

天敵誘引剤を用いた害虫管理

—考え方と実際—

九州沖縄農業研究センター 浦野知*
 近畿中国四国農業研究センター 安部 順一 朗
 (株)四国総合研究所 小原 祥 嗣
 京都大学生態学研究センター 釘宮 聡一**・上船 まさよし・塩尻 かおり・
 小澤 理香・高林 純示
 曾田香料(株) 佐野 孝 太
 中央農業総合研究センター 光永 貴之・長坂 幸吉・下田 武志

はじめに

害虫の加害によって作物が生産・放出を始める香り (Herbivore-induced plant volatiles: HIPV) が、その害虫の天敵を呼ぶ現象の発見 (SABELIS and VAN BAAN, 1983; 総説は塩尻, 2002) は、多くの応用研究者に、この特殊な香りを用いて周辺環境から土着天敵を呼び込み害虫個体群を抑制するという夢を抱かせた。この夢を現実のものとするため、2002年より「天敵制御」プロジェクトが生まれ、昨年度(2006年度)現地実証試験の成功をもって終えることができた。研究は、アブラナ科作物に発生する害虫コナガ (*Plutella xylostella*; 図-1) を対象に行われた。HIPVを人工的に再現した香りを用いて誘引するのは、寄生蜂コナガサムライコマユバチ (*Cotesia vestalis*; 以下、コナガコマユバチ) である (口絵①)。

本稿では、世界的にも新しいコンセプトとして、天敵誘引剤を用いた害虫管理の考え方と実際を解説する。この研究は、生研センターによる生物系産業創出のための異分野融合研究支援事業の支援を受けて行ったものである。

I 天敵を誘引することにより害虫を減らすメカニズム

天敵誘引剤を用いて天敵を呼び、害虫を抑制するというアイデアが有効に働くには、二つの条件が必要である。自然界では大発生しにくい植物食の昆虫が、栽培作物のうえでは害虫となって、防除をしなければ大発生してしまう理由の一つに、「天敵の来遅れ」がある。圃場に害虫が侵入して作物に被害が出るまで、害虫を食べる天敵が作物上にやってくることは少ない。このため、圃場内において害虫発生後に土着天敵が確認されたとしても、そのときには作物の被害は大きくなっているのである。実際、筆者らが実証試験の対象とした京都府北部のアブラナ科葉菜類栽培ハウスでは、コナガが発生し、被害が甚大になってからコナガコマユバチの発生が確認された (安部, 未発表)。そこで、天敵誘引剤を用いた害虫管理では、「天敵の来遅れ」をなくすため、未被害の作物上に天敵をあらかじめ呼び込むことが第一の条件となる。



図-1 コナガ幼虫

The New Method of Pest Management Using HIPV to Attract Natural Enemy. By Satoru URANO, Junichiro ABE, Yoshitsugu OHARA, Soichi KUGIMIYA, Kota SANO, Masayoshi UEFUNE, Takayuki MITSUNAGA, Kaori SHIOJIRI, Rika OZAWA, Koukichi NAGASAKA, Takeshi SHIMODA and Junji TAKABAYASHI

(キーワード: HIPV, 土着天敵, 誘引, 保全的利用, コナガ, コナガサムライコマユバチ, ミズナ, コマツナ)

* 現所属: 京都大学生態学研究センター

** 現所属: 農業環境技術研究所

自然界の植物の防衛システムでは、①害虫による加害が起こってから、②植物は天敵を誘引し、③天敵が害虫を攻撃する。一方、天敵誘引剤を用いた害虫管理では、HIPVによって餌食物のない作物上に天敵を誘引するため、天敵には別に餌食物を与えなくてはならない(天敵活性化剤)。つまり、①まず、作物上に天敵を誘引し、②餌食物を与えて天敵を保持し、③侵入してきた害虫を即座に攻撃する。このように、餌食物の供給が天敵誘引剤を用いた害虫管理における第二の条件である。

これら二つの条件を満たすため、天敵誘引剤を用いた害虫管理には、害虫未発生時に天敵を誘引する技術と、誘引した天敵の害虫捕食能力を保ったまま長生きさせる天敵活性化技術の二つが必要となる。この二つをあわせた害虫管理法をあらためて「天敵制御技術」と呼ぶ。これにより、ハウスに侵入してきた害虫は、既にいる天敵に即座に攻撃され防除される。

II 天敵誘引剤による害虫管理の基本コンセプト

「天敵制御技術」のアイデアを現実のミズナーコナガ—コナガコマユバチ系に適用するとどうなるであろうか。その基本コンセプトは図-2のようにまとめられた。野外においてコナガが発生する期間中、ミズナ栽培雨よけハウス(灰色実線で囲った四角)内ではいつでもコナガが侵入しうる。そこで天敵誘引剤を常時設置し、常に少数のハチを呼び込み、天敵活性化剤で活性化しておく。コナガの侵入(図では2回発生)があった場合、活

性化されたハチの寄生によって、実質的なコナガの被害を受けない範囲にコナガ個体数(加害ステージである幼虫数)を抑制できる(実線)。天敵誘引剤・天敵活性化剤を設置しない場合、コナガ次世代は被害を及ぼすレベルまで増えてしまう(点線)。

この基本コンセプトは、現地調査の結果とすりあわせながら練られたものである。天敵誘引剤・天敵活性化剤に求められる効果を具体的な開発目標とするために、この方法を適用できるシーズン、誘引距離、誘引頭数の目標値が策定された。ミズナは周年栽培されており、1作(1回の播種から収穫まで)は春～秋期で約1か月である。コナガコマユバチの活動期は4月から10月であるので、この間を「天敵制御技術」による害虫管理の期間とした。雨よけハウスへのコナガの飛び込みの可能性がある時期は、ほぼこれに重なる。

現地調査によって、代表的な雨よけハウスが約1.5a(栽培株数9,000株)であること、実質的な被害の生じる1世代前のコナガ幼虫密度は100株当たり5頭であること、したがって、抑制すべき個体群は最大で450頭の幼虫であることなどがわかった。ハウスの周辺環境にはコナガコマユバチが生息しているが、正確な密度を推定することはできない。しかしながら、捕虫網によるすくい取りによって一定してコナガコマユバチが捕獲されること、あぜみちや群落が広く分布していること、多くの場合ハウスの周り3～10mの範囲にアブラナ科群落が認められることから、この距離を誘引の目標とした。

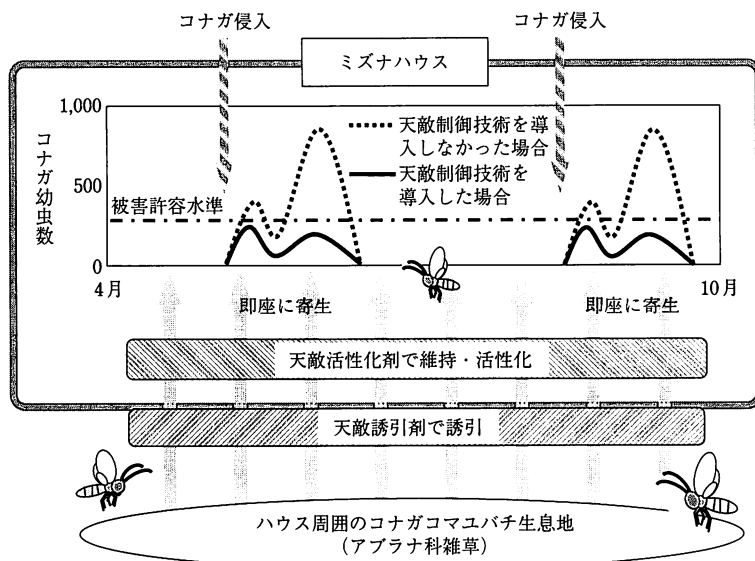


図-2 天敵誘引剤による害虫管理の基本コンセプト

コナガ幼虫個体群を増やさないために必要な寄生率は、単純な数理モデルにより84%と推定された(浦野ら、未発表)。これを根拠にハウスに誘引すべきコナガコマユバチの数は、6～7頭と算出された。現在市販されている天敵昆虫のうち、寄生蜂の多くは、1a当たり50～300頭放飼を推奨されている(日本植物防疫協会、2006)。天敵の必要放飼数は、作目や作型、対象害虫の種類や要防除密度により変化するため、一概には比較できないが、1a当たり6～7頭という目標値は驚くべき少なさといえる。これは、主に蜜を給餌したときのコナガコマユバチの産卵数の多さ、探索能力の高さによるものである。

以上により、天敵誘引剤の開発目標となる害虫管理プログラムは、「ハウス内の9,000株上に要防除密度(0.05/株)時のコナガ幼虫450頭が存在するとき、そのうち380頭(84%)に寄生が起これば増殖を抑制できる。そのために、天敵誘引剤・天敵活性化剤を設置して常時7頭以上のハチを誘引・定着し、活性化させる」こととなった。この「常に少数のハチを誘引・定着」は、プロジェクトチームの中で合言葉となった。これは一方で、ハウス周辺で涵養されるコナガコマユバチ個体群が一時的に少なくなるほど誘引性が強すぎたはいけないことも意味している。

このように少ない数のコナガコマユバチによって本当にコナガの発生を抑えられるかどうかは、のちに1.2aの雨よけハウスを用いた放飼試験で実証された。試験では、約2,000株のコマツナ上に約100頭のコナガ幼虫が接種された(要防除密度に相当)。3回にわたる対試験において、0頭放飼の対照区に対し、それぞれの処理区には、15頭、10頭、5頭のコナガコマユバチ雌成虫が放飼されたが、いずれもコナガ個体群の増殖を抑制することに成功した(安部ら、2007)。

Ⅲ 天敵誘引剤の開発

天敵誘引剤の開発は、コナガに被害させたキャベツが放出する香りの成分を、ガスクロマトグラフ-質量分析計(GC-MS)によって解析することから始まった。未被害の健全なキャベツが放出している香りと比較することにより、被害されたキャベツが特異的に多く放出するHIPVは、少なくとも4成分から成ることがわかり、それらの化学構造を決定した(塩尻ら、未発表)。その後、

- ①各成分単独では誘引性はなく、4成分を混合することによりコナガコマユバチを誘引できることがわかった。
- ②天敵の誘引には有効な濃度の範囲があることを小規模

誘引試験で明らかにし、その濃度範囲を決定した。

- ③合成化合物を用いてHIPVを再現するべく調製と試験を重ね、最も誘引効果の高い4成分の組成比を決定した。これら4成分はすべて食品添加物として収載されており、安全性の面で問題はないと考えられる。

剤型については何度も議論が重ねられた。初期はボトル剤(図-3の活性化剤と同じ形)が有力な候補であった。大型温室における誘引試験においてボトル剤五つを並列して置いたときの誘引性が高かったことから、広い空間に対しては、うすくひろく匂いが拡がるフィルム剤(図-4、口絵②)が考案された。そこで、小規模実験用にはボトル剤が、現地圃場で用いる製品としてはフィルム剤が選ばれた。製品には、徐放性(緩やかに成分を放出させる性能)を付与する必要があったが、二つの工夫(①揮発しにくい溶剤を用いる、②適度な透過性をもつフィルムに封入する)をあわせて用いることにより、1か月から1か月半持続するフィルム剤を開発することができた。こうしてできた天敵誘引剤を「ハチクール」と命名した(図-4;特許出願中2004-343149)。

誘引性の試験は、小型ケージ(30×35×25cm)と

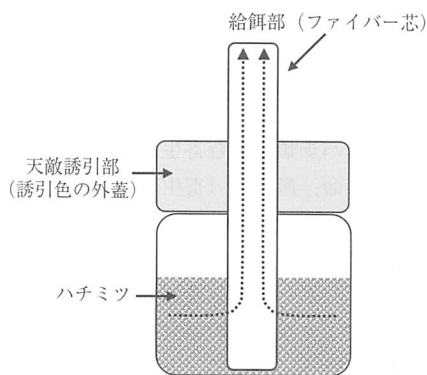


図-3 天敵活性化剤「ハチゲンキ」の構造

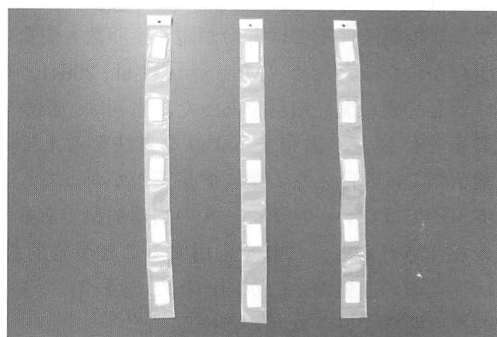


図-4 天敵誘引剤「ハチクール」

制御温室 (3 × 3 × 2 m) を経て、大型温室 (10 × 7 × 5 m) および野外へと、スケールを変えて、繰り返した。最終的にどのスケールでも上記のブレンドにコナガコマユバチに対する誘引性があることを検証できたが、大型温室以上のレベルでは失敗の連続であった。失敗から学んだことは、

- ①コナガコマユバチは、地面低くを跳躍するように休み休み移動する。
- ②夏期においては、早朝から午前中、気温の上昇期が活動しやすい。
- ③放飼直前に蜜を与えると、再捕獲率が上がる。
- ④加害を受けていないアブラナ科植物 (コマツナ) を一定量以上おくことにより、誘引剤単独のときより捕獲率が上がる。

などである。特に、①と④は、Y字管や小型ケージではわからないことであった。誘引試験は、様々な生態学的知見と経験値とを我々に与えてくれ、「天敵制御技術」の開発に必須の過程であった。誘引性の検証試験により、雨よけハウスから少なくとも3～10 m離れた雑草群落からコナガコマユバチを呼ぶことが可能であるとの確証を得た。

IV 天敵活性化剤の開発

少ない数のコナガコマユバチの放飼試験の成功と現地実証試験の成功は、天敵活性化剤の貢献によるところが大きい。コマユバチ類を含む寄生蜂の幾種かは、糖類の給餌によって寿命、産卵数 (寄生率) が向上することが知られている (POWELL, 1986)。これらの寄生蜂は、自然界では、花の蜜やアブラムシの甘露などを利用していると考えられる。しかし、天敵誘引剤によって誘引された寄生蜂は、そのような自然の餌食物のないハウス内で寄主探索や産卵を行う。そこで、天敵誘引剤による害虫管理の支援策として、植生管理ないし給餌を行ってコナガコマユバチの活動性をあげることが初期の計画に盛り込まれていた。特に、コナガコマユバチは寄主体液接種を行わず、無給餌条件下では寿命が短く産卵数も少ないことが明らかになったため (MITSUNAGA et al., 2004)、給餌はぜひとも必要な開発項目であった。当初は、細かい液滴状の蜜を作物上に撒布するような方法を考えていたが、葉菜類では商品となる葉に直接蜜がかかってしまうため実用的ではない。ハチケールの初期剤型であるボトル剤が試作されると、これを応用することが発案され、天敵活性化剤の開発の糸口が開かれた (図-3)。

その後、明らかにされたことは、

- ①設置は地上約 50 cm が効果的である。

- ②コナガコマユバチはアブラナ科の花色である黄色を主に好む傾向がある。

- ③コナガコマユバチの寿命と産卵数の向上には、ショ糖よりもハチミツが有効である。

などである。なお、有効成分については、より詳細な研究が MITSUNAGA et al. (2006) によってなされている。天敵活性化剤の開発には、このほか、

- ①農作業の邪魔にならない設置具の考案。
 - ②ハウスに設置したときアリのたかるのを防ぐため、設置具にタルクを塗布すること。
 - ③ハウスに設置したときカビが生じないように、ハチミツに防カビ剤を混合すること。
- などの工夫が必要であった。

上述の 1.2 a ハウスを用いた放飼試験では、実圃場レベルのスケールで、コナガコマユバチが天敵活性化剤を利用していたことが確かめられた (安部ら, 2007)。こうしてできた天敵活性化剤を「ハチゲンキ」と命名した (国際特許出願中 PCT/JP2005/021613 : 口絵③)。

V 実証試験

前章までに述べたような分子レベルから野外スケールに至るまでの様々な試験の結果を総合して、天敵誘引剤・天敵活性化剤を用いた害虫管理法のマニュアルが作られた。2006年、このマニュアルに従った実証試験が、京都府北部のミズナ生産地において行われた。実証試験では、11棟の雨よけハウスにこの技術を適用し、他の11棟のハウスを対照としてコナガ発生回数を比較した。「天敵制御技術」を適用したハウスでは、適用しないハウスに比べ、コナガ発生回数はほぼ半分、黄色粘着板にトラップされたコナガ数は約 1/4 となった (TAKABAYASHI et al., 未発表)。こうして、天敵誘引剤と天敵活性化剤を用いた世界初の害虫管理の試みは、第1年次の成功をみた。引き続き、試験を繰り返して効果の安定性を確認すべきと思われる。

VI 天敵誘引剤を用いた害虫防除の位置づけ

天敵の利用法は、一般に三つに分類される。伝統的生物的防除、放飼増強法、土着天敵の保護利用法である (VAN DERIECHE and BELLOWS, 1996)。天敵誘引剤を用いた害虫防除は、このうち土着天敵の保護利用法に属する。土着天敵の利用は、近年重要性を増しつつあると考えられる。化学農薬の使用の削減が生産者・消費者に求められるに伴って、圃場の周辺の潜在天敵の調査も多くなされるようになった。有用な天敵は、放飼増強法の素材としてとりあげられることもある。タイリクヒメハナカメ

ムシやミヤコカブリダニ、ハモグリミドリヒメコバチ等がその例である。また、保護利用法としては、露地ナスの害虫アザミウマ類に対して、土着天敵の害虫抑制能力を明らかにした NAGAI (1990) の先駆的な研究がある。筆者が 2002 年に視察したスペイン南東部のカタルーニャ地方でも、トマトとポインセチアに発生する害虫コナジラミ類に対して、ハウス周辺の天敵（寄生蜂および捕食性カメムシ類）を天窓開閉式ハウス内に呼び込む研究がなされていた。日本国内で試みが始められているコンパニオンプラントや障壁作物も土着天敵の働きをうまく利用する機能が期待されている。

日本において従来登録されている有機栽培に使用できる農薬は、天敵農薬（ダニ製剤を含む）、微生物農薬（BT 剤を含む）、合成性フェロモン剤の 3 種である（例えば、日本植物防疫協会、2006）。天敵誘引剤・天敵活性化剤は、これらのどの分類にも当てはまらない、世界的にも全く新しい害虫防除資材である。また、植物由来の天敵誘引成分で土着天敵を誘引する、すなわち自然界で植物が行っている害虫防除システムの模倣という意味で、環境に調和した持続的な農法のための資材といえる。さらに、バンカープラント法（長坂・大矢、2003）と同じく、モニタリングのいらない天敵利用技術として期待される。

おわりに

今回のプロジェクトは、天敵誘引剤による害虫管理の技術原型を作ることに成功した。今後は、一連の研究で培った理論や実験法のノウハウをもとに、他の作物—害虫—天敵から成る三者系を用いた技術原型が作られることが期待される。しかし、技術原型とは、「研究開発者の手厚い支援があれば現地圃場でこのようなことが可能である」というレベルであって、普及技術としての完成度は 40～50% であると思われる。そこで、当プロジェクトでは、天敵利用技術の普及要件について調査と考察を行った。

どのような害虫管理技術であれ、それ単独では完全な効果を期待できない。なによりも地域ごと、経営規模ごと、生産者ごとに異なる栽培形態とのすりあわせを必要とする。「天敵制御技術」も試験地において、①ハウス開口部に防虫ネットを張る（長坂ら、2003）、②ハウス周囲に抑草シートを張る（長坂・安部、2005）等の補助技術を必要とした。一つの栽培体系に無理なく組み入れられて、初めて技術原型は「普及技術」とみなされる。

そのために、生産現場で栽培・収穫・出荷を実行しながらでなくてはできない工夫や発明が必ずある。これが、現時点での天敵誘引剤による害虫管理に足りていない 50～60% であると考えられる。

現在、天敵利用技術の普及に成功している地域に取材すると、上記の不足を補うためには、10 軒以上の生産者が 3～5 年の試行錯誤をすることが必要と考えられる。10 軒以上とするのは、1 軒では 10 年かかるかもしれない試行錯誤を 1 年で行えるためである。この間、生産者の失敗や成功や工夫の情報を流通させて、技術の確立を支援するアドバイザーが必要である。ここで、アドバイザーと呼ぶのは、特定の生産地の出荷と栽培法（施肥、病害虫対策を含む）を把握しており、週に一度以上生産者を訪れる技術者のことであって、地域により農業改良普及員であったり、JA 営農指導員、あるいは農薬・農業資材会社のエージェンต์であったりする。天敵誘引剤を用いた害虫管理法が本当に生産者の農法の一部として役立つには、どうしてもアドバイザーの協力が必要である。技術原型を特定の土地において普及技術にまで高める過程が、IPM の“受け皿学”（井上、1990）であると考えられた。

低投入で周辺環境と調和した農法の開発は、今後もますます求められていくものと思われる。環境保全をのみ重視するのではなく、新しく望ましい経済と景観をコーディネートし創造していくためには、開発を待つ多くの可能性が埋もれていることと思う。10 年後には、「天敵制御技術」はそのような農法の一部として、ふつうのものになっているであろう。そのような未来を引き寄せたいと考えている。

引用文献

- 1) 安部順一郎ら (2007): 近畿中国四国研究センター研報 6: 125～132.
- 2) 井上雅央 (1990): 植物防疫 44: 354～357.
- 3) MITSUNAGA, T. et al. (2004): Appl. Entomol. Zool. 39: 691～697.
- 4) ——— et al. (2006): ibid. 41: 277～285.
- 5) NAGAI, K. (1990): ibid. 25: 199～204.
- 6) 長坂幸吉ら (2003): 植物防疫 57: 169～173.
- 7) ———・大矢慎吾 (2003): 同上 57: 505～509.
- 8) ———・安部順一郎 (2005): 野菜園芸技術 32(7): 20～21.
- 9) 日本植物防疫協会編 (2006): 生物農薬＋フェロモンガイドブック 2006, 日本植物防疫協会, 東京, 367 pp.
- 10) POWELL, W. (1986): Insect Parasitoids, Academic Press, London, p. 319～340.
- 11) SABELIS, M. W. and F. M. VAN BAAN (1983): Entomol. Exp. Appl. 33: 303～314.
- 12) 塩尻かおりら (2002): 応動昆 46: 117～133.
- 13) VAN DERIECHE, R. G. and T. S. BELLOWES (1996): Biological Control, Chapman & Hall, New York, 539 pp.