマ株式会社 (現・株式会社 MMAG) の共同研究により見いだされた糸状菌由来のピリピロペン A をリード化合物として構造を改変したピロペン系の殺虫剤である。害虫の行動にかかわる感覚神経系をかく乱し、害虫の摂食、生殖、定位等の行動を抑制することで、間接的に殺虫効果を示すと考えられている。弦音器官 TRPV (一過性受容体電位バニロイド) チャンネルモジュレーターであるインスカリス®はそのユニークな化学構造から、IRAC 分類において、サブグループ 9D に分類されている。本剤は既存の薬剤に対し抵抗性を発達させた害虫においても高い効果を示し、抵抗性管理における有効な薬剤となる。日本においては、2016 年より BASF ジャパン株式会社が BAI-1603DC の試験番号で一般社団法人 日本植物防疫協会を通じて公的試験を開始し、畑作物分野のアブラムシ類に対して優れた効果を有することが確認された。2022 年 10 月 26 日、商品名セフィーナ®DC (アフィドピロペン 4.9%) として登録が認可された (登録番号 24663, 表-1)。セフィーナ®DC は、植物への有効成分の付着性および拡張性に優れる製剤処方で、速効的な吸汁抑制によるウイルス感

染抑制、浸達性、耐雨性、効果の持続性を発揮する。本報ではセフィーナ®DC の作用特性について紹介する。

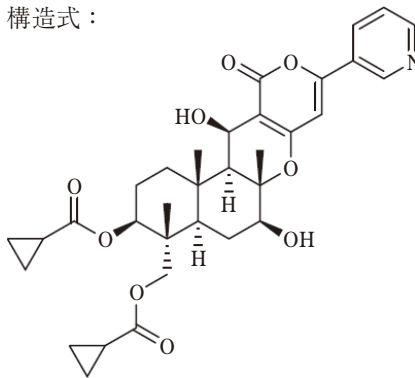
I 有効成分と物理化学的性状

一般名: アフィドピロペン (afidopyropen)

化学名 (IUPAC): [(3*S*,4*R*,4*aR*,6*S*,6*aS*,12*R*,12*aS*,12*bS*)-3-(シクロプロパンカルボキシルオキシ)-6,12-ジヒドロキシ-4,6*a*,12*b*-トリメチル-11-オキソ-9-(ピリジン-3-イル)-1,2,3,4,4*a*,5,6,6*a*,12*a*,12*b* デカヒドロ-11*H*,12*H*-ベンゾ[f]ピラノ[4,3-*b*]クロメン-4-イル]メチルシクロプロパンカルボキシレート

CAS 登録番号: 915972-17-7

構造式:



分子式: C₃₃H₃₉NO₉



表-1 セフィーナ®DC の登録内容 (2022 年 10 月現在)

作物名	適用害虫名	希釈倍数	使用液量	使用時期	本剤の使用回数	使用方法	アフィドピロペンを含む農薬の総使用回数
小麦	アブラムシ類	2,000～4,000 倍	60～150 l/10 a	収穫前日まで	2 回以内	散布	2 回以内
はれいしょ			100～300 l/10 a				
てんさい							

Features of INSCALIS® (Sefina®DC), a Novel Insecticide. By Haruka TAKEDA

(キーワード: インスカリス, セフィーナ, アフィドピロペン, ピリピロペン A, IRAC グループ 9D, テンサイ黄化病)

分子量：593.66

融点：147.3～160.0℃

溶解度：25.1 mg/l（20℃，pH 7.15～7.30）

水/オクタノール分配係数：3.45（25℃，pH 7.34～7.74）

蒸気圧：＜9.9 × 10⁻⁶ Pa（25℃）

II 安全性

1 人畜毒性

急性経口毒性（ラット♀）：LD₅₀＞2,000 mg/kg急性経皮毒性（ラット♂♀）：LD₅₀＞2,000 mg/kg

皮膚刺激性（ウサギ♀）：刺激性なし（区分外）

眼刺激性（ウサギ♀）：極軽度の刺激性あり（区分外）

皮膚感作性（モルモット♀）：陰性（区分外）

2 有用昆虫への影響

セイヨウミツバチ成虫（原体，経皮 LD₅₀，48 h）：

＞200 μg/頭

セイヨウミツバチ成虫（原体，経口 LD₅₀，48 h）：

＞100 μg/頭

蚕（製剤の200倍液を人工飼料に混合し，4日間給餌）：

健蛹歩合：98.3%。死虫率：0%

3 天敵に対する影響

表-2 にセフィーナ®DC の天敵に対する安全性情報を示す。セフィーナ®DC は供試した 13 種の重要天敵に対し影響が小さいことが確認されている。

III 作用機作

インスカリス® は対象害虫の弦音器官の機能を阻害することにより効果を発揮する。弦音器官は，昆虫や甲殻類に特有に存在する感覚器官で，聴覚，重力の知覚，自己受容感覚（歩行や飛行の姿勢の安定性や重力に対する定位等の昆虫自体の動きを感じる感覚）に重要な役割を担っており，主に触覚，口器，脚の関節，翅の付け根等可動部に局在する。弦音器官には TRPV チャネル複合体と呼ばれる感覚を伝達する役割を担う機能的タンパク質があり，インスカリス®はこのタンパク質に強く結合することで弦音器官の機能をかく乱する（図-1）。その結果，害虫の定位・定着，摂食行動等が阻害され防除効果が現われる。インスカリス®は特徴的なピロペン系化学構造であり，現在までのところ既存殺虫剤との交差抵抗性は確認されていない。インスカリス®は TRPV チャネルとの結合親和性が IRAC サブグループ 9B の化合物とは異なることから，サブグループ 9D に分類されている（KANDASAMY et al., 2017）。

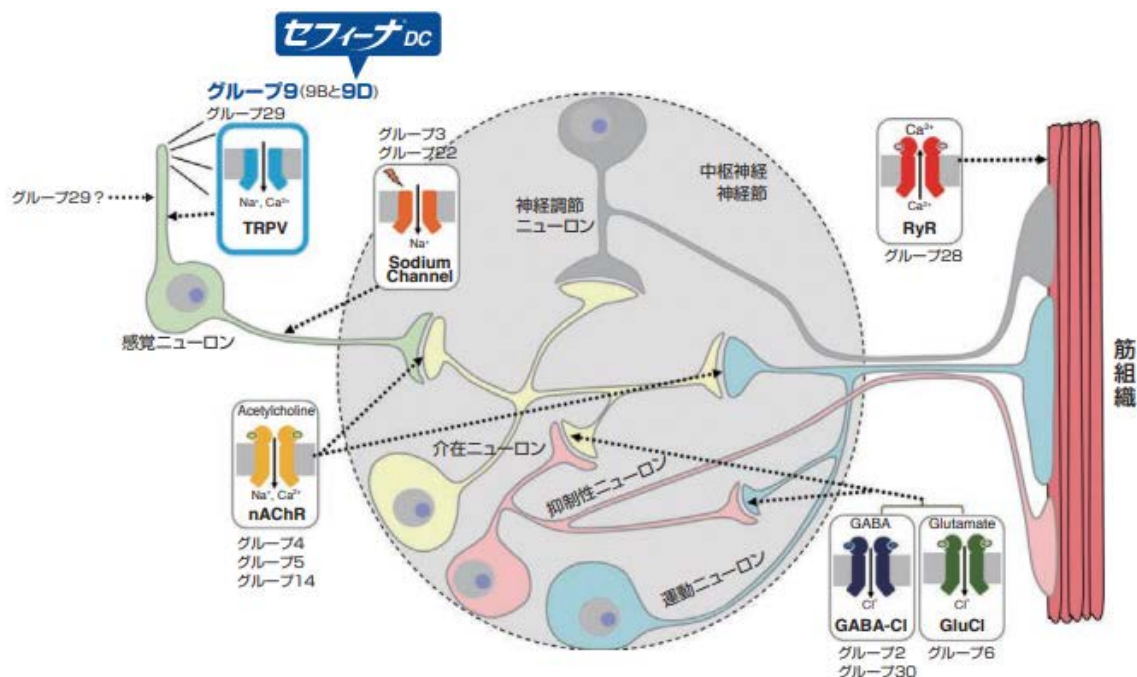
IV 作用特性

1 セフィーナ®DC の製剤

DC（Dispersible Concentrate）製剤とは，有効成分が製剤中に溶け込んでおり，水で希釈すると有効成分が微小な個体粒子となって水中に均一分散する（図-2）。DC

表-2 天敵・有用生物に対する安全性

種名	学名	捕食対象	試験対象 ステージ	処理方法	試験実施機関	死亡率
ナナホシテントウ	<i>Coccinella septempunctata</i>	アブラムシ等	幼虫	ドライフィルム法	BASF	＜25%
サカハチテントウ	<i>Hippodamia convergens</i>	アブラムシ等	幼虫，成虫	ドライフィルム法	ミネソタ大学	＜25%
ツマアカオオヒメテントウ	<i>Cryptolaemus montrouzieri</i>	カイガラムシ，アブラムシ等	成虫	ドライフィルム法 および浸漬法	BASF	＜25%
ヤマトクサカゲロウ	<i>Chrysoperla carnea</i>	アブラムシ等	幼虫	ドライフィルム法	ユーロフィン	＜25%
チリカブリダニ	<i>Phytoseiulus persimilis</i>	ハダニ	成虫	ドライフィルム法	BASF	＜25%
ミヤコカブリダニ	<i>Neoseiulus californicus</i>	ハダニ	成虫	ドライフィルム法	フロリダ大学	＜25%
スワルスキーカブリダニ	<i>Amblyseius swirskii</i>	コナジラミ等	成虫	直接散布（虫＋植物）	IPM Impact	＜25%
カブリダニの1種	<i>Euseius tularensis</i>	アザミウマ等	集団	散布：圃場	Phil Munger (external)	＜25%
カスミカメの1種	<i>Macrolophus pygmaeus</i>	コナジラミ等	幼虫，成虫	散布（植物）	BASF	＜25%
タバコカスミカメ	<i>Nesidiocoris tenuis</i>	コナジラミ等	幼虫，成虫	散布（植物）	BASF	＜25%
ハナカメムシの1種	<i>Orius insidiosus</i>	アザミウマ等	成虫	ドライフィルム法	フロリダ大学	＜25%
ツヤコバチの1種	<i>Aphytis melinus</i>	カイガラムシ	成虫	直接散布（植物）	カリフォルニア大学	＜25%
ヒメコバチの1種	<i>Tamarixia radiata</i>	キジラミ	成虫	ドライフィルム法	BASF	＜25%



(IRAC MoA Working Group (2019) を改変)

図-1 インスカリス®の作用部位と IRAC による作用機構分類における位置付け

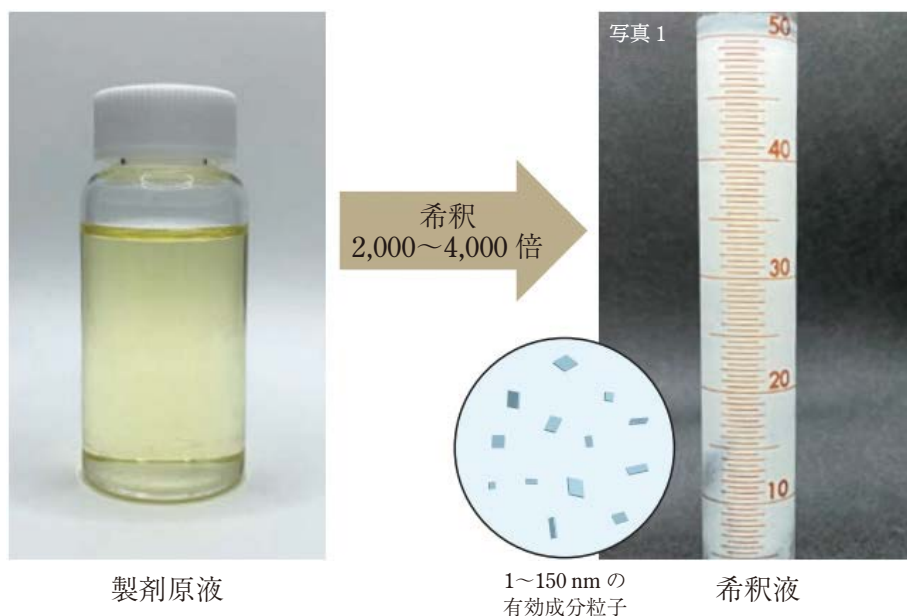


図-2 DC 製剤

水に希釈後、有効成分粒子が均一に分散する。

製剤は他の製剤と比較して、製剤処方中に補助成分を加えやすい特長を有している。セフィーナ®DC は展着剤の加用は不要で、散布された液滴は葉面上で十分な付着性と拡張性を示す（図-3）。

2 速効性およびウイルス媒介阻止効果

インスカリス®（50 g ai/ha）を散布したワタアブラムシ

シは、無処理と比較して植物への口針挿入時間が有意に短くなり、口針挿入回数も有意に減少した（図-4）。また、セフィーナ®DC を散布されたアブラムシは、散布後速やかに脚や触覚を小刻みに動かす異常行動を引き起こし吸汁ができず餓死、または植物から落下して死亡することが観察された（図-5）。

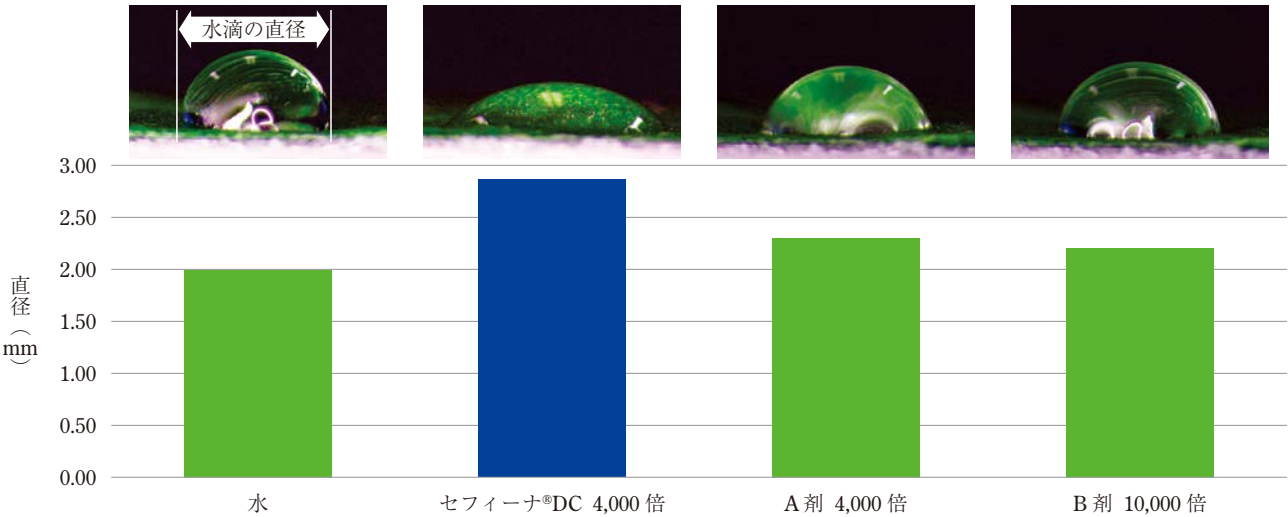


図-3 液滴の葉面上での液滴直径と液滴の形状
展着剤無加用の各薬液 5 μ l をテンサイ葉に乗せ、実体顕微鏡を用いて撮影し、液滴の直径を計測。

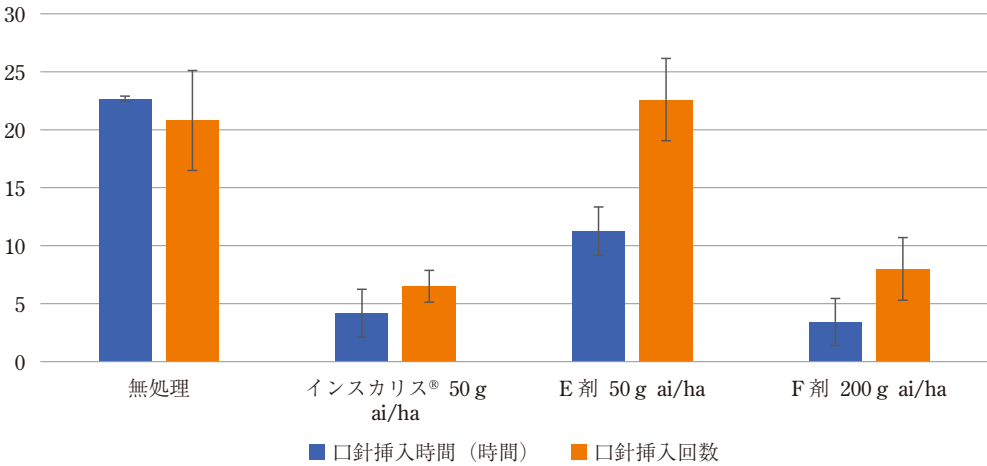


図-4 インスカリス®処理によるワタアブラムシの摂食行動の減少
試験場所：BASF Corporation.
試験方法：ワタアブラムシにインスカリス® 50 g ai/ha を散布後、アブラムシの腹部背板に電気伝導性の金線を接着し、電極につないだ。EPG システムを用いて葉に定位させたアブラムシの口針挿入により流れる電流を検出することで摂食行動*を分析した。
*摂食行動：すべての植物組織（柔組織、木部、篩部）への口針の挿入を含む。

本剤がアブラムシ類に対し速やかに効果を示すことから、ウイルス媒介防止効果について検討した。

テンサイ黄化病は、モモアカアブラムシが媒介するビート黄葉ウイルスがテンサイに感染することで発病する（吉田ら，2017）。ウイルスを保毒したモモアカアブラムシは吸汁行動により健全なテンサイにウイルスを伝搬し、アブラムシによる吸汁時間が長いほどウイルスの伝搬率が高まる（DUFFUS, 1960）。ビート黄葉ウイルスを保毒したモモアカアブラムシにセフィーナ®DC 4,000 倍希釈液を散布し、ポット植えの健全なテンサイに移し、3 日間放虫し、14 日後に ELISA 法によりテンサイ

表-3 ビート黄葉ウイルス感染阻止効果

処理	判定結果
無処理	陽性
セフィーナ®DC 4,000 倍	陰性
無接種	陰性

試験場所：BASF ジャパン(株)アグソリューションファーム成東。
作物（品種）：テンサイ（かちまる）。
対象害虫：モモアカアブラムシ。
試験方法：テンサイ黄葉ウイルスを保毒させたモモアカアブラムシに、所定濃度に希釈した薬液を散布し、ウイルス未罹患のポット植えテンサイにアブラムシを移し 3 日間放飼した。処理 14 日後に各処理ポットよりテンサイ葉を採集し、ELISA 法を用いて葉内のウイルスの有無を判定した。

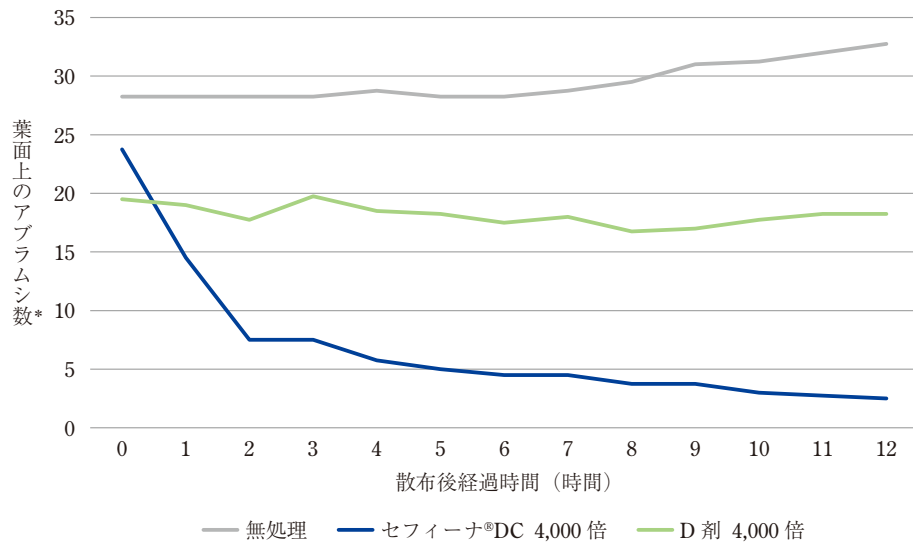


図-5 モモアカアブラムシに対する即効性評価

試験場所：BASF ジャパン(株)アグソリューションファーム成東。

試験方法：試験管に直径 23 mm のキャベツリーフディスクを葉裏を表にして寒天で固定し、アブラムシを接種した。接種翌日、リーフディスクに薬液を散布し、25℃、16L8D 条件下でリーフディスクに定位しているアブラムシ数を 1 時間おきに 12 時間観察した。

*：リーフディスク当たりのアブラムシ定位数、観察中の産仔虫数を含む。

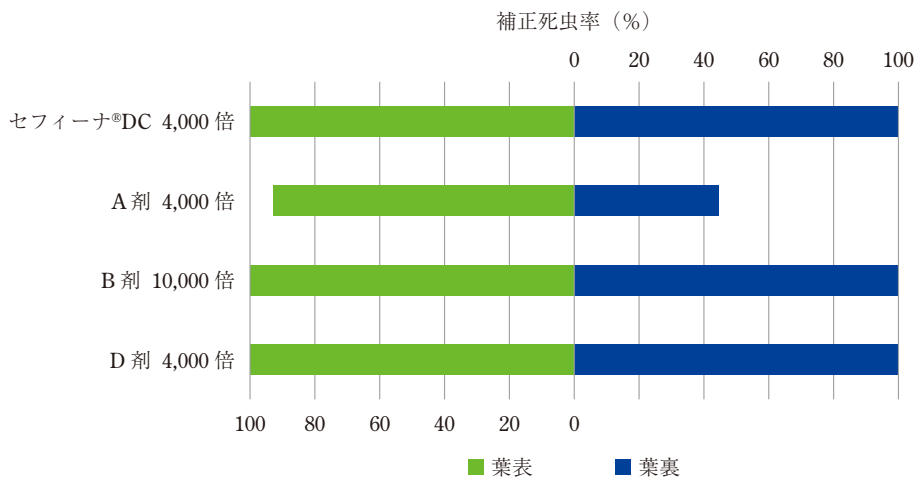


図-6 テンさいにおけるセフィーナ®DC の浸達性

試験場所：BASF ジャパン(株)アグソリューションファーム成東。

供試害虫：モモアカアブラムシ。

試験方法：テンさい（品種‘2K314’）に薬液を葉表のみに散布し、処理部位よりリーフディスクを作成し、葉表と葉裏それぞれを上にして寒天に乗せ、モモアカアブラムシを 10 頭ずつ接種した。散布 6 日後に生存虫数を調査し、死虫率を求めた。

葉内のウイルスの有無を調査したところ、陰性を示し、ウイルスの感染は認められなかった。これらの試験結果からセフィーナ®DC はアブラムシの寄主植物への定着・定着、吸汁行動等を速効的に阻害し、その結果ウイルス感染を抑制することが明らかとなった。

3 浸達性および耐雨性

セフィーナ®DC 4,000 倍希釈液を葉表のみに散布した

場合でも葉裏に寄生するアブラムシに対して十分な殺虫効果を示し、浸達性を有することが明らかになった（図-6）。

セフィーナ®DC のテンさいを用いたモモアカアブラムシに対する耐雨性試験の結果を図-7に示す。セフィーナ®DC 4,000 倍希釈液をテンさいに散布、風乾後、人工降雨機を用いて降雨処理を行った。降雨量は無降雨、

20 mm/時または 50 mm/時の降雨を 2 時間で設定し、降雨処理 30 分後にモモアカアブラムシ成幼虫を放虫して薬剤効果を調査した。降雨処理後も無降雨と同様に高い防除効果を示し、高い耐雨性を有することが明らかになった（図-7）。

4 残効性

セフィーナ®DC のバレイショを用いたジャガイモヒゲナガアブラムシに対する残効性試験結果を図-8 に示す。薬剤散布当日、1 日後、8 日後、14 日後、20 日後にポットから葉を採取し、ジャガイモヒゲナガアブラムシ幼虫を接種し、接種から約 7 日後の死虫率を調査したところ、

散布 20 日後まで十分な殺虫効果を示した（図-8）。

残効性を有することから、散布回数の削減にも寄与できると考えている。

おわりに

インスカリス®は IRAC でサブグループ 9D に分類されている。天然物由来の特異な構造により既存の殺虫剤に交差抵抗性を示さないことが示唆されている。セフィーナ®DC は、抵抗性害虫に対しても高い効果を示すだけでなく、速効性・ウイルス感染抑制・浸透性・耐雨性・長期残効性等の優れた特性を有している。また、本

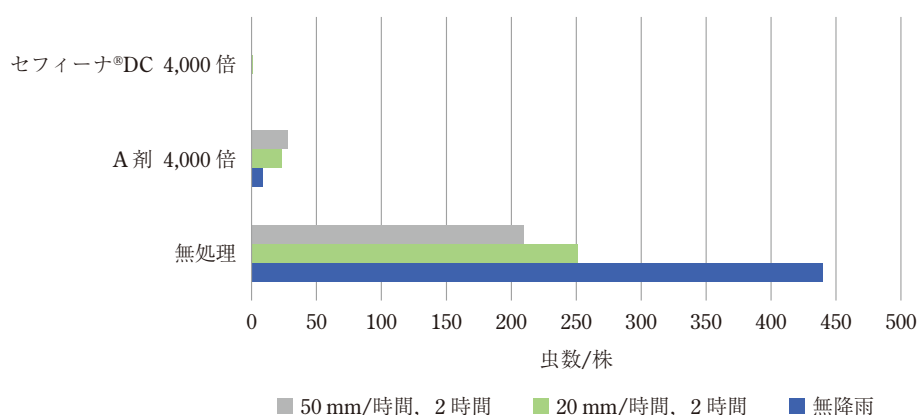


図-7 モモアカアブラムシを用いたテンサイにおける耐雨性試験

試験場所：油日アグリサーチ株式会社。

供試害虫：モモアカアブラムシ。

試験方法：テンサイ（品種‘2K314’）に薬剤処理し、30 分後に、20 mm/時、2 時間または 50 mm/時の降雨を 2 時間降らせ、降雨 30 分後にモモアカアブラムシ成幼虫を株当たり 50 頭接種。6 日後に各株に寄生するアブラムシを全葉調査した。

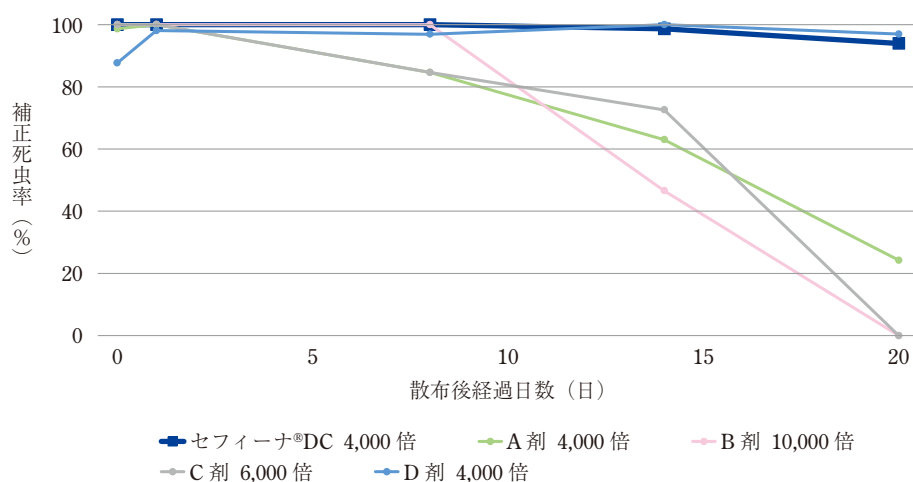


図-8 セフィーナ®DC のジャガイモヒゲナガアブラムシに対する残効性

試験場所：BASF ジャパン(株)アグソリューションファーム成東。

作物（品種）：バレイショ（男爵）。

試験方法：薬剤散布当日、1 日後、8 日後、14 日後、20 日後にポットから葉を採取し、ジャガイモヒゲナガアブラムシ幼虫を接種し、接種から約 7 日後の死虫率を求めた。

有効成分は使用者や非標的生物への安全性が確認されており、環境に配慮した殺虫剤である。これらのことから、IPM に基づく栽培管理においてセフィーナ®DC は非常に有効な防除手段となると考えている。また、農林水産省が策定した「みどりの食料システム戦略」の中で、セフィーナ®DC は持続可能な食糧システム構築への貢献をも期待できると考えている。

引用文献

- 1) DUFFUS, J. E. (1960) : *Phytopathology* **50** : 389~394.
- 2) IRAC MoA Working Group (2019) : Insecticide Mode of Action Training slide deck, <https://irac-online.org/mode-of-action/>
- 3) KANDASAMY, R. et al. (2017) : *Insect Biochem. Mol. Biol.* **84** : 32~39.
- 4) 吉田直人ら (2017) : 日植病報（講要）**83** : 74 pp.

■・BASF

We create chemistry

新規殺虫剤

セフィーナ[®] DC

踊り出したら、
さよならの合図。

天然物由来^{*}の新規有効成分が、
アブラムシ類に対して
「ダンシング症状^{*}」をひきおこし、
速効的に吸汁活動をストップします。

※有機JAS規格には適合しません。

※セフィーナDC散布により、弦音器官を攪乱されたアブラムシが
小刻みに動き出す異常行動のこと。

®=BASF社の登録商標

BASFジャパン株式会社 東京都中央区日本橋室町3丁目4番4号 OVOL日本橋ビル3階
☎0120-014-660 <https://crop-protection.basf.co.jp/>

新しく登録された農薬 (2023.1.1～1.31)

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

「殺菌剤」

●オキシリニック酸・ストレプトマイシン水和剤

24707：MIC マテリーナ水和剤（MMAG）2023/1/11

オキシリニック酸：10.0%

ストレプトマイシン：12.5%

だいこん：軟腐病：収穫 30 日前まで

はくさい：軟腐病：収穫 14 日前まで

たまねぎ：軟腐病：収穫 7 日前まで

こんにゃく：腐敗病：収穫 30 日前まで

ばれいしょ：軟腐病：収穫 7 日前まで

ほおずき：斑点細菌病：－

●銅・ストレプトマイシン水和剤

24708：MIC 銅ストマイ水和剤（MMAG）2023/1/11

銅：58.8%

ストレプトマイシン：12.5%

たまねぎ：軟腐病：収穫 7 日前まで

こんにゃく：腐敗病、葉枯病：収穫 30 日前まで

ばれいしょ：疫病、軟腐病：収穫 7 日前まで

ばれいしょ：そうか病、黒あし病：植付前

キウイフルーツ：花腐細菌病、かいよう病：休眠期～蕾出現前

●アミスルブロム・オキサチアピプロリン水和剤

24728：ゾーベックエンテクタ SE（コルテバ・アグリ）

24729：日産ゾーベックエンテクタ SE（日産化学）

2023/1/25

アミスルブロム：23.1%

オキサチアピプロリン：4.6%

ばれいしょ：疫病：収穫 14 日前まで

はくさい：べと病：収穫 7 日前まで

レタス、非結球レタス：べと病：収穫 3 日前まで

きゅうり：べと病：収穫前日まで

トマト、ミニトマト：疫病：収穫前日まで

「殺虫剤」

●チリカブリダニ剤

24696：スパイデックスバイタル（アリスト）2023/1/11

チリカブリダニ：2000 頭/100 ミリリットル

野菜類（施設栽培）：ハダニ類：発生初期

果樹類（施設栽培）：ハダニ類：発生初期

花き類・観葉植物（施設栽培、ただし、ばらを除く）：

ハダニ類：発生初期

ばら（施設栽培）：ハダニ類：発生初期

●ミヤコカブリダニ剤

24709：スパイカルプラス UM（アリスト）2023/1/11

ミヤコカブリダニ：100 頭/パック

果樹類：ハダニ類：発生初期

野菜類：ハダニ類：発生初期

花き類・観葉植物（施設栽培）：ハダニ類：発生初期

●シアントラニリプロール・チアジニル水和剤

24711：ブイゲットパディートフロアブル（日本農薬）

2023/1/11

シアントラニリプロール：1.87%

チアジニル：30.0%

稲（箱育苗）：いもち病、イネミズゾウムシ、イネドロ

オイムシ、ニカメイチュウ、フタオビコヤガ：移植 3 日前～移植当日

●シアントラニリプロール・チアジニル水和剤

24712：リョーガパディート粒剤（日本農薬）2023/1/11

シアントラニリプロール：0.75%

チアジニル：12.0%

稲（箱育苗）：いもち病：は種前～移植当日

稲（箱育苗）：イネミズゾウムシ、イネドロオイムシ：は種時（覆土前）～移植当日

稲（箱育苗）：ニカメイチュウ、フタオビコヤガ、イナゴ類：移植当日

稲：いもち病：移植時

●スピネトラム粒剤

24716：エザルタ箱粒剤（コルテバ・ジャパン）2023/1/25

スピネトラム：1.0%

稲（箱育苗）：コブノメイガ、イネドロオイムシ：は種時（覆土前）～移植当日

稲（箱育苗）：イネミズゾウムシ幼虫、ニカメイチュウ：移植 3 日前～移植当日

●メタアルデヒド剤

24734：ナメトックスハウス（住友化学園芸）2023/1/25

メタアルデヒド：4.5%

野菜類（いちご、はくさい、キャベツ、レタス、非結球レタス、れんこんを除く）：ナメクジ類：発生時

花き類・観葉植物：ナメクジ類：発生時

いちご：ナメクジ類：発生時

はくさい：ナメクジ類：発生時

キャベツ：ナメクジ類：発生時

レタス：ナメクジ類：発生時

非結球レタス：ナメクジ類：発生時

●ピレトリン乳剤

24735：ガーデンアシストピレスプレー（キング園芸）

2023/1/25

ピレトリン：0.0060%

トマト、ミニトマト：アブラムシ類：収穫前日まで

いちご：アブラムシ類：収穫前日まで

きゅうり：アブラムシ類、オンシツコナジラミ、ウリハムシ：収穫前日まで

なす：アブラムシ類、テントウムシダマシ類、ハダニ類：収穫前日まで

キャベツ：アブラムシ類、アオムシ、コナガ：収穫 7 日前まで

こまつな：アブラムシ類、アオムシ：収穫 7 日前まで

花き類・観葉植物：アブラムシ類：－

樹木類：ケムシ類：－

「殺虫殺菌剤」

●スピネトラム・トリフルメゾピリム・チアジニル粒剤

24715：ブイゲットパラタス L 粒剤（日本農薬）2023/1/25

スピネトラム：0.75%

トリフルメゾピリム：0.75%

チアジニル：6.0%

稲（箱育苗）：イネミズゾウムシ幼虫、イネドロオイムシ、ツマグロヨコバイ：移植当日

稲（箱育苗）：いもち病，コブノメイガ，ウンカ類：緑化期～移植当日

●スピネトラム・トリフルメゾピリム・トリシクラゾール粒剤

24717：ビームパラタス箱粒剤（コルテバ・ジャパン）2023/1/25

スピネトラム：0.75%

トリフルメゾピリム：0.75%

トリシクラゾール：4.0%

稲（箱育苗）：ウンカ類，ツマグロヨコバイ，コブノメイガ，いもち病：移植3日前～移植当日

●スピネトラム・チアジニル粒剤

24718：リョーガエザルタ粒剤（日本農薬）2023/1/25

スピネトラム：0.75%

チアジニル：12.0%

稲（箱育苗）：いもち病：は種前～移植当日

稲（箱育苗）：イネミズゾウムシ幼虫，イネドロオイムシ，フタオビコヤガ，ニカメイチュウ：移植当日

稲：いもち病：移植時

●クロラントラニリプロール・チアジニル粒剤

24719：リョーガフェルテラ粒剤（日本農薬）2023/1/25

クロラントラニリプロール：0.75%

チアジニル：12.0%

稲（箱育苗）：いもち病：は種前～移植当日

稲（箱育苗）：イネミズゾウムシ，イネドロオイムシ，ニカメイチュウ，フタオビコヤガ：移植当日

稲：いもち病：移植時

●チアクロプリド・チアジニル・ペンフルフェン粒剤

24720：ブイゲットバイソンEV粒剤（日本農薬）

2023/1/25

チアクロプリド：1.0%

チアジニル：12.0%

ペンフルフェン：2.0%

稲（箱育苗）：いもち病，紋枯病，イネミズゾウムシ，イネドロオイムシ：緑化期～移植当日

稲：いもち病：移植時

●ベンフラカルブ・ジクロベンチアゾクス粒剤

24725：ペルーサーCR箱粒剤（OATアグリオ）

24726：ブーンアクシア箱粒剤（クミアイ化学）

2023/1/25

ベンフラカルブ：6.0%

ジクロベンチアゾクス：2.0%

稲（箱育苗）：イネドロオイムシ，イネミズゾウムシ，ヒメトビウンカ，ツマグロヨコバイ，いもち病：は種時（覆土前）～移植当日

稲（箱育苗）：セジロウンカ：移植当日

●スピネトラム・トリフルメゾピリム・ジクロベンチアゾクス・ペンフルフェン粒剤

24727：ブーンハーデス箱粒剤（クミアイ化学）2023/1/25

スピネトラム：1.0%

トリフルメゾピリム：0.75%

ジクロベンチアゾクス：2.0%

ペンフルフェン：2.0%

稲（箱育苗）：いもち病，紋枯病，ウンカ類，ツマグロヨコバイ：は種時（覆土前）～移植当日

「除草剤」

●フェンキノトリオン・プロピリスルフロン・ブロモブチド粒剤

24697：レオゼータ1キロ粒剤（住友化学）2023/1/11

フェンキノトリオン：3.0%

プロピリスルフロン：0.90%

ブロモブチド：9.0%

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

直播水稻：一年生雑草，ホタルイ，ミズガヤツリ，ウリカワ，ヒルムシロ，セリ

●フェンキノトリオン・プロピリスルフロン・ブロモブチド粒剤

24698：レオゼータジャンボ（住友化学）2023/1/11

フェンキノトリオン：10.0%

プロピリスルフロン：3.0%

ブロモブチド：30.0%

移植水稻：一年生雑草，マツバイ，ホタルイ，ヘラオモダカ，ミズガヤツリ，ウリカワ，オモダカ，クログワイ，コウキヤガラ，ヒルムシロ，セリ

●フェンキノトリオン・プロピリスルフロン・ブロモブチド粒剤

24699：レオゼータ300FG（住友化学）2023/1/11

フェンキノトリオン：10.0%

プロピリスルフロン：3.0%

ブロモブチド：30.0%

移植水稻：一年生雑草，マツバイ，ホタルイ，ヘラオモダカ，ミズガヤツリ，ウリカワ，オモダカ，クログワイ，コウキヤガラ，ヒルムシロ，セリ

●フェンキノトリオン・プロピリスルフロン・ブロモブチド水和剤

24700：レオゼータフロアブル（住友化学）2023/1/11

フェンキノトリオン：5.6%

プロピリスルフロン：1.7%

ブロモブチド：16.7%

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

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

●フロルピラウキシフェンベンジル・ペノキススラム・ベンゾビシクロン粒剤

24701：ウィードコアジャンボSD（コルテバ・ジャパン）

24702：SDSウィードコアジャンボSD（エス・ディー・エス）

2023/1/11

フロルピラウキシフェンベンジル：2.0%

ペノキススラム：2.5%

ベンゾビシクロン：10.0%

移植水稻：一年生雑草，ホタルイ，マツバイ，ミズガヤツリ，ウリカワ，ヒルムシロ，セリ

●フロルピラウキシフェンベンジル・ペノキススラム・ベンゾビシクロン粒剤

24703：ウィードコア200SD粒剤（コルテバ・ジャパン）

24704：SDSウィードコア200SD粒剤（エス・ディー・エス）

2023/1/11

フロルピラウキシフェンベンジル：2.0%

ペノキススラム：2.5%

ベンゾビシクロン：10.0%

移植水稻：一年生雑草，ホタルイ，マツバイ，ミズガヤツリ，ウリカワ，ヒルムシロ，セリ

●カフェンストロール・フロルピラウキシフェンベンジル・ベンゾビシクロン粒剤

24705：ダंकショット 200SD 粒剤（エス・ディー・エス）2023/1/11

カフェンストロール：15.0%

フロルピラウキシフェンベンジル：2.5%

ベンゾビシクロン：10.0%

移植水稻：一年生雑草，マツバイ，ホタルイ，ウリカワ，ミズガヤツリ，ヘラオモダカ，オモダカ，ヒルムシロ，セリ，エゾノサヤヌカグサ

直播水稻：一年生雑草，マツバイ，ホタルイ，ウリカワ，ミズガヤツリ，ヒルムシロ，セリ

●カフェンストロール・フロルピラウキシフェンベンジル・ベンゾビシクロン粒剤

24706：ダंकショットジャンボ SD（エス・ディー・エス）2023/1/11

カフェンストロール：15.0%

フロルピラウキシフェンベンジル：2.5%

ベンゾビシクロン：10.0%

移植水稻：一年生雑草，マツバイ，ホタルイ，ウリカワ，ミズガヤツリ，ヘラオモダカ，オモダカ，ヒルムシロ，セリ，エゾノサヤヌカグサ

直播水稻：一年生雑草，マツバイ，ホタルイ，ウリカワ，ミズガヤツリ，ヒルムシロ，セリ

●シメトリン・テフリルトリオン・トリアファモン・ベンフレセート粒剤

24710：ノックアウト 楽粒（北興化学）2023/1/11

シメトリン：6.0%

テフリルトリオン：10.0%

トリアファモン：2.0%

ベンフレセート：18.0%

移植水稻：一年生及び多年生雑草，アオミドロ・藻類による表層はく離

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

●シクロピリモレート・トリアファモン・ベンゾビシクロン粒剤

24713：グッドラック 150FG（三井化学アグロ）

24714：SDS グッドラック 150FG（エス・ディー・エス）2023/1/11

シクロピリモレート：13.3%

トリアファモン：3.3%

ベンゾビシクロン：10.0%

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

●シクロピリモレート・シメトリン・テフリルトリオン・プロピリスルフロンの粒剤

24721：ソニックブーム Z1 キロ粒剤（三井化学アグロ）

24722：グランクロス Z1 キロ粒剤（宇都宮化成）

2023/1/25

シクロピリモレート：1.5%

シメトリン：1.5%

テフリルトリオン：3.0%

プロピリスルフロンの：0.90%

移植水稻：一年生雑草，マツバイ，ホタルイ，ヘラオモダカ，ミズガヤツリ，ウリカワ，クログワイ，オモダカ，ヒ

ルムシロ，セリ，アオミドロ・藻類による表層はく離

●シクロピリモレート・シメトリン・テフリルトリオン・ペノキススラム粉粒剤

24723：ソニックブーム S ジャンボ（三井化学アグロ）

24724：グランクロス S ジャンボ（宇都宮化成）

2023/1/25

シクロピリモレート：3.0%

シメトリン：3.0%

テフリルトリオン：4.0%

ペノキススラム：1.0%

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

●イマゾスルフロンの・テフリルトリオン・ピラクロニルの粒剤

24730：カラット 1 キロ粒剤（日本農薬）2023/1/25

イマゾスルフロンの：0.90%

テフリルトリオン：2.0%

ピラクロニルの：2.0%

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

直播水稻：一年生雑草，ホタルイ，ウリカワ，ミズガヤツリ，ヒルムシロ，セリ

●イマゾスルフロンの・テフリルトリオン・ピラクロニルの水和剤

24731：カラットフロアブル（日本農薬）2023/1/25

イマゾスルフロンの：1.7%

テフリルトリオン：3.8%

ピラクロニルの：3.8%

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

直播水稻：一年生雑草，マツバイ，ホタルイ，ウリカワ，ミズガヤツリ，ヒルムシロ，セリ

●イマゾスルフロンの・テフリルトリオン・ピラクロニルの粒剤

24732：カラットジャンボ（日本農薬）2023/1/25

イマゾスルフロンの：2.25%

テフリルトリオン：5.0%

ピラクロニルの：5.0%

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

直播水稻：一年生雑草，マツバイ，ホタルイ，ウリカワ，ミズガヤツリ，ヒルムシロ，セリ

●イマゾスルフロンの・テフリルトリオン・ピラクロニルの粒剤

24733：カラット 400FG（日本農薬）2023/1/25

イマゾスルフロンの：2.25%

テフリルトリオン：5.0%

ピラクロニルの：5.0%

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

直播水稻：一年生雑草，マツバイ，ホタルイ，ウリカワ，ミズガヤツリ，ヒルムシロ，セリ

月刊「植物防疫」は、植物防疫に関する専門的な技術情報誌です。全国の植物防疫に携わる研究者・指導者等に実践的に役立つ新しい情報を提供するために、下記規程に則って関係者に積極的な投稿・ご執筆をお願いしております。構想の段階でもご相談に応じますので、ご連絡いただきますようお願い致します。

掲 載 規 程（抜粋）

1. 掲載記事の分野

植物防疫に関する行政・研究・技術等の情報をひろく対象とします。本誌は実践的に役立つ情報提供を重視していることから、植物防疫との関連性が薄いものや基礎研究の域を出ないものは、原則として掲載しません。

2. 掲載記事の種別

本誌に掲載する記事はおおむね次の種別によります。

（1） 研究報告および総説

狙いや結果がわかりやすく解説された研究成果の紹介、もしくは諸課題や一連の研究成果等、関心度の高い技術テーマに関する総説。本誌の目的にかなう切り口で科学的に解説されているもの。

（2） 調査報告

調査を元にとりまとめ解説した研究報告に準ずる報告。

（3） 時事解説

行政の施策や世界動向等、関心度の高い時事テーマに関する解説。

（4） トピックス

新たに問題化した病虫害や薬剤耐性その他防除上のトピックス（地域限定の場合も含む）並びに新農薬の紹介等の諸情報。

（5） 新技術解説

新たな実験技法（圃場試験法や感受性検定法等）、調査法、防除法の紹介。

（6） その他

新規農薬登録・特殊報・登録失効・農林水産省プレスリリース、新刊図書の紹介、行事案内など。

3. 掲載の決定

（1） 専門家による審査体制を設置し、本誌の目的にかなうテーマであるかどうか、科学的に適正な内容であるかどうか等について審査し、掲載の有無を決定します。

（2） 審査の結果、内容の一部修正等をお願いすることがあります。

4. 投稿・連絡先

電話：03-5980-2183 mail：genko@jppa.or.jp

一般社団法人 日本植物防疫協会 支援事業部 「植物防疫」編集担当

発生予察用調査資材幹旋品目一覧表

(価格は2023年3月1日現在で、消費税込み、送料サービスです。)

●性フェロモン等誘引物質

対 象 害 虫	会 社	数 量	期 間 /個	販売価格	対 象 害 虫	会 社	数 量	期 間 /個	販売価格
ニカメイガ	サ	12	1ヶ月	11,000	アリモドキゾウムシ	サ	12	1ヶ月	11,000
コブノメイガ	サ	12	1ヶ月	11,000	チャノコカクモンハマキ	住	12	1ヶ月	8,470
アカスジカスミカメ	ア	12	1.5ヶ月	8,250		信	12	1ヶ月	8,250
アカヒゲホソミドリカスミカメ	信	12	1ヶ月	8,250	チャハマキ	住	12	1ヶ月	8,470
	ア	12	1.5ヶ月	8,250		信	12	1ヶ月	8,250
アワノメイガ	サ	12	1ヶ月	11,000	チャノホソガ	サ	12	1ヶ月	13,750
フタオビコヤガ	サ	12	1ヶ月	11,000	チャドクガ(在庫限り)	サ	2	1年	11,000
イネヨトウ	サ	12	1ヶ月	11,000	モモシンクイガ	住	12	2ヶ月	11,330
マメシンクイガ	信	12	1ヶ月	8,250	ナシヒメシンクイ	サ	12	1ヶ月	11,000
ハスモンヨトウ	住	8	1ヶ月	12,980	リングコカクモンハマキ	住	12	1ヶ月	8,470
	サ	12	1ヶ月	11,000	リングモンハマキ	信	12	1ヶ月	8,250
シロイチモジヨトウ	サ	12	1ヶ月	11,000	コスカシバ	信	12	1ヶ月	8,250
ヨトウガ	サ	12	1ヶ月	11,000	ヒメコスカシバ	信	12	1ヶ月	8,250
オオタバコガ	サ	12	1ヶ月	11,000	クビアカスカシバ	信	12	1ヶ月	8,250
タバコガ	サ	12	1ヶ月	13,750	モモハモグリガ	サ	12	1ヶ月	11,000
カブラヤガ	サ	12	1ヶ月	11,000	キンモンホソガ	サ	12	1ヶ月	11,000
タマナヤガ	サ	12	1ヶ月	11,000	モモノゴマダラノメイガ	サ	12	1ヶ月	11,000
タマナギンウワバ	サ	12	1ヶ月	11,000	スモモヒメシンクイ	信	12	1ヶ月	8,250
コナガ	住	12	1ヶ月	8,470	ミダレカクモンハマキ	信	12	1ヶ月	8,250
	サ	12	1ヶ月	11,000	ヒメボクトウ	信	12	1ヶ月	8,250
チャバネアオカメムシ	サ	10	1ヶ月	22,000	カシノナガキクイムシ	サ	2	1.5ヶ月	17,600
ナシマルカイガラムシ 専用粘着板 20枚付	サ	5	1ヶ月	13,200	シロテンハナムグリ・アシナガ コガネ・ヒラタアオコガネ 空カップ3個付 《適用：白色トラップ》 (在庫限り)	サ	誘 1	3ヶ月	5,280
アカマルカイガラムシ 専用粘着板 20枚付	サ	5	1ヶ月	13,200					
マメコガネ 空カップ3個付 《適用：黄色トラップ》(在庫限り)	サ	誘 1	3ヶ月	5,280	カミキリ・ゾウムシ・キクイムシ・ ハバチなどの針葉樹寄生性昆虫 エタノール4個付 《適用：黒色トラップ》	サ	誘 4	3週間	5,500
スギノアカネトラカミキリ 《適用：黄色トラップ》	サ	誘 4	—	9,680					
訪花性昆虫 《適用：黄色・白色トラップ》	サ	誘 5	—	12,100					
コナダニ見張番	サ	誘 30枚 + トラップ 10個			3,850	誘 30枚		2,750	

●トラップ等捕獲資材

住化式粘着トラップ〈住〉	セット(屋根1台+粘着板12枚)：4,730円、屋根のみ6台：3,960円、粘着板のみ12枚：3,520円
SEトラップ〈サ〉	【色指定あり：白色・緑色より選定】セット(屋根1台+粘着板12枚)：4,180円、屋根のみ6台：3,960円、粘着板のみ12枚：3,520円、100枚：28,600円
小型粘着板(クワシロカイガラムシ用)〈サ〉	100枚入(1枚：22.5cm×12cm)：16,500円
ファネルトラップ〈サ〉	1台：4,950円
住化式乾式トラップ〈住〉	1台：6,600円
AUトラップ〈信〉	1台：11,000円(チャバネアオカメムシ用)
コガネコール・マダラコール用誘引器〈サ〉	【色指定あり：黄色・白色・黒色より選定】1台：7,480円 [カシノナガキクイムシ用(透明)] 1台：13,200円
粘着シート「ITシート」〈サ〉	1箱10巻入り(1巻：10cm×15m)【黄色】：15,510円
アカヒゲ・アカスジカスミカメ用トラップ〈ア〉	粘着ネット(6枚)：5,445円、粘着ネット用フレーム(6本)：3,630円

(会社名 ア：アース製薬、サ：サンケイ化学、信：信越化学工業、住：住友化学)

上記調査資材の申し込み方法と注意事項について

- ◆電話、FAXでの申し込み受付は行っておりませんので、必ずJPPAオンラインストアからお申し込み下さい。
- ◆上記品目は防除には利用できません。防除に利用された場合は「農業取締法」違反となります。
- ◆品物はメーカーから直送いたしますが、到着までには1週間程度余裕を見て下さい。
- ◆商品の性質上、注文間違いによる返品は出来ませんのでご注意下さい。

◎申込先：JPPA オンラインストア：<https://jppaonlinestore.raku-uru.jp/>



新卒採用の募集について

－ 協会説明会 －

開催日 2023年4月14日（金）13時より（1時間程度）
開催方法 zoom（参加者には後日URLをお知らせします）
対象 応募予定または当協会の活動に興味のある学生

－ 募集要領 －

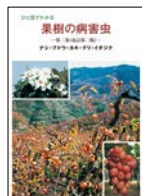
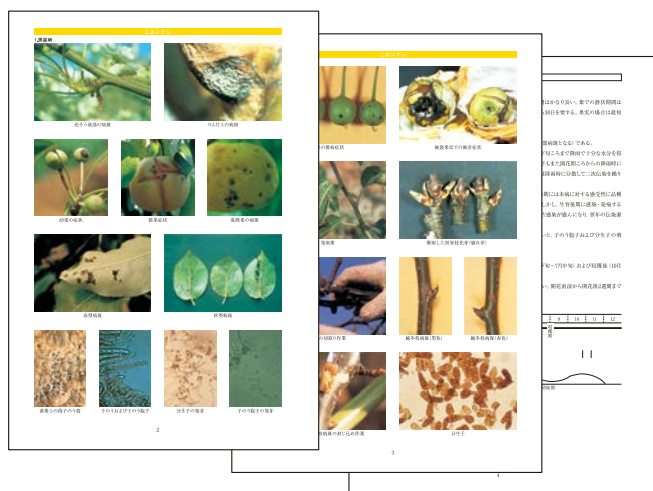
職種 農作物における病虫害防除試験・農薬残留試験技術者
勤務地 研究所・試験場 茨城・山梨 高知 宮崎 ※転勤あり
対象 2024年3月大学／大学院を卒業予定の方
採用人数 若干名
応募方法 エントリーシートに記入のうえ、成績証明書を添付し下記宛てに郵送してください。
〒114-0015 東京都北区中里2-28-10 一般社団法人日本植物防疫協会 総務部
電話番号 03-5980-2181 E-mail : saiy@jppa.or.jp
提出期限 2023年5月15日（月）

協会説明会 応募方法の詳細は協会HPをご覧ください
「採用情報」 <https://jppa.or.jp/recruite/newgrad>



ひと目でわかる 果樹の病虫害

果樹病虫害の診断に
必須の1冊！



第二巻(改訂第二版)
ナシ・ブドウ・カキなど
価格：9,020円(税込)



第一巻(改訂第二版)
ミカン・ビワ・キウイ
など
価格：6,600円(税込)



第三巻(改訂第二版)
リンゴ・モモ・ウメ
など
価格：8,580円(税込)

一般社団法人 日本植物防疫協会
ご注文はJPPAオンラインストアより
<https://jppaonlinestore.raku-uru.jp/>



学 会 だ よ り

○日本農芸化学会 2023 年度大会開催のお知らせ

日本農芸化学会 2023 年度大会は下記のとおり開催いたします。

開催日：2023 年度 3 月 14 日～17 日，

開催形式：オンライン（Zoom）

日程

3 月 14 日（火）

農芸化学奨励賞受賞者講演，大会シンポジウム，分野融合連携（他学会連携）シンポジウム，ジュニア農芸化学会，スポンサードセミナー，一般講演

3 月 15 日（水）

大会シンポジウム，産学官学術交流フォーラム，スポンサードセミナー，一般講演

3 月 16 日（木）

大会シンポジウム，女性研究者賞・女性企業研究者賞・若手女性研究者賞受賞講演，スポンサードセミナー，実行委員会企画シンポジウム，一般講演

3 月 17 日（金）

日本農芸化学会賞・功績賞・技術賞受賞者講演，一般講演

懇親会：今年度は中止

連絡先や詳細はホームページでご確認ください。

○第 32 回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウムのお知らせ

第 32 回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウムを下記のとおり開催いたします。

開催日：2023 年 3 月 30 日（木），

開催形式：オンライン（Zoom）

参加費：無料

10:00～ 開会

10:05～ 佐賀県におけるメタラキシル M 耐性タマネギべと病菌の現況と防除対策再構築に向けた取組み

古田明子（佐賀県農業試験研究センター）

10:45～ 岡山県におけるブドウ主要病害の薬剤耐性菌

広告掲載会社一覧 （掲載順）

日産化学(株) …… グレーシア
サンケイ化学(株) …… 主要品目
バイエルクロップサイエンス(株) …… ナティーボ
日本曹達(株) …… ミギワ
OAT アグリオ(株) …… サフオイル
日本曹達(株) …… ミギワ
BASF ジャパン(株) …… セフィーナ
エス・ディー・エスバイオテック(株)
…………… タラロマイセス
アース製薬(株) …… フェロモン EBC
日本農薬(株) …… AI 診断
クミアイ化学工業(株) …… ブーン

の発生とその防除対策

苧坂大樹（岡山県農林水産総合センター 農業研究所）

11:25～ 福岡県におけるナシ主要病害の薬剤耐性菌の発生とその防除対策

菊原賢次・坂井妙子（福岡県農林業総合試験場）

12:05～ 〈昼食休憩〉

13:05～ 研究会会計および幹事会活動報告

13:15～ 新規 SDHI 殺菌剤インピルフルキサムの特長と感受性試験

倉橋 真（住友化学株式会社）

13:55～ 殺菌剤トルプロカルブの二つの作用機構とイネいもち病菌の感受性推移

萩原寛之（三井化学アグロ株式会社）

14:35～ 農業用殺菌剤のブロック散布とその耐性菌対策

播本佳明（コルテバ・アグリサイエンス日本株式会社）

15:25 閉会

連絡先や詳細はホームページでご確認ください。

次号予告

次号 2023 年 4 月号の主な予定記事は次のとおりです。

2023 年度植物防疫事業・農業安全対策の進め方について

農林水産省 消費・安全局 植物防疫課，
農産安全管理課 農業対策室

令和 5 年度植物防疫研究課題の概要

農林水産省 農林水産技術会議事務局
研究開発官（基礎・基盤，環境）室

コナラ属クリ混林におけるクリシギゾウムシの寄主利用と生活史
檜垣守男

奈良県におけるキクベと病の発生状況および殺菌剤と高温・温湯
処理による防除効果 芳田侃大ら

ミカンバエのマイクロサテライトマーカーの開発とその利用 日本典秀ら

AI を活用した土壌病害診断技術の開発 吉田重信

ニホンナシ栽培支援システム「梨なびアプリ」の開発と利用 鶴岡康夫ら

茨城県におけるナシ病害虫防除例作の考え方 小河原孝司

新規殺菌剤プロチオコナゾールの特長 内田 聡

植物防疫

2023 年

3 月号

（毎月 1 回 1 日発行）

第 77 巻 2023 年 2 月 25 日印刷

第 3 号 2023 年 3 月 1 日発行
（通算 915 号）

編集発行人 早川 泰弘

印刷所 三美印刷（株）

東京都荒川区西日暮里 6-28-1

定価 1,100 円

本体 1,000 円＋税 10 %

—— 発 行 所 ——

〒114-0015 東京都北区中里 2 丁目 28 番 10 号

一般社団法人 日本植物防疫協会

電 話 (03) 5980-2181（代）

F A X (03) 5980-6753（支援事業部）

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

水稻健苗育成の強い味方

種子消毒に

タフブロック



馬鹿苗病・いもち病・
褐条病・苗立枯細菌病
・もみ枯細菌病

播種時の灌注処理に

タフエイド



・苗立枯病（リゾーブス菌、
ピシウム菌、トリコデルマ菌、
フザリウム菌）
・根の生育促進

- タラロマイセス菌を有効成分とする生物農薬です
- 特別栽培米の生産に最適です
- 温湯種子消毒との体系処理にも適しています

タフブロック、タフエイドは株式会社エス・ディー・エスバイオテックの登録商標です。

株式会社 **エス・ディー・エス バイオテック** <https://www.sdsbio.co.jp/>

農薬要覧 2022年

令和3 農薬年度

絶賛発売中

農薬要覧

— 2022 —

一般社団法人 日本植物防疫協会

A5判、価格：11,000円
税込、送料サービス

農薬の生産・出荷，輸出・輸入，流通・消費など
農薬に関する統計資料や，登録されている農薬名の
一覧，新農薬の解説，病虫害の発生面積・防除面積，
関係先名簿などをまとめた資料集です。

掲載内容

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

一般社団法人 日本植物防疫協会

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



斑点米の原因となる アカスジカスミカメの発生予測に

発生予測用フェロモン製剤
フェロモンEBC
アカスジカスミカメ用



フェロモン成分をパラフィンに加え混合、カプセルに充填し徐放性を保つことにより長期間フェロモンのリリースコントロールができます。



発生予測用
フェロモン製剤

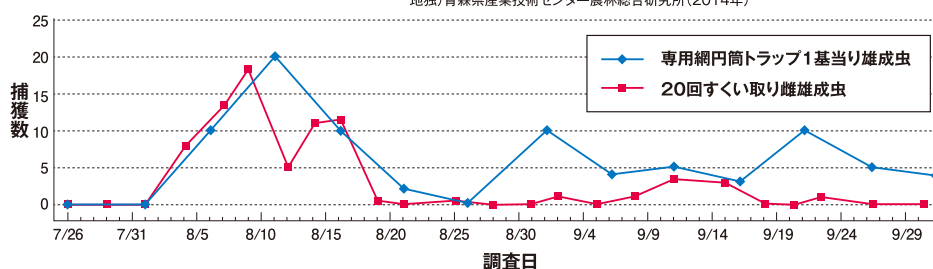
専用網円筒トラップ

フェロモンEBC 捕獲用粘着ネット
フェロモンEBC 捕獲粘着ネット用フレーム

耐水性があり、対象害虫以外は捕獲されにくい黒色粘着ネットを採用した専用網円筒トラップと組み合わせること、容易にアカスジカスミカメの調査が行えます。

捕獲効力データ

アカスジカスミカメの水田内における捕獲消長
地独) 青森県産業技術センター農林総合研究所 (2014年)



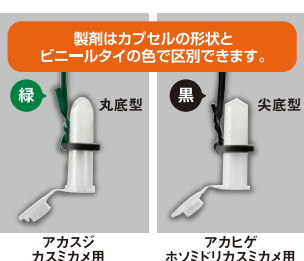
フェロモンEBCアカスジカスミカメ用製剤と専用網円筒トラップを組み合わせること、水田内におけるアカスジカスミカメ雄成虫の発生消長が明確に捉えられます。

仕 様

商品名	適用作物	内 容	有効期間	使用時期	使用量の目安
フェロモンEBC アカスジカスミカメ用	稲	誘引カプセル12個 ゴムバンド12個 ビニールタイ12本	野外で 約1~1.5カ月	出穂5~7日前から 黄化期まで	1個/10アール

商品名	内 容	使用期間
フェロモンEBC 捕獲用粘着ネット	捕獲用粘着ネット6枚 ビニールタイ18本	1.5~2カ月

商品名	内 容	サイズ
フェロモンEBC 捕獲粘着ネット用フレーム	フレーム6本	幅120mm 高さ580mm



アース製薬株式会社 AOY

〒101-0048 東京都千代田区神田司町2-12-1

お客様窓口 0120-81-6456

受付時間9:00~17:00(土、日、祝日を除く)

<http://www.earth-chem.co.jp>



病虫害雑草の プロを手の中に!

レイミーが
スマートに解決!



※画面は開発中のものです。



写真を撮るだけで
病虫害雑草診断
ができる



有効薬剤
がわかる!



診断履歴を
管理・分析
できる!



通信料を除く

無料!



スマートフォン用アプリ **レイミーの**

AI病虫害雑草診断

対応作物が増えました!!



無料

ダウンロードはこちら



利用時の通信料はお客様のご負担となります。

日本農業ホームページから
日本農業 検索



開発



日本農薬株式会社

NTT DATA

株式会社 NTTデータ CCS

参加



日産化学株式会社



日本曹達株式会社



三井化学アグロ株式会社



イスター・イステック



MBC 丸和バイオケミカル株式会社

■本アプリケーションで使用されているAI診断学習モデルは(株)NTTデータCCSと日本農薬(株)の共同開発です。

■本システムは農林水産省の農業界と経済界の連携による生産性向上モデル農業確立実証事業「防除支援システム研究会(H30~R1)」の成果を社会実装したものです。

■学習に用いたデータは、農林水産省委託事業「人工知能未来農業創造プロジェクト・AIを活用した病虫害診断技術の開発」および、「官民研究開発投資拡大プログラム(PRISM)」の成果である「病虫害被害画像データベース」を用いた。

