

性フェロモン剤の抵抗性現象の解明と新規製剤の開発に関する研究

田端 純（農業環境技術研究所）

jtabata@affrc.go.jp

昆虫の性フェロモンによる雌雄間の情報交信は、最も劇的で顕著な生物間相互作用現象のひとつである。夜になるとガ類のメスが「匂い」のようなものを放出し、それを嗅ぎ付けたオスがどこからともなくやってくることは古くから知られていたが、この「匂い」の本体がはじめて化学物質としてカイコガから取り出されたのは高々50年ほど前のことである。しかし、その後すぐに農業害虫管理への応用が提案され（Wright, 1964）、急速に研究が進展した。性フェロモンと名付けられたこの「匂い」は、それほど強烈な活性をもつ天然化合物であった。ここでは農業害虫管理における性フェロモンの利用に関する最近の進展と問題を紹介する。

はじめに

我が国ではじめて農業害虫の性フェロモンの化学構造解明に成功したのは、農業環境技術研究所の前身にあたる農林省・農業技術研究所で行われたチャノコカクモンハマキ（図1）に関する研究（Tamaki et al. 1971）であった。このハマキガは茶樹をはじめ様々な果樹の害虫として知られるが、当時から殺虫剤抵抗性が顕在化しており、新しい管理技術の開発が求められていた。戦後の高度経済成長期を経て、殺虫剤の濫用を含む環境汚染問題が注目され始めた時期でもあり、フェロモンのような天然化合物の利用を探る研究はまさに最先端のトピックスであった。



図1 チャノコカクモンハマキ *Adoxophyes honmai*

チャノコカクモンハマキの性フェロモンは、(Z)-11-tetradecenyl acetate (Z11TDA) と (Z)-9-tetradecenyl acetate (Z9TDA) の二つの主成分から構成される。このうち、Z11TDA は他種のハマキガのフェロモンにも含まれる共通成分であることがその後の研究で判明した。そこで、工業的に合成した Z11TDA を大量に圃場に充満させると、チャノコカクモンハマキを含む複数のハマキガの害虫の配偶行動をかく乱し、交尾を阻害することができた（玉木ら, 1983）。過剰量の人工フェロモンによって害虫の天然フェロモンを干渉する交信かく乱法と呼ばれる害虫管理技術であり、Z11TDA は日本初の交信かく乱剤（フェロモン剤）として 1983 年に農薬登録された。以降、数々の農業害虫の性フェロモンの構造が明らかにされ、フェロモン剤の開発も順次進められてきた。現在では国内だけでも 2 万ヘクタールを超える農地で利用されている。

フェロモン剤に対する抵抗性

フェロモン剤の利点としては、(1) 対象害虫のみに作用する、(2) 人畜魚毒性がない、(3)

残留性が低い、等が挙げられている（田端ら，2007）。また、フェロモン剤による防除では殺虫剤で頻発するような抵抗性は生じにくいと考えられてきた。性フェロモンは昆虫自身が生産し、交尾相手を誘引するために使用する化合物である。したがって、仮に害虫がフェロモン剤を「無毒化」する能力を身につけたとしても、そのような個体は交尾相手の性フェロモンを感知することができず、次世代を残すことができないと考えられたからである（望月ら，2001）。実際に1990年代の中頃まで抵抗性の報告はなかった。

ところが、Z11TDA 剤が実用化されてから十数年が経過した1990年代後半から、ハマキガに対する効果が急激に悪化し、フェロモン剤に対する抵抗性現象として報告された（Mochizuki et al. 2002）。世界ではじめての事例であり（Cardé and Haynes, 2004）、現在でも他に類例がない「想定外」の現象であった。Z11TDA 剤を含むフェロモン剤は、開発当初から実圃場で抜群の交尾阻害効果を示したので、その作用機構が解明されぬまま実用化が進められていた。そのため、なぜこのような抵抗性が短期間のうちに生じたのか、仮説も立てられない状態であった。

そこで、私たちは抵抗性が認められた圃場から採集・系統化した虫（R 系統）と、同じ圃場由来で Z11TDA 剤未経験の系統（S 系統）を材料とした比較研究を行うことで、抵抗性現象の解明を試みた。まず、R 系統の虫が高濃度（1 mg/L：メスがひと晩に生産するフェロモン量の数万倍以上）の Z11TDA にさらされても交尾できることを確認した（Tabata et al. 2007a）。次に、フェロモン成分に対する両系統のオスの行動を実験室内で観察した。Z11TDA と、もうひとつの主要成分である Z9TDA の成分比を様々に変えたフェロモンルーアを人工的に作成し、それぞれに対する反応を調査したところ、S 系統では天然フェロモンの成分比に近い 30:70（Z11TDA : Z9TDA）のルーアに対して最もよく反応した。しかし、それよりも成分比が偏ると反応活性は低下し、Z11TDA を含まない 0:100 のルーアや、反対に Z9TDA を含まない 100:0 のルーアに対しては全く反応を示さなかった（Tabata et al. 2007b; 図 2）。一方で、R 系統は Z11-TDA の成分比に関わらず、どのルーアに対しても同じようによく反応した。驚くべきことに、S 系統では全く反応がみられなかった 0:100 や 100:0 のルーアに対しても多くの個体が反応を示した（Tabata et al. 2007b; 図 2）。つまり、抵抗性を有する R 系統のオスは、交信かく乱成分として使用されていた Z11TDA をもはやフェロモン成分として必要としなくなっていることが明らかとなった（Tabata et al. 2007a,b）。

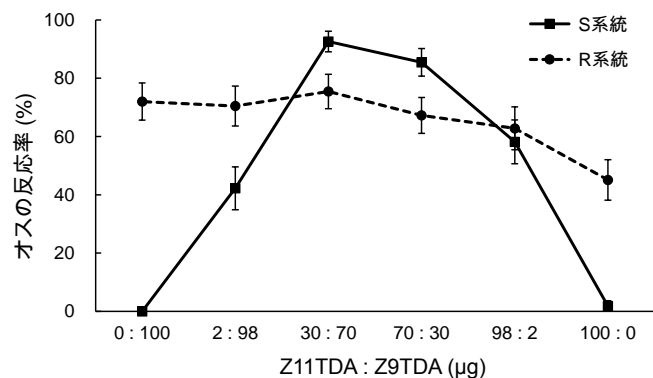


図 2 フェロモン成分比とオスの反応性

チャノコカクモンハマキでは、通常は Z11TDA と Z9TDA が適当な比率で構成されることでフェロモンとしての活性を発揮する。フェロモン剤として Z11TDA を人為的に過剰に与えることで、その構成に歪みが生じ、フェロモンによる交信のかく乱が成立していた。ところが、その構成比に関係なく反応するオスが集団内に存在し、そのような個体が選抜されることで抵抗性の発現に至ったと考えられる。最近の研究から、ガ類のフェロモンの成分比は絶対的に決まったものではなく、集団間あるいは集団内でも変異に富み、しかもわずかな遺伝的変異によって大きく表現型が変化し得ることが示唆されている（Tabata and Ishikawa 2011; 2015）。今後は表現型あるいは遺伝子型レベルでの多様性を考慮した上でフェロモン剤開発を進めることが望まれる。

フェロモン剤の新しいターゲット：コナカイガラムシ類

前述の通り、フェロモン剤はすでに一定の農地で利用されているが、現在市販されているものはすべてガ類の害虫を対象としたものである。しかし、近年の農産物や農業形体の多様化を背景として、ガ類以外にも深刻な被害をもたらす害虫が増えている。なかでも、コナカイガラムシ類による被害が世界各国で急増しているが、これらの害虫は厚いワックスを備え、殺虫剤が効きにくいという形態的特徴を持つ。その代替とすべく、フェロモン剤の開発が切望されている。

コナカイガラムシ類のメスは成虫になっても翅をもたず、脚も短いため、生涯の大半を寄主植物に固着して過ごす。これに対し、オスは成虫になると触角・脚・翅が発達し、移動できるようになる（図3）。しかし、体サイズが小さく口器も退化しているため、羽化後は長期間生存することができない。そのため、これらの昆虫の繁殖においては性フェロモンが極めて重要な役割を担う。すなわち、自ら積極的に動くことができないメスがフェロモンを放出し、脆弱で短命なオスを的確にナビゲートすることで配偶活動が成立する（Tabata et al. 2012）。フェロモン剤はこの必要不可欠なメッセージをかく乱する資材であり、コナカイガラムシ類は恰好のターゲットと言える。

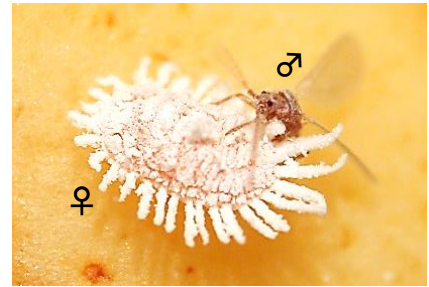


図3 コナカイガラムシの交尾

一方で、コナカイガラムシ類のフェロモンはガ類のものよりも構造的に複雑で、わずか15種のフェロモン構造が明らかにされているだけである（Tabata et al. 2012; Tabata and Ichiki 2015; Tabata and Ohno 2015; 図4）。フェロモン剤として活用するためには、相当量のフェロモンを工業的に合成する必要があるが、これらのフェロモンは一般に特殊な結合様式を含むテルペンであり、体系的な合成技術が確立しているとは言い難い。しかし、このうち7種のフェロモンには共通したモチーフが存在する。すなわち、ラベンダーオイルの成分である *lavandulol* 様の骨格を含む。私たちは *lavandulol* を異性化することでフジコナカイガラムシのフェロモンを合成する手法を考案した（Tabata et al. 2011; Tabata 2013）。さらに、安価かつ大量に流通しているラベンダーオイルを出

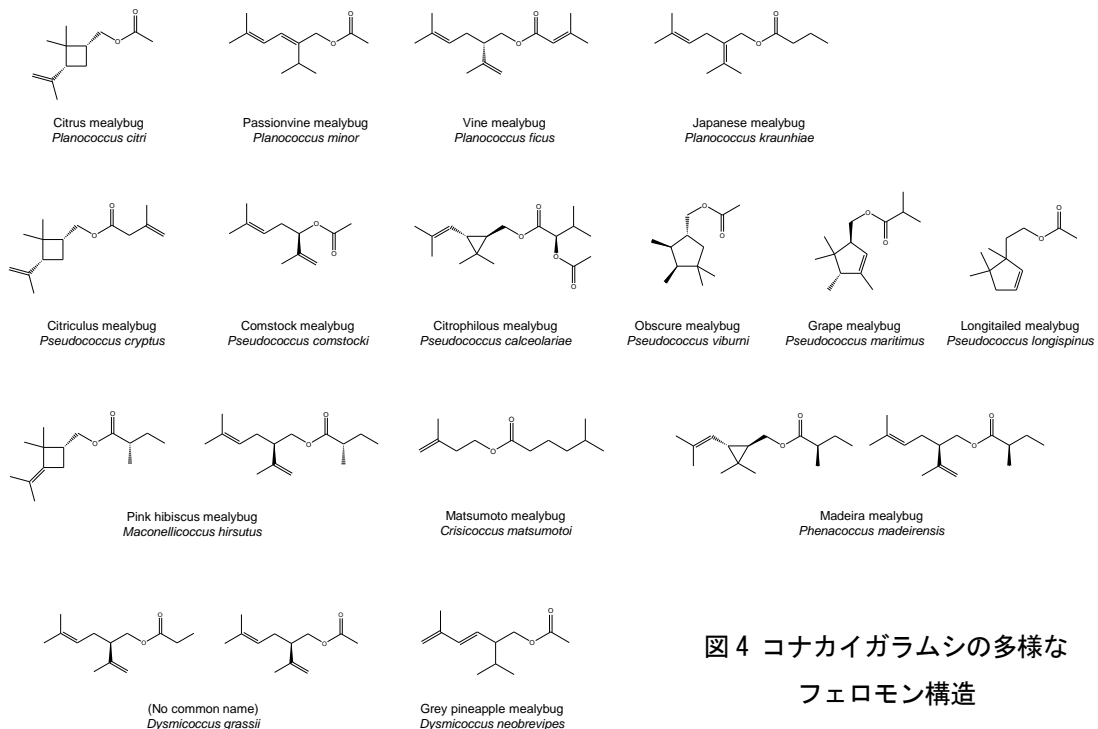


図4 コナカイガラムシの多様なフェロモン構造

発原料とし、lavandulol を単離することなく化学操作することで、フジコナカイガラムシのフェロモンを含むオイルを作出することに成功した (図5)。また、このオイルをフェロモン剤として処理すると、フジコナカイガラムシの交尾を阻害できることも実証した (Tabata et al. 2015)。本種を含む国内のブドウやナシ等の果樹を加害するコナカイガラムシ類については、近い将来、フェロモン剤の実用化が期待できる。

謝辞

本研究は各県農業試験場、関連企業、大学等の方々と共に実施し、その中から着想を得たものです。ご協力とご指導に厚く御礼申し上げます。また、自由な発想と研究活動を容認し、サポートして下さった農業環境技術研究所の役職員の方々に改めて感謝致します。

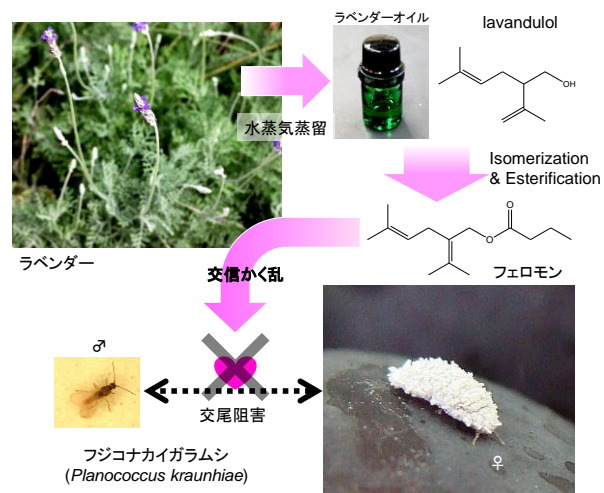


図4 ラベンダーを原料としたフジコナカイガラムシのフェロモン剤

引用文献

- 1) Cardé R.T. and Haynes K.F.: *Advances in Insect Chemical Ecology* (edited by Cardé R.T. and Millar J.G.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 283-332 (2004).
- 2) 望月文昭・福本毅彦・野口 浩・杉江 元: アロマリサーチ, 2(2):185-189 (2001).
- 3) Mochizuki F., Fukumoto T., Noguchi H., Sugie H., Morimoto T. and Ohtani K.: *Applied Entomology and Zoology*, 37(2):299-304 (2002).
- 4) 田端 純・望月文昭・杉江 元: *植物防疫*, 61(11):642-645 (2007).
- 5) Tabata J., Noguchi H., Kainoh Y., Mochizuki F. and Sugie H.: *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 122(2):145-153 (2007a).
- 6) Tabata J., Noguchi H., Kainoh Y., Mochizuki F. and Sugie H.: *Applied Entomology and Zoology*, 42(4):675-683 (2007b).
- 7) Tabata J., Teshiba M., Hiradate S., Tsutsumi T., Shimizu N. and Sugie H.: *Applied Entomology and Zoology*, 46(1):117-123 (2011).
- 8) Tabata J. and Ishikawa Y.: *Annals of the Entomological Society of America*, 104(2):326-336 (2011).
- 9) Tabata J., Narai Y., Sawamura N., Hiradate S. and Sugie H.: *Naturwissenschaften*, 99(7):567-574 (2012).
- 10) Tabata J.: *Applied Entomology and Zoology*, 48(2):229-232 (2013).
- 11) Tabata J. and Ohno S.: *Applied Entomology and Zoology*, 50(3):341-346 (2015).
- 12) Tabata J. and Ichiki R.: *Journal of Chemical Ecology*, 41(2):194-201 (2015).
- 13) Tabata J., Teshiba M., Shimizu N. and Sugie H.: *Journal of Essential Oil Research*, 27(2):232-237 (2015).
- 14) Tabata J. and Ishikawa Y.: *Pheromone Communication in Moths—Evolution, Behavior and Application* (edited by Allison J.D. and Cardé R.T.), University of California Press, Oakland, CA (in press) (2016).
- 15) Tamaki Y., Noguchi H., Yushima T. and Hirano C.: *Applied Entomology and Zoology*, 6(3):139-141 (1971).
- 16) 玉木佳男・野口 浩・杉江 元: *日本応用動物昆虫学会誌*, 27(2):124-130 (1983).
- 17) Wright R.H.: *Nature*, 204(4954):121-125 (1964).