

高知農技セ研報

Bull. Kochi Agric.

Res. Cent.

BULLETIN
OF THE
KOCHI AGRICULTURAL RESEARCH CENTER
No.34
March 2025

高知県農業技術センター研究報告

第 34 号

令和 7 年 3 月

高知県農業技術センター

高知県南国市廿枝1100

KOCHI AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

Hataeda 1100, Nankoku Kochi 783-0023, Japan

高知県農業技術センター研究報告

第 34 号
令和 7 年 3 月

目 次

ショウガ褐色しみ病の防除体系の確立	林 一沙	1
高知県における SDHI 剤耐性ナスすすかび病菌の分布	矢野和孝・溝渕啓介・岡田知之・岡美佐子	7
促成ナスつる下げ誘引栽培の増収技術および労働特性	篠田翔真・永尾航洋・山崎浩実・西村宙晃	17
高知県の施設ほ場におけるアザミウマ類の画像認識 AI の検出精度検証	下村文那・山脇美樹・吉田百花・中石一英・高山智光 ・杉浦 綾・下八川裕司	27

BULLETIN
OF THE
KOCHI AGRICULTURAL RESEARCH CENTER
No. 34
March 2025

CONTENTS

Development of a control system for brown rhizome rot of ginger	
Kazusa Hayashi	1
SDHI(Succinate dehydrogenase inhibitors) Resistant Strains of Mycovellosiella nattrassii Deighton on Eggplant Distributed in Kochi Prefecture	
Kazutaka YANO, Keisuke MIZOBUCHI, Tomoyuki OKADA and Misako OKA	7
Techniques for increase and labor characteristics of Forcing Eggplant Non-Pinching Training Cultivation	
Shoma Shinoda, Kouyou Nagao, Hiromi Yamasaki and Hiroaki Nishimura	17
Verification of the detection accuracy of image recognition AI for thrips in greenhouses in Kochi Prefecture	
Ayana Shimomura, Miki Yamawaki, Momoka Yoshida, Kazuhide Nakaishi,	27
Tomohiko Takayama, Ryo Sugiura, Yuji Shimoyakawa	

ショウガ褐色しみ病の防除体系の確立

林 一沙

Development of a control system for brown rhizome rot of ginger

Kazusa HAYASHI

要 約

高知県では、施設栽培によるハウスショウガ (*Zingiber officinale* Rosc.)栽培が盛んである。根茎表面に褐色斑点を形成する病害として、*Musidium stromaticum*によるショウガ褐色しみ病が近年報告されたが、発生生態および伝染経路は未だ不明であり、防除対策も検討されていない。本研究では、種根茎から褐色しみ病菌が分離されたことから、種根茎が伝染源である可能性が示唆された。露地圃場および施設圃場でベノミル水和剤とトリフルミゾール水和剤それぞれの効果試験を行ったところ、いずれの試験においても実用レベルの防除効果を示した。また、ベノミル水和剤とトリフルミゾール水和剤の交互処理を行っても、高い防除効果が得られたことから、これらの薬剤を防除体系に組み込むことで、問題となっている褐色しみ病による施設栽培ショウガの品質低下を防ぐことができると考えられた。

キーワード： ショウガ、施設栽培、*Musidium stromaticum*、有効薬剤

はじめに

ショウガ (*Zingiber officinale* Rosc.)は高知県の主要品目であり、2021年のショウガ栽培面積は432ha、生産量は16,100tと全国シェアの42.1%を占めた⁶⁾。通常、露地栽培ショウガは4月に定植後、11月に収穫され、貯蔵される。一方、施設栽培ショウガは、露地栽培ショウガの根茎を種として使用し、11～12月に定植後、3～5月にかけて収穫されるため、栽培期間が短い。施設栽培のショウガはハウスショウガと呼ばれ、露地栽培ショウガと比較して根茎表面の色が白いことが特徴である。*Musidium stromaticum*によって引き起こされるショウガ褐色しみ病は、施設栽培されたハウスショウガの根茎表面に褐色斑点を形成する病害として近年報告された³⁾。地上部では病徴が認められないため、生育期間中の発病に気づきにくく、収穫や出荷調整時に初めて病徴が確認されることから、高知県内の施設栽培

ショウガ産地で問題となっている。一方、露地栽培ショウガの根茎は褐色かつ、土が付着したまま貯蔵されるため、病害が発覚する事例が少なく、あまり問題になっていない。本病は、筆者の知る限りでは世界で初めて病害として報告されたため、未だ詳しい発生生態および伝染経路は明らかにされておらず、防除対策も検討されていない。そこで、本病に対する薬剤の防除効果を検討した。また、伝染経路を推定するため、種根茎における感染を調査したので報告する。さらに、本試験では、ショウガいもち病に登録のあるベノミル水和剤と、ショウガ白星病に登録のあるトリフルミゾール水和剤の褐色しみ病への効果を明らかとし、これら薬剤を用いた防除体系の確立を目指した。

材料および方法

1. 薬剤防除試験(場内圃場試験)

1) 耕種概要

試験は、2021 年に高知県農業技術センター(農技セ)内の露地圃場で、2022 年に農技セ内の施設圃場で計 2 回行った。どちらも土佐一(系統名)を用い、それぞれ前年の 11 月に高知市および香南市で収穫されたのち、13℃で貯蔵されていたものを用いた。2021 年は植付け前に元肥として土根壤(N:P:K=8:10:8)を 500kg/10a 施用し、4 月 12 日に、畝幅 130 cm, 株間 45cm, 1 条植えで定植した。2022 年は、間口 8m のパイプハウスに、植付け前に元肥として土根壤を 400kg/10a 施用し、4 月 14 日に、畝幅 80cm, 株間 40cm, 1 条植えで定植した。

2) 薬剤処理と区制

2021 年と 2022 年のいずれの試験においても、ベノミル水和剤(ベノミル 50.0%)処理区とトリフルミゾール水和剤(トリフルミゾール 30.0%)処理区を設けた。供試薬剤の 1,000 倍希釈液を調製し、300L/10a の割合で株全体が十分濡れるように背負式バッテリー噴霧機を用いて散布した。なお、薬剤処理を行わない無処理区を設けた。2021 年は 8 月 26 日(草丈約 50cm)と 9 月 29 日(草丈約 80cm)の計 2 回処理を行った。1 区あたり 3.5 m² (幅 1.3m×2.7m), 6 株, 3 連制とした。2022 年は 6 月 6 日(芽がすべて出揃った頃), 7 月 6 日(草丈約 50cm), 8 月 18 日(草丈約 80cm)の計 3 回処理を行った。1 区あたり 3.2 m² (0.8m×4.0m), 10 株, 3 連制とした。

3) 調査

2021 年は最終薬剤処理 44 日後の 11 月 12 日に株を掘り取り、全株(6 株)の根茎を対象に、発病程度を次の発病指数別に調査した。調査結果から発病株率および発病度を算出し、防除価は発病度の平均値より算出した。

発病指数 0: 発病を認めない, 1: 病斑面積は根茎の表面積に対して 3%未満, 2: 同 3~13%未満, 3: 同 13~25%未満, 4: 同 25%以上~

発病度 = $\Sigma(\text{発病指数} \times \text{発病指数別株数}) \div (\text{調査株数} \times 4) \times 100$

防除価 = $(1 - \text{処理区発病度} \div \text{無処理区発病度}) \times 100$

2. 薬剤防除試験(現地圃場試験)

1) 耕種概要

高知市の現地施設圃場 10a で試験を行った。土佐一(系統名)を用い、2022 年 11 月に土佐市で収穫されたのち、13℃で貯蔵されていたものを用いた。2023 年 11 月 8 日に株間 22cm, 2 条植えで定植した。

2) 薬剤処理

2023 年 12 月 8 日(芽がすべて出揃った頃)にベノミル水和剤を、2024 年 1 月 15 日(草丈 80cm)にトリフルミゾール水和剤を、2 月 15 日にベノミル水和剤を圃場全体に処理した。供試薬剤の 1,000 倍希釈液を



図 1 ショウガ褐色しみ病の指数別の症状

注)左図は指数 1 を、右図は指数 2 を示す。赤丸は症状を示す。

表1 農薬によるショウガ褐色しみ病の防除試験結果(場内 2021 年)

供試験薬	希釈倍率	連制	調査株数	指数別発病株数					発病株率(%)	発病度	防除価
				0	1	2	3	4			
ベノミル水和剤 ベノミル 50.0%	1000倍	I	6	1	4	1	0	0	83.3	25	71.2
		II	6	2	3	1	0	0	66.7	20.8	
		III	6	2	4	0	0	0	66.7	16.7	
		平均							72.2	20.8	
トリフルミゾール水和剤 トリフルミゾール 30.0%	1000倍	I	6	1	5	0	0	0	83.3	20.8	69.3
		II	6	3	2	1	0	0	50	16.7	
		III	6	1	3	2	0	0	83.3	29.2	
		平均							72.2	22.2	
無処理		I	6	0	0	2	2	2	100	75	
		II	6	0	0	1	4	1	100	75	
		III	6	0	1	2	1	2	100	66.7	
		平均							100	72.2	

調製し、300L/10a を株全体が十分濡れるように動力噴霧機を用いて散布した。栽培期間中にベノミル水和剤とトリフルミゾール水和剤以外の薬剤による防除は行わなかった。なお、圃場の一部に、薬剤処理を行わない無処理区 10.0 m² (2.0m×5.0m) を設けた。

3) 調査

4 月 10 日に株を掘り取り、処理区、無処理区とも 50 株の根茎を対象に、次の発病指数別(図 1)に調査し、発病株率を算出した。防除価は発病株率の平均値より前述に従い算出した。

発病指数 0：発病を認めない、1：病斑面積は根茎の表面積に対して 20%未満、2：同 20%以上～

発病度 = Σ (発病指数 × 発病指数別株数) ÷ (調査株数 × 2) × 100

3. 種根茎からの褐色しみ病菌の分離

2 回の場合内試験および現地試験に用いた種根茎の分離を行った。それぞれ 10 個を水で洗浄し、根茎表面に褐色斑点が認められる部位から小片を取り、70%エタノールに 30 秒間、2%次亜塩素酸ナトリウム水溶液に

60 秒間浸漬して表面殺菌した後、2%ブドウ糖加用ジャガイモ煎汁寒天(PDA)培地に置き、25℃で 2 週間静置した。2 週間後、生育したコロニーを観察し、褐色しみ病菌の有無を判別した。

結 果

1. 農業技術センター内圃場における防除試験

2021 年の露地栽培の試験では、調査時の無処理区の発病株率は 100%、発病度は 72.2 であった。一方、ベノミル水和剤処理区の発病株率は 72.2%、発病度は 20.8、防除価は 71.2、トリフルミゾール水和剤処理区の発病株率は 72.2%、発病度は 22.2、防除価は 69.3 であった(表 1)。

2022 年の施設栽培の試験では、調査時の無処理区の発病株率は 96.7%、発病度は 35.8 であった。一方、ベノミル水和剤処理区の発病株率は 36.7%、発病度は 9.2、防除価は 74.3、トリフルミゾール水和剤処理区の発病株率は 26.7%、発病度は 6.7、防除価は 81.3 であった(表 2)。

表2 農薬によるショウガ褐色しみ病の防除試験結果(場内 2022 年)

供試験薬	希釈倍率	連制	調査株数	指数別発病株数					発病株率(%)	発病度	防除価
				0	1	2	3	4			
ベノミル水和剤 ベノミル 50.0%	1000倍	I	10	5	5	0	0	0	50	12.5	74.3
		II	10	7	3	0	0	0	30	7.5	
		III	10	7	3	0	0	0	30	7.5	
		平均							36.7	9.2	
トリフルミゾール水和剤 トリフルミゾール 30.0%	1000倍	I	10	8	2	0	0	0	20	5	81.3
		II	10	7	3	0	0	0	30	7.5	
		III	10	7	3	0	0	0	30	7.5	
		平均							26.7	6.7	
無処理		I	10	0	5	4	1	0	100	40	
		II	10	1	6	3	0	0	90	30	
		III	10	0	6	3	1	0	100	37.5	
		平均							96.7	35.8	

2. 現地施設圃場における防除試験

調査時の無処理区の発病株率は92.0%，薬剤処理区の発病株率は22.0%，防除価は76.1であった(表3)。

表3 農薬によるショウガ褐色しみ病の防除試験結果
(現地)

試験区	調査株数	指数別発病株数			発病株率(%)	防除価
		0	1	2		
薬剤処理	50	39	11	0	22	76.1
無処理	50	4	35	11	92	

3. 種根茎からの菌の分離

農業技術センター内圃場試験および現地圃場試験に供試した種根茎から、ショウガ褐色しみ病菌が分離された(表4)。場内露地圃場の種根茎では10個中9個、場内施設圃場の種根茎からは10個中10個、および現地圃場の種根茎からは6個中4個から褐色しみ病菌が分離された。

表4 種根茎からのショウガ褐色しみ病菌の分離

調査年	試験圃場	種根茎 採取地	調査 根茎数	菌が分離 された根茎数
2021	農技セ	高知市	10	9
2022	農技セ	香南市	10	10
2023	高知市	土佐市	6	4

考 察

Plectosphaerellaceae 科には、*Musidium* 属以外に *Plectosphaerella* 属が含まれる⁴⁾。*Plectosphaerella* 属を病原体とする病害には、クルクマさび斑病やカラー斑点病がある。クルクマさび斑病では、球根の洗浄に加えて、出芽時にベノミル水和剤を株元散布すると防除効果が高まることが明らかとされた⁷⁾。また、カラー斑点病菌はテトラコナゾール液剤に対して高い感受性を示すことが報告された²⁾。これらを参考に、ショウガいもち病に適用のあるベノミル水和剤と、テトラコナゾール液剤と同じDMI剤かつショウガ白星病に適用のあるトリフルミゾール水和剤を、ショウガ褐色しみ病の防除に利用できる殺菌剤の候補に挙げた。農業技術センター内の露地および施設圃場で各薬剤の効果試験を行ったところ、いずれの試験においても実用レベルの防除効果を示し、ショウガ褐色しみ病の防除に利用可能であると考えられた。

生産現場では、耐性菌の発生を防ぐために、同系統の作用機序を示す薬剤の連続使用を避けることが望ましい。生産者圃場において、ベノミル水和剤とトリフルミゾール水和剤を交互に処理すると、高い防除効果が得られたことから、作用機序の異なるこれらの薬剤を防除体系に組み込むことで、産地で問題となっている褐色しみ病によるハウスショウガの品質低下を防ぐことができると考えられた。

2024年9月1日時点で、ベノミル水和剤とトリフルミゾール水和剤は、ショウガ褐色しみ病に適用拡大済みである。なお、褐色しみ病に対する登録農薬は上記2剤のみである。耐性菌の発生を防ぐために、今後、ベノミル水和剤とトリフルミゾール水和剤とは異なる作用機序で、褐色しみ病に対して高い効果を示す薬剤の適用拡大を行う必要がある。

多くの病害で、病原菌に汚染された種子が伝染源になることが知られている。ショウガ栽培では、露地圃場で成熟させて収穫した根茎を種として使用する。種根茎によって感染拡大する病害に青枯病や根茎腐敗病がある^{1),5)}。これらの病害では、外見上病徴が確認されない場合であっても、病原菌に感染した種根茎を使用することで被害が拡大することがある。本試験に用いた種根茎は、採取地が異なっていたにもかかわらず、いずれの試験においても褐色しみ病菌が多く分離された。また、調査時に本病が根茎で確認されたことから、本病は種根茎を介して伝染する可能性が高く、露地栽培ショウガにも広く褐色しみ病が発生している可能性が示唆された。健全な種根茎を確保することは重要だが、種根茎は土が付着したまま定植されるので、発病の有無を判断することは難しい。したがって、栽培期間中の薬剤による防除は非常に重要である。本病害について、今後はさらなる詳細な検討が必要であると考えられた。

利益相反の有無

著者は開示すべき利益相反はない。

引用文献

- 1) 一谷 多喜郎, 新須 利則 (1980). ショウガの根茎腐敗病をおこす *Pythium zingiberum* とその分布: 日本植物病理學會報 46(4): 435-441.
- 2) 宇佐見 俊行, 松原 千純, 海老原 克介 (2016).

- カラー斑点病の発生と仏炎苞の被害：植物防疫 70 (1)：30-34
- 3) Kazusa Hayashi, Yuuri Hirooka, Tomoka Oki, Yoshifumi Shimomoto and Kazutaka Yano (2024). First report of brown rhizome rot of ginger (*Zingiber officinale*) caused by *Musidium stromaticum*: *Journal of General Plant Pathology*. 90:223-228.
- 4) Giraldo, A., and P. W. Crous. (2019) Inside plectosphaerellaceae.: *Studies in mycology* 92(1): 227-286.
- 5) 土屋 健一 (2008). 外来性レース系統によるショウガ科植物青枯病の発生と伝播：植物防疫 62 (4)：72-75.
- 6) 農林水産省統計 (2022) 地域特産野菜生産状況調査. https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tokusan_yasai/
- 7) 平野 哲司 (2007). クルクマさび斑病の防除：関西病虫研報 49: 41-42

Summary

Kochi Prefecture has the largest cultivation area of ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) in Japan. Brown rhizome rot caused by *Musidium stromaticum* was recently reported as a disease that causes brown lesions on the surface of rhizomes. However, the epidemiology of the disease is unknown, and no control measures are available. In this study, *M. stromaticum* was isolated from rhizomes used as seeds, suggesting that the disease may be transmitted by rhizomes. In a field and a greenhouse, tests of the efficacy of benomyl and triflumizole showed they were highly effective. Alternating treatments of benomyl and triflumizole were also highly effective in controlling the disease. Therefore, the use of these fungicides can prevent quality deterioration of ginger cultivated in greenhouses due to brown rhizome rot.

Key words : ginger cultivated in greenhouses, *Musidium stromaticum*, effective fungicides

高知県における SDHI 剤耐性ナスすすかび病菌の分布

矢野和孝*・溝渕啓介・岡田知之・岡美佐子

SDHI (Succinate dehydrogenase inhibitors) Resistant Strains of *Mycovellosiella*
natrassii Deighton on Eggplant Distributed
in Kochi Prefecture

Kazutaka YANO*, Keisuke MIZOBUCHI, Tomoyuki OKADA and Misako OKA

要 約

2021 年に高知県内のナスほ場から 78 菌株のすすかび病菌を単孢子分離し、菌体磨砕液を SDHI 剤のボスカリド、ペンチオピラド、イソピラザムおよびピラジフルミド添加 YB 培地上にスポットする方法で感受性を調査後、抽出した 15 菌株について EC₅₀ を調査した。その結果、いずれの薬剤に対しても感受性菌(S)の他、ボスカリドとペンチオピラドでは中等度耐性菌(MR)と高度耐性菌(HR)、イソピラザムは MR が発生し、ボスカリド、ペンチオピラド、イソピラザムの順に HR-S-S (R1 型)、S-MR-MR (R2 型)および MR-HR-MR (R3 型)の 3 種類に類別された。これらの耐性菌を検定するために培地への薬剤添加濃度について検討した結果、ボスカリドは 3ppm と 10ppm、ペンチオピラドは 3ppm と 20ppm、イソピラザムは 1ppm と 10ppm、ピラジフルミドは 1ppm に決定した。2022 年に分離した 101 菌株を同濃度で検定したところ、R1~3 型の他にピラジフルミドの 1ppm 添加培地上で生育する菌株が 1 菌株見つかった。本菌株はボスカリドとペンチオピラドに対しては HR でイソピラザムに対しては MR であったので R4 型と呼称することにした。これらの菌株の *SdhB* 遺伝子変異を調査したところ、R1 型は H268R、R4 型は H268C、R2 型の一部と R1~4 型のいずれにも該当しない菌株の一部は I270V であった。2021~2023 年に合計 294 菌株について調査したところ、R2 型が最も多く、次いで R1 型、R3 型の順で、R4 型は 1 菌株しか検出されなかった。また、R1~4 型のいずれにも該当しない菌株も検出され、冬春栽培地帯では地域的な傾向は見られなかった。

キーワード : ナス, すすかび病, SDHI 剤, 耐性菌, 分布

はじめに

ナス (学名 *Solanum melongena* L.) は高知県における野菜の出荷額第一位の重要品目であり、その栽培面積は 314ha で主に施設で栽培されている⁵⁾。施設栽培のナスではハウスを密閉して栽培するため、特に冬期の栽培環境が高湿度状態になりやすく、灰色かび病、黒枯病、すすかび病などのいわゆる好湿性病害が発生し、時に大きな被害を受けることが知られている^{1,7)}。中で

もすすかび病は、潜伏期間が長いために防除が遅れて被害を出しやすく¹⁴⁾、毎年約 8 割以上のほ場で発生している⁴⁾。本病の防除にはハウス内の湿度制御も有効である¹³⁾が、防除効果を実感しやすいことから、生産者は主に薬剤散布による防除に頼っているのが実状である。しかし、効果の高いエルゴステロール生合成阻害 (DMI) 剤やストロビルリン系殺菌 (QoI) 剤などには次々と耐性菌が発生し^{15,17)}、防除に苦慮するようになった。このよ

*元高知県農業技術センター
2024 年 10 月 7 日受理

うな状況の中で登場したコハク酸脱水素酵素阻害 (SDHI) 剤のボスカリド (商品名: カンタスドライフロアブル) も、当初は卓効を示したが、まもなく耐性菌が発生し、防除薬剤としての地位を失った¹¹⁾。耐性菌が発生すると、同系統の薬剤に対しても耐性を示す、いわゆる交差耐性を示すのが一般的であるが、SDHI 剤に関しては当てはまらず、今でも次々に新規の化合物が登録認可されている³⁾。ボスカリドと同じ SDHI 剤でナスすすかび病に対して登録を有するペンチオピラド (商品名: アフェットフロアブル) においても、ボスカリド耐性菌に対しては防除効果の低下は確認されなかったが、その後、両剤に耐性を示す菌株が出現したことが報告されている^{8,10)}。近年、同じ SDHI 剤であるイソピラザム (商品名: ネクスターフロアブル) やピラジフルミド (商品名: パレード 20 フロアブル) がすすかび病に対して使用されるようになり、どのような組み合わせの耐性菌が出現するのか注目されている。そこで、ナスすすかび病に対して登録を有するボスカリド、ペンチオピラド、イソピラザム、ピラジフルミドの4種類の殺菌剤について感受性を調査し、高知県に分布する耐性菌の種類について調査したので、その概要を報告する。なお、本研究の一部は、2023 年日本植物病理学会大会において口頭発表した¹⁸⁾。

材料および方法

1. 供試菌株

2021 年は 4~5 月に高知県安芸市、香南市および南国市の 8 ほ場、11 月に津野町の 2 ほ場から採集したナスすすかび病の発病葉から 93 菌株を単孢子分離した。2022 年は 4~6 月に高知県安芸市、香南市、南国市および大月町の 10 ほ場から同様に 101 菌株を単孢子分離した。2023 年は 4~6 月に高知県室戸市、田野町、安芸市、芸西村、香南市および大月町の 13 ほ場から同様に 103 菌株を単孢子分離した。なお、各菌株はブドウ糖加用ジャガイモ煎汁寒天 (PDA) 斜面培地で保存した。

2. 感受性調査

2021 年に高知県安芸市、香南市および南国市の 8 ほ場から分離した 78 菌株の供試菌株を PDA 平板培地上で 25℃、約 1 ヶ月間前培養し、直径 6mm の含菌ディスク 1~2 個を 0.5mL の滅菌蒸留水中で磨砕し、懸濁液を得た。これを薬剤添加 YB (Bacto ペプトン 10g, 酵母エキス 10g, 寒天 15g, 蒸留水 1L) 平板培地上に 5 μ L スポットし、25℃で培養した。薬剤のボスカリドは 5ppm、ペンチオ

ピラドは 1ppm、イソピラザムは 5ppm、ピラジフルミドは 1ppm の濃度で添加した。7 および 13 日後に菌そうの出現の有無を調査した。

3. EC₅₀ の調査

前項で使用した菌株の中から薬剤添加培地上における生育が異なることを指標に抽出した 15 菌株および 2022 年に分離した KO-111 を供試した。供試菌株を PDA 平板培地上に塗抹し、約 1 ヶ月間前培養後、直径 6mm のコルクボーラーで菌そう周縁を打ち抜いて含菌ディスクを得た。これをボスカリドは 0.5, 1, 2, 5, 10 および 20ppm、ペンチオピラドは 1, 2, 5, 10, 20, 50 および 100ppm、イソピラザムは 0.5, 1, 2, 5, 10 および 20ppm、ピラジフルミドは 1, 2, 5, 10, 20 および 50ppm の濃度で添加した PDA 平板培地上と無添加培地上に置床し、25℃、14 日間培養後、菌そう直径を計測した。いずれの濃度においても 3 反復を平均し、含菌ディスクの直径を除いた値から、無添加培地に対する抑制率を算出後、プロビット法により 50% 生育阻止濃度 (EC₅₀) を求めた。

4. 検定濃度の検討

2021 年分離の EC₅₀ を調査した 15 菌株を PDA 平板培地上で 25℃、約 1 ヶ月間前培養し、直径 6mm のコルクボーラーで打ち抜いて得た含菌ディスク 2 個を 0.5mL の滅菌蒸留水が入った専用容器に入れ、直径 5.5mm のステンレスビーズとともにビーズ式細胞破碎装置 (Micro Smash MS-100, TOMY) で 3,500rpm, 15 秒間振とうして菌そう磨砕液を得た。これを薬剤添加および無添加 YB 平板培地上に 5 μ L スポットし、25℃で 7 日間培養後、菌そうの出現の有無を調査した。薬剤のボスカリドは 1, 2, 3, 5 および 10ppm、ペンチオピラドは 2, 3, 5, 10 および 20ppm、イソピラザムは 1 および 10ppm、ピラジフルミドは 0.1, 0.5, 1 および 5ppm の濃度で培地に添加した。

5. 分布調査

2021 年に分離した 90 菌株、2022 年に分離した 101 菌株、2023 年に分離した 103 菌株を前項と同様な方法で調査した。ただし、ボスカリドは 3ppm と 10ppm、ペンチオピラドは 3ppm と 20ppm、イソピラザムは 1ppm と 10ppm、ピラジフルミドは 1ppm の濃度で培地に添加した。

6. 遺伝子変異の調査

1) PCR-RFLP

表 8 に示した菌株から 8 菌株を抽出し、PDA 上で約 1 ヶ月間培養後、含菌ディスクを lysis buffer¹²⁾ 0.5mL に浸漬した。エタノール沈殿により DNA を回収後、TE buffer 50 μ L に溶解して鋳型 DNA とした。PCR は、*SdhB* 遺伝子の一部を増幅するプライマー (F: 5' - GTTCTCCTCCAGTCCTACCGCTGGATCG-3' , R: 5' - GAAGTTATGTACACAACCTCCCGGTAGTG-3') をいずれも 0.5 μ M, dNTP Mixture を 0.2mM, Takara EX Taq DNA Polymerase (タカラバイオ) を 2.5U の最終濃度に調整し、鋳型 DNA 1 μ L と添付バッファーを 10 倍希釈で加えて全量を 50 μ L とした反応液を、95°C で 2 分のプレヒートの後、95°C で 10 秒、60°C で 30 秒、72°C で 1 分を 40 サイクル、最後に 72°C で 2 分反応させた。PCR 産物は電気泳動後、出現する 300bp 付近のバンドを観察した。制限酵素処理は、PCR 産物 10.3 μ L に制限酵素 *Rsa* I 0.5 μ L と添付バッファー 1.2 μ L を加えた全量 12 μ L の反応液を 37°C で一晩反応させ、同様にバンドの観察を行った。

2) 塩基配列解析

EC₅₀ を調査した菌株に加え、2023 年に分離し R1~4 型のいずれにも該当しない 6 菌株 (MM-208, IT-221, TNY-250, TNY-255, TNY-256, H-288) を供試した。前項と同様な方法で DNA を抽出した後、PCR を実施した。PCR は *SdhB* 遺伝子の全長を増幅するプライマー (3' RACE1stF: 5' -CATTCCGAAGGAGTTGCCGAG-3' , R: 5' -GAAGTTATGTACACAACCTCCCGGTAGTG-3') を用い、前項と同

様な組成の反応液を同様な条件で反応させた。PCR 産物は電気泳動し、出現した遺伝子断片を精製後、ユーロフィンジェノミックス株式会社に塩基配列解析を依頼した。

結 果

1. 感受性調査

7 日後の調査において、ペンチオピラドで生育するがその他の薬剤で生育しないのは 56 菌株、ボスカリドで生育するがその他の薬剤で生育しないのは 3 菌株、ボスカリドとペンチオピラドで生育するがその他の薬剤で生育しないのは 18 菌株、ボスカリド、ペンチオピラドおよびイソピラザムで生育するがピラジフルミドで生育しないのは 1 菌株であった。13 日後では、ペンチオピラドで生育するがその他の薬剤で生育しないのは 18 菌株、ペンチオピラドとイソピラザムで生育するがその他の薬剤で生育しないのは 35 菌株、ボスカリドとペンチオピラドで生育するがその他の薬剤で生育しないのは 21 菌株、ボスカリド、ペンチオピラドおよびイソピラザムで生育するがピラジフルミドで生育しないのは 4 菌株であった (表 1)。

2. EC₅₀ の調査

抽出した供試 15 菌株の前項での調査結果を表 2 に示した。これらの菌株の EC₅₀ を調査したところ、ボ

表 1 高知県内で分離されたナスすすかび病菌のボスカリド、ペンチオピラド、イソピラザムおよびピラジフルミドに対する感受性

市町村	圃場名	供試 菌株数	薬剤名 ^{a)}	7 日後				13 日後			
			ボスカリド ^{b)}	×	○	○	○	×	×	○	○
			ペンチオピラド ^{b)}	○	×	○	○	○	○	○	○
			イソピラザム ^{b)}	×	×	×	○	×	○	×	○
			ピラジフルミド ^{b)}	×	×	×	×	×	×	×	×
安芸市	MA	10		8 ^{c)}	1	1		1	5	2	2
	MI	10		8		1	1		7	1	2
	KO	10		5		5			5	5	
	U	10		10				6	4		
香南市	KI	10		3		7		1	2	7	
	B	10		10				6	4		
	H	8		5	2	1		4	1	3	
南国市	Y0	10		7		3			7	3	
合計		78		56	3	18	1	18	35	21	4

a) 薬剤の濃度はボスカリドおよびイソピラザムでは 5ppm, ペンチオピラドおよびピラジフルミドでは 1ppm

b) ○: 生育した, ×: 生育しなかった

c) 数字は生育が見られた菌株, 空欄は該当なし

スカリドでは 1.18~2.32ppm, 3.51~4.32ppm, 12.18~

17.18ppm の 3 グループに、ペンチオピラドでは 0.80~

1. 26ppm, 2. 01~7. 01ppm, 40. 79~44. 72ppm の 3 グループに, イソピラザムでは 0. 43~0. 77ppm, 1. 73~5. 33ppm の 2 グループに分かれたが, ピラジフルミドでは 0. 41~2. 30ppm の範囲に分布した. 2022 年に分離された KO-111 に対するボスカリドの EC_{50} は 29. 17ppm, ペンチオピラドでは 16. 17ppm, イソピラザムでは 3. 67ppm, ピラジフルミドでは 6. 12ppm であった (表 3). 以上の結果から, 2021 年に分離された 15 菌株は, 感受性菌 (S) の他, ボスカリドおよびペンチオピラドでは中等度耐性菌 (MR) と高度耐性菌 (HR), イソピラザムは MR が発生し, ボスカリド, ペンチオピラド, イソピラザムの順

に HR-S-S (R1 型), S-MR-MR (R2 型) および MR-HR-MR (R3 型) の 3 種類に類別されると考えられた. また, 2022 年に分離されたピラジフルミドに対して耐性を示す菌株 KO-111 は R4 型とした (表 4).

3. 検定濃度の検討

ボスカリド添加培地では, R1 型はすべての濃度で生育したが, R2 型は 1ppm でのみ生育した. R3 型は 5ppm 以下ではほぼ生育した. ペンチオピラドでは, R1 型はすべての濃度で生育しなかったが, R3 型はすべて生育した. R2 型は 5ppm 以下ではほぼ生育した. イソピラザムで

表 2 EC_{50} 調査に用いた菌株の薬剤添加培地上での生育

菌株番号	ボスカリド		ペンチオピラド		イソピラザム		ピラジフルミド	
	7 日後	13 日後	7 日後	13 日後	7 日後	13 日後	7 日後	13 日後
H-11	○	○	×	○	×	×	×	×
H-71								
MI-61	○	○	○	○	×	×	×	×
H-51								
MI-51						○		
U-21						○		
U-31						×		
KI-31	×	×	○	○	×	×	×	×
B-11						○		
B-41						×		
YO-11						○		
YO-31						○		
MI-91								
MA-21	×	○	○	○	×	○	×	×
MA-51								
KO-111	nt	nt	nt	nt	nt	nt	nt	nt

表 1 の脚注を参照, nt : 試験を未実施

表 3 ボスカリド, ペンチオピラド, イソピラザムおよびピラジフルミドの EC_{50}

菌株番号	EC_{50} 値 (ppm)				耐性菌の種類
	ボスカリド	ペンチオピラド	イソピラザム	ピラジフルミド	
H-11	12. 18	0. 89	0. 59	0. 48	R1 型
H-71	15. 20	1. 26	0. 74	0. 51	
MI-61	13. 91	0. 80	0. 43	0. 41	
H-51	17. 18	nt	0. 77	0. 53	
MI-51	1. 81	7. 01	2. 72	0. 68	R2 型
U-21	1. 47	4. 14	1. 73	0. 59	
U-31	1. 77	6. 98	4. 62	1. 12	
KI-31	1. 31	5. 05	2. 29	0. 53	
B-11	2. 32	2. 01	1. 83	0. 64	
B-41	1. 75	6. 76	5. 33	0. 82	
YO-11	1. 18	4. 71	2. 10	0. 46	
YO-31	1. 91	6. 89	2. 46	0. 78	
MI-91	4. 32	44. 72	3. 88	1. 50	R3 型
MA-21	3. 99	43. 86	4. 79	2. 30	
MA-51	3. 51	40. 79	4. 08	1. 54	
KO-111	29. 17	16. 17	3. 67	6. 12	R4 型

は、R1型はすべて生育しなかった。R2型とR3型は1ppmではほぼ生育したが、10ppmでは生育しなかった。ピラジフルミドでは、0.1ppmですべて生育したが、1ppm以上ではすべて生育しなかった。0.5ppmではR3型でわずかに生育したが、R1型とR2型では生育しなかった（表5）。以上の結果から、各薬剤に対して耐性程度の異なる菌株群を判別するための薬剤の濃度は、ボスカリドでは3ppmと10ppm、ペンチオピラドでは3ppmと20ppm、イソピラザムでは1ppmと10ppm、ピラジフルミドでは1ppmに決定した（表6）。

ボスカリドとペンチオピラドでは中等度耐性菌と高度耐性菌が検出されたが、イソピラザムでは中等度耐性菌のみで高度耐性菌は検出されなかった。ピラジフルミドの耐性菌は2022年に1菌株だけ検出された。耐性菌の種類では、ペンチオピラドとイソピラザムの中等度耐性のR2型が最も多く、次いでボスカリドの高度耐性であるR1型、ボスカリドとイソピラザムの中等度耐性でペンチオピラドの高度耐性のR3型、いずれの薬剤に対しても感受性菌の順に多く検出された。ピラジフルミドに耐性のR4型はボスカリドの高度耐性であるR1型、ボスカリドとイソピラザムの中等度耐性でペンチオピラドの高度

4. 分布調査

表4 ナスすすかび病菌のSDHI剤に対する耐性菌の種類

耐性菌の種類	ボスカリド	ペンチオピラド	イソピラザム	ピラジフルミド
S（感受性菌）	S	S	S	S
R1型	HR	S	S	S
R2型	S	MR	MR	S
R3型	MR	HR	MR	S
R4型	HR	HR	MR	R

S：感受性，MR：中等度耐性，HR：高度耐性，R：耐性

表5 ナスすすかび病菌のSDHI剤に対する感受性検定濃度の検討

耐性菌の種類	菌株名	ボスカリド (ppm)					ペンチオピラド (ppm)					イソピラザム (ppm)		ピラジフルミド (ppm)				無添加
		1	2	3	5	10	2	3	5	10	20	1	10	0.1	0.5	1	5	
R1型	H-11	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	○
	H-71	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	○
	MI-61	○	○	○	○	○	nt	nt	nt	nt	nt	×	×	○	×	×	×	○
	H-51	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	○
R2型	MI-51	○	×	×	×	×	○	○	△	×	×	○	×	○	×	×	×	○
	U-21	○	×	×	×	×	○	○	△	×	×	○	×	○	×	×	×	○
	U-31	○	×	×	×	×	○	○	△	×	×	○	×	○	×	×	×	○
	KI-31	○	×	×	×	×	○	○	△	×	×	○	×	○	×	×	×	○
	B-11	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	×	×	×	○
	B-41	○	×	×	×	×	○	○	△	×	×	○	×	○	×	×	×	○
	Y0-11	○	×	×	×	×	○	○	△	×	×	○	×	○	×	×	×	○
	Y0-31	○	×	×	×	×	○	○	△	×	×	○	×	○	×	×	×	○
R3型	MI-91	○	○	○	△	×	○	○	○	○	○	○	×	○	△	×	×	○
	MA-21	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	×	○	△	×	×	○
	MA-51	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	×	○	△	×	×	○

○：生育した，△：わずかに生育した，×：生育しなかった，nt：未調査

表6 ナスすすかび病菌のSDHI剤感受性検定における薬剤の添加濃度と判定基準

耐性の程度	薬剤名と濃度							無添加
	ボスカリド		ペンチオピラド		イソピラザム		ピラジフルミド	
	3ppm	10ppm	3ppm	20ppm	1ppm	10ppm	1ppm	
感受性菌 (S)	—	—	—	—	—	—	—	+
中等度耐性菌 (MR)	+	—	+	—	+	—	—	+
高度耐性菌 (HR)	+	+	+	+	+	+	—	+
耐性菌 (R)	—	—	—	—	—	—	+	+

＋：菌そうが出現した，－：菌そうが出現しなかった

ボスカリドの高度耐性である R1 型、ボスカリドとイソピラザムの中高度耐性でペンチオピラドの高度耐性の R3 型、いずれの薬剤に対しても感受性菌の順に多く検出された。ピラジフルミドに耐性の R4 型は 2022 年に 1 菌株だけ検出された。2021 年に調査した津野町では感受性菌が多く検出された (表 7)。

5. 遺伝子変異の調査

1) PCR-RFLP 抽出した 8 菌株について、PCR-RFLP を実施したところ、R1 型の 3 菌株から抽出した DNA が消化されたが、R2 型や R3 型では消化されなかった (表 8)。

2) 塩基配列解析

R1 型は、いずれも 268 番目のアミノ酸の塩基配列が CAT から CGT に変異し、推定アミノ酸もヒスチジン (H) からアルギニン (R) に変異 (H268R) していた。

表 7 高知県に分布する SDHI 剤耐性ナスすすかび病菌

調査年	市町村	ほ場	調査 菌株数	耐性菌の種類 ^{a)}						
				S	R1 型	R2 型	R3 型	R4 型	その他	
2021 年	安芸市	MA	10	0	2	6	2	0	0	
		MI	7	0	1	5	1	0	0	
		KO	10	0	5	5	0	0	0	
		U	10	0	0	10	0	0	0	
	香南市	KI	10	0	7	3	0	0	0	
		B	10	0	0	9	1	0	0	
		H	8	0	3	5	0	0	0	
	南国市	YO	10	0	3	7	0	0	0	
	津野町	TN	8	5	3	0	0	0	0	
		TY	7	7	0	0	0	0	0	
		合計	90	12	24	50	4	0	0	
2022 年	安芸市	KO	9	0	0	5	3	1	0	
		TK	10	0	1	7	2	0	0	
		OG	10	1	4	5	0	0	0	
	芸西村	MT	4	0	2	2	0	0	0	
	香南市	HS	13	0	0	6	7	0	0	
		H	15	0	1	14	0	0	0	
		KD	13	3	3	4	3	0	0	
	南国市	DO	13	0	9	0	4	0	0	
	大月町	OTT	6	0	0	6	0	0	0	
		OT4	8	0	0	8	0	0	0	
			合計	101	4	20	57	19	1	0
2023 年	室戸市	KOT	10	0	3	1	6	0	0	
	田野町	TNY	10	0	1	6	0	0	3	
	安芸市	OG	9	0	2	6	1	0	0	
	芸西村	HR	10	0	5	1	4	0	0	
		MT	5	0	0	5	0	0	0	
	香南市	MM	8	3	1	3	0	0	1	
		YM	9	0	1	5	3	0	0	
		IT	10	3	2	3	1	0	1	
		KD	6	0	0	0	6	0	0	
		B	7	0	1	0	6	0	0	
		H	10	0	0	9	0	0	1	
		KOY	7	0	3	4	0	0	0	
		YS	2	0	0	2	0	0	0	
			合計	103	6	19	45	27	0	6
	3 年間の総計			294	22	63	152	50	1	6

a) 表 4 を参照

R2 型に属する菌株の B-11 および R1~4 型のいずれにも該当しない TNY-250, TNY-255, TNY-256 の 3 菌株が 270 番目アミノ酸の塩基配列が ATC から GTC に変異し、推定アミノ酸もイソロイシン(I)からバリン(V)に変異(I270V)していた。R4 型の菌株 K0-111 は 268 番目のア

ミノ酸の塩基配列が CAT から TGT に変異し、推定アミノ酸もヒスチジン(H)からシステイン(C)に変異(H268C)していたが、その他の菌株は変異が見られなかった(表 8)。

表 8 高知県で分離されたナスすすかび病菌における *SdhB* 遺伝子の変異

耐性菌の種類	菌株番号	耐性程度 ^{a)}				PCR-RFLP (H268R) ^{b)}	<i>SdhB</i> 遺伝子の 塩基配列解析 ^{c)}
		ボスカリド	ペンチオピラ ド	イソピラザム	ピラジフルミ ド		
R1 型	H-11					R	H268R
	H-71					nt	H268R
	MI-61	HR	S	S	S	R	H268R
	H-51					R	H268R
R2 型	MI-51					S	—
	U-21					S	—
	U-31					nt	—
	KI-31	S	MR	MR	S	nt	—
	B-11					nt	I270V
	B-41					S	—
	Y0-11					nt	—
	Y0-31					nt	nt
R3 型	MI-91					nt	—
	MA-21	MR	HR	MR	S	S	—
	MA-51					S	—
R4 型	K0-111	HR	HR	MR	R	nt	H268C
その他	MM-208	MR	S	S	S	nt	—
	IT-221	S	MR	S	S	nt	—
	TNY-250	S	S	MR	S	nt	I270V
	TNY-255	S	S	MR	S	nt	I270V
	TNY-256	S	S	MR	S	nt	I270V
	H-288	MR	MR	S	S	nt	—

a) 表 4, 6 を参照

b) R: 制限酵素で切断された, S: 同切断されなかった, nt: 無試験

c) H268R: 268 番目の推定アミノ酸がヒスチジンからアルギニンに変異, I270V: 270 番目の推定アミノ酸がイソロイシンからバリンに変異, H268C: 268 番目の推定アミノ酸がヒスチジンからシステインに変異, —: 変異なし, nt: 無試験

考 察

ナスすすかび病菌の菌糸生育は遅く、培地上における菌糸生育を調査して薬剤に対する感受性を調査する場合には3週間程度を要する¹⁷⁾。より迅速にボスカリド耐性菌を調査する方法として岡田⁹⁾は、菌体磨砕液を培地上にスポットする方法で培養1週間後に判定している。この方法に準じてボスカリド、ペンチオピラド、イソピラザムおよびピラジフルミドを添加した培地上における菌そうの出現を調査したところ、ボスカリド、ペンチオピラドおよびイソピラザムに対する感受性の異なるすすかび病菌の存在が予想された。代表的な菌株

を抽出してEC₅₀を調査したところ、ボスカリドおよびペンチオピラドでは3グループに分かれたので、高度耐性菌、中等度耐性菌、感受性菌と考えられた。イソピラザムでは2グループに分かれた。トマト葉かび病菌では3グループに分かれ、イソピラザムに対して程度の異なる耐性菌の発生が報告されている⁶⁾ことから、今後調査を進めるとナスすすかび病菌においても同様な発生が予想される。今回のイソピラザムに対する耐性菌におけるEC₅₀は、ボスカリドやペンチオピラドに対する中等度耐性菌におけるEC₅₀と同程度であったことから、中等度耐性菌、感受性菌と考えられた。ボスカリドに対

しては高度耐性で、その他の薬剤に対しては感受性の菌株群を R1 型、ペンチオピラドとイソピラザムに対しては中等度耐性で、その他の薬剤に対しては感受性の菌株群を R2 型、ボスカリドとイソピラザムに対しては中等度耐性、ペンチオピラドに対しては高度耐性で、ピラジフルミドに対しては感受性の菌株群を R3 型と呼称することにした (表 4)。次に、これら感受性の異なる菌株群を判別するための培地に添加する薬剤の濃度について検討し、ボスカリドは 3ppm と 10ppm、ペンチオピラドは 3ppm と 20ppm、イソピラザムは 1ppm と 10ppm、ピラジフルミドは 1ppm に決定した (表 6)。2022 年にこれらの培地を用いて感受性検定を実施したところ、ピラジフルミド添加培地上でも菌そうが出現する菌株が見つかった。本菌株は、ボスカリドとペンチオピラドに対しても高度耐性、イソピラザムに対しては中等度耐性で、R1~3 型のいずれにも該当しないことから R4 型と呼称することにした。2021 年に分離した菌株では、保存中にダニの混入などにより 3 菌株を喪失したが、2021~2023 年に調査した結果、津野町で感受性菌が多く検出された以外は地域的な傾向は見られなかった。津野町のナスは、他のナス産地とは作型が異なる雨よけの夏秋栽培である。夏秋栽培では、すすかび病の発生が少なく、発生面積率が 20~30% しかない⁴⁾。薬剤の散布歴を調査していないので、明らかではないが、薬剤による防除圧もそれほど高くないと予想される。また、主に検出された R1~3 型の割合は年による変動が見られた。すなわち、ボスカリド、ペンチオピラドおよびイソピラザムのいずれに対しても耐性の R3 型の割合が徐々に増加した。これらの薬剤にピラジフルミドを加えた 4 剤のいずれに対しても耐性の R4 型は、2022 年に 1 菌株だけしか見つからなかったが、今後これらの薬剤の防除圧が高まるにつれて R3 型および R4 型の割合が増加することが予想される。これらの耐性菌の発生を防ぐためには、殺菌剤使用ガイドライン²⁾にもあるように、使用回数を 1 作に 1 回程度に留めるべきであろう。

PCR-RFLP と *SdhB* 遺伝子の塩基配列解析の結果から、R1 型は岡田・下元¹⁾が報告した H268R のボスカリド耐性菌であることが明らかとなった。ボスカリドとペンチオピラドに対してやや感受性が低下していた I270V^{8,10)}の変異は、R2 型の一部の菌株ならびにその他に類別されたボスカリドとペンチオピラドに対して感受性で、イソピラザムに対して中等度耐性の菌株で検

出された。このように I270V は SDHI 剤に対する感受性が必ずしも同一ではないことから、薬剤の感受性とは無関係の可能性も考えられる。また、I270V はボスカリドとペンチオピラドに対する感受性がやや低下している程度なので、感受性菌に類別されている可能性も考えられることから、いずれの薬剤に対しても感受性の菌株の一部についても塩基配列解析を実施したが、変異は見られなかった (未発表データ)。R4 型も H268C の変異が見られたが、多くの R2 型と R3 型は変異が見られなかった。SDHI 剤耐性には *SdhB* の他に *SdhC* と *SdhD* が関与していることが知られており³⁾、これらの遺伝子を調査すれば変異を見つけられる可能性が十分考えられる。*SdhB* 遺伝子に関しても、268 番目のアミノ酸がヒスチジンからチロシンに変異 (H268Y) しているものも見つかっており¹⁶⁾、今後新たな変異が見つかる可能性も十分にあると考えられる。

今回の調査で検出された耐性菌に対する薬剤の防除効果の低下については、生物検定を実施していないので明らかでない。ボスカリド耐性菌の R1 型は防除効果の低下が確認されており¹¹⁾、ボスカリドとペンチオピラドに対してやや感受性が低下していた I270V についても防除効果の低下が確認されている⁸⁾。従って、中等度耐性菌といえども防除効果は低下すると予想されるので、ボスカリド、ペンチオピラドおよびイソピラザムの 3 剤については耐性菌が発生していないことを確認した上で使用するなど、使用場面が限られるであろう。

利益相反の有無

すべての著者は開示すべき利益相反はない。

引用文献

- 1) 我孫子和雄・石井正義 (1988)．ナス黒枯病の発病に及ぼす温度並びに湿度の影響．野茶試研報 A2: 93-98.
- 2) 石井英夫 (2012)．QoI 剤および SDHI 剤耐性菌の現状と薬剤使用ガイドライン．植物防疫 66:481-487.
- 3) 石井英夫 (2019)．SDHI 剤耐性菌にみられる遺伝子変異と交差耐性 第 29 回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講演要旨集 49-57.

- 4) 高知県病害虫防除所(2023). 令和4年度農作物有害動植物発生予察事業年報, P82~83.
- 5) 高知県農業振興部(2023). 高知県の園芸, P4, 15.
- 6) 中嶋香織・川上 拓・鈴木啓史・黒田克利 (2021). 三重県におけるトマト葉かび病菌の SDHI 剤に対する感受性. 関西病虫研報 63: 67-73.
- 7) 岡田清嗣・草刈眞一・鈴木敏征(1993). ナス灰色かび病の胞子飛散密度と発病果率. 関西病虫研報 35: 101-102.
- 8) 岡田知之(2013). 高知県におけるボスカリド耐性ナスすすかび病菌の発生と遺伝子診断. 第23回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講演要旨集 37-46.
- 9) 岡田知之(2016). 植物防疫講座：植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル 2016 (8)ナスすすかび病ーボスカリド剤(培地・生物・遺伝子検定)ー植物防疫 70: 621-624.
- 10) 岡田知之・下元祥史・矢野和孝・森田泰彰 (2013). ボスカリドとペンチオピラドの両剤に対する感受性が低下したナスすすかび病菌の発生. 日植病報 79: 198-199(講要).
- 11) 岡田知之・下元祥史(2016). ボスカリド耐性ナスすすかび病菌の発生と PCR-RFLP による検出. 日植病報 82: 87-92.
- 12) Saitoh, K., Togashi, K., Arie, T. and Teraoka, T. (2006). A simple method for a mini-preparation of fungal DNA. JGPP 72: 348-350.
- 13) 下元祥史・山本敬司・工藤りか(2017). ヒートポンプ空調機を用いた湿度制御によるナスすすかび病の防除. 植物防疫 71: 324-326.
- 14) 山口純一郎(2005). ナスすすかび病の発生生態と防除. 植物防疫 59: 371-374.
- 15) 山口純一郎・稲田 稔・松崎正文(2000). DMI 耐性ナスすすかび病菌の発生. 日植病報 66: 78-84.
- 16) 山下真生(2018). 新規殺菌剤ピラジフルミド(パレード)の作用特性と感受性検定. 第28回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講演要旨集 30-42.
- 17) 矢野和孝・川田洋一(2003). ストロビルリン系薬剤耐性ナスすすかび病菌の発生. 日植病報 69: 220-223.
- 18) 矢野和孝・溝渕啓介・岡田知之(2023). 高知県で発生する SDHI 剤耐性ナスすすかび病菌の培地を用いた検定方法. 日植病報 89: 166(講要).

Summary

EC₅₀ of boscalid, penthiopyrad, isopyrazam, and pyraziflumid against 15 isolates selected were investigated after examining the sensitivity of 78 monospore isolates of *Mycovellosiella nattrassii*, which were collected in the eggplant fields of Kochi Prefecture in 2021, against 4 succinate dehydrogenase inhibiting (SDHI) fungicides using the method of spotting the grinded mycelial solution on YB medium. As a result, in addition to susceptible strains (S) for all fungicides, moderately resistant strains (MR) and highly resistant strains (HR) were detected for boscalid and penthiopyrad, and MR was observed for isopyrazam. These strains were categorized into three types: HR-S-S (R1 type), S-MR-MR (R2 type), and MR-HR-MR (R3 type) for boscalid, penthiopyrad, and isopyrazam, respectively. To test for these resistant strains, the concentrations of the fungicides to be added to the medium were determined with 3 ppm and 10 ppm for boscalid, 3 ppm and 20 ppm for penthiopyrad, 1 ppm and 10 ppm for isopyrazam, and 1 ppm for pyraziflumid. When 101 strains isolated in 2022 were tested at the same concentration, in addition to R1 to 3 types, another strain, which grow on the medium containing 1 ppm pyraziflumid, was found. This strain was HR to boscalid and penthiopyrad and MR to isopyrazam, and was therefore designated R4 type. When the *SdhB* gene mutations of these strains were investigated, the R1 type was H268R, the R4 type was H268C, and some of the R2 type and some strains, which did not belong to any of the R1 to R4 types, were I270V. A total of 294 strains were surveyed from 2021 to 2023, and R2 type was the most common, followed by R1 and R3 type, with only one R4 type detected. In addition, strains that did not belong to any of the R1 to R4 types were also detected, and no regional trends were observed in winter-spring cultivation areas.

Key words: eggplant, leaf mold, SDHI, resistant strain, distribution

促成ナスつる下げ誘引栽培の増収技術および労働特性

篠田翔真・永尾航洋・山崎浩実・西村宙晃*

Techniques for increase and labor characteristics of Forcing Eggplant Non-Pinching Training Cultivation

Shoma SHINODA, Kouyou NAGAO, Hiromi YAMASAKI and Hiroaki NISHIMURA*

要 約

ナス「土佐鷹」を用いた養液栽培において、主枝を摘心せずに誘引を続け適宜つる下ろしする「つる下げ誘引栽培」の収穫方法の違いが生育、収量および品質に及ぼす影響について検討した。側枝で2果(4月以降は3果)収穫する方法では、側枝で1果収穫する方法に対して総開花数、収穫果数および可販果数は著しく多くなり、可販果収量はすべての月で多く33%の増加となり、摘心栽培に対しては18%の増加となった。収穫果重を90gから120gにして収穫した場合は、総開花数、収穫果数および可販果数が少なく、可販果収量は8%の増加に留まった。また、労働特性については、側枝で1果収穫する方法は、慣行の摘心栽培に対して可販果収量は11%の減少となったが、摘心、誘引、寝かせ及び整枝にかかる10a当たりの作業時間は約42時間少なくなり、収穫時間が30%、整枝時間が53%の削減となった。側枝で2果収穫する場合は、収穫時間が8%、整枝時間が15%の削減となった。

キーワード：ナス，つる下げ誘引栽培，生育，収量，労働特性

はじめに

高知県の冬春ナスはJA高知県の野菜販売金額で第2位(令和5園芸年度)^①であり、出荷量では全国1位のシェア(令和4年産)^②を占めており^③，県内の促成栽培における主要品目となっている。一方で，高齢化などにより農家戸数や栽培面積は減少傾向で，今後の販売額の減少が懸念されている。また，炭酸ガス施用を始めとする環境制御技術の普及により，増収効果は得られているが，増収による春先の労働力不足も課題の一つである。そのため，出荷販売額を維持・拡大するには，労働力に見合った単位面積当たりの収量増加が必要である。近年，省力化技術としてつる下げ誘引栽培が注目されており，現地でも試験的に導入がされている。ゆめファーム全農こうち^④においては，摘心栽培に比べて複雑な整枝・摘心作業が無くなり，作業の効率化や安定化が期待できるとして技術開発に取り組んでいる。また，つる下げ誘引栽培についてはキュウリにおいて誘引・整枝作業が単純化できることから，雇用労力の導入が容易になることや，収穫果実の位置が揃い，

上物率が良くなることが報告されている^⑤。しかし，キュウリのつる下ろし栽培は摘心栽培に比べ栽培初期のLAIが低いこと，乾物分配率が少ないことから収量が少なかったと報告^⑥されており，生産現場においてもナスのつる下げ誘引栽培で目標通りの収量を得られていない生産者が多い。当センターの高軒高ハウスで行ったナスのつる下げ誘引栽培試験では，側枝で1果収穫する方法を採用した場合，摘心栽培と比べて可販果収量が29%減少し，収量の低下が示唆された(データ省略)。

そこで，本研究では試験1としてナスのつる下げ誘引栽培でも収量を確保するため側枝の収穫果数，収穫果重の違いが生育，収量および品質に及ぼす影響について評価した。また，試験2として摘心栽培との労働特性の違いについて検討した。本研究は内閣府地方大学・地域産業創生交付金「“IoP(Internet of Plants)”が導く「Next次世代型施設園芸農業」への進化」の助成を受けて実施した。

*現 株式会社下村青果商会
2024年10月11日受理

材料および方法

試験は、高知県農業技術センターの敷地内に設置した隣接する2棟のフェンロー型ハウス(軒高3.5m, 間口7.5m, 奥行き20m, P0ナシジフィルム展張)で行った。

つる下げ誘引栽培(写真1)は、地上1.5mの高さのエスター線に設置した誘引クリップ(商品名:くきたっちアルファ)に誘引した誘引枝の成長点が地上2.1mの誘引線を0.1m程度超えたと0.5m程度つる下ろした(図1)。

慣行の摘心栽培(写真2)は、地上2.1mの高さで主枝を摘心し、側枝は1芽切り戻しとした。両区とも供試品種には高知県で育成した促成栽培用ナス‘土佐鷹’を穂木とし、台木はトマト強勢台木である‘エンペラードール’とした。2022年8月24日に72穴プラグ苗((株)ベルグアース製)をヤシガラキューブ(商品名:ココディスク, 10×10cm)に移植して育成した苗を、9月12日に定植した。栽植様式は、畝150cm, 株間

30cm, 2本仕立て(栽植株数2.22株/m², 主枝本数4.44本/m²)とした。

培養液は山崎ナス処方に準じた培養液組成(1.0単位, N03-N;10.3me/L, NH₄-N;1.6me/L, P;4.7me/L, K;6.5me/L, Ca;2.6me/L, Mg;3.2me/L)とし、給液ECはらくらく肥料管理機4((株)セムコーポレーション)を用い、1.2~1.8dS/mで管理した。給液制御にはアクアマイスター((株)丸昇農材)を使用した。排水率30~50%を目標に1回あたり100mL/株を外日射量の積算値が0.8~1.0MJ/m²の範囲で日射比例制御にて給液した。

ハウス内の温度管理は日中25~28℃を目標に換気し、夜間は日の入から21時までは14℃, 以降日の出1時間前までは12℃, 日の出1時間前からは15℃を下回らないように加温した。また、ハウス内日中温度20℃以上, 湿度80%以下となった場合に細霧装置Cool BIM((株)いけうち製, 粒径10~20μm)



写真1 つる下げ誘引栽培



写真2 摘心栽培



図1 生育初期の管理作業

により加湿した。

CO₂ 施用には灯油燃焼式炭酸ガス施用機((株)ネボン製, CG-254S1)を用いた。濃度制御として、時期によって設定を違え、400～800ppm の設定値を下回った場合に、株元に設置したダクトから施用した。施用時間帯は日の出 30 分～1 時間後から日の入 30 分～1 時間前までとした。

果実の着果には、9 月末までは植物ホルモン剤(4-CPA 液剤)の 50 倍希釈液を使用し、2～3 日おきに単花処理した。10 月以降は花粉媒介昆虫(クロマルハナバチ、商品名：ミニポール・ブラック)を 1 ハウス当たり 1 箱導入し、2～3 カ月ごとに更新した。

試験 1. つる下げ誘引栽培における側枝の収穫果数および収穫果重の違いによる生育、収量特性

つる下げ誘引栽培において、側枝で 1 果収穫して基部から切除する方法(以下、1 果収穫区)と側枝で 2 果収穫し、4 月以降は 3 果収穫して基部から切除する方法(以下、2 果収穫区)および側枝で 1 果収穫して基部から切除し、1 果重 106～130g の範囲で収穫する区(以下、大果収穫区)とで比較試験を行った(図 2)。

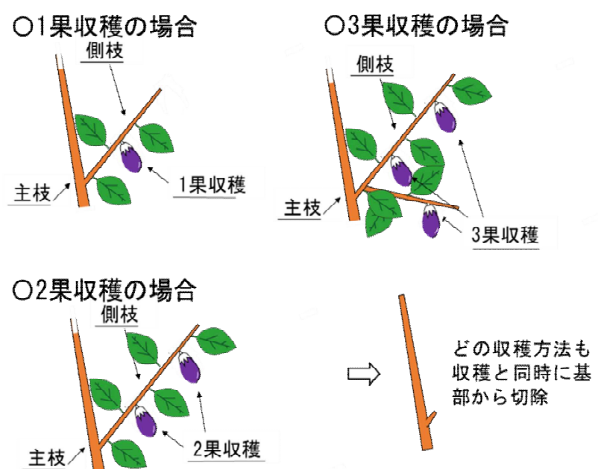


図 2 側枝の整枝方法

生育調査は、主枝長、節数、平均節間長、成長点から最上位の開花位置までの開花高、最上位の開花位置直下の茎径と葉長を調査した。なお、主枝長、節数、平均節間長については連続した 6 株を調査、開花高、茎径、葉長については調査日の前日もしくは当日に開花した 8 枝を調査した。

収量・品質調査は、開花始めから調査終了時までの間に開花した全花について、開花日を記した提げ札を付け、2～3 日毎に 1 果収穫区および 2 果収穫区では 1 果重 75～105g、2 果収穫区では 1 果重 106～130g の範囲で収穫し、収穫時に提げ札を回収する方法で開花から収穫までの所要日数(以下、収穫

所要日数)、開花数、落花数、収穫果数などを調査した。収穫した果実は、JA 高知県出荷規格に従って可販果(A 品・B 品をそれぞれ上品・下品とする)および規格外品に分け、可販果収量、上品収量および上品率を求めた。下品および規格外品は着色不良果(青ベタ果、赤果等)、ボケ果(ブク果、つやなし果、石果等)、首細果、短形果、変形果(舌出し果、曲がり果、巾着果等)、その他(ガク割れ果、傷果等)に分類し、果数を調査した。なお、収量・品質調査は 6 株調査とした。

試験 2. 摘心栽培に対するつる下げ誘引栽培の収量・労働特性の評価

労働特性の評価は、つる下げ誘引栽培の 1 果収穫区と隣接するハウスの摘心栽培について調査し、収穫、整枝、誘引、初期の寝かせ(つる下げ誘引栽培で必要となる生育初期に誘引しやすいようにする誘引枝を寝かせる作業)、つる下ろし作業についておこなった。調査は長さ 12m、うね幅 1.5m のうねの片側で行い、作業時間は作業時に毎回記録した。収穫は収穫時の作業時間を収穫量で除して、10kg 当たりの収穫時間を算出した。なお、つる下げ誘引栽培の主枝の摘葉は、整枝作業時に行うため整枝の作業時間に含まれている。また、つる下げ誘引栽培の 2 果収穫区において収穫時間を 3 月 10 日から 17 日の計 4 回、整枝時間を 4 月 17 日から 6 月 9 日の計 8 回調査した。

結 果

試験 1. つる下げ誘引栽培における側枝の収穫果数および収穫果重の違いによる生育、収量特性

2 果収穫区は 1 果収穫区に比べて、以下のような生育、収量特性を示した。

主枝長、節数はやや少なく、平均節間長は同等であった(表 1)。茎径、開花高、葉長はほとんどの時期で同等かやや小さく推移し、両区とも 11 月下旬までは急激に、11 月下旬以降は緩やかに減少した(図 3、4、5)。

総開花数、収穫果数、可販果数は著しく多く、収穫果率はやや少なく、可販果率、上品率、果重は同等であった(表 2)。

死果率は、1 月まではやや多い～著しく多く、2 月は少なく、3 月は多く、4 月以降は同様に推移した(図 6)。

収穫所要日数は、ほぼ同じに推移し、両区とも 12 月にもっとも長くなり 28 日程度であった(図 7)。

上品収量は、すべての月で同等か多いまたは著しく多く、全体で 29%多かった。下品収量は 9 月と 2 月で著しく少なかったが、その他の月では著しく多く、全体で 54%多かった。上品率は 9、2 月で高く、その他の月で低く、全体では同等であった。可販果収量は、すべての月で同等～著しく多く、特に 9、

12, 2～6月で著しく多く全体で33%多かった(表3)。下品および規格外品の要因別収穫果数については、短形果、細果、着色不良果は同等であったが、変形果が著しく多かった(図8)。

大果収穫区は1果収穫区に比べて、以下のような生育、収量特性を示した。

主枝長、節数はやや少なく、平均節間長は同等であった(表1)。茎径は11月下旬までは同等かやや小さく推移し、11月下旬以降はやや小さく推移した。また、両区とも11月下旬までは急激に小さくなり、11月下旬以降は緩やかに小さくなった(図3)。開花高、葉長はほとんどの時期で同等かやや小さく推移した(図4, 5)。

総開花数は同等で、収穫果数、可販果数、収穫果率、可販果率等であったが、ボケ果が著しく多かった(図8)。

表1 主枝の主枝長、節数、平均節間長の状況

試験区	主枝長 (cm)	節数 (節)	平均節間長 (cm)
1果収穫区	370.1	70.0	5.2
2果収穫区	363.1	67.8	5.3
大果収穫区	350.2	68.0	5.1

注) 調査期間は2022年9月14日～(2023年)6月7日。

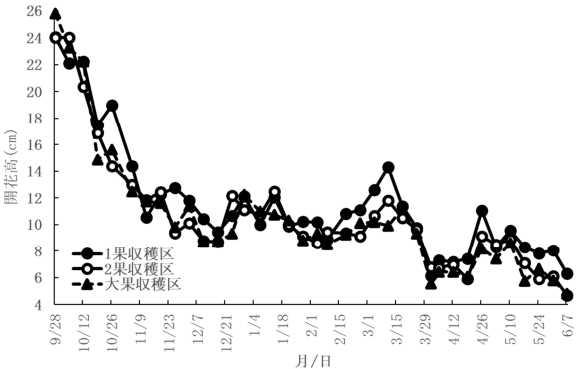


図4 開花高の推移

注) 最上位の開花位置から成長点までの高さ。

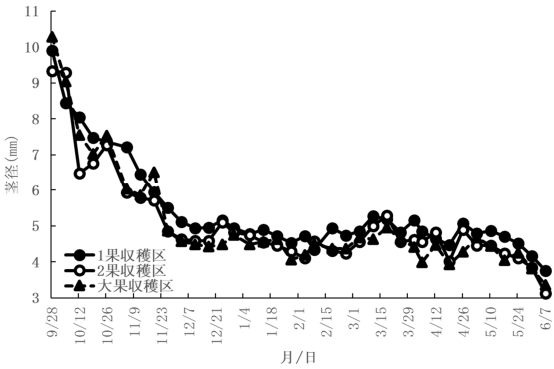


図3 茎径の推移

注) 最上位の開花直下の平行部分を測定。

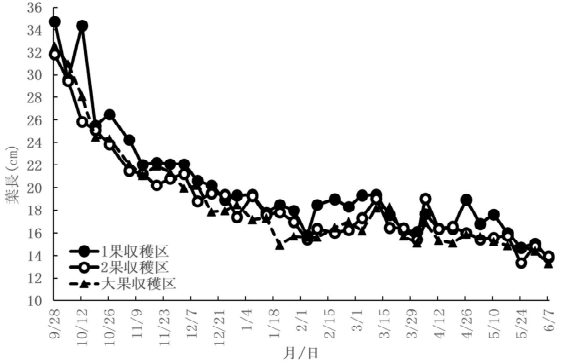


図5 葉長の推移

注) 最上位の開花直下の葉長を測定。

表2 主枝の開花、収穫の状況

試験区	総開花数		収穫果数		可販果数 ^{z)}		収穫果率 ^{y)}	可販果率 ^{x)}	上品率 ^{w)}	果重 ^{v)}
	(個/㎡)	(対比)	(個/㎡)	(対比)	(個/㎡)	(対比)	(%)	(%)	(%)	(g/果)
1果収穫区	272	(100)	243	(100)	236	(100)	89.4	96.8	84.6	92.9
2果収穫区	386	(142)	329	(135)	317	(135)	85.4	96.3	83.1	91.6
大果収穫区	266	(98)	222	(91)	196	(83)	83.7	88.0	78.9	120.5

z) JA 高知県出荷規格により、C 品以下を除いた、A 品と B 品の果数。 y) 収穫果数/総開花数×100。

x) 収穫果数(可販果)/収穫果数(合計)×100 w) 上品果数/合計果数×100。 v) 収穫重量(可販果)/収穫果数(可販果)。

率、上品率は少なかった(表2)。

死果率は、10, 4月を除くすべての月でやや多く～著しく多かった(図6)。

収穫所要日数はすべての月で2～3日程度長く推移した(図7)。

上品収量は10～3月で同等か少なく、6月で著しく少なかった。9, 4月で著しく多く全体では同等であった。上品率は9月を除き低く、全体ではやや低かった。可販果収量は、12, 4月で著しく多く、9～11, 3月で同等か少なく、6月で著しく少なく、全期間では8%多かった(表3)。下品および規格外品の要因別収穫果数については、短形果、細果、着色不良果は同

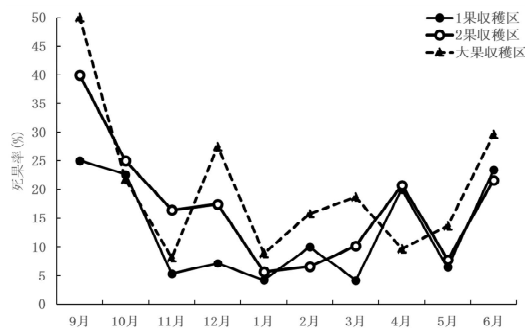


図6 死果率の推移

注) 各月に開花した花のうち収穫に至らなかったものの

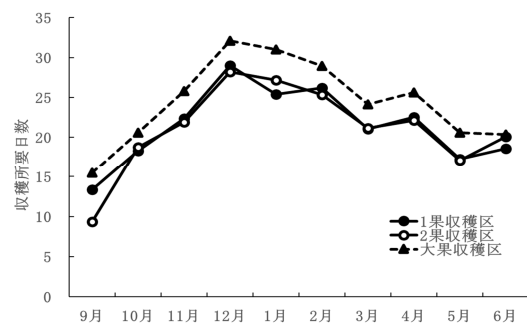


図7 収穫所要日数の推移

注) 各月に上品とした収穫した全果実の平均値。

表3 収量・品質²⁾

試験区	可販果品														規格外品	
	上品				下品				合計							
	果数 (個/株)	果重 (kg/株)	収量 (kg/a) 対比 ⁷⁾		果数 (個/株)	果重 (kg/株)	収量 (kg/a) 対比 ⁷⁾		果数 (個/株)	果重 (kg/株)	収量 (kg/a) 対比 ⁷⁾		上品率 ^{x)} (%)	果数 (個/株)	果重 (kg/株)	
1果収穫区	9月	0.5	0.05	10	100	0.3	0.03	6	100	0.8	0.07	16	100	67	0.0	0.00
	10月	9.3	0.91	201	100	1.3	0.11	23	100	10.5	1.01	225	100	88	0.5	0.04
	11月	11.5	1.02	226	100	2.0	0.16	35	100	13.5	1.18	261	100	85	0.3	0.02
	12月	7.3	0.64	142	100	1.0	0.09	20	100	8.3	0.73	162	100	88	0.5	0.04
	1月	9.5	0.88	195	100	2.3	0.20	44	100	11.8	1.08	240	100	81	0.0	0.00
	2月	6.0	0.54	120	100	3.5	0.30	67	100	9.5	0.84	187	100	63	0.3	0.02
	3月	14.0	1.33	295	100	1.3	0.11	24	100	15.3	1.44	319	100	92	0.5	0.02
	4月	8.0	0.79	176	100	1.3	0.14	31	100	9.3	0.93	207	100	86	0.0	0.00
	5月	14.0	1.34	298	100	2.5	0.22	49	100	16.5	1.56	347	100	85	1.0	0.08
	6月	9.8	0.93	207	100	1.0	0.08	18	100	10.8	1.01	225	100	91	0.5	0.05
	合計	89.8	8.43	1,871	100	16.3	1.43	317	100	106.0	9.86	2,188	100	85	3.5	0.27
2果収穫区	9月	0.8	0.09	20	200	0.0	0.00	0	0	0.8	0.09	20	123	100	0.0	0.00
	10月	9.3	0.91	203	101	2.0	0.18	40	168	11.3	1.09	242	108	82	0.8	0.04
	11月	12.0	1.01	224	99	3.8	0.31	68	195	15.8	1.31	292	112	76	0.8	0.05
	12月	8.8	0.72	161	113	2.5	0.23	50	254	11.3	0.95	211	130	78	1.8	0.11
	1月	9.8	0.89	198	101	2.8	0.24	54	122	12.5	1.14	252	105	78	0.0	0.00
	2月	12.0	1.07	238	198	2.0	0.18	39	59	14.0	1.25	277	148	86	0.3	0.02
	3月	19.0	1.78	394	134	2.5	0.22	49	206	21.5	2.00	443	139	88	0.5	0.03
	4月	13.8	1.29	286	163	2.3	0.23	50	162	16.0	1.52	337	163	86	0.3	0.02
	5月	22.0	2.05	454	152	4.3	0.41	92	190	26.3	2.46	547	158	84	0.3	0.02
	6月	11.5	1.07	238	115	2.0	0.20	44	243	13.5	1.27	282	125	85	1.0	0.08
	合計	118.8	10.88	2,416	129	24.0	2.19	486	154	142.8	13.07	2,903	133	83	5.5	0.37
大果収穫区	9月	0.5	0.07	16	158.3	0.0	0.00	0	0	0.5	0.07	16	97	100	0.0	0.00
	10月	7.5	0.90	199	99	1.3	0.15	32	137	8.8	1.04	232	103	86	1.8	0.11
	11月	7.8	0.89	197	87	2.3	0.24	54	154	10.0	1.13	251	96	78	0.3	0.03
	12月	5.3	0.63	140	98	2.3	0.27	61	305	7.5	0.90	200	124	70	0.5	0.03
	1月	7.5	0.90	200	102	2.3	0.27	60	137	9.8	1.17	260	109	77	1.3	0.09
	2月	4.3	0.52	115	96	3.0	0.36	80	121	7.3	0.88	195	105	59	1.0	0.10
	3月	10.3	1.23	274	93	1.8	0.19	41	175	12.0	1.42	315	99	85	1.0	0.08
	4月	11.0	1.33	296	168	2.3	0.28	62	200	13.3	1.61	358	173	83	1.0	0.05
	5月	11.3	1.41	313	105	2.3	0.29	65	135	13.5	1.70	378	109	83	2.3	0.19
	6月	4.3	0.52	115	55	1.3	0.15	34	190	5.5	0.67	149	66	77	3.0	0.29
	合計	69.5	8.39	1,863	100	18.5	2.21	490	155	88.0	10.60	2,354	108	79	12.0	0.96

z) J A高知県規格により、A品を上品、B品を下品、A品とB品の合計を可販果品、C品以下を規格外品。

y) 1果収穫区を100とした場合の比率。 x) 上品果数÷合計果数×100。

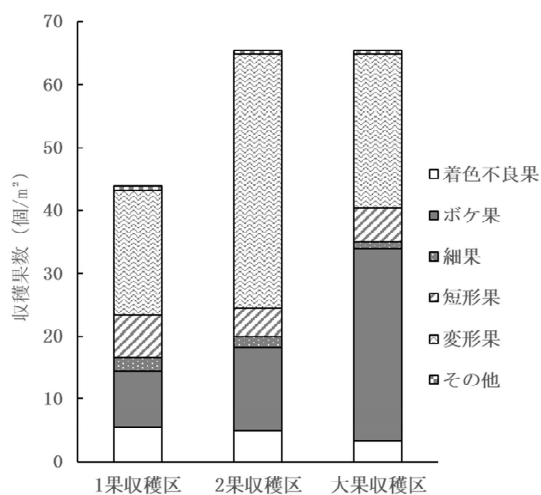


図8 品質不良果の要因別収穫果数

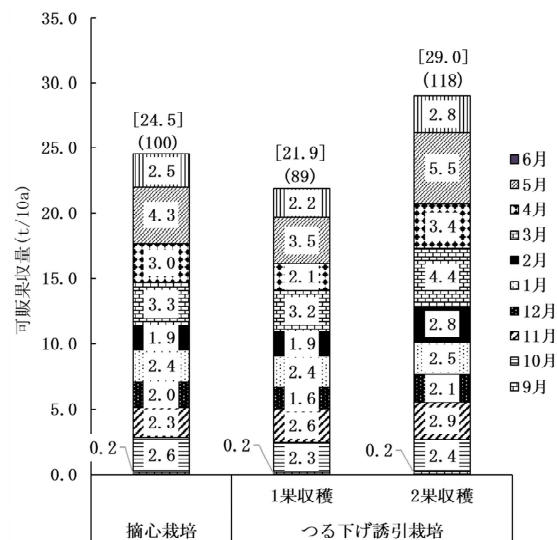


図9 可販果収量

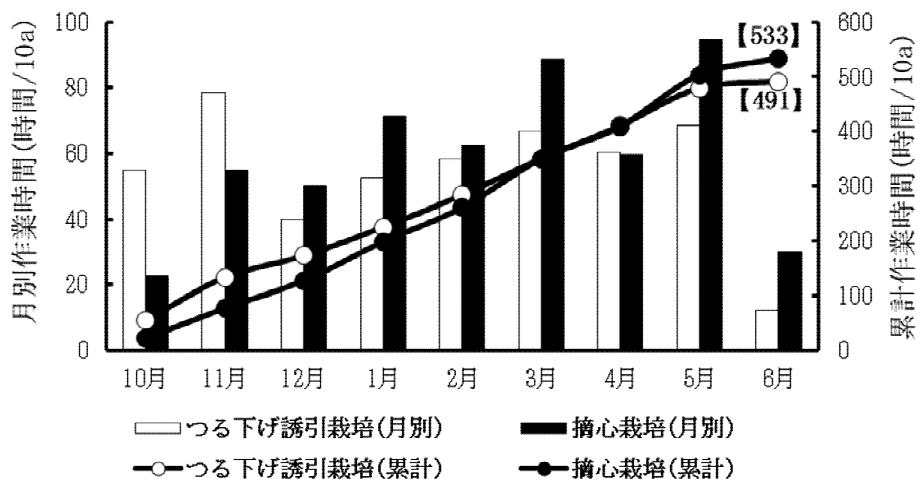


図10 つる下げ誘引栽培(1果収穫区)と摘心栽培の作業時間

注1) 作業時間は摘心、誘引、寝かせ、つる下ろし及び整枝にかかる時間

2) 【 】内は総作業時間を示す

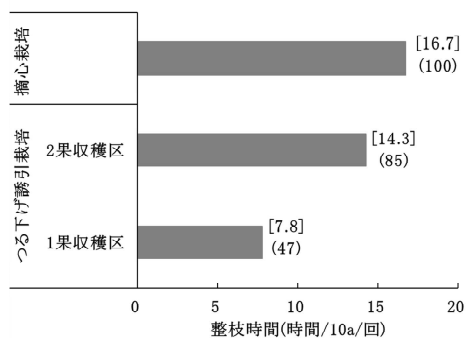


図11 つる下げ誘引栽培と摘心栽培の整枝時間

注1) 〇内の値は1果収穫を100とした場合の指数, []内の値は整枝時間を示す

- 2) 1果収穫及び摘心栽培は4～6月の調査データ
3) 2果収穫区は4/17～6/9の計8回の調査データ

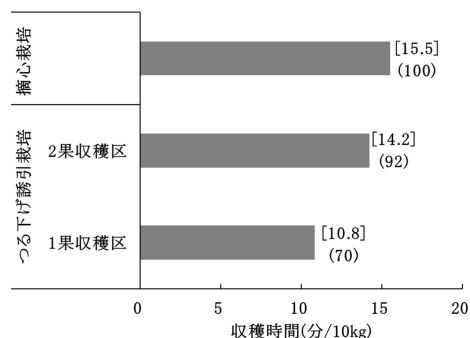


図12 つる下げ誘引栽培と摘心栽培の収穫時間

注1) 〇内の値は摘心栽培区を100とした場合の指数, []内の値は収穫時間を示す

- 2) 収穫時間には、収穫時の側枝の切り戻し作業を含む
3) 1果収穫区及び摘心栽培区は3月の調査データ
4) 2果収穫は3/10～3/17の計4回の調査データ

試験2. 摘心栽培に対するつる下げ誘引栽培の収量・特性の評価

つる下げ誘引栽培は摘心栽培に比べて、以下のような収量・労働特性を示した。

可販果収量は、1果収穫区が11月を除くすべての期間で同等〜著しく少なく全期間で11%少なかった。2果収穫区は、10月を除くすべての期間でやや多い〜著しく多く全期間で18%多かった(図9)。

摘心、誘引、寝かせ、つる下ろし及び整枝にかかる作業時間は、生育初期の10、11月に長くなり、1月が32.5時間の増加、11月が23.2時間の増加となったが、12月以降は同等か少なく総作業時間は、42時間の短縮となった(図10)。

整枝時間は、1果収穫区が53%減少の7.8時間、2果収穫区が15%減少の14.3時間となった(図11)。

10kgあたりの収穫時間は、1果収穫区が30%減少の10.8時間、2果収穫区が8%減少の14.2時間となった(図12)。

考 察

試験1ではつる下げ誘引栽培において、側枝の収穫果数および収穫果重の違いが生育、収量、品質に及ぼす影響を検討した。

生育では、2果収穫区および大果収穫区が1果収穫区に比べ主枝長、節数がやや小さくなるという結果を得た。キュウリにおいて着果負担が大きいと、つるの伸長、側枝の発生が悪くなるとされており⁹⁾、2果収穫区では側枝での着果数が多くなること、大果収穫区では果重が大きくなることで着果負担が大きくなり、主枝長と節数に影響があったと考えられる。一方、2果収穫区では着果負担は大きくなったものの可販果率、上品率に及ぼす影響は少なかった。ナスは葉を2枚展開したのちに花芽が分化し、それを繰り返すことが知られている⁹⁾。そのため2果収穫区の場合、側枝の2果目が収穫されるまでは1果収穫区や大果収穫区に比べ常に葉数が多くなり、葉面積が大きく維持されたと推察される。このことから、総同化量が増加し総開花数が増加しても、死果数は少なくなり、可販果数の増加につながったと考えられる。収穫所要日数についても、1果収穫区と同様な推移を示した。葉面積が少ないと最初から果実の発育が悪く、その後の肥大速度が遅くなると報告⁹⁾されており、今回の試験においても、2果収穫区で葉面積が大きく維持されたことで、着果負担が大きくなったものの収穫所要日数への影響が少なかったと考えられる。穴戸ら⁹⁾は、トマトにおいて各葉の基本的なソース・シンク関係はその葉の近くの非光合成器官(根や果実)をメインのシンクとし、作物の生育ステージごとに、シンク間の発育程度の違いによるシンク間の競合と位置関係によって

光合成産物の分配パターンが決定されることが示唆されたと述べている。また、古賀ら⁴⁾はナスの単為結果性品種において、側枝上の第1花より上の葉を2枚残して整枝することによって慣行の1枚残して整枝する方法より主枝の摘心時期が早まり、収穫最盛期となる4〜6月の商品果数および商品果収量が増加したと述べている。つまり果実の肥大および可販果数の増加には、果実周辺の葉が光合成器官として重要であり、2果収穫区では果実周辺の葉が確保されたことで着果負担が大きくなったのに対して、収穫所要日数、可販果率、上品率への影響が少なかった要因の一つとして考えられる。しかし、大果収穫区では、1果収穫区に比べ着果負担が大きくなったことに加え、1果重が異なるのみで、葉面積は1果収穫区と同程度なため着果負担に対して葉面積が不足していたと考えられる。2果収穫区では、着果負担の増加を葉面積の増加による総同化量の増加で補っていたが、大果収穫区では、1果収穫区と比べ収穫果率、可販果率、上品率が低下したことも、着果負担の増加と葉面積の不足が影響したと考えられる。金浜ら¹⁰⁾はキュウリの曲がり果や変形果の発生原因や果実の発育停止の原因の一つとして葉数・葉面積の不足を指摘しており、本試験においても葉面積の不足が可販果率、上品率、収穫果率の減少を引き起こしたと考えられる。収量は、1果重が1.3倍程度増加したのに対して、総開花数は同等で可販果率が減少したため8%の増加に留まった。また、品質不良果の要因別収穫果数では、ボケ果が著しく多くなるという結果を得た。加藤⁹⁾は、ナスのつやなし果の発生について、開花から収穫までの日数(肥大日数)を経るにしたがって多くなると述べており、本試験においても大果収穫区で収穫所要日数が長くなったことでボケ果の発生を助長したと考えられる。

試験2では、つる下げ誘引栽培と摘心栽培の収量・労働特性について検討した。収量は、摘心栽培に対して、1果収穫区が11%の減少、2果収穫区が18%の増加という結果を得た。摘心、誘引、寝かせ及び整枝にかかる作業時間は、生育初期の10、11月に長くなった。つる下げ誘引栽培では、誘引作業を容易にするため生育初期に主枝を寝かせる作業をおこなう(写真3)。そのため、摘心栽培に比べ生育初期の作業時間が増加する。一方で、12月以降は作業時間が同等か少なく、総作業時間は42時間の短縮となった。1t収穫するのに必要な労働時間は、栽培期間全体で1果収穫区が40時間、摘心栽培が47.5時間であった。3月以降では、1果収穫区が37時間、摘心栽培が47時間となり、春先の省力効果も大きかった。1果収穫区では、12月以降の作業時間の短縮は、整枝時間が短縮されたことが要因である。摘心栽培では上位節から下位節の各節を確認しながら整枝を行う必要があるが、



写真3 定植初期の様子

つる下げ誘引栽培では整枝位置の調整が可能であり、一部の範囲を確認すれば良いため、整枝時間が短縮された。また、収穫についても同様に一部の範囲を確認すれば良いため、果実を探す時間が省かれ収穫時間も短縮された。2果収穫区においては、確認する範囲が増えるため、1果収穫区ほどの作業時間の短縮とはならなかったものの、摘心栽培に比べ収穫時間が8%、整枝時間が15%の削減となった。

以上より、1果収穫区において慣行の摘心栽培に対して省力化となり、とくに3月以降の作業時間の削減効果が大きかった。一方で、減収の可能性があるため増収効果の高い側枝で2果収穫する方法が望ましいと考えられる。2果収穫においては、1果収穫ほどの収獲および整枝の作業時間の短縮とはならないものの3月以降の省力化技術として期待できる。つる下げ誘引栽培は、側枝の収穫方法を切り替えることが容易なため、労働力に応じて収穫方法を調整することも可能である。例えば、作物の生育が遅い厳寒期は2果収穫し、作業が増加する3月以降は1果収穫に切り替えるなどである。しかし、つる下げ誘引栽培では生育初期に寝かせの作業が増えるため、作業時間の削減につながる寝かせの方法については今後の課題である。

謝 辞

本研究の実施に当たって、先端生産システム担当、研究支援担当の諸氏に栽培管理や調査等にご尽力いただいた。ここに深く感謝の意を表す。

利益相反の有無

すべての著者は開示すべき利益相反はない。

引用文献

- 1) 東出忠桐・後藤一郎・鈴木克己・安場健一郎・塚澤和憲・安東赫・岩崎泰永(2012). 収量構成要素の解析からみたキュウリ短期栽培の摘心およびつる下ろし整枝法の差異. 園学研. 11 (4) : 523-529.
- 2) 金浜 耕基・斎 藤 隆(1985). キュウリの曲がり果発生に及ぼす葉数, 着果数および遮光の影響. 園学雑. 54(2) : 216-221.
- 3) 加藤紘一(1988). 促成ナスのつやなし果, 赤果発生要因について. 園芸學會雑誌. 56(4) : 431-443.
- 4) 古賀武・下村克己・井上恵子・浜地勇次(2015). 側枝整枝法の違いが単為結果性ナス‘省太’の生育および収量に及ぼす影響. 園学研. 14 (2) : 191-195
- 5) 高知県農業振興部(2024). 高知県の園芸. P53.
- 6) 農林水産省(2023). 令和4年産野菜生産出荷統計.
- 7) 太田友代・清野英樹・井上直和(2005). 施設キュウリの新整枝法「つる下ろし栽培」の特徴と生産安定技術.
- 8) 斉藤隆(1982). キュウリ. 基礎編. 農業技術体系. 野菜編第1巻. 東京. 農村漁村文化協会. 追録7 : 120.
- 9) 斉藤隆(1971). ナスの開花・結実に関する研究(第1報). 農業および園芸. 46:1749-1750.
- 10) 斉藤隆(1982). ナス. 基礎編. 農業技術体系. 野菜編第5巻. 東京. 農村漁村文化協会. 108.
- 11) 穴戸良洋・尹千鍾・湯橋勤・施山紀男・今田成雄(1991). トマトにおける葉の光合成, 転流・分配の経時的変化と果実肥大に対する葉位別寄与度. 園学雑. 59(4) : 771-779.
- 12) 全農 耕種総合対策部 高度施設園芸推進室(2020). 「ゆめファーム全農こうち」なすの養液栽培実証と技術開発. グリーンレポート. no. 615.

Summary

The effect of different harvesting methods on growth, yield, and quality in "Non Pinching Training Cultivation" of eggplant 'Tosa Taka' in hydroponics, where the main stem is continuously trained without pinching and lowered as needed, was examined. The method of harvesting 2 fruits (3 fruits after April) on lateral branches significantly increased total number of flowers, harvested fruits, and marketable fruits compared to harvesting 1 fruit on lateral branches. Marketable fruit yield increased by 33% across all months and increased by 18% compared to pinched cultivation. When fruits were harvested at 120g instead of 90g, there were fewer total flowers, harvested fruits, and marketable fruits, with only an 8% increase in marketable fruit yield. Regarding labor characteristics, the method of harvesting 1 fruit on lateral branches resulted in an 11% decrease in marketable fruit yield compared to conventional pinched cultivation, but the working hours per 10a for pinching, training, laying, and pruning were reduced by approximately 42 hours, with a 30% reduction in harvesting time and a 53% reduction in pruning time. When harvesting 2 fruits on lateral branches, harvesting time was reduced by 8% and pruning time by 15%.

Keywords: Eggplant, vine-hanging training cultivation, growth, yield, labor characteristics

高知県の施設ほ場におけるアザミウマ類の 画像認識 AI の検出精度検証

下村文那・山脇美樹・吉田百花・中石一英*・高山智光**
・杉浦綾**・下八川裕司

Verification of the detection accuracy of image recognition AI for thrips in
greenhouses in Kochi Prefecture

Ayana SHIMOMURA, Miki YAMAWAKI, Momoka YOSHIDA,
Kazuhide NAKAISHI*, Tomohiko TAKAYAMA**,
Ryo SUGIURA**, Yuji SHIMOYAKAWA

要 約

高知県の施設ほ場では、ミカンキイロアザミウマ *Frankliniella occidentalis* (Pergande), ヒラズハナアザミウマ *Frankliniella intonsa* (Trybom), ネギアザミウマ *Thrips tabaci* Lindeman, ミナミキイロアザミウマ *Thrips palmi* Karny, チャノキイロアザミウマ *Scirtothrips dorsalis* Hood などのアザミウマ類が発生し、その被害が問題となっている。アザミウマ類を防除する場合、発生種を明らかにすることが重要であるが、経験の浅い生産者や指導者では種の同定が困難である。そこで、物体検出 AI である YOLO を用いて、これら 5 種アザミウマ類を検出可能な画像認識 AI モデルを開発した。本試験では、このモデルを用いて高知県内の施設野菜および花きほ場で粘着トラップに捕虫された 5 種アザミウマ類の検出精度を検証した。その結果、5 種アザミウマ雌成虫および雄成虫の mAP は 89% であり、県内施設ほ場で粘着トラップに捕虫された 5 種アザミウマの虫数を概ね把握可能であることが明らかとなった。

キーワード：アザミウマ類, AI, 物体検出, YOLO, 発生予察

はじめに

高知県では、冬期の温暖な気候を利用した施設栽培が盛んで、ナス、ピーマン、ニラの野菜類やグロリオサ、オキシペタラムなどの花き類、温州ミカンや文旦などの果樹類などが栽培されている。これらのほ場では、ミカンキイロアザミウマ *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (以下、ミカン)、ヒラズハナアザミウマ

Frankliniella intonsa (Trybom) (以下、ヒラズ)、ネギアザミウマ *Thrips tabaci* Lindeman (以下、ネギ)、ミナミキイロアザミウマ *Thrips palmi* Karny (以下、ミナミ)、チャノキイロアザミウマ *Scirtothrips dorsalis* Hood (以下、チャノキ) などのアザミウマ類が発生し、葉や果実、花弁などを加害し商品価値を低下させ問題となっている。また、アザミウマ類は植物病原性ウイルスを

* 現高知県農業技術センター茶業試験場

** 農研機構基盤技術研究本部農業情報研究センター

媒介することが知られており、特に上記 5 種のうち、ミカン、ヒラズ、ネギ、ミナミのウイルス媒介によって引き起こされる感染、発病による減収は大きな問題となっている。これらの被害を防ぐためには、アザミウマ類の発生初期から防除する必要があるが、アザミウマ類は種によって有効な薬剤が異なるため^{5, 6, 7, 9)}、適正な防除のためには発生種を明らかにすることが重要である。しかし、アザミウマ類は体長 1mm 前後と微小(図 1) なうえ、形態的な特徴が似通っているため、経験の浅い生産者や指導者では目視による種の同定が困難である。ほ場内におけるアザミウマ類の発生状況をモニタリングする一般的な方法として、粘着トラップを用いる方法がある。この場合、粘着トラップに捕虫されたアザミウマ類を、実体顕微鏡を用いて 1 頭ずつ、種を分類しながら目視計数する必要があるため、捕虫数が多い際の計数作業は、熟練者であっても粘着トラップ 1 枚あたり 30 分以上の時間を要する場合もあり、簡易な同定手法の開発が望まれている。

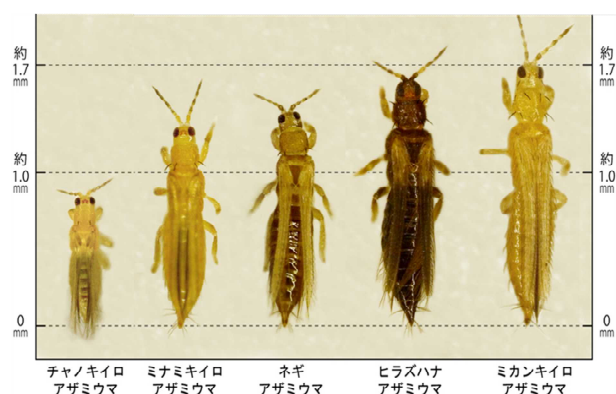


図 1 検出対象の 5 種アザミウマ雌成虫の体長

近年、AI を用いた画像認識技術は大きく進歩しており、YOLO などの物体検出 AI では動画や静止画の中から対象とする物体を高精度かつ高速に検出することが可能となっている⁸⁾。しかし、体長 1mm 前後と小さなアザミウマ類の特徴を捉えるためには、高解像度で撮影した画像が必要である。池本ら⁴⁾はアザミウマ類を画像処理により分類する際、1200dpi の高解像度でスキャンした画像を用いている。一般的な物体検出技術では、高解像度の画像はデータ量が大きいため、並列演算を担う GPU(Graphical Processing Unit)のメモリサイズに合わせて、ある程度処理しやすい大きさに画像をリサイズしてから検出を行う。この場合、高解像度でなければ映

らないような小さな物体の検出は難しいが、洞井ら³⁾は、高解像度画像を分割して物体検出することで小さな物体の検出が可能であることを報告している。また、昆虫の識別においては、スキャナを用いて高解像度で画像化した粘着トラップの画像を分割して検出することで、物体検出 AI を用いたイネウンカ類の发育ステージ毎の種の分類および計数作業の自動化が高精度で実現されており¹⁰⁾、検出対象としては小さな昆虫の種識別についても AI の利用が進みつつある。

そこで筆者らは、高山ら¹⁰⁾の手法を応用し、粘着トラップをスキャナを用いて高解像度で画像化し、粘着トラップに捕虫されたミカン、ヒラズ、ネギ、ミナミ、チャノキの 5 種アザミウマ類を種別に検出可能な画像認識 AI モデルを開発した。本試験では、開発した AI モデルを用いて、高知県内の施設野菜および花きほ場で粘着トラップに捕虫された 5 種アザミウマ類の検出精度を検証した。

材料および方法

AI モデルの学習

ほ場内に設置し、アザミウマ類を捕虫した黄色粘着トラップ(ホリバーYellow, アリスタライフサイエンス株式会社)を食品保存用ラップ(サランラップ, 旭化成ホームプロダクツ株式会社)で包み、両面を縮小光学系のフラットベッドスキャナ(GT-X830, EPSON)を用いてアザミウマの種毎の特徴を判別可能な解像度である 2400dpi で画像化した。これを 864×864 画素になるように 264 分割(縦 24 分割, 横 11 分割)し、分割した画像 26,512 枚(粘着トラップ約 50 枚, アノテーションした 5 種アザミウマ類 9,724 個体分)を用いて YOLOv7¹⁾の学習済みモデルを再学習することで、アザミウマ類の AI モデルを作成した。学習時のパラメーターは、ネットワーク入力サイズ(入力画像サイズ)864×864 画素, バッチ数(batch)64, バッチの分割数(subdivisions) 16, 学習の回数(イテレーション数) 24,000 回とした。この AI モデルを用いて次の試験を実施した。なお、本試験における検証時の閾値は、YOLOv7 の既定値である 0.25, および、実用時の設定値を想定した 0.5(F 値が最も高い値を示した時の閾値)の 2 通りで検証した。いずれの試験も NVIDIA TITAN RTX(24GB)の GPU を搭載したパソコンを用いた。

試験 1 モデルの検出精度の検証

開発したモデルの精度を検証するため、次の方法で試験を行った。2023 年 4～6 月にアザミウマ類が発生している高知県内の施設野菜 10 ほ場および施設花き 4 ほ場に 3～10 枚の黄色粘着トラップを 7～12 日間設置した。粘着トラップは、モデルの学習用画像と同様、食品保存用ラップに包んで回収し、各ほ場から任意の 1 枚の粘着トラップを対象に、両面をフラットベッドスキャナを用いて解像度 2400dpi で画像化した。これら 28 枚のスキャナ画像を 864×864 画素になるように粘着トラップの粘着部分を格子状に 264 分割した。分割後の 7,392 枚の画像について、ミカン、ヒラズ、ネギ、ミナミ、チャノキのそれぞれの雌成虫と、これら 5 種の雄成虫を 1 クラスにまとめた計 6 クラスに分けてアノテーションし、正解データを作成した。なお、雄成虫で種の区別をしなかったのは、スキャナ画像上では雄成虫の種判別は困難であることと、雄成虫は次世代の個体数変動への影響が小さいことから、種毎のほ場内密度のモニタリングや発生予測を目的とした場合は、実用上は雄成虫を 1 クラスにまとめても特に問題ないと考えられるためである。これを開発した AI モデルを用いて推論を実行し、アザミウマ類の正解データに対する検出精度を検証した。精度検証には、クラス毎の平均適合率(Average Precision, 平均適合率 $=\int_0^1 p(r)dr$, 平均適合率が高いことはモデルの性能が高いことを示す), mAP(mAP は平均適合率の平均値を示す), 適合率(Precision, 適合率=真陽性/(真陽性+偽陽性), 適合率が高いことは誤検出が少ないことを示す), 再現率(Recall, 再現率=真陽性/(真陽性+偽陰性), 再現率が高いことは見落としが少ないことを示す), F 値 (F1-score, F 値は適合率と再現率の調和平均を示す)を用いた。なお、正解データにおける種毎のアノテーション数は、ミカン 54, ヒラズ 759, ネギ 850, ミナミ 121, チャノキ 92, 雄 1,872 であった。

試験 2 アザミウマ類の発生状況の異なるほ場における検出精度の検証

アザミウマ類の発生状況が異なるほ場において、検出精度の違いがあるのかを検証するため、次の方法で試験を行った。試験 1 で作成した 14 ほ場分の粘着トラップの分割画像 7,392 枚を、各ほ場の粘着トラップ毎になるように 528 枚ずつに分け、試験 1 と同様に正解データを作成した。これを開発した AI モデルを用いて粘着トラ

ップ毎に推論を実行し、アザミウマ類の正解データに対する検出精度を検証した。精度検証には、適合率、再現

結 果

試験 1 モデルの検出精度の検証

アザミウマ類に対する平均適合率はミカン、ヒラズ、ネギ、ミナミ、雄でそれぞれ 95%, 96%, 94%, 82%, 96%と高かったものの、チャノキは 73%とやや低かった。5 種雌成虫および雄成虫の mAP は 89%と高かった。適合率、再現率、F 値については、閾値(AI モデルが意思決定を行う際の基準として、確信度が閾値以上であれば特定のクラスであると判断するための値)0.25 のときそれぞれ 81%, 93%, 87%で、実用時の設定値を想定した閾値 0.5 では、それぞれ 89%, 88%, 89%といずれも高かった(表 1)。

試験 2 アザミウマ類の発生状況の異なるほ場における検出精度の検証

閾値 0.25 における粘着トラップ毎の適合率は 73～90%と一部でやや低い事例も見られたが、再現率は 90～100%と高かった。F 値は 82～94%であった。閾値 0.5 における適合率は 83～100%, 再現率は 80～100%, F 値は 82～100%と、いずれも 80%以上を示した(表 2)。なお、虫種毎の発生ほ場数は、ミカン 1 ほ場、ヒラズ 12 ほ場、ネギ、10 ほ場、ミナミ 7 ほ場、チャノキ 3 ほ場であった。

表 1 開発した AI モデルの検出精度

平均適合(%)	ミカン	95
	ヒラズ	96
	ネギ	94
	ミナミ	82
	チャノキ	73
	雄	96
mAP(%)		89
閾値0.25	適合率 (%)	81
	再現率 (%)	93
	F値 (%)	87
閾値0.5	適合率 (%)	89
	再現率 (%)	88
	F値 (%)	89

表 2 各ほ場に設置した粘着トラップの検出精度

ほ場	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
品目	ナス	キュウリ	キュウリ	ピーマン	ピーマン	ピーマン	ピーマン	ニラ	ニラ	ニラ	グロリオサ	トルコギキョウ	オキシペタラム	オキシペタラム
主な発生種	ヒラズ'	ミナミ	ミナミ	ヒラズ'	ミナミ	ヒラズ'ミナミ	ミナミ	ネギ'	ネギ'ヒラズ'	ヒラズ'ネギ'	ミカン	チャノキヒラズ'ネギ'	ヒラズ'	ヒラズ'
正解ラベル数	ミカン	0	0	0	0	0	0	0	0	0	54	0	0	0
	ヒラズ'	9	2	1	135	0	3	0	4	29	330	2	46	194
	ネギ'	0	0	1	2	0	2	1	539	38	223	0	39	4
	ミナミ	0	21	78	1	8	3	9	0	0	0	0	0	1
	チャノキ	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	89	0	0
	雄	21	41	326	280	15	11	19	182	37	107	116	558	157
	合計	30	64	408	418	23	19	29	725	104	661	172	732	356
閾値0.25	適合率 (%)	73	82	75	86	85	83	79	84	90	77	75	81	84
	再現率 (%)	97	97	90	96	96	100	90	95	97	90	95	92	95
	F値 (%)	83	89	82	91	90	90	84	89	94	83	84	86	89
閾値0.5	適合率 (%)	88	91	84	92	88	89	81	91	95	87	83	90	91
	再現率 (%)	93	92	80	95	91	89	90	90	94	85	91	87	92
	F値 (%)	90	92	82	93	89	89	85	90	95	86	86	88	91

考 察

高山ら¹⁰⁾はAIによる画像認識技術を用いて、粘着板に捕獲したイネウンカ類の自動計数について報告している。それによれば、トビイロウンカおよび若齢幼虫の検出精度は平均適合率が90%以上でF値も86%以上であったことから良好な結果であったとしている。試験1において、チャノキの平均適合率は73%とやや低かったものの、mAPおよび閾値0.25におけるF値は89%および87%であったことから、モデルとしての精度は良好な結果が得られたと考えられる(表1)。また、閾値0.25における粘着トラップ毎のF値はいずれも80%以上を示したことから、県内施設ほ場において、このモデルを用いることにより粘着トラップに捕虫された5種アザミウマの虫数を概ね把握できると考えられた(表2)。また、実用時を想定した閾値0.5においても閾値0.25の時以上の精度を確保できており、実用上でも粘着トラップに捕虫された5種アザミウマの虫数を概ね把握できると考えられた。

試験1の種毎の平均適合率において、チャノキは73%とやや低かった(表1)。チャノキは雌成虫の体長が約0.8mmと他のアザミウマ4種に比べて小さいことから(図1)、他のアザミウマと比較して画像上でのpixel数が少ないため情報が乏しく、認識しづらかったことが原因の一つであると考えられる。ただし、YOLOでは16×16pixel以上あれば、検出可能であるとされており²⁾、

チャノキ雌成虫をアノテーションした場合の矩形は約35×75pixel程度あるため、今後、学習データ数をさらに増やせば、他のアザミウマと同程度の検出精度を確保できる可能性も考えられる。

試験2では、複数の種が混発している場合、アザミウマ類の発生種の違いや発生密度の差が検出精度に影響するのかを検証した。その結果、閾値0.25における粘着トラップ毎の適合率は73~90%と一部でやや低い事例も見られたが、実用時を想定した閾値0.5における適合率はいずれの粘着トラップにおいても80%以上であった。また、再現率およびF値についても80%以上であったことから、いずれの粘着トラップにおいてもアザミウマ類の発生予察に実用可能な検出精度であった。また、発生種の違いや発生程度の差が検出精度に及ぼす影響は小さかった(表2)。

開発したAIモデルは、施設ほ場で発生するアザミウマ類のモニタリングを想定したものであるため、学習データには施設ほ場に設置した粘着トラップのデータのみを用いている。しかし、野外に設置した粘着トラップで利用する場合は、未学習の種のアザミウマ類や他の虫種、葉片、土塊などの異物も付着することが想定される。このような未学習の種のアザミウマ類などの異物は5種アザミウマ類に誤検出される可能性があり、検出精度が低下すると考えられる。今後は、野外に設置した粘着トラップの画像データを追加して学習させることで、野

外におけるアザミウマ類の発生活動調査などへの活用にも期待できる。

開発した AI モデルを搭載したアザミウマ検出ソフト「AZdetector」を用いて検出すると、GPU メモリ 6GB のパソコンでは、AI による検出時間は粘着トラップ片面あたり約 15 秒であった。スキャナでの読み取りは、2400dpi という高解像度での画像化が必要なため、粘着トラップ片面あたり 5 分程度を要するものの、これまでの顕微鏡下における目視調査と比較すると、大幅な労力軽減が見込める。また、スキャナでの読み取り作業や検出ソフトの操作は非常に簡便で、作業者のパソコンスキルやアザミウマ同定技術の熟練度に関係なく、アザミウマ類の発生状況を簡単に把握することが可能である。

利益相反の有無

すべての著者は開示すべき利益相反はない。

引用文献

- 1) Chien-Yao Wang, Alexey Bochkovskiy, and Hong-Yuan Mark Liao(2022). YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors. <https://arxiv.org/pdf/2207.02696>, Accessed 18. May. 2024.
- 2) Darknet/YOLO FAQ https://www.coderun.ca/programming/darknet_faq/, Accessed 18. May. 2024.
- 3) 洞井晋一・小林美貴・沼田直樹(2020). 高解像度画像からの物体検出高速化手法の検討. 情報処理学会.

- 「マルチメディア，分散，協調とモバイル (DICOM2019)シンポジウム」.
- 4) 池本直矢・寺田賢治・高科勇太・中野昭雄(2016). 画像処理による色や形が類似した微小害虫の高精度分類. 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌). 136(8):1120-1127.
 - 5) 古味一洋(2003). 高知県におけるミナミキイロアザミウマの薬剤感受性の状況. 高知県農業技術センター研究報告. 12:21-25.
 - 6) 中石一英・近森ちさこ・戸梶加奈子・下元満喜・山下泉 (2019). 高知県の IPM 技術を導入している施設栽培野菜類で問題となっているアザミウマ類とカスミカメムシ類. 植物防疫. 73(7):15-18.
 - 7) 西本周代・柿元一樹・井上栄明・柏尾具俊(2006). 鹿児島県内の花きほ場で発生する主要アザミウマ類 3 種 に対する各種薬剤の殺虫効果. 九病虫研会報. 52:49-53.
 - 8) Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., Farhadi, A. (2016). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. <https://arxiv.org/pdf/1506.02640v5.pdf>, Accessed 18. May. 2024.
 - 9) 十川和士・渡辺丈夫・伊藤政雄・武智和彦・三浦一芸(2013). 四国におけるネギアザミウマ生殖系統の分布とその薬剤感受性. 植物防疫. 67(12):18-23.
 - 10) 高山智光・矢代敏久・真田幸代・桂樹哲雄・杉浦綾 (2021). 粘着板に捕獲したイネウンカ類の自動計数に向けた画像認識技術の検出精度検証. 農業情報研究. 30(4):174-184.

Summary

We developed an AI model that can detect five species of thrips using YOLO which is an object detection AI. In this study, we used this AI model to verify the accuracy of detecting five species of thrips caught in sticky traps at vegetable and flower greenhouses in Kochi Prefecture. As a result, the mAP of female and male adults of the five species of thrips was 89%, and it became clear that it was possible to roughly estimate the number of thrips of the five species caught in sticky traps in the greenhouses.

Key words: Thrips, AI, object detection, YOLO, forecasting

編集委員長 高橋 昭彦（所長）

副委員長 細川 卓也（企画監兼作物園芸課長）
古味 一洋（技術次長兼専門企画員）
朝比奈泰史（研究企画課長）
下元 満喜（農業情報研究室長）
青木こずえ（生産環境課長）

委 員	岡 美佐子	田村 悠	白石 航
	下元 祥史	松本 久美	穂崎 健昌
	平石 真紀	岡田 昌久	山崎 安津
	佃 浩輔		

事務局 大久保 早季

高知県農業技術センター

〒783-0023 高知県南国市廿枝 1100 番地
TEL 088-863-4912

高知県農業技術センター 果樹試験場

〒780-8064 高知県高知市朝倉丁 268 番地
TEL 088-844-1120

高知県農業技術センター 茶業試験場

〒781-1801 高知県吾川郡仁淀川町森 2792 番地
TEL 0889-32-1024

令和 7 年 3 月 31 日 発 行

編集発行者 高知県農業技術センター

〒783-0023 高知県南国市廿枝 1100 番地
TEL 088-863-4912

