



# 生物的防除部会ニュース No. 77

2022年12月20日発行

## 目 次

1. 「タケ由来ミミズ堆肥の植物病害への発病抑制効果とその要因」  
東條 元昭 氏 大阪公立大学 農学研究科 1 頁
  2. 「昆虫病原性微生物の感染機構と化学農薬との相乗効果」  
神谷 克巳 氏 岐阜県病害虫防除所 5 頁
  3. 「生産現場から考える生物的防除～100年後のあたり前を目指して～」  
畠山 修一 氏 フリーランスの普及指導員  
(元埼玉県農林部所属) 9 頁
  4. 「石原産業の生物農薬開発の取り組み」  
森 光太郎 氏 石原産業(株)中央研究所  
生物科学研究室 生物・開発グループ 13 頁
  5. 2022年度 第3回オンライン講演会 開催のお知らせ  
開催日 : 2023年2月7日(火曜日) 13時00分 ~ 16時10分  
使用アプリ : ZOOM 18 頁
- 演題1 「岐阜おける化学農薬削減に対する取り組み」  
杖田 浩二 氏 岐阜県農業技術センター  
13:00 ~ 14:00
- 演題2 「ナシ害虫の防除、主に株元草生によるハダニ類防除について」  
中井 善太 氏 千葉県農林水産部 山武農業事務所  
14:00 ~ 15:00
- < 休 憩 > 15:00 ~ 15:10
- 演題3 「BT 剤(*Bacillus thuringiensis*)の家庭園芸への応用」  
勝本 俊行 氏 住友化学園芸(株) 研究開発部  
製品開発センター  
15:10 ~ 16:10

# タケ由来ミミズ堆肥の植物病害への発病抑制効果とその要因

大阪公立大学大学院 農学研究科 応用生物科学専攻 東條 元昭

## 1. はじめに

ミミズの堆肥化利用は古くから行われてきたが、科学的評価が詳細に行われるようになったのは 1990 年代以降である。食品廃棄物や家畜糞などのミミズ堆肥化技術の研究・開発が欧米を中心に盛んに行われ、2000 年代に入ってからミミズ堆肥の植物病害抑制効果が注目されるようになる (Chaoui et al. 2002; Szczech and Smolińska 2001 等)。ミミズは自ら移動して堆肥産物 (糞) を生産するため繰り返し作業が少なく済む。高齢化によって堆肥化を諦める農業現場が多い中、堆肥生産意欲の向上につながる可能性もある。

筆者らは 2013 年頃から放置竹林のタケ材をミミズ堆肥化する技術の開発を進めてきた。南西諸島を除く関東以西の山林や平地でモウソウチクを主とする放置竹がはびこり、樹林や耕地の荒廃、生物多様性の低下、景観の劣化を引き起こしている。放置竹材を農業や緑化で活用できる堆肥に変えれば、この問題の解決につながるが、その方法は確立されていなかった。筆者らは河内長野市や地元企業と放置竹材の効率的な堆肥化手法を開発する中で、パウダー化したタケ材をミミズが速やかに糞化 (堆肥化) することを見出した。さらに筆者らの専門分野である植物病理学の視点で、ミミズによって堆肥化したタケパウダーの植物病害抑制効果を調べたところ、いくつかの病害に対して一定の抑制効果を示すことが明らかになった。放置竹材を、植物病害抑制効果という付加価値をもつ堆肥に変える方法が確立されれば、現在は多大な費用をかけて処分されている放置竹材が有用な資源になる。ここでは放置竹材をミミズ堆肥化するための筆者らのこれまでの研究について紹介したい。

## 2. タケミミズ堆肥の作出

タケ材のミミズ堆肥化はこれまで世界的にも例が無く、その植物病害抑制効果についても不明であった。そのためその作出方法から検討した。材料として、生育旺盛で放置竹林で最も問題となっているモウソウチク (*Phyllostachys edulis*) を、また食品残渣のミミズ堆肥化で良く使われ入手もし易い釣りエサ用のシマミミズ (*Eisenia fetida*) を選んだ。まずモウソウチクを粉末化して直ぐにミミズを投入したところ、逃亡するか黄色い体液を出して死滅した。一方、一晩水道水に晒した後のモウソウチク粉末に投入すると、ミミズがほとんど逃亡せずに長期間生存することがわかった。当時の本研究室の大学院生だった尤 暁東博士 (You Xiaodong、現、クミアイ化学工業株式会社) らと追加実験を行う中で、タケミミズ堆肥作出のためのレシピを下記のようにまとめた (You et al. 2019a)。

### <材料>

モウソウチク粉末 (一晩水に浸けたもの) 10 kg  
クズ (*Pueraria lobata*) の乾燥茎葉 100 g

シマミミズ 100 g

※クズはミミズの生育を促す窒素源として与えた。

#### <方法>

一晩水に浸けて湿った状態のモウソウチク粉末とクズをプラスチックケースなどに入れて混ぜ合わせ、上面にシマミミズ 100 g を置く。28℃前後で8~12週間静置し、モウソウチク粉末全体がほぼミミズの糞となり黒褐色を帯びたらタケミミズ堆肥の完成。

※シマミミズを使わずに堆肥化した場合、モウソウチク粉末の堆肥化に16週間以上の期間を必要とした。

※このレシピについては、現在の本研究室大学院生の川澄留佳氏が中心となって改良を進めています。最新レシピについては筆者までご相談ください。

### 3. タケミミズ堆肥の植物病害抑制効果



図1. *Pythium aphanidermatum* によるハクサイの苗立枯れに対するタケミミズ堆肥の抑制効果

*solani* AG-1 IB に対する影響を調べたところ、この堆肥の無菌ろ過液の添加によって培地上での菌糸生育が抑制されることがわかった(図2)。

植物寄生性線虫に対する抑制効果についても、温室と圃場でササゲを使って評価した。野菜残渣由来ミミズ堆肥を比較対照とした。その結果、モ

上記のレシピに従って作成したタケミミズ堆肥についてキュウリ苗立枯病菌 (*Pythium aphanidermatum*) に対する抑制効果を調べたところ、市販育苗土に対して高い抑制効果を示した(図1)。また同様にキュウリ等に立枯れを起こす *Rhizoctonia*

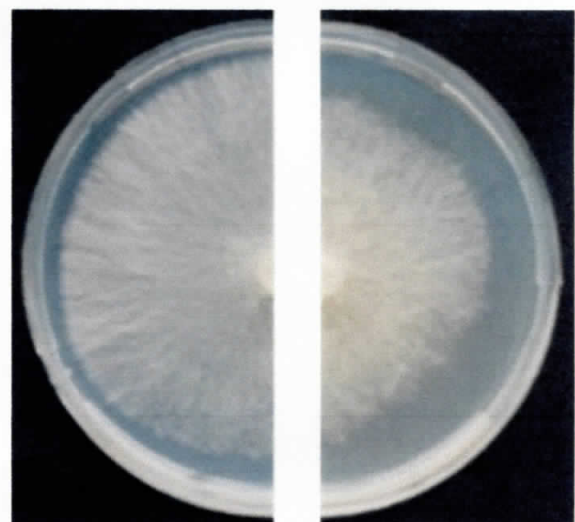


図2. 無菌フィルター(ポアサイズ 0.22 μm)を通したタケミミズ堆肥抽出液の *Rhizoctonia solani* AG1-IB の菌叢抑制効果。左が比較対象(滅菌蒸留水区)、右が抽出液処理区。

ウソウチク由来と野菜残渣由来の両方のミミズ堆肥で、殺線虫効果や卵の孵化抑制および線虫の根への侵入の抑制が見られた一方で、モウソウチク由来ミミズ堆肥の方が試験の時期に関わらず安定した抑制効果を示した (You et al., 2018)。タケミミズ堆肥が野菜くずミミズ堆肥よりも効果が安定した理由として、野菜くずに比べて構成成分の質が時期に関わらず安定していることが考えられた (You et al. 2018)。タケ材を発病抑制効果を示すミミズ堆肥に変える技術はこれまで知られていなかったため「タケコンポスト及び植物の病害防除剤」として特許登録した (Patent No. 6712044)。

さらに、タケミミズ堆肥をバーミキュライトで 1/5 に希釈し、その 0.2g を株元に施用することで、養液栽培条件のハウレンソウ立枯病に対するタケミミズ堆肥の防除効果が見られた。この手法は少量で効果を示すためコストパフォーマンスも高いと考えられる。本技術は、発明の名称「養液栽培用添加剤」として特許出願中である。

なお、上述のレシピや、発病抑制効果を最大にする手法については改良の余地が多々あり、本研究室大学院生の川澄留佳氏らを中心に現在研究を行っている。

#### 4. タケミミズ堆肥病害抑制効果の要因

タケミミズ堆肥中の微生物量や種類を培養法や次世代シーケンサーで調べたところ、市販育苗土よりも多くの種類と密度の微生物を含むことがわかった (You et al. 2019a)。またこの堆肥に含まれる抗糸状菌物質の一部を単離し、ergosterol peroxide およびそのアナログと同定した。これらの物質はタケミミズ堆肥の原料であるモウソウチクからは検出されなかったことから、この堆肥が作られる過程で産生されたと考えられた (You et al. 2019b)。タケミミズ堆肥の病害抑制効果は不明な部分が数多く残されており、現在、当研究室の大学院生が中心になって解明を進めている。

#### 5. まとめと将来的ビジョン

これまでにあきらかになった特性から、この堆肥を作物生産現場で活用できる可能性が示されたと考えている。これまでの成果を踏まえた今後の課題として、1) タケミミズ堆肥の植物病害抑制効果についての圃場試験でのさらなる評価、および2) 大型粉碎機による大規模で実用的なミミズ堆肥作りと少量施用効果の実証によるさらなるコス

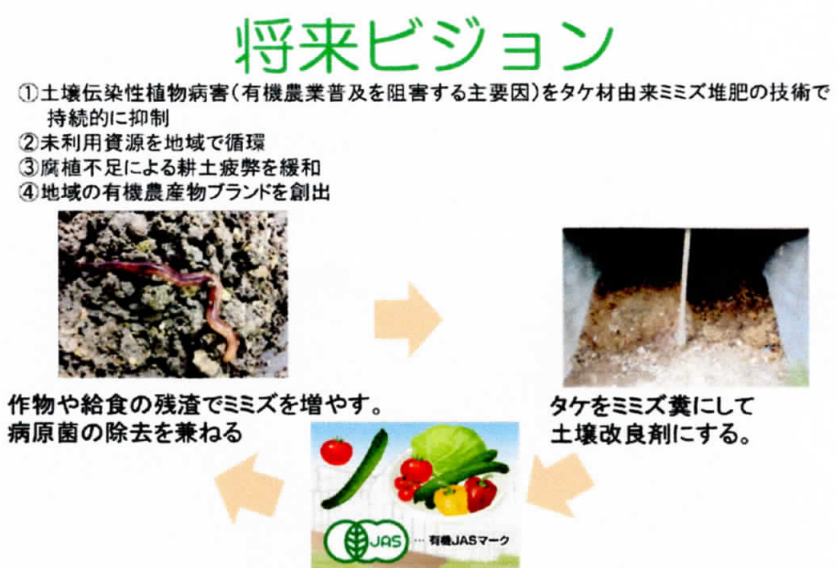


図3. タケミミズ堆肥利用の将来ビジョン

トダウン化が挙げられる。タケミミズ堆肥を土壌改良剤として実用化し、有機・減農薬栽培を通じて未利用資源の地域循環の1つのツールとすべく(図3)、タケミミズ堆肥をより使いやすいものなるよう今後も開発を続けたい。

## 6.本研究に関するこれまでの論文公表・特許等

### 論文発表

Hashimoto, S., Furuya, M., You, X.D., Wanibuchi, G., Tokumoto, H., Tojo, M. and Shiragaki, K. (2021) Chemical and microbiological evaluation of vermicompost made from school food waste in Japan. JARQ 55: 225-232. DOI: 10.6090/jarq.55.225

You, X.D., Kimura, N., Okura, T., Murakami, S., Okano, R., Shimogami, Y., Matsumura, A., Tokumoto, H., Ogata, Y. and Tojo, M. (2019a) Suppressive effects of vermicomposted-bamboo powder on cucumber damping-off. JARQ 53: 13-19. DOI: 10.6090/jarq.53.13

You, X.D., Wakana, D., Ishikawa, K., Hosoe, T. and Tojo, M. (2019b) Antifungal activity of compounds isolated from bamboo vermicompost against *Rhizoctonia solani* AG1-IB. Advances in Microbiology 9: 957-970. DOI: 10.4236/aim.2019.912061

尤 暁東・東條元昭 (2020) モウソウチク由来ミミズ堆肥中の土壌微生物と植物病害抑制効果. 土と微生物 74: 50-53. DOI: 10.18946/jssm.74.2\_50

You, X.D., Tojo, M., Ching, S., and Wang, K.-H. (2018) Effects of vermicompost water extract prepared from bamboo and kudzu against *Meloidogyne incognita* and *Rotylenchulus reniformis*. Journal of Nematology 50: 569-578. DOI: 10.21307/jofnem-2018-054

### 学会発表等

川澄留佳・東條元昭 (9/2022) 土耕や水耕栽培でのタケ由来ミミズ堆肥による病害抑制効果の評価と抑制メカニズムの解明. 日本植物病理学会大会関西西部会

川澄留佳・東條元昭 (6/2022) 加熱処理したタケミミズ堆肥の微生物相と同堆肥が水耕ホウレンソウの成長に及ぼす影響. 日本土壌微生物学会

川澄留佳・藤江隼平・東條元昭 (3/2022) 養液栽培で発生する *Pythium aphanidermatum* によるホウレンソウ立枯病に対するタケミミズ堆肥の防除効果の可能性. 日本植物病理学会大会

東條元昭・川澄留佳 (11/2021) 植物病害防除効果を示すタケ由来ミミズ堆肥の作出と有機農業用資材としての利用. 第3回大阪テックプランター (池田泉州銀行賞受賞)

### 特許および特許出願

特許: 発明の名称「タケコンポスト及び植物の病害防除剤」、特許第 6712044 号/ 登録日:令和 2 年 6 月 2 日、発明者: 東條元昭・尤暁東・下神幸博

特許出願: 発明の名称「養液栽培用添加剤」、特願 2022- 42948/出願日:令和 4 年 3 月 17 日、発明者: 東條元昭・川澄留佳

### 謝辞

烏帽子山里山クラブ(河内長野市)ならびに河内長野市役所環境政策課の皆様には竹材の提供で多大なご努力をいただきました。大阪公立大学教育研究フィールド技師の皆様には竹材の粉碎作業に際し多くのご助力をいただきました。北海道立総合研究機構 農業研究本部の三澤知央博士には *Rhizoctonia solani* AG1-IB の菌株を分譲していただきました。本研究の実施に当たり、株式会社ゲオール商事(森 友昭様)、JA バンク大阪信連産学連携研究支援事業、ならびに国立研究開発法人科学技術振興機構 A-STEP 機能検証フェーズ( Grant 番号: JPMJTM19CN)により多大な支援をいただきました。以上の皆様ならびに支援事業に深く感謝申し上げます。

# 昆虫病原微生物の感染機構と化学農薬との相乗効果

岐阜県病害虫防除所 神谷 克巳

## 1. はじめに

害虫の化学農薬に対する薬剤抵抗性の獲得が大きな問題となっており、化学農薬だけに頼らない総合防除を構成する生物的防除資材の一つとして、天敵微生物の利用が期待されている。昆虫病原微生物は、一般的に宿主域が狭いことから、標的昆虫以外の昆虫への影響は化学農薬に比べ低い。天敵微生物の一つである昆虫病原糸状菌（天敵糸状菌）は、微生物農薬として世界中で利用されている。微生物農薬として利用されている微生物種は、細菌類である *Bacillus thuringiensis* が最も多く、菌体内に形成する殺虫作用のあるタンパク質を含む結晶性物質（BT 毒素）が BT 剤として盛んに利用されているが、次いで天敵糸状菌が多い（Lacey et al., 2015）。天敵糸状菌で製品化されている菌種は、*Beauveria bassiana* と *Metarhizium anisopliae* が主要な 2 種類となっている（Faria and Wraight, 2007）。これらの天敵糸状菌は、比較的幅広い昆虫に対して感染性を示す。天敵糸状菌製剤は、世界各国で開発されているが、日本国内では、上記 2 属の菌種等を利用した製剤が数種類製品化されているほか、海外製品も導入され利用されている。これらの製剤は、生物農薬としての効果は優れるが、現状では十分に活用されていると言い難く、いっそうの普及が必要と思われる。天敵糸状菌を用いた製剤は、生物的防除の有効な資材の一つとなっているが、処理後一定時間施設内を高湿度に維持する必要がある点や、効果の発現に時間がかかる点が問題として考えられ、化学農薬と組み合わせて効果的に利用することが必要と考えられる。そこで、天敵糸状菌の活用・普及を推進するためにも、殺虫効果を高める散布方法の開発が必要と思われることから、化学農薬との併用による殺虫効果の増強について検討した。

## 2. 天敵糸状菌の感染機構と宿主昆虫の免疫応答

天敵糸状菌の感染機構については、長年にわたり研究が行われ、近年遺伝子レベルでの様々な知見が報告されている。天敵微生物の感染は、分生子が宿主昆虫表皮へ付着することから開始される（図 1）。表皮クチクラは、天敵糸状菌感染に対抗する主要なバリアーとして機能している。表皮クチクラでは、分生子の発芽伸長が抑制されるが、それに耐性のある天敵糸状菌は発芽管の伸長した後、付着器を形成しクチクラへの侵入を開始する。クチクラの侵入には、酵素を分泌してクチクラの化学分解を行うとともに、脂肪分解による物理的な圧力を高めてクチクラを貫通する。侵入後速やかに、天敵糸状菌が分泌する酵素や菌体構成成分などが宿主昆虫の免疫系により認識され、免疫応答反応が開始される。昆虫の免疫反応には、液性免疫と細胞性免疫がある（Lemaitre and Hoffmann, 2007）。細胞性免疫応答としては血球細胞による貪食およびメラニン化を伴う包囲化、メラニン化を伴う凝集体（ノジュール）形成がある。液性の免疫応答には、抗微生物ペプチド（AMP：antimicrobial peptide）の産生、メラニン化（メラニンによる異物隔離）、リゾチーム産生などがある。一方、天敵糸状菌は、体腔へ侵入した後短菌糸を形成して増殖するとともに、毒素分泌するなどして宿主昆虫の免疫応答に対抗し、最終的には宿主を致死させる。

侵入微生物に対する昆虫の免疫応答における、細胞内情報伝達経路には複数の経路が存在し、代表的なものとして、真菌類やグラム陽性菌に応答する Toll レセプターを介した経路や、グラム陰性菌の応答などに関わる Imd 経路がある。それらに加え、ストレス応答やウイルスに対して応答する別の経路があるが、エリシターや傷害など入力情報に応じて、以上の経路により様々な応答反応が起こることが、ショウジョウバエの研究から明らかになっている。

### 3. 天敵糸状菌とネオニコチノイドの同時処理効果

天敵微生物の防除効果は、化学農薬との同時施用により高まる場合がある。そこで、広く利用されている化学農薬の一種であるネオニコチノイドと天敵糸状菌を、いくつかの種類を組み合わせる同時処理した場合の殺虫効果を、侵入微生物に対する免疫応答反応に関する知見が蓄積されたコクヌストモドキをモデル昆虫として用いて調査した。

ネオニコチノイドは、クロロニコチル系の殺虫剤であるが、害虫種に選択性が高く人畜に対する毒性が低いことから、世界各地で利用されている。しかし、近年ミツバチに対する影響も報告されており、EU およびその加盟国の一部では厳しい利用制限が課せられている。ミツバチに対するネオニコチノイドの影響として、行動および免疫応答に対する効果が評価されている。免疫応答に対する影響として、血球細胞数の減少やメラニン化の抑制が確認されている (Brandt et al., 2016)。

同時処理には、イミダクロプリド、チアクロプリド、クロチアニシン、アセタミプリド、ニテンピラムおよびジノテフランの 6 種類のネオニコチノイドを用いた。また、天敵糸状菌は、*B. bassiana* と *M. anisopliae* の 2 種類を用いた。ネオニコチノイドおよび天敵糸状菌の同時処理による殺虫効果を評価した (図 2)。これらの薬剤及び天敵糸状菌を、サブリーサルな濃度で同時処理した場合の死亡率は、天敵糸状菌単独処理による死亡率に比べ高くなった。*B. bassiana* については、コントロール区 (エタノールとの同時処理) の死亡率に対して、ネオニコチノイド処理区の死亡率は有意に高かった。一方、*M. anisopliae* では、死亡率が増加する傾向はみられたが、有意な差は認められなかった。

2 種類の薬剤を併用することは、毒性の低減や薬剤抵抗性を抑制することにメリットがある。しかし、作用機作の異なる 2 種類の薬剤を併用することによる効果を評価する場合、各薬剤単体の死亡率と同じ濃度で併用した場合の死亡率の差を、いくつかの異なる濃度で比較する方法がとられているが、得られた死亡率の差が相乗的な効果なのか加算的な効果なのかまでは、明らかにできない。薬学の分野で、Chou ら (1983) によって提唱された Combination index (CI) は、上述評価方法と同様に 2 薬剤によって得られる死亡率を基盤としているが、薬剤併用による効果を数式により数値化することが可能である (図 3)。CI 値が、1 以下の場合協奏的 (相乗的) 効果、1 であれば相加的効果、そして 1 以上であれば逆効果と判断される。

各薬剤の毒性および微生物の殺虫活性について詳細に調査して、そのプロビット解析の回帰直線から特定の死亡率に対する投与量を推定することにより CI 値を算出し、併用の効果の切り分けを行った。同時処理による死亡率の増加が相乗効果によるものであるかを、CI 値により評価したところ、*B. Bassiana* についてはどれも CI 値は 1 以下となり、相乗効果が確認された。とくに、イミダクロプリドおよびチアクロプリドの CI 値は 0.13 および 0.20 と他剤に比べ低かったことから、生じた相乗効果の程度が強いということが分かった。一方、*M. anisopliae* に関しては、死亡率について有意な差は確認されなかった

が、CI 値についても低いものでイミダクロプリドとクロチアニジンで認められた 0.7 程度であり、*B. Bassiana* に比べ値が高かった。ジノテフランやチアクロプリドは 1 に近い値を示し、アセタミプリドおよびニテンピラムでは、1 を超える値を示したことから、*M. anisopliae* との同時処理では、相加的な効果または逆効果となると分かった。

次に、*B. Bassiana* とネオニコチノイドの同時処理で認められた相乗効果の要因を明らかにするため、天敵系状菌に対する宿主昆虫の免疫応答への影響を調査した。*B. Bassiana* により誘導される AMP 遺伝子の発現量に対する、ネオニコチノイド同時処理の影響を調べたところ、イミダクロプリドまたはチアクロプリド同時処理により、Toll 経路で発現が制御されるセクロピン3遺伝子の発現が抑制された。また、メラニン化を伴う血球細胞による包囲化は、イミダクロプリドとチアクロプリドで強く抑制され、天敵系状菌とネオニコチノイドとの組み合わせによる協奏的な殺虫効果は、作用点は不明であるが宿主免疫系が抑制されているために起こったと考えられた。

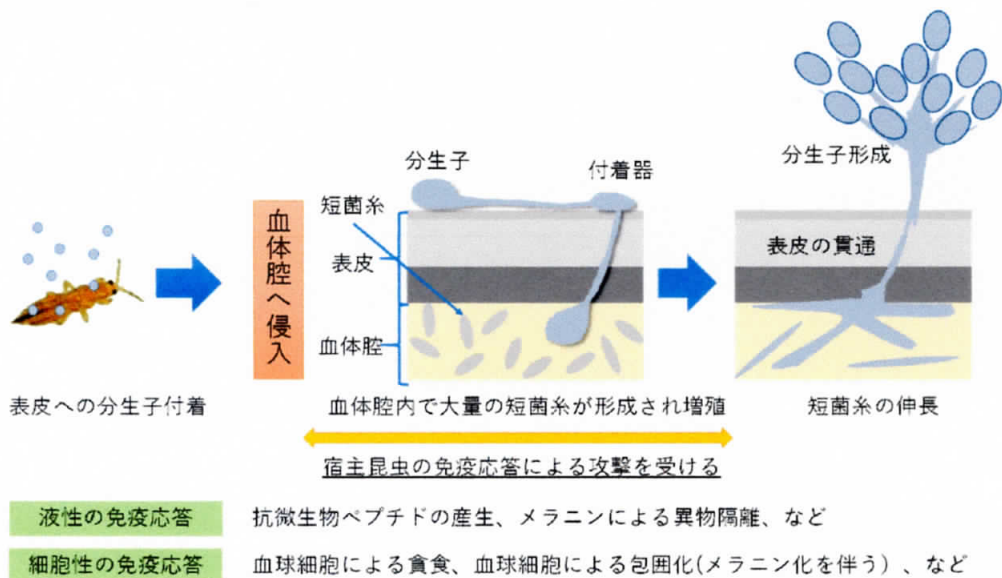


図1. 天敵系状菌の感染機構と宿主免疫応答

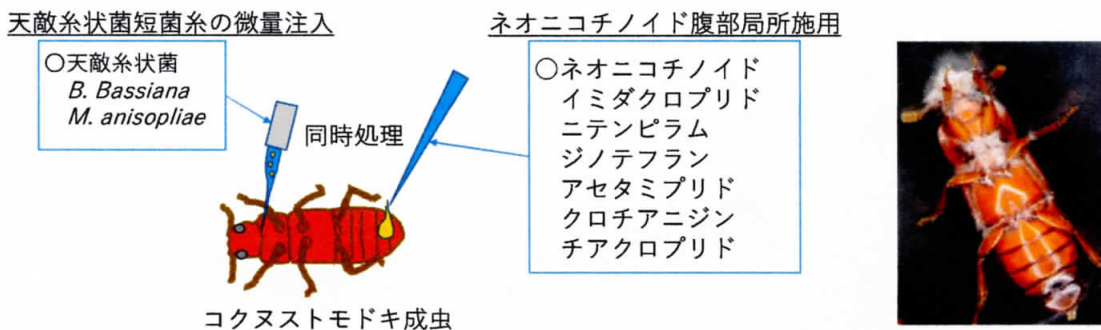


図2. 天敵系状菌とネオニコチノイドの同時処理方法（左）と天敵系状菌に感染したコクヌストモドキ成虫（右）



$$\text{Combination Index (CI)} = \frac{[A']}{[A]} + \frac{[B']}{[B]}$$

[A']	薬剤Aの用量
[B']	薬剤Bの用量
[A]	薬剤Aと薬物Bとの併用により生じる反応値と同じ大きさの反応値を示す各薬剤単独の用量
[B]	薬剤Aと薬物Bとの併用により生じる反応値と同じ大きさの反応値を示す各薬剤単独の用量

CI < 1	協奏効果 (相乗効果)
CI = 1	相加効果
CI > 1	逆効果 (拮抗効果)

(※2薬剤が相互に影響を与えず独立的に作用する場合)

図3. Combination Index による2種薬剤の併用効果を評価する方法

(Chou and Talalay, 1983 改変)

#### 4. おわりに

今回の調査研究から、コクヌストモドキに対して天敵糸状菌とネオニコチノイドとの同時処理することにより協奏効果が得られることが明らかとなった。今後は次のような点についても確認する必要があると考えられる。1) 他の様々な害虫種に対しても、同様な効果が得られるかどうか、その有効性を確認する。2) ネオニコチノイド以外の化学合成薬剤についても、サブリーサルな濃度での天敵糸状菌との併用で協奏効果が得られるかどうかを確認する。3) 天敵糸状菌以外の昆虫病原微生物とネオニコチノイド薬剤との併用でも同様に協奏的な効果が得られるかを確認する。これらによって、化学合成農薬の使用量を削減する方法の一つであるとともに、薬剤抵抗性の発達を遅らせる方法として、利用技術の開発が期待される。

#### 5. 引用文献

- 1) Chou, T. C. and P. Talalay (1983) *Trend. in Pharmacol. Sci.* 4: 450-454.
- 2) de Faria, M. R. and S. P. Wraight (2007) *Biol. Cont.* 43: 237-256.
- 3) Lacey, L. A., et al. (2015) *J. Invertebr. Pathol.* 132: 1-41.
- 4) Lemaitre, B. and J. Hoffmann (2007) *Annu. Rev. Immunol.* 25: 697-743.

## 生産現場から考える生物的防除～100年後の当たり前を目指して～

フリーランスの普及指導員（元埼玉県農林部所属） 畠山修一

### 1 生物的防除・普及の現状と生産現場が求める防除効果

1995年、チリカブリダニとオンシツツヤコバチが登録されて四半世紀が過ぎた。その間、海外からいくつもの天敵が導入された。また国内でも新たな天敵が開発され、登録がすすんできた。そして一部の地域、一部の作物、一部の天敵種においては、生産現場で普及はしたが、生物的防除そのものが、病虫害防除の在り方を変えるような技術として定着したかと言えば、残念ながら「否」と言わざるを得ない現状にある。いったそれは、何故なのだろうか？

ここで農家の言葉を二つ紹介しよう。

「昔使ったあの薬は恐ろしく良く効いた。まいてるはなから、振り向くと、ポロッ、ポロッって害虫が死んで落っこちていくのがわかるんだ」

「なんにでも効くってのがいいんだよ」

果たして、生物的防除はこの期待にどれだけ応えられるだろうか。

「天敵」といっても、農家が知っているのはせいぜい、カエルやカマキリ、テントウムシ、そしてクモ類くらいだ。今の普及指導員や農協の営農指導員にしても、天敵に対する知識はその域を出ていない。ヒメハナカメムシやカブリダニが身近にいて、害虫を捕食していることなど知る由もなく、ただ、農薬のローテーション散布を指導しているのが現状だ。

そのため、いざ生物的防除に取り組むとなると、「減農薬」だとか「環境保全型」だとか、あるいは「高付加価値」などという言葉とともに「特別な技術」として導入を図ろうとする。初めは話題性もあり注目もされるが、取り組んだところで農産物が高く売れるわけでもない。目に見える効果をなかなか実感できないなどの理由で、結局、従来の化学的防除に戻ってってしまう。

### 2 生物的防除の魅力・メリット

しかし生物的防除には、化学的防除にとってかわるだけの魅力やメリットがないのだろうか。現地で生物的防除の技術組み立てと普及に携わって来た私からすると、成功した暁に得られる経済効果は大変なものだという実感がある。

例として、チリカブリダニを30aのいちご経営で利用した場合、どれほどの経済効果が見込まれるかを以下に示そう。

3 ボトル/10a × 30a = 9 ボトル放飼したとすると、7,000 円/ボトル × 9 ボトルで 63,000 円の経費がかかることになる。これを高いと見るか安いと見るか。

ここで人を雇う事を考えてみる。人件費を時給 1,000 円、1 日 8 時間労働とすると、チリカブリダニの購入代金 63,000 円は、人件費にして、63 時間 ÷ 8 日分の経費でしかない。たった 8 日分の経費で、チリカブリダニは半年もの間、黙々とハダニ類の被害を防ぎ

続けてくれる。人間を半年間雇ったら、180日×8時間×1,000円/時=1,440,000円の労賃が必要だ。その他に社会保険料もかかる、福利厚生も考えなくてはならない。チリカブリダニは、むしろ安すぎる労働力といえるのではなかろうか。

### 3 生物的防除の壁・外的要因と内的要因

しかしさすがに天敵は生き物である。愚痴や文句は言わないが、条件が悪ければ働かなくなる。具体的には①死ぬ②分散しなくなる③産卵しなくなる④逃亡するなどである。しかもその理由は千差万別だ。以下にその例を列記する。

放飼前に使用した農薬の影響、うどんこ病対象農薬の影響、展着剤の影響、植物調整剤等の影響、葉面散布剤の影響、土壌消毒の影響などである。詳細は過去にも様々な機会に報告させていただいたので、末尾の参考文献を参照されたい。しかしこれらは天敵が働かなくなる外的要因であり、分かっただけではどうにも解決できることでもある。

普及を進めるうちに、それよりもさらに奥深く、どうしても解くことのできない壁に突き当たってしまった。それはいちご栽培において、ハダニが沢山いる株にカブリダニが定着せず、ハダニがあまりいない株で著しく繁殖するという、矛盾した結果を目の当たりにしたことである。

しかもそれは、生産者や地域の違いに関係がなかった。そしてひとつ、共通点があった。それはカブリダニが定着しなかった株の根には、必ずネグサレセンチュウが寄生していたことだ。しかし、ネグサレセンチュウを接種してカブリダニの定着に影響が出るか否かをテストしてみても、明確な答えは得られなかった。

昨年夏、「改訂版環境・資源・健康を考えた土と施肥の新知识」（農文協）という本を手にする機会を得た。そこには、pH(H<sub>2</sub>O)が6.5以上になると作物がマンガンを吸収できなくなること、マンガン不足の作物の根はリグニン含有量が低下しセンチュウの被害を受けやすくなること、マンガンが十分ある葉では、 $\alpha$ -リノレン酸含有率が高いこと、植物が虫害を受けると、細胞膜脂質に存在する $\alpha$ -リノレン酸からシグナル物質であるジャスモン酸が生成されストレス耐性を強化することが記されていた。昨年、実際にいちごハウスで、ハダニの発生密度が同程度だった2地点（土壌pH7.3と6.5）でのチリカブリダニの頭数とハダニの発生密度を10日おきに調査してみた（図1）。

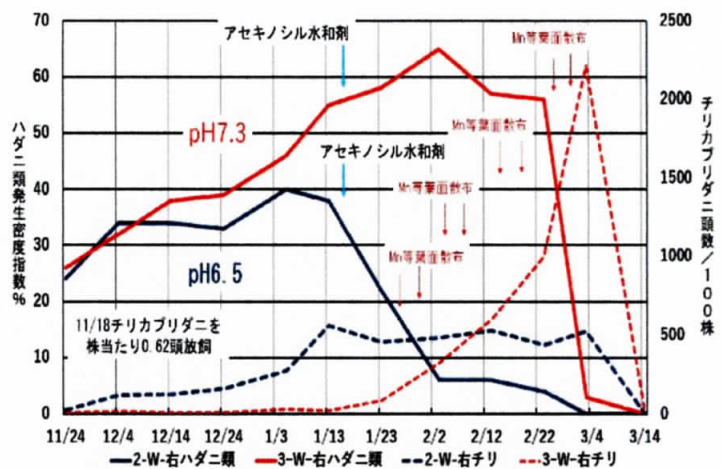


図1 微量元素の葉面散布と土壌pHが異なるいちごでのハダニ類及びチリカブリダニの推移

pH7.3の箇所のいちごの根からは、ネグサレセンチュウが検出され、殺ダニ剤散布後

も、ハダニ類の密度は増加し続けた。そこでマンガン等の微量元素入り葉面散布剤を5日おきに散布したところ、チリカブリダニの増殖が顕著になり、3月上旬に、ハダニ類の密度は一気に低下した。

図2は露地なすにおいて、土着のカブリダニの定着状況と根の状態を3年間にわたって調べた結果である。

細根量が最も多かった2021年はカブリダニが多く定着したが、細根がほとんどなかった2020年は、8月以降カブリダニが観察できなくなり、なすの収穫も早々に打ち切る結果となった。2022年は過去2年の中間の細根量で、カブリダニの定着状況も同様の傾向を示した。

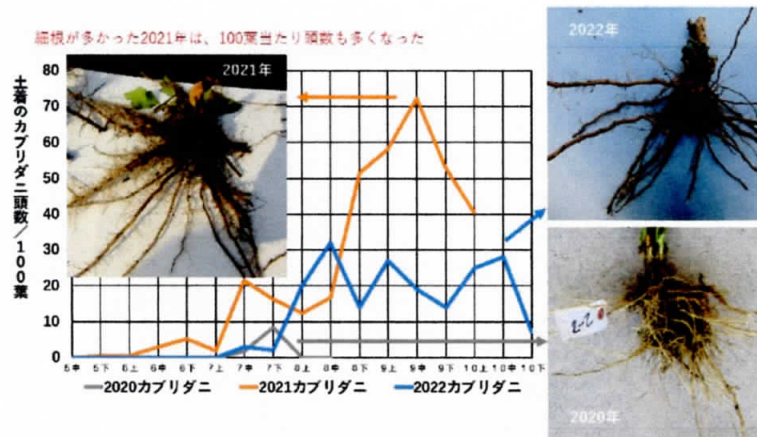


図2 露地なすの根の状態と土着のカブリダニの定着状況の比較

このことから、いちごにせよ、なすにせよ、カブリダニの定着によって作物の根が健全であるか否かは重要な要素であると考えられた。

次にとまとの根と灰色かび病との関係について紹介する。

とまとの灰色かび病は、カリ欠乏の結果生じる葉先枯の部位に菌が寄生することから始まり、やがて、果実へと感染拡大するのがたいいていのパターンである。そのため農家はカリ欠にならないよう、意識的にカリの追肥や葉面散布を行っている。しかし、いくらカリを追肥しても、またあらゆる対象農薬を散布しても、灰色かび病を抑えられない農家があった。土壌診断をしてみるとカリは乾土100gあたり60mgだったが、灰色かび病に全く困っていない農家はでは38mgとむしろ低く、土壌中のカリ含量と灰色かび病との関係は見出せなかった。ところがこの2件の農家の土壌硬度を貫入硬度計で調べて見ると(図3)、未発生ほ場(右)では90cmの深い層まで、根が張れる状態であったが、発生ほ場では(左)、25cmの深さに耕盤ができ、根が張れない状態になっていた。深耕を行って耕盤破碎をした結果、カリの欠乏症状はおさまり、灰色かび病も減少した。その上、春先以降にいつも増えていた尻ぐされ果の発生も少なくなった。

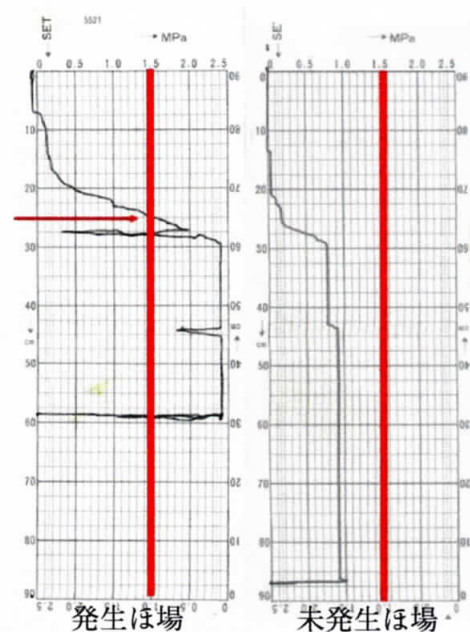


図3 土壌硬度と灰色かび病発生

以上のことから、作物の根がしっかりと張り生育が健全であれば、虫はつくが天敵も働き、病気にもなりにくく実害は出ない。しかし作物が根を張れず生育が不健全になると、虫がついても天敵は働かず、病気にもなりやすくなり、実害を生じるといえるのではないだろうか。

#### 4 ゼロ・インセクトからウイズ・インセクトへ

そもそも生態系において作物は生産者であり、食植性の生き物、ここでは「虫」だが、それは消費者である。食べに来るのは当たり前のことだ。そしてその「虫」に対して天敵がつくのも当たり前だ。ならば初めから「害虫」と呼ばれる生き物はいないことになる。害虫対策とは「虫」を「害虫化」させないことと理解すべきであり、その根本は作物の健全な生育を確保することだろう。また病気の原因となるカビや細菌は、生態系では分解者に位置付けられている。植物を土に返すのが本来の存在意義だ。であるならば、作物が健全なうちは用がない。よって病害対策とは、植物を土に帰さないための「アンチ・エイジング対策」というべきだろう。生態系の中で、ウイルスをどう位置付けるべきか、これだけは不明だが、ウイルス抵抗性品種を育成し普及することによって、それは解決できると思われる。

ウイルス抵抗性品種を健全に育て、ほ場に天敵が定着するならば、農薬の役割は「防除」ではなく「バランス調整」ということになる。殺菌剤は健康維持のためのサプリメントといえるだろう。天敵は捕食者として存在するだけでなく、作物の生育の良し悪しを凶る指標にもなりうる。そうなれば、現在、「畑には何もいてはいけない」と心配している農家の皆さんも、「うちの畑には何もいないけど大丈夫だろうか」と心配するようになる。

今までの防除は目指せ「ゼロ・インセクト」だったが、本来は「ウイズ・インセクト」、虫はいてもいいという物の見方こそが正しいのではなかろうか。その見方が確立され、確かな技術として普及された時、生物的防除は「当たり前」になるものと思われる。果たしてそれには、いかほどの年月を必要とするか・・・

#### 引用文献

後藤逸男・渡辺和彦・小川吉雄・六本木和夫（2001）「改訂版環境・資源・健康を考えた土と施肥の新知識」（農文協）

#### 参考文献

畠山修一（2005）「天敵を利用したイチゴのハダニ対策」（農薬ガイド No.109）

畠山修一（2005）「スパイカルによるイチゴのハダニ対策」（農薬ガイド No.110）

畠山修一（2007）「手間がない人、目が悪い人でも使える天敵ミヤコカブリダニ 埼玉県比企郡のイチゴ農家たちの取り組み」（現代農業 2007年6月号）

畠山修一（2012）「なぜうまくいかない？イチゴのカブリダニ利用」（現代農業 2012年6月号）

畠山修一（2008）「ミヤコカブリダニを用いた施設害虫防除」（生物的防除部会ニュース No.35）

畠山修一（2011）「カブリダニを利用したイチゴ栽培」（生物的防除部会ニュース No.43）

畠山修一（2009）「イチゴのカブリダニによる防除」（バイオコントロール 2009VOL.13NO.1）

畠山修一（2021）「農の書置き～普及指導員の活動記録～」（東京図書出版）

# 石原産業の生物農薬開発の取り組み

石原産業株式会社 森光太郎

## 1. はじめに

天敵の普及には使用方法の開発が必須である。本稿では生物農薬の中でも天敵農薬（寄生性昆虫、捕食性昆虫、捕食性ダニ）の効果的な利用方法の取り組みを紹介する。

天敵農薬を用いた放飼増強法において、害虫密度抑制が成功するには、a.対象害虫とその天敵の生物的特性（増殖率、捕食率など）、b.天敵の生物的特性の物理的環境の影響（最適な温度や湿度）、c.害虫密度に対する防除可能な天敵数の比（天敵/害虫比）がわかっていることが重要とされる<sup>1)</sup>。十分な防除効果を得るには、有効な「天敵数/害虫数比」を作物上で実現することが必要である。このために構築されてきた技術として、

- ・ 広食性・雑食性天敵の利用
- ・ 圃場への天敵個体群の定着性の向上
- ・ 天敵/害虫比の操作

が挙げられる（表1）。本稿ではこの中からいくつか絞って紹介したい。

表1. 有効な「天敵数/害虫数比」を作物上で実現するための方法と当社の取り組み

分類	方法	これまでの取り組み
広食性・雑食性天敵の利用	雑食性天敵	アカメガシワクダアザミウマ
圃場への個体群の定着性の向上	バンカー法	コレマンアブラバチ
	バンカー法、パック製剤	バンカーシート® ミヤコカブリダニ/スワルスキーカブリダニ
	代替餌の散布	花粉資材 (Nutrimite™) アルテミア耐久卵
	摘果物の管理 飽差管理 気温と葉温	栽培管理
天敵/害虫比の操作	選択性化学農薬との併用	チリ/ミヤコアカリタッチ

## 2. 広食性、雑食性天敵の利用

当社が販売しているアカメ®<sup>2)</sup>（図1, 2）の有効成分アカメガシワクダアザミウマは登録を有する対象害虫のアザミウマ類の幼虫の他に、密度抑制には及ばないが、ハダニ類、アブラムシ類、コナジラミ類幼虫等を捕食することができ、またイチゴ、ナス、ピーマンの花粉で増殖可能な広食性かつ雑食性の昆虫

である。このような天敵を生物的防除資材として利用することは、作物上に天敵個体群を維持することに寄与する。

他にも広く使用されている捕食性ダニのミヤコカブリダニとスワルスキーカブリダニはそれぞれTYPE IIとTYPE IIIに分類される広食性かつ雑食性のカブリダニである。それぞれハダニ類とアザミウマ類・コナジラミ類の天敵として市販されている。これら広食性カブリダニは各種微小節足動物に加えて、作物の花粉も摂食可能なことから、放飼後の圃場への定着性も比較的よい<sup>2)</sup>。



図 1. アカメ®



図 2. アカメガシワクダアザミウマの成虫(左)と2齢幼虫(右)

### 3. 圃場への定着性向上技術

天敵が圃場に十分に定着できない理由として、①餌となる害虫や代替餌の不足、②生息環境が不良（隠れ場所不足、産卵場所不足、高温、低温、乾燥）、③化学農薬の影響がある。天敵の定着数を増加させるには、繰り返し放飼するか（「繰り返し放飼法」あるいは「ドリブル法」）、工夫をして天敵個体群を維持するしかない。前者の繰り返し放飼法は、手間とコストがかかる。特に天敵製剤のコストが高い日本では普及が難しい。そこで後者の天敵個体群を維持する多くの方法がこれまで導入または考案されてきた。例えば、バンカー法、撒き餌法、プースター法（アカメガシワクダアザミウマを別の天敵であるヒメハナカメムシの餌としても用いる）、代替餌の散布、栽培管理、パック製剤、バンカーシート®などである。

#### 3-1. バンカー法

バンカー法（バンカープラント法）は、天敵の代替餌個体群（バンカー、banker）を圃場内に設置することにより、天敵個体群を維持する方法である。国内の実用化例としてはアブラムシ（作物の害虫とならない種）を寄生させたプランター植えの麦を圃場内に設置し、そこへアブラムシを寄主とする天敵（コレマンアブラバチ、ギフアブラバチなど）を導入し、天敵個体群を維持しておくものがある。この方法はうまくいけば天敵を圃場内に長期常在させることができ、天敵放飼のタイミングを見極める必要性がなくなる。少量放飼で済むので処理コストを低減させることもできる。ただし生産者にバンカーの水やりなど維持・管理をしてもらう必要がある。懸念点として、コレマンアブラバチがバンカーに定着してしまい、作物の方へ分散してくれない可能性がある。そこで作物へ分散させるようにバンカー（プランター）を操作する方法を試した<sup>4)</sup>（図 1）。イチゴハウス内に設置した複数のバンカー（小麦とムギクビレアブラムシのプランター）の一部の水やりを停止することによって小麦を枯死させ、コレマンアブラバチの

分散を促進した。このタイミング以降、イチゴ上のワタアブラムシ密度の低下が観察され、その後はワタアブラムシを低密度に抑制した。この事例の場合、コレマンアブラバチにとっての餌資源はバンカー上のムギクビレアブラムシとイチゴ上のワタアブラムシである。ある調査日のアブラムシ個体数比（イチゴ上のアブラムシ数/バンカー上のアブラムシ数）とその日から2週間後（卵からマミーに成長する期間に相当）のマミー（コレマンアブラバチの蛹）数比（イチゴ上のマミー数/バンカー上のマミー数）が比例していることがわかった。すなわちコレマンアブラバチは、アブラムシの個体数比に応じて、次世代の産卵場所を変えていることが示唆された。人為的にアブラムシ数比を操作することにより、作物上のアブラムシをコレマンアブラバチによって防除しうる。

### 3-2. パック製剤とバンカーシート®

パック製剤は、有効成分のカブリダニとその餌ダニ、増量剤（ふすま等）が紙製もしくは生分解性樹脂製の袋に充填されており、slow-release sachet と呼ばれる。パック製剤に付属しているフックを使って、作物にひっかけて使用する。パック製剤には小さな穴が開いており、そこからカブリダニが徐放的に這い出してくる。これは一種のバンカー法とも言える。小袋内部の増量剤（ふすま等）はカブリダニの隠れ家であり、産卵場所となっている。餌ダニは、カブリダニの餌であり、水分補給源ともなる。紙製もしくは生分解性樹脂製の袋は水（散水、降雨）や化学農薬からの防護になるとともに、内部を高湿度に保ち、カブリダニの生存に好適な環境を提供する。害虫発生前に作物につるしておけば、カブリダニが放出され、予防効果を発揮する。このようにパック製剤もまた放飼タイミングが難しいという難点が緩和される工夫となっている。

以上のようにカブリダニパック製剤は優れた特長をもつ製剤であるが、実圃場では改善すべき点もある。パック内は高湿度に保つ効果はあるものの、圃場ではその激しい環境変化の影響を受ける。例えば、夏期の高湿条件では短時間で内部が乾燥してしまい、放出期間が短くなったり放出量が少なくなったりする。また、露地では雨がカブリダニ放出口から流れ込んで内部が水浸してしまうケースもある。バンカーシート®（図3）は、このような短所を改善し、より簡便なバンカー法かつパック製剤のコンセプト/機能を十分に発揮するための技術である。それは、パック製剤とフェルト（カブリダニの産卵用基質）とを耐水性紙製シェルター「バンカーシート®」で包括することを特徴とする。バンカーシート®は内部の湿度の変動を小さくして安定化する働きがあり、封入される吸水性ポリマー（保水資材）は内部の湿度を高くする働きがある。したがって、バンカーシート®内は高く安定した湿度環境が保たれることになる。この環境は餌ダニの増殖にも寄与しており、カブリダニは餌を長期に供給されることになる<sup>50)</sup>。バンカーシート®は化学農薬や降雨から内部を守るので、化学農薬との併用機会を増やし、露地での使用可能性も増加させる。これまで普及上の大きな障壁となっていたカブリダニに影響がある薬剤とカブリダニとの併用の可能性が増えることは、天敵利用の普及に寄与する技術と言える。バンカーシート®にもフックがついており、作物の枝葉に直接容易に設置することが可能である。果樹の場合は幹にまきつけたひもにひっかけて設置することも可能である。農食事業 26070C いつでも天敵コンソーシアムはこの資材の使用方法を果菜類、果樹類や花き類で開発し、マニュアルとして公開している。



フェルト  
(産卵場所)

バンカーシート®  
(耐水性紙)

パック製剤



特許第5681334号

保水資材5粒  
(吸水性樹脂)

図3. バンカーシート®

#### 4. 天敵/害虫比の操作 ~カブリダニ製剤と選択性殺ダニ剤との併用技術開発

天敵/害虫比を一定値以上にするには、天敵の放飼量を増やせばよいのだが、日本では処理コストの観点から普及性は低いと思われる。そこで操作的に天敵/害虫比を増加させることが有効である。その手段として、カブリダニに影響のない選択性化学農薬とカブリダニ製剤を併用する方法がある。気門封鎖剤アカリタッチ（プロピレングリコールモノ脂肪酸エステル乳剤）によってハダニを選択的防除するとともに、チリカブリダニを利用することでハダニ密度を抑制することができた<sup>7)</sup>。この方法の利点の一つは害虫数のモニタリングを必要としないことである。より長期間にわたってカブリダニ個体群を圃場内で維持するにはその餌を確保する必要がある。チリカブリダニのようなハダニ専門の捕食量の多い種に対してはアカリタッチのような殺卵活性のない薬剤を利用することにより、餌のハダニ卵を残してやるのが有効かもしれない。チリカブリダニはこの卵を食べて増殖し、株あたりの天敵/害虫比が上昇するのに伴い、分散してハダニを探索し、食い尽くしてくれることが期待できる。

#### 5. おわりに

有効な「天敵数/害虫数比」を作物上で実現するという観点で取り組んできた研究を簡単に紹介した。これらはまだ普及の途上であるし、改良すべき点もある。露地を含む過酷な圃場環境における天敵の維持方法はその一つである。施設内であれば、講演にて紹介した飽差管理を含む栽培管理と組み合わせた技術の検討が必要と考えられる。

## 6. 引用文献

- 1) 日本典秀, [仲井まどか・日本典秀, バイオロジカル・コントロール第2版, p.191, 朝倉書店], 61 (2021)
- 2) 森光太郎ほか, 植物防疫 71, 163 (2017)
- 3) 伊藤勇弥ほか, 応動昆 58, 39 (2014)
- 4) 森光太郎ほか, 関西病虫研報 55, 105 (2013)
- 5) 高嶋庸平, 植物防疫 71, 187 (2017)
- 6) T. Shinmoda et al., BioCont. 62, 495 (2017)
- 7) 山口晃一ほか, 関西病虫研報 56, 29(2014)

生物的防除部会  
2022年度 第3回オンライン講演会のお知らせ

生物的防除部会 2022年度第3回講演会を下記の通り開催いたします。  
会員の皆様はじめ多くの方がご参加くださいますようお願い致します。

記

日時： 2023年2月7日（火）13時00分～16時10分  
オンライン講演会 使用アプリ: ZOOM

演題1 「岐阜における化学農薬削減に対する取り組み」

杖田 浩二 氏 岐阜県農業技術センター

岐阜県では、豊かな気候風土を活かし、多種多様な農作物が栽培されている。今回は、当県の主要品目であるカキとトマトの害虫を中心に、研究の一部とその成果について紹介する。当県は、カキの重要害虫であるカキノヘタムシガやフジコナカイガラムシの交信かく乱剤開発、防除適期予測手法の確立などに取り組んできた。施設トマトで問題となるタバココナジラミに対しては、侵入防止を主とする物理的防除技術の確立や、油脂系気門封鎖剤が忌避効果を有することを明らかにするとともに、その活用法を開発した。開発した技術は、現地でも広く普及し、効果的な防除に寄与している。

13:00 ~ 14:00

演題2 「ナシ害虫の防除、主に株元草生によるハダニ類防除について」

中井 善太 氏 千葉県農林水産部 山武農業事務所

ハダニ類は多発時に早期落葉や樹勢低下等を引き起こすため、果樹栽培における重要害虫である。ニホンナシ栽培におけるハダニ類対策としては、薬剤防除や、発生源となる雑草の徹底した除去が行われてきた。しかし、ハダニ類の薬剤感受性低下が顕著となり、これまで通りの対策ではハダニ類を防除することが困難になっている。本講演では、土着カブリダニ類によるハダニ類に対する防除効果を高めるために取り組んだ、ナシ樹株元の雑草温存や、各種害虫に対する薬剤防除手法の再検討について紹介し、その際の留意点についても触れたいと思う。

14:00 ~ 15:00

< 休 憩 >

15:00 ~ 15:10

### 演題3 「BT 剤(*Bacillus thuringiensis*)の家庭園芸への応用」

勝本 俊行 氏 住友化学園芸(株) 研究開発部  
製品開発センター

家庭園芸で市場が拡大しつつある気門封鎖剤の RTU 製剤では、アブラムシ、ハダニなどに比べてチョウ目害虫に対しては十分な防除手段となっていない。そこで、チョウ目害虫に効果が高い BT と気門封鎖剤を有効成分とする RTU 製剤を開発し「ベニカナチュラルスプレー」として上市するに至った。また、BT の植物に対する抵抗性誘導と考えられる殺菌成分としての効果に着目し、農研機構との共同研究の末、BT をうどんこ病等の殺菌成分として採用したユニークな殺虫殺菌粒剤「ベニカ X ガード粒剤」を開発し販売中である。

15:10 ~ 16:10

連絡先 生物学的防除部会 事務局

厚井 隆志 E-mail [takashi.koi@nifty.ne.jp](mailto:takashi.koi@nifty.ne.jp)

### ＜オンライン講演会参加 申し込み要領＞

オンライン講演会への参加をご希望される方は、当会のホームページ(「生物学的防除部会」で検索)より申込フォームにアクセスし、お名前とメールアドレスをご入力の上送信してください。開催日までに Zoom の接続情報をメールでお知らせ致します。