

植物防疫

Plant Protection

9

2023
VOL.77

特集：ネギ黒腐菌核病の防除体系構築に向けた
取り組み



一般社団法人 日本植物防疫協会

Japan Plant Protection Association

疫病、べと病などの卵菌類病害に
“よかったね、早めのランマン”

殺菌剤

ランマン®
フロアブル

®は登録商標

有効成分：シアゾファミド…9.4% (w/w)

特長 1

優れた予防効果・残効性・耐雨性

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

特長 2

病原菌の各生育ステージを低濃度で阻害

孢子発芽から孢子形成に至る各生育ステージを阻害し、安定した防除効果を示します。

特長 3

まん延防止効果（サニテーション効果）

予防効果主体の薬剤ですが、遊走子のう形成阻害作用に優れ、次世代の菌密度を
効率的に抑えるので、未感染葉や周辺株への病害進展を防ぎます。

特長 4

登録作物が多い

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



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



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

ISK 石原産業株式会社

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

サンケイ

園芸用殺虫剤

登録番号：第24054号

有効成分：

脂肪酸グリセリド…75.0%

スピノサド……………5.0%

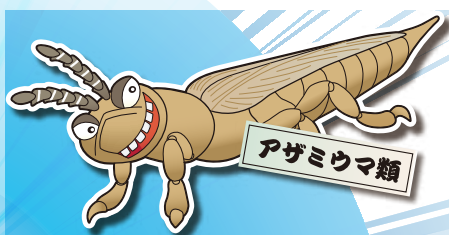
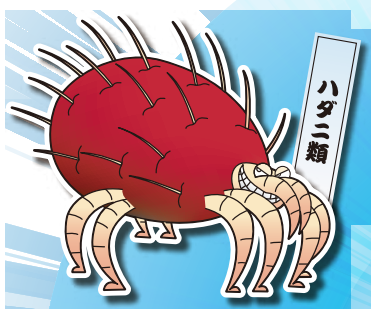
殺虫剤分類 一, 5

ダブルシューター™ SE

天然由来
2成分の

園芸作物の主要害虫に

ダブルのパワーで効く！



★トマト・ミニトマトの「トマトキバガ」に適用拡大

- 天然由来2成分(脂肪酸グリセリド+スピノサド)の相乗効果！
- 主要害虫の同時防除が可能！
- 薬剤感受性が低下した害虫にも高い効果！
- コナジラミ類の全ステージ(卵・幼虫・成虫)に優れた効果！

※ダブルシューターSEはネギハモグリバエのB系統にも高い効果を示します。

※登録作物：トマト・ミニトマト・なす・ピーマン・きゅうり・すいか・メロン・いちご・ねぎ・花き類・観葉植物

ダブルシューターSE紹介



サンケイ化学株式会社

本社：鹿児島県鹿児島市南栄2丁目9 TEL 099-268-7588

東京営業部：埼玉県深谷市幡羅町1丁目13-1 TEL 048-551-2122

<https://www.sankei-chem.com/>

TM コルテバ・アグリスাইエンス
ならびにその関連会社商標

センチュウ防除に これゝいいね、

殺線虫剤



ビーラム® 粒 剤

ビーラム“いいね”
キャンペーン実施中!



製品詳細はこちら



●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。

®ビーラムはバイエルグループの登録商標

バイエル クロップサイエンス株式会社

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

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

約 3%	篠原 弘亮	1
------------	-------	---

特集：ネギ黒腐菌核病の防除体系構築に向けた取り組み

ネギ黒腐菌核病の発生実態と防除対策	小河原 孝司	2
ピラジフルミド水和剤のセルトレイ灌注処理および生育期散布後の薬剤濃度推移と 防除適期の推定	井上 浩・竹元 剛・佐古 勇	6
千葉県の秋冬ネギにおけるネギ黒腐菌核病対策	中田菜々子・鐘ヶ江良彦	15
ネギ黒腐菌核病のヘソディム (Health Checkup Based Soil-borne Disease Management : HeSoDiM)	伊代住 浩幸	20

総 説

植物の匂いを利用した減農薬栽培技術の開発	有村 源一郎	26
----------------------------	--------	----

研究報告

静岡県における土着系統のタバコカスミカメによる施設大玉トマトのタバココナジラミ 防除体系の構築	齊藤千温・土井 誠・中野亮平	30
炭酸カルシウム水和剤中の添加剤によるリンゴ害虫モモシンクイガの産卵抑制効果	風間春奈・吉永直子・石栗陽一	36
和歌山県における露地栽培ショウガの根茎腐敗病の防除対策	菱池 政志	41
CAPS マーカーによるクビアカツヤカミキリと他種カミキリムシの識別	春山直人・栗原 隆	45

トピックス

モモヒメヨコバイの発生と現状	三代 浩二	50
----------------------	-------	----

植物防疫講座

病害編 (物理的・耕種的防除編)-1 水稻病害における物理的防除	藤 晋一	53
--	------	----

研究室紹介

三重県農業研究所 紀南果樹研究室	鈴木 孝明	57
------------------------	-------	----

農林水産省プレスリリース (2023.7.1～2023.7.31)		40
---	--	----

登録が失効した農薬 (2023.7.1～2023.7.31)		14
--------------------------------------	--	----

発生予察情報・特殊報 (2023.7.1～2023.7.31)		25
---------------------------------------	--	----

【表紙写真】

上段：ネギ黒腐菌核病の発生した圃場の被害

下段：掘取り時の被害株 (左)、葉鞘表面菌核 (右)



農林水産省登録
第22801号

殺ダニ・殺虫剤

サフオイル[®]乳剤

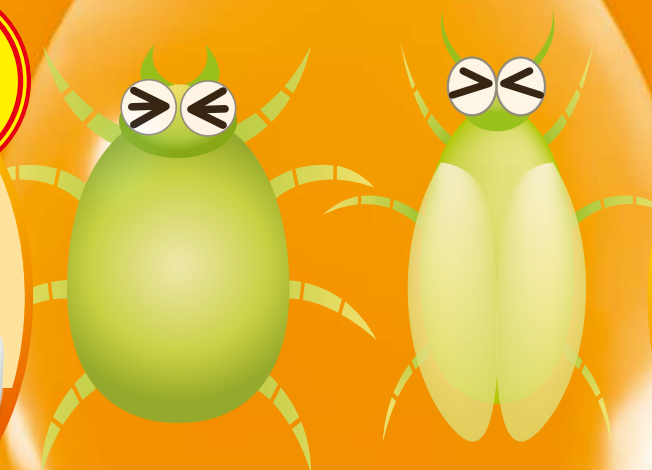
Suffoil

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

約 3 %

東京農業大学 ^{しの}篠 ^{はら}原 ^{ひろ}弘 ^{すけ}亮



昨年の9月から全国の植物防疫にかかわる皆さんの間で話題になっていることと言えば、主人公で帝央大学の植物病理学者である叶木先生が大活躍するマンガです。週刊スピリッツ（小学館）で現在も月1回の連載中の『植物病理学は明日の君を願う』です。作者は『辺獄のシェヴェスタ』などを描かれている竹良実さんです。監修は東京大学の晁間敬先生です。私は一読者として毎月楽しみに読ませてもらっています。今年3月末には待望の第一巻が発刊されました。その巻末には漫画制作協力として5名の方のお名前も載っています。みなさん植物防疫に携わっておられる県職員の方々です。マンガなので堅くない、一方で学術的に逸脱しない物語となっています。これは竹良さんが相当に植物病理学に関する知識を得ることに努められたことはもちろん、さらに晁間先生の監修と協力された強力な五人組のみなさんのご助力も大きいと推察します。そのため、反響も大きく、令和5年度日本植物病理学会大会では、特別一般公開企画「植物病理学がマンガになった！」が開催（オンライン、運営：東京農業大学）され、アクセス数は329でした。さらに、日本農業新聞（4/7付け、第21426号）でも1面（植物病理学かっこいい！！）と12面（「植物のお医者さん」なぜ漫画に？）の計2面で大きく取り上げられました。関係者の方からのお話ですが、知り合いの中学生のお子さんが第一巻を読んで「私、植物病理学者になる！」との将来が楽しみな感想も聞いています。私は連載前であった昨年の夏にこのマンガが始まることを知りました。当時、この話を私が所属している研究室の大学院生や学部生に話したところ、彼らはかなりの興味を示し興奮気味だったことを思い出します。その結果として、昨年10月末の本学の学園祭（収穫祭）の研究室展示では、『植物病理学は明日の君を願う』コーナーを設けました。マンガに出てくる病害を来場者に解説するもので、反応はとてもよかったです。実は、マンガを応援する目的でしたが、図々しく無理なお願いをして、収穫祭前日に竹良さんにお越しいただき、彼らの展示を見てもらいました。本当にお越しいただき、展示をご覧いただけたことで研究室の学生達の大騒ぎぶりは凄かったです。この反応からマンガの力を確信しました。内容がわからない連載前からタイトルを聞いただけで、一般の人たちに興味を持ってもらえるきっかけになると想像し

て、この力を借りたいと考えていました。叶木先生に病害だけでなく、大学も助けていただきたい。ひいては未来の日本の農業を守ることに繋がります。

皆さんご存じの通りのことで、ここに書かせていただくのは恐縮ですが、2022年の出生数は77万747人（厚生労働省 人口動態統計）となっています。2023年の新成人（18歳）は112万人（総務省 推計）と報道されていました。現状、大学の入学定員は60万人強です。大学進学希望者と大学入学定員との差はほぼない時代に突入しています。以前の報道でも2024年にリアル全入時代到来との見出しもありました。その先には、全国で800を超える大学の入学定員が志願者を上回ることも起こり得ます。大学もふつうに淘汰される時代の到来との報道も目にする機会がさらに多くなったように感じます。そして、大学の農学系学部の定員と志願者は、それぞれ約3%で近年は推移しています。約3%、特に志願者は他の〇〇学系と比べたいくつかの調査で、最低またはそれに近い割合です。さらに、この約3%の中で植物病理学を専修として学ぶ学生は貴重であり、少子化の中で将来の植物防疫を担う人材の育成、確保は切実です。私も教員になってからは受験生確保を目的の一つとして、高校などで出張講義をすることも少なくないです（教育、研究と同様に入試関連業務は一つの柱です。ほかに柱が四つ、五つ…）。出張講義などで植物病理学を身近に親しみやすく伝えるのに、このマンガはとても助かっています。高校生の反応もよいです。講義先の高校の廊下で、「大学進学を目指す生徒さんへ」で始まり、「大学卒業後は国税専門官に」とのポスターを見たことがあります。高校生が目指したくなる未来の選択肢を伝えて、農学系、その中でも植物病理学、応用動物昆虫学、雑草学、農薬学など植物保護、さらには例えば植物防疫官を志してもらおう。「植物病理学は植物病から農作物を、そして人類を守るヒーローです！」と語ってくれた竹良さんが描く『植物病理学は明日の君を願う』で叶木先生は、多くの人たちに植物病理学の面白さ、大切さを伝えてくれるインフルエンサーですね。私も未来に貢献できるように努めます。最後まで読んでいただき、ありがとうございました。

（「植物防疫」編集委員）

特集

ネギ黒腐菌核病の防除体系構築に向けた取り組み ネギ黒腐菌核病の発生実態と防除対策

茨城県農業総合センター園芸研究所 小 河 原 孝 司

はじめに

日本国内におけるネギ黒腐菌核病（病原菌：*Sclerotium cepivorum* Berkeley）の発生は、昭和32年に栃木県で初確認され、時をほぼ同じくして千葉県や埼玉県で発生を認め、その後、関東地方にまん延したと報告されている（若井田，1965）。同文献によれば、当時は地床育苗時に多発生し、5月ごろ、本圃に定植するための苗が不足して、苗数確保のためには苗床面積を数倍に増やす必要があったとされている。このことから若井田（1965）は苗床における防除法の検討を行い、播種前の土壌くん蒸剤処理と播種後の化学農薬の土壌灌注処理による「ダブル消毒」が有効であると報告している。その後、ネギの栽培方法は変化し、近年のネギ栽培では、セルトレイやチェーンポット等によるハウス内育苗が多くなり、苗床で黒腐菌核病が問題となることは少なくなった。

しかし、その一方で、近年、本圃における本病の発生が急速に拡大し、一度多発生した圃場では、防除が困難となるため、効果的な防除法の確立が求められてきた。

本稿では、近年のネギ黒腐菌核病の発生実態とこれまでに当県を含む全国の試験研究機関や民間企業が取り組んできた各種防除対策の結果についてまとめた。

I ネギ黒腐菌核病の発生実態

1 茨城県での発生状況

茨城県では、夏ネギ（7～8月収穫）と秋冬ネギ（主として年内の10～12月収穫）を中心に栽培されてきたが、近年は、マルチ、トンネル、べたがけ資材などの保温資材を用いて栽培する初夏ネギ（4～6月収穫、農林水産統計上は春ネギに分類）が増加している（図-1、図-2）。黒腐菌核病は、春ネギ（1～3月収穫）や近年栽培面積が増加している初夏ネギで多発生し問題となっている。一方、平均気温が上昇し始める2月中下旬以降に定植する夏ネギや秋冬ネギでの発生は少なく、大きな被害は認められていない。

2 国内での発生状況

本病は、関東地方の茨城県、千葉県、埼玉県、群馬県、東海地方の静岡県や中国地方の鳥取県などの根深ネギ産

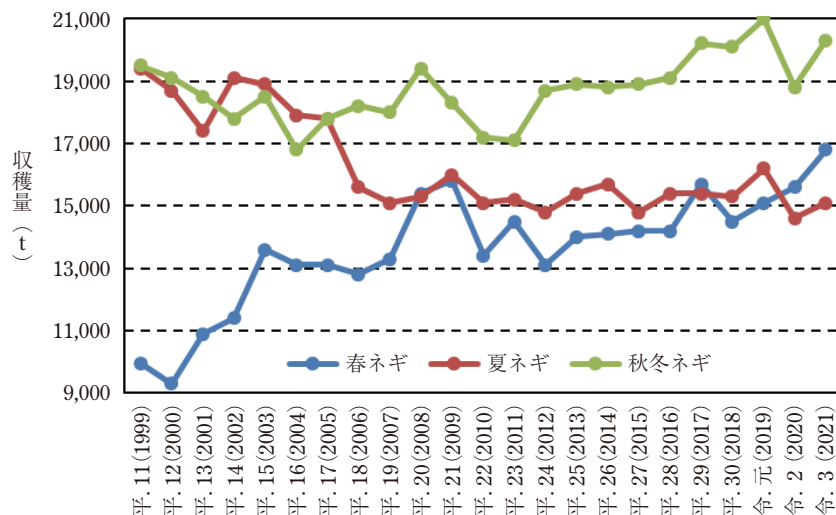


図-1 茨城県における根深ネギの作型別収獲量の推移
（農林水産省野菜生産出荷統計を集計）

Occurrence and Integrated Control of White Rot Disease in Welsh Onion. By Takashi OGAWARA
（キーワード：ネギ，黒腐菌核病，発生実態，防除法）

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	保温装備
春～初夏ネギ						収穫				播種		定植	トンネル + マルチ被覆
夏ネギ	定植						収穫				播種		トンネル被覆
夏秋ネギ		播種		定植						収穫		収穫	—
秋冬ネギ				播種		定植						収穫	—

※このほかに4月下旬播種、翌年1～3月収穫の作型（農林水産統計上は秋冬ネギに分類）などがある。

図-2 茨城県における代表的なネギの作型

地で発生し、近年では東北地方の秋田県でも初めて発生が確認された（秋田県病害虫防除所，2023）。

静岡県では、秋冬ネギ（主として年明け収穫）、春ネギ（3～4月収穫）、初夏ネギ（5～7月初め収穫）の栽培が主に行われており、いずれの作型でも黒腐菌核病が発生するが、春ネギでの被害が最も多く、次いで初夏ネギと年明け収穫の秋冬ネギで多く、年内どりの秋冬ネギがこれに次ぐ被害であった（伊代住浩幸，私信）。また、鳥取県では、春ネギ（3～5月収穫）、夏ネギ（5月下旬～9月収穫）、秋冬ネギ（10～2月収穫）の栽培が主に行われており、春ネギでの発病が最も多く、次いで秋冬ネギ（12～2月収穫）、夏ネギ（5月下旬～6月収穫）の栽培で被害が問題になっている（井上浩，私信）。新たに発生が確認された秋田県においても初夏ネギでの発生であった。

このように黒腐菌核病は、厳寒期に栽培する作型で発生しやすく、特に低温に遭遇する期間が長ければ長いほど被害が多くなる傾向が見られる。

3 他作物での黒腐菌核病の発生状況

茨城県においてネギ以外で黒腐菌核病の被害が問題となる作物としてはニラがあり、分げつ数の減少、株の枯死により、著しく収量が低下して問題となっている。ニラ栽培は、6月下旬に定植し、12月頃にビニルを被覆して翌年の1月から収穫を行うハウス栽培と、休眠覚醒後の翌年4月頃から収穫を行う露地栽培があり、どちらも1作2～3年と作付期間が長いことが特徴であり、ネギの防除対策に比べて、発病を長期間抑制するための手法が必要となる。防除法を確立するためには、ニラでの病原菌の増殖時期や植物体への感染時期を解明し、防除適期を明らかにする必要があるが、現在、その研究に取り組んでいる（秋元・小河原，2022）。

全国的には、ニラ以外にニンニク、タマネギ、ラッキョウ（エシヤレット含む）などで黒腐菌核病が発生している。ニンニク黒腐菌核病については過去に青森県で発

生し、桑田ら（1984）が病原菌の性状、発生生態、防除法等について詳細に報告している。また、タマネギ黒腐菌核病については、愛知県（加藤，2010）、大阪府（大阪府環境農林水産部農政室，2021）で発生の報告がある。

II 防 除 対 策

ネギ黒腐菌核病の防除において、若井田（1965）は土壌くん蒸剤処理と化学農薬の土壌灌注処理による「ダブル消毒」が有効としているが、その試験で使用された農薬は、筆者が研究を開始した時点において登録が失効していた。そのため、その代替技術として、耕種的、物理的、生物的、化学的防除法について検討を行い、有効性が認められた技術を組合せた総合的な防除方法の構築に取り組んだ。

1 耕種的防除法

（1）輪作作物の導入

本病の汚染圃場において、輪作作物の導入による発病抑制効果について検討したところ、緑肥用カラシナやソルゴーの抑制効果が高かった（小河原ら，2013）。しかし、多発生後の効果は劣るため、未発生の段階から定期的に、または、本病の発生が少ないうちに輪作を行うことで発生を予防することが可能と思われた。

（2）厳寒期定植の回避

本病は低温性病害であり、12～2月の厳寒期の定植が発病を助長し、それより定植時期を遅らせることで発病を大幅に抑制できることが明らかになり（富田ら，2008）、多発生圃場では有効な防除法と考えられた。

（3）本病に強い品種の検討

筆者は市販されている複数のネギ品種について、所内汚染圃場を用い、本病に対する発病差異を検討した。しかし、供試した品種間における発病程度に差は認められず（小河原ら，2013）、現時点では本病に強い品種は見いだせていない。

2 物理的防除法

富田ら（2008）は、現地の発病圃場で畑かん用水を利用して夏季に土壤還元消毒を行ったところ、土壤くん蒸剤と同等の効果が認められた。土壤還元消毒は大量の水が必要となるため、灌水設備がない圃場での実施は困難であるが、井戸水やかんがい施設等が整備されている圃場では、有効な防除法と考えられる。

3 生物的防除法

ネギ黒腐菌核病に対し、糸状菌 *Coniothyrium minitans* を有効成分とする製剤が生物農薬として国内では唯一、農薬登録されている。薬剤処理は、所定量の水に製剤を希釈した後、圃場に全面散布し、土壤を均一に混和する容易な方法である。

有効成分の糸状菌が本病原菌の菌核を不活化させて密度を低下させる効果があり、連続施用することでより効果が高まる。なお、多発生条件下では防除効果を高めるために他剤と組合せて使用する。

4 化学的防除法

（1）定植前の土壤くん蒸剤による防除

黒腐菌核病に関する試験を開始した 2008 年当時は、土壤くん蒸剤のメチルイソチオシアネート・D-D 油剤のみが本病に対する唯一の化学農薬であった。そこで、生産者の選択の幅が広がるよう、剤型の異なるダゾメット粉粒剤とカーバムナトリウム塩液剤の防除効果について検討し、両剤とも実用的な防除効果が得られることを確認し、その後、農薬登録された。

現地の発病圃場で土壤くん蒸剤による防除効果試験を

実施したところ、少発生条件では効果が高かったが、多発生圃場では効果の劣る事例が認められた。その原因を探るため、多発生圃場における土壤を表層から深さ 40 cm まで 10 cm ごとに採取し、生物検定法により菌の存在を確認したところ、深さ 40 cm まで菌が存在し、薬剤の到達しない土壤深層部の防除効果が劣ると考えられた（小河原ら、2013）。ネギ栽培では土寄せ作業により表層から深層部までの土壤が混和され、病原菌が拡散されてしまうことから、薬剤防除は発生が少ないうちに実施することが重要である。

（2）生育期における薬剤防除

土壤くん蒸はビニル被覆の手間を要するため、生育期処理で効果を発揮する薬剤や、発生の多い圃場で土壤くん蒸剤をさらに補完する生育期処理剤の登録が求められていた。農薬メーカーや全国の試験研究機関の積極的な取り組みにより薬剤の効果が明らかとなり、徐々に登録薬剤が増え、現在では表-1 に示す多くの散布剤が農薬登録されている。現地では本病に対して SDHI 剤への依存度が高い傾向にあり、今後、耐性菌による効果低下が懸念されることから、作用機作の異なる薬剤でのローテーション防除を呼びかける必要がある。

5 ネギ黒腐菌核病の総合的な防除対策

本県ではこれまでに述べた試験結果や過去の知見をもとに、ネギ黒腐菌核病の総合的な防除法を構築（表-2）し、普及に努めてきた。さらに、農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「次世代型土壤病害診断・対策支援技術の開発」（2013～16 年度）に参画し、ヘソディム

表-1 ネギ黒腐菌核病に登録のある主な化学農薬

FRAC コード	有効成分名	商品名	使用方法等
(8F, 8A)*	メチルイソチオシアネート・D-D	ディ・トラベックス油剤	土壤くん蒸
(8F)*	カーバムナトリウム塩	キルパー	
	ダゾメット	バスアミド微粒剤, ガスタード微粒剤	
2	プロシミドン	スミレックス水和剤	株元散布
3	シメコナゾール	モンガリット粒剤	株元散布
7	ベンチオピラド	アフエットフロアブル	株元灌注
	インビルフルキサム	カナメフロアブル, ミリオネアフロアブル	株元散布
	イソフエタミド	ケンジャフロアブル	散布
	ピラジフルミド	パレード 20 フロアブル	セル成型育苗トレイまたは ペーパーポット灌注
11	ピコキシストロビン	メジャーフロアブル	散布
12	フルジオキシニル	セイビアーフロアブル 20	散布

* FRAC コードの記載なし。（ ）内は IRAC コードを示す。

表-2 ネギ黒腐菌核病の総合的な防除方法

防除対策	土壌条件の改善	伝染源の除去	輪作	土壌消毒	生育期処理薬剤による防除	厳寒期定植の回避	作物転換
実施方法	・暗渠・明渠、耕盤破碎等により圃場の排水性を改善する ・極端な酸性土壌とならないよう、土壌の化学性を改善する	・発病株の抜き取りや被害残渣の処分を徹底する	・ネギの連作を避け、他作物と輪作する ・圃場が空く場合はできる限り緑肥作物等を栽培する	・土壌くん蒸剤による土壌消毒を行う ・土壌消毒の効果を高めるため、くん蒸剤処理後は必ず土壌表面をビニル等で被覆する	・厳寒期定植では定植時に薬剤散布を行うとともに、トンネル除去時に追加散布を行う	・12～2月の厳寒期の定植を避ける	・長期間、ネギ属以外の作物に転換する
発生状況	少発生（散見）	○	○	（○）主に発生地点	（○）	（○）	－
	中発生（10%）			○主に発生地点	○	（○）	－
	多発生（30%）			○圃場全面	○	○	（○）

○は実施することを示す。（○）は必須ではないが、実施することにより効果が高まることを示す。

の概念に基づき、発病リスクに応じた対策に発展させた（農業環境技術研究所，2016）。

おわりに

ネギ黒腐菌核病は多発生すると単一の防除法で被害を回避することは困難であり、筆者は発生が少ないうちに総合的な防除対策を行うことが重要であることを生産者に周知してきた。近年、農薬登録されたSDHI剤の中には防除効果が極めて高く、多発生条件を除けば、生育期の1回処理で収穫まで十分な防除効果を示す剤も出てきている。本剤は生産現場で広く普及し、ネギ生産者に安心感が広がっている。しかし、繰り返しになるが、同一作用機作の剤の連続使用によって耐性菌が出現し、効果が低下した場合には、再び以前の難防除病害に逆戻りする

る恐れがある。これまでの苦い経験を繰り返さないためにも、土作りや輪作など耕種的な防除対策を大切に、同一薬剤、同一作用機作の化学農薬に依存しないネギ生産が重要と考える。

引用文献

- 1) 秋元拓己・小河原孝司（2022）：植物防疫 76：137～141.
- 2) 秋田県病害虫防除所（2023）：<https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/5741>
- 3) 加藤晋朗（2010）：愛知農総試研報 42：37～43.
- 4) 桑田博隆ら（1984）：青森農試研報 28：18～63.
- 5) 農業環境技術研究所（2016）：土壌消毒剤低減のためのヘソデイムマニュアル：41～60.
- 6) 小河原孝司ら（2013）：茨城農総七園研報 20：27～34.
- 7) 大阪府環境農林水産部農政室（2021）：http://www.jppn.ne.jp/osaka/R3rd/tokushu/kurogusare_kinkaku.pdf
- 8) 富田恭範ら（2008）：日植病報 73：280～281.
- 9) 若井田正義（1965）：植物防疫 19：315～318.

特

集

ネギ黒腐菌核病の防除体系構築に向けた取り組み

ピラジフルミド水和剤のセルトレイ灌注処理
および生育期散布後の薬剤濃度推移と防除適期の推定

鳥取県園芸試験場弓浜砂丘地分場 **井 上 浩**
いの うえ ひろし
 日本農薬株式会社 **竹元 剛・佐古 勇**
たけもと つよし さこ いさむ

はじめに

近年、根深ネギ栽培産地では黒腐菌核病の発生が増え、収量・品質の低下が懸念されている。本病害は病原菌が土壤中で数年間生存することから防除が難しく、総合的な対策が必要であるとされている（小河原ら，2013；斉藤ら，2019）。鳥取県内における本病の初発生は，2010年4月，県西部の米子市・境港市に位置する弓浜半島の春どり作型において確認された。その後2年間は地域での発生は緩慢であったが，2013年に発生圃場が散見されるようになり，2014年には被害面積が急拡大した。県内では春どり・夏どり・秋冬どり作型が普及し周年栽培が行われているなかで，黒腐菌核病の被害は春どり作型で最も被害が大きく，次いで秋冬どり，夏どりの順に多く見られている。春どり作型は，高温期に植付け後，感染するまでの期間は長い，秋期の気温低下から収穫期まで発病適温が続くため，ネギは著しい生育不良となり，茎盤部付近の葉鞘部の発病および根部の腐敗消失をともない収穫皆無となることが多い。

そこで本県では，2015年から春どり作型において本病の防除試験を開始し，耕種的・物理的防除のほかに，登録薬剤の拡大と薬剤の効果的な使用方法について緊急に取り組み，薬剤防除方法を確立したので，その概要を報告する。なお本研究の一部は，農研機構生研支援センター「イノベーション創出強化対策推進事業（29020C）」2017～19年の支援を受け実施した。

I ネギ黒腐菌核病菌の圃場での感染動態の解明

1 初期感染時期と発病株の生育抑制

鳥取県米子市のネギ黒腐菌核病が常発する現地砂畑圃場において，8月上旬に植付けする春どり作型で本病の初期感染時期を調査した。10月から約10日間隔で無処理区の下葉が枯死した5～6株を抜き取り，感染を確認するまで継続した。感染確認は採取個体を水洗後，15℃の定温庫内に湿室状態で2～3週間暗黒で静置し，茎盤部に近い葉鞘から生育する白色菌糸が認められた場合，黒腐菌核病の感染株と判定した。

2016～21年までに試験栽培した6作における初期感染時期は，2020年は10月中旬，2018年は10月下旬，2016年，2019年，2021年は11月上旬，2017年は最も遅く12月上旬であった（表-1）。植付け後から感染始めまで2か月以上あり，また初期感染時期の年次変動は大きかった。生育不良の発病株は，2018年は11月上旬，2016年・2020年は11月中旬，2019年・2021年は12月上旬，2017年は12月下旬に圃場で観察され，早晚はあるものの初期感染時期から1か月以内に生育差として発現した。

なお，生育不良の発病株を抜き取ると，茎盤部近くの葉鞘に菌核着生，根部の一部に褐変腐敗が見られた。その後さらに生育不良が進み，隣接株にも症状が見られるようになった。生育不良の発病株は，根部の腐敗・消失，葉鞘の黒変症状が急激に進展し黒色菌核を多数形成していた（図-1，2，3，4）。

2 初期感染時期と地温の推移

2018～22年までに試験を行った4作において，サーモレコーダー（TR-71 wf，T&D Co.）のセンサーをネギ茎盤部近傍に埋め込んで1時間間隔で地温を測定した（図-5）。

2020年植付けの試験では初期感染時期が最も早かった。9月下旬に土寄せを行い培土量が増加したことで以

Decreasing Concentrations of Pyraziflumide of the Optimum Timing for Control. By Hiroshi INOUE, Tsuyoshi TAKEMOTO and Isamu SAKO

（キーワード：根深ネギ，黒腐菌核病，ピラジフルミド水和剤，薬剤濃度推移，防除適期）

表-1 春どり作型における黒腐菌核病の年次別初期感染・生育抑制時期

年次	10 月			11 月			12 月		
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
2016 年				○	□				
2017 年							○		□
2018 年			○	□					
2019 年				○			□		
2020 年		○			□				
2021 年				○			□		

○は初発生確認時期，□は発病株と健全株の生育差が明瞭となった時期を示す。
各年次とも植付けは8月上旬に実施した。



図-1 圃場の被害



図-3 茎盤付近葉鞘部被害



図-2 掘取り時の被害株

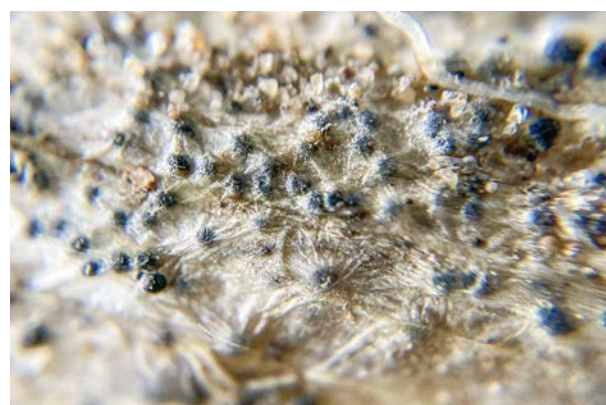


図-4 葉鞘表面菌核

降の地温の変動は小さくなり、地温は25℃以下で推移した。10月上旬から20℃前後で推移し、地温が20℃以下になった10月中旬に感染が確認された。2018年開始の試験では、9月中旬までは地温25℃以上の時間が長かったが、9月下旬からおおむね25℃以下で推移した。10月中旬から培土量が増加したことで地温の変動は小さくなり、おおむね20℃以下で推移し、10月下旬に感染確認された。2019年開始の試験では、地温25℃以下で安

定したのは10月上旬からと遅く、10月中旬から培土が進みおおむね20℃以下で推移し、11月上旬に感染確認された。2021年開始の試験では、10月中旬から培土が進み25℃以下で推移した。10月中旬から20℃以下で推

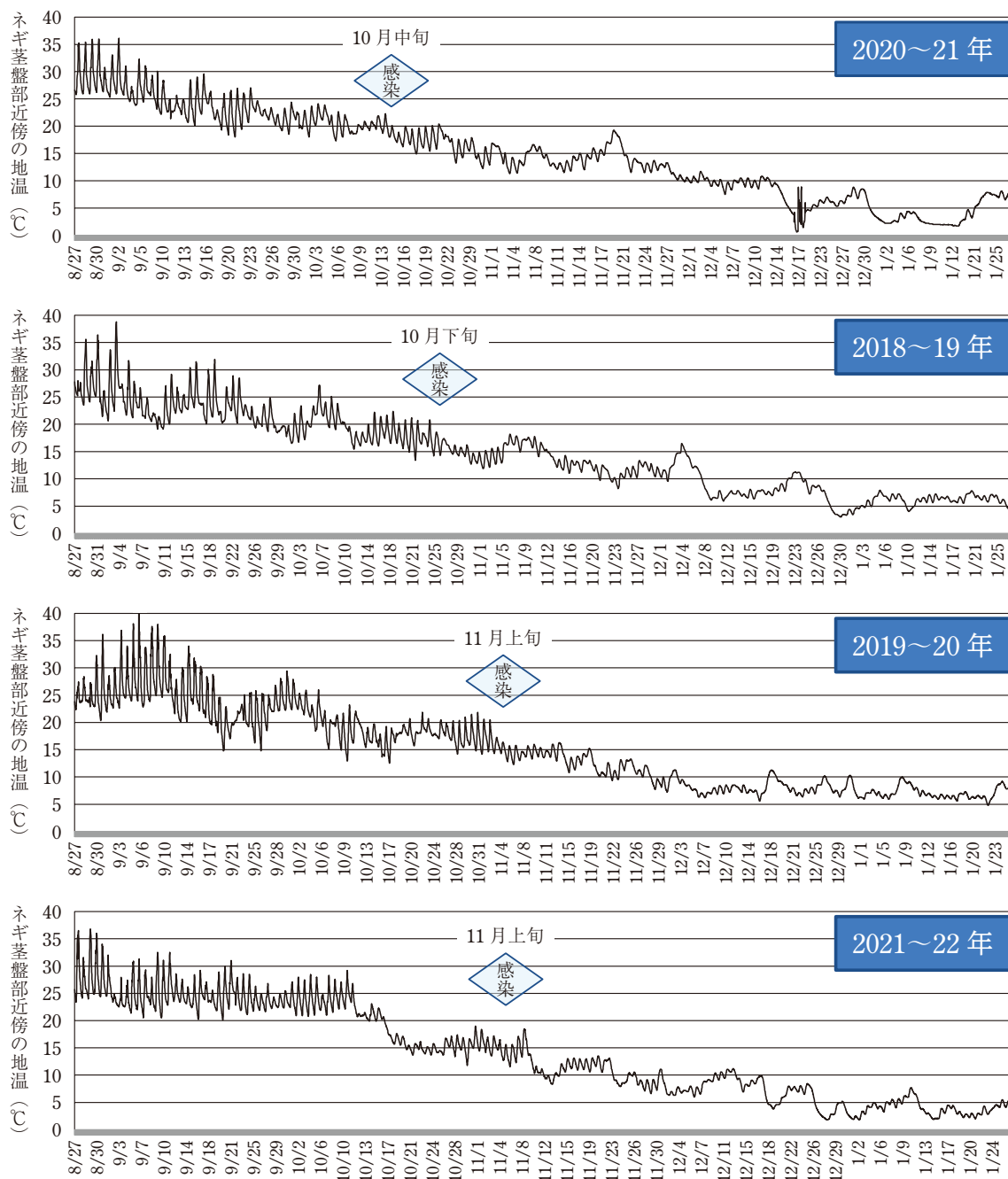


図-5 地温の推移と感染時期（4か年）

移し、11月上旬に感染確認された。その際の地温は15℃以下に低下していた。

以上の結果から、地温は土寄せの影響を受けるが、地温が25℃以下で安定する時期が早いと初期感染時期が早くなる傾向が見られ、感染は地温15～20℃で起こることが確認できた。黒腐菌核病菌核の土壤中の発芽の最適温度は18℃あるいは20℃（ADAMS and PAPAIVAS, 1971；CROWE and HALL, 1980）、菌糸の生育最適温度は20℃（若井田, 1968）とされている。また、ネギの栽培圃場で黒腐菌核病は、20℃付近で緩やかに発病を開始

し、14℃～17℃で激しく進展すると考えられている（池田・酒井, 2020）。本試験もこれらの報告とはほぼ同様の結果であった。

II ピラジフルミド水和剤（商品名：パレード®20フロアブル）の生育期散布の防除効果と散布適期

1 防除薬剤の選定

各年次の薬剤による防除試験は、ネギ植付け前に被害株をすき込んで土壤汚染程度を高くし、土壌くん蒸剤等の土壤消毒を行わない条件とし、8月上旬から9月上旬

に植付け、3月に収穫する春どり作型で実施した。2015～19年にかけて行った薬剤効果比較試験では（データ省略）、供試したコハク酸脱水素酵素阻害剤（SDHI 剤）のペンチオピラド水和剤、ピラジフルミド水和剤、イソフエタミド水和剤、インピルフルキサム水和剤のほか、フェニルピロール剤（PP 剤）のフルジオキソニル水和剤、脱メチル化酵素阻害剤（DMI 剤）のシメコナゾール粒剤、ユビキノール酸化酵素阻害剤（QoI 剤）のアゾキシストロビン+フェニルアミド剤（PA 剤）のメタラキシル M 粒剤の合計7薬剤のうち、SDHI 剤4種の効果が高かった。なかでもピラジフルミド水和剤の散布は、他の水和剤の株元灌注、株元散布、散布に比べて安定した防除効果を示した（井上ら、2022）。また、土壤消毒や薬剤株元灌注処理などに比べ、作業労力、経費、水量の削減が可能な防除方法と考えられた。

2 ピラジフルミド水和剤を散布した場合の植物体中の薬剤濃度の推移

本試験は前年に発病の見られなかった圃場区画（2 m × 20 m）を使用し、ピラジフルミド水和剤 2,000 倍液を 2018 年 10 月 19 日、300 l/10 a の割合でネギに散布した。散布には肩掛け式噴霧器、キリナシノズルを用い、薬液には展着剤のソルビタン脂肪酸エステル、ポリオキシエチレン樹脂酸エステル 1,000 倍を加用した。その際、ネギの茎盤部位置は地表下約 9 cm にあった。試験規模は 1 区 2 m²、4 連制とし、サンプリングは散布日を最初として、およそ 2 週間間隔で 2 か月間、さらに散布 103 日後に各区 10 株を採取し、茎盤部を含む長さ 3 cm の葉鞘に調製し、ピラジフルミド濃度を分析した。分析値は 4 連制の平均値 ± 標準偏差で表記した。

茎盤部付近のピラジフルミド濃度は処理 13 日後には 0.024 ppm に達し、ピラジフルミドの菌糸伸長阻害濃度（MIC）（日本農薬株式会社 編、2021）の 0.01 ppm 以上

であった（図-6）。薬液の十分量を茎葉に散布した後、ネギ株元へ流下した薬剤成分が茎盤部に到達するための降雨の影響は、鳥取県地方気象台米子観測所のアメダスデータの降雨量を引用した結果、散布時から処理 13 日後までに降雨のあった日数は 7 日、降水量計 27 mm であったことから、薬剤成分の大雨による流亡、過乾燥による停滞の影響はなかった。処理 54 日後に 0.188 ppm のピークとなり、処理 103 日後には 0.112 ppm まで低下した。散布後 3 か月以上の間、黒腐菌核病の菌糸伸長抑制効果が期待できる濃度を保持していた。

3 ピラジフルミド水和剤の散布時期を変えた防除試験

2018 年 8 月 8 日にネギ（‘龍ひかり 1 号’（横浜植木）、264 穴チェーンポット苗）を植付けし、散布方法は上述の薬剤濃度推移試験と同様とし、ピラジフルミド水和剤の散布時期を変えて防除効果を比較した。発病調査は 2019 年 1 月 30 日に各区中央 20 株を抜き取り行った。発病調査は発病程度を 0：健全，1：葉鞘に菌糸，菌核の着生を認める，2：葉鞘に菌糸，菌核が多く着生し，根部・茎盤部が褐変，3：根部は腐敗・消失し，葉鞘の軟化腐敗または枯死，の判別で行った。発病度は（Σ（程度別発病株数 × 程度別指数）/（調査株数 × 3））× 100，防除価は発病度の 3 区平均値から算出した。なお、発病程度 1 以下を出荷可能株として可販株率を算出し、平均値の多重比較には Ryan 法を用いた。

無処理区における感染は 10 月下旬に確認され、11 月上旬には発病株で地上部の生育差が認められるようになり、翌年 1 月 30 日の調査時には甚発生となった。このような条件下で、9 月 21 日に 1 回散布した区は、防除価 92.1 であったのに対し、10 月 19 日に 1 回散布した区は、防除価 70.4 と防除効果がやや低かった。可販株率からも 9 月散布と 10 月散布に有意差が認められた。感染の 1 か月前の散布で高い効果が得られた。なお、ピラジフルミド水和剤の 2 回散布は、対照のペンチオピラド水和剤の株元灌注 2 回処理に比べ防除効果は高かった（表-2）。

4 最も効果的な散布時期の推定

上述の春どり作型において、2016 年からの 6 作を比較すると、本病の初期感染時期で最も早かったのは 2020 年の 10 月中旬、最も遅かったのは 2017 年の 12 月上旬であった（表-1）。

病原菌が活動する地温 20℃ 以下になるのは 10 月以降であり、年次変動はあるものの地温と感染の関係から、植付け後早ければ 10 月中下旬には感染が起ると推察された。ピラジフルミドのネギ茎盤部付近の濃度推移か

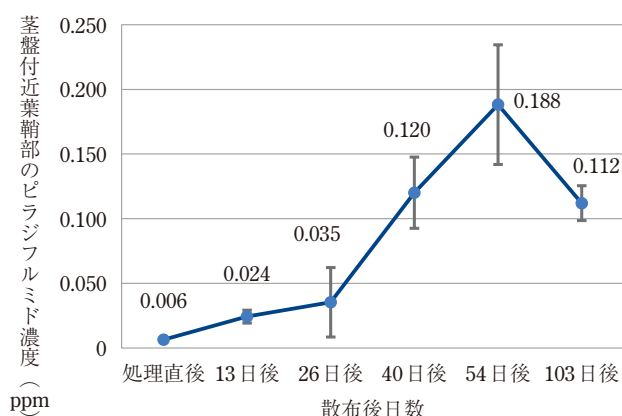


図-6 ピラジフルミド水和剤散布後の有効成分濃度の推移

a) エラーバーは標準偏差を示す。

表-2 ピラジフルミド水和剤の散布時期が防除効果に与える影響 (2018~19 年)

薬剤名	希釈倍数	処理方法 処理量	処理時期	調査 株数 ^{a)}	可販株率 (%) ^{b)}	発病株率 (%)	発病度	防除価 ^{c)}	
ピラジフルミド水和剤	2,000	散布 300 l/10 a	9 月 21 日	60	100	a	20.0	6.7	92.1
ピラジフルミド水和剤	2,000	散布 300 l/10 a	10 月 19 日	60	76.7	c	51.7	25.0	70.4
ピラジフルミド水和剤	2,000	散布 300 l/10 a	9 月 21 日 10 月 19 日	60	100	a	6.7	2.2	97.4
ベンチオピラド水和剤	1,000	株元灌注 1,000 l/10 a	9 月 21 日 10 月 19 日	60	91.7	b	45.0	17.8	78.9
無処理				60	11.7	d	100	84.4	

^{a)} 調査株数は 3 区合計値, 他は 3 区平均値を示す。

^{b)} 可販株率は調査株数に対する可販株数 (発病程度別指数 0 + 1) の比率を示す。
多重比較には Ryan 法を用い, 異なる英字を付した平均値間には有意差 (5%) があることを示す。

^{c)} 防除価は発病度の平均値から算出した。

ら, 散布した薬剤が根や茎盤部で菌糸伸長阻害濃度まで到達するのに 2 週間を要することを確認しており, 感染前の 9 月に薬剤散布することで防除効果が安定することが実証できた。

ピラジフルミド水和剤の散布から感染までの期間が短い場合は, 植物の外にあるネギ株元から浸透した殺菌剤が発芽し始めた菌核の発芽阻害および菌糸伸長阻害に作用し (日本農薬株式会社 編, 2021), 植物体内に保持されていた薬剤成分と併せて効果が高くなると考えられる。少雨や高地温の影響で菌核の発芽が遅れ, 感染までの期間が長い場合, 発芽が始まるころには植物の外にある殺菌剤の流亡・分解が進み, 薬剤効果は落ちると考えられるが, ピラジフルミド水和剤は散布後 3 か月以上の間, ネギ体内濃度が十分安定しているため, 感染時期の遅れによって発病株率が高まることはあっても, 可販株率が高く保てると推察された。

また, 症状が激しく進展する 14℃~17℃の地温は 11 月に見られることが多いため (図-5), 10 月の 2 回目散布についても, 栽培期間が長く感染適温期間の長い春どり作型では必要である。なお, 防除効果の安定には処理時期のほかに散布処理量が重要な要因である。生育初期で草丈が 25 cm 程度の株であっても, 降雨の年次変動を考慮すれば散布水量は植物体に十分かかるよう適用の最大量 300 l/10 a が必要と思われる。

III セルトレイ灌注の防除効果と植物体中の薬剤濃度の推移

1 セルトレイ灌注の防除効果

前述の散布防除試験を実施した圃場において, ピラジフルミド水和剤のセルトレイ灌注処理の防除効果試験を

実施した。肩掛け式噴霧器, キリナシノズルを用い, ペーパーポット (264 穴チェーンポット) 1 冊当たり 500 ml を植付け直前に灌注した。発病調査は散布防除試験と同様の方法で行った。

2017 年開始の試験は, ピラジフルミド水和剤のペーパーポット灌注処理の効果を希釈倍数別に検討した。対照は, ベンチオピラド水和剤の株元灌注の 2 回処理区とした。2017 年 8 月 8 日に植付け後 (‘龍ひかり 1 号’ (横浜植木)), 無処理区では 12 月上旬に初期感染が確認され, 12 月下旬には地上部に生育差が認められるようになり, 2018 年 3 月 22 日の収穫時には可販株率はわずか 1.3%であった。このような甚発生条件下で, ピラジフルミド水和剤 100 倍液のセルトペーパーポット灌注区の症状は軽微であり, 発病程度別指数 2 以上の出荷不能株は認められず, 高い防除効果を示した (表-3)。本処理区の防除価は 83.0 と, 対照区の防除価 64.4 より高かった。また, ピラジフルミド水和剤の希釈倍数による効果は, 100 倍液区, 200 倍液区, 500 倍液区で平均発病株率はそれぞれ 49.4%, 71.0%, 90.2%と, 希釈倍数が高くなると発病が多く, 可販株率が有意に低下する傾向を示した。

次に 2019 年開始の試験では, ピラジフルミド水和剤のペーパーポット灌注と生育期 2 回散布との効果比較をし, 対照はベンチオピラド水和剤の株元灌注の 2 回処理区とした。2019 年 8 月 5 日に植付け後 (‘龍ひかり 1 号’ (横浜植木)), 無処理区の初期感染は 11 月上旬に確認され, 12 月上旬には地上部に生育差が認められるようになった。2020 年 3 月 3 日の収穫調査時には出荷可能な株は皆無であった。このような甚発生条件下で, ピラジフルミド水和剤 100 倍液のペーパーポット灌注区の症状

表-3 ピラジフルミド水和剤のペーパーポット灌注処理による防除効果 (2017~18 年)

薬剤名	希釈倍数	処理方法 処理量	処理時期	調査 株数 ^{a)}	可販株率 (%) ^{b)}	発病株率 (%)	発病度	防除価 ^{c)}	
ピラジフルミド水和剤	100	トレイ灌注 0.5 l/冊	定植当日 (8 月 8 日)	160	100	a	49.4	16.5	83.0
ピラジフルミド水和剤	200	トレイ灌注 0.5 l/冊	定植当日 (8 月 8 日)	152	98.7	ab	71.0	24.1	75.2
ピラジフルミド水和剤	500	トレイ灌注 0.5 l/冊	定植当日 (8 月 8 日)	171	87.4	c	90.2	34.7	64.3
ベンチオピラド水和剤	1,000	株元灌注 1,000 l/10 a	定植直後, 10 月 18 日	178	95.6	b	96.9	34.5	64.4
無処理				156	1.3	d	100	97.0	

a), b), c) は表-2 に同じ。

表-4 ピラジフルミド水和剤のペーパーポット灌注処理による防除効果 (2019~20 年)

薬剤名	希釈倍数	処理方法 処理量	処理時期	調査 株数 ^{a)}	可販株率 (%) ^{b)}	発病株率 (%)	発病度	防除価	
ピラジフルミド水和剤	100	トレイ灌注 0.5 l/冊	定植当日 (8 月 5 日)	150	98.7	a	100	34.0	62.6
ピラジフルミド水和剤	2,000	散布 300 l/10 a	9 月 9 日, 10 月 23 日	150	100	a	100	33.3	63.3
ベンチオピラド水和剤	1,000	株元灌注 1,000 l/10 a	定植直後, 10 月 23 日	138	62.1	b	100	52.5	42.2
無処理				140	0	c	100	90.8	

a), b), c) は表-2 に同じ。

は軽微で、可販株率は 98.7%, 防除価 62.6 であり、同剤の生育期の 2 回散布区の防除価 63.3 と同等の防除効果を示した (表-4)。一方、対照区は発病程度別指数 2 以上の出荷不能株が多く、ピラジフルミド水和剤の両区に比べ可販株率に有意差が認められ、発病抑制効果は低かった。

2 ピラジフルミド水和剤をセルトレイ (またはペーパーポット) 灌注した場合の植物体中の薬剤濃度の推移

セル成型育苗トレイ (200 穴セルトレイ) とペーパーポット (264 穴チェーンポット) の育苗様式によるトレイ灌注処理後のネギ茎盤部付近のピラジフルミド濃度の推移について調査した。

(1) ペーパーポット灌注処理

試験は 2019 年開始のペーパーポット灌注防除試験と同一圃場で、前年に発病の見られなかった圃場区画 (2 m × 20 m) で実施した。2020 年 8 月 6 日の植付け当日に蓄圧式背負い散布器を用いて所定濃度のピラジフルミド水和剤 100 倍液を 264 穴チェーンポット 1 冊当たり 500 ml を灌注処理した。苗 (‘龍ひかり 1 号’ (横浜植木)) はひっぱりくんを用いて株間 5 cm 間隔で植付けした。試験

規模は 1 区 4 m², 3 連制とし、サンプリングは、約 1 か月間隔で 6 か月間、各区から 10 株を採取し、茎盤部を含む長さ 3 cm の葉鞘を調製し、ピラジフルミド濃度を分析した。分析値は平均値 ± 標準偏差で示した。

ピラジフルミド水和剤をペーパーポットに灌注した後、葉鞘茎盤部付近のピラジフルミド濃度は、処理 26 日後で 4.3 ppm, 62 日後で 2.1 ppm であり、その後経時的な減衰が認められた。処理 153 日後は 1.6 ppm まで減少した (図-7)。

(2) セル成型育苗トレイ灌注処理

植付け当日にピラジフルミド水和剤 100 倍液を 200 穴セルトレイ 1 枚当たり 500 ml 灌注処理し、ネギ茎盤部付近のピラジフルミド濃度の推移を秋冬どり作型で調査した。2019 年 4 月 5 日に、苗 (‘夏扇パワー’ (サカタのタネ)) は全自動定植機 (ヤンマー (株)) を用いて株間 9 cm 間隔で植付けし、植付時の茎盤部位置は地表下約 3 cm にあった。施肥、土寄せ (葉鞘軟白部を 30 cm 以上確保するため 5~11 月までの間に 4, 5 回実施) 等は現地慣行に準じて行った。試験規模は 1 区 4 m², 3 連制とし、サンプリングは、約 1 か月間隔で 5 か月間、各区から 10 株を採取し、茎盤部を含む長さ 3 cm の葉鞘を

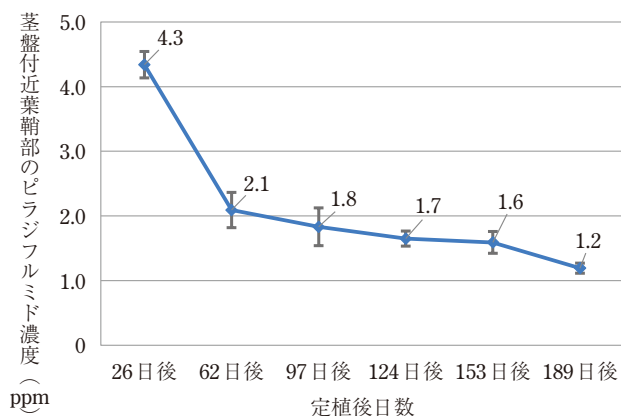


図-7 ピラジフルミド水和剤のペーパーポット灌注後の有効成分濃度の推移

a) エラーバーは標準偏差を示す。

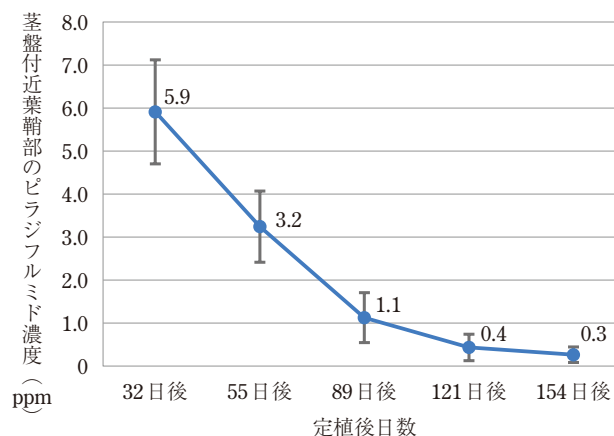


図-8 ピラジフルミド水和剤のセル成型育苗トレイ灌注後の有効成分濃度の推移

a) エラーバーは標準偏差を示す。

調製し、ピラジフルミド濃度を分析した。その結果、処理32日後に5.9 ppm、植付け121日後は0.4 ppmまで減少した(図-8)。

今回の灌注処理試験においては、散布の場合と比較して約10倍のピラジフルミド濃度を保持していたことから、本処理法は葉鞘茎盤部への黒腐菌核病菌の感染を長期にわたって抑制することにより、圃場で優れた防除効果を示すと考えられた。また、ペーパーポットとセル成型育苗トレイの灌注処理後のピラジフルミド濃度推移は、作型が異なる試験であったが、両処理とも3か月後から成分濃度は漸減して5か月後にはそれぞれ1.6 ppm、0.3 ppmまで減少したが、有効濃度は維持されていた。

IV 試験結果から考えられるピラジフルミド水和剤を用いた防除体系と普及状況について

春どり作型の試験結果を基に、鳥取県では図-9に示す春どり・夏どり・秋冬どりの各作型に対応した薬剤防除体系を提示し生産者に指導している。鳥取県の根深ネギは、セル成型育苗トレイ(またはペーパーポット)による稚苗移植栽培が主流であり、植付時のトレイ灌注が基幹防除となっている。

春どり作型のうち7~8月植付けの作型(作型記号A1)は、トレイ灌注後から感染期まで5か月を要する年次もあると考えられるが、その場合でも十分な発病抑制効果を示す有効濃度が維持されていることを確認している。ただし、試験年次によってはピラジフルミド水和剤のトレイ灌注を実施しても発病程度2以上の出荷不能株が数株見られることがあった(井上ら, 2023)。その要因として、汚染程度の高い土壌の土寄せによって葉鞘軟白部の茎盤部からやや離れた部位のピラジフルミド濃

度が低いため、感染した可能性が考えられた。そのため10月中旬に追加散布を推奨している。散布体系では9月中下旬に薬剤散布することで防除効果が安定することを実証したが、10月の追加散布についても、感染適温期間が長いため必要である。作型A2は、10月以降の感染を予防するためトレイ灌注または植付け直後に薬剤散布を行う。両体系とも10月の追加散布を行う。追加散布は11月以降でも防除可能ではあるが、小菌核腐敗病の防除も必須であり10月中旬ごろの薬剤散布を推奨している。

夏どりの11~12月植付けの作型(B1)は、植付け時期が感染時期となる可能性があるため、トレイ灌注または植付け直後に散布を行い、茎盤部付近の葉鞘部への感染・発病を予防する。土寄せによる4~5月の葉鞘上部への感染を抑制するため、両体系とも3月下旬までに追加散布を行う。3月を主に植付けする作型(B2)は、本菌の活動期が短く被害は比較的軽い、植付け期が感染適期であるため、トレイ灌注または植付け直後に散布を行う。5月の感染期には土寄せにより地際部から感染・発病が見られる場合があり、両体系とも4月に追加散布を行う。

秋冬どりの4~5月植付けの作型(C1)は、植付け期が本菌の活動期にあたるため、トレイ灌注または植付け直後に散布を行う。両体系とも9月の土寄せ前に追加散布を行い、ピラジフルミド成分濃度の減衰を補完して10月以降に起こる茎盤付近の葉鞘から上部への感染・発病を抑制する。5~6月植付け作型(C2)は、トレイ灌注し9月の土寄せ前に追加散布を行い、10月以降の感染・発病を抑制する。散布体系は春どり作型(A1)と同様の散布体系で予防する。

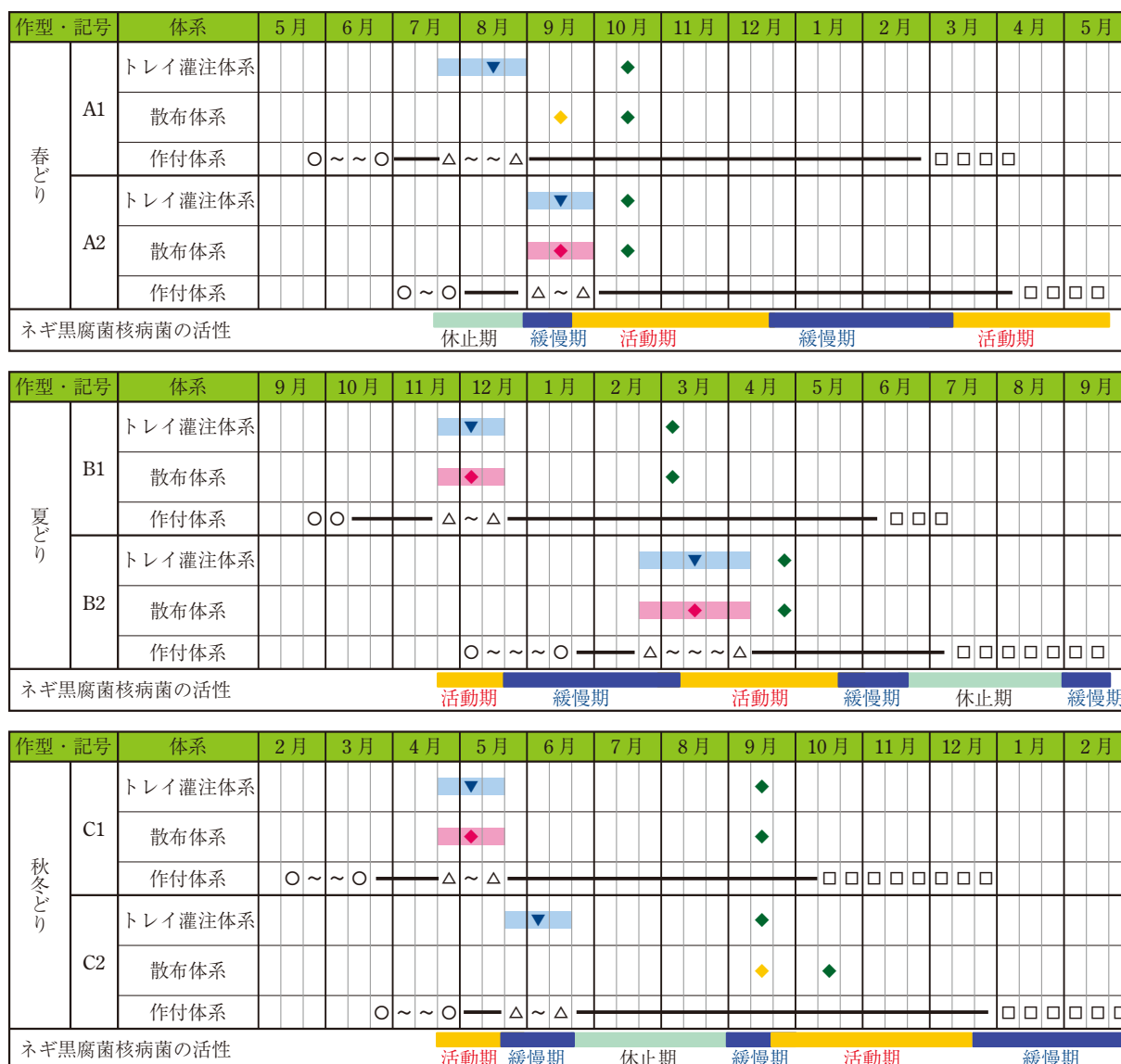


図-9 鳥取県の根深ネギの各作型と黒腐菌核病の薬剤防除体系

▼：トレイ灌注，ピラジフルミド水和剤 100 倍，0.5 l/トレイ。

散布 2,000 倍，300 l/10 a，◆：植付け直後散布，◆：生育初・中期散布，◆：追加散布。

作付 ○：播種 △：植付け □：収穫。

弓浜半島砂畑地域の根深ネギの作付け面積は約 150 ha である。2010 年に初発生を確認した後，本病の被害面積は，2014 年から急増し 2019 年には 68 ha まで増加したが，ピラジフルミド水和剤の散布による防除が 2018 年 12 月 5 日に登録適用拡大となったことから効果的な防除が可能となり，2020 年の被害面積は減少傾向となった。その後 2020 年 7 月 22 日にトレイ灌注処理の適用拡大により省力的防除が可能となった。同時に生産者向けに毎月発行される JA 営農指導情報誌にも防除法が提示されるなど周知徹底が図られてきた結果，2021 年には生産圃場の発病被害は大きく減少した。

おわりに

これまで難防除土壌病害とされてきたネギ黒腐菌核病に対して，土壌くん蒸剤など土壌消毒を実施しない土壌汚染程度の高い条件であっても，ピラジフルミド水和剤の 2 回使用体系で防除は可能である。しかしピラジフルミド水和剤の 2 回使用体系は，耐性菌の発達リスクがある。そのため他系統の薬剤を追加散布に用いる体系を試験したが，ピラジフルミド水和剤の代替えになる卓効を示す薬剤は明らかにできなかった（井上ら，2022）。今後ピラジフルミド水和剤の高濃度での連年使用後の発病経過と耐性菌の発達動向について注視する必要がある。

一方、土壌くん蒸処理と薬剤防除を組み入れた対策などによって土壌中の菌核密度の早期減少を目指し、産地内に侵入した黒腐菌核病の撲滅を図ることが望まれるところである。しかしながら被害が沈静化している現在、経済的被害許容水準をどこまでとするのか、今後の課題である。

引用文献

- 1) ADAMS, P. B. and G. C. PAPAIVAS (1971): *Phytopathology* **61**: 1253~1256.
- 2) CROWE, F. J. and D. H. HALL (1980): *ibid.* **70**: 74~78.
- 3) 池田健太郎・酒井 宏 (2020): *日植病報* **86**: 148~150.
- 4) 井上 浩ら (2022): *関東東山病虫研報* **69**: 19~26.
- 5) ————ら (2023): *関西病虫研報* **65**: 53~61.
- 6) 日本農業株式会社 編 (2021): 日本農業株式会社, 東京, p.1~16.
- 7) 小河原孝司ら (2013): *茨城農総セ園芸研報* **20**: 27~34.
- 8) 斉藤千温ら (2019): *日植病報* **85**: 325~333.
- 9) 若井田正義 (1968): 宇都宮大学農学部学術報告特輯 **23**: 14~19.

登録が失効した農薬 (2023.7.1~2023.7.31)

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」

●ハモグリミドリヒメコバチ剤

21517：ミドリヒメ（住友化学株式会社）23/7/6

「除草剤」

●ダイムロン・ベンスルフロンメチル・メフェナセット粒剤

17261：SDS ザーク D 粒剤 17（株式会社エス・ディー・エス バイオテック）23/7/3

●テニルクロール・ベンスルフロンメチル水和剤

18599：トクソークサメッツ L フロアブル（株式会社エス・ディー・エス バイオテック）23/7/3

●カフェンストロール・シハロホップブチル・ダイムロン・ベンスルフロンメチル粒剤

19703：永光ジョイスター 1 キロ粒剤 51（株式会社エス・ディー・エス バイオテック）23/7/3

●カフェンストロール・シハロホップブチル・ダイムロン・ベンスルフロンメチル水和剤

19797：永光ジョイスターフロアブル（株式会社エス・ディー・エス バイオテック）23/7/3

特

集

ネギ黒腐菌核病の防除体系構築に向けた取り組み

千葉県秋冬ネギにおけるネギ黒腐菌核病対策

千葉県立農業大学校 ^{なか}中 ^た田 ^な菜 ^な々 ^こ子
 千葉県農林総合研究センター ^{かね}鐘 ^がヶ ^え江 ^{よし}良 ^{ひこ}彦

はじめに

ネギは千葉県の主要品目の一つであり、2021年度の出荷量は47,500tで全国1位である（農林水産省、2022）。近年、本県産ネギの主要な作型である4～5月播種、11～3月収穫の秋冬どり栽培（以下、秋冬ネギ）において、ネギ黒腐菌核病の発生圃場が増加し、収量の低下が問題となっている。2018年に九十九里地域のネギ生産者を対象に行ったアンケートでは、約半数の農家で本病が発生していることが明らかになった（千葉県、2023 a）。本病害は、病原菌の耐久体である菌核が土壌中で数年間生存するために防除が難しく、土壌くん蒸を含めた総合的な対策が必要と考えられた。しかしネギ産地において土壌くん蒸は一般的な技術とは言えず、本病害の対策技術として提案する際は、周辺住民への配慮に加え、作業者の安全やコストといった面からも必要最小限にすることが望まれる。こうした課題を解決するため、千葉県農林総合研究センターでは2017年度から4年間のプロジェクトにおいて各対策の効果を評価し、前作までの発病状況に応じて対策を選択するためのチャートを開発した。本研究は四つの研究室が合同で取り組み、研究推進にあたっては県内のネギ生産者、JA等関係機関、普及機関の皆様にご協力をいただいた。深く感謝申し上げます。

I 前作の発病程度が次作の発病に与える影響

本病による前作の被害程度と次作の被害程度の関係性を調査するため、前作の栽培前に菌核を混和し、前作で防除試験を実施後、ネギを栽培して発病程度が異なる枠圃場を作出した。次作において本病に対する防除を実施せずに秋冬ネギを栽培した結果、前作の2月時点で可販株

率が100%の圃場では、次作の12月時点の可販株率は100%であった（表-1）が、1月以降は発病株が目立つようになり、2月には可販株率が6割程度となる圃場もあった。また、前作の可販株率が88%以上100%未満の圃場では、次作の12月時点で可販株率が22.6～63.0%と大幅に減少し、2月にはいずれの圃場とも0%となった。

このように、前作の発病が比較的少ない場合でも次作を無防除で栽培した場合には多大な被害が出る事が明らかとなった。

II 土壌くん蒸剤と生育期防除を組合せた防除効果

次に、土壌くん蒸剤単独および土壌くん蒸剤と生育期防除を組合せた場合の防除効果を調査した。土壌に本病原菌の菌核を混和し、菌核密度が異なる複数の枠圃場を作成した。菌核を混和した当日に、カーバマナトリウム塩液剤による土壌くん蒸処理を行い、その際にPOフィルムにより被覆を行った。この圃場において7月上旬定植の秋冬ネギを栽培し、翌年2月に可販株率を調査した。

その結果、菌核密度が低い圃場（土壌100g中に菌核0.1個）では、生育期に殺菌剤を処理しなくとも発病は抑えられ、可販株率は100%であった（図-1）。一方、菌核密度が高い圃場（土壌100g中に菌核1個）では、土壌くん蒸処理のみで発病を抑えることは難しく、2月の可販株率は52%となった。しかし、生育期の10月にベンチオピラド水和剤を2回処理（株元灌注，1l/m²）することにより、2月まで発病を抑えることができた。以上から、菌密度が高い圃場では土壌くん蒸処理のみで発病を抑えることは難しく、ネギの生育期間中に殺菌剤を処理する必要があると考えられた。

III ピラジフルミド水和剤（商品名：パレード®20フロアブル）の苗灌注処理

千葉県の秋冬ネギにおいてネギ黒腐菌核病の被害が発生するのは12月以降となることが多いが、直前の11～12月に殺菌剤を処理しても防除効果は低く、適切な時期に処理する必要がある。秋冬ネギの生育期における処

Control of White Rot of Welsh Onion Harvested during Autumn-Winter in Chiba Prefecture. By Nanako NAKATA and Yoshihiko KANEKAGE

（キーワード：ネギ，黒腐菌核病，苗灌注，土壌くん蒸，対策選択チャート）

表-1 前作の可販株率が異なるネギ黒腐菌核病の汚染圃場で次作を無防除で栽培した場合の可販株率の差異

圃場 ^{a)}	可販株率 ^{b)} (%)			
	前作 (2019 年度)	次作 (2020 年度)		
		1 月	12 月	2 月
1	50.8	54.5	4.5	0.0
2	65.4	26.1	5.3	14.3
3	77.6	0.0	0.0	0.0
4	88.7	42.3	0.0	0.0
5	90.9	52.4	0.0	0.0
6	92.0	63.0	0.0	0.0
7	93.8	22.6	15.8	0.0
8	95.6	31.6	5.3	0.0
9	100.0	100.0	84.6	69.2
10	100.0	100.0	87.0	60.9
11	100.0	100.0	80.0	100.0
12	100.0	100.0	100.0	75.0

^{a)} 農林総合研究センター内 露地枠圃場 (内寸 1.8 m × 1.8 m, 千葉市). 2019 年 6 月にすべての圃場に菌核を深さ 20 cm までの土壌 100 g 当たり 0.1 または 1 個混和し秋冬ネギを栽培した. 前作の栽培期間中に土壌消毒や殺菌剤の処理を行った. 次作は無防除, 2020 年 5 月 30 日播種, 7 月 13 日定植, 品種 '龍ひかり 2 号'.

^{b)} 展開葉 3 枚に調製後, 病斑が見られない株の割合.

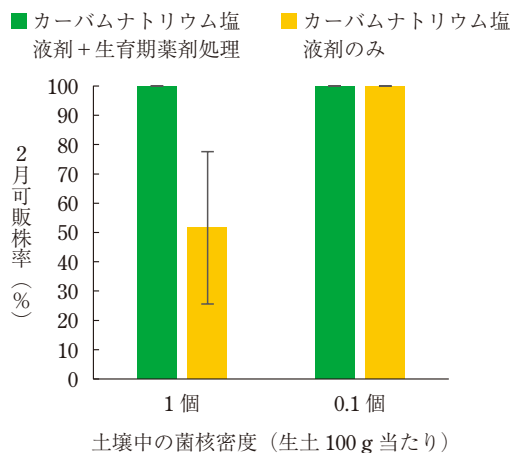


図-1 土壌くん蒸処理と生育期の殺菌剤処理を併用した防除効果
農林総合研究センター内 露地枠圃場 (内寸 1.8 m × 1.8 m, 千葉市). 2019 年 5 月 13 日播種, 7 月 4 日定植, 供試品種 '龍ひかり 2 号', 2020 年 2 月 17 日発病調査, 2019 年 6 月 13 日に深さ 20 cm までの土壌 100 g 当たり 0.1 または 1 個となるよう菌核を混和した. その後, 直ちにカーバマナトリウム塩液剤を 60 l/10 a 灌注処理し, 6 月 25 日まで PO フィルムで土壌表面を被覆した. 生育期薬剤処理ありの区はベンチオビラド水和剤 1,000 倍液を 10 月 3 日と 10 月 24 日に灌注処理 (1 l/m²) した.
可販株率: 展開葉 3 枚に調製後, 病斑が見られない株の割合, エラーバーは標準誤差 (n = 3).

理適期を調査した結果, ネギ茎盤部付近の日平均地温が 20℃ 以下に下がり始めるころ (9, 10 月) に 1 回目の散布を実施することが重要と考えられた (鐘ヶ江・福田, 2019; 2020; 千葉県, 2023 a). ただしこの時期は台風

が千葉県に接近しやすい時期であり, 計画的な散布が難しい場合もある。

そこで, 生育期の散布試験で高い効果が認められたピラジフルミド水和剤を育苗期間中～定植当日のセル成型育苗トレイ等に処理する方法について検討した。本剤は育苗期の灌注処理でも本病に対する高い効果が明らかとなり, 2020 年 7 月にセル成型育苗トレイまたはペーパーポット苗への灌注処理 (以下, 苗灌注) が適用となった。

表-2 は 2017 年度から 20 年度にかけて秋冬ネギにおいて行った試験結果である。定植 5 日前までにピラジフルミド水和剤の 100 倍液を灌注したネギ苗 (ペーパーポット苗) を黒腐菌核病の発病圃場に定植し, 防除効果を調査した結果, 2019 年度を除く 3 回の試験において灌注から 7 か月後まで高い防除効果を示した。

2017 年度および 2019 年度の試験では, 灌注から 6 か月後の 1 月以降に防除効果が低下した。一方, ピラジフルミド水和剤の苗灌注に加えて生育期に殺菌剤 (8 月 30 日シメコナゾール粒剤, 9 月 30 日プロシミドン水和剤, 10 月 24 日フルジオキシニル水和剤) を処理した区では, 2 月まで高い防除効果を示した。2020 年度に設けた生育期散布のみの区では, 無処理区と比較して発病が抑えられたが, 苗灌注のみの区よりも効果は低かった (表-2)。したがって, 2018, 2019 年度はピラジフルミド水和剤の苗灌注の効果がなんらかの原因で従来よりも早く減少したため, 1 月以降の被害を抑えるために生育期散布が必要な状況になったと考えられる。

表-2 ネギ黒腐菌核病に対するピラジフルミド水和剤の苗灌注処理の効果

試験年度	処理内容	播種日	灌注日	定植日	処理区の可販株率（無処理区の可販株率）（％）		
					12月	1月	2月
2017	苗灌注 ^{a)}	5/15	7/3	7/3	100.0（0.0）	97.9（4.9）	100.0（2.2）
2018	苗灌注	3/12	5/11	5/16	94.8（28.0）	71.6（9.2）	調査なし
2019	苗灌注	5/13	7/1	7/3	97.2（75.3）	72.3（42.0）	38.1（18.8）
2019	苗灌注＋生育期散布 ^{b)}	5/13	7/1	7/3	100.0（75.3）	96.2（42.0）	96.0（18.8）
2020	苗灌注	5/30	7/8	7/10	100.0（55.1）	98.9（28.1）	95.6（4.5）
2020	生育期散布のみ ^{c)}	5/30	－	7/10	97.0（55.1）	83.7（28.1）	68.8（4.5）

農林総合研究センター内 露地圃場（千葉市）。

^{a)} ピラジフルミド水和剤の100倍液をペーパーポット苗1トレイ当たり500ml灌注。

^{b)} ピラジフルミド水和剤の苗灌注に加えて8月30日にシメコナゾール粒剤6kg/10a、9月30日にプロシミドン水和剤1,000倍液300l/10a、10月24日にフルジオキシニル水和剤1,000倍液300l/10aを散布。

^{c)} ピラジフルミド水和剤の苗灌注を行わず8月26日にシメコナゾール粒剤6kg/10a、9月28日にプロシミドン水和剤1,000倍液300l/10a、10月27日にフルジオキシニル水和剤1,000倍液300l/10aを散布。

苗灌注処理のみの区で1月以降に防除効果が低下した要因として、秋季の多雨が考えられる。2019年は9月9日の台風15号および10月12日の台風19号に関連する大雨に加えて、10月25日には千葉市に記録的短時間大雨情報が発表される豪雨があり（千葉市、2020）、圃場が半日以上湛水状態となるなど秋季の降水量が多い年であった。ネギは湿害に弱いことが知られており、過湿により根が傷むことで病気に対する感受性が増加した可能性や、大量の降雨により薬剤の成分が流亡した可能性が考えられる。

以上の結果から、ピラジフルミド水和剤のペーパーポット苗に対する灌注処理により、処理・定植後5～7か月程度は高い防除効果が持続すると考えられる。秋期の降水量が多い年や収穫が処理7か月以降となる場合は、生育期の殺菌剤散布を併用する必要がある。

上記の高い効果に加えて、苗灌注は生育期の散布と比較し省力的であり、処理のタイミングがわかりやすく、育苗は雨よけで行われることから天候の影響を受けにくいといったメリットがあり、産地ではピラジフルミド水和剤の苗灌注が急速に普及している。

Ⅳ 秋冬ネギ栽培における黒腐菌核病対策選択チャート

以上の試験結果および既報の知見等を基に、ネギ黒腐菌核病の対策を選択するための「秋冬ネギ栽培における黒腐菌核病対策選択チャート」をまとめた（図-2、図-3）（千葉県、2023a）。このチャートでは、本病の発生履歴、苗の種類、収穫時期により「対策1～3」に分け、各作業の内容とポイントを示した。また、前作で本病が激発した場合や他の圃場への拡大が心配な場合は、「土壌くん蒸による対策」を選択することとし、対策のポイント

を示した（図省略）。

1 ネギ黒腐菌核病の発生履歴に応じた対策の選択

最初に、過去数年間の栽培圃場における発生の有無を選択し、対策の必要性を判断する（図-2）。これは、ネギ黒腐菌核病の発生程度は、前作の発生程度が強く影響するためである。また、栽培圃場において過去数年間発生がなかった場合でも、周辺の圃場や自身が管理している別の圃場での発生が認められる場合は、周辺からの菌の飛散や農機具等からの持ち込みの可能性があるため対策を実施する。

前作で本病が激発した場合や、周辺の圃場や自身が管理している別の圃場への拡大が心配な場合は、土壌くん蒸による対策を実施し、土壌中の菌核密度を低下させる。

2 苗の種類に応じた対策の選択

次に、苗の種類を選択する（図-2）。セル苗もしくはペーパーポット苗の場合は、ピラジフルミド水和剤の苗灌注を採用し、次の設問に進む。地床苗の場合は、ピラジフルミド水和剤の苗灌注を採用できないため（令和5年5月現在、農薬登録上の適用がない）、「対策3」を採用する。「対策3」は、生育期処理薬剤の散布を防除の中心技術としており、もし、生育期間中に発病が見られた場合は収穫時期を前進させる。

3 収穫時期に応じた対策の選択

最後に、収穫時期を選択する（図-2）。収穫時期が年内の場合は「対策1」を、年明け以降の場合は「対策2」を採用する。「対策1」は、ピラジフルミド水和剤の苗灌注を防除の中心技術としている（図-2）。これは、ピラジフルミド水和剤の苗灌注による防除効果が、処理後5～7か月程度持続するためである。「対策2」は、ピラジフルミド水和剤の苗灌注と生育期処理薬剤の散布を組合せた対策である。生育期間中に発病が見られた場合は

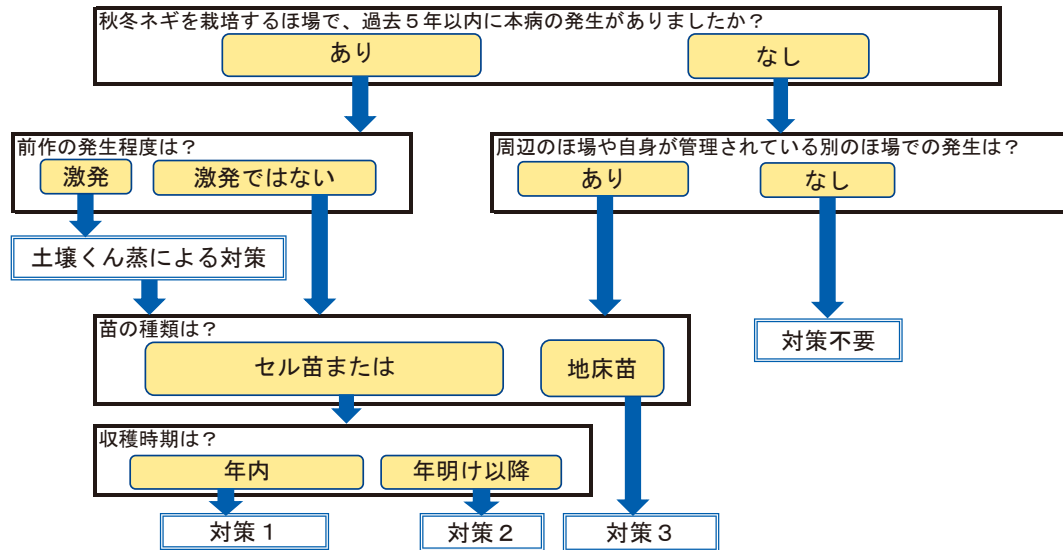


図-2 秋冬ネギ栽培における黒腐菌核病対策選択チャート（その1）（千葉県，2023 a）

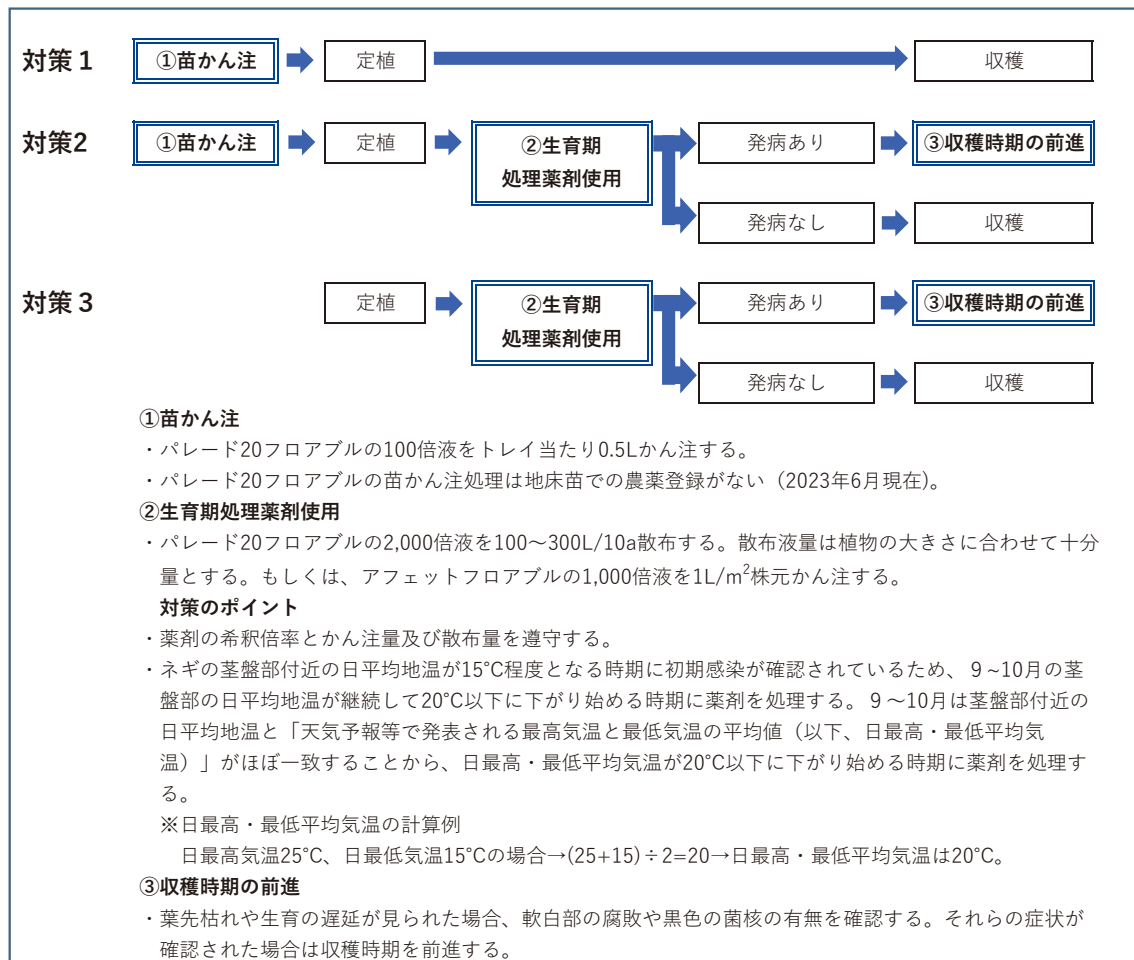


図-3 秋冬ネギ栽培における黒腐菌核病対策選択チャート（その2）（千葉県，2023 a）

収穫時期を前進させる。

4 生育期処理薬剤の散布適期

ネギ黒腐菌核病防除に向けた生育期処理薬剤の散布適期は、9～10月のネギ茎盤部付近の日平均地温が20℃と

なる時期である（図-3）。また、本病病原菌による初期感染の時期は、茎盤部付近の日平均地温が15℃程度に下がった時期である。このことは、初期感染が生じる前に生育期処理薬剤を散布することが、本病を防除するう

えて重要であることを示している。この時期の茎盤部付近の日平均地温は、生産者が天気予報等で容易に取得できる「日最高気温と日最低気温の平均値（以下、日最高・最低平均気温）」とほぼ一致する（山本, 2023）。そこで、日最高・最低平均気温が20℃となる時期を目安に生育期処理薬剤を散布する。

5 土壌くん蒸時の被覆について

土壌くん蒸は、土壌中の菌核密度を低下させることができるが、完全に防除することは難しい。このため、苗灌注や生育期処理薬剤の散布と組合せる。また、土壌くん蒸を行う際は、薬剤を灌注した直後に必ず被覆する。被覆をしないと、地表面において薬剤濃度が上昇しないため、地表面にある菌核に対して効果を期待できない。また、ガスバリア性フィルムを用いて被覆することにより、ポリフィルムと比べて薬剤の大気への揮散を抑制できるとともに、土壌中の薬剤濃度を高く維持できるため、薬剤の効果が高まる。

6 土壌病害の予防および防除に向けた圃場衛生の徹底

ネギ黒腐菌核病は、土壌中で長期間生存できる菌核を感染源とする土壌病害である。このため、圃場に菌核を持ち込まないことおよび圃場から菌核を持ち出すことが重要である。前者の例としては、作業する圃場を変える際は農業機械を洗浄して付着した土壌を落とすこと、後者の例としては菌核等が付着した罹病残渣を圃場から持ち出すことが挙げられる。

おわりに

千葉県では上記に示した内容を盛り込んだ農業技術者向けの資料（千葉県, 2023 a）および生産者向けのリーフレット（千葉県, 2023 b）（図-4）を発行し、対策技術の普及をはかっている。難防除病害であった本病は、効果の高い殺菌剤の適用と関係機関の協力により多くの生産者にとって防除が可能な病害となりつつあるが、現状は特定の薬剤に頼っていることから薬剤耐性菌の発生が

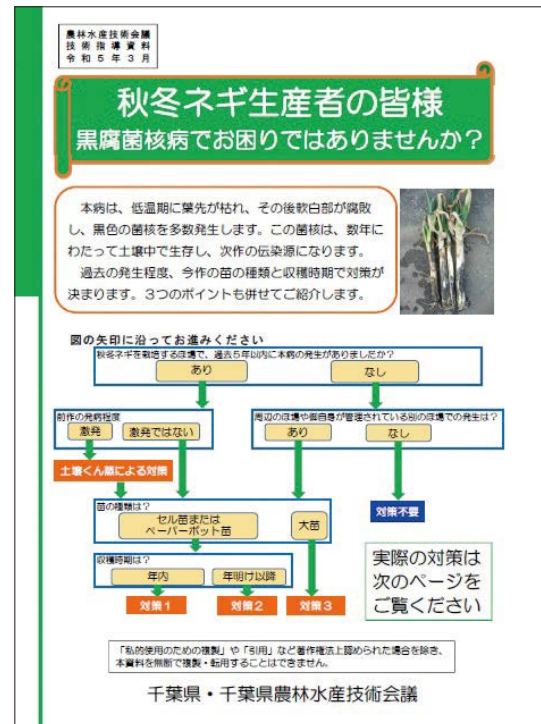


図-4 生産者向けリーフレット表紙（千葉県, 2023 b）

懸念される。千葉県では他系統薬剤の防除効果を調査するなど、薬剤耐性菌リスクを考慮した防除体系の構築に向けて研究を進めている。

引用文献

- 1) 千葉県 (2023 a): 農林水産技術会議技術指導資料 秋冬ネギ栽培における黒腐菌核病対策, <https://www.pref.chiba.lg.jp/ninaite/seikafukyu/documents/r4-05-negikurokintaisaku-b.pdf>
- 2) ——— (2023 b): 農林水産技術会議技術指導資料 秋冬ネギ生産者の皆様 黒腐菌核病でお困りではありませんか?, <https://www.pref.chiba.lg.jp/ninaite/seikafukyu/documents/r4-04-negikurokintaisaku-l.pdf>
- 3) 千葉市 (2020): 令和元年災害記録誌, p.2~31.
- 4) 鐘ヶ江良彦・福田 寛 (2019): 関東東山病虫研報 66:125 (講要).
- 5) ———・———— (2020): 同上 67:94 (講要).
- 6) 農林水産省 (2022): 令和3年産野菜生産出荷統計.
- 7) 山本幸洋 (2023): JATAFF ジャーナル 11:7~8.

特

集

ネギ黒腐菌核病の防除体系構築に向けた取り組み

ネギ黒腐菌核病のヘソディム
(Health Checkup Based Soil-borne
Disease Management : HeSoDiM)

静岡県農林技術研究所 伊代住 浩 幸

はじめに

ネギ類の黒腐菌核病（英名 White Rot「白腐れ」）は、黒腐菌核病菌（*Sclerotium cepivorum* Berkeley）が低温期にネギ類を特異的に侵し、壊滅的な被害を生じる土壤病害として世界的に問題となっており（CROWE, 2008）、我が国でもタマネギ、ニンニク、ニラ、ラッキョウ、そしてネギを侵す重要病害である（ユリ類黒腐菌核病の病原としては近縁の *S. denigrans* が提案されている（IKEDA and HOSOYA, 2021））。本病の国内における防除対策の変遷については、本誌今号において、既に紹介されているため割愛するが、近年のピラジフルミド水和剤（商品名：パレード®20 フロアブル）等、SDHI 剤を中心とする効果が高い生育期防除剤の相次ぐ登録により、油断すれば直ぐにぶり返す危険はあるものの、本病害は生産者が制御可能な病害となってきた。

標題にあるヘソディム（HeSoDiM）については、これも本誌を含め度々紹介されているため詳細は参照していただきたいが（TSUSHIMA, 2014；吉田, 2015；2023）、病気が出る前から圃場を診断して管理する、いわゆる一次予防重視の土壤病害管理法である（NPO 法人圃場診断システム推進機構, 2023）。静岡県が黒腐菌核病の対策研究を本格的に始めた 2012 年は、本病害が県内産地で急激に増加していた時期であり、一方で土壤消毒用以外には本病害登録農薬がなく、その土壤消毒でも十分な効果を得られているとは言い難かった。そこから、作付け前の圃場を「診断」し、対象病害の発生リスク（発病ポテンシャルレベル）を「評価」して、その評価に応じた必要十分な「対策」を提案するヘソディムに取り組み、現在に至っている。本稿では、本県におけるネギ黒腐菌核病のヘソディムについて、その成り立ちと今後の課題を紹介したい。

Health Checkup Based Soil-borne Disease Management (HeSoDiM)
of Allium White Rot Disease. By Hiroyuki IYOZUMI
(キーワード：ネギ黒腐菌核病, ヘソディム, HeSo+)

I 静岡県版ネギ黒腐菌核病のヘソディムの成り立ち

1 診断・評価

(1) 前作の発病/土壤中の生存菌核密度

本病害について、国内においては若井田（1968）の先導的な研究があるが、タマネギやニンニクの栽培・消費が盛んな欧米においてはさらに古くから研究が行われ、初発 2, 3 株の被害から 1~2 作のうちに劇的な被害拡大が起きること、また、本病害の分散体かつ耐久体である菌核が、土壤中で長期間生残し、少量の菌核が大きな被害を及ぼすことを明らかにしている（CROWE et al., 1980；CROWE, 2008）。

このことから、ネギ属作物を連作する場合、前作における本病害による被害は第一に確認すべき項目とし、当初は前作廃棄株が 10% を超えた場合にリスク「高」とした（のちに 30% に変更。理由は後述）。一方、長期に渡るネギ属以外の輪作や、被覆土壌くん蒸消毒など何らかの対策を講じた圃場の場合は、実際の生残菌核密度が問題になると考えた。県内産地から分離されていた菌核は、片岡ら（2018）により B 系統とされた、平均直径 0.5 mm 程度の菌核を形成する世界中で優占するグループであったことから、米国で開発された Wet Sieving Assay を一部改変した方法で土壤中の生存菌核を定量することとし（伊代住ら, 2012）、海外のニンニクでの報告（CROWE, 1980）や、それを検証した結果（根圏内に菌核 1 個で 50% 以上の確率で発病：伊代住, 未発表データ）から、乾土 100 g 当たり生存菌核 1 個以上の検出でリスク「高」とした。現在では、本法による評価は民間業者による土壤分析メニューにも採用されている（アグロカネショウ株式会社, 2023）。

(2) 土壌 pH

土壌 pH が本病害の発生程度に与える影響について、ネギ栽培の推奨（pH6.5）より極端に低い場合には助長するとされていた（小河原, 2014）一方で、中性以上の pH が発病に与える影響についての見解は海外でも

分かれていた（抑制：HARRISON, 1954；助長：Adams and PAPAIVAS, 1971）。これについて、実験的に評価したところ、静岡県西部ネギ産地の12～2月の日平均地温にあたる10～5℃でpH7～7.5に曝された場合、発病が遅延することがわかった（伊代住ら, 2015）。立毛中のネギ根圏のpH調査を生産者に求めることは困難なため、間接的な効果ではあるものの、診断項目では栽培前の土壌pH（H₂O）を診断項目に加えた。

（3）周辺圃場での発病

その他、菌核は罹病植物残渣だけでなく、農機具や履物などに付着した土とともに拡散すること、また、菌核は水には沈むものの砂粒よりは軽く、風雨で容易に拡散し（CROWE, 2008）、5 mm 厚程度の土壌に覆われただけで生残率が大幅に向上すること（伊代住, 未発表）などから、自家他圃場や周辺圃場での本病害の発生の有無を診断項目に加えた（上述の通り被害は急激に拡大し得ることから、その時点での発生の多少は加味しない）。

以上の項目からなる静岡県版ネギ黒腐菌核病のヘソディム

のための診断・評価基準を作成した（表-1 2016年初出。表は2019年改訂版）

（4）AIアプリ「HeSo+（ヘソプラス）」

全国の産地で各種土壌病害を対象に開発されたヘソディムをなるべく多くの圃場に普及させるための方法として、AIを活用した診断・対策支援アプリである「HeSo+（開発元：（株）システム計画研究所）」が開発された。開発の経緯は、本誌77巻4号を参照いただきたい（吉田, 2023）。

ネギ黒腐菌核病に関する圃場の発病ポテンシャルレベルを算出する「予測器」の開発において、データの提供やアプリによる診断結果の検証に群馬県・神奈川県（データ提供のみ）・静岡県が参加した。全県のデータ（2017～21）を用いて作成された「広域版」のほか、各県データのみを用いた「群馬県版」、「静岡県版」があり、土壌理化学性など地域性を反映すると考えられるデータから「判別器」により使用する予測器が自動選択される。表-2に予測器「広域版」と「静岡県版」の入力項

表-1 圃場のネギ黒腐菌核病リスク評価

診断項目	診断結果	点数
ア 前作の発病程度	前作に廃棄株なし	1
	前作に 30%未満* の廃棄株あり	4
	前作に 30%以上* の廃棄株あり	6
イ 周辺圃場での発病	自家他圃場と隣接圃場ともに発病なし	0
	自家他圃場または隣接圃場に発病あり	1
	自家他圃場と隣接圃場ともに発病あり	3
ウ 定植前の土壌 pH	7.0 以上	0
	6.0 以上 7.0 未満	1
	6.0 未満	2
※土壌消毒や輪作後にアの替わりに実施	生存菌核の検出なし	1
エ 土壌 100 g 中の生存菌核数（圃場内 5 箇所）	5 箇所の生存菌核数の平均が 1 個未満	3
	5 箇所の生存菌核数の平均が 1 個以上	5
		
評価	発病ポテンシャルレベル	
合計点		
2 以下	低(1)	対策なしで少発生以下**
3 以上 かつ ア(エ)が 4(3) 以下	中(2)	対策なしで中～多発生
6 以上 かつ ア(エ)が 6(5)	高(3)	対策なしで甚発生

*2019 改訂版では、防除技術の進歩により定植前の土壌消毒を実施せずに生育期防除により対応できる発病ポテンシャルレベルが拡大したため、最大レベルの閾値を 10%から 30%引き上げた。

**少発生：廃棄株率 10%未満。

中発生： 同 10 以上 30%未満。

多発生： 同 30 以上 50%未満。

甚発生： 同 50%以上。

表-2 HeSo+ (ヘソプラス) に搭載された予測器の入力項目と各入力項目の発病との関係性¹⁾

広域版	
入力項目	発病への関与
i) 土壌菌核密度	高いほど助長
ii) 前作の発病株率 (廃棄株率と同じ)	高いほど助長
iii) 定植前土壌 pH	高いほど抑制 ²⁾
iv) 残渣処理方法	鋤き込むと助長
v) 周辺圃場での病害発生状況	発生があると助長
静岡版	
入力項目	発病への関与
i) 土壌菌核密度	高いほど助長
ii) 前作の廃棄株率	高いほど助長
iii) 残渣処理方法	鋤き込むと助長
iv) 定植前土壌 pH	高いほど抑制 ²⁾
v) 炭素含有率	多いほど助長
vi) 前作から遡った連作の回数	多いほど助長
vii) 周辺圃場でのネギの病害発生状況	発病があると助長
viii) 近隣自圃場での発病状況	発病があると助長

¹⁾ 2023 年 7 月現在での入力項目とそれらの関係性を示す。今後データが蓄積されることにより、これらの項目や関係性は変わる可能性もある。

²⁾ 植物の生育に害のない範囲に限定。

目を掲載した。「広域版」では、既存マニュアルから見て「残渣処理方法 (鋤き込むと助長)」が追加されている。「残渣処理方法」については、当初発生が激しかったところは、ほぼ鋤き込みされていたこともありマニュアルでは問診項目に加えていなかったが、圃場内外への伝染源の低減にかかわる重要な項目である。「静岡県版」では広域版の項目に加え、土壌の「炭素含有率 (%) (高いほど助長)」, 「前作から遡った連作回数 (多いほど助長)」, 「近隣の自圃場での発病状況 (多いと助長)」などが追加されている。「炭素含有率 (%)」の影響については介入試験による検証が不十分で、対策への応用可能性などを含め、今後の課題である。AI 予測器の開発に使用しなかった静岡県内 2021~22 年作の圃場データ (予測器入力項目の値と発病調査結果のセット: 131 件) を用いて検証したところ、大半の 104 件が「広域版」で予測され (静岡県版 27, 群馬県版 0), 全体の正確度は 87.8%であった (正確度: 発病ポテンシャルレベルに応じた対策を行った場合に、対象病害の防除が成功、すなわちレベルを下げる事ができた圃場の割合, 図-1 アプリ使用例。広域版で診断)。

2 発病ポテンシャルレベルに応じた対策の提案

ヘソディムは、土壌病害の発病ポテンシャルレベルを評価することで、被覆土壌くん蒸消毒の必要以上の実施を減らすことを目的の一つとしている (吉田, 2023)。上述の通り、静岡県での研究開始当初は、土壌消毒用以外には本病害登録農薬がなく (まもなくモンガリット粒剤, アフェットフロアブル等が登録), ネギ黒腐病ヘソディムの最初のマニュアルでは前作に廃棄株が 10%を超えた圃場はレベル 3 (高) であり、ネギ属作物を栽培するためには被覆土壌消毒を提案していた。その土壌消毒でも十分な効果を得られるとは言い難かったことから、ピラジフルミド水和剤ほか、各種生育期防除剤の実用化試験に全国の公設試と同様に積極的に取り組み、その結果、劇的な防除効果を得たことは本誌今号で既に述べられた通りである (小河原, 2023; 井上ら, 2023)。

ヘソディムはまずマニュアルを設定して、PDCA (計画・実行・評価・改善) により随時アップデートしており、静岡県でも表-1 の「前作の発病程度」は上述の通り当初 10%以上で最高のレベル 3 としていたものを生育期防除技術の高度化を反映して、30%以上に変更している。診断マニュアルと対にして作成している各種対策項目には、「土壌中の生存菌核の低減」, 「根圏にいる菌核の効果的な殺菌」, 「生き残った菌核の病原力の低減」といった目的があり、発病ポテンシャルレベルに応じてそれぞれの目的を達するためのメニューを用意している。

発病ポテンシャル「レベル 1」では、伝染源を入れず、仮に侵入したとしても発病しにくい圃場条件に保つための基本的な対策として、1) 「圃場衛生」, 2) 「土壌分析に基づく理化学性の改善」, 3) 「緑肥の鋤き込み」等の実施を挙げた。「レベル 2」は栽培条件によっては多発



図-1 HeSo+ 使用例 (ログイン/診断/対策結果入力)

する恐れがあるため、「レベル1」の対策に加え、まん延防止対策として、長期残効型の殺菌剤を用いた、4)「定植時薬剤防除」、黒腐菌核病菌の病原力を低下させる、5)「土壌 pH の矯正 (土寄せ時)」等の積極的な対策の実施を挙げた。可能であれば、低温遭遇期間、すなわち発病期間が短く、被害が軽くなる年内収穫へ、0)「作型の変更」の実施も提案する(「作型の変更」は、実施する場合には各種対策を考えるうえでの前提条件となるため、0)としている)。「レベル3」は放置すればネギ栽培が立ち行かなくなる危機的な状況であるため、レベル1, 2の対策とともに、緊急措置として、6)「土寄せ時の薬剤防除」の実施を挙げ、可能な場合は、7)「定植前の被覆土壌消毒」か、「ネギ属以外の輪作」を行うことで、土壌中の菌核の低減を図ることを提案する。7)を行わない場合、5)を「定植前植え溝転炉スラグ処理」に変更して定植時から安定的に pH 矯正 (目標 pH7.5) を行うことで、4)の効果を増強することも検討できるようにした (表-3)。

ヘソディムの最終目的は、診断結果に応じた必要十分な対策により圃場の発病ポテンシャルレベルを低い状態に維持することにある。これは、農業生産という植物や土壌にとって「未病」の状態を改善することや、QOL (Quality of life) を向上させるイメージであり、生産者の志向により内容は異なる。表-4 に HeSo+ 静岡県版に

おける生産者類型別に提案する対策を示した (2022 年 1 月時点)。表-3 をベースに、発病ポテンシャルレベル別・生産者の志向類型別に作成した。ケース1はネギを同じ作型で連作する生産者向けであり、ケース2はチャなど他作物との複合経営で雇用の通年化の目的もある経営体向け、ケース3と4はやや手間を掛けつつ化学合成農薬使用を控えたい生産者 (ケース3では不使用) を想定し、それに応じて技術内容を変更している。例えば輪作について、小河原ら (2014) の先導的な研究により一定の効果を示すことが報告されていたが、メカニズムが不明なため何作実施すれば良いかなどは示されなかった。本県の研究において、ネギ属以外の何らかの作目の栽培により、生存菌核密度の低減や株間伝染の遅延が見込めたことから (伊代住ら, 2015 ; 2021), ケース3, 4で積極的に活用するように (レベル3で2作以上) 提案している。実際には生産者の志向はきれいに類型化されるわけではないが、アプリ上で表示することで、様々な対策の考え方に触れる機会になればと考えている。なお、広域版で診断された場合には、現状では群馬県版と静岡県版の両方の対策をミックスしたものが提示される (図-1 排水性改善は群馬県版から)。

II 今後の課題

ヘソディムマニュアルや HeSo+ アプリは、ヘソディ

表-3 圃場のネギ黒腐菌核病リスクに対応した対策項目

対策項目（ネギ専作の場合）		発病ポテンシャルレベルごとの対策				目的
		対策レベル	1	2	3	
基本	1) 圃場衛生		○	○	○	生存菌核の低減
	2) 土壌分析に基づく理化学性の改善		○	○	○	病原力の低減
	3) 緑肥の鋤き込み		○	○	○	生存菌核の低減
まん延防止	0) 作型の変更（年内収穫へ） ^a			○	○	発病時期の短縮
	4) 定植時薬剤防除			○	○	効果的な殺菌
	5) 土壌 pH の矯正（土寄せ時） ^b			○	○	病原力の低減
緊急措置	6) 土寄せ時薬剤防除				○	効果的な殺菌
	7) 定植前の被覆土壌消毒/ネギ属以外の輪作				(○)	生存菌核の低減

^{a)} 作型の変更は、実施する場合には各種対策を考えるうえでの前提条件となるため、0)としている。

^{b)} 7) をしない場合、5) を定植前植え溝転炉スラグ処理 (pH7.5) に変更して4)の増強を検討。

表-4 HeSo + 静岡県版の生産者類型別対策リスト

対策・防除技術	生産者の類型			
	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
達成目標	前年並みの収量確保を目指す	低コスト化で前年比増益を目指す	付加価値追求を目指す	長期的計画で持続的農業を目指す
対策の考え方	前年並みの収量を得るための対策を目指す。そのため、時に、高コスト、減益の場合もある。	企業としての農業を強く意識し、常に低コスト、増益を目指し対策を講ずる。	生産者のニーズ (有機農業など) を最優先した対策を講ずる。このため、通常の栽培に比べ、高コスト、減益の場合もある。	長期的視点で、輪作や生態学的な管理を中心とした持続的安定生産を目指す。このため、圃場の状況によっては輪作、休耕等も含めた農地全体の計画的栽培管理を目指す。
発病ポテンシャル				
レベル 1*	①圃場衛生 (農機の洗浄など) ②緑肥植物の栽培 ③土壌理化学性の改善	①圃場衛生 (農機の洗浄など) ②緑肥植物の栽培 ③土壌理化学性の改善	①圃場衛生 (農機の洗浄など) ②輪作の実施 (ネギ属以外) ③土壌理化学性の改善	①圃場衛生 (農機の洗浄など) ②輪作の実施 (ネギ属以外) ③土壌理化学性の改善
レベル 2	④生育期の薬剤処理 (浸達性・長期残効性殺菌剤の苗または定植時処理) ⑤土壌 pH の矯正 (土寄せ時石灰施用 pH7.0)	④作期変更の検討 (春・夏収穫→秋・冬 (年内)) ⑤生育期の薬剤処理 (浸達性・長期残効性殺菌剤の苗または定植時処理) ⑥土壌 pH の矯正 (土寄せ時石灰施用 pH 7.0)	①' 圃場衛生** (残渣被覆腐熟処理でリスク低減) ④作期変更の検討 (春・夏収穫→秋・冬 (年内)) ⑤定植前の微生物農薬施用 ⑥土壌 pH の矯正 (土寄せ時石灰施用 pH7.0)	①' 圃場衛生 (残渣被覆腐熟処理でリスク低減) ④作期変更の検討 (春・夏収穫→秋・冬 (年内)) ⑤生育期の薬剤処理 (浸達性・長期残効性殺菌剤の苗または定植時処理) ⑥土壌 pH の矯正 (土寄せ時石灰施用 pH7.0)
レベル 3	⑥土壌消毒 (被覆全面処理。被覆土壌消毒しない場合は、④' ⑤' の追加対策) ④' 生育期の薬剤処理 (浸達性・長期残効性殺菌剤の苗または定植時処理 + 土寄せ時薬剤処理異なる系統で 2 回程度) ⑤' 土壌 pH の矯正 (定植時植え溝転炉スラグ施用 pH7.0-7.5)	⑦作物転換	②' 輪作の実施 (ネギ属以外 2 作以上) ⑥' 土壌 pH の矯正 (定植時植え溝転炉スラグ施用 pH7.0-7.5)	②' 輪作の実施 (ネギ属以外 2 作以上) ⑥' 土壌 pH の矯正 (定植時植え溝転炉スラグ施用 pH7.0-7.5)

*実際のアプリでは、各レベルで実施することをすべて書いてありますが、ここでは各レベルごとに追加 (変更) される分のみ記載してある。

**太字はより軽いレベルの同じ丸数字の対策の替わりに実施。

ムという概念を具現化した事例集と考えられる。重要なのはそれぞれの生産現場に合った圃場診断と必要十分な対策の実施により発生させない・まん延させないという管理方法が土壌病害管理の「デファクトスタンダード」になることであろう(吉田, 2015)。また、ヘソディム全般に言えることであるが、各作目において、重要な土壌病害は当然1種類ではなく、ネギで言えば萎凋病、軟腐病(各種細菌性腐敗病)、白絹病など高温期に発生する病害も併発している。それぞれのヘソディムが開発されないまでも、例えば黒腐菌核病の発病ポテンシャルレベルの高さが他の病害の発生にどのように影響するか、防除対策がどのように影響するか(同時防除可能か、場合によって助長しないか等)の情報を生産者や生産指導員向けにヘソディム実施時(HeSo+使用時)に提供できることが望ましい。これ自体がHeSo+の普及に寄与し、普及が進めば、AIモデルの性能向上や上記機能拡張に必要なデータの自動収集なども視野にいれることができるのではないかと考えている。

本研究の一部は、農林水産省委託プロジェクト研究

「AIを活用した土壌病害診断技術の開発」において実施した。

引用文献

- 1) ADAMS, P. B. and G. C. PAPAIVAS (1971): Phytopathol. **61**: 1253~1256.
- 2) アグロカネシヨウ株式会社 (2023): <https://www.agrokanesho.co.jp/soil/>
- 3) CROWE, F. J. et al. (1980): Phytopathol. **70**: 64~69.
- 4) ——— (2008): Compendium of Onion and Garlic Disease and Pests 2nd Edition, APS Press, Minnesota, USA, p.22~26.
- 5) HARRISON, D. E. (1954): J. Dep. Agr. Victoria. **52**: 510~520, 525.
- 6) IKEDA, S. and T. HOSOYA (2021): J. Gen. Plant Pathol. **87**: 138~147.
- 7) 伊代住浩幸ら (2012): 関東東山病虫研報 **60**: 55~57.
- 8) ———ら (2015): 植物防疫 **69**: 390~394.
- 9) ———ら (2021): 関西病虫研報 **63**: 39~45.
- 10) 片岡善仁ら (2018): 日植病報 **84**: 257 (講要).
- 11) NPO 法人圃場診断システム推進機構 (2023): https://hesodim.or.jp/news/report_12th-seminar/
- 12) 小河原孝司 (2014): 植物防疫 **68**: 25~29.
- 13) ——— (2023): 同上 **77**: 474~477.
- 14) TSUSHIMA, S. (2014): J. Gen. Plant Pathol. **80**: 389~400.
- 15) 井上 浩ら (2023): 植物防疫 **77**: 478~486.
- 16) 若井田正義 (1968): 宇大農学術特輯 **23**: 18~44.
- 17) 吉田重信 (2015): 植物防疫 **69**: 770~772.
- 18) ——— (2023): 同上 **77**: 213~217.

発生予察情報・特殊報 (2023.7.1~2023.7.31)

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/>) でご確認ください。

- サツマイモ(かんしょ): ヨツモンカメノコハムシ(岐阜県: 初) 7/3
- サトウキビ: ヒゲマダライナゴ(鹿児島県: 初) 7/5
- シャクヤク: 褐変えそ症状(富山県: 初) 7/6
- トマトキバガ(侵入警戒トラップでの誘殺)(北海道: 初) 7/7
- ビワ: ビワキジラミ(奈良県: 初) 7/11
- トマトキバガ(侵入警戒トラップでの誘殺)(高知県:

- 初) 7/14
- トマトキバガ(侵入警戒トラップでの誘殺)(徳島県: 初) 7/21
- トマトキバガ(侵入警戒トラップでの誘殺)(宮城県: 初) 7/24
- にんじん: ホモノハダニ(兵庫県: 初) 7/25
- トマトキバガ(侵入警戒トラップでの誘殺)(香川県: 初) 7/27



植物の匂いを利用した減農薬栽培技術の開発

東京理科大学先進工学部生命システム工学科 ^{あり}有 ^{むら}村 ^{げん いち ろう}源 一 郎

はじめに

害虫に食害された植物は、害虫に対して毒性のある特化代謝物（二次代謝物）や防御タンパク質を生産することで防御力を高めることができる。さらに、食害された植物からは特殊なブレンドの匂いが大気中に放出され、害虫の天敵である寄生蜂や捕食性昆虫を惹きつける。つまり、植物は害虫を直接攻撃する防御物質などの生産と害虫の天敵を誘引する間接的な防衛を組合せた複合的な戦略を用いて害虫から身を守る。また、食害された植物から放出される匂いは周囲の未被害植物に受容されることで、受容植物の害虫抵抗性を高めることから、植物は匂いを立ち聞きすることで害虫の被害に備えることもできる。

近年、脱農薬生産システムを用いたサステイナブルな食と環境づくりが社会ニーズとなりつつある。そのための施策の一つとして、植物が放出する匂いを利用した栽培システムの開発が期待されている。本稿では、筆者らが開発を試みる、匂いを放出するコンパニオンプランツ（共栄植物）や、有用な匂い化合物を植物免疫活性化バイオスティミュラントとした農業技術の開発につながる基盤研究について紹介する。本稿が、減農薬栽培技術に興味をもつ企業や生産者の方にとって一助となることを願う。

I 植物の匂いを介した生物間コミュニケーション

植物の匂いと言えば、花や果実の匂いや香草の匂いをまず想像するであろう。花や果実の匂いは、遠方にいる花粉媒介者や種を運ぶ動物を惹きつけるための道標になる。これらの恒常的に放出される匂いに加え、植物は害虫に食害されることで匂いの生産を誘導し、大気中に放出することも知られている。これらの匂いは、害虫を忌避させることで虫害のさらなる拡大を防いだり、害虫の

天敵（寄生蜂や捕食性昆虫）を誘引したりすることで害虫の密度を低下させる効果がある（図-1）。

さらに、これらの誘導性の匂いは周囲の植物に受容（立ち聞き）される場合がある。これらの受容植物の葉では防御遺伝子の活性化等によって害虫に対する防御力が高まる（図-1）。例えば、ナミハダニに食害されたりマメから放出される β -オシメンやジメチルノナトリエンといったテルペン類にさらされた健全リマメ葉では、*PR* 遺伝子といった防御遺伝子が活性化されナミハダニに対する抵抗性が高まることが見いだされている（ARIMURA et al., 2000）。このような匂いを介した植物間コミュニケーションは、リマメ以外の様々な栽培種、草本、低木、樹木でも観察され、生態系における生物間相互作用には欠かせない現象として理解されつつある。

植物間コミュニケーションの成り立ちには諸説がある。なかでも、害虫に食害された植物が同一個体内の未被食部位に匂いの信号を送ることで個体内の全身で害虫抵抗性を高める戦略から、周囲の植物がそれらの匂いを立ち聞きするようになり、植物間コミュニケーションに発展（進化）したと言う仮説の信憑性が高い（ARIMURA, 2021）。

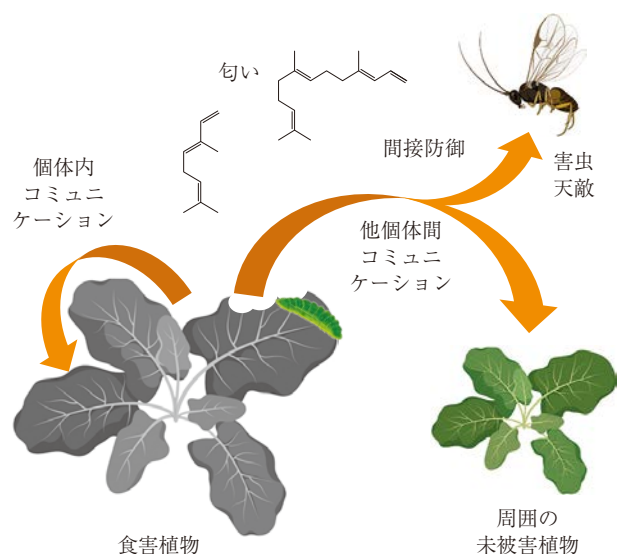


図-1 植物の匂いを介した植物の防御戦略

Development of Pesticide-reducing Cultivation Techniques Using Plant Volatiles. By Gen-ichiro ARIMURA

（キーワード：匂い，害虫の天敵，植物間コミュニケーション，植物免疫活性化バイオスティミュラント）

また近年では、テルペン類であるカリオフィレンにさらされたタバコの細胞内で匂いに結合するタンパク質(TPL)が植物の防御応答を活性化する因子として発見された(NAGASHIMA et al., 2019)。さらに匂いの刺激によって植物が数日間は防御力を維持できることも明らかにされた(SUKEGAWA et al., 2018; ONOSATO et al., 2022)。しかし、いまだに植物がどの場所でどのようにして匂いを受容しているのかは不明である。

II ミントの匂いは害虫の天敵誘引剤

食害によって誘導された植物の匂い以外にも、植物の防御応答を活性化できる匂いがあると考え、筆者らは香草であるミントの匂いに注目した。古くから、庭やベランダにハーブを栽培することで、屋内に虫が入りにくくなることから、ハーブの匂いは虫の忌避剤としてはたらくことが知られている。しかし、ミントの匂いにはほかの生物間コミュニケーションにおける機能が備わるかについては調べられていなかった。

そこで筆者らは、ナミハダニの捕食性天敵であるチリカブリダニがミントの匂いに誘引されるかを検証したところ、ミントの種の中でキャンディミントにチリカブリダニを誘引する能力があることを見いだした(TOGASHI et al., 2019)。驚いたことに、これらの誘引能力はハダニに食害されたインゲンマメ葉から放出される匂い成分のブレンドよりも高かった(図-2)。さらに、雑食性の捕食性昆虫であるタバコカスミカメは、キャンディミン

トの匂いに未経験の場合はキャンディミントの匂いを選択することはないが、あらかじめキャンディミントの匂いのある環境で育つ、つまり匂いを体験することで、キャンディミントの匂いへの嗜好性が高まった(RIM et al., 2020)(図-2)。

これらの結果は、ミントの匂いが害虫の捕食性昆虫である益虫を誘引する能力を示す初例となり、ミントのコンパニオンプランツ(混植することで、病虫害被害を抑えたり植物の生長を助ける植物)としての実装の価値を示すに至った。

III ミントの匂いは植物間コミュニケーションをも司る

前章で紹介した、害虫の忌避や害虫の天敵の誘引作用をもつミントの匂いは、さらに周囲の植物の防御応答を誘導する植物間コミュニケーションの情報伝達を担う。キャンディミントやペパーミントの近くでダイズを栽培すると、ミントの匂いを受容したダイズ葉における防御遺伝子(*PR1*)の発現が促進され(図-3)、ナミハダニやハスモンヨトウといった害虫やダイズサビ病菌に対する抵抗性が増すことが明らかにされている(SUKEGAWA et al., 2018)。ほかのミント種の近くで栽培されたダイズ葉では防御遺伝子の発現は促進されなかったことから、特定のミント種の匂い成分のみにダイズの防御遺伝子を誘導する能力が備わることが示唆された。実は、キャンディミントとペパーミントは近縁品種であり匂い組

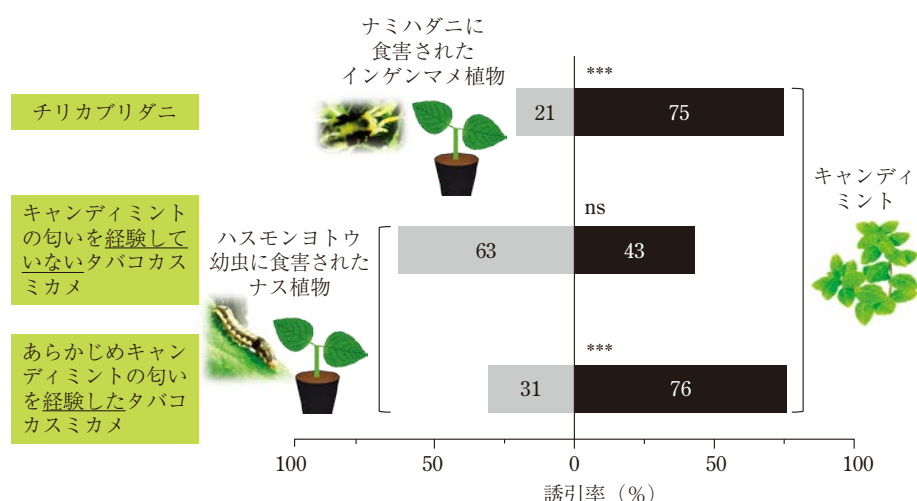


図-2 キャンディミントの匂いによる捕食性天敵の誘引

Y-チューブオルファクトメーターを用いて、ナミハダニに食害されたインゲンマメとキャンディミントのどちらの匂いにチリカブリダニが誘引されるか、ハスモンヨトウ幼虫に食害されたナスとキャンディミントのどちらの匂いにタバコカスミカメが誘引されるかを評価した。その結果、チリカブリダニはキャンディミントの匂いを選択し、タバコカスミカメはあらかじめキャンディミントの匂いを体験することで、キャンディミントの匂いを選択することが示された。***: $P < 0.001$, ns: 有意差なし (GLM with a Wald test)。

成も酷似している。それらに含まれるメントール、メントン、1,8-シネオールといったテルペン類が防御遺伝子の活性化を担う (SUKEGAWA et al., 2018)。

上記の室内アッセイの成果を踏まえ、キャンディミントやペパーミントの野外における効果も検証された。キャンディミントの近く (～100 cm) でダイズを栽培した結果、害虫に対する被害率は半分になった。同様な効果は、温室内でペパーミントの近く (～100 cm) で栽培されたコマツナでも認められた (図-4)。つまり、特定のミント種の匂いは栽培植物の潜在的な防御力を向上させるコンパニオンプランツとして有用であることが示唆された。しかし、これらのミントをコンパニオンプランツとして利用しても害虫の被害を完全に抑えることはできない。故に、ミント・コンパニオンプランツの利用と極低濃度の農薬をハイブリッド方式にすることが実装的な栽培法であると筆者は考える。また、ミント・コンパニオンプランツはハダニのように農薬抵抗性を獲得しやすい害虫に対しても有効であろう。

尚、ミントの匂いにさらされた栽培植物では、ヒトにとって健康機能性をもつ防御物質 (トマトのリコピンや

ダイズのイソフラボン等) の含有量が高まる可能性があることから、ミントを使った栽培技術は生産物に付加価値をもたらすことも期待できる。

IV 植物免疫活性化バイオスティミュラントの開発

メントール等のミントの匂いには植物の防御応答を活性化させる効果が備わる事例について前章で紹介した。筆者らは、このメントールの能力をさらに高めるために、メントールの水酸基にバリンを付加したメントールバリン (ment-Val) を開発した (TSUZUKI et al., 2022)。ment-Val 溶液をダイズ葉に 0.1, 1, 10 μ M の溶液で噴霧処理したところ、1 μ M の溶液を処理したダイズの葉における防御遺伝子 *PR1* の発現量が増加した (図-5)。興味深いことに、メントールを気体としてダイズ葉にさらした場合は *PR1* の発現は促進するが (SUKEGAWA et al., 2018), 溶液の状態では噴霧処理しても効果はないことも見いだされた。

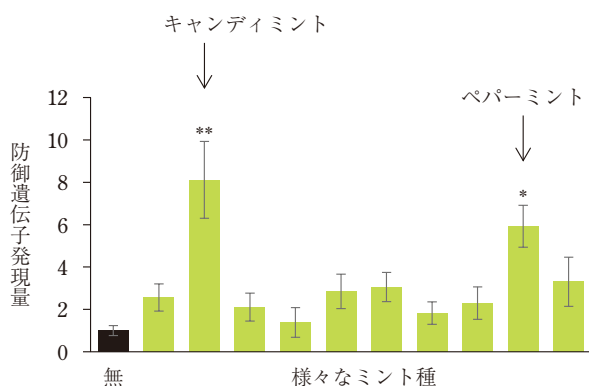


図-3 室内で様々なミント種の近傍 (10 cm) で3日間栽培されたダイズ葉における防御遺伝子 (*PR1*) の発現量

** : $0.001 \leq P < 0.01$, * : $0.01 \leq P < 0.05$ (Mann-Whitney U-test).

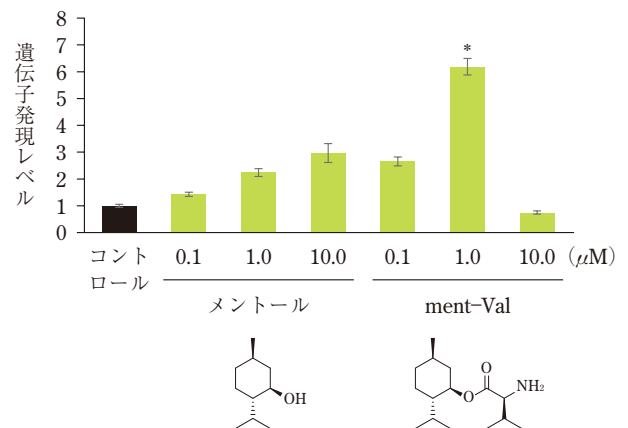


図-5 メントール誘導体 (ment-Val) が処理されたダイズ葉における防御遺伝子 (*PR1*) の発現量

メントール溶液 (1 μ M), ment-Val 溶液 (1 μ M), コントロール溶液をダイズ葉に噴霧処理し、1日後の *PR1* の発現レベルを解析した。* : $0.01 \leq P < 0.05$ (ANOVA with Holm's sequential Bonferroni post-hoc test).

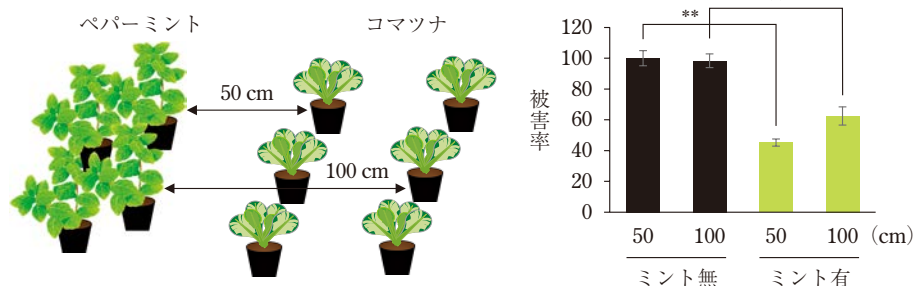


図-4 温室内でペパーミントの近傍 (50, 100 cm) で16日間栽培されたコマツナにおける害虫被害率

** : $0.001 \leq P < 0.01$ (Mann-Whitney U-test).

ment-Val 溶液を処理したダイズの葉におけるハスモンヨトウの幼虫被害面積を測定したところ、ment-Val の場合はコントロールと比較して被害面積が5分の1程度に抑えられた (Tsuzuki et al., 2022)。同様に、ment-Val 溶液を処理したダイズ葉では、コントロールと比較してハダニの産卵を半分程度に抑えた。また、ment-Val 処理によって、エンドウ、コマツナ、タバコ、レタス、トウモロコシの葉における防御応答が活性化されたことから、ment-Val は様々な植物種の栽培に利用できるであろう。また、ダイズ葉における ment-Val の効果は処理後3日間程度であるが、ment-Val 溶液を再処理することで防御応答を再活性化できることが認められている。つまり、ment-Val 溶液の再処理を繰り返すことで、長期的に植物の防御力を高めることが可能である。

ment-Val 自体がハスモンヨトウ幼虫にとって有害性や忌避効果を示すわけではない。ment-Val を UV (波長 254 nm)、熱 (60℃)、酸 (pH 2)、アルカリ (pH 12) にそれぞれ8時間暴露しても分解は起こらないことから、本研究で開発された ment-Val は、生物には無害で、化学的にも安定な、植物の潜在的な防御力を高める植物免疫活性化バイオステイミュラントとして利用できる。ment-Val のように植物の害虫に対する防御力を高めるバイオステイミュラントは、筆者の知る限り、アザミウマの防除に有効なジャスモン酸類縁体であるプロヒドロジャスモン (PDJ) のみである (安部ら, 2019)。今後、これらに続く新しい資材の開発にも期待したい。

おわりに

植物の匂いを介した害虫天敵の誘引および植物間コミュニケーションは、植物がもつ自然の力であるため、当

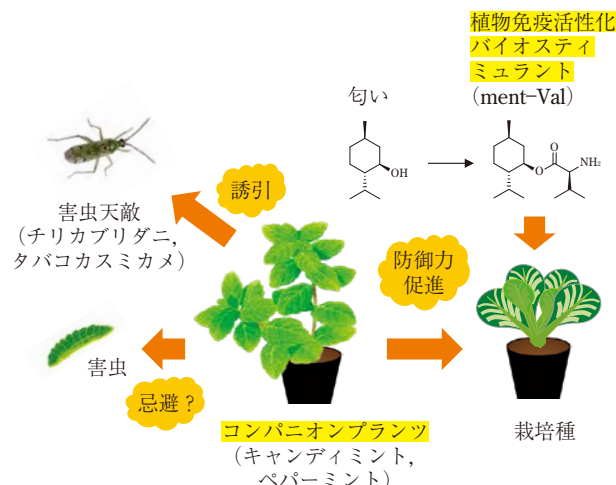


図-6 マルチタレントな活性をもつコンパニオンプランツと植物免疫活性化バイオステイミュラントを用いた害虫防除モデル

該現象を活用した栽培法を実践した場合、有機栽培ブランドとしての商業的価値が高い。さらに、キャンディメントやペパーミントの匂いには、害虫の忌避、害虫天敵の誘引、植物の防御応答の活性化といった複数の効果があるため、野外では思いもよらない相乗効果を生み出すことも期待できる (図-6)。

引用文献

- 1) 安部 洋ら (2019): 日本農薬学会誌 44(2): 181~185.
- 2) ARIMURA, G. (2021): Trends Plant Sci. 26(3): 288~298.
- 3) ——— et al. (2000): Nature 406(6795): 512~515.
- 4) NAGASHIMA, A. et al. (2019): J. Biol. Chem. 294(7): 2256~2266.
- 5) ONOSATO, H. et al. (2022): Plant Physiol. 189(2): 922~933.
- 6) RIM, H. et al. (2020): Sci. Rep. 10(1): 2078.
- 7) SUKEGAWA, S. et al. (2018): Plant J. 96(5): 910~920.
- 8) TOGASHI, K. et al. (2019): Sci. Rep. 9(1): 1704.
- 9) TSUZUKI, C. et al. (2022): Plant Mol. Biol. 109: 523~531.

 研究
報告

静岡県における土着系統のタバコカスミカメによる施設大玉トマトのタバココナジラミ防除体系の構築

静岡県農林技術研究所 さいとう ち はる ど い まこと なか の りょうへい
齊藤 千温*・土井 誠・中野 亮平

はじめに

静岡県のトマト産出額は61億円（2020年）であり、野菜類ではイチゴに次いで第2位に位置する重要品目である。しかし、施設トマト栽培では、タバココナジラミが媒介するトマト黄化葉巻ウイルス（TYLCV）や、近年では本種とオンシツコナジラミが媒介するトマト退緑ウイルス（ToCV）のまん延が安定生産上の大きな脅威となっている（本多，2006；上田・寺見，2022）。現状ではコナジラミ類の防除は化学合成農薬に多くを依存しているが、タバココナジラミは多くの薬剤に対する抵抗性を発達させている（徳丸・林田，2010；石川ら，2018；佐々木ら，2022）ため農薬による防除が難しく、施設トマト栽培における最重要害虫となっている。また、食の安全、環境にやさしい農業の推進といった観点から、近年では環境負荷が少なく、省力的な病虫害防除技術が求められている。

これらを受けて、静岡県では、施設大玉トマトのタバココナジラミを対象として、天敵タバコカスミカメによる防除体系を開発してきた（中野ら，2016；土田ら，2017）。タバコカスミカメ製剤は，2021年5月にトマト（施設栽培）およびキュウリ（施設栽培）を対象に農薬登録され，2022年4月にミニトマト（施設栽培）に登録拡大されている。2023年6月現在，本種製剤は5,000円程度/100頭で販売されている。しかし，静岡県内には本種の土着系統が低密度ながら存在しているため，農薬登録前から土着系統の使用を望む声があった。さらに，本種の農薬登録後も，毎年かかる天敵購入費用が生産者の負担となっている。そこで，静岡県農林技術研究所で

は，本種の静岡県土着系統の供給体制を整備し，その利用方法をまとめたので，本稿で紹介する。なお，本稿では，静岡県平野部で，施設大玉トマトのタバココナジラミ防除を目的に本種を利用する長期栽培の作型（8月に定植し翌年7月上旬まで収穫）を前提として説明する。本稿で紹介する内容はマニュアル（静岡県経済産業部，2023）としても公開されているため，併せて参照されたい（https://www.pref.shizuoka.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/054/610/684.pdf）。

また，タバコカスミカメを利用した施設大玉トマトのタバココナジラミ防除技術のさらに詳しい内容や選択性薬剤等の情報は，「天敵の利用を核とした施設トマトの新たな害虫防除体系マニュアル—中部地方版—（静岡県農林技術研究所・農研機構中央農業研究センター，2019）」，「化学合成殺虫剤を半減する新たなトマト地上部病害虫防除体系マニュアル—個別技術集—（農研機構中央農業研究センター，2019）」，および一連のマニュアルを参照して欲しい（https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/129995.html）。

なお，本研究の一部は，戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「次世代農林水産業創造技術」（管理人：生研支援センター）によって実施したものである。また，本研究を行うにあたり，高知県農業技術センター中石一英博士には，高知県内の天敵温存ハウスを視察させていただくなど有益な情報をいただいた。この場を借りて厚く御礼申し上げる。

I 静岡県土着系統の供給体制の整備

1 土着系統の捕獲と増殖

タバコカスミカメ（図-1）はクレオメ（図-2）やゴマなどの植物質のみを餌として増殖可能である（NAKANO et al., 2021）。なお，本稿では本種が増殖可能な植物を「天敵温存植物」と呼ぶ。これらの植物を野外で栽培すると，静岡県では8～9月ごろから少数ながら本種の発生を確認できる。筆者らは，2020年に磐田市の家庭菜園のゴマ

Establishment of a Whitefly Control System in Tomato Greenhouses Using Indigenous *Nesidiocoris tenuis* in Shizuoka Prefecture.
By Chiharu SAITO, Makoto DOI and Ryohei NAKANO

（キーワード：タバコカスミカメ，土着天敵，タバココナジラミ，IPM）

*現所属：静岡県西部農林事務所



図-1 天敵のタバコカスミカメ成虫
成虫の体長は3~4 mm.



図-2 天敵温存植物のクレオメ
葉がタバコカスミカメによる吸汁により縮れたり穴が開いているが、本種がいる証拠なので問題ない。



図-3 研究所内に設置した土着系統用増殖温室
小型ガラス温室内部に0.4 mm 目合の防虫ネットで網室を作成し、その内部で鉢植えのクレオメをタイマー式の底面給水で管理している。



から、2021年に掛川市の街路のクレオメから静岡県土着系統のタバコカスミカメを捕獲した。捕獲したタバコカスミカメは、研究所内の増殖温室（図-3、小型ガラス温室内部に0.4 mm 目合の防虫ネットで網室を作成）の中に鉢植えしたクレオメ（カラーファウンテン）を配置し、タイマー式の底面給水で栽培した。害虫の侵入リスクを減らすために増殖温室への出入りは最低限に抑え、2年以上害虫の侵入を防いでいる。増殖温室は通年無加温だが、静岡県平野部では冬期にクレオメが枯死す

ることはなく、越冬時に一時的に本種個体数が減少するものの、通年でクレオメと本種の維持が可能である。

2 土着系統配布体制の整備

土着天敵は、農薬取締法に規定する特定農薬（通称「特定防除資材」）として指定されている。天敵の使用、増殖または販売に伴う自然環境や生態系への悪影響を避けるため、平成26年（2014年）3月28日付で、農林水産省消費・安全局長、環境省水・大気環境局長の連名で、「特定農薬（特定防除資材）」として指定された天敵の留

意事項について（25 消安第 5777 号環水大士発第 1403282 号）」の通知が発出されている。主だった内容は、土着天敵の採取・増殖・使用は同一県内に限ること、採取または増殖した土着天敵を無償譲渡または販売する者は都道府県知事へ販売者の届出を提出すること、帳簿は 3 年間保存すること、である。そこで、静岡県農林技術研究所は農薬販売者の届出を提出し、「農薬販売者の証」を取得した。

譲渡先の生産者との土着天敵の取扱いに関する取決めや帳簿を整理するため、「平成 26 年（2014 年）4 月 11 日付け関東農政局消費・安全部安全管理課事務連絡」の様式を参考に、当研究所用の土着天敵の配布に係る様式を整備した。静岡県土着系統のタバコカスミカメの利用を希望する施設大玉トマトの生産者と「土着天敵の取扱いに関する取決め」を締結し、土着天敵を無償譲渡し、帳簿を 3 年間保存している。しかし、令和 5 年現在は、生産者自らの土着天敵の捕獲を基本としており、捕獲が失敗した場合のみ生産者から研究所に分譲の打診を行っていることとしている。

II 土着系統の捕獲または分譲と増殖方法

1 自ら土着系統を捕獲し増殖する場合

図-4 に土着系統タバコカスミカメ利用のイメージを、図-5 に土着系統利用時の作業スケジュール例を示した。自ら土着系統の捕獲と増殖を行うためには、本圃での利用を予定する前年の春から準備を開始する。

（1）野外からの土着系統の捕獲

利用予定前年の 4 月ごろにクレオメまたはゴマを 10

株以上野外に播種する。9 月ごろになると、野外に播種した天敵温存植物の生長点付近に自然発生したタバコカスミカメを見つけることができる。天敵温存植物の生育が悪くなってきた場合は、枯れてしまう前に再度播種する。これらの個体を吸虫管（通販での購入や、インターネット等の情報を参考に自作できる）等で捕獲し、後述の簡易ハウス内のクレオメへ放飼する。

（2）小型簡易ハウスの設置と、クレオメを利用したタバコカスミカメの増殖

利用予定前年の 5 月ごろまでに小型簡易ハウス等を設置し、内部でクレオメの栽培を開始する。通気性を確保するためハウスには開口部を設けるが、害虫の侵入を防ぐため、開口部には必ずネット（0.4 mm 目合推奨）を展張する。

購入したクレオメの種子を播種して、簡易ハウス内部で育苗する。クレオメの発芽には変温条件が必要となるため（安部・松尾，2019），出芽に適した春のうちに播種し、3 号鉢に 1 株ずつ育苗する。クレオメは十分な根域があると株が巨大化する。このため、底穴がスリット状の鉢を使用すると根が突き抜けにくくなり、株の巨大化を防ぐことができる。底面給水方式にすれば、水かけの回数や害虫侵入リスクを減らすことができる。簡易ハウス内のクレオメは、野外から捕獲したタバコカスミカメを導入するまでにある程度の大きさ（本葉 5 枚以上）まで生育していることが望ましい。

野外から捕獲した土着系統のタバコカスミカメをクレオメに放飼すると、本種はクレオメ上で増殖する。捕獲翌年のトマトでの使用時まで本種とクレオメを絶やさな

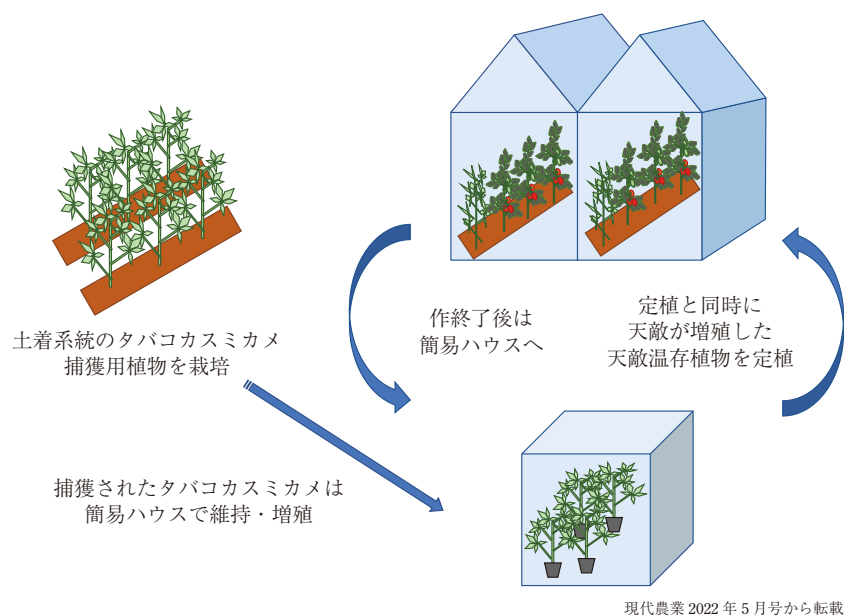
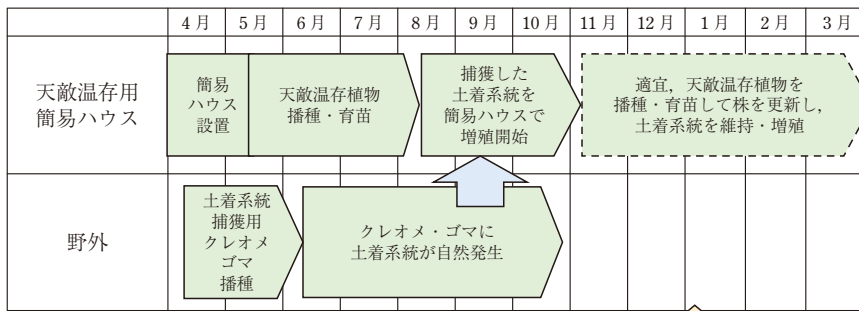
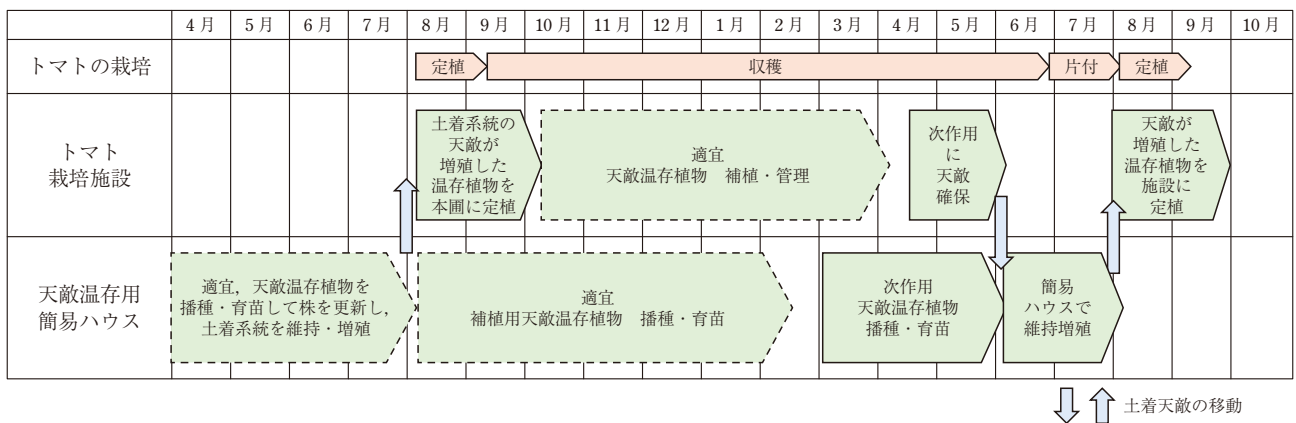


図-4 土着系統利用のイメージ

【トマト栽培施設で利用する前年】



【トマト栽培施設で利用する当年】



静岡県経済産業部（2023）を一部改変

図-5 土着系統利用時の作業スケジュール例

ように、定期的に播種・育苗あるいは脇芽を芽挿しして株を更新する。トマト栽培施設へ持ち込むためのクレオメ苗は、施設面積1aに対し3株以上を作成する。

2 研究所から土着系統の分譲を受ける場合

分譲を受けようとする生産者は、土着系統の利用を予定する年の4月ごろまでに上述の小型簡易ハウスを設置し、内部でクレオメを栽培しておく。トマト栽培施設へ持ち込むためのクレオメ苗は、前述と同様に施設面積1aに対し3株以上を作成する。トマト栽培施設への導入まで、病害虫が発生しないように簡易ハウスの中で管理する。

研究所と「土着天敵の取扱いに関する取決め」を締結後、クレオメの苗が用意できたら、研究所内の増殖ハウスから捕獲したタバコカスミカメを簡易ハウス内のクレオメに放飼し、本種を増殖させる。

Ⅲ 大玉トマト栽培施設への土着系統の導入と次作へ天敵の引き継ぎ

タバコカスミカメを利用する場合は、黄化葉巻病耐病性品種の利用を推奨する。耐病性品種を用いることで本

種の効果を最大限に活用可能である。トマトの育苗や定植時に本種への影響期間が長い薬剤（ネオニコチノイド系薬剤など）を使用した場合は、その影響が失われることを目安に本種が増殖したクレオメを株ごと導入する。ただし、気温が低いとタバコカスミカメの定着が劣るため、遅くとも9月上旬までに導入する。本種に影響の大きい薬剤を育苗や定植時に使用していない場合は、トマトの定植と同時に導入する。

クレオメの定植本数は、大玉トマト栽培施設面積1aに対し1株以上（可能であれば3株程度）が望ましい。葉や茎にトゲがあるので、畝の端など、作業の邪魔になりにくい場所に分散して定植する。定植する際は、株の巨大化を防ぐため鉢をつけたまま植え、トマトと同様に誘引する。先端に花を咲かせたシュートはいずれ枯れてしまうため、適宜摘花を行う。摘花後の花は害虫密度が高い（暖房機の近くなど）トマトの株元に置く。クレオメの生育が悪くなってきた場合は、枯れてしまう前に次の株を用意する。このように、タバコカスミカメ利用中は天敵温存植物が常に施設内に存在するようにする。

トマトの栽培後期に施設内のトマトやクレオメから本

種を採集し、あらかじめ用意したクレオメを使用して簡易ハウスで再び増殖することにより、本種を次作以降に引き継ぐことが可能である。

Ⅳ タバコカスミカメを利用した防除による効果

30 a 規模の現地養液栽培施設（8月定植～翌年6または7月終了）におけるタバココナジラミの発生推移について、土着系統利用時（2021～22年）の結果と、当該生産者の慣行栽培（2019～20年、農薬散布による防除主体）の結果を図-6に示した。慣行栽培（図-6右）では、定植から翌年4月までタバココナジラミはごく低密度に抑制されたが、栽培後期には爆発的に増加した。一方、タバコカスミカメを利用した防除体系（図-6左）では、タバココナジラミは栽培期間を通して低密度に抑えられ、栽培終了時の害虫密度は慣行栽培の3%以下となった。栽培終了時のタバココナジラミを低密度に維持できることから、ウイルス保毒虫の次作への移入や周辺環境への飛散量を削減し、地域内のタバココナジラミ媒介ウイルス病の伝染サイクルを断ち切る効果も期待できる。なお、市販の天敵製剤を使った試験でも同様の防除効果が得られる。

本防除体系では、定植から11月までは慣行と同程度に天敵に影響の小さい選択性薬剤による防除を行う。12～2月および5月以降はタバコカスミカメの効果により殺虫剤の使用を削減可能である。残念ながら、本種と同時に利用できる選択性薬剤は多くない。このため、使用回数制限のない非化学農薬などを上手に利用しながら、計画的に選択性薬剤を使うことが重要なポイントとなる。例えば、コナジラミ類成虫忌避剤（加嶋ら、2021）を定植後から7日程度の間隔で連続散布したり、気門封

鎖型殺虫剤を上手に使うことで選択性薬剤の温存が可能である。3～4月には害虫の増加に対して天敵の増加が一時的に追いつかない現象が生じることがある。この時期に温存した選択性薬剤を使用することが防除成功のための鍵となる。

図-6の事例では、農薬散布による防除が主体の慣行栽培と比較し、コナジラミ類を対象とした殺虫剤（化学合成殺虫剤・気門封鎖型殺虫剤・コナジラミ成虫忌避剤を含む）の散布回数はほぼ同等であった（表-1）。しかし、タバコカスミカメと気門封鎖型殺虫剤およびコナジラミ成虫忌避剤を組合せることで、タバココナジラミを対象とした化学合成殺虫剤成分数を7割以上削減できた。本防除体系により、化学合成農薬の使用量を低減可能であり、害虫の薬剤抵抗性の発達遅延や、消費者が求める「安心・安全」な農産物の生産に貢献できると考えられる。

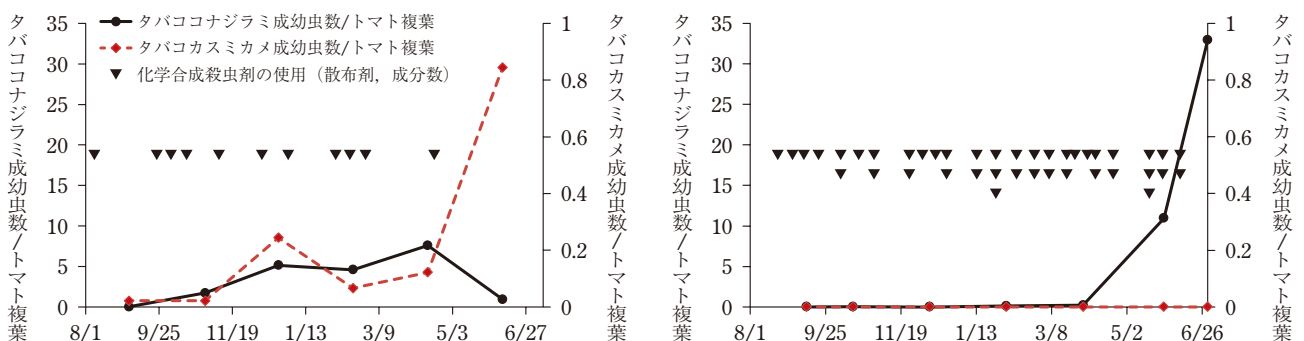
Ⅴ 普及上の留意点

1 総合的な防除を行う

本防除体系は、施設内への害虫侵入防止対策（防虫ネットの展張など）、ウイルス病発病株の迅速な除去、植物残渣の適切な処分、選択性薬剤や粘着トラップの使用など、既存の防除対策と統合し、総合的な防除を行うことを前提とする。

2 タバコカスミカメ使用上の注意点

タバコカスミカメは、害虫だけでなくクレオメなどの特定の植物を食べても増殖することができる雑食性昆虫であるため、特定の条件でトマトの植物質を加害することがある（CASTAÑE et al., 2011）。特に、気温が高い時期にトマト上でタバコカスミカメが極端に増えると、トマトの花や果実に被害が発生する可能性がある。本種が増



静岡県経済産業部（2023）を一部改変

図-6 土着系統のタバコカスミカメを利用した現地生産者におけるタバココナジラミとタバコカスミカメ数の推移（2021～22年作：左グラフ）

参考として当該生産者の慣行栽培時のデータを示す（2019～20年作）：右グラフ。

両作とも、長期栽培（8月定植～翌7月終了）、黄化葉巻病耐病性品種利用。

表-1 土着系統のタバコカスミカメを利用した現地生産者における農薬使用実績^{a)}

殺虫剤散布回数とその内訳	土着系統 タバコカスミカメ 利用 (2021～22 年作)	慣行栽培 ^{b)} (2019～20 年作)	削減率 (%) ^{c)}
コナジラミ類を対象とした殺虫剤散布回数 ^{d)}	22	24	8.3
化学合成殺虫剤成分数	11	41	73.2
気門封鎖型殺虫剤	15	1	—
コナジラミ類成虫忌避剤	21	0	—

^{a)} 両作とも長期栽培（8月定植，2019～20年作は翌7月中旬，2021～22年作は翌6月末終了），黄化葉巻病耐病性品種利用。

^{b)} 参考として当該生産者の慣行栽培時の実績を示す（2019～20年作）。

^{c)} 次の式から算出：削減率（%）＝100－（2021～22年作/2019～20年作×100）。

^{d)} 本圃定植後にコナジラミ類に登録のある殺虫剤（化学合成殺虫剤，気門封鎖型殺虫剤およびコナジラミ類成虫忌避剤含む）を散布した回数。

加しすぎた場合は天敵温存植物を刈り込む等して天敵数を減少させる。

3 天敵温存植物使用上の注意点

使用する天敵温存植物の品種登録の有無を確認する（農林水産省品種登録ホームページ，<https://www.hinshu2.maff.go.jp/>）。品種登録されている場合には自家増殖等が禁止されている。なお，本研究で使用したクレオメ（カラーファウンテン）は品種登録されておらず，自家増殖が可能である。

4 天敵製剤および土着系統使用上の注意点

タバコカスミカメのトマト栽培施設以外での自家増殖，導入した栽培施設以外への移動，作をまたいだ使用が可能なのは土着系統（自ら捕獲した系統あるいは研究所から分譲された系統）のみである。天敵製剤を購入した場合は上記の利用はできないので注意する。なお，土着系統であっても，県をまたいだ分譲・増殖・使用はできない。また，土着系統を使用する場合でも周辺環境への影響を低減するため，トマト栽培施設や天敵温存用簡易ハウスにはネットを展張し，トマト栽培終了後にはハウス内の蒸し込みにより本種を死滅させてから片付けを行うなど，本種の野外への逸脱を防止する措置を講じる。

おわりに

現在，タバコカスミカメを使用したコナジラミ類やア

ザミウマ類の防除体系を作成する取り組みが全国的に進められており，その地域の気候や作型にあった使用方法が開発されつつある。それらの研究が実を結び，生産者の殺虫剤散布にかかる労力や苦勞が少しでも低減することを期待している。

引用文献

- 1) 安部順一郎・松尾光弘（2019）：「第2章天敵温存植物」『化学合成殺虫剤を半減する新たなトマト地上部病害虫防除体系マニュアル—個別技術集—』農研機構中央農業研究センター：9～15，https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/SIPtomatomanual190404-2205s.pdf
- 2) CASTAÑE, C. et al. (2011) : Biol Control 59 : 22～29.
- 3) 本多健一郎（2006）：野菜茶業研究集報 3 : 115～122.
- 4) 石川博司ら（2018）：関西病虫研報 60 : 117～120.
- 5) 加嶋崇之ら（2021）：応動昆 65 : 1～11.
- 6) 中野亮平ら（2016）：関西病虫研報 58 : 65～72.
- 7) NAKANO, R. et al. (2021) : BioControl 66 : 407～418.
- 8) 農研機構中央農業研究センター（2019）：化学合成殺虫剤を半減する新たなトマト地上部病害虫防除体系マニュアル—個別技術集—，https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/SIPtomatomanual190404-2205s.pdf
- 9) 佐々木彩乃ら（2022）：関西病虫研報 64 : 151～154.
- 10) 静岡県経済産業部（2023）：あたらしい農業技術 684.
- 11) 静岡県農林技術研究所・農研機構中央農業研究センター（2019）：天敵の利用を核とした施設トマトの新たな害虫防除体系マニュアル—中部地方版—，https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/SIPtomatomanual_4cyuubu.pdf
- 12) 土田祐だら（2017）：応動昆 61 : 215～222.
- 13) 徳丸 晋・林田吉王（2010）：応動昆 54 : 13～21.
- 14) 上田重文・寺見文宏（2022）：日植病報 88 : 250～253.

 研究
報告

炭酸カルシウム水和剤中の添加剤による リンゴ害虫モモシクイガの産卵抑制効果

京都大学大学院農学研究科応用生命科学専攻

かざま
風間はるな
春奈・吉永よしなが
直子

青森県産業技術センターりんご研究所

いし
石ぐり
栗よう
陽いち
一

はじめに

モモシクイガ *Carposina sasakii* はリンゴやモモなどバラ科果実を加害する害虫である。これら青果の輸出最大相手国である台湾には生息しない検疫害虫であり、出荷果実における本種の混入阻止が重大な課題となっている（横地，2007）。X線透過画像解析技術（小谷・鈴木，2013）やヨウ化メチルによる燻蒸処理（SOMA et al., 2023）など、防疫のための新技術確立が進められている。一方、本種は難防除害虫でもある。成田（1987）が示す通り、幼虫期は果実に穿孔するため殺虫剤が効きにくい。成虫は発生時期が長期にわたるため農薬の頻回散布を要することなど、合成農薬による防除は課題が多い。袋掛け栽培や石灰散布など様々な技術が模索されてきた中で、炭酸カルシウム水和剤ホワイトコート（白石カルシウム株式会社）も本種に対する産卵抑制資材として効果が確認された（石栗・吉永，2015）。本剤は炭酸カルシウムの微粉末を原料とする。炭酸カルシウム粉末は昆虫飼育容器に「脱走防止剤」として利用されており、これが付着した表面を歩いた昆虫の多くが足を滑らせることから、炭酸カルシウム微粉末の滑落効果がホワイトコートの産卵抑制の主な作用機序だと予想された。一方で、添加物として加えられた可塑剤の一種 2,2,4-trimethyl-1,3-pentanediol diisobutyrate（以下 TXIB）も産卵抑制効果を示し、その作用機序は主原料とは異なることが明らかになってきた（KAZAMA et al., 2020）。炭酸カルシウム微粉末だけでは野外では風雨に洗われてしまうため、おそらく効果持続を目的に TXIB が加えられたと思われる。そこで、原料と添加物のそれぞれの効果について検証した。

I リンゴ果実の揮発成分と産卵刺激物質

産卵防止効果を探るにあたって、モモシクイガ雌成虫がどのように産卵場所を決定しているかは重要である。雌成虫の産卵行動は日没後、暗くなってからの数時間にピークとなる（成田，1987）。果実に飛来した後、リンゴ幼果の萼窪（がくあ）部や梗窪（こうあ）部の微かな毛が密集した部位に産卵することから、これらの毛を物理的な産卵刺激として産卵部位を正確に判断している点が本種の特徴である。一方、遠方からリンゴ果実およびその近傍の枝葉に飛来するまでにはおいを手がかりにしていると考えられる（石栗・吉永，2015）。モモシクイガの産卵シーズンは果実がまだ青く小さい初夏から始まり、このころの幼果の香りは赤く熟した果実のエステル香と違って tetradecane などの飽和炭化水素や α -farnesene のようなテルペン類が中心となっている。雌成虫の触角を切り取り、電極につないで揮発成分に対する応答を調べる electroantennographic detector（EAD）をガスクロマトグラフィー（GC）に接続した装置で、リンゴの揮発成分に対する雌成虫の触角応答を調べた結果、雌成虫は α -farnesene や hexyl 2-methylbutanoate に応答を示すことが確認できた。 α -Farnesene はモモシクイガの寄主植物由来の誘引物質として既に報告されている（MEN et al., 2018）ほか、世界的なリンゴ害虫として知られるコドリंगा (*Cydia pomonella*) の産卵刺激物質としても知られる（WEARING and HUTCHINS, 1973）。これらの匂いを手がかりに産卵対象となるリンゴ（果樹）を暗闇で見つけている可能性が示唆された。

炭酸カルシウム水和剤ホワイトコートを処理すると、これらリンゴ由来のにおいにホワイトコート由来のにおいが混じる。これらは TXIB とその類縁体 texanol（モノエステルの結合位置が異なる 2 種の異性体混合物）（図-1）である。TXIB がジエステル構造であるのに対し、texanol はモノエステル構造を持つ 2 種の異性体混合物であり、いずれも同じような用途に使われる可塑剤で様々なプラスチック素材に含まれる。これら 3 種の化

Oviposition Inhibition of Calcium Carbonate Wettable Powder Against Apple Pest *Carposina sasakii*. By Haruna KAZAMA, Naoko YOSHINAGA and Yoichi ISHIGURI

（キーワード：炭酸カルシウム水和剤，モモシクイガ，TXIB，触角応答）

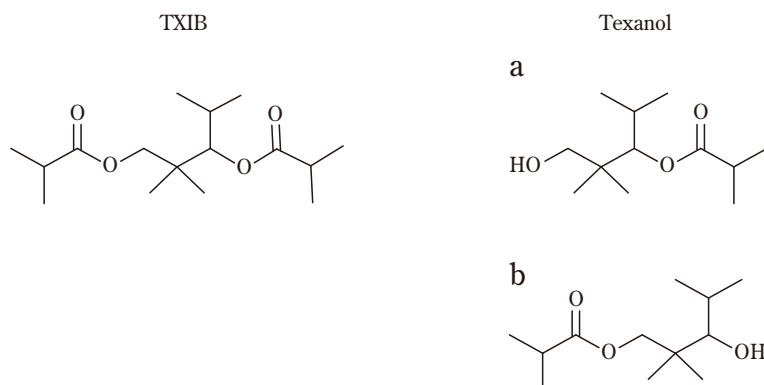


図-1 TXIB および texanol の化学構造

Texanol は TXIB の二つのエステル構造のうち片方が水酸基に置き換わったモノエステル構造をしている。市販の texanol は 2 種のモノエステル体の混合物として市販される。

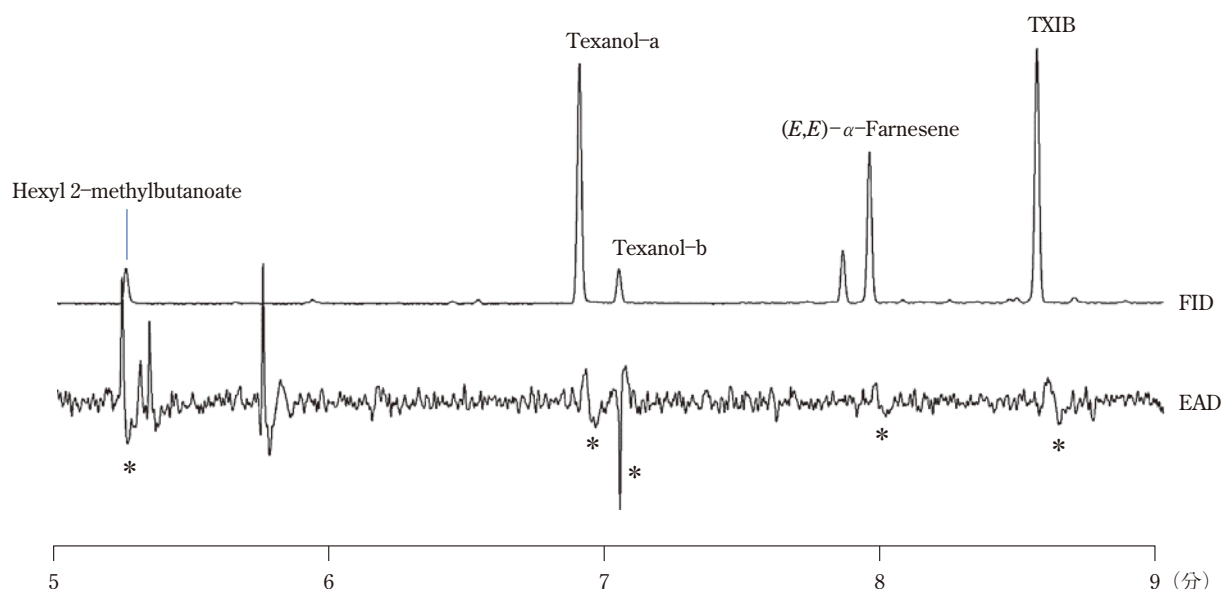


図-2 ホワイトコート処理果実の揮発性成分 GC 分析 (flame ionization detector : FID) および触角応答検出 (EAD)

EAD 中に (*) で示したシグナルが触角での電位変化を観測したピークであり、リンゴ由来成分である hexyl 2-methylbutanoate および α -farnesene に加えて、TXIB, Texanol 2 種にも応答していることが確認された。

学成分に対してもモモシクイガの雌成虫の触角が反応することが明らかになった (図-2)。すなわちこれら匂いを好む・好まないは別にして、触角の受容体で神経シグナルに変換され何らかの脳内処理を行っていることを意味する。この人工の化学成分が本種の産卵行動にどのように影響するのかを次の室内産卵試験で検証した。

II 産 卵 試 験

モモシクイガの産卵試験 (図-3) にはアクリル樹脂製円筒容器を用い、成虫 10 ペアを放った。比較したいのはホワイトコートと炭酸カルシウム (純品), TXIB それぞれで処理した果実における産卵抑制効果である。ホワイトコート (250 g/l) と炭酸カルシウム (和光純薬)

(250 g/l) はそれぞれ水道水に懸濁したものに果実を浸漬して風乾し, TXIB はサラダ油で 400 mg/l 希釈して果実に一定量を塗布した。この TXIB 処理量は, 処理後の果実から放出される TXIB 量を測定し, ホワイトコート処理果実と同等になるように調整した。暗期開始 30 分後から 2 時間半後の時間帯を暗赤色光下で録画撮影し, 成虫の行動を解析した。空間が限られ気流が生じない本系内では, 飛翔して果実へ接触する雌成虫はほとんどみられなかった代わりに, 床から果実へ前脚をかけよじ登って果実上に到達していた。録画画像中の系内の全雌個体の (a) 果実周辺 (果実以外) の探索行動, (b) 産卵 (腹曲げ) 行動, (c) グルーミング行動にかかった秒数をそれぞれ積算した (図-4)。ホワイトコート, 炭酸カルシ

ウム,あるいはTXIBを処理した果実ではいずれも(a)果実周辺での探索時間は無処理果実と変わらなかった一方,(b)腹曲げ行動の時間は短かった。また,ホワイトコートや炭酸カルシウム,TXIBを処理した果実に対して(c)グルーミング行動が頻繁に観察されたが,無処理果実ではまったく見られなかった。グルーミングは触角への様々な刺激に対して誘発される行動で,好ましいにおい・不快なおいもグルーミングの引き金となる。TXIBが油膜として働いて物理的に触角の感覚を阻

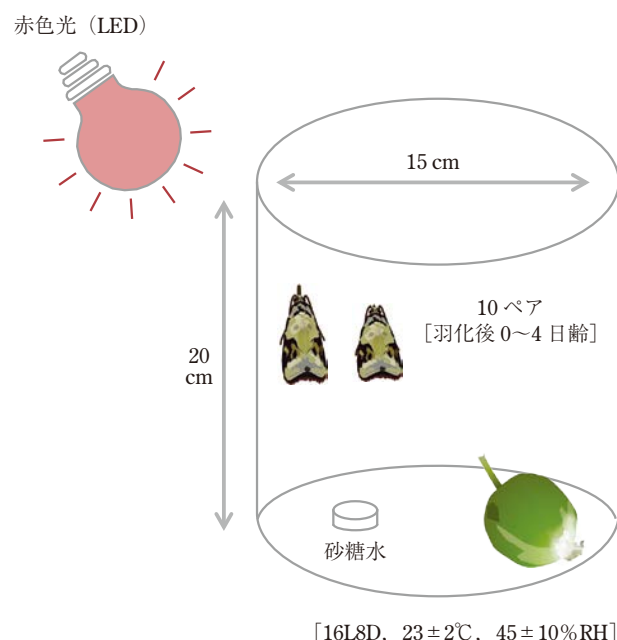


図-3 産卵行動試験装置

透明なアクリル円筒で上部はメッシュで覆い,下部はアルミホイルを敷いた。行動観察には図中の赤色LEDを点灯してビデオ撮影を行った。また,産卵数計測(選択試験)の際には処理果実2個に加えて無処理果実2個を静置し,翌日産卵数を計数した。

害したのか,あるいはにおいが不快な嗅覚刺激として受容されているのかは,この試験だけではわからないが,いずれかの不快刺激を与えていることが示唆された。

同じ産卵試験装置を用いて,ホワイトコート,TXIB,texanolそれぞれの処理果実と無処理果実を同時に与えた場合の各果実に対する産卵数を翌朝計数した(図-5)。ホワイトコート,TXIBのいずれの場合も,無処理果実に比べて有意に産卵数が少なかった。一方,同じく展着剤として添加されているtexanolは,2つの類縁体のどちらも図-2の触角応答は確認されていたが,本試験では産卵抑制効果は見られなかった。これらの結果から,ホワイトコートの産卵抑制効果にTXIBが重要な役割を果たしていることが明らかとなり,その活性発現はジェエステル構造によるものではないかと示唆された。

炭酸カルシウム微粉末自体に,昆虫の足を滑らせる効果があることは既に述べた。この滑落効果がホワイトコートによる産卵抑制活性にどの程度寄与しているかも重要である。前項の試験では,ホワイトコート処理果実上で探索する個体は確認したが,足を滑らせるような場面は観察されなかった。一方,純品の炭酸カルシウムを処理した果実では,登ろうとして足が滑る様子や,容器内を飛翔し果実に着地した成虫が地面に落ちる様子が観察された。このような炭酸カルシウム由来の滑落効果がホワイトコート処理果実では見られなかった理由は,風雨で炭酸カルシウムが簡単に流れ落ちないように添加したTXIBによって,炭酸カルシウムの滑落効果が皮肉にも抑えられてしまったためと考えられる。

III 光学異性体の活性評価

TXIBは2つの光学異性体の1対1混合物(ラセミ混合物)として市販されており,ホワイトコート中に含ま

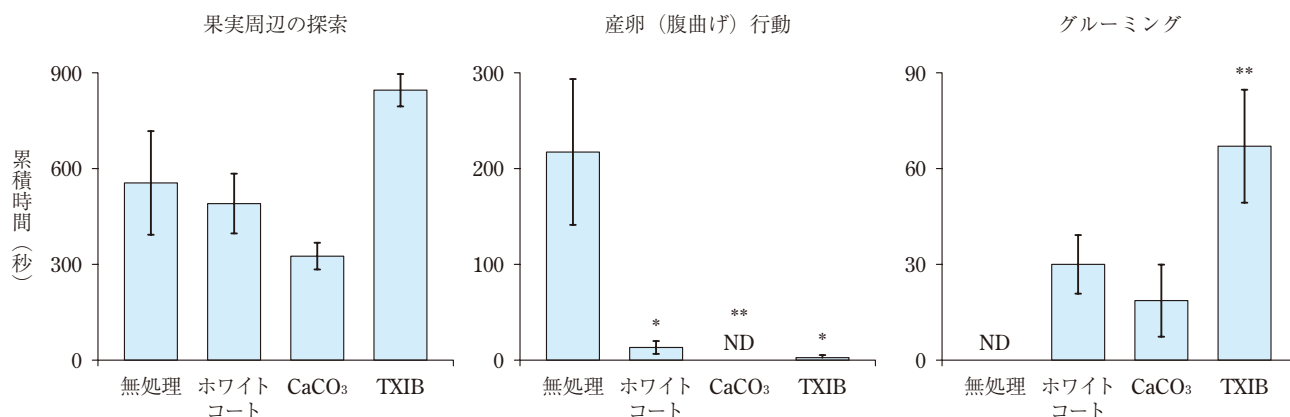


図-4 各処理果実に対する雌成虫の行動観察結果 (n=3, mean ± S.E.)

本試験は,単一の処理果実1個に対する行動を計測したもので,縦軸は系内の全雌成虫の各行動に費やした時間(秒)の累積を示す。ND, Not detected. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ (Dunnett's test)。

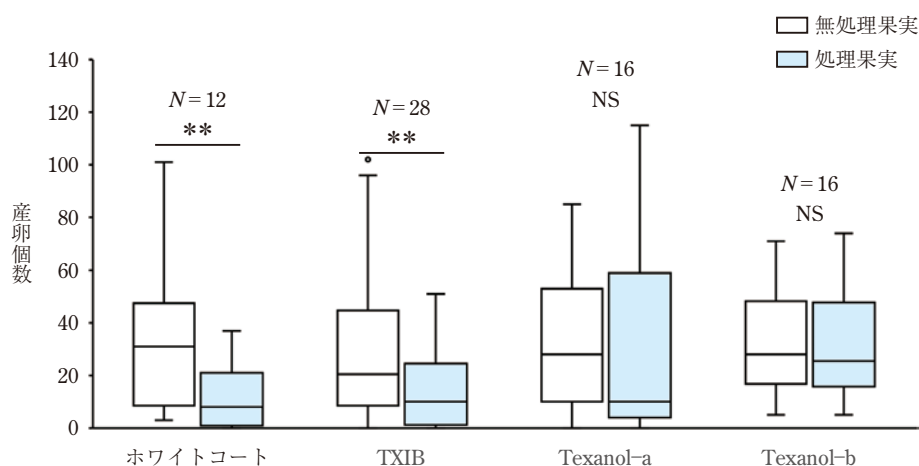


図-5 室内選択試験における各処理果実に対するモモシクイガの産卵数 (N = 12-28)

本試験は処理と無処理、両果実が同じ系内に存在する状態で自由に選択産卵させて産卵数を比較した。

** $p < 0.01$ (Wilcoxon signed-rank test).

れる TXIB も同様である。市販の TXIB をキラルカラムで分割し、S 体および R 体それぞれの活性を調べたところ、R 体にのみ産卵抑制効果があることが明らかとなっている (KAZAMA et al., 2022)。前項で TXIB がモモシクイガ成虫にとってどのような刺激として認識されているか不明だと述べたが、この試験結果および本研究の GC-EAD の結果から、TXIB がにおい物質として触角で R 体と S 体を識別して受容され、脳内処理によって産卵行動を抑制させたと考えられ、すなわち R 体が忌避物質として働いていることが示唆された。

IV 圃場試験

殺菌剤の慣行散布のみで管理されたリンゴ圃場 (14~15 年生 'ふじ'/M. 26) の幼果 50 個ずつを、TXIB (サラダ油で薄めて塗布)、ホワイトコート (水で懸濁して果実を浸漬)、サラダ油でそれぞれ処理した。処理量は室内試験と同様である。また、ホワイトコートの対照区には無処理果実を用いた。処理果実の目印として果実の根元付近にカラーテープを巻き、処理当日を 0 日目として 6 日目までの 1 晩当たりの産卵数を調査した。卵は観察後にピンセットで除去した。

7 日間の各処理果実に対する産卵数をまとめた結果を図-6 に示す。コントロール (サラダ油) 果実の産卵数に比べ、TXIB で処理した果実の産卵数は有意に少なかった。しかしながら、ホワイトコート処理と比較すると、コントロール区に対する産卵数の減少幅は小さかった。室内試験の結果が圃場試験と一致しなかった理由として、今回採用した TXIB の処理方法ではホワイトコート中の TXIB を厳密には再現できておらず、様々な環境要

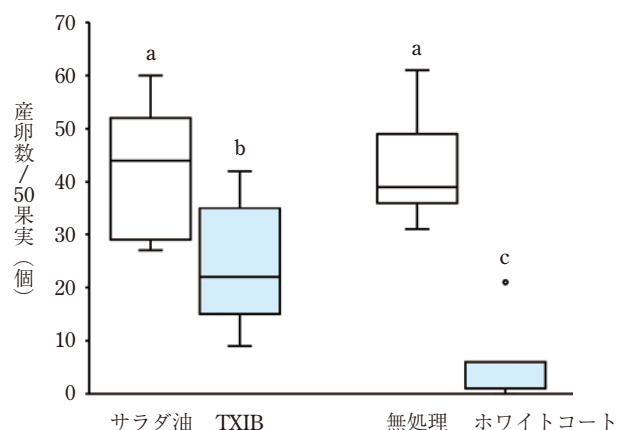


図-6 圃場における TXIB およびホワイトコート処理果実への産卵試験 (N = 7)

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$ (Bonferroni's multiple comparison test).

因が加わる圃場でその差異がより大きく影響してしまったと考えられる。ホワイトコート中の TXIB は炭酸カルシウム微粉末に付着した形で水中に懸濁された状態になる。この中に樹上果実を浸漬して風乾した際に果実表面に炭酸カルシウム層を形成し、そこから徐放されると考えられる。一方、TXIB 処理区ではサラダ油に溶解したものを一定量、果実表面に塗布した。室内試験では両処理果実から放出される TXIB は同等であることを確認したが、圃場試験では確認できていない。圃場では常風の流れがあり、光量や湿温度は 1 日を通じて大きく変化する。さらに、圃場内には 2~3 m おきにリンゴ樹が植えられており、大気中にはリンゴの果実および葉、下草などの匂いが充満している。これらの環境条件の違いは、果実表面から揮発する TXIB 量やモモシクイガの

嗅覚受容システムに影響した可能性も否定できない。

とはいえ、試験期間中に幾度かの雨にさらされたにもかかわらず TXIB で処理した果実は産卵抑制効果を示した。今回の一連の試験では TXIB の溶媒としてサラダ油を用いたが、昆虫の中にはサラダ油そのものが触角応答に干渉する場合もあり、鉱物オイルなどを使う方が一般的とされる。より適切な溶媒を検討すれば、効果を上げることが可能かもしれない。あるいは、ホワイトコート の活性成分を TXIB およびその類縁体とし、炭酸カルシウム微粉末を補助剤と見なせば、ホワイトコートは既に一定の効果を示す商品として完成しており、さらなる濃度検討をすればモモシクイガ防除により適した剤の開発が望める可能性もある。

おわりに

本研究は、既にリンゴ園場で産卵抑制効果が明らかだったホワイトコート水和剤の活性メカニズムを後付で検証する中で、当初の予想を覆す形で、微量添加物中に活性を見いだした。ホワイトコートは柑橘園場において、チャノキイロアザミウマの防除にも効果があると先に報告されているが、そのメカニズムは、ホワイトコートの白色が昼行性昆虫であるアザミウマの視覚による寄主認

識を妨げるからだとされている（土屋ら、1995）。主成分が圃場生態系の様々な昆虫に異なるメカニズムで活性を示しうるだけでなく、添加物もまた別の活性を持つ可能性を示すことができた。環境中に散布する農業資材には多方面から慎重に評価する必要があるだろう。

最後になるが、本研究の GC-EAD に関しては、国立研究開発法人森林研究・整備機構の高梨琢磨博士と所雅彦博士にご尽力いただいた。また、モモシクイガ成虫の行動とグルーミングに関しては、ノースカロライナ州立大学の和田（勝又）綾子博士にご助言をいただいた。この場を借りて御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 石栗陽一・吉永直子 (2015): 北日本病虫研報 **66**: 144~147.
- 2) KAZAMA, H. et al. (2020): J. Pestic. Sci. **45**: 16~23.
- 3) ——— et al. (2022): J. Chem. Ecol. **48**: 583~587.
- 4) 小谷信司・鈴木 裕 (2013): 精密工学会誌 **79**: 995~998.
- 5) MEN, L. et al. (2018): Entomologia Experimentalis et Applicata **166**: 683~694.
- 6) 成田 弘 (1987): 植物防疫 **41**: 271~276.
- 7) SOMA, Y. et al. (2023): Res. Bull. Pl. Prot. Japan No. 59: 1~12.
- 8) 土屋雅利ら (1995): 応動昆 **39**: 305~312.
- 9) WEARING, C. H. and R. F. N. HUTCHINS (1973): J. Insect Physiol. **19**: 1251~1256.
- 10) 横地 洋 (2007): 植物防疫 **61**: 451~456.

農林水産省プレスリリース (2023.7.1~2023.7.31)

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5年度病害虫発生予報第4号」の発表について (23/7/12) [j/press/syouan/syokubo/230712.html](https://www.maff.go.jp/press/syouan/syokubo/230712.html)
- ◆研究開発と Society5.0 との橋渡しプログラムのうち農林水産省が実施する施策の公募及び公募説明会の実施

- について (23/7/13) [/docs/press/230713.html](https://www.maff.go.jp/docs/press/230713.html)
- ◆「令和5年度病害虫発生予報第5号（水稲特集）」の発表について (23/7/26) [/j/press/syouan/syokubo/230726.html](https://www.maff.go.jp/press/syouan/syokubo/230726.html)



和歌山県における露地栽培ショウガの根茎腐敗病の防除対策

和歌山県農業試験場 ^{ひし}菱 ^{いけ}池 ^{まさ}政 ^し志*

はじめに

和歌山県をはじめ国内のショウガ栽培で最も問題となる病害の一つが、*Pythium myriotylum* Drechsler が引き起こす根茎腐敗病である。本病は、土壌および水を介して伝染し、一度発生すると数日のうちにまん延して、大きな被害を及ぼすことがある難防除土壌病害である。本病の防除対策として、くん蒸剤による定植前の土壌消毒、生育中の土壌灌注や粒剤処理による防除（以下、生育期防除）および耕種の防除を組合せた総合的対策が重要とされている（竹内，2008；森田，2012；森山，2012）。本県の露地ショウガ栽培で一般的に用いられるダズメット粉粒剤は 15℃ 以上の地温での使用が推奨されている。しかし、土壌消毒できる時期が晩冬から初春になるため、処理時期の気象条件によっては効果が劣ることが考えられる。また、本病の既発生圃場の周辺土壌には本菌が残存することが知られている（一谷・新須，1981）。圃場周辺の汚染土壌が、大雨等により圃場に流入したり、長靴や農業機械に付着して圃場に持ち込まれたりすることも想定される。このようなリスクに対応するため、予防的な生育期防除は重要である。生育期防除について、接種試験では予防的処理の効果が高い（山崎・森田，2012）。一方で、自然発病の圃場試験では、発病後に処理を開始しても十分な効果が得られない場合がある（森山，2013）。すなわち、生育期防除で十分な効果を得るには、発病後に処理を開始しても遅く、病原菌によるショウガ根茎への感染前に防除を開始する必要があると考えられる。しかし、本菌のショウガ根茎への感染時期は知られていなかった。

本研究では、適期に生育期防除を行うため、2 年間にわたり露地条件の人工汚染圃場で、本菌のショウガ根茎への感染状況を調べ、感染リスクが高い期間を推定し

た。また、その期間に生育期防除を行うことにより防除効果を得られることを明らかにした。さらに、土壌消毒と生育期防除を組合せて防除効果を検証したので、その概要を紹介する。なお、本稿は菱池（2021）および菱池（2022）を再構成したものである。

I 感染リスクの高い期間の推定

1 人工汚染圃場

稲わら・家畜飼料煎汁培地（稲わら 100 g と家畜飼料 100 g を適量の水で 1 時間煮込んだもの）で 26℃，4 週間培養した根茎腐敗病菌を、2016 年 4 月 19 日に和歌山県農業試験場内の露地圃場（水田転換畑）に、培地ごと混和接種した。

2 感染始期の推定

人工汚染圃場に定植した種根茎を定期的に掘り上げ、病原菌の感染の有無を確認することで、感染始期を推定することを試みた。試験は 2016 年と 2017 年に行い、2016 年の試験終了後、土壌消毒を実施せずに 2017 年の試験を行った。2 か年とも 5 月 2 日に、種根茎（品種‘新八郎’）を株間 20 cm，2 条千鳥植えて定植した。2016 年は 5 月 11 日，5 月 27 日および 6 月 10 日に，2017 年は 5 月 15 日から 7 月 3 日まで 1 週間隔で調査を行った。調査日ごとに、任意の 5 株の種根茎を掘り上げ、柄付きブラシを用いて根茎表面の土壌を取り除いた後、30℃ の湿室条件に静置した。静置 2 日後に、種根茎からの気中菌糸の発生の有無と、感染部位を確認した。発生した気中菌糸から、Prepman™ Ultra Sample Preparation Regent (Applied Biosystems) を用いて DNA を抽出し、LAMP 法（FUKUTA et al., 2014）により、本菌であるかどうかを判定した。

根茎への感染確認日は、2016 年が 5 月 27 日，2017 年が 7 月 3 日であった（表-1）。このことから、5 月下旬には種根茎へ感染する可能性があることがわかった。

3 感染終期の推定

施設で育成したショウガを人工汚染圃場に定期的に移植し、発病の有無を確認することで、感染終期の推定を試みた。2017 年 7 月 25 日，8 月 22 日，9 月 26 日，10 月

Control of Root Rot of Ginger Under an Open-Field Condition in Wakayama Prefecture. By Masashi HISHIUE

（キーワード：ショウガ，根茎腐敗病，感染期間，生育期防除，防除効果）

*現所属：和歌山県果樹試験場うめ研究所

表-1 種根茎でのショウガ根茎腐敗病菌の感染率と感染部位

2016 年	採取日		
	5/16	5/27	6/10
感染率 (%)	0	20	20
感染部位	－	芽, 割り口	芽

2017 年	採取日							
	5/15	5/22	5/29	6/5	6/12	6/19	6/26	7/3
感染率 (%)	0	0	0	0	0	0	0	20
感染部位	－	－	－	－	－	－	－	芽

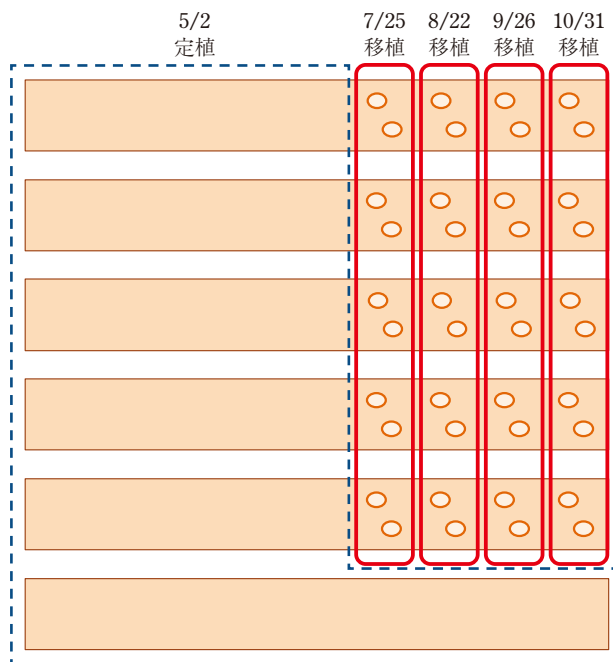


図-1 移植試験の概要

31日に、汚染圃場のショウガとほぼ同様の大きさにまでガラスハウス（砂質土壌）で育成したショウガ（品種‘新八郎’、定植日：6月7日）を掘り上げ、図-1の通り1畝当たり2株、合計10株を移植した。移植後、定期的に偽茎の発病を調べた。また、12月5日に移植した全株を掘り上げ、根茎の腐敗の有無を調査した。腐敗が認められた根茎は、上述と同様にLAMP法により、本菌の感染の有無を判定した。

7月25日に圃場に移植した株は、10日後の8月4日に2本の偽茎が発病し、8月21日に21本の偽茎すべてが発病した（表-2）。8月22日に移植した株は地上部に病徴は現れなかったが、12月の調査時に20%の根茎が腐敗しており、腐敗部に本菌の感染が認められた。9月26日および10月31日に移植した株には感染が認められなかった。これらのことから、少なくとも8月下旬～

表-2 移植株の発病偽茎率と発病根茎率

	移植日			
	7/25	8/22	9/26	10/31
発病偽茎率 (%)	100	0	0	0
1次茎の発病日	8/9～8/21	－	－	－
2次茎の発病日	8/4～8/17	－	－	－
発病根茎率 (%)	100	20	0	0

9月中旬ごろまでは感染する可能性があり、9月下旬以降は感染のリスクは低くなると考えられた。なお、本県と気象条件が異なる地域では感染リスクの高い期間が異なる可能性があるため、注意が必要である。

II 感染リスクが高いと推定された期間を考慮した生育期防除の効果

1 人工汚染圃場

V8 ジュース液体培地で25℃、80回転/分で3週間振とう培養した根茎腐敗病菌を、滅菌砂と十分混和して接種源とした。2018年2月27日に和歌山県農業試験場内の露地圃場（水田転換畑）に混和接種した。

2 生育期防除の防除効果（試験1）

Iの試験で推定した感染リスクの高い期間に生育期防除を行い、防除効果を検討した。2018年5月1日、人工汚染圃場に種根茎（品種‘土佐一’）を、株間40cm、2条千鳥植えて定植した。処理区は、生育期前半2回区、生育期前半2回＋降雨前区、2週間隔区、3週間隔区、4週間隔区および無処理区とした。処理日および処理薬剤は表-3の通りとした。処理期間は、初期感染および発病が多くなる7～8月の感染を防ぐことを重視し設定した。なお、生育期前半2回＋降雨前区の降雨前の処理日は、前回の処理から2週間以上が経過かつ気象庁の天気予報で降雨が予想される前日を基準とした。処理薬剤は、生産現場での使用実績から、シアゾファミド水和剤およびアゾキシストロビン・メタラキシルM粒剤を主

表-3 処理日と処理薬剤

処理区	処理日と処理薬剤						
生育期前半 2 回	5/23 Cy	6/4 Az/Me					
生育期前半 2 回 + 降雨前	5/23 Cy	6/4 Az/Me	6/19 Cy	7/2 Az/Me	7/27 Cy	8/23 Az/Me	
生育期 2 週間隔	5/23 Cy	6/4 Az/Me	6/19 Cy	7/2 Az/Me	7/18 Cy	7/27 Az/Me	8/14 Am
生育期 3 週間隔	5/23 Cy	6/13 Az/Me	7/2 Cy	7/23 Az/Me	8/14 Cy		
生育期 4 週間隔	5/23 Cy	6/13 Az/Me	7/9 Cy	8/6 Az/Me			

Cy：シアゾファミド水和剤 500 倍 1 l/m²。

Az/Me：アゾキシストロビン・メタラキシル M 粒剤 18 kg/10 a。

Am：アミスルプロム水和剤 2,000 倍 1 l/m²。

表-4 生育期防除の防除効果

処理区	累積発病株数										発病株率 (%)	防除価
	7/上	7/中	7/下	8/上	8/中	8/下	9/上	9/中	9/下	12/上		
生育期前半 2 回	0	0	3	9	13	15	16	16	16	16	53.3	35.6
生育期前半 2 回 + 降雨前	0	0	0	0	2	3	3	5	8	9	26.5	68.1
生育期 2 週間隔	0	0	0	0	1	3	4	5	5	5	14.7	82.3
生育期 3 週間隔	0	0	0	3	8	9	11	21	24	27	79.4	4.2
生育期 4 週間隔	0	0	2	3	5	7	9	17	20	21	75.0	9.5
無処理	1	1	8	13	20	25	26	28	29	29	82.9	

累積発病株数は 3 反復の合計。

に使用した。出芽期から収穫期まで、定期的に偽茎の発病を肉眼で調査した。偽茎の発病が確認された株は、調査時に株ごと除去した。偽茎に発病が認められなかった株は 12 月 3 日、4 日に収穫し、根茎の発病を調査した。

結果を表-4 に示した。無処理区の発病株率が 82.9% と多発生条件の中、生育期 2 週間隔区では、防除価が 82.3 と高い防除効果が認められた。このことから、感染リスクが高いと推定した期間に生育期防除を行うことで、高い防除効果が得られることが確認された。山崎・森田 (2012) は、ポット植栽ショウガに病原菌の遊走子を接種する方法で、生育期防除剤の残効期間を検討している。シアゾファミド水和剤 1,000 倍・3 l/m²、アゾキシストロビン・メタラキシル M 粒剤 18 kg/10 a とともに、処理 1 週間後の接種で発病が認められず、処理 2 週間後で防除効果が低下することを報告している。本研究では、シアゾファミド水和剤の処理成分量がやや少ないが、両剤とも 1~2 週間の残効期間が期待でき、2 週間隔区の処理で防除効果が認められたと考えられた。本病は水媒伝染し、大雨や台風等で発病が助長される危険性が高まる (山崎・森田, 2012)。このため、生育期前半

2 回 + 降雨前区を設けたところ、生育期 2 週間隔区には劣ったものの防除効果が認められ、降雨前処理は有効な処理方法と考えられた。

3 土壌消毒と生育期防除を組合せた防除体系の防除効果 (試験 2)

土壌伝染する本病では土壌消毒が必須の作業であることから、土壌消毒と試験 1 と同様の生育期防除を組合せて、防除効果を検討した。2018 年 3 月 18 日から 4 月 19 日まで、人工汚染圃場にダズメット粉粒剤 30 kg/10 a を処理して土壌消毒を行った。2018 年 5 月 1 日に、試験 1 と同様に種根茎を定植した。処理区は、土壌消毒 + 生育期前半 2 回区、土壌消毒 + 生育期前半 2 回 + 降雨前区、土壌消毒 + 2 週間隔区、土壌消毒 + 3 週間隔区、土壌消毒 + 4 週間隔区、土壌消毒のみ区および無処理区とし、無処理区は試験 1 と共通とした。生育期防除の処理日および処理薬剤は表-3 の通りとした。調査は試験 1 と同様に行った。

結果を表-5 に示した。無処理区の初発は 7 月 10 日で、発病株率は 82.9% であった。土壌消毒のみ区は 3 反復中 1 反復で生育期間中に地上部に発病が認められ、防除価

表-5 土壌消毒と生育期防除の体系防除の防除効果

処理	累積発病株数										発病株率 (%)	防除価
	7/上	7/中	7/下	8/上	8/中	8/下	9/上	9/中	9/下	12/上		
土壌消毒+生育期前半2回	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	9.1	89.0
土壌消毒+生育期前半2回+降雨前	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
土壌消毒+生育期2週間隔	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
土壌消毒+生育期3週間隔	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
土壌消毒+生育期4週間隔	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5.6	93.3
土壌消毒のみ	0	0	0	0	0	3	4	5	6	10	29.4	64.5
無処理	1	1	8	13	20	25	26	28	29	29	82.9	

累積発病株数は3反復の合計。

は64.5であった。発病が認められた区は、土壌消毒時のビニル被覆の周縁部に位置し、消毒効果が劣った可能性がある。また、土壌消毒のみでは二次伝染を抑えることができないため、初発後発病が広がり、防除価がやや低くなったと考えられた。ただし、初発が8月下旬と、無処理区と比べて約2か月遅れたことから、土壌消毒により土壌中の病原菌密度は大きく低下していたと考えられた。土壌消毒と生育期防除を組合せた区では、土壌消毒+生育期前半2回+降雨前区、土壌消毒+2週間隔区および土壌消毒+3週間隔区で、発病が認められなかった。また、土壌消毒+生育期前半2回区と土壌消毒+4週間隔区で、収穫調査時に発病（根茎の褐変）が認められたが、いずれの区も生育期間中に地上部に病徴は現れず、高い防除効果が認められた。試験1で防除効果が認められなかった処理に土壌消毒を組合せることで、高い防除効果が得られたことから、土壌消毒の防除効果の高さが推察される。しかし、土壌消毒のみで完全に発病を抑えることは難しく、生育期の予防的な防除を組合せることで防除効果を高めることができると考えられた。

おわりに

生育期防除の開始時期は例年の発病時期を基に検討さ

れてきた（山崎・森田，2012；森山，2013）。本研究では、より効果的に予防を行うため、根茎への感染リスクの高い期間を調べたうえで、生育期防除を開始することにより、多発条件でも防除効果を得ることができた。一方で、今回の結果からも明らかなように土壌消毒の防除効果は高く、生育期防除の処理間隔を長くしても防除効果が得られた。本研究は、近年取り組みが始まった種根茎の生産場面を想定しているが、極端な過剰防除は望ましくない。本研究でも試みたように、降水量を目安にした生育期防除の処理間隔を検討する必要があると考えている。

引用文献

- 1) FUKUTA, S. et al. (2014): Lett. Appl. Microbiol. **59**: 49~57.
- 2) 菱池政志 (2021): 関西病虫研報 **63**: 99~101.
- 3) ——— (2022): 和歌山農水試研報 **10**: 13~18.
- 4) 一谷多喜郎・新須利則 (1981): 日植病報 **47**: 158~165.
- 5) 森田泰彰 (2012): 植物防疫 **66**: 660~664.
- 6) 森山美穂 (2012): 同上 **66**: 665~670.
- 7) ——— (2013): 同上 **67**: 108~112.
- 8) 竹内繁治 (2008): 同上 **62**: 521~525.
- 9) 山崎睦子・森田泰彰 (2012): 四国植防 **46**: 1~5.

 研究
報告
CAPS マーカーによるクビアカツヤカミキリと
他種カミキリムシの識別

栃木県農業試験場	はる 春	やま 山	なお 直	と 人
栃木県立博物館	くり 栗	はら 原		たかし 隆

は じ め に

クビアカツヤカミキリ *Aromia bungii* (Faldermann) (カミキリムシ科；ジャコウカミキリ属) (以下、供試虫の和名の「カミキリ」は省略する) は、ロシア極東部、モンゴル、中国、朝鮮半島やベトナムを原産地とする侵入害虫である (岩田, 2018)。幼虫はモモやスモモ、ウメ、サクラ等のバラ科植物の枝幹害虫であり、国内各地の果樹産地で被害が問題となっている (中野・渡邊, 2017；春山ら, 2019；和歌山県農作物病害虫防除所, 2019)。栃木県内では 2017 年の被害確認以降、特に県南部を中心にその被害が問題となっていたが、2023 年現在では県央から県北の一部まで拡大して 10 市町となった。被害拡大防止のため、発生地域と未発生地域の境界部では重点的な調査が行われ、早期発見・早期防除の取組が進められている。こうした調査において、またはクビアカツヤ未発生地域の住民や生産者からの問い合わせによって、本種による被害が疑われる樹木が発見された場合、まず、被害が本当にクビアカツヤによるものかどうか確実な診断が必要となる。この際、もし被害がクビアカツヤによるものでなかったとしても、実際の加害種を特定するように求められることも多い。被害の診断は地域の自治体や防除所等が、寄主植物の情報、採取されたフラス (虫糞と木くずの混合物) の形態、幼虫の形態的特徴などにもとづいて実施している (栃木県経営技術課, 2022)。しかし、若～中齢幼虫は、排出するフラスが少なく、その構成物も微細なこと、形態形質に関する知見が限られることなどから、正確に種まで同定することは非常に困難である。また、診断を実施する各機関には、カミキリムシの同定に習熟した職員はほとんどおらず、経験や専門的知識に依存しない診断法の開発が求められていた。これまでに、フラスからのクビアカツヤ検出を目的に、

種特異的なマーカーを用いたリアルタイム polymerase chain reaction (PCR) 法 (Rizzo et al., 2020) や Nested-PCR 法 (加賀谷・田村, 2021) が開発されている。一方で、既存の手法ではクビアカツヤの特定は可能であるものの、加害種がクビアカツヤ以外の種であった場合、診断には別途にシーケンス解析が必要であった。そこで、都道府県の調査機関レベルで簡便にクビアカツヤを検出可能で、同時に他種のカミキリムシである可能性についても検証できる分子同定法として、筆者らはミトコンドリア DNA の cytochrome c oxidase subunit 1 (以下、COI とする) 遺伝子領域の塩基配列をもとに作成した cleaved amplified polymorphic sequence (CAPS) マーカーを用いた識別法を開発した。CAPS 法は特定のプライマー対を用いて PCR 法で目的の領域を増幅したうえで、特定の配列を認識して切断できる制限酵素で増幅産物を処理することで多型を得る手法であり、様々な生物で種や品種、系統の識別に用いられている (TUDA et al., 1995；HONDA et al., 1999；KUNIHISA et al., 2005 ほか)。本手法は、特定の種のみを検出する種特異的なプライマー対を用いる診断法と比べ、制限酵素処理が必要であるが、制限酵素による切断断片長の多型情報から、一度に複数の種・系統を識別できるメリットがある。

本稿に入るに先立ち、供試虫をご提供いただいた国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構の土地奈美博士に厚く御礼申し上げる。なお、本研究の一部はイノベーション創出強化研究推進事業開発研究ステージ「サクラ・モモ・ウメ等バラ科樹木を加害する外来種クビアカツヤカミキリの防除法の開発」(課題番号 30023C, 農研機構生研支援センター) により実施した。

I クビアカツヤカミキリの識別に有効な
CAPS マーカーの開発

クビアカツヤと栃木県内のモモ園内で発生する主要な大型カミキリムシであるウスバおよびゴマダラの 3 種 (図-1) を確実に識別するため、モモ園内で得られたクビアカツヤ、ウスバおよびゴマダラの標本を用いて COI 遺

A CAPS Marker for Identifications of *Aromia bungii* and Other Longhorn Beetles. By Naoto HARUYAMA and Takashi KURIHARA
(キーワード：クビアカツヤカミキリ、幼虫、診断、CAPS マーカー)

伝子領域の塩基配列を決定した。DNA 抽出は成虫標本の後脚 1 本から、DNeasy® Blood & Tissue Kit (QIAGEN) を用いて実施した。PCR 反応のプライマーとして TW-J1301 (SIMON et al., 2006) および C2-N-3389 (SIMON et al., 1994) を用いた。反応液は、KOD One® PCR Master Mix (TOYOBO) 6.25 μ l, 各プライマー (10 pmol/ μ l) 0.5 μ l ずつ, DNA テンプレート 0.5 μ l に, 滅菌蒸留水を計 13 μ l となるよう加えて調整した。PCR 反応には, C1000 Touch™ Thermal Cycler (BioRad) を用い, 反応条件は 98°C 30 秒の熱変性後, 98°C 10 秒, 50°C 5 秒, 68°C 1 秒を 30 サイクル繰り返し, 最後に 68°C で 3 分間の伸長反応を行った。PCR 産物はミドリグリーン Xtra アガロースタブレット (日本ジェネティクス) で作成した 1.5% ゲルで泳動した。ゲル上から目的のバンドを切り出し, QIAquick® Gel Extraction Kit (QIAGEN) を用いてプロトコルに従い精製した。シーケンス反応には PCR 反応に使用したプライマーに加え, C1-J-2195 (SIMON et al., 1994) および C1-N2353 (SIMON et al., 2006) を用いた。Big Dye® Terminator V3.1 (サーモフィッシュサイエンティフィック) を用いて PCR ダイレクトシーケンス反応を行い, キャピラリー電気泳動装置 Applied Biosystems 3730xl DNA Analyzer (サーモフィッシュサイエンティフィック) で泳動した。結果は Sequence Scanner Software v2.0 (Applied Biosystems) で解析し, 塩基配列を決定した。得られた配列に加えて, GenBank® に登録された中国産のクビアカツヤ (以下, Accession No. : KF737790), ゴマダラ (NC029230), ウスバ (GU003933) のデータをソフトウェア MEGAX (KUMAR et al., 2020) でアラインメント解析し, Webcutter 2.0 (<http://heimanlab.com/cut2.html>) により制限酵素切断部位を検索した。各供試種に特異的な多型が見られた制限酵素のうち, 切断断片数や各断片長の差からクビアカと他の供試種の識別が容易であったことから AluI を選定した。CAPS マーカーとするため, 種の識別に有効な AluI の切断部位を含む約 400~600 bp 程度を増幅可能なプライマーを選定または Primer3 web version 4.1.0 (<https://bioinfo.ut.ee/primer3/>) を用いて設計し, マーカー用のプライマー候補とした。なお, 診断対象のクビアカツヤ幼虫は, しばしば樹木内でコスカシバやタマムシ等の他分類群の幼虫やフラスと近接していることから, 診断のためのサンプリング時に他分類群の DNA が混入する可能性がある。そこで, 他分類群の混入による影響を排除するため, プライマー候補を用いて栃木県内で採集したコスカシバおよびタマムシの DNA テンプレートで PCR 反応を行い, カミキリムシと同じ長さの

増幅産物が得られたプライマーは除外した。その結果, PCR 増幅産物を制限酵素 AluI で処理した後の多型から, クビアカツヤ, ゴマダラおよびウスバの 3 種のカミキリムシを容易に識別できる 2195-TcAb-CF1 (5'-TGATTC TTTGGACAYCCHGAAGT-3') および TcAb-CR1 (5'-GGATATCATTGWACWAGICCTGC-3') のプライマー対を CAPS マーカー用として選定した。なお, このプライマー対は COI 遺伝子領域の 706~1,193 番目までの 488 bp を増幅するものである。

II クビアカツヤカミキリにおける CAPS マーカーの有効性の検証

栃木県内で採集したクビアカツヤの成虫 18 個体について, ミトコンドリア DNA の COI 遺伝子領域の 1,521 bp を決定した結果, 7 塩基 (0.46%) の差異がある二つのハプロタイプ (LC617366, LC617367) に分けられた。供試個体におけるハプロタイプの内訳はそれぞれ 8 頭および 10 頭であった。両者の間で, CAPS マーカーによるバンドパターンに差異はなく, 本マーカーは本県で発生するクビアカツヤの診断に安定的に使用できると考えられた。実証のために栃木県佐野市のモモ園で伐採されたモモ被害樹からクビアカツヤと推定される幼虫 64 個体を得て, 本マーカーによるバンドパターンを比較したが, バンドパターンはすべての個体で同一であり, 変異は認められなかった。

TAMURA and SHODA-KAGAYA (2022) は国内各地のクビアカツヤ個体群の COI 遺伝子領域部分配列を決定し, 北関東地域からハプロタイプ A および B を報告している。ハプロタイプ A および B と, 本研究による二つのハプロタイプの塩基配列を比較検討した結果, それぞれ一致していた。このため, 本マーカーは少なくとも北関東地域の個体群に適用可能と考えられた。本マーカーの増幅範囲 488 bp と TAMURA and SHODA-KAGAYA (2022) が国内他地域の個体群を用いて決定した塩基配列を比較すると 431 bp が重複している。今回, この範囲において制限酵素 AluI の切断部位の差異を検証したが, ハプロタイプ間で差異は認められなかった。今回検証することはできなかったが, 残る 57 bp の AluI 切断部位が同一であれば, 国内各地のクビアカ個体群に対して本マーカーを適用できることから, 今後の検討が必要である。将来, 新たな個体群が国内に侵入する可能性を踏まえ, 原産地における多様なクビアカツヤ個体群に対する本マーカーの適用の可否についても検討しなければならない。

III 他種カミキリムシにおける CAPS マーカーの適用性の検証

クビアカツヤが寄生するモモ、ウメ、サクラ等の樹木においては、複数種のカミキリムシが同時に寄生し得る。こうしたカミキリムシの幼虫は、クビアカツヤの分布拡大防止対策が実施されている現場において、クビアカツヤの幼虫と混同・誤認されるおそれがある。そこで、栃木県内で普通に産する種であり、①モモ、ウメ、サクラ等のクビアカツヤの寄主植物から被害報告がある種（日本応用動物昆虫学会，2006）、②広範な広葉樹に寄生可能で（大林・新里，2007；小島・中村，2011）クビアカツヤの寄主植物内で見られる可能性がある種、③多量のフラス排出等の被害様相からクビアカツヤと混同されやすい種、の基準に基づき、クビアカツヤ以外に23種（ホソカミキリムシ科1種（ホソ）、カミキリムシ科カミキリ亜科9種（アカアシオオアオ、ミヤマ、キマダラミヤマ、ルリボシ、クビアカトラ、ウスイロトラ、エグリトラ、クロトラ、キイロトラ）、フトカミキリ亜科11種（ゴマフ、カタシロゴマフ、ナガゴマフ、ヒメヒゲナガ、ゴマダラ、ニセビロウド、キボシ、クワ、ヤツメ、リンゴ、ルリ）、ノコギリカミキリ亜科2種（ウスバ、ノコギリ））を選定して供試した。なお、食材性昆虫は、クビアカツヤのように生きた樹木を加害する一次性の種と衰弱～枯死した樹木を加害する二次性の種に分けられる（岩田，2015）。クビアカツヤによる被害木では、衰弱部にウスバ等の二次性カミキリムシが寄生し

てクビアカツヤの幼虫と混在する様子が観察されることから、本試験の供試虫には二次性の種も含めることとした。成虫および幼虫の各個体は、それぞれ外部形態（大林ら，1992；大林・新里，2007）に基づき同定された。ただし、形態情報の不足や破損により同定が困難であった幼虫については、塩基配列を決定し、成虫で同定済みの種の塩基配列との比較によって同定した。

供試したカミキリムシ各種における本 CAPS マーカーの適用性を検証した結果、17種（アカアシオオアオ、ミヤマ、クビアカトラ、ウスイロトラ、エグリトラ、クロトラ、ゴマフ、カタシロゴマフ、ナガゴマフ、ヒメヒゲナガ、ゴマダラ、キボシ、クワ、ヤツメ、リンゴ、ウスバ、ノコギリ）で、PCR 増幅産物の電気泳動により、目的とする 488 bp の位置に1本の明瞭なバンドが認められた（表-1）。また、PCR 増幅産物を制限酵素 *AluI* で処理した結果、これら17種のバンドパターンはそれぞれ種特異的であり、クビアカツヤと異なっていた。また、残る6種についてはバンドが得られないか、複数のバンドが得られており、種の推定は困難であるものの、クビアカツヤと混同されることはないと考えられた。こうした結果から、本マーカーはこれらのカミキリムシが混発する現場環境下においても、クビアカツヤの識別に有用であると考えられた。なお、これまでに栃木県内のモモ園内で発生が確認されているカミキリムシ6種（クビアカツヤ、ウスバ、ゴマダラ、ゴマフ、クロトラ、ノコギリ）はいずれも上記の17種に含まれており、バンドパターンからクビアカツヤとの識別が可能であった（図-1）。

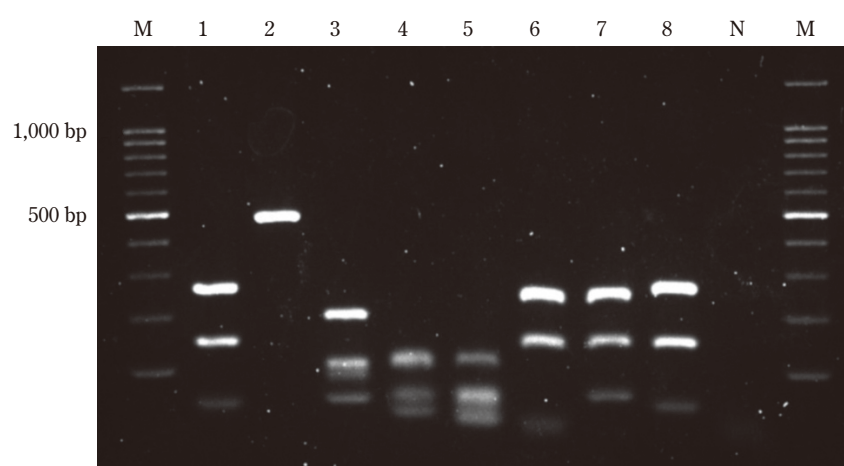


図-1 CAPS マーカーによるモモ樹から得られたカミキリムシ6種のパターン比較

M：ExcelBand 100 bp DNA Ladder (SMOBiO)，Lane 1, 8：クビアカツヤカミキリ，Lane 2：ウスバカミキリ，Lane 3：ゴマダラカミキリ，Lane 4, 5：ゴマフカミキリ，Lane 6：ノコギリカミキリ，Lane 7：クロトラカミキリ，N：蒸留水。

表-1 CAPS マーカーの検証および塩基配列解析に供試したカミキリムシ

供試虫		主な寄主植物 ^{a)}	採集時期/採集地（供試個体数とステージ） ^{b)}	供試 個体数	2195-TcAb- CF1× ^{c)} TcAb- CR1の増幅	制限酵素 AluI 処理後 ^{d)} の 切断断片長	Accession No. ^{e)}
カミキリムシ科（Cerambycidae）							
カミキリ亜科（Cerambycinae）							
クビアカツヤカミキリ	<i>Aromia bungii</i>	バラ科 広義スモモ属 （ <i>Prunus</i> ）	Jul.2018/栃木県佐野市（2A）、May.2018/栃木県佐野市 （64L）、Jun.2019/栃木県佐野市（3A）、Jul.2019/栃木県 佐野市（4A）、Aug.2019/栃木県佐野市（9A）	82	+	57, 160, 271	LC617366, LC617367
アカアシオオアオカミキリ	<i>Chloridolum japonicum</i>	各種広葉樹	Aug.2021/栃木県宇都宮市（1A）	1	+	40, 57, 160, 231	LC713275
ミヤマカミキリ	<i>Neocerambyx raddei</i>	各種広葉樹	Aug.2020/栃木県市貝町（3A）、Aug.2020/栃木県宇都宮 市（5A）、Feb.2022/茨城県つくば市（12L）	20	+	A：108, 160, 220 B：160, 328	LC617376 LC617377
キマダラミヤマカミキリ	<i>Aeolesthes chrysothrix</i>	各種広葉樹	Aug.2020/栃木県宇都宮市（2A）	2	+	—	LC617374
ルリボシカミキリ	<i>Rosalia batesi</i>	各種広葉樹	Aug.2020/栃木県宇都宮市（1A）	1	—	—	LC617373
クビアカトラカミキリ	<i>Xylotrechus rufilius</i>	各種広葉樹	Jun.2020/栃木県宇都宮市（3A）	3	+	82, 118, 128, 160	LC617372
ウスイロトラカミキリ	<i>Xylotrechus cuneipennis</i>	各種広葉樹 および針葉樹	Jun.2020/栃木県宇都宮市（3A）	3	+	40, 94, 354	LC617371
エグリトラカミキリ	<i>Chlorophorus japonicus</i>	各種広葉樹	Jun.2020/栃木県宇都宮市（3A）	3	+	48, 70, 168, 202	LC617369
クロトラカミキリ	<i>Chlorophorus diadema</i>	各種広葉樹 および針葉樹	Jun.2020/栃木県佐野市（1A）、Jul.2020/栃木県佐野市 （1A）	2	+	70, 160, 258	LC617368
キイロトラカミキリ	<i>Grammographus notabilis</i>	各種広葉樹 および針葉樹	Jun.2020/栃木県宇都宮市（3A）	3	+	—	LC617370
フトカミキリ亜科（Lamiinae）							
ゴマフカミキリ	<i>Mesosa japonica</i>	各種広葉樹 および針葉樹	May.2020/栃木県宇都宮市（2A）、Jun.2020/栃木県宇都 宮市（10A）、Sep.2020/栃木県宇都宮市（2L）、Mar.2022/ 栃木県宇都宮市（1L）	13	+	A：48, 54, 66, 72, 118, 130 B：40, 48, 54, 66, 72, 78, 130	LC617392 LC617393
カタシロゴマフカミキリ	<i>Mesosa hirsuta</i>	各種広葉樹 および針葉樹	Aug.2020/栃木県宇都宮市（1A）	1	+	105, 181, 202	LC617391
ナガゴマフカミキリ	<i>Mesosa longipennis</i>	各種広葉樹 および針葉樹	Aug.2020/栃木県宇都宮市（5A）	5	+	A：42, 48, 54, 66, 66, 94, 118 B：40, 42, 48, 54, 66, 66, 78, 94	LC617389 LC617390
ヒメヒゲナガカミキリ	<i>Monochamus subfasciatus</i>	各種広葉樹 および針葉樹	Jun.2020/栃木県宇都宮市（1A）	1	+	42, 48, 66, 160, 172	LC617385
ゴマダラカミキリ	<i>Anoplophora malasiaca</i>	各種広葉樹 および針葉樹	May.2018/栃木県佐野市（1L）、Jun.2018/栃木県佐野市 （1A）、Jul.2018/栃木県佐野市（2A）、Jul.2019/栃木県宇 都宮市（1A）、Jul.2020/栃木県宇都宮市（1A）、Aug.2020/ 栃木県那珂川町（1A）	7	+	66, 94, 118, 210	LC617383
ニセビロウドカミキリ	<i>Acalolepta sejuncta</i>	各種広葉樹 および針葉樹	Aug.2020/栃木県那珂川町（2A）	2	+	—	LC617386
キボシカミキリ	<i>Psacotheta hilaris</i>	各種広葉樹	Aug.2020/栃木県那珂川町（1A）、Aug.2020/茨城県つく ば市（2A）、Sep.2020/栃木県宇都宮市（1A）	4	+	40, 54, 78, 94, 222	LC617388
クワカミキリ	<i>Apriona japonica</i>	各種広葉樹	Jun.2020/栃木県宇都宮市（2L）、Aug.2020/栃木県那珂 川町（2A）	4	+	30, 40, 42, 66, 130, 180	LC617384
ヤツメカミキリ	<i>Eutetrappa ocelota</i>	バラ科	Jun.2020/栃木県宇都宮市（1A）、Aug.2020/栃木県宇都 宮市（1A）	2	+	30, 36, 48, 51, 54, 57, 94, 118	LC617381
リンゴカミキリ	<i>Oberea japonica</i>	バラ科	Jun.2018/栃木県佐野市（1A）、Mar.2021/栃木県宇都宮 市（1L）	2	+	48, 48, 54, 66, 70, 94, 108	LC617382
ルリカミキリ	<i>Bacchisa fortunei</i>	バラ科	Jun.2020/栃木県宇都宮市（2A）	2	—	—	LC617380
ノコギリカミキリ亜科（Prioninae）							
ウスバカミキリ	<i>Aegosoma sinica</i>	各種広葉樹 および針葉樹	May.2018/栃木県佐野市（12L）、Jun.2018/栃木県佐野市 （1A）、Jul.2018/栃木県佐野市（1A）、Jul.2019/栃木県佐 野市（1A）、Jul.2019/栃木県宇都宮市（1A）、Jul.2020/ 栃木県佐野市（3A）、Aug.2020/栃木県宇都宮市（3A）	22	+	488	LC617378
ノコギリカミキリ	<i>Prionus insularis</i>	各種広葉樹 および針葉樹	Jul.2020/栃木県宇都宮市（1A）、Aug.2020/栃木県宇都 宮市（3L）	4	+	30, 40, 160, 258	LC617379
ホソカミキリムシ科（Disteniidae）							
ホソカミキリ	<i>Distenia gracilis</i>	各種広葉樹 および針葉樹	Aug.2020/栃木県宇都宮市（5A）	5	—	—	LC617394

^{a)} 食性は大林・新里 (2007), 小島・中村 (2011) および筆者の観察に基づく結果により示した。^{b)} 供試個体数の後の A は成虫を, L は幼虫を示す。^{c)} + は PCR 増幅産物を電気泳動した際に 488 bp の位置に 1 本の明瞭な増幅産物が認められたこと, — は認められなかったこと, + ' は目的位置以外にも増幅産物が認められたことをそれぞれ示す。^{d)} アルファベットは, PCR 増幅産物を制限酵素 AluI で処理した後の切断断片長に種内多型が見られたことを示す。また, — は目的とする PCR 増幅産物が得られなかったか, 非特異的なバンドが認められ, バンドパターンの判読が困難であったことを示す。^{e)} 本研究において決定したミトコンドリア DNA の COI 遺伝子領域の塩基配列の Accession No. を示す。クビアカツヤカミキリでは, 得られた二つのハプロタイプのそれぞれに対応した塩基配列の Accession No. を, それ以外の供試種では, CAPS マーカーの多型ごとに 1 個体のみを用いて決定した塩基配列の Accession No. を記載した。

ただし、クロトラおよびノコギリについては、切断断片長は異なるものの、クビアカツヤとバンドの位置が近い(図-1, Lane 1 および Lane 6~8 参照)ことから、可能な限りクビアカツヤの同定済みのサンプルを解析に加え、比較することが望ましい。

なお、上記 17 種のカミキリムシはいずれも種特異的なバンドパターンを示したことから、本マーカーはこれらの種の同定にも有効な可能性がある。ただし、そのためには各種についてバンドパターンの種内変異を調べる必要がある。本試験では、複数個体を供試した 14 種のうち、ミヤマ、ゴマフ、ナガゴマフの 3 種でバンドパターンの種内変異が認められた。これら 3 種は塩基配列解析の結果、制限酵素切断部位の数が一つ異なるそれぞれ二つのグループに分かれた。今後、より多くの種、異なる地域の個体を用いてバンドパターンの種内変異を検討することで、本マーカーが適用可能なカミキリムシを明らかにできると期待される。

おわりに

クビアカツヤの被害によって衰弱し伐採されたモモ樹を調査する中で、モモでは報告がなかった複数のカミキリムシ(クロトラ、ノコギリ、ゴマフ)がモモ園内の生産樹で発生していることが確認された。ただしこれらの種の寄生は、クビアカツヤの被害による衰弱部や枯死部への二次的な食入であるため、モモ生産への影響は小さいと考えられる。一般に、果樹園ではカミキリムシによる生産樹への寄生があったとしても、それがまれな事象である場合や、目立った被害を伴う場合を除き、種の診断が実施されることはほぼない。このため、果樹等で潜在的に発生するカミキリムシの実態に関する知見は少ない。近年、クビアカツヤ以外にも外来カミキリムシが各地で確認され街路樹等への加害が問題となっており(秋田ら, 2021; 市川・加藤, 2021 ほか)、果樹も含めた経

済的価値を有する樹木におけるカミキリムシの検出・診断技術の重要性が高まっている。本マーカーは、クビアカツヤの識別のみならず、他のカミキリムシの診断にもある程度は活用可能であることから、現場での利用が進むことで、果樹等の各種樹木を潜在的に利用しているカミキリムシについて新たな知見が得られる可能性がある。こうした知見の累積は、偶発的であれそれらの種が果樹等に被害を及ぼした際に、早期の原因究明やその後の対策の方針決定、対策法の選定など、迅速な対応につながるものと期待される。

引用文献

- 1) 秋田勝己ら (2021): 月刊むし **601**: 41~45.
- 2) 春山直人ら (2019): 関東東山病害虫研究会報 **66**: 106~109.
- 3) HONDA, J. Y. et al. (1999): Appl. Entomol. Zool. **34**: 69~74.
- 4) 市川和雄・加藤 茂 (2021): 月刊むし **608**: 52.
- 5) 岩田隆太郎 (2015): 木質昆虫学序説, 九州大学出版会, 福岡, 496 pp.
- 6) ——— (2018): 森林防疫 **67**: 189~216.
- 7) 加賀谷悦子・田村繁明 (2021): 日本応用動物昆虫学会大会 **65**: 55 (講要).
- 8) 小島圭三・中村慎吾 (2011): 日本産カミキリムシ食樹総目録(改訂増補版), 比婆科学教育振興会, 広島, 506 pp.
- 9) KUMAR, S. et al. (2020): Mol. Biol. Evol. **37**: 1237~1239.
- 10) KUNIHISA, M. et al. (2005): Euphytica **134**: 209~215.
- 11) 中野昭雄・渡邊崇人 (2017): 植物防疫 **71**: 723~728.
- 12) 日本応用動物昆虫学会 (2006): 農林有害動物・昆虫名鑑増補改訂版, 日本応用動物昆虫学会, 東京, 387 pp.
- 13) 大林延夫ら (1992): 日本産カミキリムシ検索図説, 東海大学出版, 東京, 696 pp.
- 14) ———・新里達也 (2007): 日本産カミキリムシ, 東海大学出版, 神奈川, 818 pp.
- 15) RIZZO, D. et al. (2020): Sustainability **12**: 6041.
- 16) SIMON, C. et al. (1994): Ann. Entomol. Soc. Am. **87**: 651~701.
- 17) ——— et al. (2006): Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst. **37**: 545~579.
- 18) TAMURA, S. and E. SHODA-KAGAYA (2022): Insects. **13**: 217.
- 19) 栃木県経営技術課 (2022): クビアカツヤカミキリ防除対策マニュアル(改訂第 3 版), 栃木県, <https://www.pref.tochigi.lg.jp/d04/seibututayousei/documents/kubiaka-manual-3.pdf>, (参照 2022-4-20).
- 20) TUDA, M. et al. (1995): Appl. Entomol. Zool. **30**: 377~380.
- 21) 和歌山県農作物病害虫防除所 (2019): 令和元年度病害虫発生予察特殊報 第 5 号.



モモヒメヨコバイの発生と現状

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

みしろこうじ
三 代 浩 二

はじめに

ヨコバイ類にはイネを加害するツマグロヨコバイや茶を加害するチャノミドリヒメヨコバイなど、多くの農業害虫が含まれる。果樹ではカンキツやリンゴなどの主要9樹種で37種が害虫として記載されている（日本応用動物昆虫学会，2006）。近年、被害が多数報告されているモモヒメヨコバイ *Singapora shinshana* (Matsumura, 1932) は、中央アジア原産のヨコバイ科 Cicadellidae ヒメヨコバイ亜科 Typhlocybyinae に属する昆虫である（林ら，2016）。和名は紙谷（2021）により新称として記載された。本種に関する報告は国内外ともに少なく、その生態に関しては未解明な部分が非常に多い。本稿では、これまで報告された知見を参考に国内での発生と防除の現状について紹介する。

I 形態と被害

成虫は、体長3～3.5 mm、体色は薄い黄緑色で半透明の翅をもち（図-1）、頭頂部に特徴的な黒点がある（図-2）。幼虫は黄色～黄緑色で、幼虫が成育している葉には白い脱皮殻が残されている（図-3）。

加害された葉はかすり状に色が抜ける（図-4）。この症状はウメやサクラでは被害が進むとオウトウハダニの被害痕に似てくるので葉裏を観察して区別する。本種は個体群密度が高くなると、葉全体が吸汁されて白っぽくなり落葉する（紙谷，2021）。現時点では未解明であるが被害が累積した場合は樹勢への影響が懸念される。

II 寄主植物

国内で都府県から発表された本種に対する特殊報（後述）では、ウメ、モモ、スモモ、アンズ、オウトウ、ハナモモ、ハナウメでの発生が報告されている。また、和歌山県での本種の越冬調査では、ウメ園地周縁のサンゴ

ジュとヒサカキで成虫が捕獲された（下村，2022）。これらの常緑樹を吸汁しているのかどうか不明であるが、越冬場所として利用されている状況から、今後注意する必要がある。

中国では、モモ、ナシ、サンザシ、リンゴ、ポポー、ポプラ、その他バラ科植物を加害する（Cao et al., 2014）。韓国では2007年にウメでの深刻な被害が発生した（Lee and Chung, 2011）。また、2016年と2017年にバラ科のサトザクラ、カリン、バラ、ムクロジ科のイロハモミジ、グミ科のアキグミ、ニレ科のケヤキ、マツ科のアカマツ



図-1 モモヒメヨコバイ成虫



図-2 モモヒメヨコバイ成虫の頭頂部
（農研機構 井上広光氏撮影）

Occurrence and Present Status of *Singapora shinshana* (Matsumura). By Koji MISHIRO

（キーワード：モモヒメヨコバイ，小粒核果類，ウメ，モモ，有効薬剤，発生）



図-3 ウメ葉裏の幼虫と脱皮殻



図-4 モモヒメヨコバイの被害（ウメ）

表-1 モモヒメヨコバイの特殊報を発表した都府県

年	月日	都府県名	作物名
2019 年	11 月 29 日	和歌山	ウメ
2020 年	9 月 30 日	徳島	ウメ, モモ
2020 年	10 月 13 日	埼玉	ウメ
2020 年	10 月 21 日	京都	ウメ
2020 年	10 月 28 日	大阪	スモモ, モモ, ウメ
2020 年	11 月 12 日	岡山	ウメ, モモ
2020 年	11 月 20 日	群馬	ウメ, モモ
2020 年	12 月 7 日	滋賀	ウメ, モモ等
2020 年	12 月 24 日	香川	モモ, スモモ, ウメ, アンズ, オウトウ, ハナモモ, ハナウメ
2021 年	9 月 15 日	栃木	ウメ, モモ
2021 年	10 月 15 日	山口	モモ, スモモ, ウメ
2021 年	10 月 18 日	東京	ウメ, アンズ, モモ, エドヒガン
2021 年	10 月 29 日	兵庫	ウメ, モモ
2021 年	11 月 1 日	広島	モモ
2021 年	11 月 1 日	愛知	ウメ, スモモ, アンズ
2021 年	12 月 6 日	大分	モモ
2022 年	8 月 10 日	佐賀	ウメ, ハナモモ
2022 年	8 月 19 日	福岡	モモ
2022 年	9 月 30 日	神奈川	ウメ, ハナモモ等
2022 年	12 月 13 日	熊本	モモ, スモモ, ウメ

で発生調査が行われ、アカマツ以外の樹木では本種のものとして断定できる被害痕を報告している (Kim et al., 2021)。このことから、国内においてもバラ科の栽培品種のほかにも落葉樹の景観植物や庭木で発生する可能性もあるので注意が必要である。

Ⅲ 分 布

国外では、中国、朝鮮半島、台湾で分布が確認されている (林ら, 2016)。国内においては、従来から発生が

確認されている沖縄県以外では、2019 年に和歌山県からウメで特殊報が発表されて以来、モモやウメ、スモモなどで 2023 年 6 月までに関東以西の 20 府県から相次いで特殊報が発表されている (表-1)。国内 21 都府県で発生していることになるが、詳しい分布はよくわかっていない。

Ⅳ 発 生 生 態

発生調査には黄色粘着トラップの使用が可能である

表-2 モモヒメヨコバイに使用できる殺虫剤

2023 年 6 月 14 日現在

登録種類名	商品名	作物名称	適用病害虫名称	希釈倍数・使用量	使用時期	IRAC
シベルメトリン水和剤	アグロスリン水和剤	うめ	モモヒメヨコバイ	2,000 倍	収穫 7 日前まで	3A
フルバリネット水和剤 20	マブリック水和剤 20	うめ	モモヒメヨコバイ	4,000 倍	収穫 21 日前まで	3A
フェンプロパトリン水和剤	ロディー水和剤	うめ	モモヒメヨコバイ	2,000 倍	収穫 7 日前まで	3A
シクラニリプロール液剤	テッパン液剤	小粒核果類	モモヒメヨコバイ	2,000 倍	収穫前日まで	28

(兼田・中西, 2021; Kim et al., 2021)。なお、青色粘着トラップは黄色に比べ誘引効果が劣ることが Kim et al. (2021) により報告されている。落葉後、越冬場所と推測されるウメ園地周縁の常緑樹での「たたき落とし」(下村, 2022) により発生を確認できる。

徳島県のウメでの調査では、夏から秋季に幼虫と成虫が混在し、11 月下旬以降は成虫のみが認められたが落葉後は樹上では見られなくなり、冬季は黄色粘着トラップで成虫が誘殺された (兼田・中西, 2021)。和歌山県での調査では、サンゴジュとヒサカキの葉裏で成虫の越冬が確認され、また、3 月のウメの展葉とともに樹上で成虫が見られた (下村, 2022)。すなわち、ウメでは葉が樹上にある春から秋までの長期間にわたり寄生が継続することを示している。

韓国では 2006 年と 2007 年にウメで発生調査を行った。2006 年は 4 月下旬～9 月下旬に発生が見られ 6 月中下旬と 8 月下旬にピークがあった。2007 年は 6 月上旬から発生が始まり継続的に増加し 10 月以降も発生が続き、8 月中旬に大きなピークが見られた (Lee and Chung, 2011)。

V 防 除 対 策

本種に使用できる殺虫剤は 2023 年 6 月現在、登録種類名で 4 剤とまだ少なく、対象の作物はウメまたは小粒核果類である (表-2)。現場では寄生葉の園外持ち出し等の耕種の防除と合わせて対処しているのが現状である。また、本種は成虫越冬すると考えられるため、春先から警戒し早期発見に努める。

韓国ではバラ、サトザクラ、ケヤキを用いた室内試験が行われ、フェニトロチオン水和剤、チアメトキサム水溶剤、およびエトフェンプロックス水和剤が高い補正死

虫率 (90%以上) を示し、特に、チアメトキサム水溶剤は、野外のサトザクラを用いて網掛け・放虫した後に薬剤を散布した試験では、散布 5 日後の補正死虫率は 98% 以上を示した。また、残効試験では、散布 35 日後・接種 5 日後の補正死虫率は約 50% と残効が長かった (Kim et al., 2019)。ただし、これらの殺虫剤は本稿作成時点では国内では未登録であるので使用はできない。

お わ り に

2019 年以降に発生が確認された本種の被害は、短期的には葉の白化等が認められるのみで、樹勢への影響は現時点では確認されていないが、今後被害が継続すると影響が現れる可能性が高い。発生初期から園地およびその周辺での密度を低く抑えておくことが重要となる。そのためには、前述の韓国の調査結果では 6 月下旬ごろと 8 月ごろに発生のピークがあることから、被害の中心となっているウメなどの、収穫期が早い核果類においては収穫後の防除が必要になるかもしれない。防除効果を高めるためには、日本国内でのより詳細な生態解明に加え、使用できる殺虫剤を増やすことも重要である。

引 用 文 献

- 1) Cao, Y. et al. (2014): Zootaxa 3774: 333~350.
- 2) 林 正美ら (2016): 日本昆虫目録 第 4 巻, 日本昆虫学会, 東京, p.311.
- 3) 紙谷聡志 (2021): 植物防疫 75: 614~619.
- 4) 兼田武典・中西友章 (2021): 植物防疫 75: 217~220.
- 5) Kim, H. G. et al. (2019): Kor. J. Pestic. Sci. 23: 146~153.
- 6) ——— et al. (2021): Entomological Research 51: 423~431.
- 7) Lee, H. S. and B. K. Chung (2011): Kor. J. Appl. Entomol. 50: 21~27.
- 8) 日本応用動物昆虫学会 (2006): 農林有害動物・昆虫名鑑 増補改訂版, 日本植物防疫協会, 東京, p.163~186.
- 9) 下村友季子 (2022): 植物防疫所病害虫情報 126: 6.

植物
防疫
講座

病害編（物理的・耕種的防除編）-1

水稻病害における物理的防除

秋田県立大学 ^{ふじ}藤

^{しん}晋 ^{いち}一

はじめに

いもち病をはじめとした水稻の主要な病害の多くは種子伝染性の病害である。これらの病害の発生を回避するために、一般には化学合成農薬による種子消毒が行われているが、環境保全型農業と有機・減農薬栽培の普及がはじまった、今から20数年前ごろから、温湯種子消毒法が種子消毒法の一つとして取り入れられるようになった。一方水稻の生産においては採種圃場で生産された健全種子が広く使用されているが、この種子については一般に比重選別機を使用して種子選別が行われている。また、自家採種種子等を使用する場合には、塩水選による優良種子の選別が行われている。ここでは水稻病害における物理的防除法として、塩水選による健全種子の選別方法、採種圃場で行われている比重選別機による健全種子の物理的選別方法を紹介するとともに、温湯消毒技術とその関連技術について紹介する。

I 健全種子の物理的選別

1 塩水選による選別

塩水選はうるち米では比重1.13（水18 l当たり食塩3.4 kg）、もち米では比重1.08（水18 l当たり食塩1.9 kg）に調整した溶液中に種もみをつけ、沈んだものだけを回収して、種子として使用する。塩水選を行った場合は、選別した種もみを十分に水洗いして種もみに付着した塩分をしっかりと除去し、速やかに乾燥させることが重要となる。また塩水選から種子を乾燥しないまま後述する温湯消毒を行う場合は、塩水選の開始から温湯消毒開始までを1時間以内にすることで、発芽や苗立の低下を少なく抑えることができる。

2 比重選別機による選別

塩水選は種子を水につけてしまうので、基本的には種子予措の直前に行うこととなり、大量の種子の選別やその後の保管には向いていない。そこで、数十年前から水

稲種子の調整施設には大量の種子の調整が可能な比重選別機が広く導入されている。選別は籾の比重差を利用した風力・振動によって行われており、未熟粒やだっぶ粒は「軽い粒用排出口」へ、充実したよい籾は「重い粒用排出口」に流れていく仕組みとなっている。しかしながら、比重選別機によって種子が選別されていても、塩水選を行って種子の再選別を行っている農家も多い。早坂（2004）は比重選別機による種子の選別実態を明らかにするため、種子生産組合で2002年と2003年に生産された比重選別機で選別が終了した種子を比重1.13と1.10の塩水で選別を行った。その結果、試験したいずれの種子においても97%以上の種子が比重1.13以上の種子として選別されたことを報告している。この結果は、比重選別を行った後の種子は塩水選を行う必要がないことを示している。さらに早坂（2004）は、2002年産の比重選別種子では、無消毒でもいもち病およびばか苗病の発生が認められなかったことを報告している。一方、ばか苗病およびいもち病多発圃場から採種した種子を比重1.17以上の塩水で選別してもばか苗病の発病苗率の低下やいもち病汚染率の低下はわずかであったとも報告している。大場ら（2003）も比重選別機で選別された採種圃産種子の94%以上が比重1.13以上の種子に分別されること、いもち病、ばか苗病防除目的で比重選別後の種子を塩水選しても病害発生の低減が認められないことを報告している。このことを踏まえると採種圃産種子で利用されている比重選別機による水稻種子の選別は罹病種子を持ち込まない物理的防除法の一つと考えられる。

II 温湯による物理的種子消毒

1 温湯消毒

水稻の温湯浸漬による種子消毒技術は温湯浸法としてムギ類の黒穂病対策、イネでは、ばか苗病などを対象として古くから風呂の沸かし湯などを使って行われてきた技術である。水稻の種子消毒としては化学合成農薬の卓越した効果と利便性から現場では広く利用されない技術であった。しかしながら、1980年後半以降、食に対する安全・安心志向の高まりから多くの農家が取り組みを

Physical Control of Rice Disease. By Shinichi Fujii

（キーワード：塩水選，比重選別，温湯種子消毒，種子伝染性病害）

始めた減農薬栽培の増加や化学合成農薬使用後の廃液処理の問題から、温湯浸法（以下温湯消毒）が脚光を浴びるようになった。特にタイガーカワシマ社が正確な温度制御を可能とする温湯消毒機（商品名：湯芽工房）を開発・販売したことは現在の温湯消毒の普及に大きく貢献している（図-1）。温湯消毒機の発売に伴い防除効果を示す処理温度や処理時間の検討が行われた（江口ら，2000；早坂ら，2001；金子，2008）。最終的には60℃ 10分を基本とし、いもち病，ばか苗病，苗立枯細菌病，もみ枯細菌病による苗腐敗症に効果を示す方法として普及した。当初は個人で使用し1回の処理量が8 kgあるいは16 kgの湯芽工房が広く普及したが，宮城県ではJAが共同の温湯消毒施設が，鳥取県，栃木県，秋田県では全自動の温湯消毒機が普及していった（岡部ら，2009）。特に栃木県と秋田県に導入されているサタケ社の温湯消毒機では，荷受・消毒・脱水・乾燥がすべて全自動で行われ，農家はサラン袋に入った種子が紙袋に入った状態で

手に入れることができる（図-2）。

温湯消毒機の普及によって温湯消毒は急速に広まったが，各県では，ばか苗病の発生が大きく問題となった。主な原因の一つ目は，温湯消毒を導入した農家の多くが無農薬・減農薬を推進しており，種子として自家採種の種子を使用したことがあげられる。いもち病やばか苗病が発生した圃場から採種した種子では玄米まで菌が侵入していることが多く，こうした種子では60℃ 10分間の温湯消毒では菌を死滅させることができない。二つ目は1回の投入量が守られていないなど使用方法が誤っていることが原因としてある。個人で使用する湯芽工房には浴槽内に入れるかごが設置されており，これに入る適正な量の種子を投入して温湯を循環させて消毒する必要がある（図-1）。しかしながら，農家ではこの使用方法を守らず，浴槽に入るだけの量の種子を投入していることも多く，結果として温湯が十分に循環しておらず，水温の低下によって60℃が確保できず十分な効果が得られ

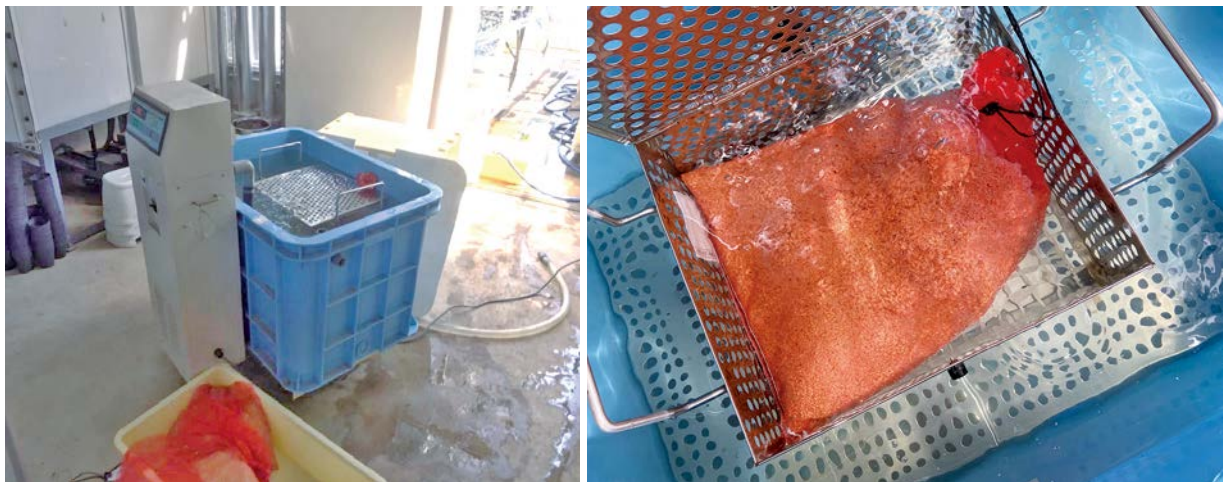


図-1 温湯消毒機（湯芽工房）と適切な消毒の様子



岡部原図

図-2 全自動温湯消毒機と消毒済み種子が入る紙袋

ない結果となっている。最も大きな原因は、消毒後の管理の不徹底である。採種圃産の種子であっても全く無菌の種子ということではないので、消毒前の種子には病原菌が付着している可能性が考えられる。したがって、種子の運搬等に使用したパレットや容器には病原菌が付着した可能性があり、消毒後そのまま戻すと菌が再感染することとなる。加えて、ばか苗病に関しては、前年の収穫した粃に付着していた菌が米の粃摺りの際に排出された粃殻、米ぬか、粉じんなどに紛れている可能性が高く、これらが種子予措期間中に混入し再感染することが、結果的に、ばか苗病が多発した要因となっている（藤，2019）（図-3）。種子予措中の水槽の水を衛生的に保つ方法として水の循環水層にUV照射機あるいはろ過精度 $1\mu\text{m}$ のフィルターを循環系に設置して、物理的に病原除去を行うことができる機器が試作されている。この機器を使用することで種子汚染率を大きく低減させることができたと報告されている（越智ら，2016）。実用化には至っていないので今後実用化が期待される技術の一つである。

2 高温加熱空気による消毒など

高温加熱空気による種子消毒が、海外でのムギ類や野菜種子の消毒技術として実用化（商品名：サーモシード）されている。この技術の利点は、水蒸気の凝縮潜熱を対象物表面の湿熱処理が可能であること、対象物の吸水が温湯消毒に比べて少ないことから乾燥工程が簡略できる

利点がある。この技術を水稻の種子消毒に応用するために、気流の温度、湿度、風量、加熱時間などが検討されてきた（野田ら，2014）。実際に水稻種子を用いた防除効果も検討されており、いもち病、もみ枯細菌病（苗腐敗症）、苗立枯細菌病に対して、温湯消毒あるいは化学合成農薬による種子消毒と同等の効果を示すことが報告されている（前田ら，2014；野田ら，2014；藤根ら，2015）。しかしながら、現状この技術は普及に至っていない。ほかにも、火炎（窪田ら，2013）、乾熱（窪田ら，2013）、レーザー光（埼玉県農林総合研究センターら，2001）、水蒸気（安達ら，2010）が水稻の種子消毒技術として報告されているが、いずれも実用化には至っていない。

3 事前乾燥を取り入れた温湯消毒（高温温湯消毒）

前述したように、 60°C の温湯消毒では農家の不適切な消毒方法もあって、ばか苗病が多発し大きな問題となった。近年、金勝ら（2013）は温湯消毒前に種子の粃水分含量を10%以下にする事前乾燥によって 65°C 10分の温湯消毒が可能となる新技術（高温温湯消毒）を開発した。この高温温湯消毒は従来の温湯消毒（従来法）では発芽不良を引き起こした酒米品種にも利用可能な技術である。高温温湯消毒の各種種子伝染性病害に対する防除効果を検証したところ、ばか苗病、いもち病、苗立枯細菌病、もみ枯細菌病（苗腐敗症）に対しては、従来法よりも防除効果が向上する傾向にあった（表-1、図-4）（伊賀ら，2020）。ただし高温温湯消毒には、事前乾燥処理

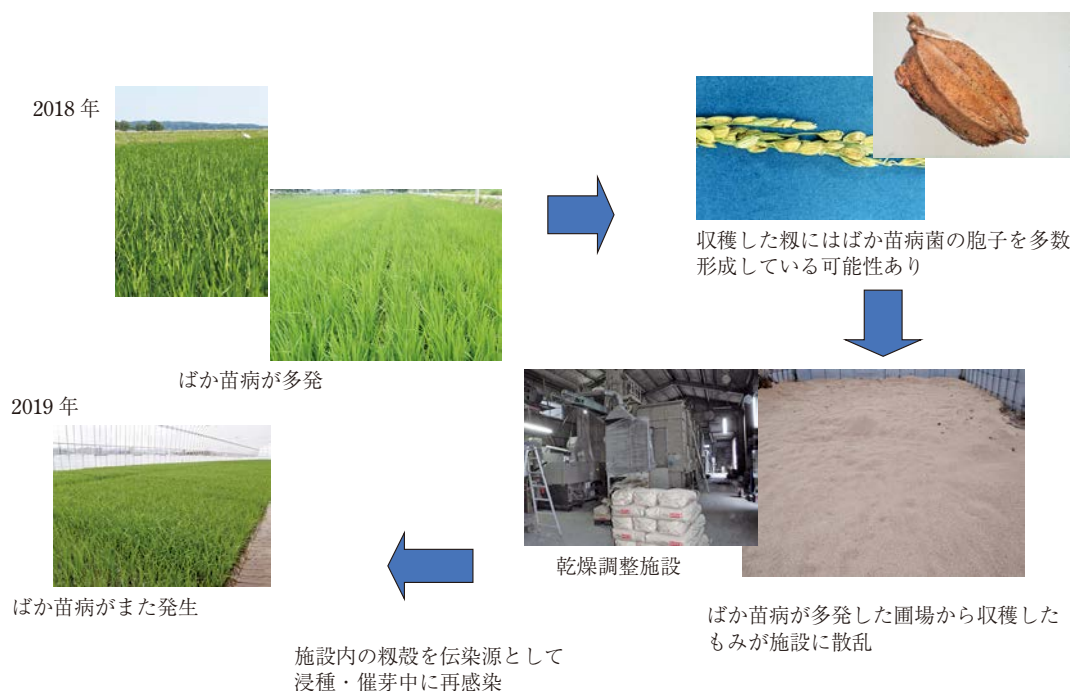


図-3 種子予措環境でのばか苗病の発生

表-1 高温温湯処理の防除効果

	ばか苗病	苗いもち	苗立枯細菌病	もみ枯細菌病
高温温湯処理	99.0	92.3	87.1	88.1
温湯処理	96.7	79.8	50.8	31.0
化学合成農薬	99.5	81.1	64.1	33.7

数値は無防除に対する防除効果（防除値）を示す。

防除値 = $100 - (\text{処理区の発病率} \div \text{無処理区の発病率}) \times 100$ 。

化学合成農薬はテクリード C フロアブル 200 倍 24 時間浸種前処理。

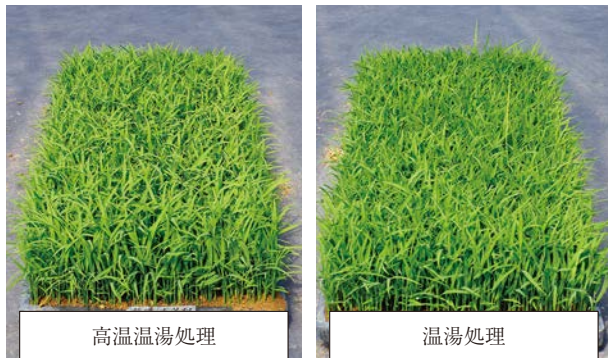


図-4 処理方法の違いによるばか苗病の発病状況

が必要となる。50℃で一晩通風乾燥することによってほとんどの籾の水分含量は 10% 以下となるが、この作業を行うことができる専用の乾燥機は試作段階で販売されていないことから（図-5）、現状では何らかの乾燥機を流用して乾燥させる必要がある。秋田県大潟村ではすでに高温温湯消毒が普及しているが、乾燥はタマネギの乾燥施設を使った共同乾燥が行われている。

おわりに

本稿では、水稻病害の物理的防除として健全種子の選別に重要な作業工程である塩水選とそれにかわる比重選別機による選別、水稻の種子消毒技術として広く普及している温湯消毒を概説した。施設園芸では UV-B を活用した病害虫防除や振動や超音波を用いた防除技術など物理的防除に関する研究が盛んに行われている。これらの技術を水稻に普及させることは難しいと思われるが、「みどりの食料システム戦略」に掲げた「化学農薬の使用量（リスク換算）50%低減」を達成するためにも、水稻栽培においても新しい視点での物理的防除技術の開発が期待される。



図-5 事前乾燥に使用する乾燥機（サタケ社試作機）

引用文献

- 1) 安達直人ら（2010）：石川県農業総合研究センター研究報告 29：13～17.
- 2) 江口直樹ら（2000）：関東東山病虫研報 47：27～29.
- 3) 藤 晋一（2019）：植物防疫 73：556～561.
- 4) 藤根 統ら（2015）：日植病報 81：265.
- 5) 早坂 剛ら（2001）：同上 67：26～32.
- 6) ———（2004）：北日本病虫研報 55：43～44.
- 7) 伊賀優実ら（2020）：日植病報 86：1～8.
- 8) 金勝一樹ら（2013）：日作紀 82：397～401.
- 9) 金子 誠（2008）：関西病虫研報 50：29～31.
- 10) 窪田陽介ら（2013）：農業食料工学会誌 75：259～267.
- 11) 前田勝行ら（2014）：日植病報 80：19.
- 12) 野田崇啓ら（2014）：農業食料工学会誌 76：555～563.
- 13) 越智昭彦ら（2016）：北日本病虫研報 67：33～35.
- 14) 岡部満子ら（2009）：日作紀 78：515～517.
- 15) 大場淳司ら（2003）：平成 15 年研究成果情報、<https://www.naro.affrc.go.jp/org/tarc/seika/jyouhou/H15/seisan/h15seisan026.html>
- 16) 埼玉県農林総合研究センターら（2001）：平成 10-12 年度研究成果報告.

研究室紹介

三重県農業研究所 紀南果樹研究室

三重県は温暖な気候に恵まれ、果樹ではカンキツの栽培面積が最も多く約 1,400 ha 栽培されており、そのうち約 800 ha が県南部の東紀州地域で栽培されています。

当研究室は、昭和 12 年に南牟婁郡御浜町内に三重県立農事試験場紀南園芸指導所として開設され、昭和 45 年に三重県農業技術センター紀南かんきつセンターと改称、昭和 62 年に国営御浜農地開発事業により造成された同町の志原団地内に移転し、平成 20 年より三重県農業研究所紀南果樹研究室と改称、現在に至っています。

当研究室はカンキツ等果樹類に関する新品種開発や省力化・高品質果実安定生産に関する栽培技術、病虫害防除対策等に関する試験研究を行っていますが、以下に昨年までの植物防疫に関する主な研究課題をご紹介します。

1 ドローンを活用した果樹の病虫害防除管理効率化技術の開発

カンキツにおけるドローンを活用した省力的な防除技術開発のため、平成 30 年より 5 年間農水省委託プロジェクト研究「ドローンやセンシングを活用した果樹の病虫害防除管理効率化技術の開発」(JP18064802) に参画し、農薬の濃厚少量散布による葉害の有無や、ドローンを使った防除効果を検証してきました。また、ドローンを使った防除効果を検証し、この中でドローン散布による年間防除を行い、手散布と比較した年間防除作業時間や、その防除効果を検証し、この中でドローン散布による年間防除作業時間の削減率は手散布と比較して 4 割となることを実証しました。



図-1 ドローンによる防除作業

2 軽トラックを活用した防除および作業機械の開発

担い手の高齢化や労力不足を補完し、産地の維持を図っていくためには機械化による省力的な作業体系が必要であり、防除作業も省力化が望まれている作業です。そこで軽トラックを活用し、ブームノズルを取り付けたアタッチメント式防除機を開発し、作業時間の削減効果や防除効果、年間防除作業による実用性等を検討しています。



図-2 軽トラアタッチメント式防除機

3 温州ミカン園におけるマルチ栽培による褐色腐敗病の抑制

温州ミカンの褐色腐敗病は降雨による土壌の跳ね返りが最大の発病要因となっており、降水量の多い当地域において問題となっています。薬剤散布による防除とともに、病原菌の付着を防止する物理的防除を組合せることが必要です。

そこで温州ミカンの高品質化を目的に園地に導入されているマルチ栽培による物理的防除効果を検証しました。その結果、マルチ栽培をすることで土壌中の病原菌の跳ね返りを防ぎ、発生を軽減することが明らかとなりました。

以上、当研究室の取組事例を紹介しましたが、産地の維持発展のため、今後も関係機関と取り組んでまいります。



図-3 褐色腐敗病

(室長 鈴木孝明)

■訂正

77 巻 7 号に誤りがありました。訂正してお詫びいたします。

399 頁, (2) 薬剤防除, ○施設栽培の表中

誤: フロンサイド SC の行

正: フロンサイド SC の行を削除

77 巻 8 号に誤りがありました。訂正してお詫びいたします。

472 頁, 広告掲載会社一覧

誤: 農薬工業会(株)

正: JCPA 農薬工業会

学会だより

○第 42 回農薬製剤・施用法シンポジウム開催のお知らせ

日本農薬学会主催第 42 回農薬製剤・施用法シンポジウムは下記のとおり開催いたします。

開催形式: 対面

開催日: 2023 年 9 月 28 日~29 日

参加申込み期限: 2023 年 9 月 22 日

参加料金: 14,000 円

開催場所: なら 100 年会館

日程

9 月 28 日 13:00~17:00 特別講演 (3 件), ポスター

セッション

【特別講演 1】

「農薬散布のスマート化への取り組みと課題, 農薬

広告掲載会社一覧 (掲載順)

石原バイオサイエンス(株)……………ランマン
サンケイ化学(株)……………ダブルシューター
バイエルクロップサイエンス(株)……ビーラム
日本曹達(株)……………ミギワ
OAT アグリオ(株)……………サフオイル
三井化学クロップ&ライフソリューション(株)
……………主要品目
コルテバ・アグリサイエンス日本(株)…主要品目
日本農薬(株)……………AI 診断
クミアイ化学工業(株)……………プロポーズ

センシング技術の開発に向けて」

野口良造 (京都大学大学院 農学研究科)

【特別講演 2】

「界面活性剤混合系における分子集合体の構造制御とその応用—ベシクルを中心に—」

酒井秀樹 (東京理科大学 創域理工学部 先端科学科)

【特別講演 3】

「農薬製剤の製造プロセスにおける計測と制御」

綿野 哲 (大阪公立大学 工学研究科)

9 月 29 日 10:00~12:00 技術研究発表

連絡先や詳細はホームページをご確認ください。

次号予告

次号 2023 年 10 月号の主な予定記事は次のとおりです。

欧州における農薬関連法規制の動向 元場一彦
飼料用トウモロコシにおけるアワノメイガの発消長と有効な防除薬剤の探索 石島 力
メッシュ農業気象データを用いたイネ縞葉枯病の薬剤散布適期判定システム 柴 卓也
茨城県におけるキク矮化ウイルス検定の抵抗性育種と生産現場での活用 郷内 武
北海道におけるコナガのジアミド系薬剤感受性低下に対応した防除対策 下間悠士ら
気象条件に基づくトウモロコシすす紋病の発生予察法 岡部郁子
ブームスプレーヤの噴霧高さがタマネギにおける薬液付着とべと病の防除効果に及ぼす影響 井手洋一

わが国で薬剤抵抗性が発達した農業害虫一覧 森下正彦
宮城県津波被災地域における水田農業の復旧・復興に向けた水稻病虫害研究の足跡 加進丈二
植物防疫講座:
虫害編 (物理的・耕種的防除編)-1 水稻害虫における物理的・耕種的防除 (スクミリンゴガイ) 清水信孝
虫害編 (物理的・耕種的防除編)-2 水稻害虫における物理的・耕種的防除 (スクミリンゴガイを除く) 平江雅宏
研究室紹介:
鹿児島県農業開発総合センター大島支場病害虫研究室 尾川宜広
地方独立行政法人 青森県産業技術センター りんご研究所県南果樹部 内藤 誠

植物防疫

2023 年
9 月号

(毎月 1 回 1 日発行)

第 77 巻 2023 年 8 月 25 日印刷

第 9 号 2023 年 9 月 1 日発行
(通算 921 号)

編集発行人 早川 泰弘

印刷所 三美印刷(株)
東京都荒川区西日暮里 6-28-1

定価 1,100 円

本体 1,000 円 + 税 10 %

——発行所——

〒114-0015 東京都北区中里2丁目28番10号

一般社団法人 日本植物防疫協会

電話 (03) 5980-2181 (代)

FAX (03) 5980-6753 (支援事業部)

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

明日の「農」を支える力でありたい。

自然の恵みをうけて、大きく育つ農作物。そんなみずみずしい生命を守り、支え、確かな実りに結ぶ三井化学クロップ&ライフソリューション株式会社の技術。自然との調和を基本に、三井化学クロップ&ライフソリューション株式会社はより豊かな農業のために、より安全性の高い農薬の提供をつづけています。

®を付した商標は三井化学クロップ&ライフソリューション(株)の登録商標です。

殺虫剤

三井薬 **アルバリン**® 顆粒水溶剤・粒剤 粉剤DL・箱粒剤

トレボン® 乳剤・EW・MC・粉剤DL 粒剤・エアースカイMC

ミルベノック® 乳剤

リディア® 箱粒剤

スタークルメイト® 1キロH粒剤 液剤10

アズキ® 乳剤

キックオフ® 顆粒水和剤

プロフレア® SC

トレボンスター® フロアブル 粉剤DL

コロマイト® 水和剤 乳剤

エミリア® フロアブル

殺菌剤・殺虫菌殺菌剤・土壌消毒剤

アフエット® フロアブル

ネビジン® 粉剤

サンリット® 水和剤

タチガレエース® M 粉剤 液剤

ガッツスター® 粒剤

ツインキック® 箱 粒剤

サンスパイク® 箱 粒剤

トライ® フロアブル

ベジセイバー®

ネビリュウ®

テーク® 水和剤

タチガレファイト® 液剤

トリプルキック® 箱粒剤

三井薬 **クロールピクリン**

Dr.オリゼリディア® 箱粒剤

サンエース® 箱 粒剤

フルーツセイバー®

モンガリット® 1キロ粒剤 粒剤

タチガレン® 粉剤 液剤

サンブラス® 粒剤

サンフェスタ® 箱粒剤

三井 **ソイリーン**®

オリゼメート® 1キロ粒剤 粒剤

アグレプト® 水和剤 液剤

除草剤

イネキング® 1キロ粒剤・ジャンボ フロアブル

バスター® 1キロ粒剤・ジャンボ フロアブル・400FG

バスター® 1キロ粒剤

バスター® 1キロ粒剤

トドメMF® 1キロ粒剤 乳剤

アールタイプ® 1キロ粒剤・ジャンボ フロアブル

ウルティバZ® 1キロ粒剤・ジャンボ フロアブル・400FG

リニッパームZ® 1キロ粒剤

ランカロスZ® 1キロ粒剤

草枯らしMIC® 1キロ粒剤

バスター® 1キロ粒剤・ジャンボ フロアブル

バスター® 1キロ粒剤・ジャンボ フロアブル・400FG

リニッパーム® ジャンボ

ランカロス® ジャンボ

ザクザ® 液剤

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



三井化学クロップ&ライフソリューション株式会社

東京都中央区日本橋 1-19-1 日本橋ダイヤビルディング

三井化学アグロ(株)はグループ内企業を再編し社名変更いたしました。



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

園芸用殺虫剤

トランスフォーム™

Isoclast™ active

ダブルシューター™

スピノエース™

ファルコン™

ファルコンエース™

デリゲート™

水稲用殺虫剤

エクシード™

Isoclast™ active

ペキサロン™

Pyraxalt™ active

ゼロカウント™

園芸用殺菌剤

ゾーベックエンテクタ™

ゾーベック™ エニベル™

ゾーベック™ エンカンティア™

ラリー™

インダー™

コサイド® 3000

水稲用殺虫殺菌剤

ビーム™ エイト エクシード™

Isoclast™ active

水稲用除草剤

クリンチャー™

ワイドアタック™

ロイヤント™

Rinskor™ active

ウィードコア™

Rinskor™ active

ノブレクト™

Rinskor™ active

水稲用殺菌剤

ビーム™

ビーム™ エイト

水稲種子処理用殺虫剤

ルミスパンス™ FS



病害虫雑草の 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
病害虫雑草診断
ができる



有効薬剤
がわかる!



診断履歴を
管理・分析
できる!



通信料を除く

無料!



スマートフォン用アプリ **レイミーの**

AI病害虫雑草診断

対応作物が増えました!!



無料 ダウンロードはこちら



利用時の通信料はお客様のご負担となります。

日本農業ホームページから

日本農業 検索



開発

日本農業株式会社

NTT DATA 株式会社 NTTデータ CCS

参加

日産化学株式会社

日本曹達株式会社

三井化学アグロ株式会社

イスダー・イスバイオテック

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と日本農業(株)の共同開発です。

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

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

殺菌剤



プロポーズ® 顆粒水和剤

べと病・疫病に
2成分で優れた効果

予防

治療

残効性

耐雨性



詳しい使い方、
登録内容とSDSは
こちらから。



100g



500g

JAグループ
農 協 | 全 農 | 経済連

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

®はクミアイ化学工業(株)の登録商標です。

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