

3. 施設野菜の最新技術

本章では、施設トマト、施設イチゴおよびその他の施設野菜のIPM最新技術について記述した。既刊の「IPMマニュアル」では、施設野菜としてトマト、ナスおよびメロンを取り上げ、それぞれに利用できる個別技術と体系化技術および実施事例を述べたが、本章では、主として施設トマトを取り上げ、新たに施設イチゴを取り上げて体系化技術、個別技術とIPM体系の実施事例を述べるとともに、ナスでは土着天敵の利用法について述べた。また、ピーマンのトウガラシマイルドモットルウイルス(PMMoV)とキュウリうどんこ病の防除についても、将来において利用が期待される技術を新たに取り上げた。

1. 施設トマト

施設トマトでは、体系化技術として、強制換気システムを導入した施設における土着天敵寄生蜂を利用したハモグリバエ類やコナジラミ類のIPM体系を述べた。最近、黄化葉巻病等対策の目的で、細かい目合いの防虫ネットの使用を前提とした栽培が行われるようになり、温度上昇などの栽培環境の悪化を招いており、これを防ぐために強制換気システムを採用した場合のタバココナジラミやハモグリバエ類に対する土着天敵類の利用技術を、養液栽培トマトについて新たに体系化したものである。

土壌病害虫の体系防除では、土壌還元消毒法について、最近得られた作用機作などの知見とそれに基づく実施方法を含めて新たに記述した。これは、「IPMマニュアル」の関係部分を補強する内容となっている。

また、将来の利用が期待されるものとして、景観植物の害虫誘引機能を利用した害虫防除技術について新たに記述した。バイオフィューミゲーションと還元土壌消毒については、「IPMマニュアル」刊行以降に補強された知見を述べた。さらに、ハスモンヨトウなどの土壌害虫の防除資材として土着昆虫病原性線虫スタイナーネマ・リトラレについて、新たに記述した。これは、施設野菜のみならず他の作物でも利用が

期待されよう。

2. 施設イチゴ

「IPMマニュアル」には取り上げていなかった施設イチゴについては、「IPMマニュアル」を補完する形で全体を統一的に記述した。ここでは、まず、体系化技術として、カブリダニ類を利用したハダニ類のIPM体系、コレマンアブラバチを利用したアブラムシ類のIPM体系、バチルスズブチリス剤のダクト内投入散布等の生物資材を利用したうどんこ病のIPM体系を述べた。病害虫防除の体系化の事例については、暖地および寒冷地に分けて述べた。また、体系の中には取り込まなかったが農薬登録されている生物的防除資材として昆虫病原糸状菌製剤、将来において利用が期待されるものとしてスワルスキーカブリダニ利用によるオンシツコナジラミやアザミウマ類の防除技術について記述した。

3. その他の施設野菜

その他の施設野菜では、いずれも将来においてIPM体系に組み込むことが期待される技術として、新たな技術開発の状況を述べた。

ピーマンでは、現在利用されている抵抗性品種に適用が可能な新規弱毒ウイルス(ワクチン)を用いたPMMoVによるモザイク病の防除技術を取り上げた。

キュウリでは、複合抵抗性誘導機能を持つアシベンゾラルSメチルによる抵抗性誘導機構を活用したうどんこ病の防除技術について取り上げた。

ナスでは、土着天敵ギフアブラバチとバンカー法を利用したジャガイモヒゲナガアブラムシの防除技術、また、エンドウのナモグリバエの土着天敵群集を活用したハモグリバエ類の防除技術について記述した。

(萩原 廣：野菜茶業研究所)

強制換気システム導入施設における土着天敵寄生蜂等を利用したトマトの IPM 体系

1. はじめに

トマトの施設栽培は、冬季においても収穫が可能であることから一般的な技術となっているが、高温の時期には作物の生育適温をはるかに上まわり、高温障害が発生しやすい。この昇温抑制のため簡易な遮光から重装備な冷房まで様々な対策が試みられてきたが、これまで確実な方法がなかった。そこで、高温障害の抑制と害虫の侵入防止、作業快適性の向上を同時に図るため、従来の強制換気に比べ大量の外気を取り入れる換気扇と防虫網を組み合わせた強制換気システムを開発した。この技術は施設栽培のトマト全般に利用できるが、導入経費・維持管理費を考慮してまずは養液栽培で実証した。養液栽培は高品質果実の生産、省力性などの利点があることから、その栽培面積は全国で急速に拡大している。

一方、養液栽培では大規模施設での栽培が多く、定植時期の異なるトマトが平行して栽培される。そのため、病害虫が周年発生し、その発生生態も複雑である。このため、単一作型の場合とは異なった新たな管理技術が求められていた。ここでは、施設トマトでとくに問題となるハモグリバエ類に土着天敵寄生蜂、コナジラミ類に市販の天敵寄生蜂、その他の害虫に化学農薬を適用した IPM 体系を提示する。

2. 新たに組み込む個別技術

1) 強制換気システム

(1) 換気扇と防虫網を組み合わせた強制換気システムの概要

今回開発した強制換気システムは、両屋根型温室の妻面の低位置（高さ約 120cm）に多数の換気扇を設置し（10～14 台/10a）、天窗、側窓を閉鎖した状態で遮光（外部または内部遮光、遮光率約 50%）を行いながら換気扇を稼働させ、温室内の空気を排出するとともに、反対側妻面の吸気部から大量の外気を取り入れるしくみとなっている（図 1）。また、吸気

部には害虫の侵入を防止するために、目合いの細かい防虫網（目合い 0.4mm）を設置する。以下、強制換気システムを取り入れた温室を強制換気温室と呼ぶ。

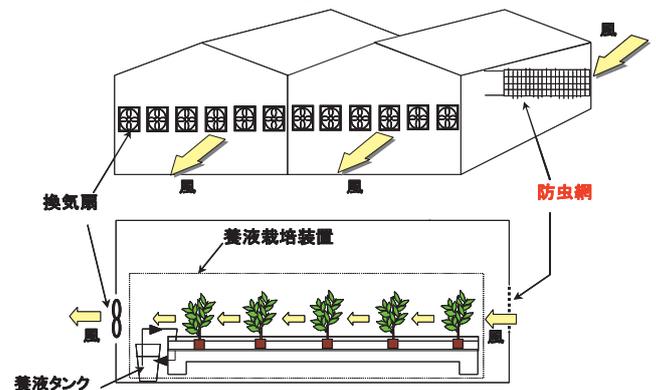


図 1 換気扇と防虫網を組み合わせた強制換気システム

(2) 温室吸気部への防虫網の取り付け方法

温室の換気扇側と反対側の妻面には害虫の侵入を抑制するために、目合い 0.4mm の防虫網を必ず設置する。この時、吸気部の面積が狭いと温室内の風速にムラができやすく風速が低下するため、温室の妻面にできるだけ広く確保する（図 2）。また、温室への出入りは側壁面からとし、作業者の入室時に害虫が入らないように防虫網等によるカーテンを設置する。防虫網は粉塵などにより目が詰まるため、風速を維持するために 1 年に 1 回程度の洗浄が必要である。



図 2 強制換気温室の吸気部における防虫網の取り付け事例

(3) 強制換気システム導入の利点

このシステムを導入することにより、次のような効果が期待できる。

○温室内部の温度が慣行に比べ、夏季で2～3℃抑制できる。

○トマトの生育が慣行よりも旺盛となり、果実の品質も向上する。

○温室内の温度が下がり、風が常に吹いている状態となるため、作業性が向上する。

○0.4mm 目合いの防虫網を設置することにより、害虫の侵入防止効果が高まる。

(4) 導入コストと電気使用量

10a 規模の温室に12台の換気扇を設置するには工事費を含めて約1,600千円の設置費用がかかる。換気扇の設置台数を減少させると導入コストは減少するが、その分温度抑制効果も減少する。

また、電気使用量は、稼働時間から、高温時期のみの使用の場合は179千円/10a、周年使用の場合は194千円/10aと試算された。

2) 土着寄生蜂を利用したハモグリバエ類の防除

(1) ハモグリバエ類の土着寄生蜂

ハモグリバエ類に対する土着の天敵として、ハモグリバエ類の幼虫や蛹に寄生する寄生蜂がいる。静岡県内の寄生蜂は、イサエアヒメコバチ、ハモグリヒメコバチ、ハモグリミドリヒメコバチ、カンムリヒメコバチなど20種以上が確認されている(表1, 図3)。

この土着寄生蜂を採集してトマト栽培施設へ供給する方法として、エンドウを利用する。エンドウには、ハモグリバエ類の一種であるナモグリバエが発生し、土着の寄生蜂も自然に寄生している。このナモグリバエの寄生蜂とトマトのハモグリバエ類(マメハモグリバエ, トマトハモグリバエ)の寄生蜂は、共通する種が多く(表1), ナモグリバエはトマトに被害をあたえないため、エンドウの茎葉を刈り取ってトマト栽培施設へ持ち込み利用する(エンドウ投入法)。

(2) 土着寄生蜂の寄生の確認方法

ハモグリバエの幼虫は乳白色～黄色であるが、寄生蜂に寄生されたハモグリバエの幼虫は褐変しているのを確認する(図4)。

(3) エンドウの利用方法

表1 静岡県内のエンドウ及びトマトのハモグリバエ寄生蜂の種類

調査植物	エンドウ			トマト		
	4～5月	1～12月	2月	4～5月	6～8月	11～12月
調査ほ場数	40	43	45	7	10	6
<i>Dacnusa nipponica</i>		△	○			
<i>D. sasakawai</i>		△		△		△
<i>Opius sp</i>				◎		
イサエアヒメコバチ	◎	◎	◎	△		
<i>Diglyphus minoens</i>		△	○			△
カンムリヒメコバチ		△				○
ハモグリヒメコバチ	○	○	△	○	◎	
<i>Chrysocharis pubicornis</i>	△	○	○			
ハモグリミドリヒメコバチ	△	○		◎	◎	◎
その他		△			△	

◎: 優占種(構成比概ね30%以上)、○: 同30～10%、△: 同10%～数%



図3 ハモグリバエ類の主な土着天敵(左上:イサエアヒメコバチ, 右上:ハモグリヒメコバチ, 下:ハモグリミドリヒメコバチ, 成虫の体長はいずれも1mm程度)



図4 左:寄生蜂に寄生され褐変したハモグリバエ幼虫(○内) 右:生きているハモグリバエ幼虫は乳白色～黄色

エンドウの利用時期とその際は種時期、10a当りの投入量などを表2にまとめた。投入量は、10a・1回あたり寄生蜂数1,000～1,500頭を目安に調整している。トマト施設への設置方法は、必要な茎数をバケツなどの容器に入れ、10aあたり6～10ヶ所程度に分

けて床などに設置する。この際、エンドウに寄生した害虫は払い落としておく。なお、6月～10月には、0.4mm目合いの網で覆い、トマトハモグリバエやハスモンヨトウなどの害虫の持込みを防止する(図5)。

利用するエンドウの品種は何でもよいが、夏播きの場合は初期成育の早い品種が、秋冬播きの場合には草丈が高くなる品種が向いている。

表2 エンドウを利用したい時期とは種時期、エンドウ投入量

利用時期	播種時期	羽化寄生蜂数(茎50cmあたり)	10a・1回当たり投入茎数(茎50cmとして)	エンドウの主な利用部位(寄生蜂の多い部位)
6月下旬～7月中旬	5月上旬	10～20	50～120	株全体
10月上旬～11月	8月上旬	5～10	100～250	株全体または上1/3を除く
11月～3月上旬	9月上旬	15～25	40～65	秋は上1/3を除く、後半は株全体
3月中旬～5月上旬	11月上旬	60～200	5～20	株全体または中央付近
4月下旬～6月	2月中旬	140～180	5～10	



図5 エンドウの投入方法

エンドウの管理は、ヨトウ類が多発した場合にはBT剤を、うどんこ病等の病害が発生した場合には殺菌剤を適宜散布する。

(4) 土着寄生蜂の保存

夏季はエンドウ栽培が難しい上に寄生蜂の発生量も少なくなることから、エンドウを新聞紙などで包みポリ袋に入れ冷蔵庫で保存し利用することも可能である。8～9月用には、寄生が最も多い5月上中旬にエンドウ(地上50～150cm部分)を採種し10aあたり50～100

本×4回投入分(計200～400本)を保存する。

3) コナジラミ類対策として新たに開発されたチチュウカイツヤコバチ剤

コナジラミ類の市販の天敵寄生蜂は、これまでオンシツツヤコバチ剤、サバクツヤコバチ剤が登録されていたが、新たにチチュウカイツヤコバチ剤が登録された。

チチュウカイツヤコバチ(図6)は、タバココナジラミの2～3齢期の若齢幼虫を好んで産卵する。このため、オンシツコナジラミが発生していればオンシツツヤコバチを放飼する。チチュウカイツヤコバチは、他の2種に比べ産卵数が多く(19.2卵/雌/日)、ホストフィーディングはオンシツツヤコバチ(69頭/雌)に比べ少ない(10.4頭/雌)。卵から成虫までの発育期間は、サバクツヤコバチと同じ(16.2日)である。

なお、オンシツツヤコバチ、サバクツヤコバチについては、「IPMマニュアル」(梅川ら、2005)を参照されたい。



図6 タバココナジラミに産卵中のチチュウカイツヤコバチ

3. 実施可能なIPMマニュアルの事例

IPMでは、害虫が寄生した苗の定植や施設外からの飛び込みなどを防ぎ、害虫の初期密度を低く保つことが重要である。天敵を効率よく利用するためには、天窗・側窓、出入口などに0.4mm目合い以下の防虫網を張る。

1) 防除体系

(1) 育苗時

ハモグリバエ類・コナジラミ類・トマトサビダニ・ヨトウ類に効果のある薬剤(クロチアニジン水溶剤+エマメクチン安息香酸塩乳剤等)を処理し、本ばに害虫を持ち込まないようにする。

(2) 定植時

ハモグリバエ類・コナジラミ類に効果があ

り、天敵への影響が長引かないニテンピラム粒剤等を処理する。

(3) 定植～2週間後まで

トマトサビダニの発生が過去にあり、育苗期にエマメクチン安息香酸塩、ルフェヌロン等トマトサビダニ防除剤を使用していない場合にはマッチ乳剤を処理する。

(4) 定植1ヶ月以降

ハモグリバエ類防除には、定植3週目ころからエンドウを1週間間隔で3～4回投入する(詳細は前項を参照)。コナジラミ類に対しては、市販のコナジラミ用天敵(寄生蜂)を定植1ヶ月後から3回放飼する。黄化葉巻病対策のためなど市販天敵を使用しない場合には、選択性殺虫剤や物理的防除剤を使用する(表3)。その後は、発生状況に応じて、キノキサリン系水和剤、ピメトロジン水和剤等の選択性殺虫剤を使用する。

・その他の病害虫

天敵を利用した場合に問題となるその他の害虫としては、トマトサビダニ、ヨトウムシ類、アザミウマ類などが考えられる。これらに対しては、天敵に影響の少ない選択性殺虫剤を使用する(表3)。また、病害に対しては、殺菌剤を育苗期から発生状況に応じて使用するが、天敵に影響する剤もあるので注意が必

表3 その他の病害虫に対する選択性殺虫剤・殺菌剤

病害虫	使用農薬
トマトサビダニ	キノキサリン系水和剤、ルフェヌロン乳剤、酸化フェンブタスズフロアブル
ヨトウムシ類	BT剤、IGR剤(フルフェノクスロン乳剤、ルフェヌロン乳剤など)
その他(アザミウマ等)	ルフェヌロン乳剤、フルフェノクスロン乳剤、ボーベリア・バシアーナGHA株乳剤など
病害全般	殺菌剤は育苗期から発生状況に応じて使用する。天敵に影響する剤もあるので注意
微生物農薬	微生物農薬は、発病前～発病初期に散布
うどんこ病	バチルスズブチリス水和剤、バチルス・ズブチリスQST-713水和剤など
灰色かび病	バチルスズブチリス水和剤、バチルスズブチリスD747株剤など
葉かび病	バチルス・ズブチリスQST-713水和剤、バチルスズブチリスD747株剤

要である。また、微生物殺菌剤の活用も有効である。

2) IPM体系の防除コスト

養液栽培トマトのIPM体系の防除コスト(10aあたり、1作)は、殺虫剤のみによる慣行体系に比べ、ハモグリバエ類に対して土着天敵を利用する体系(①)と市販天敵を利用した体系(②)では、殺虫剤の使用回数は60%減、防除にかかる労働時間は50～60%減、防除経費(労働費と殺虫剤費)では、17%減～39%増であると試算された(表4)。

表4 IPM体系の10aあたり1作の防除コストの比較

防除体系	殺虫剤使用回数(慣行比)	労働時間(慣行比)	防除経費(慣行比)
①ハモグリ(土着天敵)+コナジラミ(市販天敵)	4 (60%減)	5時間 (50%減)	27,300円 (17%減)
②ハモグリ, コナジラミ(両方とも市販天敵)		4時間 (60%減)	45,800円 (39%増)
慣行	10	10時間	32,900円

ハモグリバエ類, コナジラミ類の寄生蜂は, 各2回放飼・導入するものとして計算。労働時間には, 土着天敵の設置時間や市販天敵の放飼時間を含む。防除経費は, 労働費と殺虫剤費(市販天敵費含む)の合計。

参考文献

- 1) 梅川學ら(2005): IPMマニュアル, 養賢堂, 東京, p.184～187.
- 1) 大石直記ら(2004): 農耕と園芸 59(8):51～54.
- 2) 杉山恵太郎(2004): 今月の農業 48(9):63～67.
- 3) 土井誠(2006): 今月の農業 50(2):72～75.

(杉山恵太郎¹・大石直記¹・田上陽介²・土井誠¹・多々良明夫³・西東力²・芳賀一¹・増井伸一¹:¹静岡県農林技術研究所・²静岡大学・³静岡県庁)

土壌還元消毒法を用いた施設トマトの土壌病害虫体系防除

1. はじめに

施設トマトでは、キュウリ、メロンなどとの輪作体系や、トマトの年2作あるいは年1作の連作体系が取られているため、土壌病害虫が継続的に発生しやすい環境条件にある。主な土壌病害虫は、青枯病、萎凋病、根腐萎凋病、褐色根腐病、半身萎凋病、苗立枯病、ネコブセンチュウ類などであり、枯死株の発生や収穫量の減少などの深刻な被害を受けている。

土壌病害虫では、地上病害虫と異なり、定植後に適用できる防除手段がほとんどないため、これらの防除は大幅に制約される。このため、定植前の土壌消毒はトマトの安定生産にとって不可欠な作業であり、D-D剤、クロルピクリンくん蒸剤、ホスチアゼート粒剤、ダゾメット粉粒剤などの化学合成農薬が予防的に使用されており、過剰に処理される傾向がある。したがって、施設トマトの土壌病害虫防除において、減農薬化を進める意義は極めて大きい。

しかし、土壌病害虫防除の技術開発には課題が多い。土壌病害虫は土壌中に生息しているため、それらの密度および密度変動に関わる環境条件の的確な把握が難しい。また、防除の要否を判断する要防除密度や栽培後期の被害程度は、定植前の土壌病害虫密度から予測しなくてはならない。さらに、土壌病害虫を中心とした生物相互の生態学的知見が不足しているため、天敵などの生物防除資材の開発も遅れている。このように、IPMの中核となる個別技術が不足しているため、複数の防除法を相互に矛盾無く組み合わせたIPM体系の構築は難しい状況にある。

2. 新たに組み込む個別技術

1) 土壌病害虫に対する体系防除

「IPMマニュアル」(梅川ら, 2005)では、施設トマトの土壌病害虫に対する個別技術として、トマトの抵抗性品種、抵抗性台木、サツマイモネコブセンチュウの天敵微生物、根域制限栽培、太陽熱土壌消毒、熱水土壌消毒、土壌還元消毒、化学農薬の植穴くん蒸処理などが取り

上げられており、これらの技術によって構成された体系防除が提示された。

これらの個別技術の作用機構はほぼ明確であり、これらの作用機構に裏付けられた作業上の要点が示されるとともに、体系防除がマニュアル化されている。しかし、土壌還元消毒の作用機構は明示されなかったため、生産者や普及指導員などの農業関係者より、本技術の作用機構の解明および作用機構に基づいた作業上の要点の解説が要望されていた。

そこで、殺線虫効果の観点から解明された土壌還元消毒の作用機構の解説を交えて土壌還元消毒による土壌病害虫の体系防除を再度取り上げ、「IPMマニュアル」を補足する。

2) 土壌還元消毒法の概要

(1) 土壌還元消毒法の開発と発展

土壌還元消毒法は、北海道立道南農業試験場において施設ネギの根腐萎凋病を対象に開発された(新村ら, 1999)。本法は化学農薬を用いない土壌消毒法として注目され、施設野菜を中心に土壌病害虫に対する防除効果が明らかにされた(久保・片瀬, 2007)。

土作りおよび化学肥料・化学合成農薬の使用削減を一体的に進めるために、「持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律」が1999年に公布され、各都道府県において技術の導入指針の策定および導入計画の認定(エコファーマー)が進められている。2007年改正の施行規則では、「化学的に合成された農薬の使用を減少させる効果が高い技術」の中に、土壌還元消毒技術が取り入れられた。本技術は熱利用土壌消毒技術とは別の技術として位置付けられ、「土壌中の酸素の濃度を低下させることにより、土壌中の有害動植物を駆除する技術」とされている。

現在、地球温暖化対策、さらには石油価格の高騰に対応した技術の導入が、農業生産分野においても求められている。土壌還元消毒は生物機能を利用した省エネルギー・低コスト技術であり、体系防除の中心的技術として今後も活用

できる技術であると考えられる。

(2) 土壌還元消毒法の基本的な作業手順

土壌還元消毒は、次の手順で行う。

手順1:10a 当たり 1 t の小麦フスマまたは米ヌカを施設内に全面散布し、数回ロータリー耕耘して深さ 20 cm までの土壌に十分混和する。

手順2:灌水チューブを、約 80 cm 間隔で散布面を下向きにして地面に置き、その上から透明フィルムで被覆する。灌水して土壌を一時的に湛水状態(圃場容水量～最大容水量)にする。

手順3:手順2の状態のまま、施設を約 20 日間閉鎖し、フスマを混和した深さまで地温 30℃以上が保たれるようにする。

なお、10 a 当たり 2 t のフスマを散布し、深耕ロータリーを用いて深さ 40cm まで混和する方法もある。また、頭上灌水装置が設置されている施設では、頭上灌水装置で灌水した後に透明フィルムで地面を被覆することもできるが、被覆作業には工夫を要する。

3) 土壌還元消毒法の作用機構

(1) 土壌還元消毒法の作用機構の概要

土壌にフスマを混和すると、これらを栄養分として土壌微生物が急激に増殖する。土壌水分が圃場容水量から最大容水量に達していると、酸素の消費によって土壌の溶存酸素が急激に減少し、数時間で無酸素状態になる。通常の土壌の酸化還元電位は 400～500 mV であるが、土壌還元消毒によって-200～-300 mV にまで低下し、強い還元状態に移行する。この過程で、酢酸、n-酪酸などの有機酸が生成される。さらに、土壌微生物相が変化し、微生物同士の競合が起こる。このように土壌環境が変化する中で、無酸素状態、有機酸、微生物の拮抗作用、太陽熱や発酵熱による高温などの複合的な要因によって病原菌やセンチュウ類が防除される。

(2) 現地実証試験における具体的データ

現地施設で6月2日から26日まで土壌還元消毒を実施した。開始から2～3日後に深さ20cmの地温は目標の30℃以上に達した(図1)。開始7日後から曇天になったため、地温が低下

した。実施時期の日平均気温が21.8℃、最低気温は14.8℃、最高気温は30.0℃であった。このような時期に土壌還元消毒を行う場合、天候が地温の上昇に大きく影響すると考えられる。

土壌の酸化還元電位(Eh6)は深さ20cmで

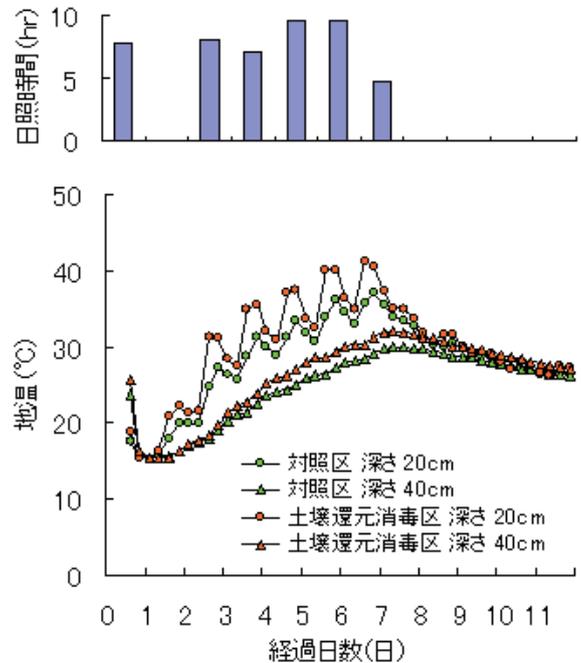


図1 現地施設で実施した土壌還元消毒における日照と地温の経時変化(日照時間はアメダスによる)

-207 mV、深さ 40 cm で-98 mV に低下し、開始から3日後までに土壌は強い還元状態になった(表1)。さらに、深さ 20 cm で 5.7 mM 酢酸および 1.5 mM n-酪酸が検出された。これに対し、フスマを混和せず灌水のみ行った対照区では、酸化還元電位は低下せず、有機酸は検出限界以下(<0.1 mM)であった。

ミニトマトを7月18日に定植し12月まで収穫した。土壌還元消毒区におけるサツマモイネコブセンチュウ(以下、ネコブセンチュウ)の密度および根コブの付着から評価した被害度は対照区よりも低く、実用的な防除効果が認められた(表2)。

(3) モデル試験における具体的データ

a) 溶存酸素濃度の変化

土壌還元消毒の溶存酸素濃度を実験室内で再現した。ネコブセンチュウを含む黒ボク土壌2

g にフスマ 0.02 g を添加して水 7 ml に入れ、この水の溶存酸素濃度を経時的に測定することにより土壌中の酸素状態を推定した。

表 1 現地施設で実施した土壌還元消毒における酸化還元電位 (Eh6) と有機酸濃度

試験区	測定時期	深さ (cm)	Eh6 (mV)	pH	濃度 (mM)	
					酢酸	n-酪酸
土壌還元消毒区	処理前	20	515	6.8	ND	ND
		40	558	6.6	ND	ND
	3日後	20	-207	6.4	5.7	1.5
		40	-98	6.5	2.5	0.4
対照区	処理前	20	511	6.8	ND	ND
		40	546	6.6	ND	ND
	3日後	20	511	7.0	ND	ND
		40	518	7.0	ND	ND

注) 土壌還元消毒区: 面積108㎡, 2 t/10aを深さ約40cmまで混和, 灌水, 対照区: 面積54㎡, 両区とも灌水後24日間施設を密閉, ND: 検出限界以下 (<0.1mM)

表 2 現地施設で実施した土壌還元消毒におけるネコブセンチュウ密度およびトマトの被害度

試験区	深さ (cm)	ネコブセンチュウ密度 (頭/20g土)		被害度
		3か月後	4か月後	
土壌還元消毒区	0-20	8	48	30
	20-40	15	214	
対照区	0-20	1644	237	77
	20-40	534	765	

注) 被害度は, 定植 4 か月後に, 株ごとに 0 (根コブの付着なし) ~10 (株全体が枯死) の指数で評価して算出

温度 30°C の場合, 溶存酸素濃度は急激に低下し, 約 2 時間後には無酸素状態になった (図 2)。一方, フスマを添加しない土壌の場合も, 溶存酸素濃度は急激に低下し, 約 4 時間で無酸素状態になった。25°C の場合は前者が約 4 時間で後者が約 6 時間, 20°C の場合は前者が約 5 時間で後者が約 9 時間, 15°C の場合は前者が約 7 時間で後者が約 12 時間であった。

すなわち, 灌水条件下の土壌の溶存酸素濃度は, フスマを添加するとより早く低下するが, フスマがなくとも急速に低下し, 土壌は無酸素

状態になることが確認された。図 1 の場合, 灌水を一昼夜行ったため, 1 日後まで 15°C であったが, 2 日後には 20°C に達しており, 2 日後には無酸素状態になったと推察される。

この時, 酸素を含む水が追加灌水される場合や, 灌水不足で土壌水分が急速に減少して空気が供給される場合は, 無酸素状態になりにくいと考えられる。

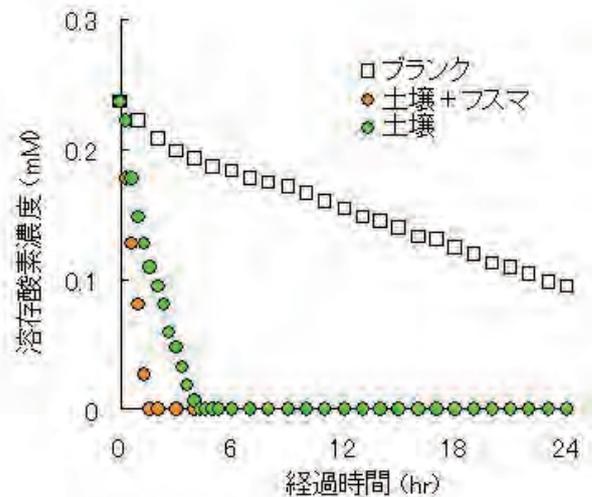


図 2 土壌還元消毒のモデル実験における溶存酸素濃度の経時変化 (30°C) ブランクは水のみの場合

b) モデル試験における酸化還元電位の変化

土壌還元消毒の酸化還元電位の変化を実験室内で再現した。ネコブセンチュウを含む黒ボク土壌 2 g にフスマ 0.02 g を添加して水 7 ml が入った試験管に沈め, 恒温機に置いて一定時間後に取り出した。

フスマを添加すると, 酸化還元電位が急激に低下して還元状態になり, 24 時間後, 全てのネコブセンチュウが死亡した (図 3)。一方, フスマを添加しなければ, 酸化還元電位に大きな変化はなく, 殺線虫効果は認められなかった。30°C の条件で, 殺線虫効果が極めて短時間 (24 時間以内) に得られることが明らかになった。

図 2 の結果がフスマの無添加条件でも, 試験開始後 4 時間までに無酸素状態に至ることを示しているため, この場合の無酸素状態は殺線虫効果の直接的な要因とは考えられない。

c) モデル試験における有機酸の生成量

黒ボク土 (風乾土) 53g にフスマ 1.0g を混和

したものをサンプル瓶に入れ、蒸留水 65ml を加えて密栓し、30℃のウォーターバス内に置いた。サンプル瓶内に空気を入れないようにして土壌溶液を採取し、土壌溶液の酸化還元電位、pH および有機酸濃度を測定した。

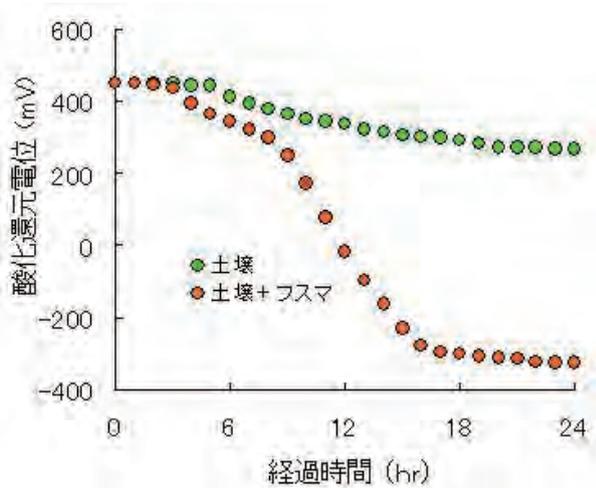


図3 土壌還元消毒のモデル試験における酸化還元電位の経時変化 (30℃)

フスマを添加した場合、土壌溶液の酸化還元電位は試験開始から24時間後に135 mV (pH 5.6)、48時間後には-33 mV (pH 5.6) に低下し、還元状態に移行した。このとき、土壌溶液から2.6 mM 酢酸 (24時間後)、9.8 mM 酢酸、10.7 mM n-酪酸および1.1 mM プロピオン酸 (48時間後) がそれぞれ検出された (図4)。これに対し、対照区ではいずれの有機酸も検出

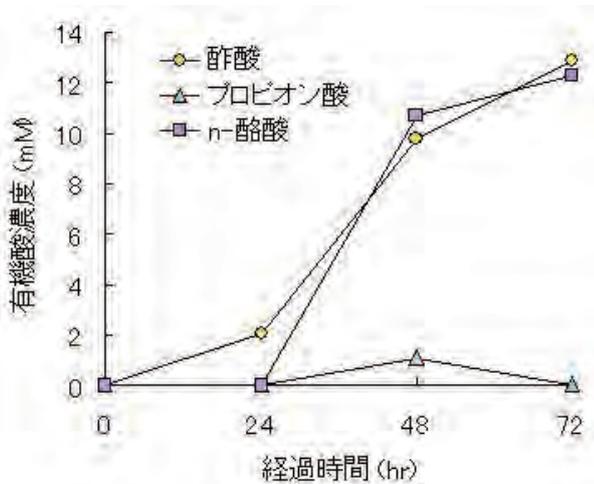


図4 土壌還元消毒のモデル試験における有機酸濃度の経時変化

限界以下であった。

すなわち、酸化還元電位が低下すると24~48時間で10 mM レベルの酢酸およびn-酪酸が生成したが、このレベルは現地実証試験での測定結果とほぼ同等であった。土壌2 gを使った先の実験より酸化還元電位の低下が遅れたのは、土壌の供試量が多く、土壌全体の30℃までの到達時間が長くなったためと考えられる。

d) モデル試験における有機酸の殺線虫効果

pHを調整した酢酸またはn-酪酸の水溶液30 mlにネコブセンチュウを入れ、30℃に24時間置いた。試験終了後、センチュウ (約100頭) の生存率を調査した。

pH4.5に調整した2~12 mMの有機酸にネコブセンチュウを24時間浸漬した結果、4 mMで明確な殺線虫効果が認められ、有機酸濃度が高くなるほど生存率は低下した (図5)。以上の結果から、現地実証試験およびモデル試験で検出された濃度の有機酸レベルには、殺線虫効果があることが確認された。

さらに、酢酸とn-酪酸の殺線虫効果がほぼ同

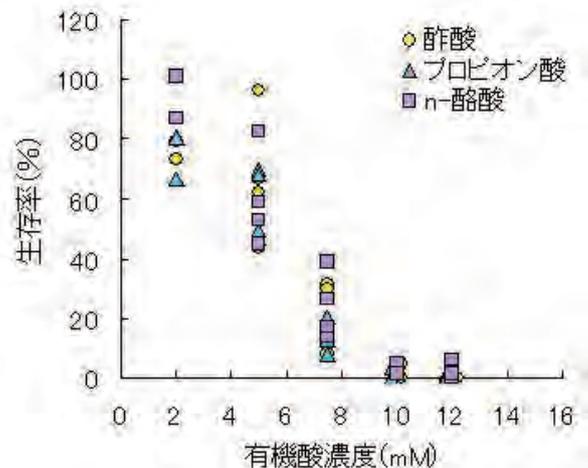


図5 有機酸の濃度とネコブセンチュウの生存率 (pH4.5)

等であること、酢酸とn-酪酸の混在により相加効果が得られること、pHが有機酸の殺線虫効果に大きな影響を及ぼすことが明らかになった。

e) モデル試験による無酸素の殺線虫効果

これまで、有機酸の殺線虫効果を明らかにしたが、無酸素状態でもネコブセンチュウは死亡することを確認した。キタネグサレセンチュウ

を用いた試験では、無酸素状態でフスマが存在しない土壤の場合、生存率が0%になる時間は、温度30℃では36時間、温度40℃では18時間であった（片瀬ら、2005）。ネコブセンチュウの場合にも同様な効果が得られている。したがって、地温が高い場合、無酸素状態は殺線虫効果の直接的な要因になると考えられる。

（４）土壤還元消毒法の殺線虫効果のまとめ

以上の現地実証試験および室内のモデル試験から、土壤還元消毒の作用機構の一つとして、還元状態で生成する有機酸の殺線虫効果が示唆された。また、温度が高い場合、無酸素状態による直接的な殺線虫効果があると考えられる。

したがって、現地の施設において土壤還元消毒を行った場合、地面に近い層では、高温および無酸素状態で線虫は死亡すると考えられる。それよりも下の層では、生成した有機酸の効果によって死亡すると考えられる。

（５）他の土壤病害虫に対する作用機構

ネコブセンチュウに対する土壤還元消毒の効果を試験したが、同様の結果をキタネグサレセンチュウおよびクルマネグサレセンチュウでも確認している（片瀬ら、2005）。

また、土壤病害に対する有機酸の防除効果、無酸素状態の効果および土壤微生物による拮抗作用も報告されている（久保ら、2005；門馬ら、2005）。

4）土壤還元消毒法の作業の要点

本プロジェクトで明らかになった作用機構から、土壤還元消毒を実際に現地施設で行う場合、「IPM マニュアル」の解説に加え、次のような要点が挙げられる。

（１）実施時期および天候

30℃以上に維持可能な地温を考慮した場合、千葉県で土壤還元消毒を実施できる期間は6月から9月までの4か月間であり、日照条件が良好であれば5月でも実施可能である。日照条件が不良であると、5、6、9月の地温は十分に上昇しないことがある。

湛水状態から土壤水分は徐々に低下していく。

土壤還元消毒を成功させるためには、土壤の水分率が下がる前に温度を30℃まで到達させて還元状態に移行させる必要がある。開始から3日目までの天候が良好であると、地温が早く上昇して高い防除効果が得られると考えられる。

（２）灌水および水分の蒸発防止

土壤還元消毒開始後の追加灌水は地温の低下を招くとともに酸素を含んだ水を供給することになる。開始時に十分な灌水を行い、透明フィルムで地面を丁寧に被覆して水分の蒸発を防ぐことが重要である。

（３）フスマの混和

フスマの周辺で有機酸が生成していると考えられることから、防除対象の土壤病害虫とフスマがより接するように、フスマを均一に混和することが重要である。このため、フスマを散布してからロータリーで2回以上耕耘して、平らに整地する。千葉県での実証試験では3回行っている。また、ハウスの隅まで丁寧に混和する。

3. 実施可能な体系防除の事例

1) 施設トマトにおける土壤病害虫の体系防除

土壤還元消毒、抵抗性品種および抵抗性台木と組み合わせた防除体系が推奨できる（表3）。土壤還元消毒は褐色根腐病、ネコブセンチュウ類に対して高い防除効果を示し、萎凋病および根腐萎凋病には、やや不十分ではあるものの、薬剤防除と同等の防除効果がある。一方、青枯病に対する防除効果は不安定である。不安定な防除効果を補うために、必要に応じて抵抗性品種および抵抗性台木を用いる。

トマト、キュウリ、メロンなどの輪作体系では、品目の切り替え前に土壤還元消毒を実施する期間（表4）を1か月間確保する。なお、高温時の7月後半から8月下旬に実施する場合、処理期間は半月間で足りる。

トマトの場合、補助的手段として、定植2～3か月後にホスチアゼート液剤を処理すると、ネコブセンチュウの増殖を一時的に抑制できる。

2) 施設トマト以外の作物への応用

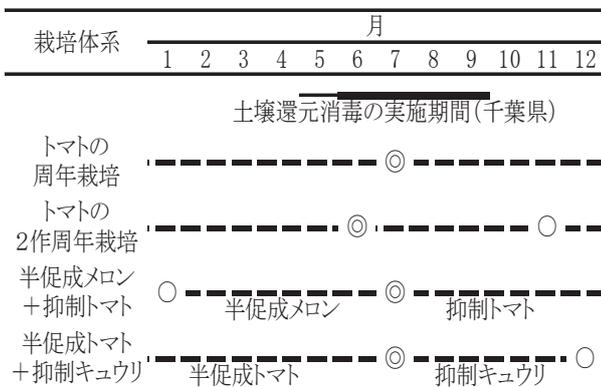
土壌還元消毒は、トマトの他、キュウリ、ナス、スイカ、メロン、イチゴ、ハウレンソウ、エンドウ、サヤインゲン、花き類など、多くの作物に適用されている（竹内，2004）。いくつかの好事例があるが、例えば、施設イチゴのネグサレセンチュウ（クルミネグサレセンチュウ）

表3 土壌還元消毒を利用した土壌病害虫の体系防除

土壌病害虫	個別防除技術			
	土壌還元消毒	抵抗性品種	抵抗性台木	天敵微生物製剤
青枯病	△	○	◎	
萎凋病	○	◎	◎	
根腐萎凋病	○	◎	◎	
褐色根腐病	◎	◎	◎	
半身萎凋病	◎*	◎	◎	
センチュウ類	◎	△	△	△

注)◎:効果が高い, ○:効果がある, △:効果は不安定, *:想定

表4 トマトの作付け体系に合わせた土壌還元消毒の実施時期



注)◎:土壌還元消毒の実施, ○:薬剤防除, 破線は作期を示す

に対しては、土壌還元消毒による安定した防除効果を得られることが確認されている（片瀬ら，2005）。これは、促成イチゴの作型では夏場に施設が空く場合が多く、太陽熱消毒及び土壌還元消毒を導入しやすい条件であること、イチゴの根張りが浅いなどの条件が整うためであると考えられる。

3) 今後の発展

土壌還元消毒は小麦フスマまたは米ヌカを利用する技術であるが、糖蜜（新村，2004）、低濃度アルコール（植松ら，2008）などの有機物

の利用、また、土壌還元消毒と熱水土壌消毒との併用（植草ら，2002）なども試みられている。土壌病害虫に対する有効な生物的防除法として土壌還元消毒の活用範囲は、今後拡大していくと考えられる。

参考文献

- 1) 片瀬雅彦ら(2005):千葉農総研研報 4:117~123.
- 2) 久保周子・片瀬雅彦(2007):植物防疫 61:68~72.
- 3) ———ら(2005):日植病報 71:281~282.
- 4) 門馬法明ら(2005):土と微生物 59:27~33.
- 5) 新村昭憲(2004):土壌伝染病談話会レポート 22:2~12.
- 6) ———ら(1999):日植病報 65:352~353.
- 7) 竹内妙子(2004):土壌伝染病談話会レポート 22:13~21.
- 8) 植松清次ら(2008):日植病報 74:46.
- 9) 植草秀敏ら(2002):関東病虫研報 49:23-29.
- 10) 梅川 學ら(2005):IPM マニュアル 236 pp, 養賢堂, 東京.

(大井田寛・武田藍・牛尾進吾・久保周子・片瀬雅彦:千葉県農林総合研究センター)

将来技術 景観植物の害虫誘引機能等を活用した害虫防除

1. はじめに

農耕地周辺の法面や境界部分などの非耕作地にはびこる雑草は、景観の悪化や病害虫の発生源となる恐れもあるなど問題が多い。しかし、雑草地には負の側面だけでなく、土着天敵の発生源としての役割も評価され (Altieri, 1995; Nentwing, 1998), IPMや有機農業における害虫管理の一手法として、植生管理による害虫防除に近年関心が高まっている。具体的には、農耕地における植物種の多様性を高めて土着天敵の餌や生息場所を増やすことや、害虫を誘引する誘引植物の利用などが考えられる。このような植物機能を活用して害虫防除を実施するには、わが国の気候に適し利用可能な植物種を選定する必要がある。一方、都市との交流が盛んになり、消費者に好感の得られる栽培環境で農作物を栽培することも重要であり、美しく快適な生産環境も併せて創造する意義は大きい。そこで、害虫防除に利用する植物に農耕地の修景効果を付加するために、景観植物の中からトマト等の施設野菜害虫防除への活用が期待できる植物種の選定を進めている。

2. 技術の概要

植生管理による害虫防除を行う場合には、景観植物の発育(被度)、開花期間および害虫と天敵の発生量が参考となる。国内で園芸種として流通し入手が容易な景観植物のうち宿根性植物27科69種、種子繁殖性植物23科56種について、発生する節足動物の種類が調査されている(長森ら2007)。この中から、野菜類の害虫の発生が比較的少ない植物種、アザミウマ類やアブラムシ類など野菜類の主要害虫の捕食性天敵として重要なヒメハナカメムシ類やテントウムシ類などの発生が多いもの、特定の野菜害虫の発生が多いなど節足動物の発生に特徴があるものに低木性花木など数種を加え、16科29種を岡山農試内露地圃場(岡山県赤磐市)に栽培して調査した。景観植物の発育(被度)を図1に、開花期間を図2に、害虫と天敵の発生量を表1

に示す。これらは農作物と景観植物を組み合わせる際の参考として利用できる。

1) 景観植物の栽培と特性

景観植物は育苗後に圃場に定植して、被度を確保できるように栽培するが、岡山県南部での例を以下に述べる。草本植物では、育苗を露地で4月上旬から開始し、4月下旬から5月中旬に定植する。ただし、夏期に枯死するカリフォルニアポピーは、秋期又は施設内で育苗し早春に定植して、春期から被度を確保することもできる。施肥は4月に基肥としてスーパーロング140日タイプ143kg/10a(有効成分:窒素20kg、リン酸14kg、カリ20kg)及び苦土石灰100kg/10aを施用し、木本及び越年性草本には、翌年以降も同様に追肥として施用すれば、栄養障害等は見られない。

抑草には透水性の防草資材ワイドスクリーン(黒色#1013, 130円/m²程度)を用いて地面を被覆する。これは、渇水時の水分補給や追肥が容易であり、またバーベナ「タピアン」のようにランナーから根が発生する植物ではマルチの網目を突き抜けて地面に達するので被度を確保しやすい。

栽植密度30cm×30cmで定植した場合の被度は、定植一年目はアゲラタム、センニチコウ、バーベナ「タピアン」が高く、次いでイブキジャコウソウ、ヒャクニチソウ、ルドベキア、メキシコマンネングサの被度が高い。越年性や木本の定植2年目には高い被度を維持できる。メキシコマンネングサ及びイブキジャコウソウ、また、定植1年目に被度が低かったヒペリカム・カリシナムも2年目の6月中旬以降は90%以上の高い被度になる。バーベナ「タピアン」は越冬時に一部枯死し、春期の被度は低くなるが、8月上旬以降は90%以上となる。ローマンカモミール、ルドベキア、カリフォルニアポピーは夏期以降被度が低下する(図1、一部データ略)。

景観上および花粉や花蜜を餌とする天敵のためには、開花期間の長さも重要である。長期間



図1 被度の推移 (2005年) 90~100% : ■, 70~90% : ■, 40~70% : ■, 枯死 : X

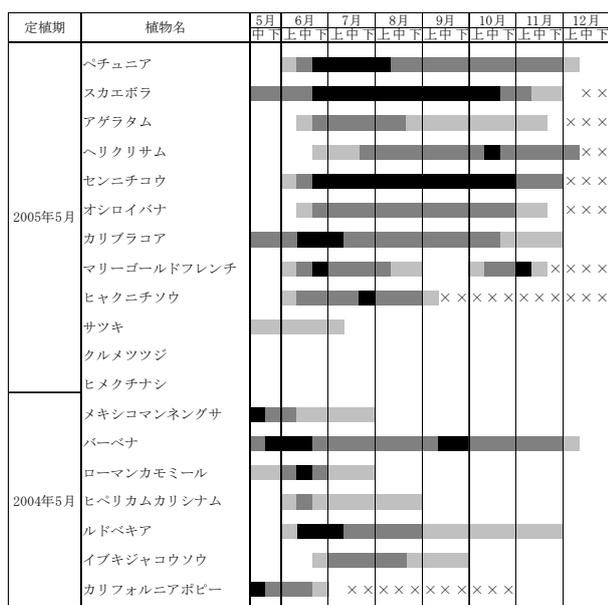


図2 開花状況 (花の被度×100/株の被度) の推移 (2005年) 50~100% : ■, 10~50% : ■, 5~10% : ■, 枯死 : X

旺盛に開花する草種はスイートアリッサム, センニチコウ, バーベナ「タピアン」, スカエボラで, 次いでカリブラコア, サンビタリアは開花期間が長く, 5月から11月まで旺盛に開花した。前年に植え付けた草種のうちカリフォルニアポピー及びメキシコマンネングサは春期に旺

盛に開花する (図2, 一部データ略)。

2) 天敵温存場所として期待できる景観植物

大規模単作地帯や周囲を水田で囲まれた圃場では土着天敵の発生源が少ない。このため, 天敵類発生の多い景観植物を温存場所として栽培すると, 圃場内の土着天敵密度が高まり, 害虫密度が抑制される可能性がある。

表1には, 今回調査した景観植物29種に発生した主な節足動物を, 害虫と天敵とに分けて目や科という分類群ごとに示している。詳細は, 永井・飛川(2007)を参照願いたい。なお, 一部植物に発生が限られた科は表から省いている。

クモ類ではサラグモ科が全般に多く, 低木ではピペリカムカリシナムやイブキジャコウソウで定植2年目に発生が多くなり, 草本ではマリーゴールド・フレンチやルドベキアが多い。

ヒメハナカメムシ類はソバ, バーベナ「タピアン」, モナルダ・シトリオドラ, スカエボラ, アゲラタム, マリーゴールド・フレンチ, ルドベキア, ローマンカモミールで発生が多い。オシロイバナでも一時的に多くなることもあり, イブキジャコウソウでは開花期に当たる約3か月間に発生が多い。

クサカゲロウ科は卵や幼虫での確認が多いため種名は明らかでないが, ヒヤクニチソウ, ヘリクリサム及びルドベキアで発生が多い。

テントウムシ類ではナナホシテントウとヒメカメノコテントウの発生が全般に多い。ピペリカムカリシナムではアブラムシ類の多発時にテントウムシ類の発生が多くなるが, 時期による密度変動は大きい。ソバやメランポディウムではヒメカメノコテントウの発生が多い。

天敵類の発生のある一方で害虫の発生が目立つ植物も見られるので, 作物と組み合わせには注意が必要である。ハダニ類はオシロイバナ, キバナコスモス, サンビタリア, マリーゴールド・フレンチ, メランポディウムに多い。コナジラミ科では全般にシルバーリフコナジラミとオンシツコナジラミの発生であるが, ヒメクちなシではミカンコナジラミである。ヤガ科では主にハスモンヨトウである。なお, 一部の植物種に特徴的に発生の多い害虫は, スイートアリッサムでのキスジノミハムシ成虫, ソバやバー

表1 景観植物における節足動物の個体数^{1,2)}

植物名 (科名)	天 敵 (クモ目以外は科名)				害 虫 (科名)						
	クモ	ハカミシ	クサガロウ ³⁾	テトリムシ	ハダニ	アザミヤ	カミシ	カスミカミシ	アブラムシ	コジラミ	カガ
草本											
カリフォルニアボビ- (ケ)	3/2	2/1	0/0	1/2	1/0	3/3	0/0	0/1	0/0	1/0	2/1
虞美人草 (ケ)	3	0	0	2	0	3	0	0	1	0	0
アズラールボビ- (ケ)	3	1	0	1	0	3	2	0	0	0	0
スイートアリッサム (アブラ)	3	2	0	0	0	4	1	2	1	0	2
キシソマネグサ (ベンケイソウ)	3/2	0/0	0/0	0/2	0/0	1/3	0/0	0/0	0/0	0/1	2/0
セコソウ (ヒユ)	3/3	2/1	2/0	1/0	0/2	3/3	2/1	1/2	3/0	1/2	2/0
オシロイバナ (オシロイバナ)	3/3	3/1	0/2	1/0	3/4	3/2	0/0	1/2	2/2	1/1	2/0
ソバ (クサ)	3	3	1	3	3	4	0	2	4	1	2
キョウゲンソ (ハシソ)	3	1	0	0	2	3	2	0	2	1	2
カリブソ (ケ)	2/2	0/0	0/0	0/0	1/0	3/4	0/0	0/0	0/0	1/0	2/1
ベチニア (ハ)	2/2	2/1	0/0	0/1	3/0	4/3	1/1	0/0	0/0	0/0	3/3
バーナム・タビアン (クマツヅラ)	3/3	3/3	0/0	0/2	0/0	3/3	2/3	3/3	0/1	1/1	1/2
モルタ・シロホソラ (ソ)	3	3	0	1	2	2	2	2	2	3	2
スエボラ (クサトバラ)	3/3	3/3	0/0	0/0	3/2	4/4	2/2	2/3	0/2	1/0	1/2
アゲラタム (キ)	3/3	2/3	2/0	2/0	2/0	3/3	2/0	1/0	3/2	3/3	2/0
キバナコスモス (キ)	3	2	1	1	4	3	0	0	3	3	2
サンビタリア (キ)	3	3	0	1	4	3	3	0	2	2	2
ヒヤクニソウ (キ)	3/3	2/2	2/3	0/0	1/1	2/3	1/1	1/2	2/3	3/3	2/3
ヘリクサ (キ)	3/3	2/2	3/3	2/2	1/0	4/4	2/2	2/2	2/2	2/3	2/2
マリゴールド・フレチ (キ)	4/4	3/3	1/2	0/0	2/4	4/4	0/0	0/0	2/1	3/0	2/3
メランボデウム (キ)	4	3	1	3	4	3	0	3	3	3	2
ルベキア (キ)	4/3	3/3	2/3	2/3	0/0	3/3	2/2	0/0	2/3	3/3	3/2
ロマンカモミール (キ)	3/3	3/2	0/0	2/2	2/0	2/3	0/0	1/2	4/5	0/0	2/2
ユリオプシステム (キ)	3	3	0	2	3	4	0	2	4	3	2
木本											
ヒペリカムカリナム (オギソウ)	3/4	0/1	0/2	2/2	1/0	0/3	0/0	0/0	4/4	1/2	2/2
クルメツツジ (ツツジ)	3/0	0/0	2/2	2/2	2/2	2/0	0/0	0/0	1/3	1/1	1/0
ツツジ (ツツジ)	2/3	0/0	0/0	1/0	0/0	2/0	0/0	0/0	2/0	0/0	1/0
イブキソウ (ソ)	2/4	1/3	0/0	0/2	2/0	1/4	0/0	0/2	0/1	1/1	2/1
ヒメクサ (アネ)	3/3	0/0	0/0	2/2	3/1	2/0	0/0	0/0	3/2	4/5	2/0

¹⁾ 調査は2004年5月～2006年12月に月1回実施し、調査期間は新たに定植又は播種した植物種では6～12月、越年した植物種では4～12月に調査した。なお、多年生植物は2年間継続して調査を実施したが、一年生及び二年生の植物種では1年又は2年の調査とした。個体数調査して得た値を被度100の場合の1㎡当たりに換算して1回当たりの推定個体数を下式により求めた。

$$\text{推定個体数(1㎡当たり)} = (\text{1調査区画当たりの茎葉に生息する平均個体数} + \text{1花当たりに生息する平均個体数} \times \text{1調査区画当たり平均開花数}) / (0.3\text{m} \times 0.3\text{m}) / (\text{被度}/100)$$

1回当たりの推定個体数を合計して調査年ごとの推定個体数を求め、下記のグレードに分け、表1に示した。

グレードは、0: 発生なし、1: 1～9頭、2: 10～99頭、3: 100～999頭、4: 1000～9999頭、5: 10000頭以上とした。

²⁾ 表中の1年目/2年目の累積推定個体数を示す。‘/’がない植物種は1年間だけの調査である。

³⁾ 卵を含む。

ベナ「タピアン」でのツマグロアオカスミカメ、センニチコウでのシロオビノメイガ、キク科でのアワダチソウグンバイなどである。多年生植物は2年間継続して調査を実施したが、低木のピペリカムカリシナム及びイブキジャコウソウ、多年生草本のメキシコマンネングサは1年目には開花せず2年目に開花したため訪花性のアザミウマ類の発生が2年目に増加している。

(3) 誘引植物として期待できる景観植物

害虫の発生の多い植物は、作物との組み合わせがうまく行けば、害虫の誘引植物として利用できることもある。この場合、誘引した害虫の死亡率が高く、増殖率が低い植物種は利用価値が高い。例えば、キスジノミハムシ成虫の発生が極めて多い半耐寒性の多年性草本スイートアリッサムは、キスジノミハムシ成虫の誘引作物としてダイコンなどで利用できるかもしれない。カリフォルニアポピー、センニチコウ、カリブラコアやペチュニアの花にはヒラズハナアザミウマなどアザミウマ類成虫の発生が多いが、幼虫の発生は少ない。このことから、これら草種を野菜畑の近くに栽培することにより、ヒラズハナアザミウマ成虫の農作物への飛来を防ぐとともに次世代のアザミウマ類の密度抑制にもなるかもしれない。また、カリブラコアやペチュニアでは、茎葉や萼を被う粘着物質に捕捉されて死亡したアザミウマ類の成幼虫が見られ、これらでアザミウマ幼虫の発生が少ない原因の一つと考えられる。

なお、雨除け栽培のトマトで、ハウスサイドの換気部にカリフォルニアポピーとペチュニアを混植し、カリフォルニアポピーにオンコル粒剤を処理して誘引したヒラズハナアザミウマを防除すると、トマトへの殺虫剤散布を2回削減できた試験例もある。

3. 今後の技術開発の方向

天敵や害虫の発生推移、及び景観植物の生育や開花の時期には地域差や年次間変動があり、施設内で栽培するとコナジラミ類、ダニ類などの発生が増加する。また、越年性植物では定植後の年数が経過するにつれて節足動物の発生が変化することがある。このような変動に対する

対応技術を開発する必要がある。また、草本性の景観植物では、定植後約1か月間はネキリムシによる被害が多いが、花き類のネキリムシを対象とした登録薬剤はない。今後、寄生性天敵の調査も必要である。

農作物を栽培した圃場における景観植物の効果は検討されつつあるものの確定はされていない。実用化のためには、植物種の選定のほか、圃場での栽培位置や密度などについても明らかにする必要がある。本技術では、天敵だけでなく病害虫の発生に及ぼす影響を十分把握することが重要である。例えば、景観植物の栽培により害虫密度の上昇やウイルス病などの発生源になる恐れなどの弊害を十分検討する必要がある。

景観植物を害虫の誘引植物として利用する場合には、誘引した害虫が農作物へ移動して加害する恐れがある。このため誘引後の害虫を殺虫剤などで殺す方法についても検討する必要がある。

参考文献

- 1) Altieri, M. A. (1995): *Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture*. 2nd ed. Westview Press, Colo., 433p.
- 2) 永井一哉・飛川光治 (2007): 応動昆中国支会報 49: 31~37.
- 3) 長森茂之ら (2007): 岡山農試研報 25: 17~28.
- 4) Nentwing, W. (1998): *Enhancing Biological Control: Habitat management to promote natural enemies of agricultural pests*. (C. H. Pickett and R. L. Bugg eds.). University of California Press. Berkeley, pp. 49~71.

(永井一哉・飛川光治: 岡山県農業総合センター農業試験場)

将来技術 バイオフィューミゲーションと還元土壤消毒を 組み合わせたトマト萎凋病防除技術

1. はじめに

トマト萎凋病は、フザリウム菌の一種であるトマト萎凋病菌(学名 *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*)によって起こされる土壤伝染性病害で、激発すると産地の崩壊も招きかねない重要病害である(図1)。本病菌には、侵す品種の違いによりレース1, レース2, およびレース3が知られており、わが国では主にレース1および2が発生していたが、近年レース3の発生が確認された(益永, 1999)。レース3に対する抵抗性を有する自根栽培用品種は現在のところわが国になく、本レースの分布域の拡大が今後大きな問題となる可能性がある。トマト萎凋病の防除には、抵抗性品種の他、クロルピクリン剤等の土壤くん蒸剤が多用されてきたが、くん蒸剤の使用は周辺環境や作業者本人の健康に及ぼす影響が懸念される。土壤くん蒸剤の使用量を削減するためには、各種土壤消毒手法と他の防除手法とを組み合わせることで、病害を総合的に防除する技術を確立することが重要である。



図1 トマト萎凋病の症状

バイオフィューミゲーション (Biofumigation : Sarwar and Kirkegaard, 1998) は、アブラナ科植物を土壤に鋤き込み、その分解過程で生じるイソチオシアネート類等の抗菌性物質により、土壤中の病原菌の活性を低下させることで土壤病害を軽減する手法であり、生物的土壤くん蒸と訳すことができる。しかし、殺菌効果に関与す

る物質や有効な処理条件等、不明の点も多い。これまでに、カラシナ (*Brassica juncea*) (図2)の葉の分解過程でアリルイソチオシアネートが生じ、これがフザリウム菌に対して殺菌作用があること(図3)、また、カラシナの土壤混和により、土壤中のフザリウム病菌密度が大きく低下することが確認されている。



図2 カラシナ(黄からし菜)の種子と葉



図3 カラシナ(黄からし菜)の葉を20mlの水と一緒にすりつぶして、フザリウム病菌をかぶせて6日間培養したもの。カラシナが分解するときに出る、アリルイソチオシアネートという気体が、病原菌を抑制・殺菌する。

還元土壤消毒(土壤還元消毒)(新村, 2000)は、土壤にフスマ等の易分解性有機物を混和し、

圃場容水量以上に灌水し、土壌表面を透明フィルムで被覆し土壌を強制的に還元状態とすることにより、一般の太陽熱消毒よりも低い温度で土壌病原菌を死滅させることが可能な手法であり、近年わが国で多くの土壌病害に対し適用が試みられている。この原理も十分解明されていないが、還元状態での微生物活動により生成される酢酸や酪酸などの抗菌性物質が関与すると考えられている（久保・片瀬，2007）。

そこで、有機物としてカラシナを用いて土壌を還元化させることにより、バイオフィューミゲーションと還元土壌消毒の組合せ効果が期待できる。トマト萎凋病に対する圃場試験の結果、開花期のカラシナを土壌に鋤き込んでポリエチレンフィルムで被覆し、圃場容水量以上に灌水し2週間処理することで、処理期間中の酸化還元電位が低下し、処理後第2作まで安定した防除効果が認められた（図4～図10）（竹原ら，2007）。



図6 カラシナの圃場への鋤き込み
(フスマとの比較)



図7 鋤き込み後の灌水



図4 開花期のカラシナ



図5 カラシナの細断

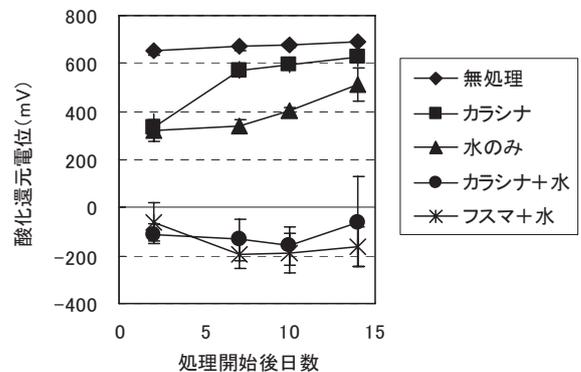


図8 各区の土壌の酸化還元電位(Eh)の推移。カラシナ：カラシナを5kg/m²鋤き込み後ポリ被覆。カラシナ+水：カラシナを5kg/m²鋤き込み、被覆下で200L/m²の灌水。フスマ+水：小麦フスマを1kg/m²鋤き込み、被覆下で200L/m²の灌水。水のみ：何も鋤き込まずに被覆下で200L/m²の灌水。無処理：鋤き込みも灌水もせず被覆。バーは標準誤差。



図9 トマト萎凋病の発病の様子（処理後第2作）

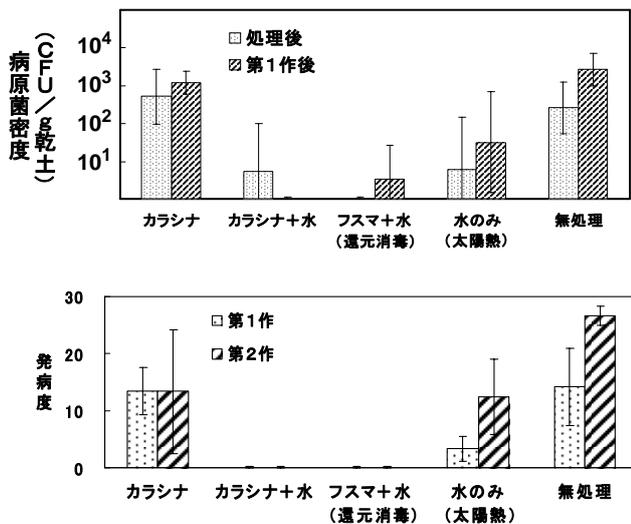


図10 各区のトマト萎凋病菌密度（上）および萎凋病発病度（下）。発病度は処理後第1作は定植91日後、第2作は定植140日後の維管束褐変指数より算出。バーは標準誤差。

この試験では消毒効果がフスマを用いた還元土壌消毒に勝るかどうかは明らかでなかったが、植物の鋤き込みによる土壌物理性の改善効果も期待できる。

本稿では、このバイオフィューミゲーションと還元土壌消毒を組み合わせた防除法を将来技術として紹介する。

2. 対象病害虫と作用機作

本手法の発病抑制効果が試験により確認されたのはトマト萎凋病であるが、バイオフィューミゲーションや還元土壌消毒の適用できる病害虫の範囲は広く、線虫やトマト褐色根腐病にも効果があることが知られている。また、アリルイソチオシアネートは、パーティシリウム菌等、

他の病原菌にも抗菌作用がある。そのため、本手法についても他の病害虫への効果が期待される。また、緑肥的效果も期待できる。

作用機作としては、カラシナに含まれるカラシ油配糖体（グルコシノレート）の一種であるシニグリンが土壌中で分解されて生じたアリルイソチオシアネートの殺菌作用とともに、還元状態の土壌中で生産される有機酸なども、土壌中の病原菌の密度低下や活性低下に寄与していると考えられる。また、カラシナの分解時に同時に生じる含硫化合物のジメチルジスルフィド等も病原菌の密度低減及び活性低下に関与している可能性がある。

3. 技術の概要

カラシナの中でも系統により抗菌性が異なり、種子の黄色いタイプ（黄からし菜）の抗菌性が強い。カラシナは開花すると茎葉中のカラシ油配糖体の含量が低下するため、乾物重が最大となる開花直前または直後に鋤き込むことが望ましい。鋤き込み処理中の地温は高い方がよく（30℃以上が望ましい）、土壌水分は高い方がよい（圃場容水量以上が望ましい）。また、揮発性の抗菌物質は無被覆では散逸する。そのため、夏場の暑い時期に鋤き込み、ポリエチレン被覆下で散水する（または散水後ポリエチレン被覆をする）。カラシナはなるべく小さく細断した方が、分解が速く、抗菌成分が一度に発生しやすい。鋤き込み量の目安は1m²当たり5~6kg程度である。

具体的手順としては、カラシナを5月上中旬に播種し、開花ごろまで栽培する。梅雨明け後、地上部を細断してロータリーなどで土壌に鋤き込み（深さ15~20cm）、圃場容水量程度まで十分に灌水する。ポリエチレンシートで被覆し、温室を密閉して2週間から3週間程度放置する。コストはカラシナ種子代（約7,000円/10a）と栽培時の肥料代のほか僅かな栽培労働費のみである。カラシナは他の圃場で栽培して持ち込んでも、その場で栽培して鋤き込んでもよい。その場で細断・鋤き込みをする場合は、ハンマーナイフモアなどがあると有用である（図11）。

なお、カラシナ鋤き込み後、短期間（鋤き込

んだ日から20日以内)でトマトを定植すると、カラシナ分解物により生育障害の出る恐れがあるため、一定期間経ってから定植する。夏季にカラシナを栽培した場合、カブラハバチや鱗翅目害虫が発生することがある。そのため、ハウス内でカラシナを栽培する場合は、サイドの防虫ネットを利用するとよい。カラシナは暑さに弱いため、梅雨明けが早い地域では播種期をやや早める。

3. 今後の技術開発の方向

鋤き込む植物は、カラシナに限らず、他のアブラナ科植物もカラシ油配糖体を含むため、検討の余地がある。今後の検討課題としては、カラシナ以外の植物も含めた、抗菌成分含有植物（およびアブラナ科作物の収穫残渣など）を土壌に鋤き込む時の土壌条件（土質、土壌 pH 等）

が殺菌効果に与える影響を更に詳細に検討すること、カラシナ等の鋤込み後に還元状態とした土壌で生じる抗菌成分を詳細に明らかにすること、カラシナ等鋤き込み後の圃場の高水分および還元状態を維持するための、土壌管理法・被覆法等の手法について明らかにすること、還元化や抗菌物質生成に関わる土壌微生物を特定することなどがある。また、被覆資材の材質（色や酸素透過性など）がどの程度重要か、土壌水分と酸化還元電位のどちらがより重要か、土壌水分が低下した場合の追加灌水はした方がよいかどうかなどについても、検討する必要がある。さらに、各病害毎の必要な鋤き込み量の確定、現地圃場での本防除法の効果の実証などが課題となる。なお、カラシ油配糖体の含量を育種により高くすることができれば、鋤き込みの効果が高まる可能性がある。

これらの課題が解決されれば、より効果の安定した汎用性の高い技術になると考えられる。

本防除法は、従来用いられてきた土壌消毒剤の代替手段として、有望であろう。

参考文献

- 1) 久保周子・片瀬 雅彦 (2007) : 植物防疫 61: 68~72.
- 2) 益永輝幸 (1999) : 今月の農業 43(3) : 166~169.
- 3) Sarwar, M. and J. A. Kirkegaard (1998) : Plant and Soil 201: 91~101.
- 4) 新村昭憲 (2000) : 農業技術体系土壌施肥編 5-① : 畑 212 の 6-212 の 9, 農山漁村文化協会.
- 5) 竹原利明ら (2007) : 日植病報 73 (1) : 63~64 (講要) .

(竹原利明 : 近畿中国四国農業研究センター)



図 1 1 ハンマーナイフモアを用いたカラシナの細断

将来技術 土着昆虫病原性線虫スタイナーネマ・リトラレーレを利用した施設野菜における土壌害虫防除

1. はじめに

スタイナーネマ・リトラレーレ (*Steinernema litorale*) (以下リトラレーレ) は昆虫病原性線虫と呼ばれる線虫類の1種で、日本に土着の種類である。本線虫類は、昆虫に対する高い殺虫活性、人工培養可能なこと、培養した線虫を低温で長期保存できることなどの生物農薬として優れた性質を持っているため、欧米では古くから探索・収集および害虫防除への利用研究がおこなわれ、害虫の生物防除資材として実用化されている。

わが国における昆虫病原性線虫類の研究は80年代中期から盛んになり、欧米で既に製剤化されていたスタイナーネマ・カーポカプサエ (*S. carpocapsae*) (以下カーポカプサエ) の国内利用に向けた研究を核に、基礎から応用まで多くの研究が進められた。90年代に入ってシバのネキリムシ類をターゲットとしてカーポカプサエを成分とする輸入製剤 (商品名 バイオセーフ) の商業的利用がゴルフ場限定で認可された。その後、本製剤はカンショ、野菜類、果樹類、ヤシ、花卉・観葉植物などへと適用が拡大されている。さらに、2000年に入ってコガネムシ類幼虫に対して強い殺虫力を持つスタイナーネマ・グラセライ (*S. glaseri*) (以下グラセライ) を成分とする輸入製剤 (商品名 バイオトピア) がシバにおけるコガネムシ類幼虫を対象として認可され、カンショ、ブルーベリーへ適用が拡大されている。一方、本線虫類土着種では、コガネムシ類幼虫に対して特異的に強い殺虫活性を示すスタイナーネマ・クシダイ (*S. kushidai*) の生物防除資材として実用化研究が進められ、生物農薬 (商品名 芝市ネマ) として1997年にシバのコガネムシ類幼虫を対象害虫として登録されたが、本種は大量培養にコストがかかるため、現在では生産されていない。このように、日本では輸入線虫製剤が様々な場面で利用されるようになってきたが、両線虫製剤とも15℃以下の低温や30℃以上の高温で効果が落ちることが多く、乾燥に弱いため、低温や高温で高い殺虫活性を示す種や、乾燥に強い種

も望まれている。

また、近年、導入天敵による環境攪乱が顕在化する例が見られるようになり、環境保全型農業において土着天敵の利用が重要になってきた。輸入線虫製剤においては、散布した線虫の自然生態系へのエスケープや標的外生物への影響などの問題は報告されていないが、日本ではカーポカプサエはきわめて稀であり、グラセライの分布は確認されていない。したがって、将来的に輸入製剤から土着種の利用にシフトしていくことが望ましい。しかしながら、害虫に対する効果や人工培養の両面において輸入製剤を上回る優れた性質を持つ土着種は見つかっていなかった。最近の中央農業総合研究センターにおける試験研究において、表記の昆虫病原性線虫リトラレーレが、野菜類のハスモンヨトウに対して認可されている輸入線虫製剤カーポカプサエと比較して、以下の様な優れた特性を示すことが明らかになった：1) チョウ目害虫に対して低温域において高い殺虫活性を示す；2) 土壌中で少なくとも約半年にわたる生存能力を持つ。本種の培養法は佐賀大学において現在研究されている。本稿では、将来の生物防除資材として、昆虫病原性線虫リトラレーレの特性と利用技術の概要を紹介する。

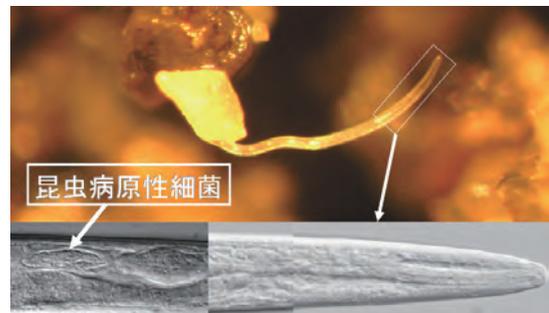


図1 土壌表面で寄主探索中の昆虫病原性線虫 (体長: 1mm 弱; 体幅: 30 μm 程度) の感染態幼虫と体前部

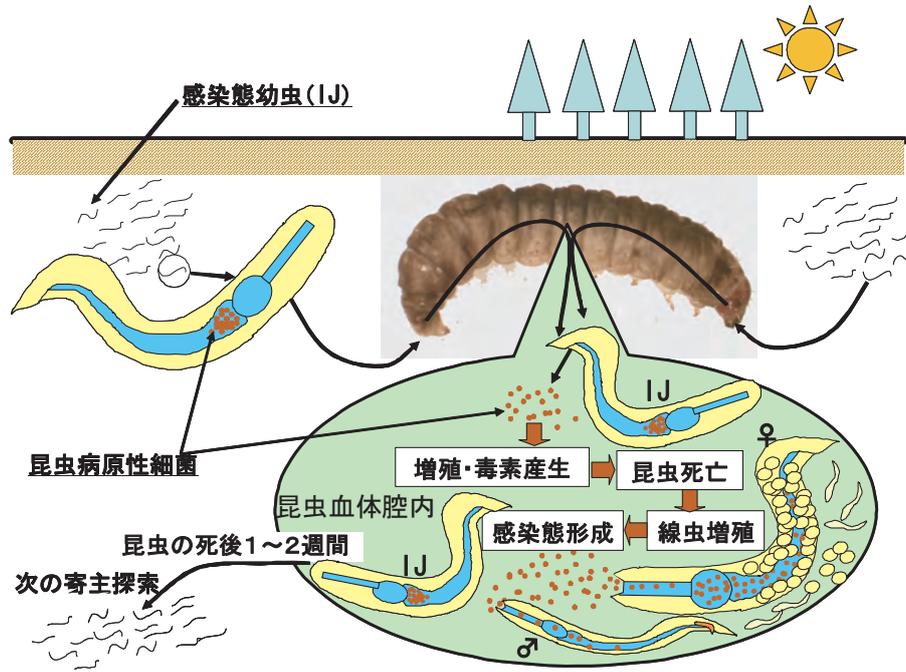


図2 昆虫病原性線虫の生活史

2. 昆虫病原性線虫とは

昆虫病原性線虫は幼虫期に感染態幼虫(図1)と呼ばれる特殊な幼虫期を持つ。この幼虫が寄主を探索し、寄主が見つかるまで生き延び、寄主体内に侵入する能力を持っている。線虫が寄主を殺す作用は、線虫が体内に保持している昆虫病原性細菌(図1)の作用によるところが大きい。線虫は寄主の口や肛門などを通して、寄主体腔内に侵入すると、体腔内に細菌を放出し、細菌が増殖する過程で産生される毒素により寄主は敗血症を起こし、通常侵入後48時間程度で死亡する。寄主死亡後、線虫は細菌と寄主体液を摂食し、成長・増殖する。通常、2~3世代寄主体内で経過した後、新たな感染態幼虫が形成される(図2)。

感染態幼虫の生存力はきわめて高く、カーポカプサエやリトラレー等スタイナーネマ属の多くの種では、冷蔵庫内で水に懸濁した状態で1年以上の保存が可能である。

3. 殺虫活性

線虫の昆虫に対する殺虫活性には温度が大きく影響する(図3)。例えば、ハスモンヨトウ老齢幼虫に対してリトラレーでは7℃から25℃できわめて高い殺虫活性を示すが、25℃を超える

と殺虫活性が著しく低下する。一方、カーポカプサエは前述したように15℃から30℃できわめて高い殺虫活性を示す。また、亜熱帯地域産のスタイナーネマ・アッバシ(*S. abbasi*) (以下アッバシ)が殺虫活性を示すのは25℃以上である。

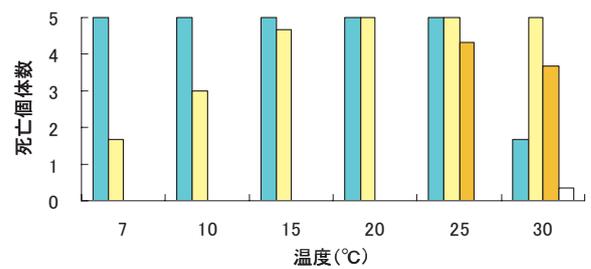


図3 昆虫病原性線虫1万頭接種時のハスモンヨトウ老齢幼虫5頭のうち死亡した個体数と温度。7℃:処理15日後の死亡個体数;10℃:10日後;15℃:5日後;20-30℃:2日後
 ■:リトラレー
 ■:カーポカプサエ
 ■:アッバシ; □:無処理

対象となる害虫の種によっても殺虫活性は大きく異なる。例えば、前述の線虫3種のうち、カーポカプサエはハスモンヨトウ老齢幼虫に対しては高い殺虫活性を示すが、カブラヤガ老齢

幼虫に対する殺虫活性は低いことが古くから知られている。これに対し、リトラールはハスモンヨトウ老齢幼虫およびカブラヤガ老齢幼虫の双方に対して高い殺虫活性を示すが、アッバシはハスモンヨトウに対する殺虫活性は低く、カブラヤガに対する殺虫活性は高い(図3, 4)。したがって、カブラヤガをターゲットに25℃以上の高温環境で防除する場合、アッバシの利用が、ハスモンヨトウをターゲットに常温から高温で防除する場合はカーポカプサエの利用が適当であろう。また、25℃以下の常温～低温域の場合、リトラールは両種に対して適用可能である。また、本種はオオタバコガ老齢幼虫に対しても、25℃で高い殺虫活性を示す。

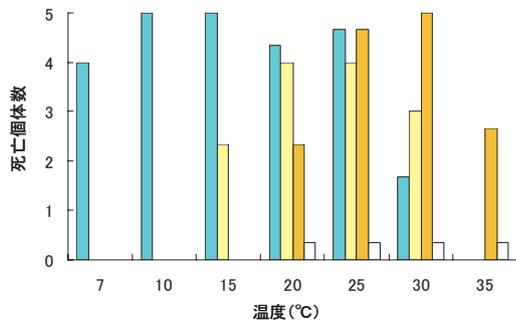


図4 昆虫病原性線虫1万頭接種時のカブラヤガ老齢幼虫5頭のうち死亡した個体数と温度。7℃；処理30日後の死亡個体数；10℃：15日後；15・20℃：10日後；25-35℃：5日後
 ■: リトラール
 ■: カーポカプサエ
 ■: アッバシ； □: 無処理

4. 土壌中の生存能力と利用技術の概要

昆虫病原性線虫は乾燥や紫外線に弱い。そのため、土壌中やその表面、マルチの下に潜むハスモンヨトウの老齢幼虫や蛹化のために地表に降りてきたオオタバコガの老齢幼虫を防除対象として、土壌に施用する方法が、本種の基本的な利用方法となろう。このように複数種の害虫に対する利用方法をとる場合、重要となる性質が土壌中における生存能力である。すなわち、前もって土壌中に散布した線虫が、両害虫種それぞれの発生時期に機能することが期待できる。トマト栽培施設環境でリトラールを散布した場合、6月に50万頭/m²散布すれば、少なくとも

もその後6ヶ月間程度の残効性は期待できる。したがって、6か月程度の残効性を目標として、以下のような利用法が期待できる。

表1 散布6ヵ月後に採取した土壌におけるハスモンヨトウ老齢幼虫の感染死亡率

散布線虫	死亡率 (%)	感染率 (%)
リトラール	100	93.3
カーポカプサエ	36.7	0
無処理	23.7	0

* 6月に1m²の区画(トマト4本栽植)に線虫50万頭散布, 12月に約1L土壌を採取し。3Lの容器に採取土壌と10頭のハスモンヨトウ幼虫を入れ24℃5日後に死亡率を調査。

1) 施用方法

- ・時期：トマト苗の定植の前後。
- ・施用場所
定植前：畝全体および施設の辺縁部に散布。
定植後：株元および施設の辺縁部に散布。
- ・施用濃度：50万頭/m²
- ・散布方法：水で懸濁し、ジョウロや灌水装置等で散布。

2) 防除対象：チョウ目老齢幼虫(図5)



図5 トマト試験ハウス内リトラール散布区の土壌表面で死亡したハスモンヨトウ老齢幼虫

- 3) 期待される効果：春期および秋期の予防効果, 栽培終了後の施設内の越冬幼虫の駆除および外部からの侵入して来る老齢幼虫の防除による, 次世代密度の低減。一度の散布で予防効果が得られれば, 労働力の削減にもつながる。

4) 留意点

- ・施設内では日中は高温になることが多いので, 夕方または曇天時に適度に散水した後, 散布する。また, 散布後, 再度散水すること

が望ましい。

- ・本種の病原性は25℃以上になると低下する。したがって、平均土壌温度が25℃を超える高温になるような施設では、本種の効果はあまり期待できない。
- ・線虫は水中ではすぐに沈んでしまうので、線虫懸濁液を常に混ぜながら、散布する。
- ・灌水装置使用の場合、フィルターをはずして行う。

前述したようにリトラレの人工培養法は開発途上にあるので、本種の導入にかかるコストは未定であるが、そのコストが現在販売されている線虫製剤バイオセーフより低いコストにならないければ、本種の普及は困難であろう。バイオセーフを施設トマトに導入した事例はないが、福島県農業総合センター果樹研究所の試験（平成18年）における使用例を参考にすると、製剤10g（2,500万頭）が2,500円であった。ここで示した利用法のように50万頭/m²で線虫を散布した場合、10アールあたり5万円の導入コストがかかることになる。本線虫導入当初におけるチョウ目害虫の若齢幼虫に対する慣行防除を省略することはできないが、ハスモンヨトウが周年発生するような地域では、成虫の新たな飛来を防ぐ処置を施設に施せば、次世代以降の発生量を抑えることができ、相対的に慣行防除にかかる費用を削減できる。

5. 実用化に向けて

ここで示した利用法は、害虫の行動に依存したきわめて消極的な利用法といえる。本種の実用化に向けては、以下のようなコスト低減のための研究、リトラレの効果を高温期に補完するための研究とともに、その利用場面を広げるための研究が必要とされる。

- ・適正施用濃度の検討：ここで示した50万頭/m²の散布は既存の線虫製剤の標準施用濃度と比較してきわめて高濃度である。したがって、導入コストを抑えるためにも、施用濃度を検討する必要がある。
- ・リトラレの効果を高温期に補完するための研究：予備試験ではあるが、25℃以上で効果を発揮するアッパシもリトラレと同等と考えら

れる生存能力を持つことがわかっている。そこで、リトラレの効果を高温期に補完するために、両種の混合施用法の検討を行う。

- ・利用場面拡大のための研究：ハスモンヨトウ若・中齢幼虫への施用法の検討、欧米ではすでに実用化されているアザミウマ類防除への利用可能性の検討等。
- ・安価な大量培養法の開発。
- ・他の作目への応用。

参考文献

- 1) 福島県農業総合センター果樹研究所 実用化新技術情報
<http://www.pref.fukushima.jp/keieishien/kenkyuukaihatu/seika/20fs-dat/20f-seika/20f-kazyu.pdf>
- 2) Gaugler, R. (ed.) (2002): Entomopathogenic Nematology. Wallingford. CABI Publishing 388pp.
- 3) 石橋信義 (1987): 昆虫寄生性線虫による生物的防除手法の開発. 文部省試験研究(1) 研究成果報告書 No. 59860005, 179pp.
- 4) 石橋信義 (1990): 有用線虫による病害虫総合防除法の開発. 文部省試験研究(1) 研究成果報告書 No. 62860006, 159pp.
- 5) 石橋信義 (編) (2003): 線虫の生物学. 東京. 東京大学出版 290 pp.
- 6) 鈴井孝仁ら (編) (2000): 微生物の資材化: 研究の最前線. 東京. ソフトサイエンス社, 364pp.
- 7) Yoshida, M. (2004): Nematology 6: 819~838.
- 8) ——— (2007): Jpn. J. Nematol., 37: 51~61.
- 9) ——— et al. (1998): Fundam. Appl. Nematol., 21: 185~198.

(吉田睦浩：中央農業総合研究センター)

施設イチゴのIPM最新技術

1. 施設イチゴにおけるIPMの意義

イチゴはわが国における重要野菜で、主として冬から春にかけて九州から関東・東北にわたる多数の産地で生産されており、栽培面積6,790ha(2006年,農水省統計情報部)のほとんどはビニルハウスなどを用いた施設栽培である。イチゴに発生する病害虫の種類は多く、ウイルス病2種,ファイトプラズマ病1種,細菌病7種,糸状菌病30種,線虫類12種,ダニ類12種,昆虫類62種(日本植物病名目録:農林有害動物・昆虫名鑑)にのぼる。重要な病害としては、育苗期から本圃初期に発生する炭疽病,主に本圃で発生するうどんこ病がある。また,重要害虫としては,ナミハダニ,カンザワハダニなどハダニ類,ワタアブラムシ,ミカンキイロアザミウマなどのアザミウマ類がある。これらの病害虫は一旦発生すると防除が難しく,生産安定の大きな阻害要因になっており,その防除のために化学合成農薬が多用されている。その結果,薬剤耐性菌や薬剤抵抗性の問題が生じ,とりわけ,うどんこ病,ハダニ類,アザミウマ類では有効薬剤が少ないため,薬剤のみに依存した防除が難しく,生産者がその防除に苦慮している現状にある。また,イチゴは子供や女性に人気が高い果物であり,生果を直接口にすることから,消費者の「安全・安心」に対する関心は極めて高い。そのため,農薬に対する依存度を減らし,天敵類や天敵微生物などの生物農薬あるいは物理的資材などを組み合わせた総合的病害虫管理(IPM)技術の開発が強く望まれている。

こうした状況の中で,イチゴのハダニ類に対するチリカブリダニやうどんこ病に対するバチルス・ズブリチス菌については,その利用技術の開発が国公立の試験研究機関を中心に進められ,チリカブリダニのスケジュール放飼などの利用技術が確立され,その普及が福岡県などで進められつつある。しかし,チリカブリダニについても放飼タイミングによって定着や効果に振れがあるなど,普及の拡大のためにはさらに

安定した体系の確立が望まれている。

このような背景を踏まえ,ハダニ類,ワタアブラムシ,うどんこ病などのイチゴの主要病害虫を対象とし,天敵類や微生物天敵の持つ有用な生物機能を解明するとともに,これらを効率的に利用した防除技術を開発し,安全・安心で環境負荷の少ないIPM体系を確立する。

以下,既登録の生物資材を利用したハダニ類,アブラムシ類,うどんこ病のIPM体系化技術を述べるとともに暖地及び寒冷地における具体的なIPM体系の事例を示した。また,オンシツコナジラミとアザミウマ類に対する生物資材の利用については,資材が未登録あるいは現地での実証に至らなかったが,将来利用が期待される技術として記述した。

2. IPMに組み込む体系化技術

1) カブリダニを利用したハダニ類のIPM体系

(1) チリカブリダニの生物特性

チリカブリダニは地中海沿岸や南米チリが原産地のカブリダニ科に属する捕食性ダニである。

雌成虫は体長約0.5mm,雄成虫は約0.4mmで,体色は赤～オレンジ色である。卵は楕円体形(最長径は約0.1mm)で半透明で内部が赤みを帯びる。幼虫は脚が3対で,第1若虫から脚が4対になる。第2若虫を経て成虫になる。

本種はナミハダニやカンザワハダニなどの*Tetranychus*属ハダニ類を好んで捕食する。雌成虫はハダニ類のすべてのステージを捕食し,1日当たりの捕食量はハダニ類の雌成虫の場合は5～6頭,卵や幼虫の場合は20頭程度である。幼虫は卵期の栄養のみで経過することが多い。第1若虫になると主にハダニ類の卵や幼虫を捕食する。1日あたりの捕食量は卵で5個,幼虫で5頭程度である。チャノホコリダニや花粉などは餌とならない。

発育日数は25℃では雌で6日前後で,雄は雌よりやや短い。発育速度はハダニ類(ナミハダニやカンザワハダニ)より速い。成虫の寿命は25℃では2～3週間程度で,1日に4,5卵を産

卵する。1雌あたりの生涯産卵数は50~60卵である。雌は交尾しないと産卵できない。捕食量, 産卵数, 発育速度などの活動に好適な温湿度は, 15~30℃, 50~90%RHである。

(2) ミヤコカブリダニの生物特性

ミヤコカブリダニは欧州, アルジェリア, 南北アメリカの他, 日本にも分布するカブリダニ科の捕食性ダニである。

雌成虫は体長約0.4mm, 雄成虫は約0.35mmで, 体色は乳白色であるが, ハダニ類を捕食すると胴体部が淡赤色~オレンジ色を呈する。卵は楕球形(約0.1mm)で半透明白色である。幼虫は脚が3対で, 第1若虫から脚が4対になる。第2若虫を経て成虫になる。

本種はナミハダニやカンザワハダニなどの *Tetranychus* 属ハダニ類を好んで捕食する。雌成虫はハダニ類のすべてのステージを捕食し, 1日当たりの捕食量はハダニ類の雌成虫の場合は1~2頭, 卵や幼虫の場合は15頭程度, 第2若虫の場合は約9頭で, チリカブリダニに比べると捕食能力はやや劣る。

本種は *Tetranychus* 属のハダニ類の他に, *Panonychus* 属のリンゴハダニ, チャノホコリダニ, ニセサビダニ, ミカンキイロアザミウマ幼虫なども捕食する。また, イチゴやナスなどの花粉も餌となり, 発育・産卵できる。

発育日数は25℃では雌で約5日で, 雄は雌よりやや短い。発育速度はチリカブリダニと同様にハダニ類より速い。成虫の寿命は25℃では2週間程度で, 1日に3, 4卵を産卵する。1雌あたりの生涯産卵数は約50卵である。雌は交尾しないと産卵をしない。活動に好適な温度は15~30℃で, チリカブリダニよりも乾燥に強い。

(3) 2種カブリダニの長所と短所

a) ミヤコカブリダニはチリカブリダニに比べるとハダニ類を抑制する速度がやや遅いが, ハダニ類を抑圧するまでの日数に大きな違いは見られない(図1)。

b) ミヤコカブリダニはチリカブリダニに比較すると高温条件での発育率や捕食能力が高く, 高温期に適するとされる。しかし, ミヤコカブ

リダニは冬期のイチゴ栽培条件下(最低気温8~10℃, 平均気温14.4℃)においても, ハダニ類に対する高い抑制効果を示す(図2)。ただし, 低温条件ではハダニ類を抑圧するまでに約2か月を要する。そのため, 放飼はハダニ類発生前または低密度時から予防的に行う必要がある。

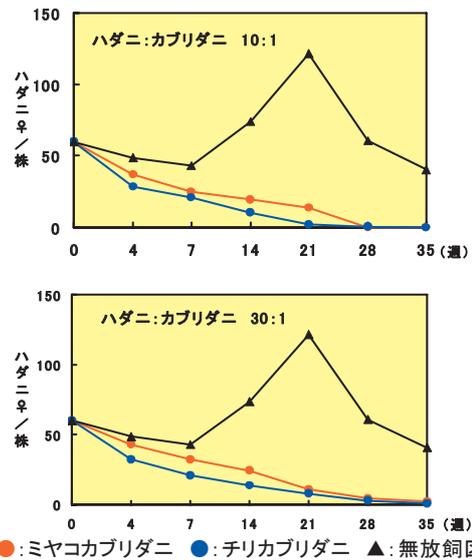


図1 イチゴのカンザワハダニに対するミヤコカブリダニとチリカブリダニの抑制効果(平均気温:18.8℃ 最低気温:13.9℃)

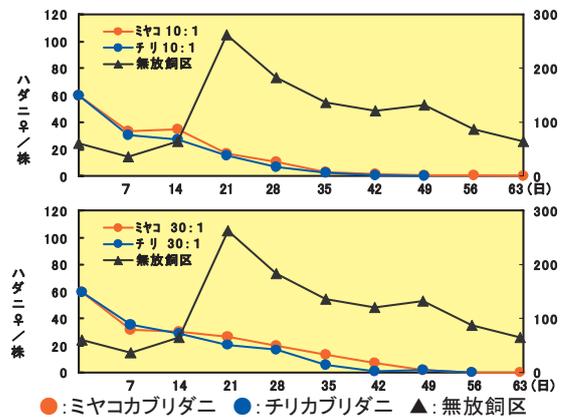


図2 イチゴのカンザワハダニに対するミヤコカブリダニの放飼効果(2003/12/5~2004/2/6 平均気温:14.4℃ 最低気温:10.9℃)

c) チリカブリダニとミヤコカブリダニを同時に混合放飼した場合のイチゴのナミハダニに対する抑制効果は, ミヤコカブリダニまたはチリカブリダニをそれぞれ単独で放飼した場合と同等で, 2種の種間の競合は認められない。

d) ミヤコカブリダニは水のみを与えた条件でチリカブリダニより生存日数が長く, 飢餓耐性が強い。また, ハダニ類以外に花粉やアザミ

ウマ幼虫も餌となり、広食性であることから、ハダニ類の密度が低い時の作物上での定着性がチリカブリダニに比べて高い。そのため、ミヤコカブリダニはハダニ類発生前の予防的な放飼に適する。

(4) カブリダニ類を利用したハダニ類の IPM 体系

イチゴは定植時期や栽培終了の時期が地域によって異なるが、概ね促成栽培に準じる作型で栽培される。また、栽培条件は育苗期、定植後の露地栽培の時期、ビニル被覆後の施設栽培条件に分けられる。そのため、イチゴ害虫の IPM は育苗期、露地栽培の時期、施設栽培の時期に分けて組み立てる。(注：東北以北では、ビニル被覆条件で定植される。以下、東北以北の場合は、ビニル被覆期を開花始期に読み替える。)

a) 育苗期の防除

育苗期には、ハダニ類をはじめ、ハスモンヨトウやアブラムシ類などに対して薬剤防除を徹底し、害虫の寄生していない苗を確保する。

b) 定植～露地栽培期の防除

露地条件下においてもハダニ類やハスモンヨトウなどに対して薬剤防除を徹底し、ビニル被覆後にハウス内に害虫を持ち込まないようにする。ただし、合成ピレスロイド剤など天敵類への悪影響が長期に及ぶ薬剤は、使用を避ける。

ワタアブラムシに対しては定植時にネオニコチノイド系粒剤の処理を行う。

c) ビニル被覆期以降の防除

ビニル被覆後は、ハダニ類を初めとして害虫の発生がないことが天敵類や微生物資材を利用

した IPM を実施する上での前提条件となる。すなわち、この時期を起点としてカブリダニを用いた IPM 体系がスタートする。体系の概要は以下のとおりである (表 1)。

ハダニ類は微小であり、低密度の条件ではその発見が容易ではない。そのため、ハダニ類の発生が認められない場合でも、ビニル被覆後、1～2 週間 (10 月中下旬) に薬剤 (殺ダニ剤：ミルベメクテン水和剤など) を散布し、発生源をほぼ完全に断つ。その後 2 週間から 1 か月以内 (11 月上中旬) にハダニ類の発生がないことを確認し、ミヤコカブリダニを放飼する。

ミヤコカブリダニ放飼後はハダニ類の発生に留意し、発生が認められる場合は、カブリダニに影響の少ない殺ダニ剤 (ビフェナゼートフロアブルや気門封鎖剤など) で補完防除を行う。

1 月中旬～2 月上旬と 3 月上中旬の 2 回、チリカブリダニを放飼する。

(5) IPM 体系の有効性

a) ビニル被覆後に殺ダニ剤を予防的に散布し、その後にミヤコカブリダニをスケジュールで放飼する。また、年明けからチリカブリダニをスケジュールで追加放飼する体系によって栽培終了時まで安定した高い効果が得られる。

b) この体系は、カブリダニの放飼適期を把握するためのハダニ類のモニタリングが不要であり、分かりやすく省力的である。また、イチゴの開花始期から栽培終了時までの殺ダニ剤の散布を最小限にとどめることができ、散布労力の削減につながる。さらに、開花時の薬剤散布による奇形果の発生も防止できる。

表1 促成栽培イチゴにおけるミヤコカブリダニとチリカブリダニを利用したハダニ類のIPM体系

	6～8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月
	育苗期	定植	ビニル被覆・マルチ	← 加温(8-10℃) →						
	← 露地条件 →			← 被覆条件 →						
薬剤散布	↓	↓	↓	↓						↓
カブリダニの放飼			ミヤコカブリダニ	↓	チリカブリダニ	↓	↓	チリカブリダニ		

↓ : 殺ダニ剤による防除

↓ : ビニル被覆直後の殺ダニ剤のスケジュール散布

↓ : ビニル被覆後にハダニ類の発生を認めた場合は、効果が高く、カブリダニに影響のない殺ダニ剤を散布

↓ : ハダニ類発生前のスケジュール放飼 ↓ : ハダニ類の発生に応じた放飼

c) ミヤコカブリダニのみを用いる体系でも効果は高いが、3～4月のハダニ類増殖期には、効果の発現が遅れる場合がある。春期には抑制能力の高いチリカブリダニの利用が効果的である。

d) 秋期にチリカブリダニを放飼する体系でも効果は高い。しかし、チリカブリダニは *Tetranychus* 属のハダニ類のみを餌とするため、ハダニ類の発生がない場合や低密度時に放飼すると定着が悪く、年明け以降の防除効果が不安定となる。また、ハダニ類を抑圧した後は餌不足のため密度を長期間維持できず、追加放飼の回数を増やす必要がある。

e) 秋期～冬期に放飼したミヤコカブリダニやチリカブリダニは、ハダニ類が低く抑えられている場合には、その確認が難しい。しかし、3～4月にハダニ類の発生が見られた場合には、両種ともにイチゴ株上で確認できる。

(6) チリカブリダニ製剤とミヤコカブリダニ製剤の利用法

a) 製剤の種類と基本的な注意点

(i) チリカブリダニの製剤として4種類、ミヤコカブリダニの製剤として1種類が市販されている(表2)。カブリダニはキャリアのパーミキュライトや鋸屑とともにプラスチックボトルに封入されている。

表2 チリカブリダニとミヤコカブリダニの製剤

製剤の種類	商品名	カブリダニの含有量
チリカブリダニ剤	スパイデックス	2,000頭/100mlボトル
	カブリダニPP	2,000頭/500mlボトル
	チリトップ	2,000頭/500mlボトル
	石原チリガブリ	2,000頭/30mlボトル
ミヤコカブリダニ剤	スパイカルEX	5,000頭/250mlボトル

(ii) カブリダニはボトル内で偏在していることが多い(ボトルの上部に集まりやすい)。そのため、放飼前にボトルを10分程度横にしておく。その後、ボトルを軽く前後に振ったり、回転させたりして(10回程度)、カブリダニがボトル内で均一になるように攪拌した後、放飼を行う。

(iii) チリカブリダニ剤、ミヤコカブリダニ剤ともに生物であるので、製剤が到着したら、ただちに使用する。また、ボトルを直射日光の当

たる場所には短時間であっても置かない。

(iv) 放飼前には、カブリダニに影響の強い薬剤の散布を避ける。また、ボトル内のカブリダニは作物上で餌を十分に食べているものに比べて弱っているため、放飼後1週間程度は、散布を控える。ハダニ以外の病害虫防除のためにやむを得ず薬剤散布が必要な場合には、2種に影響のない選択的薬剤を使用する。

b) 具体的な放飼方法

(i) ハダニの発生が確認されない場合の放飼方法(均一放飼)

放飼量は10アール当たり5,000～6,000頭を標準とする。

500mlボトルの場合は、1ボトル当たりの畝数の目安を決め、畝間を歩きながら、1m間隔で葉の上に“バラバラ”と振り落とす。

30, 100, 250mlボトルの場合は、1ボトル当たりの畝数の目安を決め、畝間を歩きながらボトルを持った腕を左右(交互)に大きく振りながら1m間隔(5,6株ごと)で葉上に振りかける。この振り方で約200～300回振るとボトル内のカブリダニはほとんど振り落とされる。

カブリダニは空ボトルの内壁に約1割程度が残っているため、空ボトルと蓋(内蓋は取り除く)をイチゴの株元に横にして放置する。

(ii) ハダニの発生が確認される場合の放飼方法(スポット放飼+均一放飼)

放飼量と放飼方法は(i)に準じる。ビニル被覆後の放飼(10～11月)でハダニが確認された場合は、ビフェナゼートフロアブルなどカブリダニに影響のない殺ダニ剤を散布した後、カブリダニを放飼する。殺ダニ剤の散布が困難な場合には、ハダニの発生している場所にスポット放飼し、残りを圃場全体に均一に放飼する。スポット放飼は、ハダニ10～30頭に対してカブリダニ1頭程度を目安とする。12月～3月にハダニの再発が見られ、チリカブリダニを放飼する場合にはスポット放飼+全面均一放飼を行う。

(柏尾具俊：九州沖縄農業研究センター、嶽本弘之・柳田裕紹：福岡県農業総合試験場、宮田将秀・増田俊雄：宮城県農業・園芸総合研究所)

2) コレマンアブラバチを利用したアブラムシ類の IPM 体系

(1) コレマンアブラバチの生物特性

コレマンアブラバチはユーラシア南部、アフリカ、オーストラリアの他、アメリカ大陸を原産地とするコマユバチ科に属する寄生蜂である。

本種の特徴として、成虫の体色は雌雄とも褐色で、大きさは約 2mm 程度である。発生適温は 15℃～25℃、活動可能温度は 5℃～30℃で、短日条件下においても生殖的休眠に入らない。雌成虫はワタアブラムシとモモアカアブラムシを含む 40 種以上のアブラムシに内部寄生するが、ヒゲナガアブラムシ類には寄生できない。寿命は 20℃～25℃で 5 日程度であり、300 から 400 個の卵を産卵する。アブラムシ 1 個体当たり、卵を 1 個産みつけ、孵化した幼虫はアブラムシの栄養分で成長し、外皮内部に繭を形成し蛹化する。この時、アブラムシの外皮は硬化し黄金色を呈したマミーとなる。その後、マミーに丸い穴を開け成虫が羽化する。卵から成虫までの発育日数については 15℃で 20 日程度、25℃で 10 日程度である。

(2) コレマンアブラバチの有効な放飼方法

a) 寒冷地における利用方法

コレマンアブラバチの活動可能温度の下限值については 5℃程度であるため、低温時期の防除効果は得られにくい。また、アブラムシ類の発生は春期以降が多いため、防除体系については下記の通りを行う。

(i) 定植時から厳寒期 (2 月) まで

定植時にイミダクロプリド粒剤の植穴土壌混和またはチアメトキサム粒剤の植穴処理を行う。粒剤の効果は処理後 1 ヶ月程度であるが、11 月以降は気温が低下する時期であるため、アブラムシ類の発生は 2 月頃まで抑制される。

(ii) 春期 (3 月) 以降

アブラムシの発生が認められた場合は、発生初期にコレマンアブラバチを約 1 週間間隔で 2～3 回程度、1 回当たりの放飼量については、10a 当たり 1,000 頭放飼する。コレマンアブラバチ製剤を小さな容器に小分けし、水が溜まらない

ように容器の口を横向きにしてアブラムシが発生している株周辺に静置する。

(iii) 防除効果の判定

放飼から 20 日程度で、マミーが形成され、アブラムシの増加が緩慢となれば、防除効果が現れていると判定できる。ただし、低温期に放飼した場合、マミー形成に至るまでの期間が長い場合、この場合は、圃場のモニタリングを定期的に行い、アブラムシ類の増減を確認する必要がある。

(iv) 注意点

ヒゲナガアブラムシ類の発生が確認された場合は、ピメトロジン水和剤またはフロニカミド顆粒水和剤を散布する。なお、アブラムシの発生が多い場合については、放飼前に気門封鎖剤 (還元澱粉糖化液剤やオレイン酸ナトリウム液剤など) を散布しておく。

以上の手法に基づいた防除を行うことで、ワタアブラムシに対して十分な防除効果を得ることができる (図 1)。

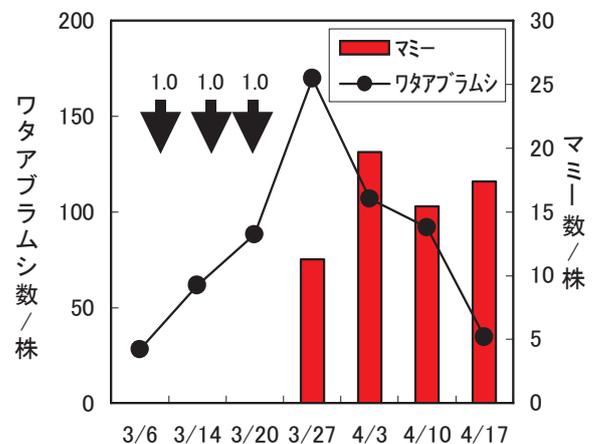


図1 コレマンアブラバチ放飼によるワタアブラムシ類防除効果
数値は1m²当たりのコレマンアブラバチ放飼頭数

b) 暖地における利用方法

暖地については、寒冷地と比べて 5℃以下の低温期間が短く、年内からのアブラムシ類発生が多い。従って、暖地においては、栽培期間を通したコレマンアブラバチの効果を得られるため、効率的な防除法として「バンカープラントを利用した防除法 (以下、バンカー法)」が導入されている。

(i) バンカー法について

バンカー法は、圃場内で作物を加害しない天敵の代替餌を維持させるバンカープラントを導入し、本圃の作物を加害する害虫が発生した場合、迅速に対応できるように、常に天敵の密度を維持させておく手法である。

イチゴ栽培においては、代替餌にムギクビレアブラムシ、バンカープラントとして主にムギを使用する。ビニル被覆後にコレマンアブラバチをバンカープラントへ放飼し定着させる。アブラムシ類が発生した場合、バンカープラントに定着したコレマンアブラバチが迅速に対応し、被害を未然に防ぐことができるため、従来の放飼方法に比べて、害虫密度を調査する必要がなく、バンカープラント上で天敵の定着状況を容易に確認することができる（図2）。

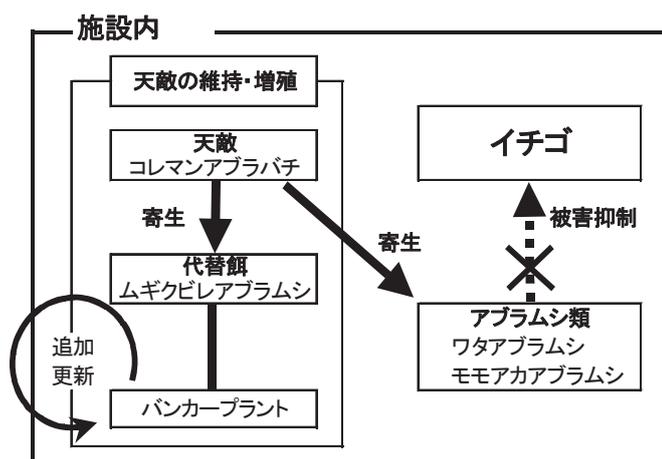


図2 イチゴにおけるバンカー法の模式図

(ii) バンカー法導入のスケジュール

バンカー法を導入する場合、ムギクビレアブラムシやバンカープラント等を含め、これらを維持させるための資材を用意する必要がある（表1）。

導入に関する具体的スケジュールは下記の通りである。

(ア) バンカープラント準備

10月中旬までにプランター1個につきムギの種子を5g程度播種する。なお、使用する種子については、BPMC粉剤が種子粉衣されていないものを用いる。

(イ) ムギクビレアブラムシの接種

表1 バンカー法で用いる資材(10a当たり)

資材名	用途目的	規格・必要量等
プランター	バンカープラント維持	5個(初期導入分) 5個(追加導入分)
麦類種子		50g程度
ムギクビレアブラムシ		アフィバンク1個 (市販)
防虫ネット	ムギクビレアブラムシ維持	0.6mm目合い以下 プランターの大きさ程度
ビニル	農薬散布時のバンカープラントへの農薬飛散防止	プランターの大きさ程度

播種後10日～14日後、ムギの草丈が15cm程度に生育した時に、ムギクビレアブラムシを接種する。接種後はアブラムシ類の土着天敵によってムギクビレアブラムシの個体数が減少しないように、0.6mm目合い以下の防虫ネットでプランターを被覆しておく。

上記の(ア)と(イ)の作業をビニル被覆前までに終了させておく。

(ウ) コレマンアブラバチ放飼

ハウスのビニル被覆以降にコレマンアブラバチを放飼する。放飼量については、500頭/10aとする。コレマンアブラバチ製剤を小さな容器に小分けし、プランター毎に静置する。放飼から20日後にバンカープラント上でマミーが確認できる。

(エ) バンカープラントの更新

プランターに播種したムギは2か月を経過すると、老化し、硬くなるため、ムギクビレアブラムシの増殖が緩慢になり、コレマンアブラバチの定着が悪くなる。従って、バンカープラントについては、12月下旬から1月中旬にかけて新たに追加導入し更新する。

(オ) ムギクビレアブラムシの維持

ムギクビレアブラムシの個体数が減少した場合、追加接種できるように本圃とは別に管理しておく必要がある。維持管理については防虫ネットで被覆すると同時に、極端な低温とならないよう注意する。

上記の(ウ)～(オ)の作業を行い、バンカープラント上でムギクビレアブラムシとマミーが混在している状態を常に保つ。

(iii) バンカー法と組み合わせた防除体系

定植時期からビニル被覆前まで

定植時にニテンピラム粒剤の植穴処理土壌混和、またはマルチ被覆前にアセタミプリド粒剤の株元散布を行う。粒剤処理により1ヶ月程度アブラムシ類の発生を十分に抑制することができる。

ビニル被覆後から厳寒期まで

11月上旬からバンカー法を実施する。コレマンアブラバチ放飼前にアブラムシ類の発生が認められる場合は、ピメトロジン水和剤を散布しておく。

春期以降

この時期にはヒゲナガアブラムシ類が発生することがある。発生を認めた場合は、ピメトロジン水和剤またはフロニカミド顆粒水和剤を散布する。また、春期には、しばしば2次寄生蜂の発生が見受けられる。この場合、バンカー法による効果が低下し、アブラムシ類の密度を抑制できなくなるため、薬剤防除を行う。薬剤防除を行う際には、バンカープラントをビニル被覆し、薬剤の飛散を防ぐ必要がある。

防除効果の判定

アブラムシ類の発生が確認されない場合や、アブラムシ類が発生した場合でも、株の周辺にマミーが形成され、アブラムシの増加が緩慢となれば防除効果が現れていると判定できる。

上記の方法に基づいた防除を行うことで、栽培期間を通してアブラムシ類による果実の被害は見受けられず、高い防除効果を得ることができる(図3)。

(3) コレマンアブラバチ利用の注意点

アブラムシ類以外の主要害虫(ハダニ類やアザミウマ類など)が発生した場合は、表2に示した天敵に影響の無い薬剤で防除する。

表2 コレマンアブラバチに影響の無い主な選択薬剤

対象害虫名称	薬剤
ハダニ類	ビフェナゼート水和剤
	酸化フェンブタズ水和剤
	ヘキシチアゾクス水和剤
アブラムシ類	フロニカミド顆粒水和剤 ピメトロジン水和剤
アザミウマ類	ルフェヌロン乳剤 フルフェノクスロン乳剤
チョウ目害虫	インドキサカルブMP水和剤
	ルフェヌロン乳剤
	フルフェノクスロン乳剤
	ピリダリル水和剤

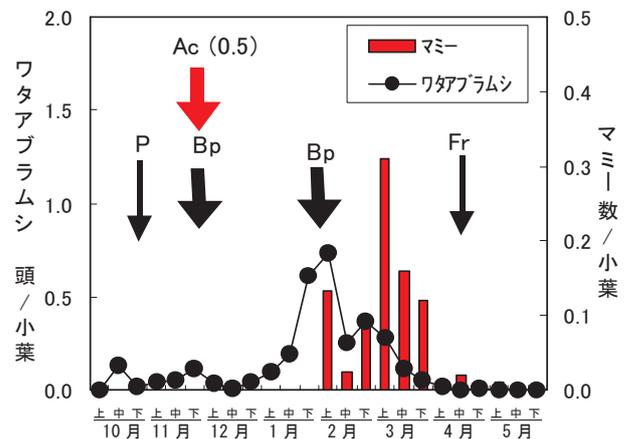


図3 バンカー法によるワタアブラムシの防除効果

Ac:コレマンアブラバチ(数値は1m²当たりの放飼頭数)
Bp:バンカープラント設置
P:ピメトロジンWP
Fr:フロニカミドWP

(柳田裕紹・嶽本弘之・浦広幸・森田茂樹:福岡県農業総合試験場, 宮田将秀・増田俊雄:宮城県農業・園芸総合研究所, 柏尾具俊:九州沖縄農業研究センター)

3) バチルス・ズブチリス剤のダクト内投入散布等の生物資材を活用したうどんこ病 IPM 体系

(1) バチルス・ズブチリス剤の特性・作用機作・注意点

バチルス・ズブチリス（以下バチルスと略）水和剤は納豆菌と同種の芽胞性細菌である枯草菌を製剤化したものである。芽胞の形態で製剤化されており、温度や化学物質に対して安定であるため、室温での流通が可能となっている。新 JAS 法の有機農産物生産に使用でき、使用回数に制限が無い。散布により作物上に定着し、生態学的な競合作用により病原菌を排除すると考えられている。このため、発病前に予防的に散布する事が必要である。枯草菌は芽胞から発芽して活動を再開するためにはある程度の温度が必要なため、散布の際の気温は 10°C 以上が推奨されている。また、菌そのものには移動性が無いため、作物に十分に高い密度でまんべんなく付着させるように散布する事が望ましい。他剤と混用する事も可能である。現在、数種類が市販されているが、ボトキラー水和剤のみは水を使わない「ダクト内投入散布」が可能であり、イチゴのうどんこ病を対象とする場合は毎日 10a あたり 15g を投入する事とされている。この方法ではハウス内全体に水和剤は粉末のまま散布・付着する。ダクト内投入による防除法は冬期暖房中のイチゴ栽培ハウスの防除法としては最も省力的な方法の一つである。

図 1 に農家における暖房機のダクトの配置とバチルス菌の飛散分布を示した。施設内で 2~3 倍の付着量の差が認められたので、ハウス内に

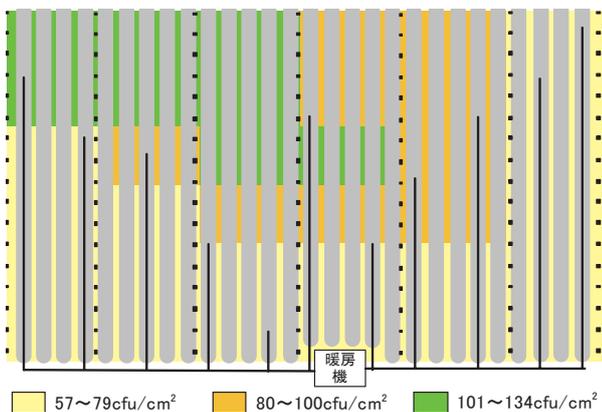


図 1 ダクト内投入後のバチルス菌のハウス内飛散分布

均一に付着させるためにはダクトの途中で吐出口を部分的に設置する必要がある。ダクト内投入した場合には、120 分以上の連続送風が望ましいと言われているが、実際には送風開始後最初の 20 分程度で 7~8 割のバチルス菌が作物上に付着し、1 時間以上送風しても付着量は変わらない (図 2)。裏面には付着しにくい、実際のバチルス菌量は若干劣る程度である。

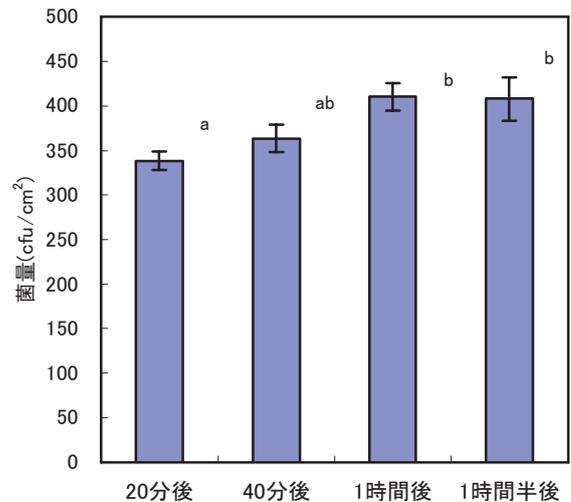


図 2 送風開始後のシャーレ上のバチルス菌付着菌量の経時変化

注) 異なる文字間には Tukey の多重検定 (5%) で有意な差が認められる

実際の冬場の施設イチゴにおいては、相当回数、相当時間の暖房機稼働があるので、使用にあたっては送風時間をさほど気にする必要はない。しかし、ボトキラー水和剤は吸湿性が高い水和剤で、親ダクトに投入後はなるべく早く送風することが望ましい。時間が経過するにつれボトキラー水和剤がダマになってしまい、飛散性が著しく低下する。したがって、最初だけは強制送風、あるいは送風中の処理が望ましい。

イチゴ葉面へ水和剤の付着密度を変化させたところ、うどんこ病菌を接種した際の実験では、 1cm^2 あたり 10^5cfu 以上の枯草菌密度では高い抑制効果を示すが、 10^4cfu 程度では効果が不安定であり、さらに低い密度では効果がわずかとなる。ダクト内投入を続ける事により、投入開始から 1 週間後には葉面枯草菌密度が $10^4\text{cfu}/\text{cm}^2$ に達し、10 日後には $4 \times 10^4\text{cfu}/\text{cm}^2$ に達した (図 3)。このように葉面の枯草菌密度はうどんこ病防除に必要なぎりぎりの密度と考えられ、

圃場でのうどんこ病菌が接種試験のような高い病原菌密度になるような発病条件では抑制効果が不安定になる。一方、うどんこ病の発病がほとんど無いような条件であれば、バチルス菌の抑制効果が発揮されることにより、特に春期の発病を遅延させる効果が期待できる。

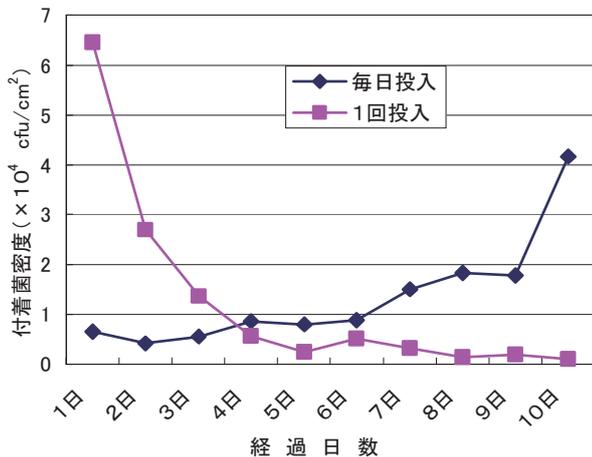


図3 ダクト内投入によるバチルス菌の付着菌密度の変化
1回投入は 105g/10a 相当量を1回のみ
毎日投入は 15g/10a 相当量を毎日投入

(2) タラロマイセス・フラバス剤の特性・作用機作・注意点

タラロマイセス・フラバス（以下タラロマイセスと略）製剤はイチゴ炭疽病菌の随伴菌として分離された糸状菌の子嚢殻を製剤化したものである。本菌は自然界に広く分布し、全国の土壌からも分離されている。水和剤として製剤化されたものがタフパール(胞子数 5×10^8 cfu/ml)として市販されており、常温での流通がなされている。新JAS法の有機農産物生産に使用でき、使用回数に制限が無い。本剤の作用は、作物へ散布後、胞子が発芽し、病原菌へ寄生し、これを死滅させることにある。胞子の発芽・定着には高い湿度が必要なので日没前の散布により作物への定着が促される。保護・予防的に作用するので病害発生前の散布により作物に定着させておく事が望ましい。育苗期にはうどんこ病・炭疽病の同時防除が可能である。他剤との混用については、病原菌と同じ糸状菌であるため殺菌剤の多くとは混用はできない。

(3) 補完的資材の特性・作用機作・注意点

a) 硫黄粉剤

硫黄は硫化水素の発生により病原菌の電子伝

達系を遮断すると考えられており、微粒子にするほど効果が高まる。硫黄粉剤は硫黄を鉱物とともに $45\mu\text{m}$ 以下の微粉末に粉碎した製剤で、新JAS法の有機農産物生産に使用でき、使用回数に制限が無い。使用には散粉器などを用いて10aあたり3kgを投入する事とされている。この量はボトキラー水和剤の200倍であり、散布された作物表面は粉剤に白く覆われることになる。そのため果実着果以降は利用がためられる場合が多い。また、規定量の散布では品種により葉面に薬害が発生する場合がある。うどんこ病菌の接種に対して薬剤の散布量と時期を変化させた試験(表1)では、規定量であればうどんこ病菌接種から6日後の散布でも高い防除価が示された。1/4量の散布であっても接種から3日後までは比較的高い防除価が示されており、ハウス内の試験であっても有効性が示されている。また、この量であれば比較的葉面の汚れも少なく、薬害も生じない。

表1 うどんこ病菌接種後の硫黄粉剤散布による防除価の変化

散布量	硫黄粉剤散布日				
	接種1日前	うどんこ接種日	接種1日後	接種3日後	接種6日後
1/4量	48	72	72	78	18
1/2量	66	78	84	78	36
規定量	92	98	100	98	82

b) 炭酸水素剤等

炭酸水素剤には炭酸水素カリウムを成分としたカリグリーン水溶剤と、炭酸水素ナトリウムを成分としたハーモメイト水溶剤、さらに銅を含んだジーファイン水和剤がある。いずれの剤も、溶液中の陽イオンが菌体内に流入することにより、細胞の機能障害を起こすことによって殺菌効果を発現すると考えられている。いずれの剤も使用制限回数はないが、ハーモメイト水溶剤、ジーファイン水和剤については新JAS法の有機農産物生産に使用できる。これらの剤は接触することでのみ効果が発現され、残効性は期待できない。そのため展着剤などを有効に用いて薬液が十分に病斑に付着するように散布することが必要である。短期間に複数回の散布を

行うことで病原菌密度を低下させた後に、残効が期待できるような化学薬剤で見えない残った菌を抑制するような使用方法が望ましい。

c) 接触型薬剤

サンクリスタル乳剤の成分である脂肪酸グリセリドは、植物ヤシ油を原料にした食用油脂であり、新JAS法の有機農産物生産に使用できる。

エコピタ液剤は食品添加物の還元澱粉糖化物（いわゆる還元水あめ）を成分としているので、環境にやさしい薬剤であるが、今のところ新JAS法の有機農産物生産に使用できる薬剤とはなっていない。

アカリタッチ乳剤も食品添加物のプロピレングリコールモノ脂肪酸エステルを成分としており、環境にやさしい薬剤であるが、今のところ新JAS法の有機農産物生産に使用できる薬剤とはなっていない。

これらの薬剤の作用性はいわゆる物理的効果によるものと推測されるため、予防的な効果はなく、発生が見られ始めたときに使用すると効果が高い（図4）。

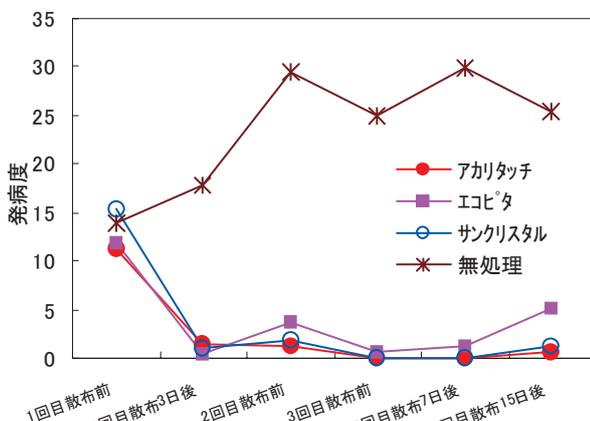


図4 接触型薬剤散布によるうどんこ病発病度の変化

(4) 生物資材を利用したうどんこ病のIPM体系

a) 定植前

イチゴのうどんこ病菌はイチゴ以外の宿主が知られていないため、本圃で発生するうどんこ病の伝染源の多くは育苗期に感染した子苗であると考えられる。このため育苗期からうどんこ病を発生させないように、タラロマイセス剤や化学薬剤で定期的に防除を行うなどして、適切な管理をすることが重要である。盛夏期に直射

日光を当てると、うどんこ病斑は赤褐色に変化し活動が低下するが、寒冷紗等で被覆し日照が不足すると病勢が抑制されにくい。育苗期の防除によって本圃へのうどんこ病菌の持ち込みをできるだけ減少させることで、その後の発病を遅らせることができる。また、病原菌密度を低く抑えておくことで感染圧を減少させ、生物資材などの効果を安定させることができるようになる。

b) 定植後～暖房開始

まだ比較的気温の高いこの時期には、病原菌の増殖も活発になりがちである。着果以前であるならば硫黄粉剤を用い防除を行うが、うどんこ病菌の持ち込みによりこの時期に発病してしまった場合には、接触型薬剤や炭酸水素剤と化学薬剤を用いてできるだけ早期に徹底して薬剤散布を行う。以後の防除の成否はこの時期の防除の徹底次第に大きく左右される。

c) 暖房時期

外気温が低くなりハウスを閉め切る時間が長くなり、外部からの病原菌の侵入の可能性も低くなる。ボトキラー水和剤のダクト内投入散布を行い、葉面の枯草菌密度を上昇させてゆくことで春期のうどんこ病発病に備える。また、ダクト内投入前にバチルス剤を水和剤として散布を行うと菌密度が高まり効果的である。万一、うどんこ病の発生を確認した場合は、接触型薬剤や炭酸水素剤の複数回のスポット散布と化学薬剤の全体散布で防除する。

d) 暖房終了

外気温が上昇しハウスを開放する時間も長くなり暖房機の稼働率も低下してくるため、ダクト内投入散布は終了する。気温の上昇により病勢が助長され、また外部からの飛び込みなども考えられるため、化学薬剤による防除を実施する。

(高山智光：九州沖縄農業研究センター，石井貴明：福岡県農業総合試験場，永野敏光・関根崇行：宮城県農業・園芸総合研究所)

3. イチゴ病害虫の IPM 体系の事例

1) 暖地の促成栽培イチゴにおける IPM 体系 (福岡県)

(1) 害虫の IPM 体系

品種: あまおう

月	旬	作業・生育状況	対象害虫			
			ハダニ類	アブラムシ類	アザミウマ類	ヨトウムシ類
8月		育苗期	カブリダニ類への影響の少ない剤を組み入れ防除を徹底する 育苗後期にはピレスロイド剤等の残効日数の長い剤は避ける			
9月	上旬					
	中旬	定植				
	下旬		エマメクチンEC(注1)			エマメクチンEC
10月	上旬					ルフェヌロンEC
	中旬	マルチ設置	ミルベメクチンWP	アセタミプリドG	アセタミプリドG	
	下旬	開花始め ミツバチ搬入 ビニル被覆			スピノサドWP	
11月	上旬		ミヤコカブリダニ (5,000頭/10a)			(ピリダリルF) (注2)
	中旬			(ピメトロジンWP)		
	下旬	収穫開始		コレマンアブラバチ (500頭/10a) +バンカープラント (5個/10a)		
12月	上旬		チリカブリダニ (5,000頭/10a)			
	中旬				ルフェヌロンEC	
	下旬					
1月	上旬		チリカブリダニ (3,000頭/10a)	バンカープラント (5個/10a)		
	中旬					
	下旬		(ビフェナゼートF)			
2月	上旬					
	中旬		チリカブリダニ (3,000頭/10a)		フルフェノクスロンEC	
	下旬					
3月	上旬					
	中旬				アセタミプリドWP	
	下旬			←(注3)		
4月	上旬	ミツバチ搬出	(ビフェナゼートF)		(スピノサドWP)	
	中旬			フロニカミドWP		
	下旬					
5月	上旬					
	中旬	収穫終了				
	下旬					
薬剤防除合計使用回数(注4)			9回			
防除資材費合計(労賃を含む(注5))			82,650円(143,322円)			

注1: エマメクチン安息香酸塩乳剤 注2: ()で示した薬剤は臨機防除を示す。

注3: ハダニの発生を認めた場合、ただちにビフェナゼートFなどで補完防除を行う。

注4: 臨機防除の散布回数は含まない。

注5: 労賃単価(1人の1時間当たり)1,450円として散布1回につき10a当たり延べ4時間で算出。

(2) 害虫の慣行防除体系

品種：あまおう

月	旬	作業・生育状況	対象害虫			
			ハダニ類	アブラムシ類	アザミウマ類	ヨトウムシ類
8月		育苗期	薬剤による防除を徹底し、害虫の寄生のない苗を確保する			
9月	上旬					
	中旬	定植				
	下旬		エマメクチンEC(注1)			エマメクチンEC
10月	上旬					ルフェヌロンEC
	中旬	マルチ設置	ミルベメクチンWP	アセタミプリドG	アセタミプリドG	
	下旬	開花始め ミツバチ搬入 ビニル被覆			スピノサドWP	
11月	上旬					(ピリダリルF) (注2)
	中旬		シフルメトフェンF	(ピメトロジンWP)		
	下旬	収穫開始				
12月	上旬		ビフェナゼートF			
	中旬				ルフェヌロンEC	
	下旬					
1月	上旬		ミルベメクチンWP			
	中旬					
	下旬					
2月	上旬			ピメトロジンWP		
	中旬		シフルメトフェンF		フルフェノクスロンEC	
	下旬					
3月	上旬					
	中旬			アセタミプリドWP		
	下旬					
4月	上旬	ミツバチ搬出	ビフェナゼートF		(スピノサドWP)	
	中旬			フロニカミトWP		
	下旬					
5月	上旬					
	中旬	収穫終了				
	下旬					
薬剤防除合計使用回数(注3)			15回			
防除資材費合計(労賃を含む(注4))			50,050円(126,900円)			

注1, 注2: (1)害虫のIPM体系に準じる。

注3: (1)害虫のIPM体系の注4に準じる。 注4: (1)害虫のIPM体系の注5に準じる。

(3) 害虫のIPM体系のポイントと期待される効果

a) ハダニ類の防除

(i) 定植後 1, 2 週間後にヨトウムシ類を対象にエマメクチン安息香酸塩乳剤を散布する。本剤はハダニ類にも効果があり、カブリダニ放飼前のハダニ類の抑制に有効である。

(ii) ビニル被覆後にハダニ類の発生がない場合にもミルベメクチン水和剤を散布する。その後、ハダニ類の発生を認めた場合には、ビフェナゼートフロアブル（又はシフルメトフェンフロアブル）を散布しハダニ類を抑制しておく。

(iii) 殺ダニ剤散布（(ii)）の 2, 3 週間後にミヤコカブリダニを放飼する。その後、12 月上旬, 1 月上旬, 2 月中旬にチリカブリダニを放飼する。カブリダニの放飼はいずれもハダニ類をモニタリングすることなく、スケジュールで行う。

(iv) カブリダニの放飼後にハダニ類が発生し、増加傾向にある場合には、ビフェナゼートフロアブル（またはシフルメトフェンフロアブル）などハダニ類に効果が高くカブリダニ類に影響のない殺ダニ剤で補完防除を行う。

(v) 以上のミヤコカブリダニとチリカブリダニを組み合わせたスケジュール放飼により、ビニル被覆期から栽培終了時までハダニ類を低密度に抑制できる（図 1）。

b) アブラムシ類の防除

(i) ワタアブラムシなどのアブラムシ類に対しては、マルチ前のアセタミプリド粒剤の株元散布または定植時にニテンピラム粒剤などの粒

剤処理を行う。マルチ設置前のアセタミプリド粒剤の株元散布は省力的である。

(ii) 粒剤処理によりアブラムシ類は 1 月頃まで抑制される。開花期以降に再発を認めた場合は、アセタミプリド水溶剤またはピメトロジン水和剤を発生初期に散布する。これにより、アブラムシ類の花・果実への寄生が抑制され、収量・品質への被害を防止できる。

c) アザミウマ類の防除

(i) ヒラズハナアザミウマやミカンキイロアザミウマなどアザミウマ類に対しては、一番花開花時期（10 月下旬～11 月上旬）にスピノサド顆粒水和剤を散布し、ハウス内の初期密度を抑制し、さらに 12 月中下旬にルフェヌロン乳剤などを散布してハウス内での越冬個体数を減らしておくと、春先からの密度の立ち上がり時期を送らせることができる。

(ii) 密度が増加し始める春期（2 月中旬～3 月中旬）には、低密度時からフルフェノクスロン乳剤やアセタミプリド水溶剤を散布する。4 月以降にアザミウマ類が増加した場合は、スピノサド顆粒水和剤（またはアクリナトリン水和剤など）を散布する。これにより、実害のないレベルに防除できる。

d) ハスモンヨトウ・オオタバコガの防除

ヨトウムシ類は 9 月から 11 月まで発生がみられる。定植後のエマメクチン剤（ハダニ類の防除の (i)）の散布後は、ヨトウムシ類の発生に注意し、カブリダニに影響の少ない薬剤（ルフェヌロン乳剤やピリダリルフロアブルなど）を散布することで、被害が防止できる。

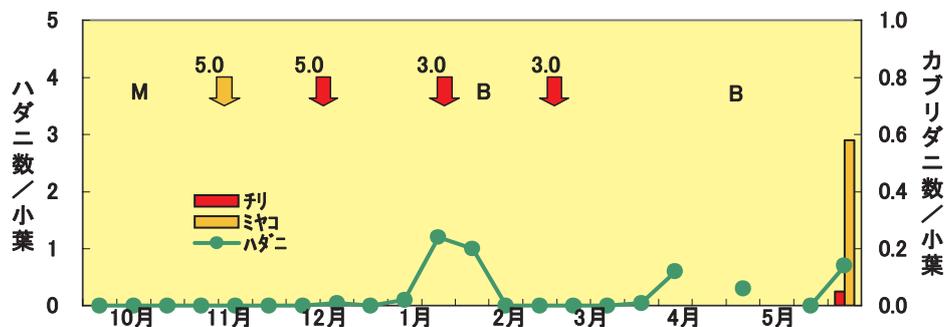


図1 ミヤコカブリダニとチリカブリダニのスケジュール放飼によるハダニ類に対する防除効果
試験圃場 八女市農家A（品種：「あまおう」高設栽培，夜冷育苗）
↓：ミヤコカブリダニ ↓：チリカブリダニ（矢印の上の数値は㎡当たりの放飼数）
M：ミルベメクチン水和剤 B：ビフェナゼートフロアブル

(4) 病害の防除体系

品種：あまおう

月	旬	作業・生育状況	IPM防除体系		慣行防除体系	
			対象害虫		対象害虫	
			うどんこ病(注1)	灰色かび病	うどんこ病	灰色かび病
8月		育苗期	育苗期には炭疽病やうどんこ病の防除を徹底する			
9月	上旬					
	中旬	定植	無病の苗を選んで定植する			
	下旬					
10月	上旬					
	中旬	マルチ設置				
	下旬	開花始め ミツバチ搬入 ビニル被覆(注2)	パチルス・ズブチリスW		トリフルミゾールW	
11月	上旬		パチルス・ズブチリスW		ポリオキシンW	
	中旬		イミノクタジナルベシル酸塩W		イミノクタジナルベシル酸塩W	
	下旬	収穫開始	タラロマイセス・フラバスW		メパニピリムW	
12月	上旬		パチルス・ズブチリスW		アゾキシストロビンW	
	中旬		パチルス・ズブチリスWダクト内投入	散布開始		
	下旬					
1月	上旬					
	中旬				メパニピリムW	
	下旬			発生に応じて 臨機防除		発生に応じて 臨機防除
2月	上旬				シフルフェナミドW	
	中旬		炭酸水素ナトリウム・銅 W+脂肪酸グリセリドE			
	下旬		トリフルミゾールW		トリフルミゾールW	
3月	上旬		パチルス・ズブチリスWダクト内投入	散布終了		
	中旬		メパニピリムW		メパニピリムW	
	下旬		アゾキシストロビンW		アゾキシストロビンW	
4月	上旬	ミツバチ搬出	イミノクタジナルベシル酸塩W		イミノクタジナルベシル酸塩W	
	中旬		炭酸水素ナトリウム・銅 W+脂肪酸グリセリドE		炭酸水素ナトリウム・銅 W+脂肪酸グリセリドE	
	下旬		トリフルミゾールW		トリフルミゾールW	
5月	上旬					
	中旬	収穫終了				
	下旬					
薬剤防除合計使用回数(注3)			12回 +ダクト内投入		13回	
防除資材費合計(労賃を含む(注4))			46,642円(116,242円)		25,817円(101,217円)	

注1: うどんこ病発生後からの生物農薬の散布効果は十分でないので、発生前から散布を行う。

注2: ビニル被覆時期からうどんこ病の発生がみられる場合は、ダクト内投入散布を始める前までに化学農薬を2回程度散布し、うどんこ病を抑制する。

注3: 臨機防除の回数は含まない。成分回数表示の場合、IPM体系:化学合成農薬10回+生物農薬(4回+ダクト内投入)、慣行:化学合成農薬14回

注4: 労賃単価(1人の1時間当たり)1,450円として散布1回につき10a当たり延べ4時間で算出(ダクト散布は労賃なしで算出)

(5) 病害の IPM 体系のポイントと期待される効果

病害の防除では、発病後に生物農薬を散布し始めても防除効果を十分に引き出すことはできないため、育苗期から暖房開始前までに防除を徹底しておくことが IPM 体系防除の基本的な考え方である。

a) うどんこ病対策

作期を (i) 定植～暖房開始時期、(ii) 暖房機稼働期間、(iii) 暖房機稼働終了後の 3 期に分け、各期におけるうどんこ病の発生状況に応じた防除を実施する。

(i) 定植後から暖房機稼働までの防除

定植後年内のうどんこ病の初発は、通常 11 月以降である。従って、10 月下旬までに必ず生物農薬の初回散布を実施する。以降、ダクト内投入散布開始時期まで 10 日間をめどに生物農薬主体で防除を実施する。

(ii) 暖房機稼働期間（ダクト内投入散布期間）(12 月中旬～2 月末) 基本的にダクト内投入散布で防除する。

この期間中うどんこ病の発生がみられる場合、ジーファイン水和剤やサンクリスタル乳剤を中心とした補完防除を行う。

(iii) ダクト内投入散布時期以降の防除（3 月以降）

うどんこ病の病勢は 3 月以降に亢進する。3 月以降はダクト内投入散布だけではうどんこ病を抑制できない。3 月期からはダクト内投入散布をやめ、化学農薬の輪番散布に切り換える。

b) 灰色かび病対策

本病の発生は、通常 12 月を初発時期として 3 月までとなる。従って、基本的にダクト内投入散布で対処できるが、多発が予想される場合には、化学農薬を短期間に集中的に補完防除する。

注) 本試験で供試した品種あまおうは、うどんこ病にやや強く、とよのか等に比べて初発が遅くなる傾向がある。従って、うどんこ病にやや弱い品種を栽培する場合には、病気の発生に応じて生物農薬の使用時期を早めたり、化学農薬による補完防除を組み合わせたりする必要がある。

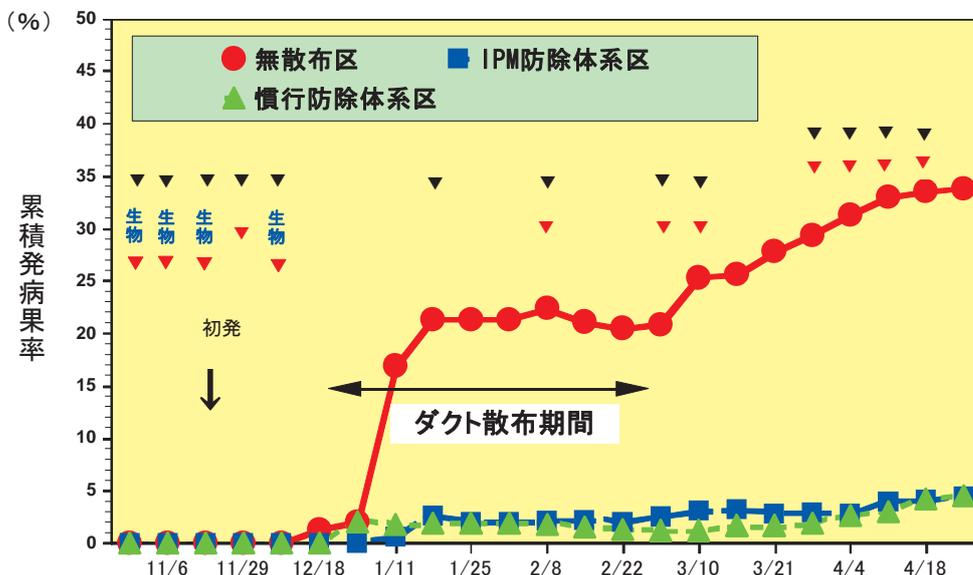


図 2 暖地における実証事例(果実のうどんこ病に対する効果)

散布履歴

▼: 化学薬剤輪番区(左端より)

トリフルミゾール W, ポリオキシシン W, イミノクタジンアルベシル酸塩 W, メパニピリム W, アゾキシストロピン W, メパニピリム W, シフルフェナミド W, トリフルミゾール W, メパニピリム W, アゾキシストロピン W, イミノクタジンアルベシル酸塩 W, 炭酸水素ナトリウム塩・銅 W+脂肪酸グリセリド E, トリフルミゾール W

▼: ダクト内投入散布+後期化学薬剤区(左端より)

生物農薬(バチルス・ズブチリス W), 生物農薬(バチルス・ズブチリス W), イミノクタジンアルベシル酸塩 W, 生物農薬(タロロマイセス・フラバス E), 生物農薬(バチルス・ズブチリス W), 炭酸水素ナトリウム塩・銅 W+脂肪酸グリセリド E, トリフルミゾール W, メパニピリム W, アゾキシストロピン W, イミノクタジンアルベシル酸塩 W, 炭酸水素ナトリウム塩・銅 W+脂肪酸グリセリド E, トリフルミゾール W

2) 寒冷地の促成栽培イチゴにおける IPM 体系（宮城県）

(1) 害虫の IPM 体系

品種：とちおとめ

月	旬	作業・生育状況	対象病害虫				
			ハダニ類	アブラムシ類	アザミウマ類	オンシツコナジラミ	ヨトウムシ類
8月		育苗期	カブリダニ類への影響の少ない剤を組み入れ防除を徹底する 育苗後期にはピレスロイド剤等の残効日数の長い剤は避ける				
9月	上旬	定植		イミダクロプリドG			
	中旬						
	下旬		エマメクチンEC(注1)				エマメクチンEC
10月	上旬		ミルベメクチンWP				フルベンジアミドWP
	中旬	ミツバチ搬入					
	下旬	開花始め	(気門封鎖剤)+ ミヤコカブリダニ (6,000頭/10a)				
11月	上旬						
	中旬						
	下旬	収穫開始					
12月	上旬					ピリプロキシフェン(テープ)	
	中旬		(気門封鎖剤)+ ミヤコカブリダニ (6,000頭/10a)				
	下旬						
1月	上旬		▲				
	中旬						
	下旬		(ピフェナゼートF)				
2月	上旬		—(注3)				
	中旬						
	下旬						
3月	上旬						
	中旬						
	下旬					ルフェヌロンEC	
4月	上旬		チリカブリダニ (6,000頭/10a)	ピメトロジンWP	スピノサドWP		
	中旬						
	下旬		(ピフェナゼートF)				
5月	上旬	ミツバチ搬出	—(注3)				
	中旬			(アクリナトリンWP)(注2)			
	下旬						
6月	上旬						
	中旬	収穫終了					
	下旬						
薬剤防除合計使用回数(注4)			8回				
防除資材費合計(労賃を含む)(注5)			97,895円(130,303円)				

注1, 注2, 注3, 注4, 注5 : 1)暖地の促成栽培イチゴにおけるIPM体系(福岡県)の(1)害虫のIPM体系に準じる。

(2) 害虫の慣行防除体系

品種：とちおとめ

月	旬	作業・生育状況	対象病害虫				
			ハダニ類	アブラムシ類	アザミウマ類	オンシツコナジラミ	ヨトウムシ類
8月		育苗期	薬剤による防除を徹底し、害虫の寄生のない苗を確保する。				
9月	上旬	定植		イミダクロプリドG			
	中旬						
	下旬		エマメクチンEC(注1)				エマメクチンEC
10月	上旬		ミルベメクチンWP				フルベンジアミドWP
	中旬	ミツバチ搬入					
	下旬	開花始め					
11月	上旬						
	中旬		酸化フェンブタズF				
	下旬	収穫開始					
12月	上旬						
	中旬		シフルメトフェンF				
	下旬						
1月	上旬						
	中旬						
	下旬		ピフェナゼートF				
2月	上旬						
	中旬			ピメロジンW		ピメロジンW	
	下旬						
3月	上旬						
	中旬		エトキサゾールF	アセタミプリドSP		アセタミプリドSP	
	下旬				ルフェヌロンEC		
4月	上旬				スピノサドWP		
	中旬		酸化フェンブタズF	チアクロプリドWP		チアクロプリドWP	
	下旬						
5月	上旬						
	中旬						
	下旬	収穫終了					
薬剤防除合計使用回数(注2)			14回				
防除資材費合計(労賃を含む(注3))			41,045円(123,695円)				

注1: 1) 暖地の促成栽培イチゴにおけるIPM体系(福岡県)の(1)害虫のIPM体系に準じる。

注2: (1)害虫のIPM体系の注4に準じる。注3: (1)害虫のIPM体系の注5に準じる。

(3) 害虫の IPM 体系のポイントと期待される効果

a) ハダニ類の防除

(i) 定植後から開花期前(10月上旬)までの殺ダニ剤による防除は暖地の IPM 体系(福岡県)に準じる。

(ii) 開花始期(10月中下旬)にミヤコカブリダニを放飼する。放飼時にハダニ類の発生が認められる場合は、気門封鎖剤(還元澱粉糖化物液剤, デンプン液剤, プロピレングリコールモノ脂肪酸エステル乳剤など)を散布し、その後ミヤコカブリダニを放飼する。

(iii) 冬期(12月~2月)には、ハダニ類の発生が認められる場合でも、被害株の周辺への広がりがなく、ミヤコカブリダニが確認される場合はミヤコカブリダニの追加放飼を行う。被害株が広がる傾向の場合は、ミヤコカブリダニが確認されてもビフェナゼートフロアブル(またはシフルメトフェンフロアブル)を散布する。

(iv) 春期(3~4月)にハダニ類の発生が認められる場合は、チリカブリダニを放飼する。

(v) 以上のミヤコカブリダニとチリカブリダニを組み合わせたスケジュール放飼により、ビニル被覆期から栽培終了時までハダニを実害のない低い密度に抑制できる(図3)。

b) アブラムシ類の防除

(i) ワタアブラムシなどのアブラムシ類に対しては、定植時にイミダクロプリド粒剤(またはチアメトキサム粒剤など)を植穴処理する。薬剤による効果は処理後1か月程度であるが、

11月以降は気温が低下する時期でもあり2月頃まで発生は抑制される。

(ii) 春期(3~4月)にアブラムシ類の発生が認められる場合は、ピメトロジン水和剤またはフロニカミド顆粒水和剤を散布する。

c) アザミウマ類の防除

(i) アブラムシ類の対策として定植時に粒剤を処理した場合、ミカンキイロアザミウマなどのアザミウマ類の発生は2月頃までみられない。

(ii) 春期(3月以降)に発生を認めたら、ルフェヌロン乳剤(またはフルフェノクスロン乳剤など)とスピノサド顆粒水和剤を約5日間隔で散布する。なお、収穫終了間近で、かつハダニ類の発生がない場合は、カブリダニ類に影響のあるアクリナトリン水和剤も使用できる。

d) オンシツコナジラミの防除

定植時にネオニコチノイド系粒剤を処理した場合、オンシツコナジラミの発生は2月頃から始まる。ピリプロキシフェンテープを12月(収穫終了の6ヶ月前)に設置しておくこと、2月以降収穫終了時まで高い防除効果が得られる。

e) ハスモンヨトウ・オオタバコガの防除

ヨトウムシ類は9月から10月にかけて発生する。定植後にはヨトウムシ類とハダニ類対策としてエマメクチン安息香酸塩乳剤を散布する。その後も発生が認められる場合は、フルベンジアミド顆粒水和剤やピリダリルフロアブルなどカブリダニに影響の少ない薬剤を散布する。

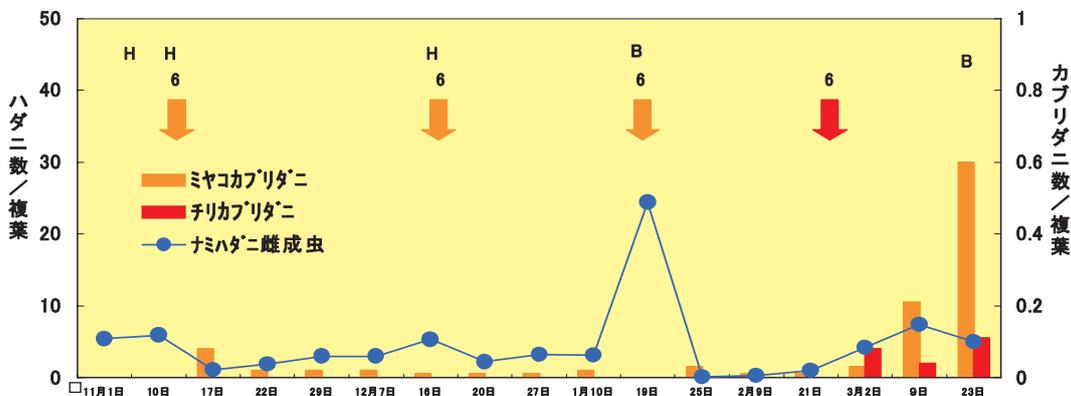


図3 ミヤコカブリダニとチリカブリダニのスケジュール放飼(体系3)によるハダニの防除効果(2005~2006)

試験圃場: 名取市 宮城県農業・園芸総合研究所内 (品種:「とちおとめ」, 促成栽培 土耕栽培)

↓: ミヤコカブリダニ放飼 ↓: チリカブリダニ放飼 (数値は㎡当たりの放飼頭数)

H: 還元澱粉糖化物L B: ビフェナゼートF

(4) 病害の防除体系

品種：とちおとめ

月	旬	作業・生育状況	IPM防除体系		慣行防除体系	
			対象害虫		対象害虫	
			うどんこ病(注1)	灰色かび病	うどんこ病	灰色かび病
8月		育苗期	育苗期には炭疽病やうどんこ病の防除を徹底する			
9月	上旬					
	中旬	定植	無病苗を選んで定植する			
	下旬					
10月	上旬					
	中旬					
	下旬	開花始め ミツバチ搬入				
11月	上旬		脂肪酸グリセリドE		トリフルミゾールW	
	中旬		アゾキシストロビンF+ バチルス・ズブチリスW		イミノクタジンアルベシル酸塩W	
	下旬					
12月	上旬	暖房機稼働始め	バチルス・ズブチリス ダクト内投入開始 週5回処理			
	中旬		シフルフェミナド ・トリフルミゾールW		シフルフェミナド ・トリフルミゾールW	
	下旬					
1月	上旬		発生に応じて 臨機防除			発生に応じて 臨機防除
	中旬					
	下旬		週3回処理			
2月	上旬					
	中旬					
	下旬		脂肪酸グリセリドE		ポリオキシシンW	
3月	上旬					
	中旬		脂肪酸グリセリドE		メパニピリムF	
	下旬	暖房機停止	アゾキシストロビンF		アゾキシストロビンF	
4月	上旬		脂肪酸グリセリドE		メパニピリムF	
	中旬					
	下旬					
5月	上旬	ミツバチ搬出				
	中旬					
	下旬					
6月	上旬					
	中旬	収穫終了				
	下旬					
薬剤防除合計使用回数(注2)			7回+ダクト内投入		7回	
防除資材費合計(労賃を含む(注3))			39,723円(80,323円)		11,349円(51,949円)	

注1: うどんこ病発生後からの生物農薬の散布効果は十分でないので、発生前から散布を行う。

注2: 臨機防除の回数は含まない。成分回数表示の場合、IPM体系:化学合成農薬8回+生物農薬(1回+ダクト内投入)、慣行:化学合成農薬8回

注3: 労賃単価(1人の1時間当たり)1,450円として散布1回につき10a当たり延べ4時間で算出(ダクト散布は労賃なしで算出)

(5) 病害の IPM 体系のポイントと期待される効果

病害の防除では、発病後に生物農薬を散布し始めても防除効果を十分に引き出すことはできないため、育苗期から暖房開始前までに防除を徹底しておくことが IPM 体系防除の基本的な考え方である。

a) うどんこ病対策

作期を (i) 定植～暖房開始時期、(ii) 暖房機稼働期間、(iii) 暖房機稼働終了後の 3 期に分け、各期におけるうどんこ病の発生状況に応じた防除を実施する。

(i) 定植後から暖房機稼働までの防除

うどんこ病が発生しないように管理する。

ダクト投入開始前には EBI 剤等の効果の高い薬剤で防除し、うどんこ病の発生を無くする。

また、バチルス菌の密度を高めるため、ダクト投入開始直前にバチルス剤を散布してもよい

(ii) 暖房機稼働期間（ダクト内投入散布期間）（11月中旬～3月末）

基本的にバチルス水和剤のダクト内投入散布で防除する。

この期間にうどんこ病が発生した場合にはサンクリスタル乳剤等の薬剤で臨機防除する。

(iii) ダクト内投入散布時期以降の防除（4月以降）

サンクリスタル乳剤や生物農薬（バチルス剤、タラロマイセス剤）で防除する。

しかし、うどんこ病の発生が多くなるときは化学剤を散布し、発生を抑制する。

b) 灰色かび病対策

灰色かび病は暖房機稼働中は基本的にダクト内投入散布のみで十分であるが、発生がみられたら化学剤を散布する。

しかし、ダクト内投入散布以前に発生した場合は化学剤で防除する。また、ダクト内投入散布後も多発することがあるので、発生に応じて化学剤を散布する。

以上の IPM 防除体系を実施することで、イチゴうどんこ病、灰色かび病を被害のないレベルに抑えることができる。

（嶽本弘之・石井貴明・柳田裕紹・浦広幸・森田茂樹：福岡県農業総合試験場、永野敏光・増田俊雄・宮田将秀・関根崇行：宮城県農業・園芸総合研究所、柏尾具俊・高山智光：九州沖縄農業研究センター）

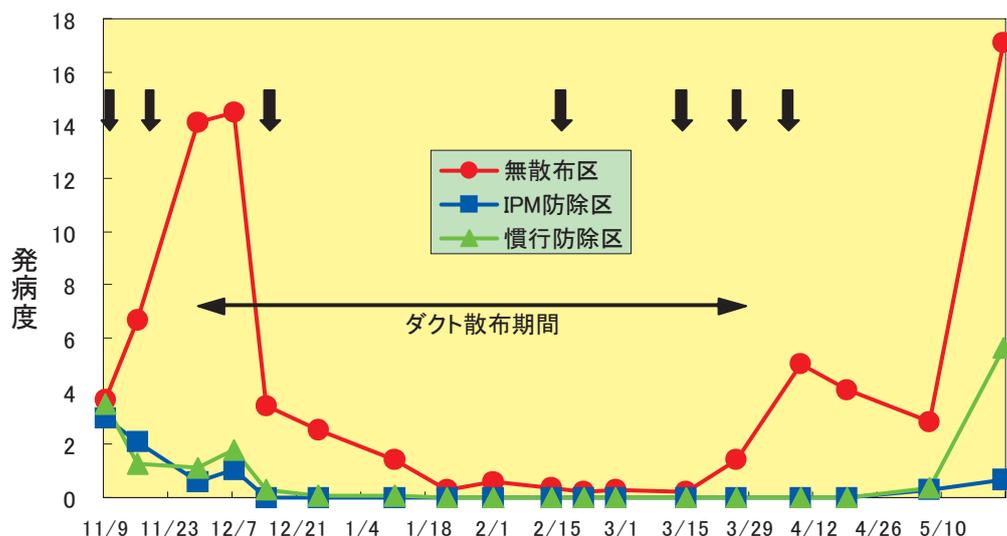


図 4 寒冷地における実証事例（葉におけるうどんこ病の発生推移）

散布履歴(↓印)

慣行防除区(左端より)

トリフルミゾール W, イミノクタジンアルベシル酸塩 W, シルフエナミド・トリフルミゾール W, ポリオキシシン W, メパニピリム W, アゾキシストロピン W, メパニピリム W

IPM 防除区 (左端より)

脂肪酸グリセリド E, アゾキシストロピン W+生物農薬(バチルス・ズブチリス W), シルフエナミド・トリフルミゾール W, 脂肪酸グリセリド E, 脂肪酸グリセリド E, アゾキシストロピン W, 脂肪酸グリセリド E

4. 施設イチゴのIPMに組み込む将来技術

1) 生物防除資材を利用したオンシツコナジラミの防除技術

オンシツコナジラミ *Trialeurodes vaporariorum* は関東以北の寒冷地における重要害虫で、2月頃から栽培終了時まで発生し、すす病を併発することから薬剤防除が欠かせない。しかし、本種は多くの薬剤に対して抵抗性を獲得しているため、薬剤にのみに依存した防除は困難となっている。また、イチゴ栽培では栽培期間が長いことやミツバチなどの訪花昆虫を導入するため、使用できる薬剤がさらに限られる状況にある。そのため、薬剤による防除を補完する手段として、生物防除資材の利用が有効な手段となる。以下、現在利用できる生物資材である昆虫病原糸状菌製剤や天敵について述べる。

(1) ボーベリア・バッシアナ製剤の特性と利用方法

本製剤は昆虫に感染し死亡させる病原性糸状菌を成分とする製剤である(以下の(2)ペキロマイセス・フモソロセウスおよび(3)テヌイペス製剤も同様である)。

作用機作：昆虫病原糸状菌製剤は昆虫病原性糸状菌(昆虫に病気を引き起こすカビ)の孢子を含有し、次のような過程でコナジラミ類に感染、死亡させる。1.孢子が昆虫の体表に付着する。2.孢子から菌糸が発芽し、皮膚を貫通して体内に侵入する。3.菌糸は体内の養分や水分を利用して発育し、その結果、昆虫は死亡する。4.好適な温度および湿度条件のもとでは、昆虫の体表上に孢子が形成され、新たな感染源となり、感染・発病が拡大する(以下の(2)ペキロマイセス・フモソロセウスおよび(3)テヌイペス製剤も同じ)。

利用方法：オンシツコナジラミの発生初期に散布する。すでに発生が多くなっている場合は、気門封鎖剤(還元澱粉糖化物液剤、オレイン酸ナトリウム液剤、脂肪酸グリセリド乳剤)を散布して密度を下げしておく。また、側窓など施設の開口部に1mm程度の目合いの防虫網を設置

し、野外からの侵入を防止するのが望ましい。感染好適条件下では1回の散布で十分な防除効果が期待できるが、高い効果を安定して引き出すには、約1週間間隔で複数回散布するのが望ましい(図1)。本製剤は貯蔵中に分離することがあるので、散布液調整前に容器をよく振ってから希釈する。本糸状菌の感染には適当な温度(18℃~28℃)と80%以上の高湿度条件を少なくとも15時間以上維持する必要があるため、晴天の日は夕方に散布し、夜間はハウスを締め切る。曇雨天の場合は、極端な低温や高温時以外は散布時刻はこだわらなくてよい。ただし、暖房設備があるハウスで、暖房装置が作動すると湿度が下がるので、暖房が止まった時間帯に散布する。

利用上の留意点：入手後は冷暗所に保存し、開封後は早めに使い切る。成分である昆虫病原糸状菌は特に殺菌剤の影響を受けやすいため、他剤との混用は避ける。やむをえず殺菌剤を散布する場合は2~4日程度間隔をあける。蚕に影響があるので、桑畑が付近にある場合は桑葉にかからないように注意する。また、ミツバチにも影響があるため、ミツバチが活動している場合は、虫体や巣箱にかからないようにする。

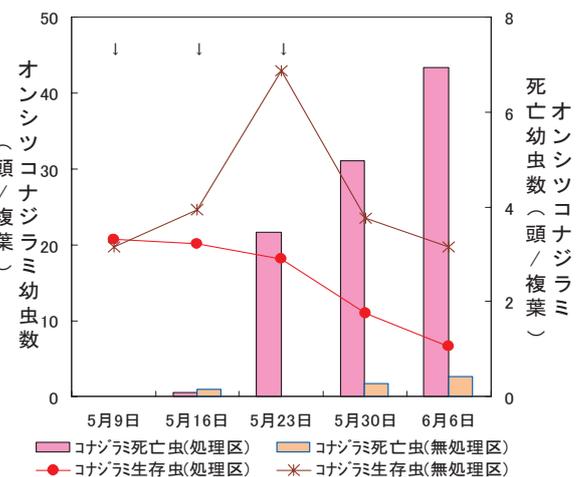


図1 オンシツコナジラミに対するボーベリア・バッシアナ製剤の防除効果

試験圃場：宮城県農業・園芸総合研究所内、土耕栽培
品種：とちおとめ
↓：ボーベリア・バッシアナ(1,000倍液)の散布

(2) ペキロマイセス・フモソロセウス製剤の特性と利用方法

作用機作：ボーベリア・バッシアナ製剤に準じる。

利用方法：オンシツコナジラミの発生初期に散布する。すでに発生が多くなっている場合は、気門封鎖剤（還元澱粉糖化物液剤，オレイン酸ナトリウム液剤，脂肪酸グリセリド乳剤）を散布して密度を下げしておく。また，側窓など施設の開口部に 1mm 程度の目合いの防虫網を設置し，野外からの侵入を防止するのが望ましい。感染好適条件下では 1 回の散布で十分な防除効果が期待できるが，高い効果を安定して引き出すには，約 1 週間間隔で複数回散布するのが望ましい（図 2）。散布液の調整は，本剤の所定量に少量の水（15℃～20℃）を加えてクリーム状になるまでかき混ぜ，高温や直射日光を避けて 2 時間程度静置する。その後，所定量の水を加えて十分攪拌する。その際，展着剤を加用する。また，希釈に使用する水に塩素が多く含まれると菌が死滅することがあるので，24 時間程度くみ置きしたものを用いる。本糸状菌の感染には適当な温度（18℃～28℃）と 80%以上の高湿度条件を 8～10 時間維持する必要があるため，晴天の日は夕方に散布し，夜間はハウスを締め切る。

暖房装置が作動すると湿度が下がるので，暖房が止まった時間帯に散布する。

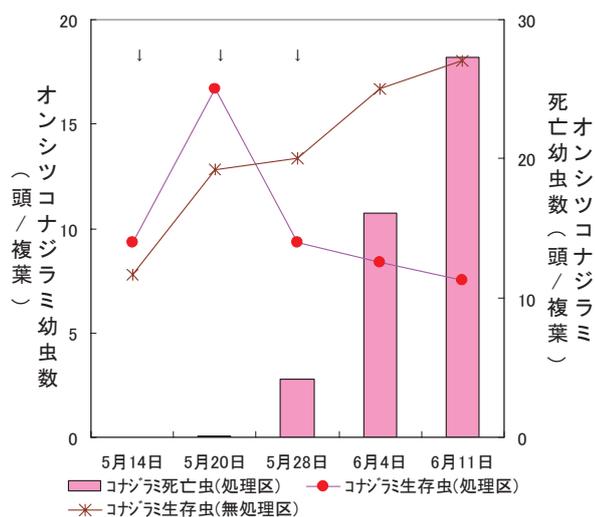


図 2 オンシツコナジラミに対するペキロマイセス・フモソロセウス製剤の防除効果

試験圃場：宮城県農業・園芸総合研究所内，土耕栽培
品種：とちおとめ
↓：ペキロマイセス・フモソロセウス(1,000 倍液)の散布

利用上の留意点：入手後は冷暗所に保存し，開封後は早めに使い切る。成分である昆虫病原糸状菌は他剤の影響を受けやすいので，他剤と

の混用には注意する。

(3) ペキロマイセス・テヌイペス製剤の特性と利用方法

作用機作：ボーベリア・バッシアナ製剤に準じる。

利用方法：オンシツコナジラミの発生初期に散布する。すでに発生が多くなっている場合は，気門封鎖剤（還元澱粉糖化物液剤，オレイン酸ナトリウム液剤，脂肪酸グリセリド乳剤）を散布して密度を下げしておく。また，側窓など施設の開口部に 1mm 程度の目合いの防虫網を設置し，野外からの侵入を防止するのが望ましい。感染好適条件下では 1 回の散布で十分な防除効果が期待できるが，高い効果を安定して引き出すには，約 1 週間間隔で複数回散布するのが望ましい（図 3）。本製剤は貯蔵中に分離することがあるので，散布液調整前に容器をよく振ってから希釈する。本糸状菌の感染にはある程度の湿度条件を維持する必要があるため，晴天の日は夕方に散布し，夜間はハウスを締め切る。曇雨天の場合は，極端な低温や高温時以外は散布時刻はこだわらなくてよい。ただし，暖房設備があるハウスで，暖房装置が作動すると湿度が下がるので，暖房が止まった時間帯に散布する。

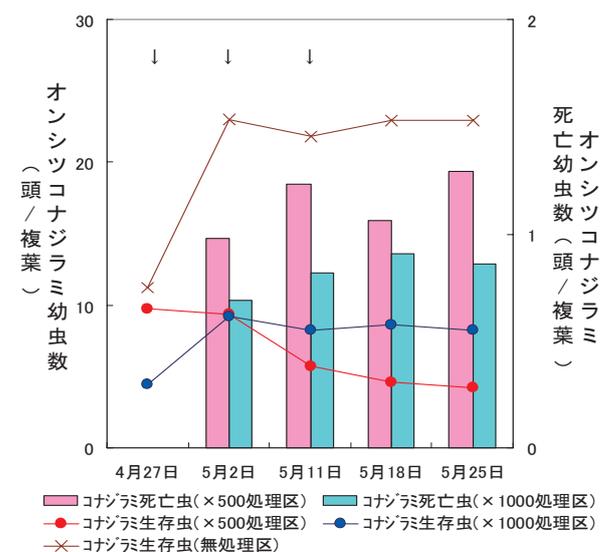


図 3 オンシツコナジラミに対するペキロマイセス・テヌイペス製剤の防除効果

試験圃場：宮城県農業・園芸総合研究所内，土耕栽培
品種：とちおとめ
↓：ペキロマイセス・テヌイペス(500 倍液，1,000 倍液)の散布

利用上の留意点：入手後は冷暗所に保存し、開封後は早めに使い切る。本剤の容器には乾燥剤が封入されているので、取り出したりしないこと。成分である昆虫病原糸状菌は他剤の影響を受ける場合があるので、混用には注意する。また、アルカリ性の強い葉面施用の肥料等の混用は避ける。また、ミツバチにも影響があるため、ミツバチが活動している場合は使用を避ける。ミツバチを放飼する場合は散布後、1日以上たってから行う。

(4) 昆虫病原糸状菌製剤を利用した IPM 体系

昆虫病原糸状菌製剤は、気温条件が好適となる春期以降に利用する。

アブラムシ類の対策として定植時にネオニコチノイド系の粒剤を処理した場合、オンシツコナジラミは通常は春期(2月～3月)まで抑制される。しかし、この時期に発生が認められたら、気門封鎖剤(還元澱粉糖化物液剤、オレイン酸ナトリウム液剤、脂肪酸グリセリド乳剤)を散布し、密度の抑制を図る。その後、春期以降に発生を認めたら昆虫病原糸状菌製剤を、前記の使用上の留意点を守り、約1週間間隔で複数回散布する。

(5) スワルスキーカブリダニの特性と利用方法

スワルスキーカブリダニ *Typhlodromips swirskii* は地中海東部沿岸の柑橘園などに広く分布する。本種の捕食範囲は広く、アザミウマ類の1齢幼虫、コナジラミ類の卵・若齢幼虫、ハダニ類の幼虫、ホコリダニ類を捕食する他、花粉も餌とする。成虫の体長は約0.3mmで淡黄色を呈する。休眠性はなく、短日条件でもハウス内で一定の気温が確保されれば世代を繰り返す。発育温度は17℃～30℃で、相対湿度60%以上が必要である。発育期間は短く、好適な温湿度条件(26℃, 70%)では5～6日で成虫となる。

利用方法：本種は広食性であるため、放飼はオンシツコナジラミが発生する前かわずかに認められ始めた時期に行う。他のカブリダニ製剤と同様、株の上から放飼する。また、側窓など施設の開口部に1mm程度の目合いの防虫網を

設置し、野外からの侵入を防止するのが望ましい。オンシツコナジラミの発生前に、1m²当たり50頭を放飼すると、試験期間をとおして放飼区でのオンシツコナジラミ密度は無放飼区に比べて低く推移する。しかし、その防除効果はかならずしも十分とはいえないため、放飼方法等の改善の余地が残る(図4)。

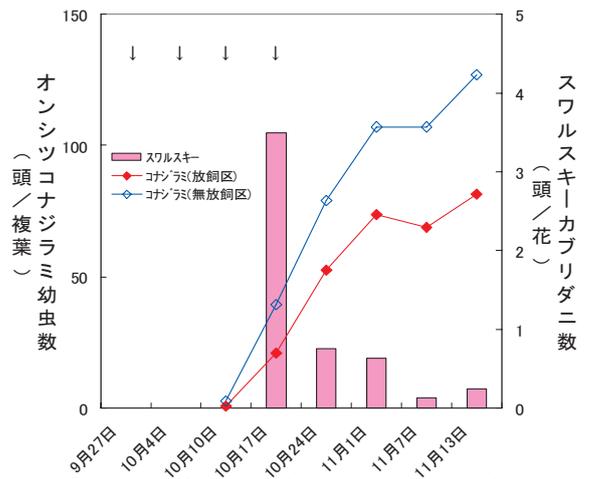


図4 オンシツコナジラミに対するスワルスキーカブリダニの放飼による防除効果

試験圃場：宮城県農業・園芸総合研究所内、土耕栽培
品種：サマーキャンディー、エラン
↓：スワルスキーカブリダニ(50頭/m²)の放飼

実用化に向けた課題：スワルスキーカブリダニはキュウリやピーマン、ナスでは圃場での定着性や移動性が高く、防除資材として極めて有効であることが確認されている。イチゴでもオンシツコナジラミが発生する前に、スワルスキーカブリダニを圃場内でより多く増殖させておくことが重要と考えられる。その方法のひとつとして、オンシツコナジラミ以外の餌生物をあらかじめ圃場内で増やしておくことが考えられる。例えば餌生物となり得るコナダニなどを増やすため、籾殻などをあらかじめ圃場内に設置するなど、放飼方法の工夫が必要である。

なお、本種は2008年11月に生物農薬として登録されたが、イチゴでの利用方法を確立するためには、次項のアザミウマの場合も含め、さらに検討が必要である。

(宮田将秀：宮城県農業・園芸総合研究所)

2) 農薬代替技術の利用によるアザミウマ類の防除技術

(1) 促成栽培イチゴにおけるアザミウマ類の発生の特徴

イチゴの果実を加害するアザミウマは主として、元来日本に生息するヒラズハナアザミウマ (*Frankliniella intonsa* (Trybom)) と侵入害虫のミカンキイロアザミウマ (*F. occidentalis* (Pergande)) である。

アザミウマ類を効率的に防除するには、いずれの防除手段を用いる場合にも、その発生実態を明らかにする必要がある。そのため、福岡県南部のイチゴの主産地において、粘着トラップを用いてハウス内外のアザミウマ類の発生消長を調べた。4 圃場を対象として調査した結果(図1)、全ての圃場ではほぼ同様の傾向が見られた。例えば、圃場Aではハウス外での捕獲は10月下旬から認められ、11月上中旬にピークとなり12月上旬まで捕獲された。しかし、ハウス外での捕獲は12月中旬～4月まで全く見られず、4月

下旬から再び捕獲された。

一方、ハウス内では、ハウス外と同時期に捕獲が始まり、11月に捕獲数が増加したが、2月中旬までほとんど捕獲されなかった。しかし、ハウス外では全く捕獲されなかった2月下旬以降、ハウス内での捕獲数が急激に増加した。以上のことから、促成栽培イチゴではアザミウマ類は一番花の開花盛期(10月下旬～11月上中旬)に外部から侵入した後、2月下旬頃から徐々にハウス内で増加し、4月以降に急激に密度が増加すると考えられる。そのため、アザミウマ類の防除では一番花の開花期の侵入・定着防止が極めて重要であると考えられる。

(2) 物理的防除資材の特性と利用方法

促成栽培イチゴでは、アザミウマ類の発生は一番花の開花時期の外部からの侵入により始まるため、その時期の侵入を防止することができる資材が必要となる。アザミウマ類に対する利用可能な物理的防除資材として、防虫ネット、粘着シート、光反射シート、光反射資材織り込みネットが挙げられる。

防虫ネットは、ハウスの開口部(サイドと谷)に設置することにより、害虫の侵入を遮断する。目合いが小さいほど侵入防止効果は高くなるが、ハウス内の温度や湿度が上昇し、作物の生育に悪影響を及ぼす。粘着シート(商品名:ホリバーロール)は、害虫に対して誘引効果のある色(黄色や青色)に粘着性の物質を塗布したシートである。ハウスの周囲にサイド開口部と同じ高さに粘着シートを設置することで、害虫を誘殺し侵入を防止する。設置に時間と労力を要することや時間の経過とともに粘着力が低下する欠点がある。光反射シート(商品名:タイベックシート)は、太陽光を乱反射し、害虫の飛翔行動を攪乱する。光反射シートをハウスの周辺に水平に設置することで、ハウス内への侵入防止効果が得られる。水平に設置するため汚れやすく、時間の経過とともに防除効果が低下する欠点がある。光反射資材織り込みネット(商品名:スリムホワイト)は、目合いの荒いネット(2mm×4mm)に光反射資材を織り込んだもので、防虫ネットと光の乱反射の機能を有する。

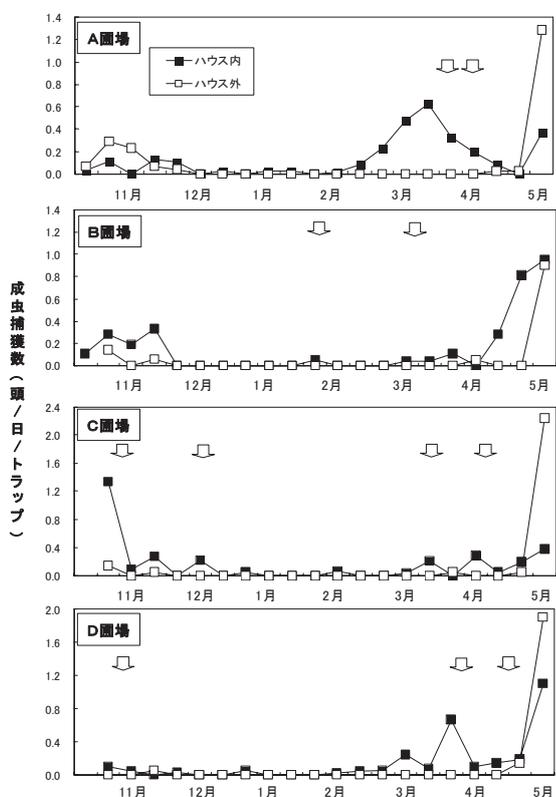


図1 粘着トラップへのアザミウマ類の捕獲消長(2005～2006)

↓:アザミウマ類に対する防除

光反射資材織り込みネットは、防虫ネットと同様にハウスの開口部に設置し、害虫の侵入を防止する。この資材は垂直に設置するため、汚れによる効果の低下がなく、また、目合いが荒いためハウス内の温度や湿度はほとんど上昇しない。

これらの物理的防除資材のヒラズハナアザミウマに対する侵入防止効果を宮城県農業園芸研究所で検討した。その結果、全ての資材で一定の侵入防止効果が見られたが、粘着シートと光反射シートは時間の経過とともに効果が低下した。防虫ネットでは、全ての目合い(0.8mm, 0.6mm, 0.2mm×0.4mm)で高い効果が見られた。目合いが最も小さいネット(商品名:ニューサンサンネット)で、効果が最も高かったが、ハウス内の気温が5~6℃上昇した。光反射資材織り込みネットは、目合いの最も小さい防虫ネットとほぼ同様の高い効果を示し、ハウス内の温度もほとんど上昇しなかった。促成栽培イチゴでは、ハウス内の温度が上昇すると花芽分化が阻害されるなど生育に悪影響が出やすい。そのため、アザミウマ類に対する防除効果が高く、ハウス内の温度が上昇しにくい光反射資材織り込みネットが最も実用的な物理的防除資材であると考えられる。実際に、この資材を福岡県の現地圃場で10月中旬から設置したところ(2007年度)、前年に比べてヒラズハナアザミウマの初期密度が顕著に少なく、イチゴの生育に支障が無かったことから、現場でも実用性が高いことが示唆されている。

(3) 生物的防除資材の特性と利用方法

アザミウマ類に対する生物的防除資材としては、生物農薬として登録されているタイリクヒメハナカメムシが有望と目される。

促成栽培イチゴでは、2月下旬頃から徐々にハウス内でのアザミウマ類の密度が増加する。生物的防除資材は害虫の密度が低い発生初期で最も効果が発揮されやすい。そのため、この時期が生物的防除資材を利用する適期であると考えられる。

タイリクヒメハナカメムシは土着の捕食性天敵である。本種はアザミウマ類の成幼虫を主と

して捕食するが、それ以外にもアブラムシ類、ハダニ類、コナジラミ類の幼虫、チョウ目害虫の卵なども餌とする。生殖休眠性は浅く、短日でも産卵するが、発育適温は25~30℃と高く、15℃以下では増殖率が極端に低下する。タイリクヒメハナカメムシの利用法としては、アザミウマ類の発生初期に成虫を500~1000頭/10a、1週間間隔で2~3回放飼するのが一般的である。発育適温を考慮すると、気温が上昇する4月以降に放飼すると防除効果は高いが、イチゴの栽培末期に当たるため、放飼メリットは小さい。一方、アザミウマがハウス内で増加する2月での放飼では気温が低すぎるために、十分な防除効果が得られない。そこで、タイリクヒメハナカメムシを2月に放飼し、微生物農薬のボーベリア・バシアーナ剤を3~4月に複数回散布したところ、高い防除効果が得られた。ただし、この方法はコストが高い難点がある。

(4) 農薬代替資材を利用した防除体系

現行の防除体系ではアザミウマ類に対する防除は、殺虫剤に依存している。すなわち、一番花の開花期に速効性の薬剤で侵入を防ぎ、2~3月にIGR剤でハウス内増殖を抑制し、4月の密度増加期に速効性で被害を回避する。それに対して、今後、実用性が比較的高いと考えられる代替資材利用体系は以下のとおりである(表1)。

表1 アザミウマ類に対する農薬代替技術利用体系(案)

月	旬	主な管理作業	慣行	代替技術利用
9月	中旬	定植		
10月	上旬			
	中旬	マルチ被覆		
	下旬	ビニル被覆	エマメクテン安息香酸塩	光反射資材織り込みネット
11月	上旬		アセタミプリド水溶剤	
	下旬	収穫開始		
2月	下旬		ルフェスロン乳剤	スワルスキーカプリダニ
3月	上旬			スワルスキーカプリダニ
	中旬		フルフェノクスロン乳剤	フルフェノクスロン乳剤
4月	上旬		スピノサド水和剤	
	中旬		アクリナトリン水和剤	スピノサド水和剤
5月	中旬	収穫終了		

まず、ビニル被覆と同時に光反射資材織り込みネットを設置し、一番花期の成虫の侵入を抑制する。次に、2月下旬~3月上旬にスワルスキ

一カブリダニを放飼してハウス内の増殖を抑制する。抑制が不十分な場合にはフルフェノクスロン乳剤またはルフェヌロン乳剤で補完する。4月中旬以降はハウス外からの成虫の侵入数が急激に増加するため、最も効果が高いスピノサド水和剤を散布する。この体系により慣行防除に比べて薬剤成分で4~5回散布回数を削減できる。

(5) 将来有望な生物的防除資材

アザミウマ類に対する生物的防除資材については、生物農薬として2008年11月に登録がとれたスワルスキーカブリダニおよび新しく見いだされた土着のアカメガシワクダアザミウマ（本種は未登録である）もその利用が期待される。

スワルスキーカブリダニはアザミウマ類やコナジラミ類の捕食性天敵であり、原産地は地中海沿岸地域である（本種の生態的特性は前述のコナジラミ類の項目を参照：92頁）。本種はピーマン、ナス、キュウリでは極めて定着がよく、防除効果が高いことが示されている。一方、イチゴでは上述の作物に比べると定着が劣るが、本種は花粉も餌にできることやその製剤には餌（サトウダニ）が含まれていることから、タイリクヒメハナカメムシに比べると定着性がよいことが期待される。実際に、イチゴにおいて25頭または50頭/m²放飼した試験事例では、本種が定着し一定の防除効果は認められている。そのため、現段階では、イチゴのアザミウマ類に対する生物的防除資材の中では本種が最も有望であると考えられる。ただし、本種だけではアザミウマ類を十分に抑制できない場合も多いため、影響の少ない薬剤による補完が必要となる。幸いにも、本種は他の天敵類と比較し薬剤の影響を受けにくいこと特徴がある。なお、スワルスキーカブリダニはアザミウマ類の1齢幼虫しか捕食できないため、成虫の飛び込みが盛んな秋期（一番花の時期）と4月中下旬以降の放飼は適さない。したがって、イチゴのハウス内でアザミウマ類が徐々に増加する2月下旬~3月が放飼適期であり、25~50頭/m²を2~3回放飼し、必要に応じて影響の少ない薬剤で補

完する。

アカメガシワクダアザミウマは土着の捕食性天敵である。本種はアザミウマ類の幼虫を捕食する他、ハダニ類や花粉も餌とし、クワなどの木本類をはじめとして多くの植物上で観察される。成虫の体長は約1.5mm、黒色を有し、前脚が頑強な点で、植物寄生性のアザミウマ類と区別できる。本種はナスやピーマンと同様に、イチゴへの定着は極めて良く、1花に数頭が定着することもある。一方、本種は薬剤に対する感受性が高く、薬剤との組み合わせの防除体系が組みにくい難点がある。アカメガシワクダアザミウマはアザミウマ類の幼虫を主として捕食するため、放飼適期はスワルスキーカブリダニ同様に2月下旬~3月となる。本種の適正な放飼頭数はまだ明らかになっていないが、2月下旬と3月中旬に成虫を20頭/m²放飼したところ、アカメガシワクダアザミウマの定着は極めて良く、4月中旬までヒラズハナアザミウマの密度を低く抑制した（図2）。

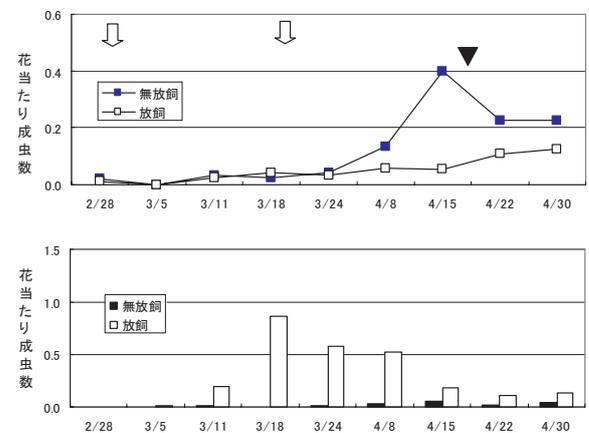


図2 放飼区と無放飼区でのヒラズハナアザミウマ(上)とアカメガシワクダアザミウマ(下)の密度推移

↓ アカメガシワクダアザミウマ放飼 ▼ スピノサド水和剤散布(無放飼のみ)

(嶽本弘之：福岡県農業総合試験場，宮田将秀：宮城県農業・園芸研究センター，柏尾具俊：九州沖縄農業総合研究センター)

将来技術 新規弱毒ウイルスによるピーマンウイルス病の防除技術

1. はじめに

ピーマンはトウガラシ類に含まれるナス科植物で、シントウやパプリカも同じ仲間である。これらは主に施設や露地で周年栽培されているが、栽培中に様々な病害が発生する。それらの内、懸案のウイルス病としてトウガラシマイルドモットルウイルス（PMMoV）によるモザイク病がある。ウイルス病には有効な農薬が皆無であることから、本病が一旦発生するとその防除は困難を極める。この病気は種子伝染および土壌伝染することから、本病の防除法は抵抗性品種の利用、種子消毒の実施、さらに臭化メチル剤による土壌くん蒸が主である。臭化メチル剤は、PMMoVをはじめとする土壌伝染性病害の特効薬として広く利用されてきた。しかし、1992年の「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」第4回締約国会合において、本剤はオゾン層破壊物質に指定され、近い将来、緊急用途を除き全ての用途で製造・使用が禁止されることになった。PMMoVの土壌伝染防止対策はこの臭化メチル剤による土壌くん蒸に完全に頼り切っていたため、本法に代わる防除対策の確立が急務となっている。

一方、PMMoVに対して実用的な抵抗性品種も多数開発され、生産者に特別な労力がかからない防除対策として手軽に利用されてきた。しかし、導入した抵抗性の機能を打破する新型ウイルス系統が発生し新たな被害が生じている。本研究では、抵抗性遺伝子を持つ慣用品種で使える干渉作用の高い弱毒ウイルスを選抜し、それを本モザイク病防除用のワクチンとして利用する技術の開発を目指している。防除効果の高いワクチンの開発は、環境破壊を招く臭化メチルの代替技術となるばかりではなく、化学農薬による土壌への負荷も軽減でき、地球に優しい環境保全型病害防除技術の確立へとつながる。

2. PMMoV によるピーマンモザイク病と弱毒ウイルス

1) ピーマンモザイク病

PMMoVに感染したピーマンは、葉に淡緑色と濃緑色から成るモザイク症状に加え凹凸の波葉が発生し、強烈な生育抑制を受ける（図1）。ウイルスに感染したピーマン個体からでも果実は収穫できるが、収量と品質が極端に低下する（図2および図3）。PMMoVによる本病の第一次感染源は主に汚染種子または汚染土壌であるが、罹病株から端を発する栽培時の整枝や収穫等の管理作業を通じた汁液接触での感染拡大のほうにより深刻である。



図1 栽培圃場におけるワクチン接種ピーマンと罹病ピーマン（左からワクチン接種、罹病、健全の生長点（上段）と全体（下段））

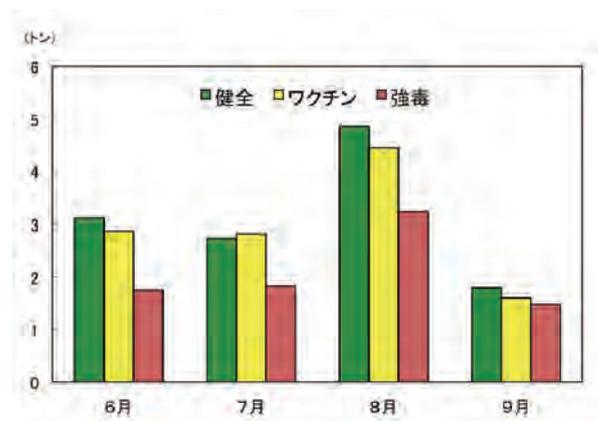


図2 ワクチン接種ピーマンの月別収量調査（10a換算）の比較

*本技術をわかりやすく解説したDVDビデオを付録として巻末に添付した。



図3 ピーマン果実の比較

2) 弱毒ウイルス（ワクチン）

植物は、あるウイルスに感染すると、それ自身や近縁のウイルス系統には再感染しない。この現象は「干渉作用」と呼ばれている。人間を含む動物では、毒性のない弱毒あるいは不活化したウイルスを感染予防のためにワクチンとして用いることがある。動物体内では免疫システムにより投与されたワクチン（ウイルス）に対する抗体が作られ、その抗体が後から侵入する病原ウイルスの感染を防ぐ働きをする。植物にはそのような免疫システムはないが、病原性を極端に低下させた弱毒ウイルスをワクチンとして予防接種することで干渉作用を発揮させ、卓効を示す農薬がないウイルス病害を防除することができる。現在までに、ワクチンとして開発された弱毒ウイルスの配布・入手先等については、先に刊行した「IPM マニュアル」を参照されたい（本田，2005）。トウガラシ類では、PMMoV によるモザイク病防除のためのワクチンが、現在までに数系統選抜されている。しかし、ピーマン等の品種に導入される本病抵抗性遺伝子の変遷に伴い、従来のワクチンは抵抗性品種では利用できなくなってしまった。そこで、現在広く用いられている抵抗性品種にも適用できるワクチン候補株を新たに選抜した。

3) 弱毒ウイルス（ワクチン）の選抜

PMMoV に感染したピーマンに高温処理を行い、そこから病原性を示さない弱毒ウイルス分離株を後藤ら（1984）の方法に従い選抜した。以下に選抜手順の概要を述べる。①ピーマンの主茎に強毒ウイルスを接種し、40℃で約3週間

育成した後、ウイルス集団の中から個々のウイルス分離株を多数選出する。②それらをピーマンに接種し、無病徴を示したピーマンの上位葉からウイルス分離株を取り出して増殖用のタバコで増やす。③これを、再度ピーマンに接種して無病徴であることを再確認し、後日、強制的に強毒ウイルスを接種して分離株の干渉性を調べる。④選抜した弱毒分離株の中には、ピーマンが生長する過程でモザイク症状が復帰するものもあるため、何回接種しても安定的に無病徴を示すものを選抜する。⑤また、ピーマン自体の生育や生産性に対する影響も調査する。

このように、ワクチンには、接種植物において長期間病原性が復帰せず、収量や品質などの経済形質に悪影響をもたらさない程度に安定して増殖し、さらに強毒ウイルスに対する高い干渉性が要求される。

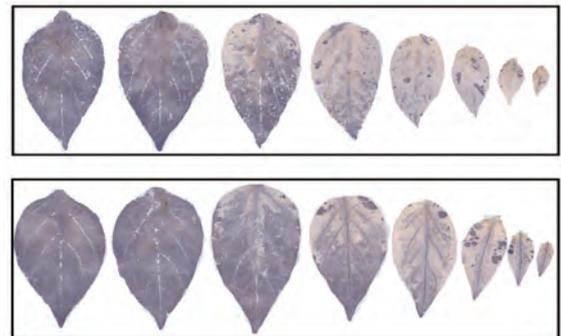


図4 ワクチン接種ピーマンにおける弱毒ウイルスの局在（紫色に変色しているところにウイルスが存在する。上が干渉性の低いワクチン，下が干渉性の高いワクチンの局在を示す。）

より防除効果の高いワクチンを選抜する過程で、優良なワクチンの新たな条件がわかってきた。選抜された数種の弱毒ウイルス分離株で植物体内での増殖量がほぼ同じ場合でも、干渉性の高い分離株は全ての葉においてより広範囲に分布していた（図4）。このことから、防除効果の高いワクチンに要求される能力は、上記に示した長期間の無病徴性、生産性の確保、強毒ウイルスに対する干渉性に加え、さらに植物体内の隅々まで行き渡る分布域の広さも必要である。

3. 本技術の利用方法

ワクチンは、完全展開した子葉に接種する(図5)。子葉にカーボランダムを振りかけてガラス棒または綿棒でワクチン液をやさしく擦りつけ、その後、水で軽く洗い流す。一旦植物体に侵入したワクチンは、植物の生長とともに体内で増殖するので、接種漏れを除き処理は1回で済む。この処理方法では、接種植物体の個数が多くなると処理時間が長くなり労力がかかる。今後、ワクチン処理時間を短縮する接種技術の開発が必要となる。ワクチン処理2〜3週間後、第3〜4位の本葉の一部を切り取り、血清試験などでワクチン処理後の陽性検定をする。その後の育苗並びに定植は慣行栽培と同様である。



図5 弱毒ウイルス接種作業

4. 本技術の予防効果と留意点

圃場内に一株でもモザイク病が発生すると、定植後の整枝や収穫等の栽培管理作業で容易に

感染拡大する。実際の管理作業でのワクチン処理による予防効果を検討した。管理作業において、常に強毒ウイルスで汚したハサミを用いると、無処理ピーマンでは3〜4週間後に一斉に発病した。これに対して、ワクチン処理したピーマンに対して同様の作業を行っても、栽培期間を通じて発病は認められなかった(表1)。このことから、このワクチンは発病予防効果を十分に備えていることが示された。続いて、ワクチン処理したピーマンの生長や果形、収量を調査した。その結果、ワクチン処理ピーマンは、無処理株と比べ栽培初期に若干の生育の遅れが認められたが、最終的には無処理株と同等に生長し(図1)、果形と果実の収量についても、ワクチン処理株と無処理株間では大差は認められなかった(図2および図3)。

本技術を利用する場合の留意点として、ワクチン接種ピーマンの栽培環境に注意する必要がある。これまで開発してきたワクチンは、高温処理により突然変異を誘発して選抜した。従って、温度変化の激しい環境で利用すると、ワクチンとして機能している弱毒ウイルスが病原性を示す新たな突然変異ウイルスに変わる危険性がある。そこで、ハウス内をこまめに換気し高温にならないよう通気性を確保する必要がある。また、この弱毒ウイルスはPMMoVによるモザイク病のみしか効果を示さない。そこで他病害の発生を回避するために、ハウスの側・天窓に防虫ネットを整備することも重要である。

表1 収穫時にウイルス汚染ハサミを使用した際のワクチン接種ピーマン防除効果

摘果月日	入鉢回数									
	無接種株					ワクチン接種株				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
6月1日	5	5	2	5	3	3	5	4	5	3
6月9日	6	5	6	6	7	7	9	6	4	6
6月15日	8	4	9	14	13	3	12	10	8	11
6月22日	16	発病	13	15	19	13	17	16	13	12
6月29日	18		13	15	23	22	12	9	15	10
7月5日	発病		発病	発病	12	15	7	10	8	14
7月12日					発病	4	14	24	11	10
7月20日						25	23	13	22	6
7月27日						32	8	13	10	37
8月3日						無発病	無発病	無発病	無発病	無発病
合計入鉢回数	53	14	43	55	77	124	107	105	96	109

5. 技術の実用化に向けた課題等

我が国の農薬取締法では、作物の病虫害防除を目的として製造・販売・使用される全ての資材は農薬として扱われる。つまり、市販の化学農薬は元より、コーンスターチや焼酎（泡盛）等の食品、さらに天敵昆虫等の生物までも含め病虫害防除目的で使われる資材は全て農薬と見なされ、農林水産省への登録が義務付けられる。しかし 2002 年の本法律の改正で、農家の知恵として広く知られ、一定の安全性が担保される食品等の資材については特定農薬（特定防除資材）として指定する新たな制度が創設された。特定防除資材とは、人畜および環境に対して明らかに安全であることが認められる病虫害防除資材に対して農林水産大臣と環境大臣の両者が指定するものであり、指定された資材は登録義務や使用規制を受けることなく広く製造・販売・使用が可能となる。これは作目、使用剤型さらに使用方法ごとに登録を必要とする農薬の取扱いとは大きく異なる。現在指定されている特定防除資材は、食酢、重曹および県境を跨がない産地周辺で捕獲された天敵の 3 種類である。農林水産省では、これら 3 種類以外にパブリッ

クコメントを通して寄せられた膨大な特定防除資材の候補について、指定可否の検討を開始した。弱毒ウイルス（ワクチン）は、人畜に感染しないことからこの候補の中にあるが、現在のところ指定までには至っていない。

農業現場において、弱毒ウイルスをワクチンとして利用するために生物農薬として登録する方法も考えられるが、農薬として種々の制約のない特定防除資材の指定を受けることはより有効な手段と思われる。ウイルス病の被害を受けている作物の実際の生産体系において、弱毒ウイルスをワクチンとして利用するための最も使い勝手のよい体制を整備することが本技術の広い普及に繋がるものと考えられる。

参考文献

- 1) 本田要八郎 (2005) : IPM マニュアル, 梅川 學ら編, 中央農業総合研究センター, p.203 ~208.
- 2) 後藤忠則ら (1984) : 日植病報 50:221~228.
(神田絢美・津田新哉 : 中央農業総合研究センター)

将来技術 複合抵抗性誘導機構を活用したキュウリ うどんこ病等の制御技術

1. はじめに

施設キュウリでは、うどんこ病、べと病、褐斑病などの発生が多い。これに対して主として殺菌剤の使用による防除が頻繁に行われる。ところが、うどんこ病菌では、DMI 剤（ステロール脱メチル化阻害剤）やストロビルリン系薬剤、さらにシフルフェナミド剤に対する耐性菌が、またべと病菌ではフェニルアマイド系薬剤やストロビルリン系薬剤に対する耐性菌が、国内に広く分布して、これら薬剤の効果が低下している。病害防除に通常の殺菌剤を使用する限り、今後も新たな耐性菌問題の発生は避けられない。

新規薬剤の開発・普及と耐性菌発生との悪循環を断ち切るためには、病原菌には直接的な殺菌作用をもたないにもかかわらず、植物に免疫を付与して持続的な複合抵抗性（複数の病害に対する抵抗性）をもたらす「植物多価ワクチン」ともよぶべき抵抗性誘導剤が有望である。複雑なメカニズムがネットワークを作って病害抵抗性を誘導するため、病原菌がこれを打ち破って耐性化する可能性は低いと考えられる。過去 30 年間以上にわたって、イネいもち病防除に重要な役割を果たしているプロベナゾール剤は、世界で最初に実用化された抵抗性誘導剤であるが、これまで耐性菌の出現は知られていない。

ここでは抵抗性誘導化合物のアシベンゾラル S メチルを取り上げるが、これは海外では実際に使用されているものの、現在国内での農薬登録は失効している。このため、以下の記述は将来において利用できる可能性のある技術として紹介する。なお、ここで述べる試験結果は、アシベンゾラル S メチル 50% 顆粒水和剤（以下 ASM と略、シンジェンタジャパン（株）提供）を使用して得られたものである。

2. 複合抵抗性誘導機構を活用したキュウリうどんこ病、べと病等の制御

1) 複合抵抗性誘導剤 ASM について

アシベンゾラル S メチルはベンゾチアジアゾール系化合物（BTH）の一種で（図 1）、その作用は病害抵抗性に重要な役割を果たすことで知られているサリチル酸の作用に類似する。ASM は、ごく一部の例外を除いて病原糸状菌の

胞子発芽や菌糸生育、細菌の増殖を直接的に抑制する作用は持たず、非殺菌性化合物とよばれる。つまり、キュウリうどんこ病菌、べと病菌などに対する殺菌効果は認められていない。しかし、植物をあらかじめ ASM で処理しておくことで、抵抗性が誘導されて病原菌の侵入や進展が抑えられ、発病が抑制される。また、ASM によるこの抵抗性誘導は全身的におこり、かつ持続性がある。このため、キュウリ栽培においては薬剤散布回数の削減が可能になると考えられる。

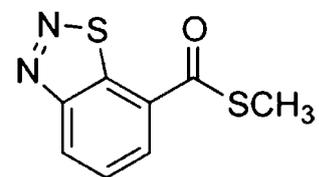


図 1 全身抵抗性誘導化合物アシベンゾラル S メチル

2) ASM による局所的抵抗性誘導

キュウリ苗へのうどんこ病菌の接種試験による、ASM の発病抑制効果を図 2 に示す。対照として蒸留水を散布してうどんこ病菌を接種した場合には株全体に激しく発病する（左：発病度 95.6）が、ASM100ppm（有効成分濃度、以下同様）液を散布した場合にはごくわずかの発病にとどまり（中央：発病度 8.9）発病が著しく抑制される。対照薬剤として用いたトリフルミゾール水和剤 100ppm（有効成分濃度）では無発病であり（右：発病度 0）、これに比べるとや



図 2 アシベンゾラル S メチルによるキュウリうどんこ病の発病抑制

左から蒸留水区、ASM100ppm 区、トリフルミゾール（対照薬剤）100ppm 区

や劣るものの、ASM100ppmには高い効果があることがわかる。ここでは、苗全体にASMを散布処理したが、ASMには殺菌効果がないので、散布した部分での抵抗性、つまり局所的な抵抗性誘導が確認されたことになる。

3) ASMによる全身抵抗性の誘導

ASMの処理によっておこる全身的な抵抗性の誘導を、図3に示すモデル実験で説明する。3葉期程度のキュウリ苗の第1葉（一番下の本葉）をASM100ppm液（対照では蒸留水）に浸漬する。3時間後、苗全体に病原菌の孢子懸濁液を噴霧接種し、べと病菌や炭疽病菌の場合は20℃、高湿度の条件に24時間おき、その後25℃の温室に移す。そして、接種7日後に発病の程度を調査する。うどんこ病菌の場合は、接種後高湿度条件にはおらず、そのまま25℃に保って、接種10日後に発病調査を行う。

ASMのキュウリべと病に対する全身抵抗性誘導の試験結果を表1に示す。ASMを処理した第1葉のみならず、処理していない第2葉や第3葉でもべと病の発生がみられず、高い発病抑制効果を示している。このように、ASMは処理した部位における局所的な抵抗性だけでなく全身抵抗性も強く誘導する。

農家のキュウリハウスや圃場では多くの場合、複数の病害が発生するが、ASMはうどんこ病、べと病、炭疽病のほか、黒星病、斑点細菌病などに対しても高い発病抑制効果を示し、他に例をみない幅広い複合抵抗性を誘導する。ただし、近年全国的に重要病害となり、ストロビルリン系薬剤やボスカリド剤に対する耐性菌が問題となっているキュウリ褐斑病には全く効果がみられない。

表1 アシベンゾラルSメチルのキュウリべと病に対する発病抑制効果（第1葉浸漬処理）

処理	葉位別発病抑制率 (%)			平均
	第1葉	第2葉	第3葉	
ASM 100ppm	100	100	100	100
蒸留水	(40.0) ^a	(33.3)	(26.7)	(33.3)

^a 発病度

4) ASMによる全身抵抗性誘導の持続期間

全身抵抗性の誘導効果がどれくらいの期間持続するかをキュウリ炭疽病で調べてみると、図3に示した第1葉の浸漬処理から少なくとも1ヶ月間は、効果が持続する（表2）。栽培様式や時期、病害の発生状況などによって大きく異なるものの、キュウリの生育期間中ハウスでは1週間から10日間隔くらいで殺菌剤が散布されることが多い。ASMのこの結果は、農薬の使用回数の削減による環境負荷の軽減や、軽労化などの点で抵抗性誘導剤がもつ大きな可能性を示唆する。

表2 アシベンゾラルSメチルのキュウリ炭疽病に対する抵抗性誘導効果の持続性（第1葉浸漬処理）

処理	発病抑制率 (%)			
	処理後、病原菌接種までの期間 (週)			
	1	2	3	4
ASM 100ppm	98.4	97.0	97.8	79.6
蒸留水	(36.4) ^a	(13.3)	(22.4)	(38.2)

^a 1葉当たりの病斑数。

5) ASMの圃場における効果

温室におけるモデル実験でみられたASMの高い発病抑制効果やその持続性が、実際の圃場でもみられるかを数年間にわたって調べた。研究所のビニルハウス内にキュウリ苗を定植し、その翌日または数日後からASMと対照薬剤であるTPN水和剤をハンドスプレーで散布した。ASMについては散布間隔を拡げて回数を半分に減らした区も設けた。うどんこ病・べと病・ウイルス病耐病性品種の「Vロード」を用いた試験結果の例を図4に示す。ASM100ppmの2

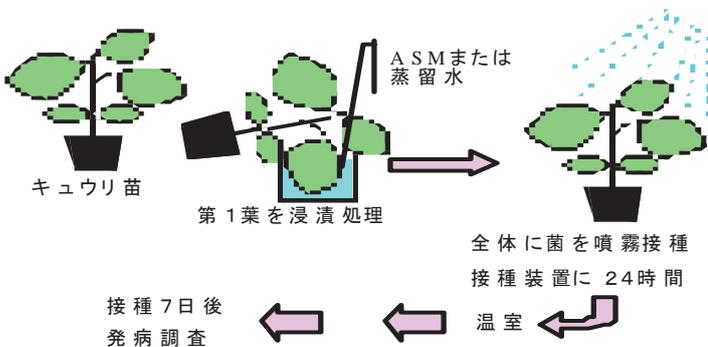


図3 全身抵抗性誘導の実験方法

週間間隔 4 回散布や 4 週間間隔 2 回散布は、TPN 水和剤 400ppm（有効成分濃度）の 2 週間間隔 4 回散布と同等かやや優るうどんこ病防除効果を示した。ASM による全身抵抗性誘導の持続的効果により、薬剤散布回数を通常の半分程度に削減しても、うどんこ病の効果的な防除が期待できることが明らかである。

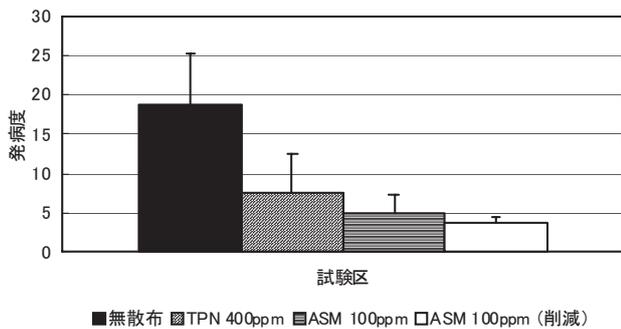


図4 アシベンズラル S メチルのキュウリうどんこ病防除効果 (Vロード)

次に、べと病に関する試験例を紹介する。ビニルハウスにキュウリ（品種：「パイロット 2 号」およびうどんこ病・べと病耐病性の「夏ばやし」）を定植し、4 日後から対照薬剤の TPN 水和剤は 7 日おきに計 6 回散布，ASM および TPN 水和剤加用 ASM の散布はそれぞれ 14 日おきの計 3 回として回数を半減した。その結果、「パイロット 2 号」，「夏ばやし」とともに，TPN 水和剤 400ppm の 6 回散布よりも ASM100ppm の 3 回散布で防除価が高かった（表 3）。また，TPN 水和剤加用 ASM の 14 日ごとの 3 回散布ではさらに防除価が高かった。

TPN 水和剤はうどんこ病・べと病のほか，ASM による効果が期待できない褐斑病の同時防除にも使用できる。また，TPN 水和剤加用 ASM は耐性菌対策上も有効であるのみならず，混用によって両薬剤の有効成分量を下げることが期待できそうである。

3. 技術の概要

上述の防除試験等で示したように，ASM は他の水和剤と同様にビニルハウス内でキュウリに散布することによって発病抑制効果を発揮でき，散布間隔は慣行薬剤の 2 倍の 2 週間間隔とすることができる。散布間隔を半減できれば，各種病害の防除コストを削減することができる。

ASM の散布は，キュウリうどんこ病やべと病

表 3 アシベンズラル S メチルのキュウリべと病防除効果

品種	試験区と防除価		
	ASM 100ppm	TPN 400ppm	TPN400ppm 加用 ASM100ppm
パイロット 2 号	72.9	60.0	80.5
夏ばやし	86.2	66.5	93.9

注：無散布区の発病度は，パイロット 2 号 26.4，夏ばやし 28.6。

の場合，「夏ばやし」や「Vロード」のような耐病性品種と併用することによって，一般の品種を用いた場合に比べて防除効果が高くなる傾向がある。その意味では ASM は IPM（総合的病害管理）における有力な素材の 1 つと位置づけることができよう。ただし，キュウリ褐斑病耐病性品種を用いた場合には，原因は不明ながら ASM のうどんこ病やべと病に対する防除効果が低下する。

ASM は抵抗性誘導という作用の特性から，高い防除効果を発揮させるためには病原菌が感染する前から予防的に散布することが不可欠である。これによって，キュウリの防御機能を十分に活性化させておくことができるが，感染後の処理では効果はほとんど期待できない。

また，効果の高い抵抗性誘導剤にほぼ共通する性質として，植物への薬害の問題がある。ASM の場合も，使用濃度を高くしたり薬量を多くすると，葉が小さくなったり葉縁が曲がるなどの薬害を生じるので，注意が必要である。

4. 技術の実用化に向けた課題等

ASM を実用技術とするための最大の問題は薬害回避と，農薬登録の問題である。ASM は以前わが国でも，商品名バイオオンとしてイネのいもち病と白葉枯病に農薬登録があったが，現在は失効している。このため，農家が使用することは出来ない。ASM がわが国で再び農薬登録されるかどうかは，現段階では不明であるが，海外では多くの国で登録されて実際に使われている。アメリカで ASM はトマトの細菌病に，また韓国ではマンゼブ剤との混合剤としてトウガラシ炭疽病やリンゴ炭疽病ほかの防除に使われている。

ASM の実用化に向けては、低コストで簡便な処理方法の検討も必要である。試験段階では、この顆粒水和剤をキュウリ定植時に植え穴土壌混和処理した場合にも、生育初期におけるうどんこ病やべと病の発生を抑える効果がある（表4, 5）。また、キュウリ種子をASMで浸漬処理してから播種・育苗した後に定植しても、生育初期の発病を強く抑える効果がある（表4）。これらの方法は、低コストで簡便であり、実用化に際しての利点になるものと考えられる。

表4 アシベンゾラル S メチルのキュウリうどんこ病防除効果（品種：夏ばやし）

処理	発病度	防除価
ASM 100ppm 散布	0	100
ASM 50ppm 種子浸漬	0	100
ASM 0.375g 土壌混和	0	100
ASM マイクロカプセル 25mg 土壌混和	2.4	87.2
TPN 400ppm 散布	9.4	50.3
無散布	18.8	

表5 アシベンゾラル S メチルのキュウリべと病防除効果（品種：夏ばやし）

処理	発病度	防除価
ASM 0.375g 土壌混和	6.3	83.4
ASM マイクロカプセル 25mg 土壌混和	13.5	64.3
TPN 400ppm 散布	13.3	64.9
無散布	37.9	

ASM は最初ドイツとスイスで、コムギうどんこ病の防除剤として、ただし殺菌剤としてではなく Plant tonic（プラントトニック：わが国ではこの登録区分はない）として登録された。初期の頃問題視されたコムギの薬害は、散布時期を工夫することで解消されたが、ほかに DMI 剤などの優れた薬剤があったため、ASM 剤が多く使用されることにはならなかった。わが国においても、抵抗性誘導剤であるプロベナゾールが長い間代表的ないもち病防除剤として使用されてきたため、これに取って代わることは出来なかった。

しかし、野菜や果樹の中には頻繁な薬剤防除

を必要としたり、あるいは耐性菌の蔓延で有効な防除薬剤に事欠く作物も多い。このため、ASM をはじめとする抵抗性誘導剤は、むしろこのような場面に使用されるのが望ましい。ただし、ASM の場合、作物によっては薬害が適用を進めていく上で最大のネックとなっている。このため他機関と共同で、徐放性を持たせた ASM のマイクロカプセル剤を調製し、その病害防除効果や薬害回避効果等を現在検討中である（表4, 5）。

参考文献

- 1) Ishii, H. et al. (1999): *Eur. J. Plant Pathol.* 105: 77~85.
- 2) 石井英夫 (1999): 今月の農業 43(6): 22~27.
- 3) ——— (1999): 植物防疫 53: 393~397.
- 4) ——— (2002): 農業および園芸 77: 361~367.
- 5) ——— (2003): 今月の農業 47(10): 13~18.
- 6) 岩田道顕 (2001): 日本植物病理学会植物感染生理談話会論文集 37: 1~13.
- 7) Oostendorp, M. et al. (2001): *Eur. J. Plant Pathol.* 107: 19~28.
- 8) 辻本一幸 (1999): 今月の農業 43(6): 38~42.
- 9) 山口 勇 (2001): 日本植物病理学会バイオコントロール研究会レポート 7: 52~61.
- 10) 山下慶晃 (2004): 植物病の探究（「植物病の探究」出版会）: 172~174.

（石井英夫：農業環境技術研究所）

将来技術 土着天敵寄生蜂ギフアブラバチとバンカー法を活用した施設ナス等のジャガイモヒゲナガアブラムシの防除

1. はじめに

わが国の施設野菜栽培で問題となる主なアブラムシ類には、ワタアブラムシ、モモアカアブラムシ、ヒゲナガアブラムシ類がある。前2種は、従来から発生量が多く、作用機作の広い非選択性殺虫剤の多用により薬剤抵抗性個体群が多発して防除が困難であったが、浸透移行性、残効性に優れた選択性殺虫剤や天敵昆虫コレマンアブラバチの利用が進み、比較的安定して防除できるようになった。しかし、近年、ナスやピーマンなどでジャガイモヒゲナガアブラムシ（図1）による被害が増加している。その原因として、コレマンアブラバチがヒゲナガアブラムシ類に寄生できないことや、その他の天敵類や受粉昆虫の導入に伴う殺虫剤の使用制限などが挙げられる。2000年頃に、ヒゲナガアブラムシ用天敵としてヨーロッパなどで市販されている寄生蜂の導入が検討されたが、わが国のヒゲナガアブラムシ類への寄生効率が著しく低かったため見送られた。



図1 ジャガイモヒゲナガアブラムシ

そこで、国内に生息するアブラムシ寄生蜂の中からジャガイモヒゲナガアブラムシ防除に有効な天敵種を選定し、併せて、「天敵類の開放型飼育システム」であるバンカー法を開発したので、土着寄生蜂を利用したジャガイモヒゲナガアブラムシの将来的な防除技術として紹介する。

2. 防除資材の特徴と対象

ギフアブラバチ *Aphidius gifuensis* (図2) は、日本や朝鮮半島、台湾、中国等の東アジア地域に生息するアブラムシ寄生蜂である。ワタアブラムシ等の天敵製剤として市販されているコレマンアブラバチと同じ属だが、成虫は明るい黄褐色を呈しているものが多く、黒褐色系のコレマンアブラバチとは異なる。前翅の翅脈模様や触角数等の微細な外部形態でも区別が容易である。詳細は Takada (1998, 2002) が参考になる。



図2 ギフアブラバチによるアブラムシへの産卵（寄生）

ギフアブラバチの雌成虫は、アブラムシの存在を感知すると、腹部を胸部の下に折り曲げた後、腹部末端にある産卵管を相手の体表面に突き伸ばして、その体内に卵を産み付ける（図2）。産卵（寄生）はごく短時間で完了し、1回に1個を産卵する。寄生されたアブラムシは、温度25℃で飼育すると、約7日後にはパール色のマミーに変化し、その約4日後にはマミー中からアブラバチの新成虫が羽化してくる (Ohta et al., 2001)。雌雄の性比は、およそ6:4である。雌成虫に毎日十分な数のモモアカアブラムシを与えると、1頭あたり生涯で最大500頭余りのアブラムシに寄生でき、内的自然増加率もアブラムシより大きい (Ohta and Ohtaishi, 2004)。

ギフアブラバチに対して4種類の野菜害虫アブラムシ(ワタアブラムシ, モモアカアブラムシ, ジャガイモヒゲナガアブラムシ, チューリップヒゲナガアブラムシ)を与えると, モモアカアブラムシとジャガイモヒゲナガアブラムシへの寄生が認められる(図3)。また, 発育期間(新成虫が羽化するまでに要した時間)や羽化成虫の体のサイズも, モモアカアブラムシとジャガイモヒゲナガアブラムシで差はみられない(表1)。

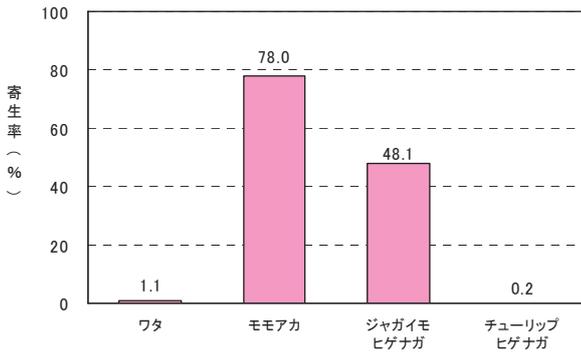


図3 野菜害虫アブラムシ4種に対するギフアブラバチの寄生率 (Ohta and Honda, 投稿中)

表1 各種アブラムシに寄生したギフアブラバチ(雌)¹⁾の発育期間と羽化成虫の体サイズ (Ohta and Honda, 投稿中)

寄主アブラムシ	個体数	発育期間 (日) ²⁾	体サイズ	
			前翅長 (mm) ²⁾	後脚脛節長 (mm) ²⁾
ムギヒゲナガ	196	11.3	1.79	0.71
エンドウヒゲナガ	136	11.6	1.95	0.79
モモアカ	148	11.2	1.79	0.69
ジャガイモヒゲナガ	141	11.0	1.85	0.73

¹⁾ 温度25°C, 日長14L-10Dで飼育 ²⁾ 平均値

これらの結果から, ジャガイモヒゲナガアブラムシの生物的防除用の天敵としてギフアブラバチが有望なことが明らかである。なお, 本種の利用対象は施設栽培のナス, ピーマンである。露地では, 放飼した天敵の逃亡や2次寄生蜂の存在, 気温の変動など天敵の効果を不安定化させる因子が多く存在するため, 利用は想定していない。

3. 技術の概要

1) ギフアブラバチのバンカー法

アブラムシ類のように増殖率がきわめて高い害虫では, 天敵の捕食寄生効率が害虫の増殖率に追いつけず, 生物的防除に失敗することが少なくない。この対策として“バンカー法”がある。バンカー法は, 害虫の侵入発生前から, 天敵とその餌昆虫およびそれを維持するための植物を置き, ほ場内での天敵密度を常に一定以上に保つておくことにより, 施設外から侵入してくる対象害虫を低密度の段階で制御する技術である。最も成功している例は, コレマンアブラバチ-ムギクビレアブラムシ-ムギ類(天敵-餌昆虫-寄主植物)の組み合わせで長坂(2005)に詳述されている。

ギフアブラバチのバンカーに用いる代替寄主アブラムシ(餌昆虫)には, ムギヒゲナガアブラムシ *Sitobion avenae* が適している(図4, 5)。本種は体長2~3mmの比較的大型のアブラム



図4 ムギヒゲナガアブラムシ

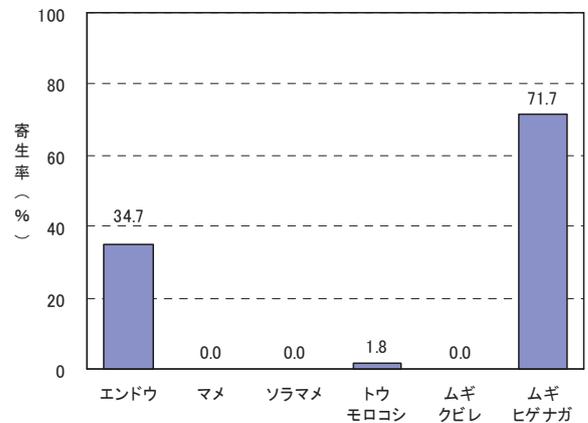


図5 代替寄主アブラムシ候補6種に対するギフアブラバチの寄生率 (Ohta and Honda, 投稿中)

シで、おもにイネ科草本植物を寄主とし、ナスやピーマンには加害しない。体色は黄緑色～緑色だが、褐色を呈する個体もある。野外ではイネ、ムギ類の穂部に寄生していることが多い(鳥倉, 2000)。なお、ギファブラバチはムギクビレアブラムシに寄生できないため(図5)、コレマンアブラバチ用のバンカー(ムギクビレアブラムシ+ムギ類)をギファブラバチに利用することはできない。

ポット植えのナスにジャガイモヒゲナガアブラムシを接種すると、アブラムシの数は急激に増加する。しかし、予めギファブラバチのバンカー(ギファブラバチ+ムギヒゲナガアブラムシ+ムギ類)を設置しておく、ナス上のジャガイモヒゲナガアブラムシの増殖は抑制されて、ギファブラバチによる防除効果が得られる(図6)。

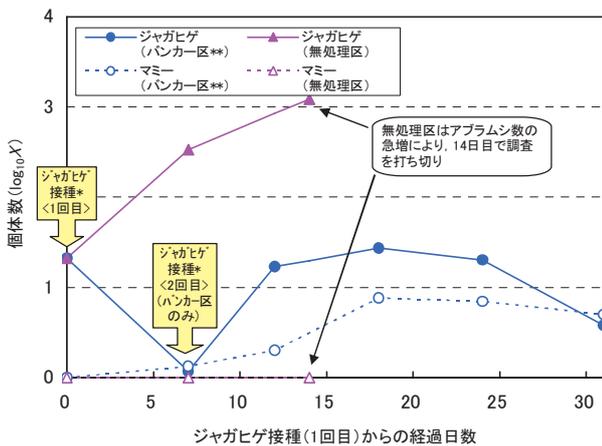


図6 ギファブラバチバンカーによるナスでのジャガイモヒゲナガアブラムシの増殖抑制 (*接種密度: 無翅成虫 20 頭/株/回, **バンカーはアブラムシ接種 1 回目の 10 日前に設置)

2) ギファブラバチとムギヒゲナガアブラムシの増殖方法

ギファブラバチの増殖にはムギヒゲナガアブラムシを用いる。表2は、ギファブラバチとムギヒゲナガアブラムシの発育データである。表中の回帰式に飼育温度 (T) を代入すれば、発育期間 (D) が求められる(その逆も可)。一般に、アブラバチは雌よりも雄の発育期間が短く、アブラムシでは有翅虫よりも無翅虫の発育期間が短い。なお、 15°C 以下の低温や 30°C 以上の高温では回帰式の当てはまりが悪くなる。

図7は、ギファブラバチとムギヒゲナガアブラムシの増殖手順である。これは、試験研究レベルで必要なアブラバチとアブラムシを維持増殖するための最小規模の増殖手順であり、増殖の目的や必要量に応じて改良する必要がある。仮に作業にかかる労働賃金単価を 800 円/時間とすれば、ギファブラバチの生産コストは約 1.5 円/頭と試算される。

ムギ類には、種類や品種によってムギヒゲナガアブラムシの増殖に適さないものがある。これは、ムギ体内に含まれるグラミン等のアブラムシ吸汁阻害物質の影響によるものであり、特にオオムギは、品種によってグラミン含有量が大きく異なり、幼苗期に最も多く含まれるという(兼久ら, 1993, 1995)。ここで取り扱ったムギ類の中では、オオムギ「春雷」の幼苗がムギヒゲナガアブラムシの飼育に不適であった(図8)。したがって、ムギヒゲナガアブラムシの飼育に際しては、寄主植物であるムギの種類や品種の影響にも留意する必要がある。

4. 今後の技術開発の方向

2008年10月現在、ギファブラバチは生物農薬としては市販されていない。また、図6に示した放飼

表2 ギファブラバチとムギヒゲナガアブラムシの発育データ

供試虫	発育零点 ($^{\circ}\text{C}$)	有効積算温度 (日度)	回帰式 ¹⁾	r^2	実測値(平均, 日)		
					16°C	20°C	24°C
ムギヒゲナガ無翅 ²⁾	3.8	139.8	$DT=3.8435D+139.83$	0.999	11.5	8.4	6.9
ムギヒゲナガ有翅 ²⁾	5.6	138.7	$DT=5.6404D+138.70$	0.881	13.1	9.8	7.3
ギファブラバチ♀ ³⁾	4.7	221.3	$DT=4.7400D+221.28$	0.995	19.6	14.6	11.5
ギファブラバチ♂ ³⁾	4	223.9	$DT=3.9965D+223.94$	0.992	18.7	13.9	11.3

1) 池本・高井法(2001) T =温度, D =発育期間 2) 寄主植物: コムギ「あやひかり」 3) 寄主: ムギヒゲナガアブラムシ

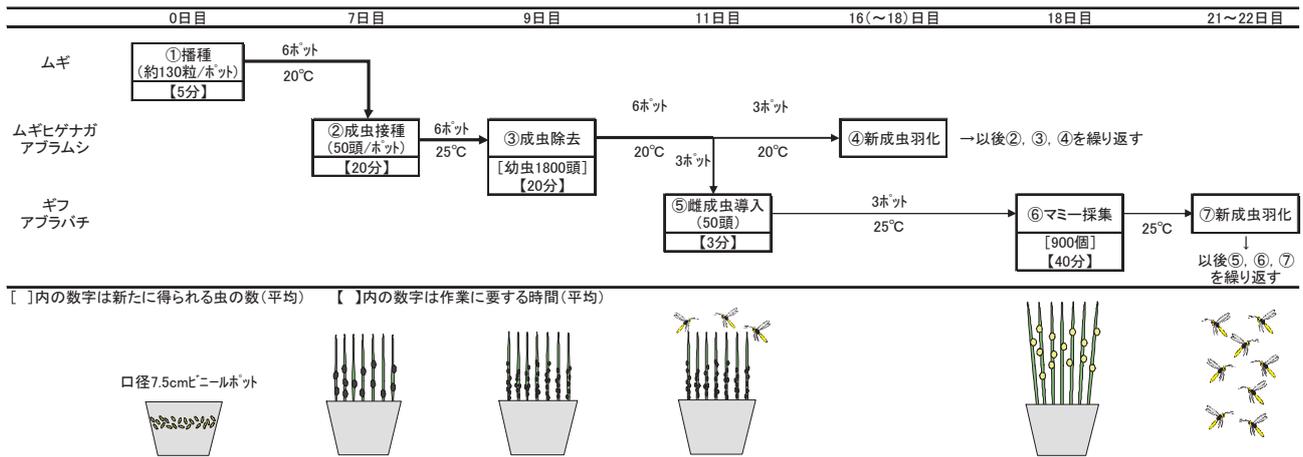


図7 ギフアブラバチとムギヒゲナガアブラムシの増殖手順

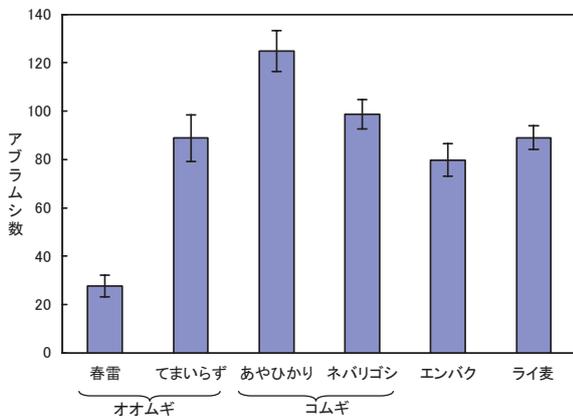


図8 各種ムギ類でのムギヒゲナガアブラムシの増殖 (5反復の平均値。各品種の幼苗に無翅成虫を10頭ずつ接種し、温度20℃・日長14L・10Dで飼育。7日後のアブラムシ数を記録)

試験は、小型のガラス温室で行われた結果であり、実際の施設ほ場内での試験例はまだ少ない。そのため、今後はほ場スケールでのバンカーの適切な導入時期や規模について検討する必要がある。その際、前出のコレマンアブラバチのバンカー法(長坂, 2005)が参考になると考えられる。

ナス、ピーマンではワタアブラムシも発生するため、コレマンアブラバチとの同時放飼が想定される。ギフアブラバチはムギクビレアブラムシに寄生できず(図5)、また、コレマンアブラバチはムギヒゲナガアブラムシに寄生できないため(データ省略)、両アブラバチが代替寄主アブラムシ

をめぐって競争する可能性は低く、同所的な利用は可能と考えられる。ただし、ムギクビレアブラムシはムギヒゲナガアブラムシよりも増殖率が高い傾向があり(阿部, 未発表)、ギフアブラバチ用のバンカーにムギクビレアブラムシが混入すると、ムギヒゲナガアブラムシがムギクビレアブラムシに駆逐される可能性がある。よって、両バンカーを同じ施設内で利用する際の設置方法等についても検討が必要である。

参考文献

- 1) 池本孝哉・高井憲治(2001): 植物防疫 55: 311～315.
- 2) 兼久勝夫ら(1993): 岡大資生研報. 1: 105～112.
- 3) 兼久勝夫ら(1995): 同上 3: 17～26.
- 4) 長坂幸吉(2005): アブラムシ対策としての「バンカー法」技術マニュアル 近畿中国四国農業研究センター
- 5) Ohta, I. et al. (2001): Appl. Entomol. Zool. 36: 103～109.
- 6) ——— and M. Ohtaishi (2004): ibid. 39: 113～117.
- 7) Takada, H. (1998): ibid. 33: 59～66.
- 8) ——— (2002): ibid. 37: 237～249.
- 9) 鳥倉英徳(2000) 植物防疫 54: 187～191.

(太田 泉: 野菜茶業研究所)

将来技術 エンドウのナモグリバエの土着天敵群集を活用した 施設ナスでのハモグリバエ類の防除技術

1. はじめに

施設栽培の害虫を対象に、さまざまな天敵資材が市販されている。しかし、生産現場では依然として農薬中心の防除が続けられている。多様な防除を組み合わせた総合的害虫管理と言っても、現在の体系は conventional IPM であり、非選択的農薬が頻繁に散布される状況下で、天敵を活用する余地は少ない。また、効果の不安定性や費用の高さから、天敵は使い難い防除技術となっている。特に宮崎県南平野部では、9月からの抑制栽培キュウリの後に3月から促成栽培ナスが続くため、前作キュウリから害虫が持ち込まれ、ナスでは栽培初期から害虫密度が高い。このため、大量の天敵を定植時から導入する必要があるが、栽培期間も短いため、生物的防除に要する費用は経済的に引き合わない結果となっている。

本技術では、生態系の機能を導入し、土着天敵の有効利用方法を開発することにより、天敵を基幹とした総合的害虫管理 (Biointensive IPM) の確立を図る。ここでは、ナモグリバエ (図1) の寄主植物であるエンドウを天敵温存植物 (インセクタリー・プラント) と位置付ける。地域農家が地域に生息する天敵を簡単に施設ほ場に導入するシステムは、天敵利用の費用軽減、技術の簡易化につながると期待される。

2. 防除対象と防除資材の特徴

マメハモグリバエ (図2, 3) とトマトハモグリバエはいずれも農薬に対して高度の抵抗性を発達させており、1990年代に世界に分布を拡大した種である。加害植物の種類は兩種とも多様であり、幼虫が野菜や花き類の葉に潜孔した場合には、農産物の商品的価値を著しく低下させることになる。

ナモグリバエ幼虫 (図4) はレタスやエンドウ、インゲンなどの葉に潜孔する。本種の土着寄生蜂群集は多様でコマユバチやヒメコバチなど30種近い種が報告されている (小西, 1998)。この中には、マメハモグリバエやトマトハモグリバエなどで記録されている種も多く含まれる。



図1 ナモグリバエの雌成虫



図2 マメハモグリバエの雌成虫

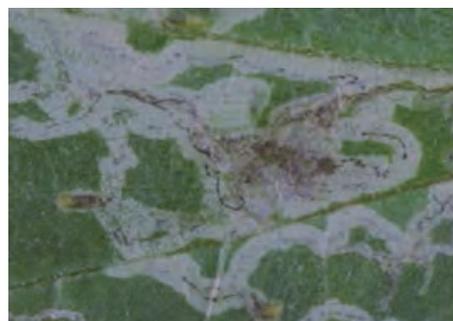


図3 ナス葉でのマメハモグリバエ幼虫の潜孔



図4 エンドウ葉でのナモグリバエ幼虫の潜孔

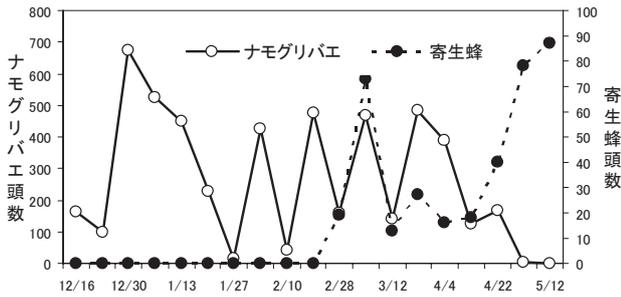


図5 エンドウほ場におけるナモグリバエと寄生蜂の黄色粘着トラップ誘殺数 (2003~2004年, 週あたりトラップあたり成虫数, 平均±SE)

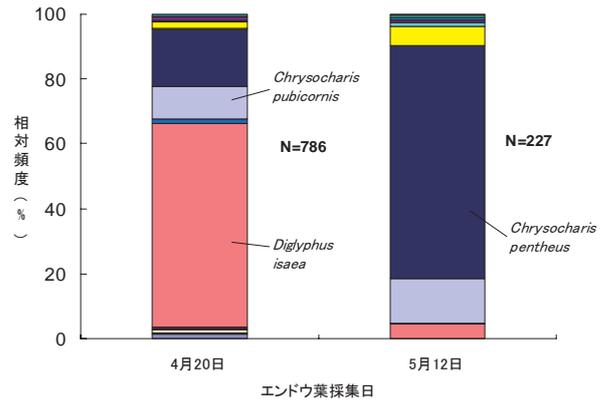


図6 エンドウのナモグリバエから得られた寄生蜂の種構成 (2005年採集)

3. ナモグリバエと寄生蜂の発生消長

エンドウでは、ナモグリバエ成虫は冬季も活動し、12月中旬から1月上旬には多数の成虫が誘殺されるが、寄生蜂は気温が高くなる2月下旬まで観察されない (図5)。

冬季から春季のナモグリバエと寄生蜂個体群の気温に依存した活動性の違いが、エンドウでのナモグリバエや土着天敵個体群の形成に大きく関わっている。エンドウの生育、ナモグリバエ幼虫の増殖、そして土着天敵の増殖という大量増殖工場のような流れが、エンドウほ場で成立していると言える。

4. ナモグリバエの土着天敵群集

エンドウのナモグリバエから羽化する土着天敵は、九州ではコマユバチ科 (*Braconidae*) の *Dacnusa nipponica* や *Opius* sp., コガネコバチ科 (*Pteromalidae*), ヒメコバチ科 (*Eulophidae*) など20種前後の寄生蜂が記録されている (大野, 2006; 福原・高木, 2007)。ナモグリバエの土着天敵群集で優占種となっているのは幼虫寄生蜂の *Chrysocharis pentheus* や *Diglyphus isae*, 蛹寄生蜂の *C. pubicornis* (プビコルニスヒメコバチ) である。

5. ナモグリバエ土着天敵群集の効果

施設ナスほ場に発生したハモグリバエは、トマトハモグリバエが優占的な場合と、マメハモグリバエが優占的な場合があった。

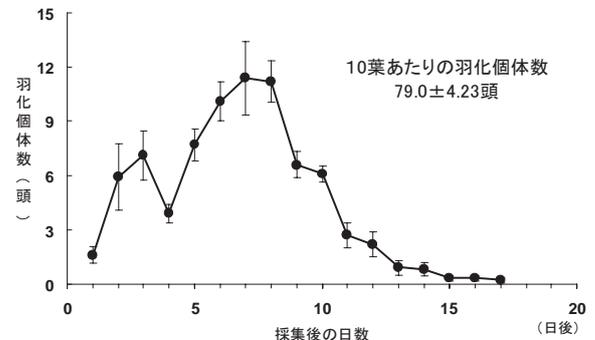


図7 エンドウのナモグリバエ被害葉からの寄生蜂羽化消長 (2005年, 4月20日採集)

1) 2005年の放飼試験

設置した被害葉から羽化した寄生バチのうち、第1回目の4月20日ではヒメコバチ科の *D. isaea* が全体の約60%を占め、それに次いで同じヒメコバチ科の *C. pentheus* と *C. pubicornis* が多かった。一方、第2回目放飼の5月12日では *C. pentheus* が約70%を占め、それに次いで *C. pubicornis* 多かった (図6)。

25°Cに設置したナモグリバエ被害葉 (100枚) からの寄生蜂の羽化は、ほぼ2週間にわたり続き、4月20日採集葉では10葉あたり約80頭 (図7)、5月12日採集葉では約24頭が羽化した。

寄生蜂の働きを評価するため、施設ナスほ場にトマトハモグリバエの3齢幼虫約100頭が潜孔

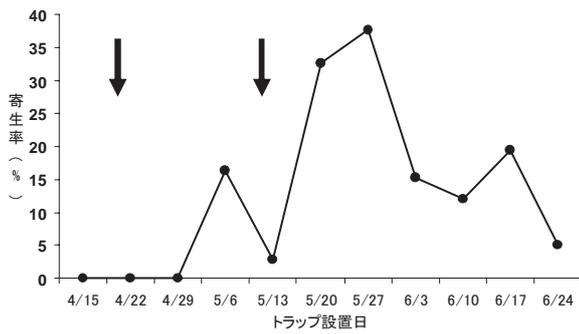


図8 施設内に設置したおとりトラップにおける寄生率の推移(2005年)
 図中の矢印はエンドウ導入時期(4月20日, 5月12日)を示す。

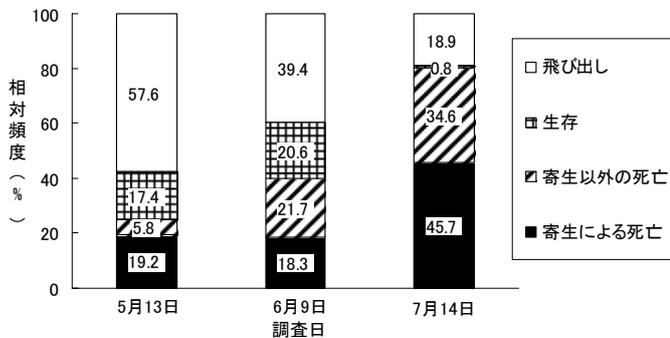


図9 施設ナス被害葉のハモグリバエ幼虫の死亡率と生存率 (2005年)

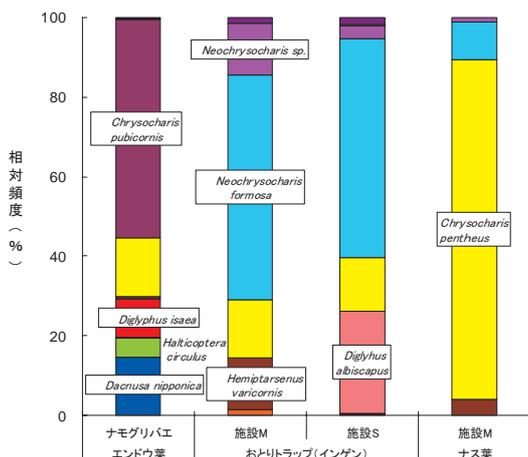


図10 エンドウ, インゲン (おとりトラップ), ナスのハモグリバエから得られた寄生蜂の種構成 (2007年)

したインゲンマメ3株をおとりトラップとして設置したところ, 5月中旬には30%を超える寄生率が認められた(図8)。

ナスの葉に潜孔したトマトハモグリバエ幼虫

の死亡率(寄生率を含む)は5月13日で約23%, 6月9日で約40%, 7月14日で約80%となった(図9)。なお, ナス施設でのトマトハモグリバエの発生密度は低く, 日あたり黄色粘着トラップあたり誘殺成虫数は1頭以下で推移した。

おとりトラップのトマトハモグリバエから羽化した寄生バチ(合計385頭)のうち, 最も多かったのは *C. pentheus* の約50%, その次に *Neochrysocharis formosa* の約20%, *N. okazakii* の16%であった。また, 4月12日に設置したエンドウ被害葉で63%を占めた *D. isaea* はおとりトラップのトマトハモグリバエからはほとんど得られなかった。

2) 2007年の放飼試験

4月19日と5月2日にエンドウのナモグリバエ被害葉500枚をそれぞれ2軒のナス施設(30a)に設置した。実験室に持ち帰ったナモグリバエ被害葉の寄生蜂羽化データから, 4月19日で約2,000頭, 5月2日で約2,500頭が放飼されたと推定される。なお, 4月19日設置分のナモグリバエ被害葉では, 最優占種として *C. pubicornis* が全体の約43%, *Dacnusa nipponica* が約32%, *C. pentheus* が14%を占めた。また, 5月2日導入分では *C. pubicornis* が約65%, 次に *C. pentheus* が約17%, *D. isaea* が約15%を占めた。2回の設置被害葉の結果をまとめ, 施設内のおとりトラップより得られたハモグリバエ類の寄生蜂, ナスに潜孔したハモグリバエから羽化した寄生蜂の種構成について比較した(図10)。エンドウのナモグリバエで優占種となっていた *C. pubicornis* はおとりトラップやナスではほとんど認められなかった。また, ナスのハモグリバエでは *C. pentheus* が圧倒的に多かった。

施設Sでは, トラップあたり日あたり誘殺成虫数は0.1前後と低い値で推移, 栽培期間を通して, ハモグリバエは低い密度に抑えられた。一方, 施設Mでは, 誘殺成虫数はピーク時の4月下旬には10頭前後まで増加し, いったん低下したが, その後6月中旬には15頭近い密度まで上昇した。おとりトラップとしてナス施設に設置したインゲンマメ株のトマトハモグリバエに対する寄生率は施設Mでは5%以下の低い値で推移した。

一方、施設 S では、エンドウ被害葉の第2回目設置後に寄生率が上昇し、35%近い値となった。

6. ナモグリバエ土着天敵群集の利用法

エンドウのナモグリバエ被害葉を利用した宮崎県宮崎郡清武町の施設野菜農家(30人)を対象にアンケート調査したところ、半分の農家はこの利用方法が有効であったと答えている。2年間の試験および農家からの情報を基に、ナモグリバエ土着天敵を利用する際の留意点について述べる。なお、特に述べないが、土着天敵の導入直前や導入後に非選択的農薬を散布することは避け、選択的農薬を利用する必要がある。表1には参考として、天敵を基幹としたIPM体系(Biointensive-IPM)について宮崎郡清武町の促成栽培を参考に対象害虫と防除資材を示した。

1) 被害葉の採集方法

エンドウ株上でも、高い位置にある葉では寄生率が低く、中位から下位の葉ほど寄生率は高いので(大野,2006)、胸から下の位置にある葉を採集する。

2) 被害葉の設置方法

エンドウにはウワバ類のような鱗翅目害虫もいるので、被害葉は水稻の種子殺菌に使われるメッシュ状の袋に入れて、施設内に下げる。また、良く日が当たる場所や高い位置は避け、ナスの株元などの日陰の低い位置に設置する。

3) 優占種プビコルニスヒメコバチの効果

C. pubicornis (プビコルニスヒメコバチ) は蛹寄生蜂であり、ナモグリバエの土着天敵群集では普遍的に認められる優占種である。本種は *Liriomyza* 属のマメハモグリバエやトマトハモグリバエを利用する場合には幼虫に産卵し、寄主幼虫が蛹化した時点で発育する幼虫蛹寄生蜂である(Baeza Larios et al., 2007; Baeza Larios and Ohno, 2007)。本種は25°Cの12~14時間日長で休眠(夏休眠)が誘起されるため、被害葉から羽化した個体はハモグリバエを攻撃するが、次世代の働きは期待できない。したがって、本種が多く含まれる被害葉を利用する場合には、生物農薬のように放飼世代による密度抑制効果となることに注意する。

4) 採集時期

ダイコンなどではエンドウよりも早く、ナモグリバエやその土着天敵群集が形成される。3月上旬でも十分量のナモグリバエ被害葉を確保することが可能である。しかし、この時期にはプビコルニスヒメコバチが優占種となっている例が多いため、この時期の被害葉を用いる際は、大量の葉を採集する必要がある。エンドウ被害葉を3月中下旬に採集する場合にも同様の注意が必要である。

表1 天敵を基幹とした総合期害虫管理体系での防除資材例

対象害虫	防除資材
アザミウマ類(ミナミキイロアザミウマ)	タイリクヒメハナカメムシ(1頭~0.5頭の2回放飼), ククメリスカブリダニ, 土着カブリダニ類, ピリプロキシフェン乳剤, アセタミプリド剤*, エマメクチン安息香酸塩乳剤*
ハモグリバエ類	ナモグリバエの土着天敵
コナジラミ類(バリオタイプQ)	ベキロマイセス フモソロセウス水和剤, パーティシリウム レカニ水和水剤, エマメクチン安息香酸塩乳剤*, プロフェジン水和剤, フロニカミド水和水剤*, ポーベリア・パッシアーナ GHA 株乳剤*
ハダニ類	酸化フェンブタスズ水和水剤, ミルベメクチン乳剤
アブラムシ類	ピメトロジン水和水剤
ヨトウ類	B T 剤, ビリダリル水和水剤

*非選択的農薬。天敵放飼前、栽培末期での散布あるいは天敵発生時は被害株のみの部分散布。

参考文献

- 1) Baeza Larios G. L. et al. (2007) : Appl. Entomol. and Zool. 42:189-197.
- 2) ——— and K. Ohno (2007) : ibid. 42:587-594 .
- 3) 福原史樹・高木正見(2007) 九大農学芸誌. 62(1):1-6.
- 4) 小西和彦(1998) マメハモグリバエ寄生蜂の図解検索. 農業環境研究所資料(22) : 27-76.
- 5) 大野和朗 (2006) 農生態系の土着天敵を活用したハモグリバエ類の生物的防除. 科研費補助金(基盤研究(C)2) 52pp.

(大野和朗: 宮崎大学農学部)