

原著論文

複合交信攪乱剤を利用した減農薬リンゴ園における害虫発生と被害の動向^{†1}

豊島真吾・柳沼勝彦^{†2}・高梨祐明

独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構

果樹研究所リンゴ研究部

020-0123 岩手県盛岡市下厨川

Trends in the Prevention of Insect Pest Infestation in an Unsprayed Apple Orchard Using the Mating Disruption Technique

Shingo TOYOSHIMA, Katsuhiko YAGINUMA and Masaaki TAKANASHI

Department of Apple Research, National Institute of Fruit Tree Science
National Agriculture and Bio-oriented Research Organization
Shimokuriyagawa, Morioka, Iwate 020-0123, Japan

Summary

Trends in the occurrence and infestation of insect pests on leaves and fruits have been investigated for three years in an apple orchard that had not been sprayed with insecticides. Instead, mating disruption was applied to control *Carposina sasakii*, *Phyllonorycter ringoniella*, *Archips breviplicanus*, *Archips fuscocupreanus*, and *Adoxophyes orana fasciata*. The result, in which fewer males of *C. sasakii*, *P. ringoniella*, and *A. breviplicanus* were trapped in the orchard with mating disruption than in orchards without mating disruption, suggested that the communication via sex pheromones between females and males of those species was disrupted. On the other hand, the effect of mating disruption for *A. fuscocupreanus* and *A. orana fasciata* was not obvious in the present study because of fewer trap catches even in unsprayed orchards where there was no mating disruption. However, target pests of the mating disruption as well as non-target pests appeared in the orchard, and damaged leaves and fruits. *P. ringoniella*, *Popillia japonica*, *Lyonetia prunifoliella*, tortricid and geometrid moths, aphids, and spider mites damaged leaves, *C. sasakii*, *Comstockaspis perniciosus*, tortricid, noctuid and geometrid moths, and pentatomid bugs damaged fruits. Leaf damage apparently had no relation to the control practice, and did not affect the fruit quality. Therefore, insecticides need not be used to control leaf-injury pests. Although few sprays may lower the fruit injury below the 1% level, based on the monitoring the occurrence of the pests, the most serious pest, *C. sasakii*, has to be controlled with supplementary insecticides.

Key words: mating disruption, sex pheromone, apple, pest occurrence, infestation

^{†1} 果樹研究所業績番号 : 1362
(2004年6月11日受付・2005年2月3日受理)

^{†2} 現 果樹研究所生産環境部天敵機能研究室

緒 言

リンゴでは、チョウ目害虫をはじめ、コウチュウ目、ヨコバイ目、ダニ目、線虫類など300種以上の害虫が記録されている(梅谷・岡田, 2003)。その中で防除を要する害虫としては33種が数えられる(高木, 1998)が、とくに重要度が大きい害虫は数種から十数種に限られている(佐藤, 1992)。リンゴを殺虫剤無散布で管理すると、リンゴハダニ *Panonychus ulmi* (Koch) やモモシクイガ *Carposina sasakii* Matsumura 等が発生して収量は28%程度に低下し、出荷可能な果実は実質的に皆無となる。それに加えて、翌年の着果率は15.6%にまで低下する(平良木ら, 1993)。このため、通常、年間8~10回の殺虫剤・殺ダニ剤散布が必要となっている(平成15年度リンゴ生産各県の農作物病害虫防除基準)。

しかし、近年の無登録農薬使用の問題を契機に消費者の「食の安全・安心」に対する関心が高まり、実質的に農薬の散布回数を低減した作物栽培が強く求められるようになった。そのため、代替防除技術の利用による減農薬栽培体系の確立が急務となっている。リンゴの害虫防除における減農薬の試みは、チョウ目害虫の合成性フェロモン剤を利用した交信攪乱法を中心に進められている(佐藤, 1992; 荒川・岡崎, 2002)。しかし、交信攪乱法では、設置場所の害虫発生状況や気象条件により効果が安定しないことが利用上の問題点として指摘されている。また、殺虫剤散布を一部削減することにより、これまで問題とならなかった害虫が顕在化するといった問題点も指摘されている。この場合、殺虫剤散布を新たに要することになり、減農薬推進の障害となっている。

本研究では、複合交信攪乱剤(複数種の性フェロモン成分を混合して複数種の雄を同時に誘引するために開発された交信攪乱剤)を設置して殺虫剤を削減したリンゴ園において、対象害虫に対する交信攪乱の効果を評価するとともに、発生する害虫種と葉や果実の被害発生率との関係を調査した。そして、その害虫による被害が果実品質に及ぼす影響を3年間調査して、その傾向を解析したので報告する。

本文に先立ち、本研究の計画および遂行にあたり有益なご助言とご援助をいただいた増田哲男氏(東北農研・総合研究部)および別所英男氏(果樹研・リンゴ研究部)に厚く御礼申し上げます。また、原稿作成にあたり多くの助言をいただいた足立礎氏(果樹研・生産環境部)に御礼申し上げます。なお、本研究は交付金プロジェクト「地域先導技術総合研究 非破壊センシングを活用した品質本位リンゴの省力生産・流通システムの確立」の一環と

して実施された。

材料および方法

調査地および防除体系

果樹研究所リンゴ研究部(岩手県盛岡市)の試験研究圃場(Fig. 1a)内の1区画のリンゴ園(ミツバ台40年生‘ふじ’を主体として、10 x 12 mの間隔で植栽された、面積約1haのリンゴ園: Fig. 1の‘Dotted area’)に複合交信攪乱剤を設置して「交信攪乱園」とした。2001年と2002年にはアリマルア・オリフルア・テトラデセニルアセタート・ピーチフルア剤(コンフューザーA, 信越化学工業(株)製)を10aあたり200本、2003年にはアリマルア・オリフルア・トートリルア・ピーチフルア剤(コンフューザーAA, 信越化学工業(株)製)を10aあたり150本、園内に均等に配置されるよう、各樹に同数本を目通りの高さに設置した。交信攪乱園では、殺虫剤と殺ダニ剤を以下の通り散布した。殺虫剤では、ナシマルカイガラムシ *Comstockaspis perniciosus* (Comstock) を対象としてメチダチオン水和剤を2001年6月15日に寄生密度の高い7樹の主枝および樹幹に散布し、アブラムシ類を対象としてアセタミプリド水溶剤を2001年6月26日に全園散布した。また、殺ダニ剤では、ピフェナゼート水和剤(2001年7月9日)、ミルベメクチン乳剤(2001年9月6日)、エトキサゾール水和剤(2002年6月26日)、フルアクリピリム水和剤(2003年7月7日)、アセキノシル水和剤(2003年8月5日)を散布した(Table 1)。なお、殺菌剤については、各年4月上旬から8月下旬にかけて9~11剤を慣行散布した。交信攪乱園は、本研究が開始される1994年からコンフューザーAを設置し、殺虫剤の使用を削減した防除体系を継続していた。

交信攪乱園から北東に約320m離れた区画のリンゴ園(M26台26年生樹を主体とし、2.5 x 4 mの間隔で植栽された、面積約20aの品種混合リンゴ園: Fig. 1aの‘Black area’)を、殺虫剤と殺ダニ剤を基本的に無散布とし、殺菌剤を慣行散布して「殺虫剤無散布園」を設定した。ただし、寄生密度が高くなるとリンゴ樹を衰弱させるナシマルカイガラムシについては、寄生密度に応じて防除を実施した。本試験期間では、2001年6月15日にメチダチオン水和剤を寄生密度の高い樹幹および枝に散布した。当園は、本研究が開始される10年以上前から殺虫剤・殺ダニ剤無散布で管理されていた。

試験研究圃場内の交信攪乱園および殺虫剤無散布園を除く他の区画については、薬剤をTable 1のように散布

した．とくに，交信攪乱園から殺虫剤無散布園とは反対方向に約260m離れた区画を「慣行防除園」(M9台25年生樹を主体とし，3～4m×5.5mの間隔で植栽された，面積約54aの品種混合りんご園：Fig. 1の‘Horizontal-striped area’)と呼ぶことにする．

害虫発生のモニタリング法

複合交信攪乱剤の対象となる害虫の発生と殺虫剤散布による密度抑制効果を判定するため，殺虫剤無散布園，慣行防除園および交信攪乱園に，合成性フェロモンを誘引源としたモニタートラップ（以下，トラップ）を設置して複合交信攪乱剤の対象害虫の発生量を調査した．殺虫剤無散布園には，2001年と2002年にキンモンホソガ *Phyllonorycter ringoniella* (Matsumura) のトラップを1台，モモシクイガのトラップを4台設置し，2003年には，キンモンホソガ，モモシクイガ，リンゴモンハマキ *Archips breviplicanus* Walsingham，ミダレカクモンハマキ *Archips fuscocupreanus* Walsingham，リンゴコカクモンハマキ *Adoxophyes orana fasciata* Walsingham のトラップをそれぞれ1台ずつ設置した．各りんご園では，4月上旬からキンモンホソガのトラップを地上30cmの位置に設置し，5月上旬からすべてのトラップを地上1.2～1.5m

の位置に設置した．2001年と2002年には5日間隔で，2003年には1週間間隔で誘殺された個体を計数した．誘引源は毎月新しいものに交換した．

慣行防除園には，2001年から2003年まで，上記5種のトラップを1台ずつ設置し，1週間間隔で誘殺された個体を計数した．誘引源は1ヵ月ごとに交換し，粘着板は誘殺数に応じて適宜交換した．

交信攪乱園にも上記5種のトラップを設置し，慣行防除園と同様に調査した．なお，合成性フェロモンである複合交信攪乱剤を設置したりんご園において，フェロモントラップを用いて対象害虫の発生量を把握することは困難である．しかし，園内の発生量が多ければ誘引効果に関係なくトラップへ飛び込む個体があると考えられるので，効果判定の補助手段とした．

害虫被害および果実品質を比較するためのりんご園内の設定

複合交信攪乱剤を設置したりんご園に発生する害虫の加害が果実品質に及ぼす影響を調査するためには，栽培管理条件および周辺環境の等しい2つのりんご園において，一方に複合交信攪乱剤を設置し，他方を慣行防除で栽培し，それぞれから収穫される果実の品質を比較する

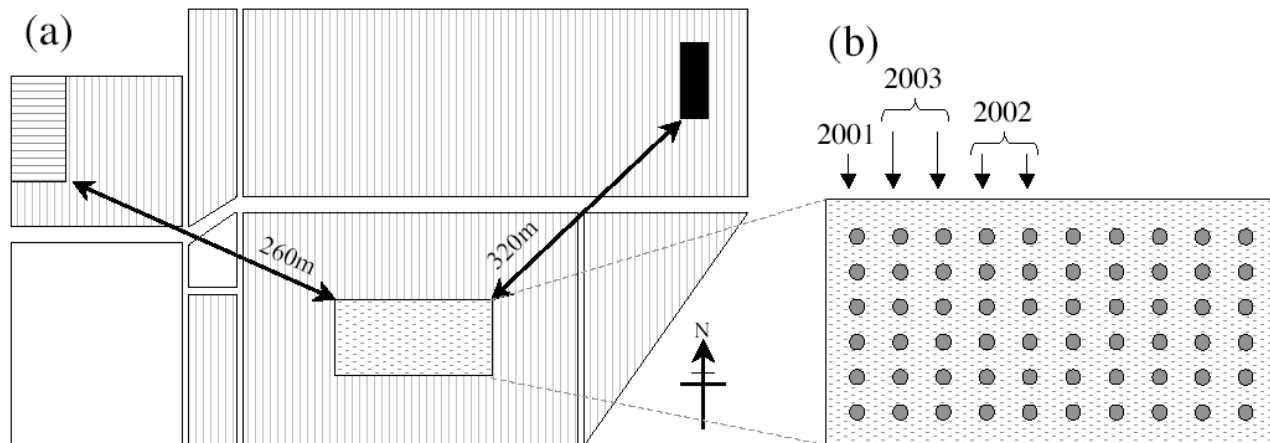


Fig. 1. Map of the experimental field at the Department of Apple Research, National Institute of Fruit Tree Science (Morioka). (a) Location of the three orchards for the monitoring of pest occurrence under different pest management programs. Insecticides, miticides and fungicides were sprayed in the vertical- and horizontal-striped areas. In the dotted area, multi-component sex attractants were permeated as a mating disruption technique for controlling six species of lepidopteran pests, and several insecticide sprays were omitted. In the black area, neither pesticides nor sex attractants were used for controlling insect and mite pests, but fungicides were sprayed. To monitor the lepidopteran pests, tubes impregnated with sex-pheromones for the pests were placed in the black, dotted, and horizontal-striped areas. The distance between the horizontal-striped and dotted areas is ca. 260m, and that between the black and dotted areas is ca. 320m. (b) Magnified map of the experimental orchard where the mating disruptants were used. In the area of ca. 1 ha, apple trees ('Fuji' with Mitsuba rootstock, ca. 40 years old) are spaced at intervals of 10 m in the north-south direction and 12 m in the east-west direction. Insecticides were sprayed on one or two rows of trees for the control of pests occurring under the mating disruption treatment (arrows with the years). The quality of fruits produced on sprayed trees was compared with fruit quality of unsprayed trees in the dotted area.

Table 1. The programs of pesticide spraying in the apple orchards from 2001 to 2003

	Time of application	Pesticide(s) ^z	Apple orchards ^y		
			Sprayed	Pheromone	Unsprayed
2001	Early April	Iminoctadine-triacetate			
	Late April	Fluoroimide			
	Early May	Hexaconazole			
	Late May	Difenoconazole			
		Chlorpyrifos		-	-
	Early June	Mancozeb			
		Confuser A	-		-
	Mid June	Methidathion	-		
	Late June	Maneb : Thiophanate-methyl			
	Early July	Polyoxin-B : Iminoctadine-TAc			
		Fenitrothion		-	-
		Bifenazate			-
	Late July	Chlorothalonil			
		Fenitrothion : Fenvalerate		-	-
	Early Aug	Iminoctadine-triacetate			
Late Aug	Kresoxim-methyl				
	Thiophanate-methyl				
	Alanycarb		-	-	
Early Sep	Milbemectin			-	
2002	Late March	Machine oils (95%)			-
	Early April	Iminoctadine-triacetate			
	Late April	Hexaconazole			
	Mid May	Difenoconazole			
		Chlorpyrifos		-	-
	Late May	Mancozeb			
	Early June	Confuser A	-		-
	Mid June	Maneb : Thiophanate-methyl			
		Acetamiprid		-	-
	Late June	Cyprodinil			
		Fenitrothion		-	-
		Etoxazole			-
	Mid July	Chlorothalonil			
		Fenitrothion : Fenvalerate		-	-
	Early Aug	Kresoxim-methyl			
	Thiophanate-methyl				
Late Aug	Trifloxystrobin				
	Alanycarb		-	-	
2003	Early April	Iminoctadine-triacetate			
	Early May	Hexaconazole			
	Mid June	Trifloxystrobin			
		Chlorpyrifos		-	-
	Early June	Confuser AA	-		-
		Mancozeb			
	Late June	Maneb : Thiophanate-methyl			
		Acetamiprid		-	-
	Early July	Cyprodinil			
		Thiophanate-methyl			
		Fenitrothion		-	-
		Fluacrypyrim			-
Late July	Chlorothalonil				
	Fenitrothion : Fenvalerate		-	-	
Early Aug	Iminoctadine-triacetate				
	Acequinocyl	-		-	

^z: Insecticides and miticides are shown in bold and underlined bold types, respectively.

Light face letters indicate fungicides.

Confusers A and AA are multi-component sex attractants, settled in the area named 'Pheromone'.

Methidation was sprayed on tree-trunks infested with *C. perniciosus*.

Acequinocyl was sprayed additionally for the control of *T. urticae* and *P. ulmi*.

^y: The three orchards for monitoring pest occurrence under different pest management programs.

'Sprayed', 'Pheromone' and 'Unsprayed' are indicated as the 'vertical- and horizontal-striped',

'dotted' and 'black' areas, respectively, in Fig 1a.

必要がある。しかし、現実的にそのような2園を設定することは不可能なので、便宜的に以下のように設定した。すなわち、交信攪乱園の一部（2001年には、1列6樹、2002年と2003年には2列12樹）に殺虫剤を散布して「交信攪乱園内散布区」（以下、散布区）を設定し（Fig. 1b）、散布区以外を「交信攪乱園内削減区」（削減区）として区別した。なお、散布区の調査対象樹は散布された全樹、削減区の調査対象樹は散布区と接しない樹列から散布区と同数の樹を選んだ。

被害葉・被害果の調査法

複合交信攪乱剤によって防除されたリンゴ園の果実品質に及ぼす害虫の被害程度を明らかにするため、散布区と削減区で各種害虫による被害葉と被害果の割合を調査した。リンゴでは、リンゴ葉面の10%の喪失で光合成速度に影響が生ずることが明らかとなっている（Hall and Ferree, 1976）ので、食葉性害虫による被害の判断基準とした。アブラムシ類の寄生については、展開葉の裏面に50個体以上の寄生が確認されるか、奇形が確認された場合に被害葉とした。2001年は7月と10月上旬に、2002年は7～9月上旬、2003年は6～9月上旬に、1樹あたり東西南北の各方位から100葉（2001年には各方位200葉）を無作為に抽出し、10%以上の部分が加害されている葉を目視で識別した。被害から害虫種が特定できる場合は種ごとに、特定できない場合には科ごとに計数した。なお、被害が重複する葉については、被害面積の大きい種による被害とした。ハダニ類による被害については、調査葉の表裏面を観察して雌成虫を計数し、葉あたり雌成虫数を被害程度の尺度とした。

果実被害については、2001年には1樹あたり各方位30果ずつ（120果/樹）、2002年と2003年には1樹あたり各方位100果ずつ（400果/樹）を各年とも10月上旬に調査した。被害から害虫種が特定できる場合は種ごとに、特定できない場合には科ごとに計数した。

果実品質の調査法

果実品質を比較するため、「ふじ」の収穫適期である11月上旬に、2001年には散布区と削減区から4樹ずつ、1樹あたり東西南北の各方位から10果ずつ（40果/樹）、2002年には散布区と削減区から各12樹、2003年には各6樹を選び、それぞれ1樹あたり50果を樹冠周囲から収穫した。収穫後、ファンテック社製フルーツファイブで糖度を測定し、（株）マキ製作所製カラーソーターで、重量、赤道面における平均直径、着色度および熟度を測定した。着色度は測定機独自の無次元値で、0（白色）～

255（赤色）までの範囲で示され、赤い果実ほど大きい値を示す。熟度も測定機独自の値で、果実の成熟が進行しているほど大きい値を示す。樹ごとに各果実品質の測定値を平均して樹の代表値を決め、樹数を反復として処理した。

結 果

害虫誘殺パターン

各リンゴ園でトラップに誘殺された害虫種のうち、年間誘殺総数が30頭以上になったキンモンホソガ、モモシクイガおよびリンゴモンハマキの誘殺消長をトラップ1台分に換算してFig. 2に示した。

キンモンホソガは殺虫剤無散布園において4月中旬から5月上旬にかけて誘殺が始まり、2001年には6月下旬にピークを示した。2002年と2003年には明瞭な誘殺ピークがなかったものの、3カ年とも10月上旬まで誘殺された。誘殺総数は2001年に2457頭、2002年に340頭、2003年に1342頭であった。交信攪乱園では、誘殺総数が2001年に159頭、2002年に0頭、2003年に45頭であった。慣行防除園では、誘殺総数が2001年に460頭、2002年に0頭、2003年に66頭であった。慣行防除園の誘殺総数は、殺虫剤無散布園に比べると少なく、発生ピークは判然としなかった。

モモシクイガは、慣行防除園で2003年に年間46頭が誘殺されたものの、同園の2001年と2002年、および交信攪乱園では誘殺はなく、もっぱら殺虫剤無散布園で誘殺された。誘殺総数は、2001年に414頭、2002年に172頭、2003年に1807頭であり、各年とも、6月中旬と8月上旬のそれぞれにピークのある2山型の誘殺パターンを示した（Fig. 2）。

リンゴモンハマキは、慣行防除園で2001年から2003年まで誘殺され、殺虫剤無散布園でもトラップを設置した2003年に誘殺された。誘殺総数は、慣行防除園で2001年に36頭、2002年に43頭、2003年に474頭、殺虫剤無散布園では2003年に469頭であったが、交信攪乱園では2003年に2頭だけが誘殺された。殺虫剤無散布園と慣行防除園における2003年の誘殺パターン（Fig. 2）では、7月上旬と9月上旬に発生ピークが認められた。

以上、殺虫剤無散布園ではキンモンホソガ、モモシクイガ、リンゴモンハマキが誘殺されたが、交信攪乱園に設置したトラップへは、2001年にキンモンホソガ、2003年にキンモンホソガ、リンゴモンハマキ、ミダレカクモンハマキがそれぞれ殺虫剤無散布園に比べて少数誘殺されただけであった。

葉梢加害性害虫による被害

交信攪乱園内の散布区および削減区の葉の被害形態から、昆虫類としては、アブラムシ科(Aphididae)、マメコガネ *Popillia japonica* Newman, ハマキガ科 (Tortricidae), キンモンホソガ, ギンモンハモグリガ *Lyonetia prunifoliella* (Hubner), シヤクガ科(Geometridae)が発生し、葉を加害したことが明らかとなった (Fig. 3).

2001年に観察されたアブラムシ類の被害は、リンゴコブアブラムシ *Ovatus malisuctus* (Matsumura) による被害と確認された。本種が寄生すると葉全体が変色して細

く巻き込むので、葉の光合成能力は著しく低下すると考えられるが、寄生は樹の一部に見られ樹全体に拡大することはなかった。2002年にはリンゴコブアブラムシ以外の複数種による新梢葉被害が観察されたが、被害葉率は低く、2003年にはアブラムシ類による被害は観察されなかった。

マメコガネは、散布区・削減区とも被害葉率が2%を越えることはなかった。葉巻状の葉についてはハマキガ類による被害としたが、種を特定することはできなかった。ハマキガ類による被害葉率は、2001年10月に散布

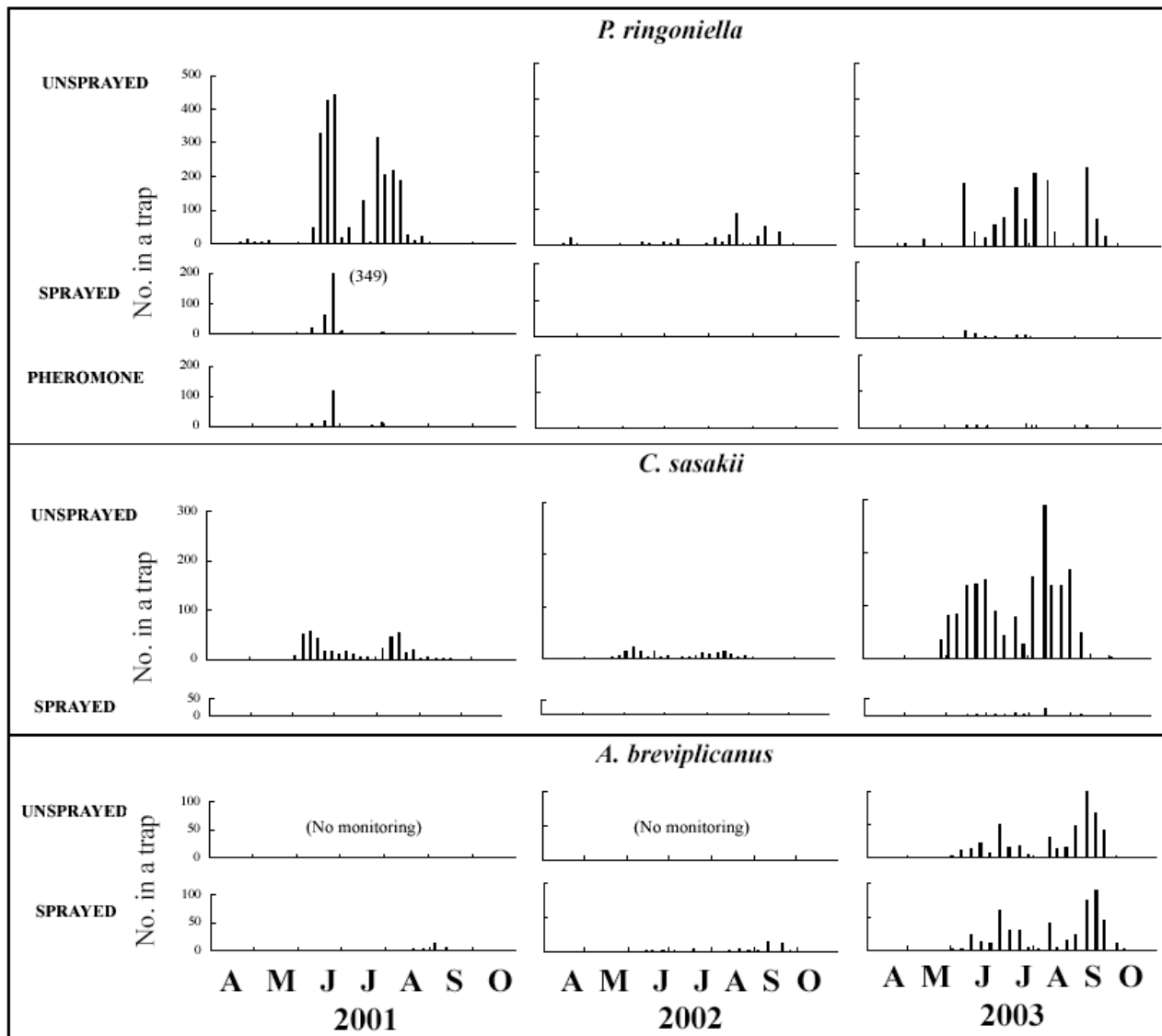


Fig. 2. Seasonal dynamics in the number of *Phyllonorycter ringoniella*, *Carposina sasakii*, and *Archips breviplicanus* adult males captured by the pheromone traps in three apple orchards of different pest management programs. The dynamics with more than 30 individuals captured on sticky plates with each sex pheromone in a year are shown in the figure. 'UNSPRAYED' indicates the orchard without insecticide sprays (black area in Fig. 1a), 'SPRAYED' is the orchard controlled by pesticide sprays (horizontal-striped area in Fig. 1a), and 'PHEROMONE' is the orchard controlled by the mating disruption technique (dotted area in Fig. 1a). 'No monitoring' indicates that the species was not monitored at the orchard in the year.

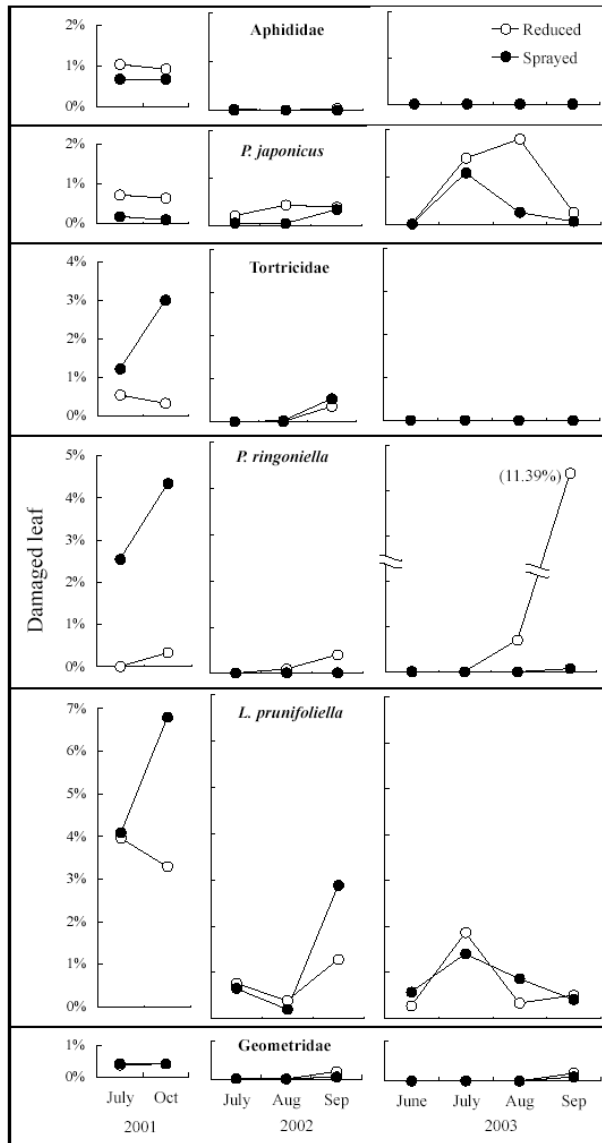


Fig. 3. Proportion of leaves injured by insect pests in two experimental areas of the orchard permeated with synthetic sex pheromone with multiple components (dotted area in Fig. 1a). Species and orders that were identified as the cause of leaf-damage were Aphididae, *Popillia japonica*, Tortricidae, *Phyllonorycter ringoniella*, *Lyonetia prunifoliella* and Geometridae. Leaf-damage to Aphididae in 2001 was caused by *Ovatus malisuctus*. White circles (○) indicate the proportion of injury levels in the area where insect pests were controlled only with sex pheromones. Black circles (●) indicate damage levels in the area where insect pests were controlled with sex pheromones and insecticides (arrows in Fig. 1b). The investigation was conducted in July and October in 2001, monthly from July to September in 2002, and monthly from June to September in 2003.

区で3.3%であったが、同月の削減区および2002年の両試験区では1%以下であり、2003年には被害葉が観察されなかった。キンモンホソガによる被害葉は、2001年10月に散布区で4.3%観察された。2003年9月には削減区で11.4%と高い被害葉率となった。ギンモンハモグリガは新梢葉に産卵し、葉の展開とともに被害が線状から斑状または面状に拡大する。本種によるそのような被害は、散布区で2001年10月に6.79%と高かったが、2002年と2003年には両試験区で3%以下であった。シャクガ類の被害葉は各年とも1%以下となり、顕著な被害とはならなかった。

ハダニ類では、2001年には散布区でナミハダニ *Tetranychus urticae* Kochが、2002年には散布区でナミハダニとリンゴハダニが、2003年には散布区でリンゴハダニが、削減区でナミハダニが観察された (Fig. 4)。ナミハダニは、2001年と2003年に散布区で葉あたり平均1.3頭の雌成虫が寄生したが、局所的に寄生が集中することもあり葉が黄変する場合もあった。リンゴハダニは、2003年に、葉あたり平均1.3頭の雌成虫が寄生したが、ナミハダニと同様に局所的に集中することがあり、葉が黄変する場合もあった。

以上、昆虫類による被害葉率は5%以下であり、樹全体の葉が黄変したり、落葉することはなかった。また、2003年の削減区においてキンモンホソガによる高い被害葉率が観察されたものの、各種害虫による被害が散布区よりも削減区で多くなるような傾向は認められなかった。ハダニ類では、散布区にナミハダニの発生が観察されたが、平均で雌成虫数1頭前後が寄生しているだけで、散布区で寄生が多くなるようなことはなかった。

葉梢加害性害虫による被害の果実品質への影響

交信攪乱園の散布区と削減区から収穫された果実の品質をTable 2に示した。2001年の果実品質では、削減区の着色度が散布区のそれよりも高かったが、それ以外の品質には両区で差が検出されなかった。2002年の調査では、各品質とも試験区間に差が検出されなかった。2003年は、熟度に差が検出され、削減区の果実は散布区に比べて成熟が低かった (t 検定, $p < 0.05$)。3年間を通して、両区間で糖度、重量、直径、着色度および熟度に一貫した傾向は観察されなかった。むしろ、年次による変動が観察され、2002年の果実は、2001年と2003年に比べて低糖度で、重量と直径が大きく、着色度が小さい傾向がみられた。

果実加害性害虫による被害

果実を加害する害虫種として、モモシクイガ、ハマキガ科、ヤガ科 (Noctuidae)、シヤクガ科、ナシマルカイガラムシ、カメムシ科 (Pentatomidae) およびリンゴコブアブラムシが確認された (Fig. 5). モモシクイガは、交信攪乱剤の対象害虫であるが、2001年には散布区で0.67%、2003年には削減区で1.17%の被害果が観察された。ハマキガ類は果実の近くの葉に寄生しているときに果実表面をかじり、その部分がコルク状となって果実肥大とともに被害部が拡大する場合が多い。2001年に散布区で0.50%、削減区で0.83%、2002年には削減区で0.15%の被害果が発生したが2003年には被害果は観察さ

れなかった。ヤガ類による被害は果実表面に直径1 mm程度の吸汁痕とその周縁部分の変色として識別される。被害果率は、削減区において3カ年とも観察され、2001年には0.67%、2002年には0.20%、2003年には1.33%であった。シヤクガ類は、果実表面に卵塊を産下するので、卵塊部分の果皮が着色しなくなる。このような被害は、2003年に散布区で0.33%、削減区で0.17%観察された。

ナシマルカイガラムシは主に枝幹部に生息するが、多発する場合には果実も寄生する。本種の寄生により果肉が変質することはないが、寄生個体の周辺が輪状に赤変するので外観上問題となる。1個体以上が寄生した果実は、2001年には削減区で2.17%、散布区で0.50%観察さ

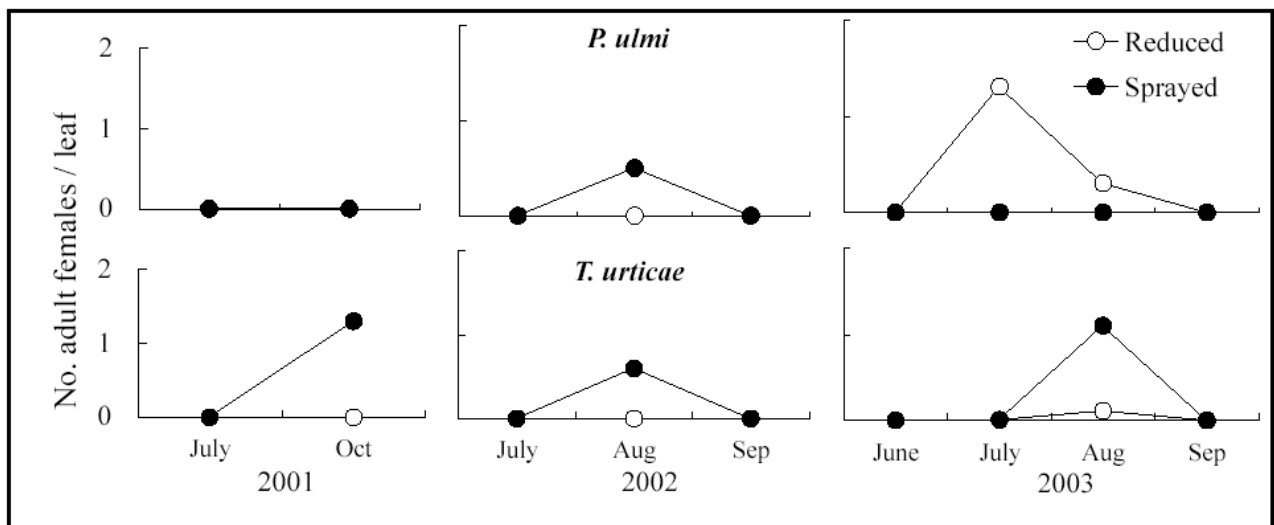


Fig. 4. Seasonal trends in the densities of *Panonychus ulmi* and *Tetranychus urticae* in the experimental area of the orchard permeated with synthetic multi-component sex pheromones (dotted area in Fig. 1a). White circles (○) indicate the density in the area controlled with sex pheromones and miticides. Black circles (●) indicate the density in the area controlled with sex pheromones, miticides and insecticides (arrows in Fig. 1b). The investigation was conducted in July and October in 2001, monthly from July to September in 2002, and monthly from June to September in 2003.

Table 2. Comparison of apple-fruit qualities among different control treatments in orchards

Year	Treatment ¹	n ²	Sugar content (Brix)	Weight (g)	Mean diam. (mm)	Color ³	Maturation ⁴ (%)
2001	Reduced	4	15.2	288.1	87.5	176.6*	38.2
	Sprayed	4	15	280.7	86.8	160.4	37.1
2002	Reduced	11	13.6	337.1	91.1	151.5	37
	Sprayed	12	13.5	368.5	94	165.7	37.1
2003	Reduced	6	14.9	282.9	86.6	170.2	27.1*
	Sprayed	6	15.1	284.9	84.5	169.9	36.6

1: Insect pests in the experimental areas (dotted areas in Fig 1a) were controlled either by sex-pheromones alone ('Reduced') or by sex pheromones and insecticides ('Sprayed').

2: The number of replicate trees used for comparison.

3: Index for red intensity (from 0 to 255, original values of null dimension for the sorting device) on the surfaces of fruits.

4: Index for matured fruits (original values for the sorting device).

ANOVA was conducted for each year and each character, after logarithmic transformation was applied for each measurement of sugar content, and arcsine transformation was used to evaluate color and maturation.

The mean of 'Reduced' with * was significantly different from that of 'Sprayed' (*t*-test, $p < 0.05$).

れ、2003年には削減区で0.83%であった。カメムシ類による被害は吸汁された部分から果肉がスポンジ状に変化し、果実肥大にともなって吸汁された部分がくぼんだ。2001年には削減区で1.67%、散布区で0.83%の被害果が観察され、2003年には削減区で0.33%の被害果が認められた。リンゴゴブアブラムシの被害が確認された2001年には、同種による果実への被害も観察された。被害葉の近くの着色前の果実が加害され、果実の肥大・着色とともに表面にさび症状を呈するようになったが、果肉変化は確認されなかった。

考 察

本研究では、複合交信攪乱剤を設置して殺虫剤を無散布にしたリンゴ園において、交信攪乱効果を評価するとともに、発生する害虫種と葉や果実の被害発生率との関係を調査した。その結果、複合交信攪乱剤の高い交信攪

乱効果が認められたが、対象害虫による加害は完全に抑えられなかった。ただし、モモシクイガを除いて、交信攪乱区における対象害虫による被害は軽微なものであり、防除法の違いによる果実品質への実質的な影響は認められなかった。特に、ハマキガ類では、リンゴモンハマキの誘殺数が2003年に多かったものの、他2種については交信攪乱園だけでなく、殺虫剤無散布園や慣行防除園でもほとんど誘殺されなかった。リンゴモンハマキは殺虫剤無散布園と慣行防除園において、2003年の1年間にそれぞれ500頭前後が誘殺されているが、交信攪乱園では2頭しか誘殺されておらず、交信攪乱剤の効果が十分に発揮されていると考えられた。一方、本試験研究圃場では、交信攪乱剤の対象外であるトビハマキが多く採集されるので(坂神, 私信), 交信攪乱園で観察されたハマキガ類による被害(Fig. 3)は、本種による可能性もある。

キンモンホソガにおいても、交信攪乱園における誘殺

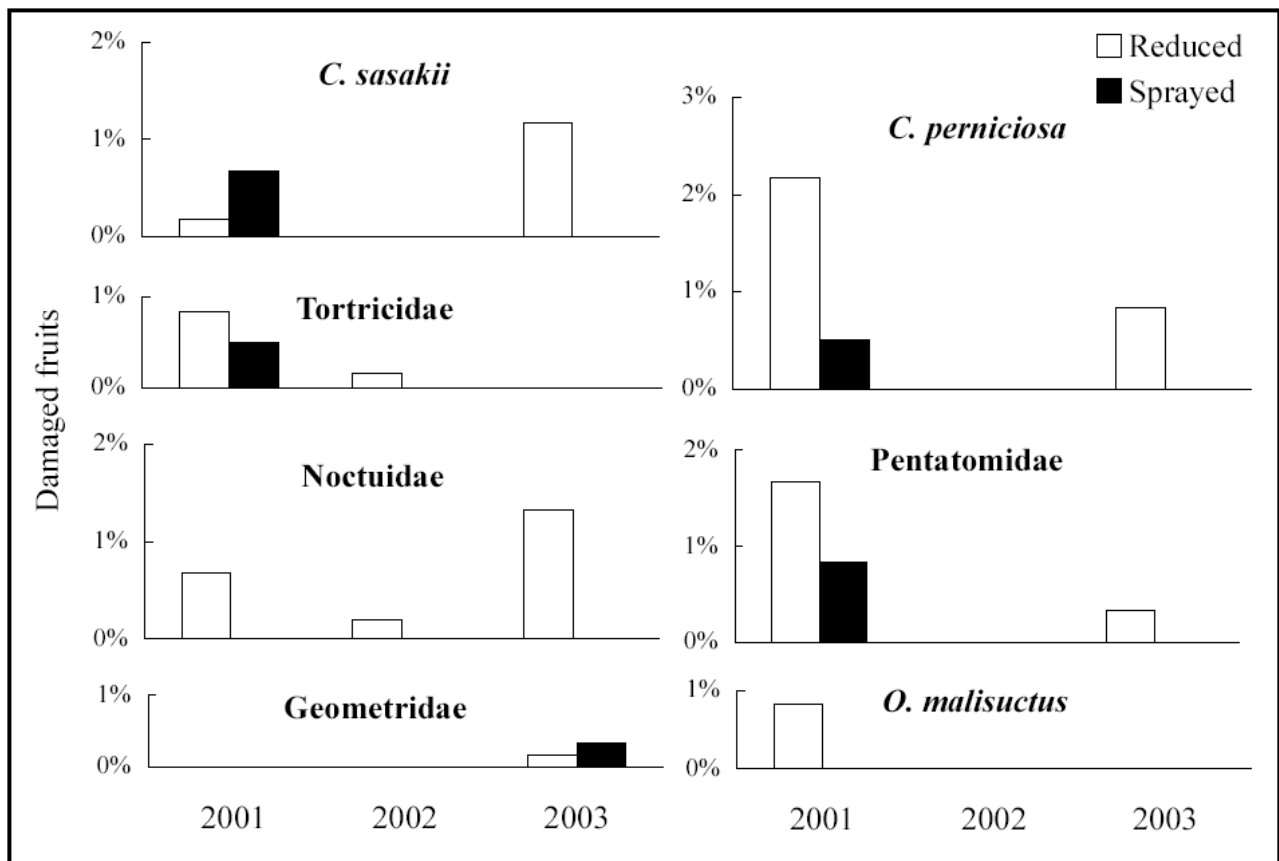


Fig. 5. Proportion of fruits damaged by insect pests in two experimental areas of the orchard permeated with synthetic multi-component sex pheromones (dotted area in Fig. 1a). Species and orders that were identified as the cause of fruit-injury were *Carposina sasakii*, Tortricidae, Noctuidae, Geometridae, *Comstockaspis perniciosus*, Pentatomidae and *Ovatus malisuctus*. White bars indicate the proportion of injured fruits in the area controlled with sex pheromones alone. Black bars indicate those in the area controlled with sex pheromones and insecticides (arrows in Fig. 1b). The investigation was conducted monthly in July and October in 2001, July to September in 2002, and June to September in 2003.

数は殺虫剤無散布園のそれに比べて少なく、被害も慣行防除園と同程度であった (Fig. 2). このことから、本種に対する複合交信攪乱剤の効果は十分であったと考えられる。本種は、2002年を除いて、殺虫剤無散布園で年間約1500頭から2500頭が誘殺された。交信攪乱園の被害葉率は2001年、2002年では5%以下であり、2003年9月には11.4%に達したものの、果実品質へ影響するほどの被害にはならなかった。本種は、殺虫剤無散布園では2003年9月以降に約300頭誘殺されており、2001年と2002年に比べて多かったが、交信攪乱園の誘殺数は9月に入っても増加しなかった (Fig. 2). 従って、2003年9月の被害増加は、交信攪乱効果が設置期間の後半まで持続しなかったためではなく、8月後半に周辺のリンゴ園で発生した既交尾雌が交信攪乱園へ侵入し、産卵したことによると推察される。

一方、交信攪乱区におけるモモンクイガによる被害は、2001年と2002年にもそれぞれ1%以下ではあったが、2003年に1.17%の被害果が発生した。果実の内部に侵入し、果肉、果芯部分を食入する本種による被害は、商品価値を喪失させるので (成田, 1987; 奥ら, 1989), 商品への混入を回避するために、通常、経済的被害許容水準 (EIL) は0.1%以下に設定されている。福島県では、慣行防除で被害果が発生しないリンゴ園において、交信攪乱剤を設置してさらに殺虫剤による3~4回の補完防除を行った場合、被害果率は0.4%であるが、交信攪乱剤を設置し、殺虫剤無散布で管理すると0.8%に倍増した (佐藤, 1992). 広域的な調査においても、0~0.8%の被害果率に抑えるために補完防除は不可欠であった (岡崎, 2000). 以上より、モモンクイガについては基本的に補完防除が必要であり、防除の要否を合理的に決めるためには、交信攪乱剤を設置した場合においても、被害発生量を正確に推定できる技術の開発が求められる。

リンゴ園で散布される殺虫剤は、上述のモモンクイガやキンモンホソガなど少数の重要害虫だけを対象としているだけでなく、同時に様々な害虫類の密度を抑制している。つまり、交信攪乱剤を設置して殺虫剤を削減すると、交信攪乱剤の防除対象外の害虫類が発生すると予想される。交信攪乱剤の対象外害虫として、福島県では、ヨモギエダシャク *Ascotis selenaria* (Denis et Schiffermuller), ギンモンハモグリガ, ナシマルカイガラムシ, マメコガネなどが発生し、さらにカミキリムシ類, キクイムシ類, カメムシ類やセミ類などの発生も懸念されている (岡崎, 私信). 本試験研究圃場では葉を加害する害虫として、マメコガネ, ギンモンハモグリガ, シャクガ類, アブラムシ類が確認されたが、ほとんどの場

合、被害が多発することはなかった。実際、光合成速度の低下が観察される10%の欠失を受けた葉の割合はそれぞれ数%程度であり、果実品質に影響するとは考えられなかった。

しかし、直接果実を加害する害虫の発生は無視できない問題となる。本研究では、果実を加害する害虫としてヤガ類, カメムシ類, リンゴコブアブラムシ, ナシマルカイガラムシが観察された。そのうち、ナシマルカイガラムシ, ヤガ類, カメムシ類による被害果率は1%を超える場合があった。数年をかけて徐々に個体数を増加させるナシマルカイガラムシの場合、2001年の殺虫剤散布で数年間密度を抑制することが期待される。一方、ヤガ類や果樹園周辺の針葉樹林などから飛来するカメムシ類による被害については、殺虫剤削減の影響によるものかは不明である。

ハダニ類については、発生量が年により異なった。2001年10月には慣行防除区でナミハダニの大発生がみられ、葉を変色させたが、果実の糖度を低下させることはなかった。なお、この試験区から収穫された果実の着色度が低かったことと、ナミハダニによる被害との因果関係は不明である。2003年7月の交信攪乱園におけるリンゴハダニの密度増加および同年8月のナミハダニの密度増加については、殺ダニ剤の散布むらの可能性があり、両種に対する天敵類による密度抑制効果がはたらく前に追加散布によって密度抑制することとなった。結果として、同年に収穫された果実品質への影響はなかったものの、殺ダニ剤を削減することはできなかった。

本研究は、1カ所のリンゴ園での事象にすぎないので、今後、多くの事例を収集する必要があることは言うまでもない。地域によって発生する害虫相も異なり、加害が重大な種も異なるだろう。しかし、3年間に害虫の発生密度が大きく変わったものの、葉への被害が果実の内部品質を低下させることがなかったことから、葉を加害する害虫について、ほとんどの場合、殺虫剤による補完防除は必要ないと推察される。一方、果実を直接加害する害虫のうち、EILが通常0.1%に設定されているモモンクイガについては、被害を完全に抑えることができないので防除歴に補完防除を組み込む必要がある。ナシマルカイガラムシ, ヤガ類, カメムシ類についてはEILが設定されていない。外観で識別できる場合が多く、出荷できない果実と同じように扱えるので、1%以下の被害であれば無視できるかもしれない。その場合、数年に1度の殺虫剤散布で被害を回避できるが、そのためには被害の予測技術を開発する必要がある。

現在、交信攪乱剤を利用した防除体系がリンゴ園に普

及しているとは言えない。殺虫剤を削減することにより多様な害虫の発生が懸念され、交信攪乱剤を設置しても、殺虫剤の散布を必要とするからである。特に、モモシンクイガによる被害が発生すると産地イメージが損なわれる危険性があるので、殺虫剤への依存は根強い。また、交信攪乱剤を設置して殺虫剤を散布すると、経済的に見合わないばかりか、交信攪乱剤設置による減農薬への取り組みに矛盾することにもなる。今後は、この矛盾を解決するための技術開発に取り組み、減農薬栽培を推進する必要があると考えられる。

摘 要

複合交信攪乱剤を利用した減農薬リンゴ園において、害虫発生と被害の動向を3年間調査した。複合交信攪乱剤の対象害虫は、モモシンクイガ、キンモンホソガ、リンゴモンハマキ、ミダレカクモンハマキ、リンゴコカクモンハマキであり、モモシンクイガ、キンモンホソガおよびリンゴモンハマキに対して交信攪乱効果が確認された。しかし、ミダレカクモンハマキおよびリンゴコカクモンハマキについては、殺虫剤無散布園での誘殺数が少なく、攪乱効果があったかは不明であった。交信攪乱園内の散布区と削減区の両方において、交信攪乱剤の対象害虫であるキンモンホソガ、ハマキガ類、モモシンクイガ、および対象外害虫であるアブラムシ類、マメコガネ、ギンモンハモグリガ、シャクガ類、ハダニ類、ヤガ類、ナシマルカイガラムシ、カメムシ類による被害が観察された。葉の被害については、削減区で多い傾向はなかったが、果実の被害については、削減区で多くなる傾向が認められた。葉の被害は果実品質を低下させることはなかったため、葉を加害する害虫に対する殺虫剤の散布は必要ないと考えられた。しかし、果実の被害については、モモシンクイガ、ナシマルカイガラムシ、ヤガ類、カメ

ムシ類による被害果が1%を越える場合があった。モモシンクイガについては経済的被害許容水準が0.1%に設定されており、この水準を保つためには補完防除が不可欠である。一方、ナシマルカイガラムシ、ヤガ類、カメムシ類については、画一的な補完防除は必要なく、状況に応じた薬剤散布で実害を回避できるものと推察された。

引用文献

- 1) 荒川昭弘・岡崎一博. 2002. 交信かく乱法による落葉果樹害虫防除と天敵の役割. 植物防疫, 56: 97-101.
- 2) Hall, F. R. and D. C. Ferree. 1976. Effects of insect injury simulation on photosynthesis of apple leaves. J. Econ. Entomol. 69: 245-248.
- 3) 平良木武・鈴木茂・及川英雄. 1993. 無農薬で栽培したリンゴの病害虫による被害と樹体への影響. 北日本病虫研報, 44: 81-82.
- 4) 成田弘. 1987. リンゴにおけるモモシンクイガの防除を巡る諸問題. 植物防疫, 41: 271-275.
- 5) 岡崎一博. 2000. リンゴ園における複合交信攪乱剤を利用した総合的害虫管理の試み. 農業技術, 55: 409-413.
- 6) 奥俊夫・若公正義・大平喜男. 1989. 合成性フェロモンの交信攪乱効果によるモモシンクイガの防除. 果樹試報C, 16: 63-81.
- 7) 佐藤力郎. 1992. 落葉果樹害虫防除への性フェロモンの利用. 福島果試報, 15: 27-91.
- 8) 高木一夫. 1998. 果樹害虫の生態と防除, p.291-325. 害虫・有害動物編, 第3版. 植物防疫講座(志賀ら編). 日本植物防疫協会, 東京.
- 9) 梅谷献二・岡田利承. 2003. 日本農業害虫大辞典. 1203pp. 全農協, 東京.