

特集：性フェロモン研究最近の話題

カスミカメムシ類の性フェロモン

中央農業総合研究センター ^{やす}安 ^だ田 ^{てつ}哲 ^や也
信越化学工業(株) ^{もち}望 ^{づき}月 ^{ふみ}文 ^{あき}昭

はじめに

カスミカメムシ科 Miridae は、小型のカメムシで、約 1 万種を抱える大きなグループである。斑点米を産生するアカヒゲホソミドリカスミカメやアカスジカスミカメなど多くの農業害虫が記載されている一方で、カタグロミドリカスミカメのようにトビイロウンカの卵を捕食する天敵も含まれている。

カスミカメムシ類の雌成虫は、同種の雄成虫を誘引することが古くから知られ、雌成虫由来の性誘引フェロモンの存在が示唆されてきた (SCALES, 1968; STRONG et al., 1970; KING, 1973; BOVIN and STEWART, 1982; THISTLEWOOD et al., 1989; SMITH and BORDEN, 1990; SMITH et al., 1994; KAKIZAKI and SUGIE, 1997; OKUTANI-AKAMUTSU et al., 2007)。雌成虫がフェロモンを放出し、雄成虫が誘引されるといふカスミカメムシ類での現象は、ガ類の場合と類似している。しかし、カスミカメムシ類の性フェロモン研究はガ類や甲虫類より遅れ、生物活性を指標にした性フェロモン分析の成果はいずれも 1990 年代以降のものである。カスミカメムシ類では現在までに 10 種、そのうち国内ではアカヒゲホソミドリカスミカメ (KAKIZAKI and SUGIE, 2001) とアカスジカスミカメ (YASUDA et al., 2008) の 2 種において性フェロモン成分が同定されている (表-1)。

本稿では、筆者らが行ったアカスジカスミカメ性フェロモンの同定過程を紹介するとともに、カスミカメムシ類の性フェロモンの特徴について概説したい。

I アカスジカスミカメの性フェロモン

アカスジカスミカメは 1990 年代以前広島県や宮城県など限定された地域でのみ斑点米を産生する害虫として問題となっていたが、近年その分布域および発生量はさらに増加し、北海道道南地域を北限に、九州まではほぼ全域において分布が確認され、警戒を要する種となってい

る (渡邊・樋口, 2006)。

アカスジカスミカメの水田内における発生消長の把握には一般的に捕虫網を用いたすくい取り法が用いられてきたが、簡便なモニタリング資材の開発が期待されていた。

そこで、性フェロモントラップの開発を目指し、滋賀県、鳥取県、信越化学工業および農業・食品産業技術総合研究機構中央農業総合研究センターの共同研究により性フェロモン成分の同定が進められた (YASUDA et al., 2008)。

アカスジカスミカメ成虫を誘引源とした水盤トラップをイタリアンライグラス圃場に設置したところ、未交尾雌を仕掛けたトラップにのみ雄が捕獲され、本種にも雌由来の性フェロモンが存在することがわかった (OKUTANI-AKAMUTSU et al., 2007)。さらに、雌成虫の誘引性を詳細に調べた結果、未交尾雌の誘引性は産卵開始時期である羽化後 6 日目に最大となり、10 日目以降から徐々に低下する傾向があることや、交尾により誘引活性が消失し、それは最低 6 日間続くことが示された。他のカスミカメムシ類においても同様の現象が観察されている (STRONG et al., 1970; KING, 1973; SMITH, 1977; BOVIN and STEWART, 1982; THISTLEWOOD et al., 1989)。

次にアカスジカスミカメの未交尾雌成虫が保有する成分を検したところ、2 種類のエステル Hexyl butyrate, (*E*)-2-Hexenyl butyrate とアルデヒド成分 (*E*)-4-Oxo-2-hexenal の 3 成分が比較的量の多い成分として検出された (YASUDA et al., 2008)。

アルデヒド成分 (*E*)-4-Oxo-2-hexenal は不安定な物質である (INNOCENZI et al., 2004) ので、アルデヒド成分をエステル類とは別の担体に含浸させて誘引源を作成する方法によりカスミカメムシ類の一種 *Lygus ruglipeinis* に対する誘引活性が確認されている (INNOCENZI et al., 2005)。アカスジカスミカメにおいても、この方法を踏襲し、エステル類を誘引源 A、アルデヒド成分を誘引源 B として別々の担体 (ゴムキャップ) に含浸させ、虫体から検出された 3 成分を組み合わせると誘引性を調査した (図-1)。

Hexyl butyrate と (*E*)-2-Hexenyl butyrate を組み合

Sex Pheromones of Miridae. By Tetsuya YASUDA and Fumiaki MOCHIZUKI

(キーワード: アカスジカスミカメ, カスミカメムシ類, 性フェロモン)

表-1 カスミカメムシ類における性フェロモン成分

種名	成分 (最適組成比率)	当該成分を 所有する性	誘引 される性	備考	文献
<i>Campylomma verbasci</i>	Butyl butyrate (16)	F	M		14), 24)
	(E)-2-Butenyl butyrate (1)	F			
<i>Geocoris punctipes</i>	(E)-2-Octenyl acetate	F*	M		13)
<i>Lygocoris pabulinus</i>	(Z)-9-Pentacosene (5)	F > M	M	近距離で作用する 性フェロモン	2), 30)
	(Z)-7-Pentacosene (1)				
	Hexyl butyrate	F & M		阻害物質	3)
<i>Lygus rugulipennis</i>	Hexyl butyrate	F*	M		5), 6)
	(E)-4-Oxo-2-hexenal	F*			
	(E)-2-Hexenyl butyrate	F*		阻害物質	
<i>Phytocoris californicus</i>	Hexyl acetate (2)	F & M	M		18)
	(E)-2-Octenyl acetate (1)	F			
	(E)-2-Octenyl butyrate	F		阻害物質	
<i>Phytocoris calli</i>	Hexyl acetate (5)	F & M	M		35)
	(E)-2-Hexenyl acetate (1)	F & M			
	Octyl acetate (1)	F			
	(E)-2-Octenyl acetate (1)	F			
<i>Phytocoris difficilis</i>	Hexyl acetate (4)	F & M	M		33)
	(E)-2-Hexenyl acetate (3)	F >> M			
	(E)-2-Octenyl acetate (2)	F >> M			
	Hexyl butyrate	M		阻害物質	34)
	(E)-2-Hexenyl butyrate			anti-sex pheromone	
<i>Phytocoris relativus</i>	Hexyl butyrate (2)	F & M	M		19)
	(E)-2-Octenyl butyrate (1)	F			
<i>Stenotus rubrovittatus</i> アカスジカスミカメ	Hexyl butyrate (100)	F >> M	M		31)
	(E)-2-Hexenyl butyrate (40)	F & M			
	(E)-4-Oxo-2-hexenal (200)	F & M			
<i>Trigonotylus caelestialium</i> アカヒゲホソミドリカスミカメ	Hexyl hexanoate (1000)	F & M	M		9)
	(E)-2-Hexenyl hexanoate (400)	F & M			
	Octyl butyrate (30)	F & M			
	Decanal				10)
	3-Nonen-2-on 2-Undecanal	F**		阻害物質	

F: 雌, M: 雄. F & M: 雌雄の所有量の差が10倍以内. F > M: 雌雄の所有量の差が10 ~ 100倍. F >> M: 雌雄の所有量の差が100倍以上. F*: 雌雄いずれも持つが, volatileからは雌のみ. F**: 雄は未調査.

わせるとわずかな数の雄成虫が捕獲されたが, 他の2成分の組み合わせでは捕獲は全く認められなかった (図-1)。この2成分を含浸させた誘引源と (E)-4-Oxo-2-hexenal を含浸させた誘引源を同時に設置することにより, トラップへの捕獲虫数が有意に増加し, 3成分の必要性が明らかとなった。

さらに検討を進めたところ, 誘引源に酸化防止剤と紫

外線吸収剤を添加した場合に, 3成分を混合した誘引源でもアカスジカスミカメに対する誘引活性は低下しないことが明らかになった。またこの誘引源は, 未交尾雌10頭分と同程度の誘引活性を示した。したがってアカスジカスミカメの性フェロモン成分は上述の3成分であると考えられた。

現在この誘引源をさらに改良を加えることにより, 発

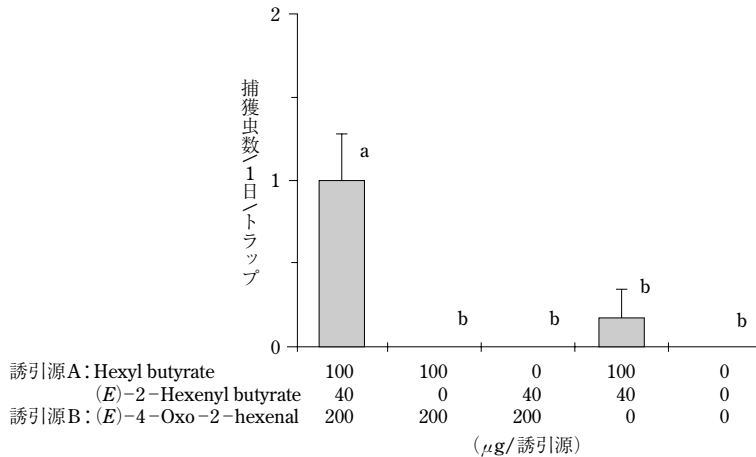


図-1 3成分の組み合わせによるアカスジカスミカメの雄成虫の捕獲虫数 (YASUDA et al., 2008)

生予察資材としての開発を進めている。

II カスミカメムシ類の性フェロモンの特徴

アカスジカスミカメを含む10種のカスミカメムシ類において性フェロモン成分が同定されている(表-1)。これらカスミカメムシ類の性フェロモンはすべて、雌成虫が放出し、雄成虫を誘引するタイプで、構成する成分はほとんどがエステル化合物類であった。なお虫体に存在するフェロモン様物質を報告した事例はほかにもあるが、成分の分析だけで生物活性を示していない報告は除外した。

カスミカメムシ類の性フェロモン成分(表-1)において種をまたがる共通成分が存在する。例えば、前述のアカスジカスミカメから同定されたHexyl butyrateは*Lygus rugulipennis*および*Phytocoris relativus*の性フェロモン成分でもある。さらに、*Lygus*属と*Lygocori*属に属する雌からはアカスジカスミカメと同じ成分が多くの種で検出されている(Ho and MILLAR, 2002; WARDLE and BORDEN, 2003; ZHANG et al., 2007など)。このように近縁種のフェロモン成分が共通する事例は昆虫全般に見られる傾向でもある。

さらにカスミカメムシ類の特徴として、誘引される側である雄にも雌と同じ性フェロモン成分が存在するケースが多い。例えば、*P. californicus*では、雌雄ともに性フェロモン主成分Hexyl acetateが存在している(MILLAR and RICE, 1998)。さらに、*P. calli*(ZHANG and ALDRICH, 2008)、*P. difficilis*(ZHANG and ALDRICH, 2003 a)、*P. relatives*(MILLAR et al., 1997)も同様に、主成分が両性に存在している。それにもかかわらず、雄が雄を誘引

せず、雌だけが誘引活性を有する。これは性フェロモンの第二・第三成分を雄が欠くため(もっていても極わずかであるため)、それにより雌雄を識別していると推測されている。雌特有の成分がある場合においても、両性に存在している主成分を欠くと誘引性が消失する(ZHANG and ALDRICH, 2008)。この効率的とは思えない交信システムをどのような進化を経て獲得し、その維持にどのような意味があるのか、ひいてはなぜ雄にも性フェロモン成分が存在するのか。これらの生物学的な意義は興味深いテーマであり、今後の課題である。

アカヒゲホソミドリカスミカメでは、さらに不可思議である。雌雄ともに性フェロモン成分(Hexyl hexanoate, (E)-2-Hexenyl hexanoate, octyl butyrate)が存在し、上記のような雌特有の成分が存在しない(KAKIZAKI and SUGIE, 2001)。それにもかかわらず、雄同士の誘引は起こらないのである(KAKIZAKI and SUGIE, 1997)。この理由として、雌雄で若干異なる組成比率(MILLAR, 2005)、誘引阻害物質の存在(柿崎ら, 2000)のほか、音など匂い以外の要因が関与している可能性も考えられるが、いまだ明確な生物試験結果が得られていない。

また性フェロモンの誘引活性を阻害する成分が、5種類のカスミカメムシ類で報告されている(表-1の備考欄)。その多くが性フェロモン成分と同様にエステル類であり、なかには、他種の性フェロモン成分であるものもある。例えば前述のHexyl butyrateは*L. pabulinus*の誘引阻害物質としても同定されている(GROOT et al., 2001)。前述したように、近縁種の性フェロモン成分は共通する傾向がある。誘引阻害物質の働きは、近縁他種の性フェロモンを阻害物質として認識することにより、

無駄な定位を防ぐ働きがあると考えられる。

合成フェロモン剤を用いた直接的な防除手法である交信かく乱への利用に関しても研究例がある。例えば *Campylomma verbasci* では高濃度の合成性フェロモン剤の処理により雄の定位行動が阻害され (McBRIEN et al., 1996), 次世代の害虫密度の低下も確認されている (McBRIEN et al., 1997)。アカヒゲホソミドリカスミカメなどにおいても, 交信かく乱に向けた試験が行われている (KAKIZAKI, 2004) が, その効果についてはまだ十分に確認されていない。このようにカスミカメシ類においては合成フェロモン剤を用いた交信かく乱など直接的な防除手法については今後の課題となっている。

おわりに

カスミカメシ類における雌成虫がフェロモンを放出し, それに雄成虫が誘引されるという現象は, ガ類の場合と類似している。しかし研究が進むに従って, 研究が先行しているガ類の性フェロモンの研究成果を単純に当てはめることはできないと考えられるようになってきている。雄成虫に雌成虫と同じ成分が存在すること以外にも, 例えば, 【性フェロモンに対する誘引行動】と【配偶行動】が時間的に同期していない点があげられる。ガ類では誘引と交尾は性フェロモンというコミュニケーション手段を通じて常に一体となって解発される。しかし, 例えばアカスジカスミカメにおいては未交尾雌トラップに捕獲される時間帯がある程度限定されているにもかかわらず, その時間外にも交尾が確認されている (吉島ら, 2009)。これらの観察結果は, カスミカメシ類において配偶行動が性誘引フェロモン成分以外の別の要因により引き起こされることがある可能性を示唆している。したがってカスミカメシ類のフェロモン機能の解明をさらに進めていくために, 今後配偶行動などの詳細な研究を行う必要がある。これら基礎的な研究を進める

ことにより, 発生予察手法の開発を目指して合成フェロモン剤の適切な利用法や要防除水準の策定などを行うのみならず合成フェロモン剤を用いた直接的な防除への利用が進むと期待される。

引用文献

- 1) BOVIN, G. and R. K. STEWART (1982): *Can. Entomol.* **114**: 765 ~ 766.
- 2) DRIJFHOUT, F. D. et al. (2003): *Entomol. Exp. Appl.* **106**: 73 ~ 77.
- 3) GROOT, A. T. et al. (2001): *Agric. Forest Entomol.* **3**: 49 ~ 56.
- 4) Ho, H.-Y. and J. G. MILLAR (2002): *Zool. Stu.* **41**: 311 ~ 320.
- 5) INNOCENZI, P. J. et al. (2004): *J. Chem. Ecol.* **30**: 1509 ~ 1529.
- 6) ——— et al. (2005): *ibid.* **31**: 1401 ~ 1413.
- 7) KAKIZAKI, M. (2004): *Appl. Entomol. Zool.* **39**: 221 ~ 228.
- 8) ——— and H. SUGIE (1997): *ibid.* **32**: 648 ~ 651.
- 9) ——— (2001): *J. Chem. Ecol.* **27**: 2447 ~ 2458.
- 10) 柿崎昌志ら (2000): http://www.affrc.go.jp/ja/research/seika/data_cryo/h12/cryo00083
- 11) 吉島利則ら (2009): 応動昆 **53**: 印刷中.
- 12) KING, A. B. S. (1973): *Entomol. Exp. Appl.* **16**: 243 ~ 254.
- 13) MARQUES, F. A. et al. (2000): *J. Chem. Ecol.* **26**: 2843 ~ 2855.
- 14) McBRIEN, H. L. et al. (1994): *Environ. Entomol.* **23**: 442 ~ 446.
- 15) ——— et al. (1996): *Can. Entomol.* **128**: 1057 ~ 1064.
- 16) ——— et al. (1997): *J. Econ. Entomol.* **90**: 801 ~ 808.
- 17) MILLAR, J. G. (2005): *Topics Curr. Chem.* **240**: 37 ~ 84.
- 18) ——— and R. E. RICE (1998): *J. Econ. Entomol.* **91**: 132 ~ 137.
- 19) ——— et al. (1997): *J. Chem. Ecol.* **23**: 1743 ~ 1754.
- 20) OKUTANI- AKAMATSU, Y. et al. (2007): *J. Econ. Entomol.* **100**: 1276 ~ 1281.
- 21) SCALES, A. L. (1968): *ibid.* **61**: 1466 ~ 1467.
- 22) SMITH, E. S. C. (1977): *J. Aust. Entomol. Soc.* **16**: 113 ~ 116.
- 23) SMITH, R. F. and J. H. BORDEN (1990): *J. Econ. Entomol.* **83**: 1506 ~ 1509.
- 24) ——— et al. (1991): *J. Chem. Ecol.* **17**: 1437 ~ 1447.
- 25) ——— et al. (1994): *Can. Entomol.* **126**: 445 ~ 446.
- 26) STRONG, F. E. et al. (1970): *Hilgardia* **40**: 105 ~ 147.
- 27) THISTLEWOOD, H. M. A. et al. (1989): *Can. Entomol.* **121**: 737 ~ 744.
- 28) WARDLE, A. R. and J. H. BORDEN (2003): *ibid.* **135**: 733 ~ 735.
- 29) 渡邊朋也・樋口博也 (2006): 植物防疫 **60**: 201 ~ 203.
- 30) WU, W.-J. et al. (2004): *Entomol. Knowledg.* **41**: 299 ~ 301.
- 31) YASUDA, T. et al. (2008): *Appl. Entomol. Zool.* **43**: 219 ~ 226.
- 32) ZHANG, O.-H. et al. (2007): *J. Entomol. Sci.* **42**: 92 ~ 104.
- 33) ——— and J. R. ALDRICH (2003 a): *Naturwissenschaften* **90**: 505 ~ 508.
- 34) ——— (2003 b): *J. Chem. Ecol.* **29**: 1835 ~ 1851.
- 35) ——— (2008): *ibid.* **34**: 719 ~ 724.