

# 性フェロモン利用による害虫防除の現状と課題

農林水産省農業環境技術研究所 **野** **口** **ひろし** **浩**

今世紀後半の科学技術の発展は、国民生活の物質的豊かさの向上面で大きく貢献したが、一方で環境汚染など好ましくない問題も提供した。

害虫防除技術においても耕種的、物理的、生物的防除に比し、化学的防除の開発、技術の進歩は目覚ましく、農産物の生産の増大に大きく貢献した。しかし、その一方で環境汚染、自然生態系への悪影響、抵抗性害虫の発現などが顕在化し、これらの問題の解決のために、環境負荷を軽減するための防除法が求められている。

これからの害虫防除は、環境に優しく、できるだけ生態系の機能を損なわずに、農産物の増産、安定化を図ることのできる害虫管理技術の確立が求められている。種々の防除法を使用して害虫の絶滅を図るのではなく、種々の適切な防除手段を矛盾しないように利用して、害虫個体群を経済的被害が生じない低密度に減少させ、その低密度を維持するための害虫管理技術の確立、いわゆる総合防除の技術開発である。特に近年まで技術開発の遅れていた天敵、生理活性物質などを利用した生物的防除法の研究、開発が望まれている。

この中で性フェロモン利用の研究は短時間で急速に進展したが、実際には防除を行ううえで未解決の問題も多い。性フェロモンは殺虫剤と異なり、その効果は密度に逆依存的であり、次世代に効果の発現を期待するなど極めて遅効性で、化学殺虫剤の代替物ではない。本法は、害虫管理プランの中で種々の防除法のそれぞれの特質を生かして使用すべきものの一つであることを理解される必要がある。

我が国では現在、果樹、茶、そ菜、イネ、芝などの主要害虫を対象に性フェロモン製剤が市販されている。害虫防除における性フェロモンへの期待は今後ますます大きく、重要となっていくことは間違いないであろうが、一方で主要害虫の性フェロモンが明らかになったことから、性フェロモンの研究は終わったという考えがあり、基礎的研究ばかりでなく、実用的試験においても、その重要性が人的、経済的に軽視されることが懸念される。性フェロモン利用による防除法は、いろいろな問題を残しながら着手されたばかりであって、まだ確立されてい

るわけではない。対象害虫の生態、生理的調査や圃場の立地条件による気流の流れなど、多くの基礎的な課題が残されている。それらをなおざりにして今後の進展は望めない。以下、利用に関する課題を検討してみたい。

## I 発生調査

初期発生の把握、発生の有無や侵入害虫の調査、防除の要・否や防除適期の決定、被害発生の時期や被害量の予測、防除効果の判定、および個体群の増減や移動・分散など、防除を目的にした発生調査は多様であるが、性フェロモンは強い誘引力と簡易な取り扱いで簡単に対象害虫の調査ができる。

現在発生予察用に市販されている性フェロモン剤は24種、試験的に使用されているものを含めると30種以上の害虫で利用可能となっている。環境に優しく、的確な防除を行ううえで、害虫の発生予測は重要である。

ここでは性フェロモン利用による発生消長調査について検討してみたい。

一般に害虫防除は、若齢幼虫期に薬剤散布を行うことが最も効果のあることが知られている。発生消長調査の目的は対象害虫の成虫最盛期、産卵最盛期を知り、気温を考慮してふ化最盛期を推定、防除適期を決定することにある。現在市販されている発生予察用性フェロモン剤の対象となっている害虫の発生消長は年間を通して調査できる。しかし、防除適期決定のための使用法が確立しているものは約半数、捕獲数から防除要否、被害または次世代の発生量を推定可能と思われるものはニカメイチュウ、ハスモンヨトウ、コナガ、およびシンクイガとハマキガの一部に過ぎない。その原因と考えられることは、(1)予察灯に比しまだ年々の調査データの集積が少ない、(2)捕獲数が発生世代または季節によって異なる、(3)圃場の環境条件や圃場ごとの発生調査には大きな労力が必要である、(4)トラップの設置場所の選定の難しさおよびトラップ設置による農作業障害、(5)対象害虫ごとにトラップの設置が必要、などの点である。害虫防除から害虫管理への概念が進展すれば防除適期だけでなく、今後、ますます発生量の推定、被害予測、防除要否判断が要求されることになるであろう。

### 1 誘引剤

害虫調査には誘引力が強く、害虫の発生密度を反映す

The Recent Status and Problems on the use of Sex Pheromones for the Pest Control. By Hiroshi NOGUCHI  
(キーワード：性フェロモン、害虫防除、抵抗性)

る誘引性と安定性が求められる。そのためには最適濃度の性フェロモンを一定量安定して、各世代期間蒸散させるための技術開発が必要である。しかし、これらに関する試験は最近ほとんど行われていないが、完成されているわけではない。

## 2 成分

性フェロモン成分は不飽和化合物が多く、酸化、分解などの防止技術が必要であり、また、複数成分で構成されている場合には分子量、不飽和度、エステル型など各成分の異なった蒸発性を必要成分割合で統一に蒸散することが要求される。一方、成分中にその誘導体や関連化合物が0.1%程度混入している場合でも誘引性に影響を与える場合がある。合成品を精製した高純度の成分を要求されるのは当然であるが、現在これに応じ、提供できる機間は残念ながら非常に少ない。

## 3 担体

適当な蒸発速度を与える素材として現在、最も多く使用されているのがゴムキャップ、およびプラスチックカップセルである。炭素数12~14の不飽和アセタート化合物を吸着させた場合の消失速度については調査されている。この場合蒸散量は有効期間内であっても統一ではない。また、温度、風速などの気象条件の影響を受け、一定量を安定して蒸散しているわけではない。今後、新しい素材を見つける努力および蒸散制御剤の開発や、エポキシ成分などを安定させるための劣化防止剤の研究が必要であろう。

## 4 トラップ

誘引虫の捕獲効率が高く、安定し、気象条件などに影響を受けない、取り扱いの簡単なものが要求される。トラップの種類は多くの異なった構造を持つものが考案されているが、対象害虫の飛翔行動、誘引源にきた後の行動などをよく観察して適したものを選定または考案すべきである。捕獲効率は捕獲法、衝突板の設置や色などによっても異なる。ただし、捕獲率を高めるためにファンなどを装置した吸い込み式のトラップは、性フェロモンを拡散させてしまい、誘引虫が定位できないため、捕獲が不可能となるので注意したい。

性フェロモントラップとして現在多用されている、以下の3トラップについて検討してみる。

**粘着トラップ**：小型、軽量、安価、取り付けが簡単であるなどの長所があり、小・中型害虫を対象に現在最も多く使用されている。粘着面が限られるために捕獲数の制限を受けやすいため、毎日または短期間で粘着面の交換、整備を行う必要があり、労力面で煩わしい。また、調査目的の場合には捕獲虫が鳥やカエルなどに捕食される

ことがあるので注意が必要である。雨や埃による粘着板の劣化、風害など気象条件の影響を強く受ける弱点があり、今後これらに対する改良が必要である。さらに、このトラップを要防除基準を判断するための超安価な使い捨てトラップとし、農家個人が発生調査を行い、効率の良い薬剤散布が可能となる開発を行うべきであろう。それにはどれだけの捕獲虫があった場合防除は必要であり、いつ薬剤散布をするかの基準を確立する研究が待たれる。

**乾式トラップ**：一度入ったら出られない構造を持った生け捕り型のトラップである。一般に鱗翅目害虫を対象とした調査用には自作のコーントラップが、甲虫や大型害虫には市販されている漏斗型のものが使用されている。粘着トラップのような捕獲数の制限は受けにくいいため大量誘殺用にも使用できる。長期間使用に耐え、大型のものでは自動計数式のものもあり、設置場所はやや制限されるが、発生予察のオンラインシステムの開発によって今後多用されるものと思われる。性フェロモントラップは特定の種のみを誘引するので対象害虫の調査を自動化することによって労力の軽減が図れるばかりでなく、広域の発生情報をオンライン化して利用する技術開発が待たれる。

**水盤式トラップ**：容器に界面活性剤を加えた水を用いたもので、大量誘殺にも使用できる。市販されているものもあるが、自作が簡単、安価、簡便である。水の供給、高温時の水の減少、腐敗などの問題があるが、腐敗は逆性石鹼液を用いることによってある程度は防げる。雨による増水は一定水位の所に穴を開けておくことによって解決できるが、界面活性剤の補充、水の交換は必要である。試験など短期間の利用にはよいが、長期間利用するには課題が多い。

## II 防 除 法

性フェロモン利用による直接的な害虫防除として、二つの方法が行われている。すなわち、大量誘殺法と交信かく攪乱法である。

### 1 大量誘殺法

性フェロモンの強力な誘引性を利用して、大部分の雄を誘殺して雌の交尾を阻害し、次世代の発生を制御しようとする手法である。現在市販されている誘引剤はハスモンヨトウ、アリモドクゾウムシおよびオキナワカンシヤクシコメツキの3種である。今後、鱗翅目害虫よりは性フェロモンを多く含有、放出している甲虫目を対象に検討されるであろう。性フェロモン利用の害虫防除法では目に訴えるものがあり、最も醍醐味のある手法であるが、成功のためにはかなり厳しい条件が要求される。以

下簡単に列記し、検討は別の機会にゆずる。

(1)雌の性フェロモンよりも合成性フェロモンの誘引力のほうが非常に強力である。(2)雌よりも雄のほうが早く成虫になり性的熟度が早い。(3)配偶行動の日周期性において雌成虫よりも雄成虫のほうが時間的に性的活性が早く起こる。(4)雌成虫の移動、侵入が小さい、または、交尾雌の侵入を防止することができる。(5)発生密度が低い。(6)処理面積が大きい。(7)多数の誘殺トラップを利用できる。

## 2 交信攪乱法

対象害虫が配偶行動を行う場所(圃場)に合成性フェロモンを蒸散させて、雌雄間の性フェロモンによる交信を攪乱して交尾を阻害し、次世代の害虫密度を制御しようとする方法である。攪乱剤には性フェロモン、性フェロモンの一部の成分および攪乱活性を有する性フェロモンの類似物質を使用することが知られている。しかし、作用機構についてはいずれの場合も解明されていない。

この方法はトラップを必要としないこと。設置のために特別な技術を必要としないため誰でも行えること。毒性がなく、天敵への影響が少ないなど利点が多い。現在14種の害虫を対象に行われている。鱗翅目害虫を中心に今後さらに多くの害虫が対象として検討されていくと思われる。以下、今後の問題点を検討してみたい。

## 3 製剤

我が国では安定剤とともに合成性フェロモン等をポリエチレンチューブまたはプラスチック積層テープに封入した製剤が使用されている。前者が多く用いられているが、いずれも表面から徐々に放出する仕組みになっている。有効持続期間は対象害虫、作物によって異なるが、ほぼ解決されている。例えば、ハクサイ、キャベツなどの野菜類の多化性害虫を対象に処理する場合は3~4か月、茶樹では6~7か月効果は持続される。

今後は、現在用いられている封入材のポリエチレンやプラスチック樹脂材に変わる、分解して土に還元できる素材の開発が望まれる。このことによって使用済みの製剤の回収が不要となるばかりでなく、散布や機械化による施用も可能になるであろう。しかし、このような開発の研究は現在行われていない。

交尾阻害効果を十分に得るには、空気中の性フェロモン濃度を安定して必要濃度以上に維持することが重要である。しかし、作物には複数の害虫が加害するのが一般的である。特定の害虫1種だけに有効である現状の防除法では、殺虫剤使用の軽減や防除体系の改良には期待するほど役に立たない例が多い。ハマキガやシンクイガで行われているように、さらに、種、科が異なる複数種の

害虫に対して、同時に防除可能となる製剤の開発が必要である。

## 4 処理と効果

攪乱剤の処理は果樹、茶樹などの永年作物では成虫の発生前、イネ、野菜などの1年生作物では播種、または定植直前に行うことが重要である。さらに対象害虫の生態をよく知っておく必要がある。例えば、ニカメイガの越冬世代成虫は水田と異なる場所で交尾を行う、シバツトガは季節によって交尾場所が異なる。このような場合は1年生作物と同様に、最初に被害を受けるのは付近からの交尾雌の飛び込みによるものである。攪乱剤処理後であっても、このような特性を持つ害虫の場合には、低密度の維持、被害減少のために薬剤による防除が必要である。

成虫の発生期全体にわたり交信攪乱を起こすために必要な濃度の性フェロモンを大気中に維持できるか否かは重要な課題である。気温、風の強さと方向、土地の傾斜、面積、防風林など、気象条件および圃場の立地条件によって大気中の性フェロモン濃度は大きく異なる。この際重要なことは、製剤からの放出量よりも大気中の濃度が重要であり、交信攪乱に必要な濃度は茶のハマキガの場合、15~20 ng/m<sup>2</sup>、コスカシバ1 ng/m<sup>2</sup>、ワタアカミムシ2~5 ng/m<sup>2</sup>で十分効果が期待できるという。

現状では大気中の性フェロモン濃度を測定することは誰もができることではない。また、そのつど測定することも現実的ではない。しかし、今後、性フェロモンの大気濃度を種々な圃場の環境条件下で測定し、本法の施用条件に適当であるか否かの総合的判断を得るための資料の集積や、生物学的手法などの応用も考慮した、簡易な測定法の開発は必要であろう。

一方、使用に当たっては指導者、使用者が施用目的および欠点などをよく理解して使用することが重要である。すでに行われている慣行防除法の中にただ取り入れるだけでは、年1回だけの処理であっても労力、費用の負担が多くなるだけであまり意味がない。我が国の農業形態に則して多くの農家の同意を得、処理面積を確保するとともに、防除体系の中からのどの時期の薬剤を省略できるかを検討し、省力、減農薬で害虫の発生が減少できるとなれば性フェロモン利用も大きく発展するであろう。

## 5 効果の判定

綿密な調査にはトラップによる雄成虫の捕獲、つなぎ雌の交尾率、野外雌の交尾率、産卵数などの調査、その他殺虫剤と同様に幼虫密度、寄生株率、被害程度などの調査、など長期的に多大な労力を必要とする。実的には効果試験を積み重ねて、専門的な技術を要しない、ト

ラップの捕獲数や被害程度のように目で見てすぐわかる方法が好ましい。しかし、その効力判定には対象害虫、圃場の面積や立地条件によって異なる例が多く、一概にこれらの方法に頼れないところがあり、大変困難な課題である。例えば、シロイチモジヨトウはトラップによる雄の捕獲と幼虫密度の関係は一致するが、ハスモンヨトウでは必ずしも一致しない場合があるという。交尾阻害が十分行われていても交尾雌の移動が大きく、飛び込みによって効果が得られない場合もある。対象害虫の特性を知り、それぞれ簡易な判定法を確立していく必要がある。一方、性フェロモンは対象害虫のみを防除することを目的に開発してきた。このため天敵類に対する悪影響は認められない反面、二次害虫の発生が考慮される。天敵がこれらの害虫の発生を低密度に抑え、結果的に殺虫剤の使用減となるのであれば、それなりの評価をすべきであろう。

言うはやさしく行うは難しであり、現状では適切な効果の判定法が確立されているわけではない。対象害虫の生理、生態に関する知見を深め、状況判断から、より適切な判定法を確立する必要がある。

### III 抵抗性の発現

茶樹の主要害虫であるチャノコカクモンハマキとチャハマキの性フェロモンは、4成分および3成分からなる。この中で両種に共通している成分は(Z)-11-テトラデセニルアセトート1成分だけである。この単独成分は茶樹のハマキガ類および果樹のハマキガ類の交信攪乱剤として1983年農業登録され、現在使用されている。

静岡県島田市の一部地域において1995年ごろからこの交信攪乱剤の効力が低下し、現在はほとんど効力を失っている。

同地区で性フェロモンを誘引源に用い、攪乱剤処理を施した圃場での約10年前と最近誘引試験を行った結果を表-1に、同じ攪乱剤を別の地域の圃場に処理し、同様に誘引試験を行った結果を表-2に示す。1985、86年には処理効果が認められ誘殺数が明らかに低下している。しかし、1996年には処理圃場においても大量に誘殺されている(表-1)。一方、金谷、菊川地区では初倉地区で効力のなかった攪乱剤処理で誘殺数の低下が認められ、両地区の効力に顕著な差異が認められた(表-2)ことから、交信攪乱剤に対する抵抗性が出現したと判断した。

攪乱剤の作用機構は現在のところ残念ながら解明されていないが、次のような諸説がある。(1)連続的に性フェロモンに暴露され神経系の反応が低下する(麻痺する神経系によって感覚器細胞と中枢神経に分かれる)。

表-1 ハマキコン処理圃場におけるチャノコカクモンハマキの年間捕獲数

試験年	処理圃	無処理圃
1985	69	3,089
1986	105	883
1996	3,694	7,300

誘引源：合成性フェロモン (3mg), 粘着トラップ。  
試験地：島田市初倉。

表-2 ハマキコン処理圃場におけるチャノコカクモンハマキの誘殺数

	処理圃	無処理圃
島田市初倉	719	815
金谷町	20	120
菊川町	0	46

1999年4月30日～5月7日間の1トラップ平均捕獲数。  
誘引源：合成性フェロモン (3mg), 粘着トラップ使用。

(2)性フェロモンが多数の場所から放出されて雌に定位できない。(3)性フェロモンが一面に漂い雌の性フェロモンの存在がわからない。(4)性フェロモンの一部の成分が大量にあり、成分比が歪められる。(5)高濃度の性フェロモンに対する雄の行動が通常とは異なる。

ハマキガの攪乱剤は(Z)-11-テトラデセニルアセトート1成分であるから(1)、(4)、(5)が複合的に作用しているものと思われるが、大気中の濃度は20 ng/m<sup>2</sup>前後であり、大気の流れから濃淡があり得ることを考慮すると、(4)、(5)が重要な働きをしているものと思われる。一方、抵抗性を発現させる変化に関しても推察の域を出ていないが、次のような説がある。(1)性フェロモンの量が変わる。(2)性フェロモンの構成成分比が変わる。(3)性フェロモンの構成成分が変わる。(4)人工性フェロモンと自然性フェロモンを見分けるようになる。すなわち、雌の放出する性フェロモンが従来とは異なる方向に変化し、雄がこれに同調した場合を想定している。(4)は分析および生物検定などの限界から、正しい性フェロモンに達していない場合を考慮したものであろう。抵抗性の発現した初倉地区から採集したチャノコカクモンハマキ処女雌の性フェロモンを分析した結果からは、従来の性フェロモンに変化は認められず(1)～(3)は該当しない。また、雄の反応性、処女雌との誘引性の比較からは現在のところ前記に該当するような可能性は見当たらない。害虫のほうから与えられた新たな課題として解明しなくてはならない。

抵抗性の発現はある個体群が性フェロモンに連続的に暴露され、その個体群に少数存在していた抵抗性遺伝子を持った個体が攪乱剤の選択圧によって結果的に優占種

となり、発現したものであろうと思われる。発現が遅かったのは抵抗性個体が感受性個体と配偶行動において競合する機会が多いからであると推測される。

対策としては、従来の攪乱剤を単一成分でなく (Z)-9-テトラデセンルアセテートを加えた複数成分にすることで解決できたが、さらに抵抗性の発現を防ぎ、効果的な攪乱剤開発の試験を行った結果、8成分混合の製剤が開発され、現在農薬登録の申請がなされている。また、この製剤について複数種のハマキガに同時に交信攪乱が可能であるかの試験を行っている。

興味あることは、この抵抗性発現のハマキガ個体群が発生予察用の性フェロモンに対して全く正常に反応することである。

なぜ、単一成分の攪乱剤に対して抵抗性が発現するか、その機構は今のところ不明であるが、単一成分のみの攪乱剤の使用は、今後ともその抵抗性発現に注意すべきである。

#### IV 研究の現状

性フェロモンはその特性から安全な次世代の害虫制御剤として注目を得、期待されている。しかし、我が国の性フェロモンの研究は世界に誇れるものであるが、近年この研究分野の活力が低下している。その源は「性フェロモン利用の基礎的研究は完了した」という事情を知らない誤った考えがあり、基礎的研究への支援が軽視されているからではないだろうか。性フェロモンの研究は多分野の学際的研究が必要であり、大量飼育法の確立、化学構造の決定は、まだ防除利用への素材が発見された段階に過ぎない。さらに困難な利用法の検討、実用化試験、防除法の確立という流れが必要であり、飼育法から防除法まで全般にわたる人的、経済的そして公的機関の支援が必要であることを強調しておきたい。

性フェロモンに関する知見は年々増加しているが、基礎的解明の課題はまだ山積している。性フェロモンの研究には基礎的な課題の解明よりも実用化を急いだ面があったことも否定できない。そのため生物学的に興味のある課題が多く残されている。以下、簡単に主な課題を列記する。

**微量成分の同定と機能：**微量成分がなぜ主成分の活性を高めるのかの解明、近縁種との生殖隔離機能の有する成分の探索などが期待されている。

**地域および個体変異：**同種であっても生息地によって、また同じ個体群内であっても個体によって成分比が

異なる。雄の感受性も生息地、個体によって異なる。これらに関する遺伝的な性質、生物学的意味についての解明が必要である。

**交信攪乱機構：**攪乱が生じる機構については種々の仮説があるが、雄の行動の変化、神経段階での解析が明らかになれば、仮説的もしばれるであろう。

**対象害虫の生態：**性フェロモン利用による防除には対象害虫の生態を知ることが重要である。交尾の場所、時期、産卵習性、移動、寿命などの調査が最近おろそかにされている感がある。

**複数種の同時攪乱：**作物の実害となる害虫は複数種であることが一般的であるが、性フェロモンは種特異性が強いのが弱点となり、殺虫剤のように1回の処理で複数種の防除ができない。ハマキガのように1回の処理で複数種の防除が可能となり、さらに天敵の保護効果が加わるのであれば、期待が大きくふくらむ。

**攪乱剤と抵抗性：**複数成分を有する性フェロモンを利用している害虫に、その単一成分を用いた攪乱剤を使用すると、なぜ抵抗性が発現するかを究明することは重要な課題である。

#### おわりに

殺虫剤多用の弊害が明らかになり、害虫防除から総合的害虫管理へと基本的な考え方も変わろうとしている。最近の店頭には減農薬という表示も多く見受けられる。しかし、その一端を性フェロモンが担うのであれば「試験ではうまくいった」、「有意差検定で差が出た」では進展がない。圃場で処理すれば必ず有効な結果が得られなければならない。そのためには成功、失敗の例を含め、どの分野の研究に不足があったかの検討と現在までに集積されたデータを整理し、未解決の部分を明らかにする必要がある。特に生態学、行動学を中心に神経生理学、生理学、生化学、合成化学、微細気象学など多分野の人達の連携で性フェロモン研究のさらなる進展を望み、性フェロモン利用に貢献されることを願っている。

参考文献には主なものを記した。

#### 参考文献

- 1) 中村和雄・玉木佳男 (1983)：性フェロモンと害虫防除—実験と効用—, 古今書院, 東京。
- 2) 農林水産技術会議編 (1988)：自然と調和した農業技術, 農林水産省研究文献解題, NO. 15: 99~103.
- 3) 農林水産技術会議編 (1995)：環境保全型農業技術, 農林水産省研究文献解題, NO. 21: 683~719.
- 4) 「性フェロモン剤等使用の手引き」編集委員会編 (1993)：性フェロモン剤等使用の手引き, 日本植物防疫協会, 東京。