

侵入害虫マメハモグリバエLiriomyza trifolii(Burgess)の発生 動態と寄生蜂による生物的防除法に関する研究

誌名	特別報告 / 静岡県農業試験場
ISSN	13406817
著者名	小澤,朗人
発行元	静岡県農業試験場
巻/号	23号
巻号補足	
掲載ページ	p. 1-77
発行年月	2001年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



第1章 序論

静岡県は降雪がほとんどなく温暖であることから従前より施設園芸が盛んであり、メロンやトマトなどの野菜類やキク、ガーベラなどの花卉類など多様な農作物が栽培されている。海外からも様々な植物の苗等が持ち込まれ、1974年以降に全国で確認された18種の侵入害虫のうち、14種が静岡県で確認されており、本研究で扱うマメハモグリバエ *Liriomyza trifolii* (Burgess) を含めて5種が静岡県で初確認されている(池田, 1997)。これら侵入害虫の中でも、ミナミキイロアザミウマ *Thrips palmi* Karny (池田ら, 1984)、シルバーリーフコナジラミ *Bemisia argentifolii* Bellow & Perring (西東・尾崎, 1991)、ミカンキイロアザミウマ *Frankliniella occidentalis* Pergande (片山・多々良, 1994) など、施設野菜や花卉を加害する微小な侵入害虫による被害が栽培現場では重要な問題となっている。

1990年の秋に静岡県西部のキク・ガーベラ栽培地帯で、突如としてハモグリバエの1種による甚大な被害が発生した(西東, 1992)。従来、野菜・花卉類におけるハモグリバエによる被害は小さく、一般の殺虫剤

により容易に防除が可能であった(西東, 1988a)。しかし、この時発生したハモグリバエに対しては、それまで現地で使用されてきた様々な殺虫剤のほとんどに防除効果が認められず、被害は急速に拡大していった。特にキクでは商品価値が外観で左右されることから、発生地域では産地の存亡に関わる深刻な事態となった。このハモグリバエは形態などからこれまで確認されていない新害虫であることが推察されていたが、同定の結果、我が国では未発生のマメハモグリバエ *Liriomyza trifolii* (Burgess) であることが判明した(Sasakawa, 1993; 西東, 1992)。その後、マメハモグリバエは、周辺地域に分布を拡大し(小林ら, 1992)、翌年には静岡県の中・西部地域の施設トマト産地でも、トマトの株が枯死するほどの深刻な被害が発生するようになった。また、1991年以降は西南暖地を中心に全国に分布が拡大し(西東, 1993)、1999年秋には、北は山形県から南は沖縄県まで計42都府県で発生が確認されるようになり、今では本種は全国的な重要害虫となっている。

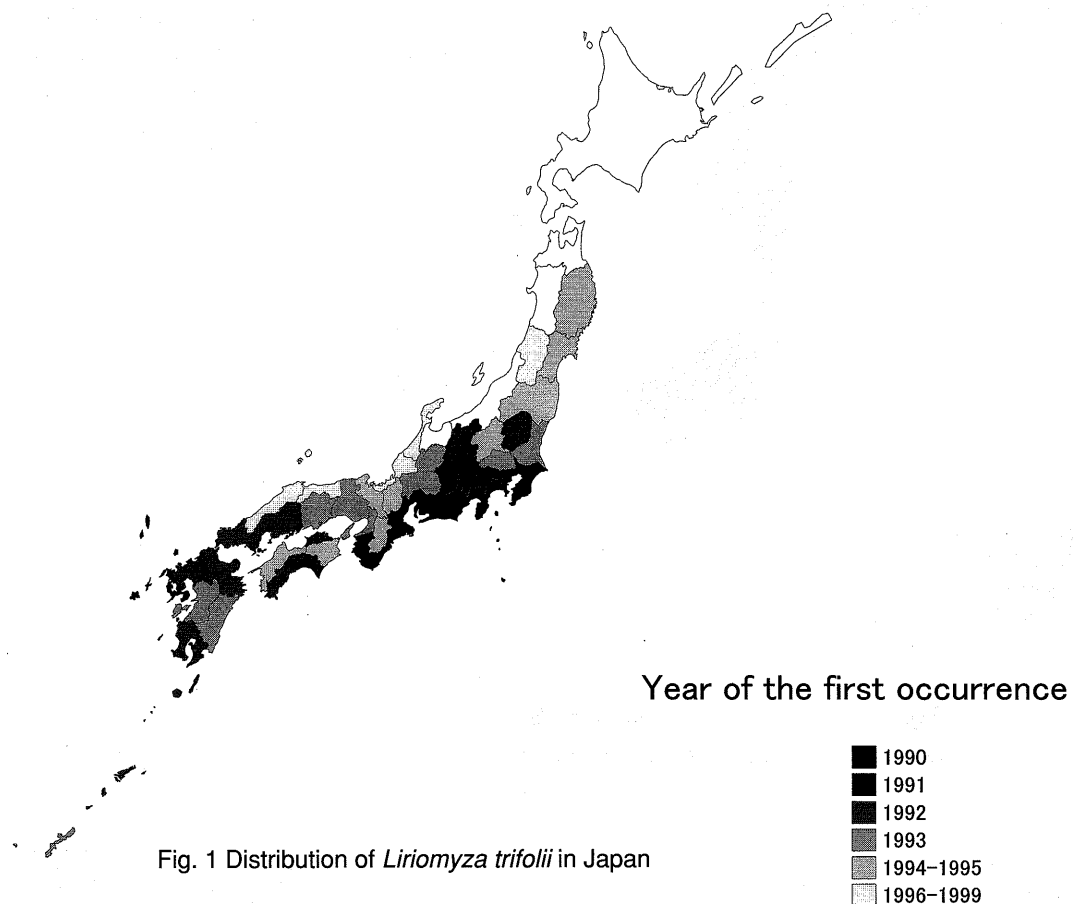


Fig. 1 Distribution of *Liriomyza trifolii* in Japan

マメハモグリバエは、北米のフロリダ地域が原産と考えられている (Spencer, 1965)。米国では1975年頃からカリフォルニア州の野菜や花卉で本種による被害が問題となっており (Parrella, 1982), 1981年から1985年までの間に、カリフォルニア州のキク栽培だけで9千300万ドルもの経済的損失が発生している (Newman and Parrella, 1986)。また、1970年代後半には、イギリス (Bartlett and Powell, 1981), オランダ (Van Frankenhuyzen and Van de Bund, 1979), フランス (D'Aguilar et al., 1979) などのヨーロッパ地域に侵入し、1980年代にはヨーロッパの施設栽培地帯では難防除害虫として問題になった (Malais and Ravensberg, 1992)。静岡県初の発地域における農家の聞き取り調査では、海外から輸入された種苗会社のガーベラの苗に寄生が認められており、輸入された苗

に寄生していた個体群が発生源となっていたことが推察された。このことから、海外に生息していた系統が人為的に我が国に導入された可能性は高いが、侵入ルートについてははっきりしていない。また、本種は、1988年に台湾 (Wang and Lin, 1988; Feng and Jer, 1989), 1990~91年にインド (Lakshminarayana et al., 1992; Daware et al., 1993; Viraktamath et al., 1993), 1994年には韓国 (Han et al., 1996) などアジア地域にも侵入し、近年は中国 (趙, 私信) やスリランカ (日高, 私信) でも大きな問題になり、現在ではコスモポリタンな害虫となっている。なお、Fig. 2に本種の世界における分布を示したが、比較的温暖な地域で発生が多い傾向がある。

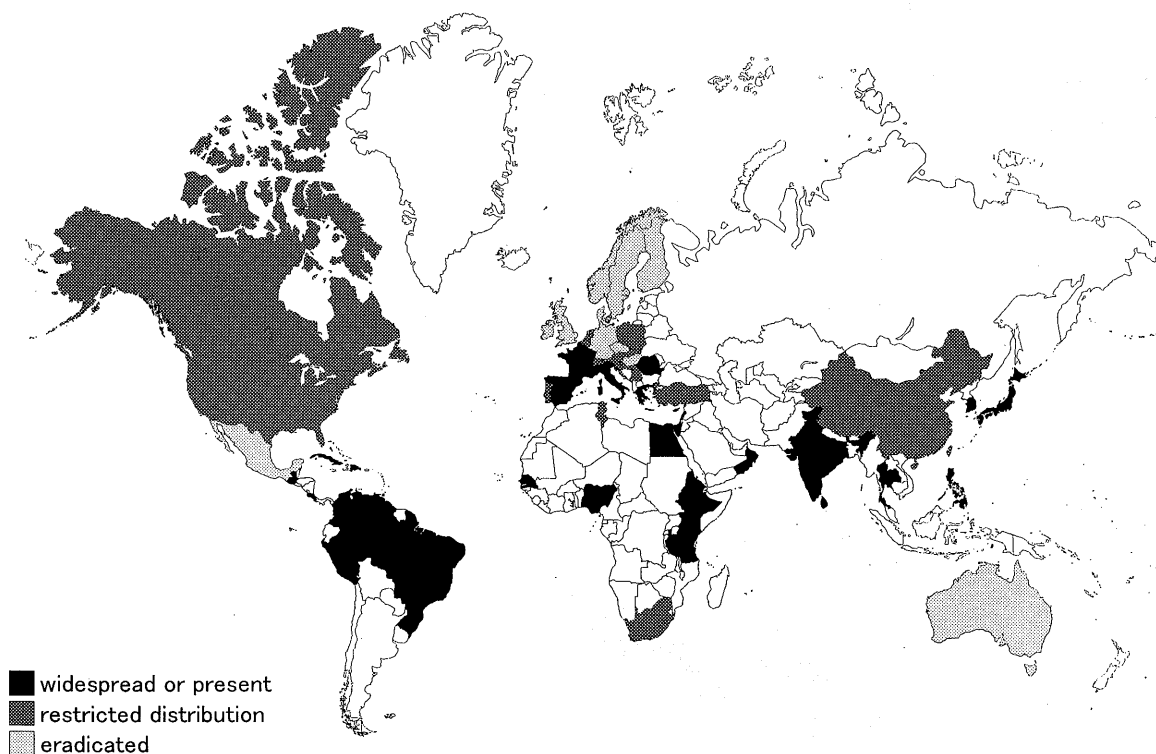


Fig. 2 Distribution of *Liriomyza trifolii* in the world.

(source: CAB crop protection compendium (1997) and personal communication)

このようにマメハモグリバエが我が国のみならず、世界的な害虫となっている要因としては、本種がこれまで我が国でも問題となっている侵入害虫に共通する生態的特性、すなわち侵入当初から薬剤抵抗性が発達していること、広い寄主範囲、休眠性をもたないことなど（池田，1997），を有していることが考えられる。薬剤抵抗性に関しては、静岡県で発生している個体群について様々な薬剤に対する感受性が調べられ、有機リン剤、カーバメート剤、合成ピレスロイド剤などほとんどの殺虫剤に対する感受性の低下が明らかになっている（西東ら，1992）。また、寄主植物の範囲については、これまで12科50種以上の農作物や雑草への寄生が確認されており（西東，1997a），休眠性はないとされている（西東，1997a）。

しかし、本種の我が国における発生生態については、新害虫であることから未だ不明な点が多く、有効な防除対策を策定するためには、基本的な生態特性やほ場における発生動態を把握しておく必要がある。また、本種は薬剤抵抗性が発達していること（西東ら，1992）や合成ピレスロイド剤によるリサージェンスが生じること（西東ら，1993，1996），数少ない有効薬剤についてもすでに薬剤感受性の低下が認められていること（西東ら，1994）などから、薬剤に依存しない防除方法の開発を進める必要がある。この点に関して、欧米では天敵生物を用いた生物的防除法の研究開発が進められ、ヨーロッパでは1984年から商業的に大量生産されたマメハモグリバエの寄生蜂製剤が販売されている（Ravensberg，1992；Van Lenteren，1995）。アメリカにおいても主に土着の寄生蜂を利用したハモグリバエ類の生物的防除法が研究されている（例えば，Heinz et al.，1988；Parrealla et al.，1989，1992）。一方、我が国においては、近年、主に施設栽培における天敵類の生物農薬の利用が精力的に進められ、コナジラミ類に対するオンシツツヤコバチ *Encarsia formosa* Gahan とハダニ類に対するチリカブリダニ *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot はすでに農薬登録を取得し、これらは現地でも普及しつつある。

ところで、マメハモグリバエの被害が問題となっている施設トマトでは、ヨーロッパで開発された受粉昆虫のセイヨウオオマルハナバチ *Bombus terrestris* が1991年から我が国に導入され（池田，1992），本受粉昆虫は省力的な受粉技術としてトマト農家に広く普及している。マルハナバチを導入した農家では、それを保護するために殺虫剤の散布が厳しく制限されていることから、殺虫剤に代わる新たな対策が必要となって

いる。現在、静岡県の施設トマトではコナジラミ類とマメハモグリバエが最重要害虫となっているが、幸いコナジラミ類に対しては天敵資材のオンシツツヤコバチやプロフェジンなどの選択性殺虫剤が使用できる。これに対してマメハモグリバエは有効な防除対策に乏しく、コナジラミ類同様の生物的防除法の開発が急務となっている。

そこで、本研究では、静岡県で初確認された侵入害虫マメハモグリバエについて、防除対策を策定するための基礎的な知見となる本種の生活史パラメータや増殖能力を明らかにするとともに（第2章），野外におけるマメハモグリバエ成虫の発生消長や移動分散の実態（第3章），施設トマトほ場における簡便なトラップを用いた幼虫の発生予測および幼虫と潜孔の空間分布（第4章）などの発生動態を明らかにした。さらに、化学的防除法に代わる新たな防除法として、施設トマトにおける寄生蜂の放飼による防除効果を確認するとともに（第5章），本寄生蜂に対する各種農薬の影響を詳細に調べて、天敵に対する影響の少ない薬剤を選抜することを試みた（第6章）。さらに、ここで選抜された薬剤と寄生蜂を組み合わせた総合防除体系の実用性を現地農家のトマトほ場で検証した（第7章）。最後に、本研究で明らかにした本種の生態的特性を考慮した効率的な防除戦略と天敵を用いた生物的防除法の今後の展開やその問題点について考察した（第8章）。

第2章 生活史パラメータと増殖能力

2. 1 緒言

マメハモグリバエの寄主範囲は極めて広く、海外では21科120種 (Minkenberg and van Lenteren, 1986) あるいは25科 (Spencer, 1990) の植物に寄生するとされており、我が国でもこれまでにトマトやキクなど12科50種以上の植物で本種の寄生が確認されている (西東, 1997a)。また、我が国における本種の発生生態についてはいまだ不明な点が多いものの、トマトやキクなどの施設栽培ほ場では増殖速度がきわめて速いことが観察されており、オンシツコナジラミやミナミキイロアザミウマなど他の微小な侵入害虫と同様に増殖能力の高い害虫であることが推察される。しかし、本種の発育期間や産卵数などの生活史パラメータおよび個体群の増殖能力に関しては、海外ではトマト (Parrella et al., 1983; Schuster and Patel, 1985; Minkenberg, 1988; Zoebisch et al., 1992)、セルリー (Parrella et al., 1983; Leibe, 1984)、キク (Parrella et al., 1983; Parrella, 1984; Miller and Isger, 1985) などで調べられているものの、他の作物については不明であり、また我が国で発生している個体群に関するこれらの情報はまったくない。

近年、我が国でも本種に対して天敵寄生蜂を用いた生物的防除法の開発が試みられており (多々良ら, 1993; 小澤ら, 1993; 西東ら, 1995b, 1996; 西東, 1997b)、天敵資材も現場で使用され始めている。一般に、害虫の増殖能力の低い寄主植物の方が生物的防除は容易であるとされている (Waage and Hassell, 1982)。従って、広食性のマメハモグリバエのについても、本種の主要な寄主作物における生活史パラメータと増殖能力を明らかにしておくことは、各作物における生物的防除の難易度をあらかじめ把握するために重要である。さらに、個体群の増殖能力は一般に温度の影響を強く受けるが、我が国のマメハモグリバエ個体群については、増殖に及ぼす温度の影響は不明であり、季節や作型に応じた効率的な防除対策を考えるためには温度別の増殖能力も明らかにする必要がある。従って、これらを明らかにすることは各作物ごとに効果的な防除対策を構築する上での基礎的知見となる。

そこで、主要寄主作物における本種の発育日数と産卵数およびこれらを寄主とした場合の幼虫と蛹の生存率を調べて寄主作物別の個体群の増殖能力を明らかにし、増殖に及ぼす寄主作物の影響を検討した。同様に、

トマトを寄主として温度別の生存率と産卵数を調べ、温度が増殖能力に及ぼす影響についてもあわせて検討した。さらに、実験で得られた生活史パラメータをもとにモデルシミュレーションによる動態パターンの推測を行い、ほ場における実測値と比較して実験室で得られたデータのは場への適合性を検証した。

2. 2 材料と方法

(1) 供試個体群と供試植物

実験には、1991年に浜松市で採集した静岡農試累代飼育系統 (西東ら, 1992) を用いた。寄主植物には、トマト (品種: サンロード)、ミニトマト (キャロルセブン)、ガーベラ (ラブリネル)、セルリー (コーネル619)、チンゲンサイ (青帝)、インゲンマメ (キーストンすじなし江戸川)、キク (秀芳の力)、メロン (PF70) の8種類を実験に供試した。実験には、原則として播種または移植2週間~1ヶ月後の鉢植えの健全な植物体を供試した。なお、インゲンマメは初生葉のみを残し、他の本葉は除去した。

(2) 生活史パラメータ

実験は、すべて16L-8Dの日長条件で行い、温度別の実験以外は $25 \pm 2^\circ\text{C}$ の温度条件で行った。

1. 各ステージの発育期間

鉢植えの寄主植物を入れた飼育箱 (縦: 38cm, 横: 40cm, 高さ: 30cm) にマメハモグリバエ成虫を放飼して産卵させ、6時間後に寄主植物を取り出して所定の温度、日長条件に設定した恒温器内に9鉢ずつ入れた。卵のふ化は幼虫の被害開始によって確認し、卵期間を求めるためにふ化日を示すマークをフェルトペンで幼虫が存在する葉面に記した。ふ化終了後、ふ化最盛日の幼虫だけを残して他の幼虫は鋭利なピンセットですべて除去し、幼虫期間は、この同一日にふ化した幼虫が蛹化するまでの日数とした。蛹は蛹化日ごとにひとまとめにして湿らせた濾紙を敷いたアイスクリームカップ (直径9cm) に入れ、羽化までの日数を調べて蛹期間を求めた。各調査は、毎日、一定時刻に行った。

2. 産卵数と雌成虫の寿命

餌として、プラスチック製アイスクリームカップで作った飼育容器 (西東, 1988b) の中で寄主植物の切り葉を水挿しにしたものを用いた。羽化当日の雌成虫1頭と雄成虫3頭を飼育容器の中に放飼し、雌成虫が

死亡するまで毎日寄主植物の葉を取り替え、Parrella and Robb (1982) の方法で葉内の卵を染色した後に実体顕微鏡下（透過光）で産卵数を数えた。なお、トマト以外の寄主植物における産卵数については、25℃、16L-8Dで、トマトについてはさらに15℃、20℃および30℃（いずれも16L-8D）の温度条件で調査した。

3. 卵のふ化率

ふ化率はトマトでのみ調べた。まず、マメハモグリバエ成虫約50頭を入れた飼育箱内に、トマトの小葉を1枚ずつ水差しした50mlの小型ガラス管瓶5個を入れ、これらに約12時間産卵させた。その後、実体顕微鏡下で産下された卵を確認して葉の表面にマジックインキでこれらをマークした。トマト小葉は水差しのまま各温度条件に設定した恒温器内に5日間放置した後、マークされた卵について幼虫の発生状況を調べ、ふ化幼虫数/卵数をふ化率とした。

4. 幼虫および蛹の生存率

飼育箱内に鉢植えの寄主植物を入れ、これにマメハモグリバエ成虫約50頭を6～8時間接種して産卵させた。次に、飼育箱から植物を取り出して3～4日間放置した後に、十分に展開した成熟葉について葉当たり10～30頭の1齢幼虫が発生している葉を選び、幼虫数を数えるために潜孔の先端をマジックインキでマークした。その翌日にマークした潜孔中の幼虫を再確認してマーク漏れの幼虫は先端が尖ったピンセットで取り除いた。さらに1～2日放置した後、3齢幼虫に发育した時点で幼虫が寄生した葉を切り取り、これらを水を湿らした濾紙を敷いたスチロール容器に1枚ずつ入れた。容器収納3～4日後に、正常に蛹化した個体数と先に潜孔に付けたマーク数を数えて蛹数/マーク数を蛹化率とした。次に、正常に蛹化した蛹はそのまま容器内に約10日間放置し、成虫が羽化した後、成虫の数を数えて成虫数/蛹数を求め、これを羽化率とした。なお、チンゲンサイとセルリーでは、葉を切り取るとすぐに葉が萎れたため、葉は切り取らないでテトロンゴースの袋を葉全体にかぶせて同様に調べた。実験には、各作物3～5株（鉢）の植物体を供試し、蛹化率と羽化率の分散分析および多重比較検定では供試株ごとにまとめた値（角変換値）を反復の単位とした。

(3) 個体群の増殖能力

上記の実験で得られた生活史パラメータを用いて個体群の増殖能力を寄主作物別に求めた。卵のふ化率はトマトにおいて得た結果を他の植物にも適用した。发育期間、産卵数、蛹化率、羽化率および雌成虫生存率は本研究で寄主作物別に求めた結果を用い、性比は

Zehnder and Trumble (1983) に従い、1:1とした。これらのパラメータを使って、Birch (1948) に従い、世代平均期間、世代当たり純繁殖率、内的自然増加率(r)、増殖倍率(λ)を寄主作物別、温度別（トマトのみ）に算出した。なお、トマトにおける温度別の増殖率に用いた发育期間は、別に本研究で得られた有効積算温度から算出した値を用いた。

(4) モデルシミュレーションによる動態の推定と検証

本研究で得られたミニトマトを寄主とした25℃における生活史パラメータを用いて個体群成長のモデルシミュレーションを行い、ほ場における実測値とシミュレーションによる推定値との比較を行った。

モデル計算にはレスリー行列モデルを利用し、実際のほ場における動態の推定には変温条件を扱えるよう修正したレスリー行列の改変モデル(Miyai and Hokyo, 1992)を用いて发育零点は9.5℃(Table 2)とした。レスリー行列の各要素には、本研究で求めた25℃における日齢別の生存率および産卵数のデータを当てはめ、パーソナルコンピュータの表計算ソフト(ロータス123・windows版)を使用して日単位で計算した。比較のための実測値データは、静岡県農業試験場内の小型ガラスハウスに定植したミニトマトにおけるマメハモグリバエの個体数推移データと気温データを用いた。なお、耕種概要は、本研究第5章のTable 16(試験2の対照区)に示した。マメハモグリバエの個体数は、系統抽出した6株の全葉について幼虫数、幼虫が脱出した空の潜孔数、株元に置いた20×30×深さ5cmのプラスチックバットに落下した蛹数を1週間間隔で調査した。発生の開始は成虫の放虫によったが(Table 16)、1回目(5月9日)に放飼した成虫の次世代幼虫がほとんど確認できなかったため、シミュレーション計算は2回目(5月25日)に成虫を放飼した時点から行った。

2. 3 結果

(1) 生活史パラメータ

1. 温度と发育期間との関係

各飼育温度における卵、幼虫および蛹の发育期間をインゲンマメで調べた結果をTable 1に示した。各ステージの发育期間は飼育温度が高くなるに従い短くなったが、35℃では蛹化したものの、すべて死亡した。

飼育温度と发育速度との関係を検討したところ、各ステージとも飼育温度が30℃以上になると发育速度の

伸びがそれまでより小さくなっていることがわかった。このため、15℃、20℃および25℃の3点の実験結果から温度と発育速度との回帰式を算出し、発育零点と有効積算温度を推定した (Table 2)。卵、幼虫、および蛹の発育零点はそれぞれ8.0℃、8.9℃、および10.1℃、卵から蛹化までの発育期間における発育零点は9.5℃と推定された。

2. 各寄主植物における卵～幼虫期間

各寄主植物における卵～幼虫期間をTable 3に示した。卵～幼虫期間が最も短かったのはインゲンマメの6.5日で、最も長かったのはキクの9.7日であり、卵～幼虫期間は寄主植物間で最大1.5倍の違いがあった。

Table 1. Development time of eggs, larvae and pupae of *Liriomyza trifolii* on kidney bean, *Phaseolus vulgaris*, at different constant temperatures with photoperiod of 16L-8D

Temperature (°C)	Development time (mean ± SD days)			
	Egg	Larva	Pupa	Total
15	7.6±0.7 (N=157)	10.5±1.0 (N=137)	30.0±1.3 (N=72)	48.1
20	4.3±0.5 (N=366)	5.9±0.6 (N=199)	14.4±0.6 (N=168)	24.6
25	3.1±0.2 (N=819)	4.0±0.2 (N=662)	9.7±0.5 (N=381)	16.8
30	2.5±0.5 (N=1231)	4.0±0.3 (N=632)	7.0±0.1 (N=329)	13.5
35	2.2±0.4 (N=670)	4.0±0.4 (N=404)	— ^a (N=404)	

^a No individuals emerge.

Table 2. Linear regression equations for developmental rate and temperature, lower threshold temperature for development, and total effective temperature for eggs, larvae, and pupae of *L. trifolii* on kidney bean, *Phaseolus vulgaris*

Life stage	Regression equation ^a	Lower threshold temperature (°C)	Total effective temperature (degree-days)
Egg	$Y = 0.0191X - 0.1531$ ($p < 0.05$)	8.0	52
Larva	$Y = 0.0191X - 0.1531$ ($p < 0.05$)	8.9	65
Pupa	$Y = 0.0191X - 0.1531$ ($p < 0.05$)	10.1	143
Total	$Y = 0.0191X - 0.1531$ ($p < 0.05$)	9.5	257

^a After data for 15, 20 and 25°C. Y: developmental rate (day⁻¹), X: temperature (°C).

Table 3. Combined egg and larval development time of *L. trifolii* on different host plants at constant temperature (25°C) with photoperiod of 16L-8D

Host plant	Cultivar	N	Combined egg and larval development time (mean±SD days)
Kidney bean (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	Keystone-sujinasi-edogawa	215	6.5±0.62
Pak-choi (<i>Brassica campestris</i> L.(chinensis group))	F ₁ Shanghai-pak-choi	179	7.0±0.79
Gerbera (<i>Gerbera</i> spp.)	Lablinel	342	7.9±0.55
Cherry tomato (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.)	Carol7	600	7.9±0.52
Tomato (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.)	Sunroad	233	8.3±0.71
Celery (<i>Apium graveolens</i> L.)	Cornell619	169	8.3±0.79
Melon (<i>Cucumis melo</i> L.)	PF70	130	8.7±0.73
Chrysanthemum (<i>Chrysanthemum morifolium</i> Ramat)	Syuuho-no-chikara	237	9.7±0.82

3. 各寄主植物における産卵数と雌成虫の平均寿命
各寄主植物における日別の産卵曲線と雌成虫の生存曲線をFig. 3に示した。いずれの植物でも、羽化後1日以内に産卵が始まり、その後、産卵数は急激に増加し、やがて徐々に減少した。産卵のピークは、チンゲンサイでは羽化後11日目に観察されたが、他の植物では羽化後2～5日の範囲であった。

次に、各寄主植物における雌成虫の平均寿命と1雌当たりの総産卵数をTable 4に示した。平均寿命、産卵数ともに寄主植物間で著しい差がみられた。トマト、ミニトマトでは平均寿命が10日以下で、総産卵数は100個以下と少なかった。一方、メロン、ガーベラ、セルリー、およびキクでは平均寿命が7～28日で、総産卵数は100～200個程度、インゲンマメおよびチンゲンサイでは平均寿命が長く16～25日で、総産卵数も最も多く、500個以上であった。

4. 各寄主植物における生存率

供試した8作物におけるふ化率（トマトのみ）、蛹化率および羽化率をTable 5に示した。蛹化率は供試作物間で有意な差がみられたが（ $p<0.05$ ）、インゲンマメ、チンゲンサイ、トマト、ミニトマトおよびセルリーの5作物、セルリー、ガーベラおよびキクの3作物、ガーベラ、キクおよびメロンの3作物間においては有意差は認められなかった（ $p>0.05$ ）。供試した8作物の中では、メロンが56.2%と最小値を示した。

一方、羽化率は90%以上を示した作物が多く、前述の蛹化率に比べると作物間の差は小さい傾向がみられたが、供試作物間の有意差は認められた（ $p<0.05$ ）。また、インゲンマメ、チンゲンサイ、トマト、ミニトマト、ガーベラ、キクおよびメロンの7作物、セルリー、ガーベラおよびメロンの3作物間においては有意差は認められなかった（ $p>0.05$ ）。なお、最小値はセルリーの82.8%であった。

5. 各温度条件における生存率、産卵数および雌成虫の平均寿命

15～30℃における卵のふ化率、蛹化率および羽化率をTable 6に、産卵数と雌成虫の平均寿命をTable 7に、温度別の雌成虫の生存曲線と産卵曲線をFig. 4に示した。

卵のふ化率はいずれの温度区も90%以上と高く、処理間で有意差は認められなかった（ $p>0.05$ ）。一方、羽化率、蛹化率は、ともに25℃条件が最も高く、低温の15℃または高温の30℃では低下する傾向がみられた。有意差検定の結果、蛹化率では25℃と30℃の間に、羽化率では15℃と20℃および25℃との間に有意差が認められ（ $p<0.05$, Table 6）、幼虫や蛹の生存に温度の影響があることは明らかであった。また、幼虫と蛹の日当たり死亡率を、 $-\ln(1-M)/t$ （ただしMは各ステージにおける死亡率、tは各ステージの発育日数）の計算式から求めた結果、幼虫、蛹ともに30℃、15℃、

20℃, 25℃の順に日当たり死亡率は高かった (Table 7)。

1 雌当たりの総産卵数と日当たり産卵数は25℃が最も多く、これより高温の30℃, 低温の20℃および15℃では総産卵数は25℃に比べて有意に少なかった ($p<0.05$, Table 7)。また、15℃では総産卵数3.3個、日当たり産卵数0.4個と他の温度区に比べて極端に少なかった (Table 7)。なお、産卵は羽化当日から始まり、そのピークはいずれの温度でも羽化後3日以内に現れた (Fig. 4)。一方、雌成虫の平均寿命は温度が高くなるに従って短くなり、15℃が7.9日で最も長く、30℃は2.2日と最も短かった (Table 7, Fig. 4)。なお、有意差検定の結果、15℃と20℃, 25℃および30℃との間

と、20℃と30℃との間には有意差が認められた ($p<0.05$, Table 7)。

次に、これらのデータから、幼虫と蛹の日当たり死亡率、日当たり雌当たり産卵数および雌成虫の平均寿命と温度との関係を検討した。ここでは、幼虫と蛹の日当たり死亡率 (Y) と温度 (X) の関係では2次の曲線回帰を、日当たり雌当たり産卵数 (Y) と温度 (X) との関係はLogan-Typeの曲線回帰 (Logan et al., 1976) を、雌成虫の平均寿命 (Y) と温度 (X) は直線回帰を当てはめて、Table 8に示した各回帰式を得た。

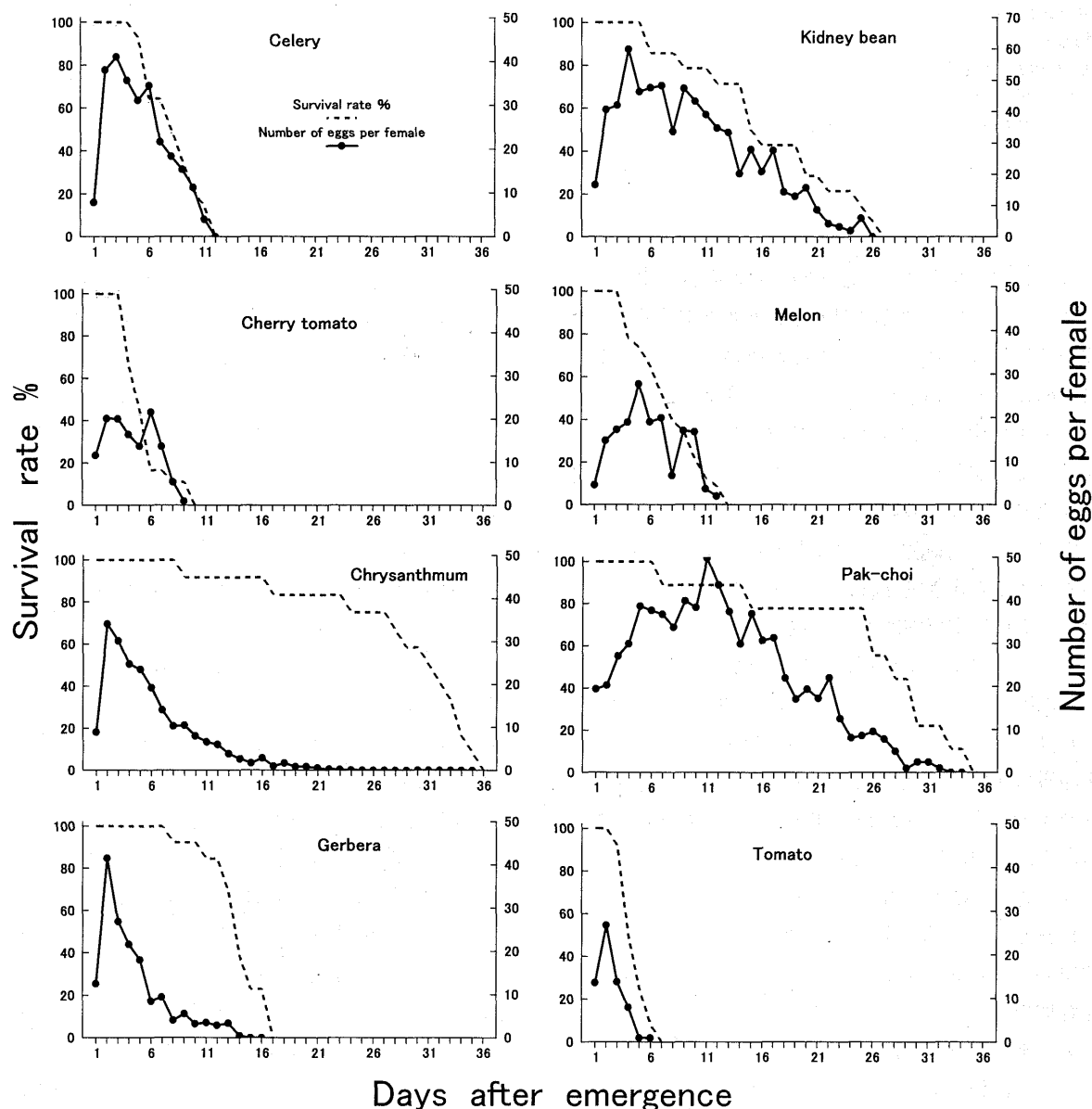


Fig. 3 Survival rate of females of *L. trifolii* and daily egg production on different host plants.

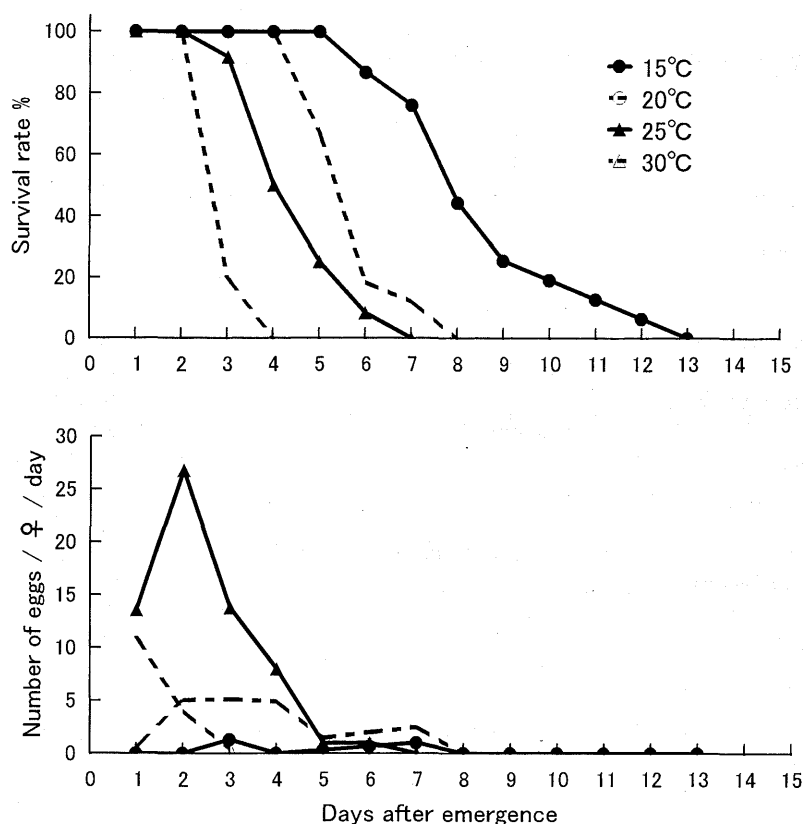


Fig. 4 Survival rate and daily egg production of *L. trifolii* females on tomato at different temperatures.

Table 4. Female longevity and fecundity of *L. trifolii* on different host plants at 25°C with photoperiod of 16L-8D

Host plant	Cultivar	N	Longevity (mean±SD days)	Fecundity (mean±SD)
Tomato (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.)	Sunroad	15	3.8±1.1 a*	54.7±29.4 a*
Cherry tomato (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.)	Carol7	12	5.4±3.8 a	75.6±55.4 a
Melon (<i>Cucumis melo</i> L.)	PF70	23	6.9±3.0 ab	108.0±73.3 a
Gerbera (<i>Gerbera spp.</i>)	Labline1	13	12.9±2.6 b	156.4±53.1 a
Celery (<i>Apium graveolens</i> L.)	Cornell619	14	7.4±2.4 ab	205.6±107.9 a
Chrysanthemum (<i>Chrysanthemum morifolium</i> Ramat)	Syuuho-no-chikara	12	27.5±8.2 c	208.8±94.7 a
Kidney bean (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	Keystone-sujinasi-edogawa	14	15.7±7.0 b	540.3±278.1 b
Pak-choi (<i>Brassica campestris</i> L.(chinensis group))	F ₁ Shanghai-pak-choi	9	24.6±9.0 c	637.7±230.6 b

* Values with the same letters are not significantly different at $p=0.05$ by Scheff's multiple range test.

Table 5. Survival rate of larvae and pupae of *L. trifolii* fed on various crops with photoperiod of 16L-8D

Host plant	Cultivar	Hatchability (%)	Pupation rate (%)	Emergence rate (%)
Kidney bean (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	Keystone-sujinasi	—	97.8 a* (N=448)	93.6 a* (N=438)
Pak-choi (<i>Brassica campestris</i> L. (chinensis group))	-edogawa F1 Shanghai-pak-choi	—	95.8 a (N=215)	95.2 a (N=206)
Tomato (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.)	Sunroad	95.1 (N=143)	97.1 a (N=650)	95.2 a (N=500)
Cherry tomato (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.)	Carol7	—	96.2 a (N=342)	96.5 a (N=227)
Celery (<i>Apium graveolens</i> L.)	Cornell619	—	95.0 ab (N=318)	82.8 b (N=302)
Gerbera (<i>Gerbera spp.</i>)	Labline1	—	82.0 bc (N=228)	92.1 ab (N=152)
Chrysanthemum (<i>Chrysanthemum morifolium</i> Ramat)	Syuuho-no-chikara	—	73.0 bc (N=370)	95.4 a (N=270)
Melon (<i>Cucumis melo</i> L.)	PF70	—	56.2 c (N=475)	89.5 ab (N=267)

* Values with the same letters are not significantly different at $p=0.05$ by Scheff's multiple range test using angular transformation value.

Table 6. Survival rate of eggs, larvae and pupae of *L. trifolii* on tomato at different temperatures with photoperiod of 16L-8D

Temperature (°C)	Hatchability (%)	Pupation rate (%)	Mortality of larvae per day (%)	Pupation rate (%)	Emergence rate (%) per day (%)
15	93.8(N=145) n.s.	76.4(N=110) ab *	2.0	72.5(N=84) b *	1.1
20	99.2(N=123)	86.5(N=392) ab	1.9	90.8(N=339) a	0.7
25	95.1(N=143)	97.1(N=650) a	0.6	95.2(N=500) a	0.5
30	96.7(N=122)	68.5(N=295) b	9.5	82.6(N=202) ab	2.7

* Values with the same letters are not significantly different at $p=0.05$ by Scheff's multiple range test using angular transformation value.

Table 7. Fecundity and Longevity of female of *L. trifolii* on tomato at different temperatures with photoperiod of 16L-8D.

Temperature (°C)	Fecundity/female	Fecundity/female/day	Longevity of female(days)
15	3.3±2.6 ^a (N=15) a ^b	0.4	7.9±1.9 ^a (N=15) a ^b
20	17.6±14.1 (N=12) a	3.5	5.1±1.0 (N=12) b
25	54.7±29.4 (N=12) b	14.4	3.7±1.1 (N=12) bc
30	15.1±10.3 (N=10) a	6.9	2.2±0.4 (N=10) c

^a mean ± S.D.

^b Values with the same letters are not significantly different at $p=0.05$ by Scheff's multiple range test.

Table 8. Relationships between temperatures (°C) and some parameters of *L. trifolii* on tomato

Parameter (Y)	Regression ($15 \leq \text{Temperature (X)} \leq 30$)	Coefficient of correlation (r)
Mortality of larvae / day	$Y = 0.000842X^2 - 0.0337X + 0.343$	0.902
Mortality of pupae / day	$Y = 0.000258X^2 - 0.0107X + 0.114$	0.958
Fecundity / female / day	$Y = 0.00327\exp(0.385X) - 0.000458\exp(0.450X)$	0.999
Longevity of female	$Y = -0.366X + 12.976$	0.985

(2) 個体群の増殖能力

寄主作物別の個体群増殖を示す各パラメータをTable 9に示した。一世代平均期間はトマトが最も短く20.08日でキクが24.78日と最も長かった。1世代当たり純繁殖率はインゲンマメとチンゲンサイが際だって高く、それぞれ227.81, 271.99であった。一方、トマトとメロンはそれぞれ25.21, 29.13と低かった。1日1雌当たり内的自然増加率 (r) は、最も高い寄主作物はインゲンマメで0.2384を示し、最も低い作物はメロンで0.1429であった。さらに、1日当たり増殖倍率 (λ) は、インゲンマメで1.269, メロンで1.154であった。

さらに、これまでに得られたデータから計算された温度別の個体群増殖の各パラメータをTable10に示した。一世代平均期間は温度が高くなるにつれて短くなり、15, 20, 25, 30°Cではそれぞれ55.85, 29.13, 20.08, 14.27日であった。純繁殖率は、25°C, 20°C, 30°C, 15°Cの順に高く、特に25°Cにおける純繁殖率は25.21を示し、これは20°Cの6.14の約4倍であった。内的自然増加率 (r) は、25°Cで0.1607と最大値を示した。1日当たり増殖倍率 (λ) も同様に25°Cで1.174倍と最大値を示した (Table 10)。

Table 9. Population growth of *L. trifolii* fed on various crops at constant temperature (25°C) with photoperiod of 16L-8D

Host plant	Cultivar	Mean generation time (T) (days)	Net reproductive rate (R_0)	Intrinsic rate of natural increase / day (r)	Reproductive rate / day (λ)
Kidney bean (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	Keystone-sujinasi edogawa	22.77	0.2384	0.2384	1.269
Pak-choi (<i>Brassica campestris</i> L. (chinensis group))	F1 Shanghai -pak-choi	24.71	0.2268	0.2268	1.255
Tomato (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.)	Sunroad	20.08	0.1607	0.1607	1.174
Cherry tomato (<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.)	Carol7	20.85	0.1684	0.1684	1.183
Celery (<i>Apium graveolens</i> L.)	Cornell619	22.07	0.2008	0.2008	1.222
Gerbera (<i>Gerbera</i> spp.)	Lablinel	21.64	0.1866	0.1866	1.205
Chrysanthemum (<i>Chrysanthemum morifolium</i> Ramat)	Syuuho-no-chikara	24.78	0.1709	0.1709	1.186
Melon (<i>Cucumis melo</i> L.)	PF70	23.60	0.1429	0.1429	1.154

Table 10. Population growth of *L. trifolii* fed on tomato at different temperatures with photoperiod of 16L-8D

Temperature (°C)	Mean generation time (T) (days)	Net reproductive rate (R_0)	Intrinsic rate of natural increase / day (r)	Reproductive rate / day (λ)
15	55.85	0.79	-0.0042	0.996
20	29.13	6.73	0.0655	1.068
25	20.08	25.21	0.1607	1.174
30	14.27	4.13	0.0995	1.105

(3) モデルシミュレーションによる動態の推測と検証

ほ場における動態の推定に先立ち、本研究で得られたトマトを寄主とした場合の25℃条件における日齢別の生存率と産卵数のデータをレスリー行列モデルの各要素に当てはめて、トマトにおける個体群成長のパターンを検討した。第1日目に羽化後1, 2および3日齢の雌成虫1頭/株(各日齢0.33頭/株)がトマトハウスに侵入したと仮定した場合の個体数成長の様子をFig. 5に示した。各ステージとも世代の山と谷がはっきりし、ステージ間で世代の重なりがほとんどない断続的な変動パターンを示しながら指数的に増加した。幼虫密度は1ヶ月半後に約10000頭/株に達し、潜孔数は世代ごとに段階的に増加しながら、54日後に約10000個/株に達した。

次に、実際のほ場における個体数成長とシミュレーションによる推定値との比較を行った(Fig.6)。ここでは、施設内の気温の推移から、計算20日目まではト

マト施設内の日平均気温を、21日目以降は25℃一定としてMiyai and Hokyo (1992)のモデルに当てはめて計算した。株当たり幼虫密度は計算結果と実測値がよく適合し、密度の変動パターンには有意に相関が認められ(スピアマン順位相関係数, $r_s=0.81$, $p<0.05$), 両者の間に有意差は認められなかった(ウィルコクソン符号付順位和検定, $p>0.05$)。蛹数では、計算値が株当たりの総蛹数であるのに対して実測値は株元においたトレイへの落下蛹数であるため、計算値は実測値より常に高めに計算されたが、密度には有意差は認められず(ウィルコクソン符号付順位和検定, $p>0.05$), 変動パターンに有意な相関が認められた(スピアマン順位相関係数, $r_s=0.97$, $p<0.05$)。株当たり潜孔数は計算結果と実測値がよく適合し、密度の変動パターンには有意に相関が認められ(スピアマン順位相関係数, $r_s=1.00$, $p<0.05$), 両者の間に有意差は認められなかった(ウィルコクソン符号付順位和検定, $p>0.05$)。

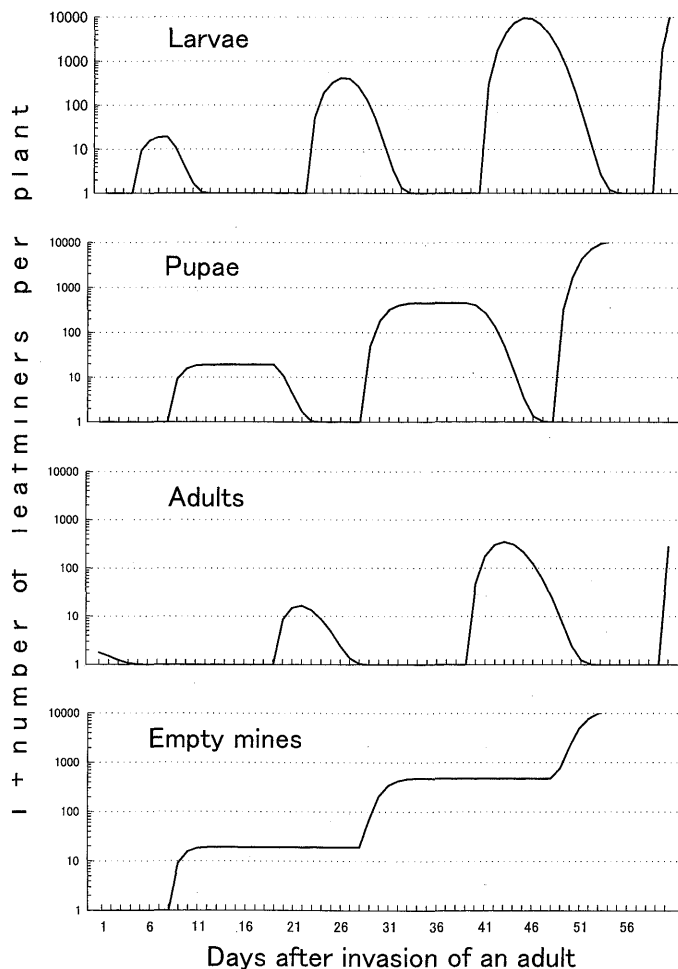


Fig. 5 Density of *L. trifolii* on tomato at 25°C predicted from the simulation model.

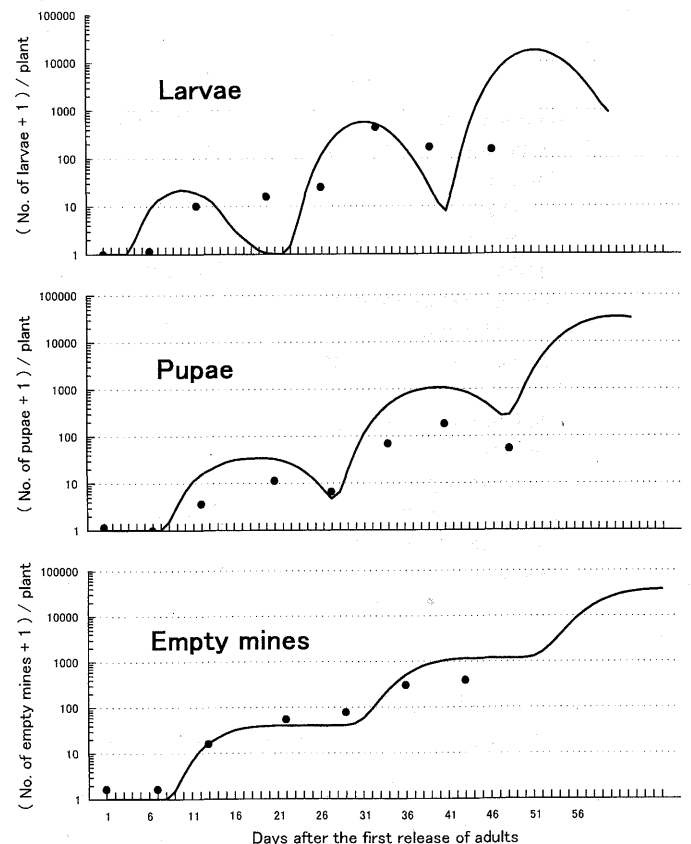


Fig. 6 Density of *L. trifolii* larvae, pupae and empty mines per plant predicted from the simulation model (solid lines) and those observed on tomatoes in the greenhouse (dots).

2. 4 考察

マメハモグリバエの発育速度に及ぼす温度の影響については、30℃以上で飼育した場合、高温による発育抑制がみられ、35℃以上では羽化できなかったことから、本種の発育最適温度は25~30℃の範囲にあると思われる。また、本研究で明らかになった発育零点（卵：8.0℃、幼虫：8.9℃、蛹：10.1℃）は、これまで海外で報告された発育零点（卵：6.9~13.8℃、幼虫：6.1~13.8℃、蛹：8.6~13.6℃）の範囲（Leibee, 1984; Miller and Isger, 1985; Schuster and Patel, 1985; Minkenberg, 1988; Van Elferen and Yathom, 1989）に入っており、我が国で発生している個体群の発育速度は海外の個体群と大差ないと思われる。一方、発育期間は寄主植物の影響を強く受け、寄主植物によっては卵~幼虫期間が1.5倍程度の差がみられた。これは、卵期間は寄主植物によって大きな違いはないこと（Leibee, 1984; Minkenberg, 1988; Van Elferen and Yathom, 1989）から、主に幼虫期間の差が反映していると思われる。幼虫は寄主植物の組織を摂食するので、寄主植物の持つ栄養成分の違いが幼虫期間に影響したと考えられる。なお、本研究では、蛹期間に及ぼす寄主植物の影響は明らかにできなかったが、卵期間同様に寄主植物による違いはないとされている（Zoebisch and Schuster, 1987）

寄主植物別の産卵数については、トマトでの産卵数は40~79個（Parrella et al., 1983; Zoebisch and Schuster, 1987; Minkenberg, 1988; Zoebisch et al., 1992）、キクでは279~298個（Parrella et al., 1983; Parrella, 1984）、セルリーでは212~406個（Parrella et al., 1983; Leibee, 1984）とされており、寄主植物によって産卵数が異なることが報告されている。本研究で得た産卵数も海外の報告と大差なく、寄主植物によって産卵数が異なることがあらためて裏付けられた。特に、海外では報告のないチンゲンサイで637.7個と極めて多いことが明らかになり、寄主植物によっては産卵数に10倍以上の差があることが示唆された。産卵数が寄主植物の影響を受ける理由としては、雌成虫は産卵管を葉の表皮に刺し、滲み出る液を摂食することから、雌成虫の生存や産卵にとっての栄養成分が寄主植物によって異なるためと葉の表面構造の違いが産卵や摂食行動に影響していることが考えられる。なお、このことは、雌成虫の平均寿命が寄主植物によって大きく異なることの要因にもなっていると思われる。

本種の卵は葉肉に産み込まれるため、実体顕微鏡を

用いても卵を探すことは容易でなく、ふ化率に言及した報告は少ない（Minkenberg, 1988; Zoebisch et al., 1984; Zoebisch and Schuster, 1987）。我が国で発生しているマメハモグリバエ個体群のふ化率は不明であったが、本研究により、25℃でのふ化率は95%以上と高く、卵の死亡要因として15~30℃の範囲では温度の影響はほとんどないことが明らかになった。今回得られたトマトでのふ化率は、Minkenberg (1988) の報告による77~88%に比べるとやや高かったが、Zoebisch et al. (1984) の報告による95.7%あるいはZoebisch and Schuster (1987) の報告による93.5%とほぼ同じ値であった。本種のふ化率は、寄主植物（Zoebisch et al., 1984; Zoebisch and Schuster, 1987）や温度（Minkenberg, 1988）の影響はほとんど受けないとされているので、本研究で得られたふ化率は我が国の主要な寄主植物において普遍的と思われる。

潜葉虫では、葉の栄養価値や植物化学的な防御反応に起因する頑強さと化学組成が幼虫期死亡の重要な要因となること（Faeth, 1986; Potter and Kimmerer, 1986; Auerbach and Alberts, 1992; Marino et al., 1993）から、マメハモグリバエについても幼虫期における死亡要因として寄主植物の種類や品種（James et al., 1987; 末永ら, 1995）が大きく関与すると考えられる。本研究で供試した寄主作物の種類によって蛹化率に約40%もの差がみられた。供試作物の中ではインゲンマメ、チンゲンサイ、トマト、ミニトマトおよびセルリーで蛹化率が95%以上と高く、これらの作物は幼虫にとって好適な寄主であり、一方、ガーベラ、キクではやや低く前者に比べるとやや好適ではなく、メロンはさらに低かったことからそれほど好適な寄主植物とはいえない。メロンでの蛹化率が低い理由については、葉内に幼虫期の死亡率を高める何らかの阻害物質あるいは生存に必須な養分の欠如などが関与している可能性があるが現時点では不明である。ただし、Minkenberg and Ottenheim (1990) も指摘するように、同一種の寄主植物でも葉のステージや窒素含有量が幼虫期の死亡率に影響するため、今回得られた結果は、必ずしも種または品種特有の普遍的な数値ではないと思われる。事実、最も蛹化率の低かったメロンでは、今回供試した植物よりさらに若いステージの苗を与えた場合には蛹化率はさらに低かった（小澤ら, 未発表）。従って、本研究で得た寄主植物別の蛹化率は、あくまでもある程度生育した植物体の成熟葉の場合であり、極端に若かったり老化した植物の場合には異なる可能性がある。

本種の羽化率は寄主植物の影響を受けない (Zoebisch et al., 1984; Zoebisch and Schuster, 1987) とされているが、本研究でも寄主作物間の差は小さかった。これは蛹は寄生葉の外部にいたので寄主植物の影響を受けにくいと思われ、羽化率はむしろ湿度 (Keularts and Lindquist, 1989) の影響の方が大きいと思われる。今回の実験では湿度は厳密に調整しなかったが、湿度変化が羽化率に影響した可能性もあった。

種々の寄主作物における増殖能力の比較では、一世代平均期間は寄主作物間の差は4日以内と小さかったが、純繁殖率では寄主植物によって10倍以上の差があった。さらに、内的自然増加率 (r) は、最高値のインゲンマメと最低値のメロンとでは約1.5倍もの差がみられた。このことから、マメハモグリバエは寄主作物によって増殖能力が大きく異なることが判明した。得られた内的自然増加率から大まかに各寄主作物を分けると、増殖率の高い順にインゲンマメおよびチンゲンサイ、セルリーおよびガーベラ、キクおよびミニトマト、トマト、メロンの5つのグループに分けられる。なお、メロンでは1雌あたりの産卵数は108.0個とトマトの54.7個に比べて明らかに多いものの、前述のように蛹化率が低いために個体群の増殖率は供試作物中で最も低い結果となった。従って、メロンは本種の増殖にとって好適でない作物であることが示唆されたが、これは静岡県産地では、マメハモグリバエよりもむしろ同属のナスハモグリバエ *Liriomyza bryoniae* (西東, 1988ab) で被害が問題となっていることを裏付けていると思われる。また、現地ではミニトマトは大玉トマトよりマメハモグリバエが発生しやすい傾向にあるが、内的自然増加率は前者の方が高い数値を示したことから、増殖率の違いも要因の一つといえよう。

ところで、天敵寄生蜂による生物的防除が実用化されたトマトは、マメハモグリバエの増殖率が低い寄主作物の一つであることが判明した。一般に、害虫の増殖能力の低い寄主作物の方が生物的防除は容易であること (Waage and Hassell, 1982) から、トマトは生物的防除に適した作物といえよう。一方、増殖率の高い寄主作物であるチンゲンサイやインゲンマメでは、実用化された寄生蜂の一種であるハモグリコマユバチ *Dacnusa sibirica* の増殖率 (25℃で $r = 0.163$: Minkenberg, 1990) よりも寄主であるマメハモグリバエの増殖率の方が高い。このため、本天敵のみの放飼によりマメハモグリバエ個体群の増殖を抑制しようとすると、トマトなど増殖率の低い作物に比べて蜂の放

飼数を増やす必要があり、防除コストの面から実用的でないと考えられる。この場合、寄主よりもさらに増殖率の高いイサエヒメコバチ *Diglyphus isaea* (25℃で $r = 0.273$: Minkenberg, 1989) など別の天敵を導入するか、薬剤防除を追加する必要がある。いずれにしてもチンゲンサイやインゲンマメでは、増殖率の低いトマトなどに比べると生物的防除は困難となる可能性が高く、これらの作物では生物的防除のみに頼ることは難しいと考えられる。

増殖能力に及ぼす温度の影響では、蛹化率と羽化率は15℃の低温条件や30℃の高温条件で低い傾向がみられたことから、本種の幼虫や蛹にとっては20~25℃の温度帯が生存に好適と考えられた。また、日当たり幼虫死亡率と日当たり蛹死亡率を求め、これらのパラメータと温度との関係を検討したところ、得られた回帰曲線から20~25℃付近に最も日当たり死亡率の低い温度帯があることが示唆された。また、回帰式から日当たり幼虫死亡率が最小値を示す温度は20.2℃、同様に日当たり蛹死亡率の最小値は21.0℃となった。従って、21℃前後の温度が本種の幼虫および蛹の生存には最も好適な温度と考えられる。一方、1雌あたりの産卵数は25℃が最も多く、15℃における産卵数は極めて少なかった。ここで、温度と日当たり産卵数との関係から得られた回帰式より、日当たり産卵数が最大となる温度は27.9℃となった。従って、本種にとって産卵に最も好適な温度は28℃前後と考えられる。また、雌成虫の平均寿命は温度と反比例する傾向が明確で、30℃の高温条件ではわずか2日と短命であった。観察によると、盛夏期の施設トマトにおいては、マメハモグリバエの発生ピークは明確でかつ短く、また世代の重なりはほとんどない。これは、前述のように高温条件では雌成虫の寿命が短くなったためであろう。

次に、個体群の増殖能力に及ぼす温度の影響では、内的自然増加率 (r) は25℃での値が0.1607と最も高く、ついで30℃、20℃、15℃の順に小さくなり、15℃では負の数値となった。このことから、本種の増殖能力は25℃前後の温度条件の時に最も高くなり、30℃の高温期にはむしろ低下することが判明した。野外における発生活長調査でも7~8月の盛夏期にはむしろ密度は低下し、冬期の密度は極めて低く推移した (第3章・Fig. 8)。こうした野外での発生活長パターンは、本研究で実験的に明らかにした増殖能力に及ぼす温度の影響からも裏付けられる。なお、Minkenberg (1988) は、25℃におけるトマトを寄主とした場合の本種の内的自然増加率を $r = 0.1254$ と報告しており、

本研究で得られた値はこれより明らかに高い。この理由としては、1雌あたりの産卵数は54.7個 (Table 4) と59個 (Minkenberg, 1988) とほぼ同じであるのに対して、Minkenberg (1988) の実験では卵から成虫までの生存率がわずか40%であり、一方、本研究では約88%と高かったためと思われる。なお、生存率の違う理由については、供試したトマト品種やマメハモグリバエ個体群の遺伝的特性の違いが考えられる。

ここで、本研究で得られた増殖に関する各パラメータはいずれも実験室内で得られたものであるのもので、ほ場においてもマメハモグリバエ個体群が実験室内と同様の増殖能力を実現するかどうかについては、あらためて検証しておく必要がある。そこで、本研究では、比較的簡便なシミュレーションモデルを用いて動態の推測を行い、ほ場における実測値と比較した。その結果、計算値は実測値とほぼ一致し、実験で得られたパラメータのほ場への適合性が検証された。今後は、こうした動態推定のためのシミュレーションモデルを利用して、最適防除戦略の検討なども可能となろう。

以上のように、本種の増殖能力は寄主作物や温度条件によって異なるものの、温度や寄主が好適である場合、本種の内的自然増加率は、同様に施設栽培で問題となっている微小害虫のオンシツコナジラミ ($r = 0.09$, トマト: 矢野, 1989) やミナミキイロアザミウマ ($r = 0.134$, キュウリ: 河合, 1985, 1986), ミカンキイロアザミウマ ($r = 0.141$, キクの小花: 片山, 1997) に比べても高かった。従って、本種は、施設内の主要微小害虫の中ではアブラムシ類やハダニ類に次ぐ増殖率の高い害虫の一つといえる。

第3章 成虫の野外における移動分散

3. 1 緒言

マメハモグリバエは、1990年に初めて発生が確認された（西東，1992；Sasakawa, 1993）後、西南暖地だけでなく東北地方などの北日本地域にも分布域を拡大し、全国的な害虫となっている。本種の分布拡大は、寄主作物であるガーベラなどの花卉苗が全国的に流通した人為的な要因に依るところが大きいと考えられている（西東，1993）。しかし、静岡県では浜松市三方原台地での初確認からわずか数カ月で初発生地周辺の広い地域に分布が拡大し、その1年後には県内全域に拡大したことから（小林ら，1992），成虫の移動分散によっても分布域が拡大したと考えられる。このことは、本種の成虫は数時間で100m以上移動することからも推察される（Van de Vrie and Dirkse, 1982）。

ところで、本種の静岡県における発消長については、小林ら（1992）や古木ら（1993）が、主に施設栽培作物に関する報告はあるものの、野外における周年の発消長については不明である。また、施設内での発生は野外からの侵入個体が発生源になっていると考えられるので、本種の野外での活動期間を知ることは防除対策上重要である。そこで、野外における初発時期と終息時期および季節消長パターンを把握するために、2年間にわたって静岡県内の代表的なマメハモグリバエ発源地域において本種の発消長を調べた。

また、マメハモグリバエ成虫の空間的な移動分散の実態に関する知見は少なく、我が国における野外の移動分散の実態はこれまで不明である。発源地におけるハウス内への成虫の侵入防止策を考える場合、こうした移動分散の実態を明らかにしておく必要があり、さらに、このことを明らかにすることは、Jones and Parrella（1986）も指摘するように、薬剤抵抗性個体群の分布拡大の予測や、モニタリングトラップの適正な設置場所の決定などに必要な情報となる。そこで、発源地において本種が多発している施設の周辺に、複数の黄色粘着トラップを設置し、マメハモグリバエ成虫の移動分散の実態を調査した。

3. 2 材料および方法

（1）成虫の発消長

1993年5月～1994年12月にかけて静岡県浜松市湖東

町のキク栽培地帯において黄色粘着トラップを用いて発消長の調査を行った。すなわち、20×20cmの白色板に黄色粘着シート（日東電工製、ITシート®）を両面テープで貼り付けたトラップを周辺作物の高さに設置し、これらに誘殺されたマメハモグリバエの成虫数を1～2週間おきに調べた。誘殺トラップは、露地は場に9か所、施設（キク）内に1か所設置した。トラップ設置場所の周辺環境の概要はTable 11のとおりである。また、トラップ周辺の露地作物にハモグリバエ類の被害が散見され始めた5月上旬から6月下旬には、ハモグリバエの幼虫寄生葉を適宜採集し、これらをプラスチック容器に入れ、室温で放置して羽化させて種を調べた。

（2）成虫の野外における移動分散の実態

1. 調査場所

調査は、1995年6月28日から7月26日にかけて、マメハモグリバエの常発地域である静岡県小笠郡大東町の現地は場で行った（見取り図はFig. 7）。この時期、Fig. 7の中心に示したビニールハウス内（面積約10a）のナスではマメハモグリバエが多発しており、ハウスの東西の側窓及び南北の出入り口は終始開放していた。また、隣接する栽培作物として、マメハモグリバエの寄主作物ではメロン（施設）がナスは場の南と東にあり、その他は非寄主作物であるサツマイモとサトイモ（西東，1992）及びシイタケ（施設）が作付けされていた。なお、メロンのハウスの側窓と出入り口には侵入防止用の1mm目合いの寒冷紗が張られ、さらに薬剤防除の徹底によりメロンでのマメハモグリバエの発生量は少なかった。また、ビニールハウス内のナスは、7月10日前後に収穫を終了して撤去された。

2. 黄色粘着トラップによる成虫誘殺数の調査

調査には、20×20cmの塩ビの白色版（厚さ5mm）の片面に、前述の黄色シート（巾10cm）を両面粘着テープを用いて張り付けた黄色粘着トラップを使用した。

垂直方向の調査では、ナスのハウス南側約5mの位置に高さ約6mの鉄柱を立て、これにトラップの中心が地上0.5mから5.5mの高さになるように0.5m間隔で計11枚の黄色トラップを粘着面をナスのハウスに向けてクリップで取り付けた。

水平方向の調査では、ハウスから東方向に3m離れた地点から5m間隔で最大48m離れた地点まで高さ1.2mの支柱を計10本立て、これにトラップの中心が高さ

3. 3 結果

(1) 成虫の発消長

Fig. 8には各トラップにおける誘殺消長を示した。6月下旬から7月上旬をピークとした一山型のパターンを示した場合が多いものの、場所により消長パターンは若干異なり、10～11月に別の小ピークがみられる2山型のパターンも認められた。Nos. 1～5は同一ほ場の周辺に設置したトラップであるが、これらのトラップにおける誘殺パターンは類似していた。また、このほ場に隣接したハウス内に設置したNo.6では、1994年に関してはピーク時期等の誘殺消長パターンがNos.1～5のトラップと類似していた。No.9は、トラップの周辺にはマメハモグリバエの好適な寄主作物は全くないにもかかわらず多数の成虫が誘殺された。

越冬後の初誘殺の時期は、場所によって異なり、最も早く誘殺が認められたのは2月23日 (No.4) で、最も遅かったのは5月26日であった。また、両年とも12月中旬には誘殺は認められなくなった。

次に、野外から採集したハモグリバエ幼虫の種構成をTable 12に示した。5月6日に初めてキクの親株にハモグリバエ類の幼虫の寄生が散見されたので、これらを採集し羽化させた結果、わずかながらマメハモグリバエが確認された。その後、6月以降になると、マメハモグリバエが優占種となった。

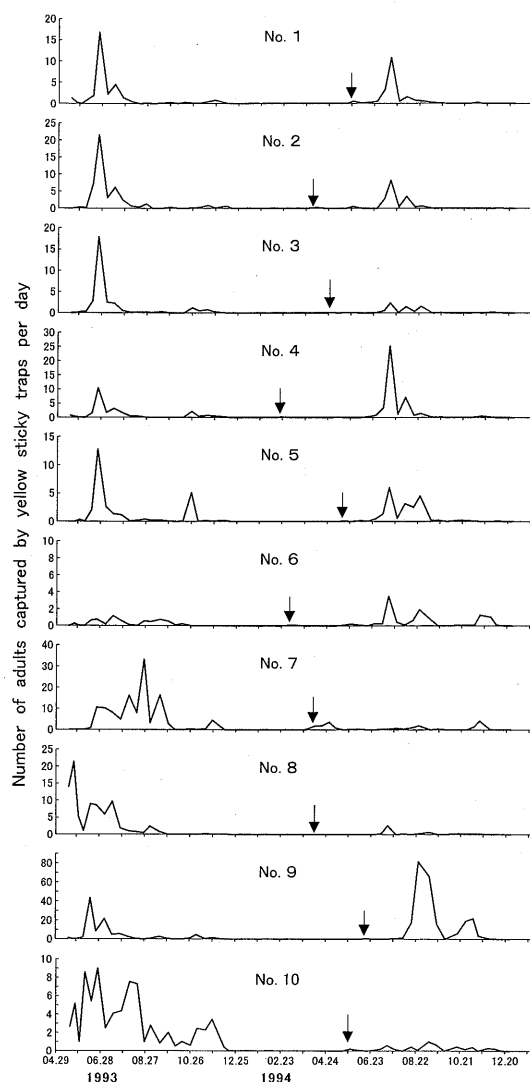


Fig. 8 Seasonal occurrence of *L. trifolii* adults captured by yellow sticky traps in chrysanthemum fields. Arrows indicate the first capture in 1994.

Table 12. Leafminers and parasitoids emerged from the larvae collected in fields at the beginning of their occurrence.

Collection date	Crop	No. of emerged individuals		
		<i>Liriomyza trifolii</i>	Other leafminer species ^a	Parasitoids
6 May 1994	Chrysanthemum	1	12	2
〃	Garden pea	0	5	94
17 May	Chrysanthemum	1	2	0
6 June	Egg plant	4	0	0
〃	Tomato	1	0	0
27 June	Water melon	8	0	5

^a *Chromatomyia horticola* (Goureau) was the most dominant species.

(2) 成虫の野外における移動分散の実態

1. 各黄色粘着トラップによる成虫誘殺数

Fig. 9には、垂直方向に設置した各黄色トラップにより誘殺された成虫数の全トラップ（11枚）による総誘殺数に対する比率（%）を示した。誘殺数は7月12日がピークとなったが、いずれの時期も高さ0.5mの一番低い位置のトラップによる誘殺数が最も多く、トラップの位置が高くなるにしたがい少なくなった。高さ1m以下のトラップに誘殺された成虫数の総誘殺数に対する割合は54.6~76.0%であり、大部分の成虫は地表面に近い空間を飛翔していることが判明した。最も高い位置の高さ5.5mのトラップには、誘殺数の多かった7月5日と12日においてのみそれぞれ2及び7頭が誘殺されたに過ぎなかった。

次に、東方向に水平に設置したトラップによる誘殺数と、全トラップ（10枚）による総誘殺数に対する各トラップの誘殺数の比率（%）を、調査日ごとにまとめた（Fig. 10）。時期別の誘殺数は7月12日に最大となり、収穫を終了したナスが撤去された後の7月19日以降は誘殺数は減少した。いずれの時期もばらつきは

みられるものの、発生源のナスのハウスに近いほど誘殺数は多く、東方向13m以内のトラップに総誘殺数の63.1~76.7%（7月19日以降のデータは除く）が誘殺された（Fig. 10）。しかし、7月19日以降の東方向のトラップには、隣接するサツマイモ畑から飛ばされてきたと思われる砂が大量に付着していたためか、この傾向ははっきりしなかった。なお、ハウスから東方向に最も離れた48mのトラップには、いずれの調査日も誘殺は認められたがその数は少なかった。

同様に、西方向に設置したトラップについての結果をFig. 11に示した。やはり発生源のナスのハウスに近いほど誘殺数は多く、西方向10m以内の誘殺数は総誘殺数の80.0~86.3%（7月26日のデータは除く）であった。西方向25mのトラップでは7月12日においてのみ誘殺が認められ、その他の調査日には誘殺されなかった。また、誘殺数を東西で比較した場合、全般に東方向のトラップの方が西方向より多い傾向がみられ

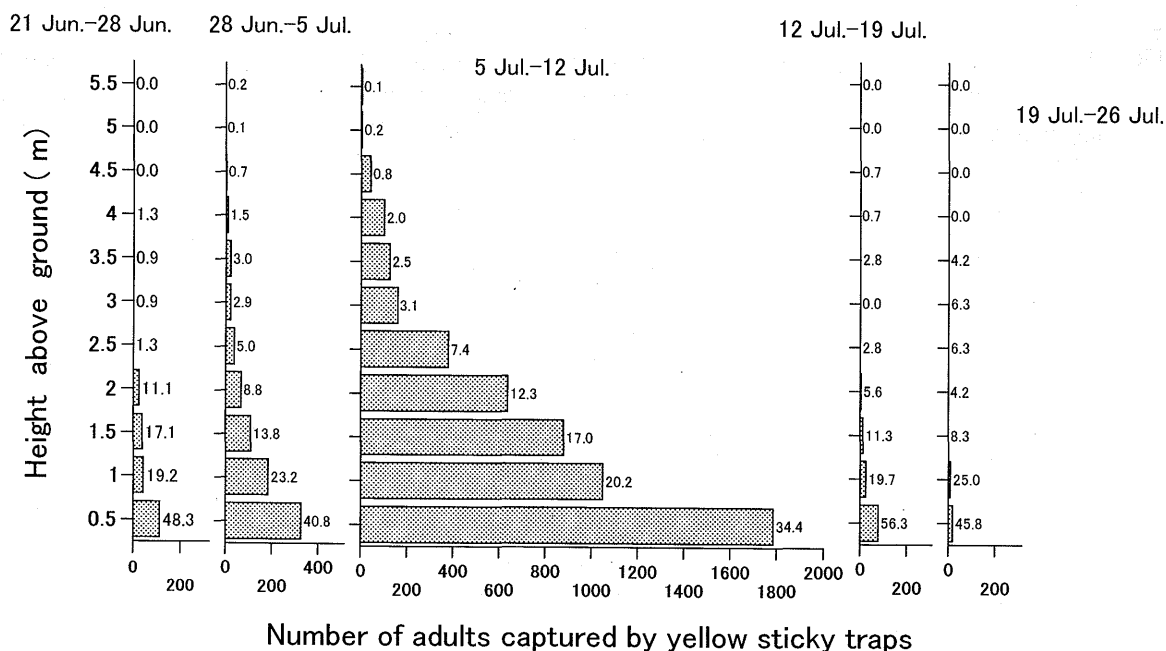


Fig. 9 Number of adults of *L. trifolii* captured by yellow sticky traps placed vertically in row near severely infested greenhouse. The values at the right of each bar indicate the percentage of the number of adults captured by each trap to the total adults captured by all traps.

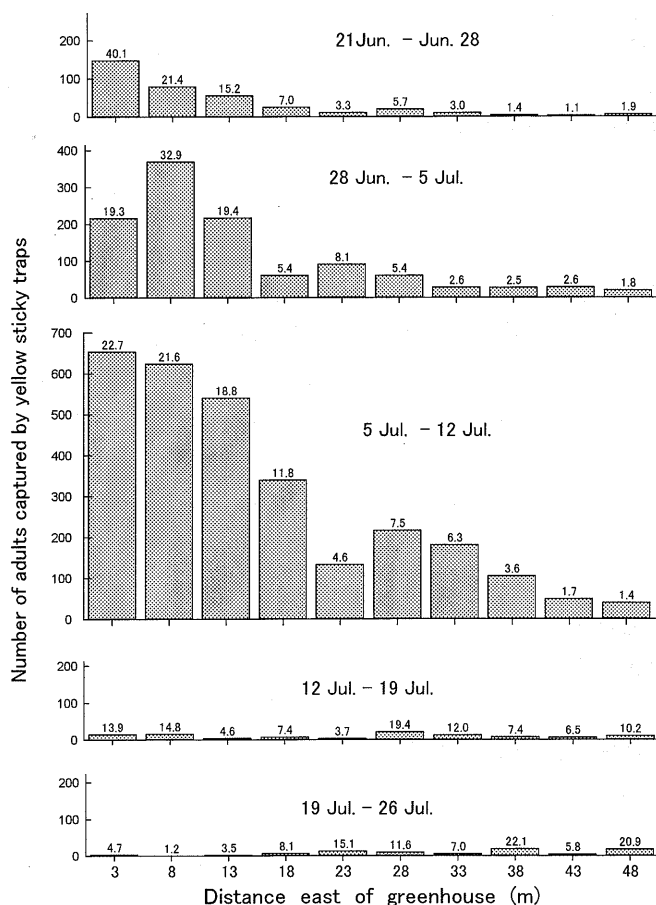


Fig. 10 Number of adults of *L. trifolii* captured by yellow sticky traps placed horizontally in row east of severely infested greenhouse. The values at the right of each bar indicate the percentage of the number of adults captured by each trap to the total adults captured by all traps.

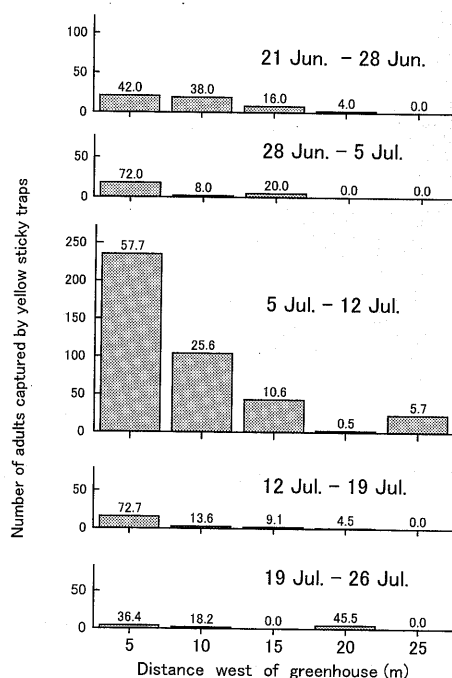


Fig. 11 Number of adults of *L. trifolii* captured by yellow sticky traps placed horizontally in row west of severely infested greenhouse. The values at the right of each bar indicate the percentage of the number of adults captured by each trap to the total adults captured by all traps.

2. 誘殺された成虫の性比

誘殺成虫の性比（雌比）は調査日によって変動し、垂直方向に設置したトラップでは9.4%（7月12日）～31.7%（6月28日）、東方向では13.8%（7月12日）～29.9%（6月28日）、西方向では9.1%（7月26日）～28.0%（6月28日）であり、垂直及び水平方向いずれにおいても誘殺数は有意に雄に偏っていた（ウィルコクソン符号付順位和検定。いずれも、 $p < 0.05$ ）。

次に、トラップの設置場所が誘殺された成虫の性比に及ぼす影響を、10枚以上のトラップを設置した垂直方向と東向き水平方向に設置したトラップ群のデータを用いて検討した。誘殺数の多かった6月28日、7月5日及び12日において、垂直方向に設置した黄色トラップの高さと誘殺された成虫の性比（雌比）との関係をFig. 12に示した。誘殺数が比較的多かった7月12日のデータでは、トラップの高さと性比との間には有意な正の相関関係が認められた（スピアマン順位相関係数 $r_s = 0.67$, $p < 0.05$ ）。一方、7月5日のデータでは高さと性比との間に有意な相関関係は認められなかった（スピアマン順位相関係数 $r_s = 0.68$, $p > 0.05$ 。なお、6月28日はデータ数が少ないため検定省略）。

ここで、Fig. 12から、誘殺数の少ない調査日ほど雌比が高くなる傾向が認められたので、7月12日のデータについては、トラップの高さと誘殺数（対数変換値）をそれぞれ独立変数、性比（角変換値）を従属変数と

して2要因重回帰分析を行った。その結果、トラップの高さと誘殺数の双方の独立変数間に負の相関関係（ $r = -0.97$ ）が認められたことから、各独立変数の偏相関係数を求めたところ、トラップの高さでは $r = -0.34$ （ $p > 0.05$ ）、誘殺数では $r = -0.55$ （ $p > 0.05$ ）となった。このことから、前述のトラップの高さと性比との間の相関は誘殺数を介した見かけ上の相関にすぎないことがわかった。

また、東方向に設置した黄色トラップのハウスまでの水平距離と誘殺された成虫の性比（雌比）との関係をFig. 13に示した。ハウスからトラップまでの水平距離と性比との間には、いずれの調査日のデータにおいても有意な相関関係は認められなかった（6月28日、7月5日及び12日の順に、スピアマン順位相関係数 $r_s = 0.21, 0.51, 0.53$, いずれも $p > 0.05$ ）。

以上のように、トラップの高度やハウスからの水平距離といった設置場所は、誘殺された成虫の性比に影響を及ぼさないと考えられたことから、次に、誘殺数と性比との関係を検討した。ここでは、垂直方向と東西の水平方向に設置したすべてのトラップの全データを混みにし、各トラップにおける誘殺数とその性比との関係をFig. 14に示した。雌比が0または1に偏ることが多かった誘殺数10未満のデータを省くと、誘殺数と性比との間には有意な負の相関関係が認められた（ $p < 0.05$ ）。

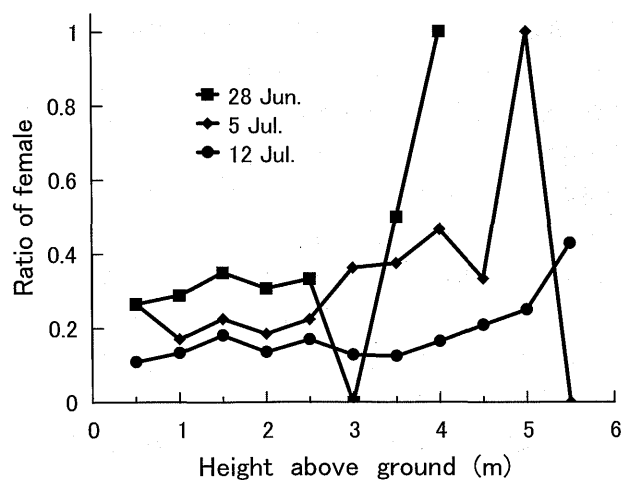


Fig. 12 Sex ratio of adults captured by yellow sticky traps placed vertically in row.

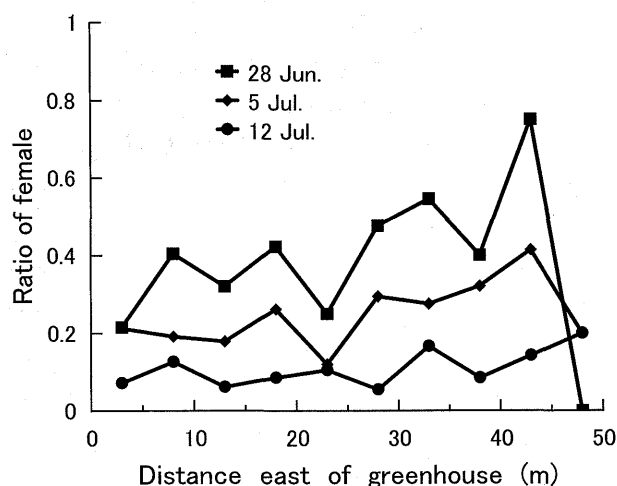


Fig. 13 Sex ratio of adults captured by yellow sticky traps placed horizontally in row.

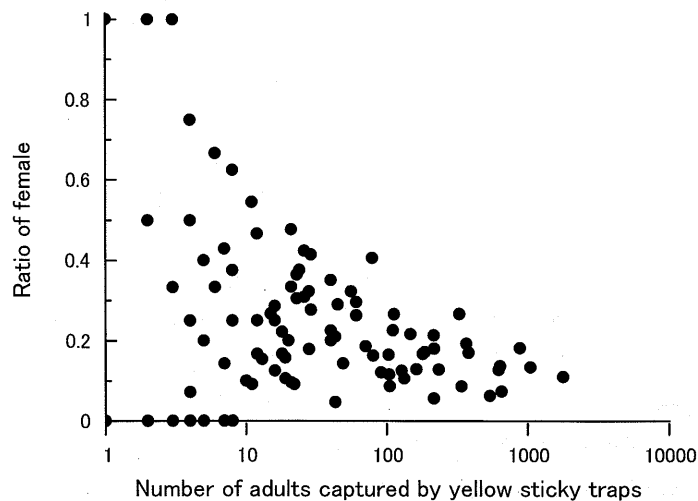


Fig. 14 Relationship between number of adults captured by yellow sticky traps and their sex ratio. A significant correlation was found by Spearman's rank correlation test ($r_s=0.31, p=0.01$) using data with more than 9 adults.

3. 3 考察

マメハモグリバエ成虫の移動分散の野外における季節変動については不明な点が多かったが、キク栽培地帯で約2年間にわたり調査した結果、本種の野外における成虫の活動は2月下旬頃から始まって6月以降活発になり、12月中旬には終息することが判明した。早春に誘殺された成虫が野外で越冬した個体であるか施設内で越冬した個体であるかについては不明であるが、本種は休眠性をもたないと考えられるので（西東ら, 1997a）、ミナミキイロアザミウマ（池田ら, 1984）と同様に施設内での越冬個体が野外へ移出した可能性もある。なお、発生活長パターンは同一地域内でもほ場によって異なり、必ずしも一定の発生活長パターンを示さなかった。この理由としてはトラップ周辺のほ場における防除の影響が大きいと考えられる。

野外から採集したハモグリバエ幼虫の種類を調べた結果、5月6日にキクからわずかながらマメハモグリバエが確認された。その後、6月以降になると、マメハモグリバエが優占種となった。これらのことから、野外作物での幼虫の寄生は4月中・下旬頃から始まることを示唆された。

浜松市の1994年3月の平均気温は8.4℃、4月は15.5℃であった。本種の卵期間の有効積算温度は52日度、発育零点は8.0℃である（Table 2）ことから、3

月上旬に露地作物上に飛来した成虫の次世代は4月以降に発育を開始し、幼虫が現れるのは4月中旬以降となると推測される。5月上旬にわずかではあるがマメハモグリバエ幼虫を確認しているため、トラップにおける初誘殺時期から推測された幼虫の初発時期と実際の作物上での初発時期はほぼ一致しているといえる。

ところで、今回の調査では、隣接するハウス内（No.6）と露地のトラップ（Nos.1-5）で誘殺パターンが似ており、露地とハウス間で成虫の移動があることが示唆された。また、周辺にはマメハモグリバエの好適な寄主作物は全くないトラップ（No.9）にも多数の成虫が誘殺され、これらはトラップから20mほど離れたガーベラのハウスからの移動個体であると考えられた。このように、成虫は野外ではかなり広範囲に移動分散していることが推察されるが、成虫の野外における空間的な移動分散実態についての知見はこれまで極めて少ない。

そこで、本研究では、マメハモグリバエ成虫の野外における空間的な移動分散実態について、多発ほ場の周辺に複数のトラップを配置して詳しく調査した。まず、垂直方向への成虫の分散では、地表面に近いほどトラップへの誘殺数が多く、マメハモグリバエ成虫は地表面に近い空間を飛翔していることが明らかであった。このことは、すでにハウス内における同様の調査でも確認されている（Chandler, 1985; Zoebisch and

Schuster, 1990; 小林ら, 1992; 多々良・古木, 1993, 1994)。しかし, これらの報告はモニタリング効率の検討を目的とした調査であるため, 地上1.5mの高さまでのデータに限られており, それ以上の高度における成虫の飛翔の実態は不明であった。今回の調査で, 大型ハウスの高さとはほぼ等しい地上5.5mの高度においても成虫が飛翔していることが初めて確認された。様々な作物が隣接して栽培されている地域では, 今回調査したナスやガーベラのように防除圧が低いために虫の密度が高くなった施設から, 施設周辺のほ場や近傍の他の施設への移動があると考えられる。そのため, 施設では防虫ネットなどによる成虫の侵入防止対策が重要である。地上5.5mの高度でも成虫が飛翔している事実は, 成虫はハウス天窓の外から内へ侵入する可能性をも示しており, 防除対策上, 施設では防虫ネットを側窓はもとより天窓にも張る必要があると思われる。現地における防虫ネットの設置は, 側窓では一般化しているが, 天窓では労力や換気の問題から敬遠されがちである。今回の調査と同時にに行ったシルバーリーフコナジラミ *Bemisia argentifolii* では, 地表面に近いほどトラップによる誘殺数は多いものの, マメハモグリバエ同様5.5mの高度のトラップにも少数の成虫が誘殺された(太田・小澤, 1997)。従って, 天窓に防虫ネットを張る対策は, マメハモグリバエに限らず種々の微小害虫に対して有効な手段といえよう。

次に, 水平方向の分散では, 発生源と考えられるハウスに近いほど誘殺数は多かったものの, ハウスから東方向に48m離れた場所に設置されたトラップにも成虫が誘殺されたことから, ハウス内から野外に分散した成虫は少なくとも数10mの範囲で移動・分散していることが示唆された。このことから, マメハモグリバエの多発した施設がある場所では, その施設が周辺ほ場の発生源となる可能性が高く, このような場所では地域ぐるみの防除対策が必要となろう。なお, 今回の調査ではハウス内から外に脱出した個体数は不明であるので, トラップに誘殺された成虫のすべてがハウス内から移動した個体であるかどうかはわからない。しかし, 調査地の周辺の栽培作物ではマメハモグリバエ幼虫の発生は少ないか全く認められず, また雑草は本種が寄生しないとされるイネ科(西東, 1992)の雑草がほとんどであったことから, ナスのハウス以外の場所で羽化した成虫の誘殺数は相対的には極めて少なかったと推察される。

風の流れは発生源からの成虫の分散方向に影響する(Tryon et al., 1980)。東方向と西方向のトラップによ

る誘殺数を比較すると, 東方向の方が多い傾向がみられたが, これはトラップの設置環境の違いに加え, この時期は西風が吹くことが多かった(近隣地点の気象台のデータ及び観察による)ためと思われる。発生源から風下の方により多くの成虫が移動することは容易に推察されるので, 今回の調査地のように発生源が特定できる地域では, 風下に当たる施設における侵入防止対策をより徹底する必要がある。

野外におけるマメハモグリバエ個体群の性比は1:1(Zehnder and Trumble, 1983)であるのに対して, 黄色トラップに誘殺された成虫の性比は雌比9.1~31.7%と, ばらつきはあるものの有意に雄に傾いており, これはJones and Parrella (1986)の報告による雌比16.5~17.4%やZehnder and Trumble (1984)の報告による雌比18~33%とほぼ同様の値であった。性比が雄に偏る理由としては, 室内実験では寄主植物を与えると雌の黄色トラップへの誘引率が雄に比べて有意に低下すること(小澤ら, 未発表)から, 野外においても雌は植物(寄主とは限らない)への定位行動がトラップへの誘引を阻害していることが考えられる。また, トラップの設置高度や発生源からの水平距離と誘殺された成虫の性比との間には相関関係は認められなかった(Fig. 12,13)が, 誘殺数と性比との間には負の相関関係が認められた(Fig. 14)。誘殺数が多いほど雄の割合が高くなる傾向は, ミニトマトのハウスに設置した黄色トラップでも認められている(多々良・古木, 1993)。この理由としては, 成虫寿命の雌雄差(Zoebisch and Schuster, 1987)や誘殺数の増加に伴ったトラップの捕獲力の低下(太田・小澤, 未発表)に起因した誘殺頻度の雌雄差などの要因の関与が考えられるが, 現在のところ不明である。いずれにしても, 黄色トラップを幼虫の発生予測などのモニタリングに使用する際に, 誘殺数が極端に多い場合は次世代幼虫の発生量を過大推定してしまう可能性に注意する必要がある。

第4章 施設トマトにおける幼虫の発生予測と空間分布

4. 1 緒言

近年、施設栽培作物において天敵放飼による生物的防除を実践する上で、天敵の適正な放飼時期や量を決定するための対象害虫のモニタリングの重要性が指摘されている (Yano, 1998)。本研究で扱うマメハモグリバエに関しても、同様の理由から各種モニタリング方法の特性について正確に評価しておく必要がある。本種の成虫は黄色に強く誘引される性質があるため (Chandler, 1985)、第3章でも扱ったように、黄色粘着トラップが簡便なモニタリング方法として発生消長調査などにすでに使用されている (小林ら, 1992; 古木ら, 1993; 多々良・古木, 1993, 1994; 林ら, 1995)。黄色トラップを用いて得たデータから天敵放飼や薬剤散布の意志決定をする場合に、黄色トラップによる成虫誘殺数と予測される幼虫の絶対密度や幼虫の加害による被害量との関係を予め知る必要があるが、多々良・古木 (1993) によるセルリーでの報告を除けば、これらの関係は我が国では検討されていない。一方、本種の老熟幼虫は蛹化直前に葉の表皮を破って脱出し地表に落下する習性があるため、植物体の下にトレイを置き、これに捕獲された蛹の数を調べる方法も本種やその近縁種の簡便なモニタリング方法の一つとして海外では検討されている (Johnson et al, 1980; Zehnder and Trumble, 1985; Frijters et al, 1986)。

そこで、本研究では、下記の調査法を用いて施設栽培トマトにおけるマメハモグリバエの各ステージの密度推移を調査し、それらの結果に基づいて黄色粘着トラップおよび蛹トレイを用いた発生調査技術が、幼虫の絶対密度または幼虫による被害量のモニタリング法として適当かどうか検討した。あわせて、トマトにおけるマメハモグリバエ幼虫と潜孔の空間分布様式を明らかにし、密度推定に必要な標本数についても検討した。

4. 2 材料と方法

(1) 小型ハウスにおける密度調査

1994年の9月から翌年1月にかけて静岡県農業試験場内の硬質フィルム張り鉄骨ハウス (面積約130㎡) にトマト (品種: ハウス桃太郎, 定植: 1994年9月1日, 株数: 南北畝で50株×3畝=計150株, 株間: 40

cm, 畝間: 1.5m) を栽培し、虫のステージ別に次のような方法で密度調査を行った。

1. 成虫

25×10 cmの市販の黄色平板粘着トラップ (HORIVER®) を、ほぼ植物体の頂葉の高さに株から水平に約50cm離して、1畝に6枚ずつ等間隔で計18枚を空中に吊した。これらを調査日ごとに交換して誘殺された成虫数を数えた。

2. 幼虫

各畝10株×3畝=計30株を系統抽出して調査株として固定し、調査株のすべての葉に寄生するマメハモグリバエの幼虫数を見取りにより数えた。

3. 蛹

20×30×深さ5 cmのプラスチックバット (蛹トレイ) を幼虫調査株 (30株) 各々の株元に置き、調査日ごとにこれらの中の蛹数を数えた。なお、調査済みの蛹は地表にもどした。

4. 潜孔 (mine)

幼虫調査と同様に、調査株について幼虫による食痕 (潜孔) の数を調べた。なお、潜孔は中に幼虫が生息する潜孔と幼虫脱出後の空の潜孔を区別して数え、本文では単に「潜孔」と表現した場合は幼虫を含んだ潜孔を示し、幼虫が蛹化のために脱出した潜孔は「空の潜孔」と表現することとする。

以上の調査は、1994年9月上旬から翌年1月上旬までおおよそ7日間隔で行い (蛹は9月下旬から)、同時に調査株の葉数 (複葉数) も数えた。マメハモグリバエは自然発生としたが、途中、コナジラミなど他の害虫と土着天敵の寄生を防ぐためマメハモグリバエに影響のない合成ピレスロイド剤等を数回散布した。また、自記温度記録計を設置してハウス内の気温を記録した。

(2) 農家ハウスにおける密度調査

前述の調査は、防除圧のほとんどない単一のハウスにおける事例であり、一般性に欠ける点是否めない。そこで、現地農家の複数のトマト栽培ハウスにおいて黄色粘着トラップによる成虫誘殺数と幼虫密度および潜孔数を調べて、これらの相互関係を調べた。

1995年8月から12月にかけて静岡県清水市と静岡県小笠郡浜岡町の2軒の農家のトマト栽培ハウスにおいて、同様の調査を行った。すなわち、ほぼ植物体の高さに吊した黄色粘着トラップ (HORIVAR®) 6枚を

各ハウス内に均等に配置し、ほぼ1週間間隔でこれらを交換して誘殺されたマメハモグリバエの成虫数を数えた。また、各ハウスから24~25株を系統抽出して調査株として固定し、さらに調査株の最下位葉から5節位ごとに調査葉を順次固定して、これらに寄生する幼虫数と潜孔数をほぼ2週間間隔で数えた。調査した両農家とも、天敵寄生蜂による生物防除が行われている棟と慣行の薬剤防除が行われている別棟の2棟を調査ハウスとし、計4棟で調査を行った。清水市の農家は2棟とも5aのガラス温室、浜岡町の農家は5a（生物防除区）と10a（慣行防除区）の硬質フィルム張り鉄骨ハウスであり、トマトの品種は前者が大玉の「木熟麗玉2号」、後者はミニトマトの「ココ」であった。なお、生物防除ハウスでは、寄生蜂の攻撃により死亡した幼虫が多く認められたが、これらは幼虫数に含めた。

4. 3 結果

(1) 小型ハウスにおける密度変動

Fig.15には、日当たりトラップ当りの成虫誘殺数（A）、株当りの幼虫数（B）、日当たりトレイ当りの蛹数（C）および株当りの潜孔数（D）の推移を示した。成虫では、9月22日、10月14日、11月9日および12月22日の4回、比較的明瞭な発生ピークが認められた。幼虫では、9月30日、10月20日および11月16日の3回、発生のピークが認められたが、3回目のピークの後には発生がやや長期にわたった。蛹では、調査開始時期が他のステージに比べて遅れたものの、10月26日と11月21日にピークが観察され、後半のピークはあまり明確では

なかった。各ステージのピーク時期は、連続したステージ間ではほぼ1~2週間ずれていた。また、潜孔数は累積されていくため時間経過とともに増加したが、11月下旬に下位葉の下葉かきをしたため、その後一時的には減少した。

なお、黄色トラップによる成虫誘殺数のピーク間の有効積算温量は、順に335, 292, 254日度であり、これは本種の1世代当りの有効積算温量である257日度（Table 2）に近い値であった（Fig. 16）。

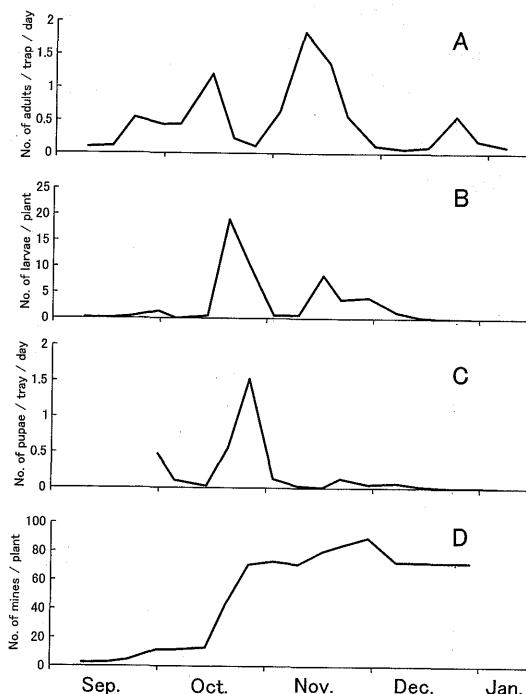


Fig. 15 Seasonal occurrence of *L. trifolii* on tomatoes in experimental green house. A: Mean number of adults captured per trap per day, B: Mean number of larvae per plant, C: Mean number of pupae per tray per day, D: Mean number of mines per plant.

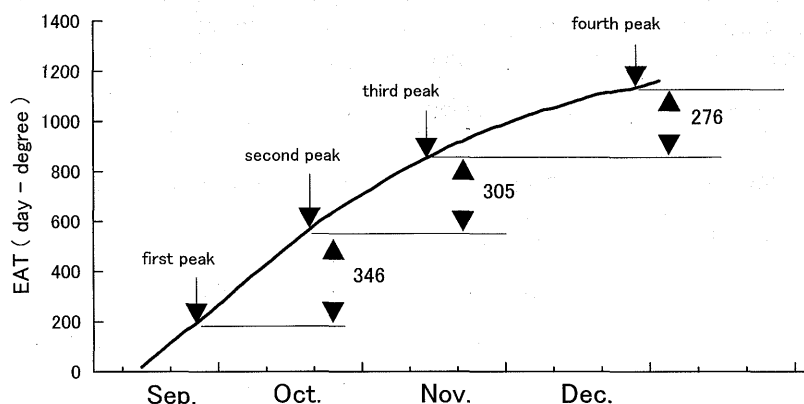


Fig. 16 Seasonal increase of effective accumulative temperature (EAT) and the peaks of adult occurrence of *L. trifolii* in the experimental green house.

(2) 黄色粘着トラップによる成虫誘殺数と幼虫密度との関係

黄色粘着トラップを用いたモニタリング方法によって幼虫の発生量を予測することを想定して、トラップによる成虫誘殺数と幼虫密度との関係について検討した。

小型ハウスにおける黄色トラップによる成虫誘殺数と幼虫密度との関係では、25℃条件下でのトマトにおける本種の卵・幼虫期間は約8日 (Table 3) であった。これをもとに日当たりトラップ当りの成虫誘殺数とその1週間後の株当たり幼虫数との関係を検討した結果、両者の間には $r^2 = 0.40$ ($p < 0.01$) の有意な正の相関関係が認められた。さらに、調査期間を高温期 (9月～10月) と低温期 (11月～1月) に分けてそれぞれの関係をみると、高温期は $r^2 = 0.38$ ($p > 0.05$) と

有意な相関関係は認められなかったが、低温期では $r^2 = 0.76$ ($p < 0.01$) とより高い有意な正の相関関係が認められた (Fig. 17)。

次に、4棟の農家ハウスにおける黄色粘着トラップによる成虫誘殺数とその1週間後の幼虫密度との関係を Table 13 に示した。幼虫密度の調査回数が少ないので、ここでは前述の小型ハウスのように高温期と低温期には分けなくて全データを込みにして扱った。その結果、日当たりトラップ当りの成虫誘殺数とその1週間後の葉当たり幼虫数との間には、両農家とも慣行の薬剤防除ハウスにおいては $r^2 = 0.64$ ($p < 0.05$) (浜岡町) と $r^2 = 0.95$ ($p < 0.001$) (清水市) の有意な正の相関関係が認められた。しかし、生物防除ハウスでは、いずれも有意な相関関係は認められなかった。

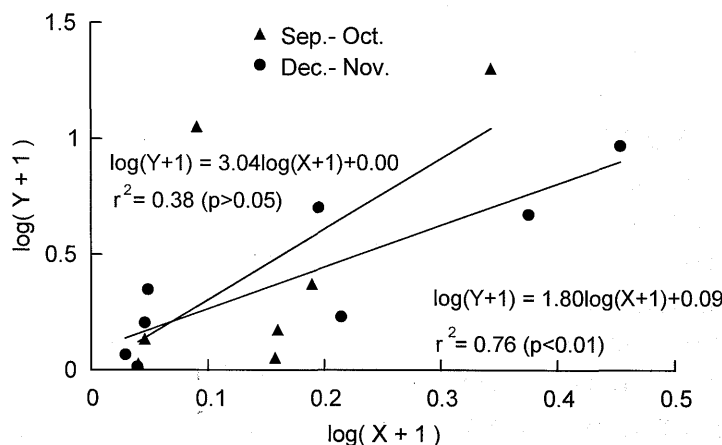


Fig. 17 Relationship between the number of adults captured per yellow sticky trap per day (X) and the number of larvae per plant (Y) of *L. trifolii* on tomatoes in experimental greenhouse. The number of larvae was counted 1 week after adult trapping. ▲: Date in Sep. and Oct. ●: Date in Dec. and Nov.

Table 13. Relationship between the number of adults captured by yellow sticky traps per day (X) and the number of larvae per leaf (Y) of *L. trifolii* on tomatoes in four commercial greenhouses, represented by the equation $\log(Y+1) = A + B \log(X+1)$

Location	Host plant	Control method	N^a	A	B	r^2
Shimizu 1	Tomato	Chemical	9	-0.002	0.08	0.95 *** ^b
Shimizu 2	Tomato	Biological ^c	9	0.16	0.40	0.30 n.s.
Hamaoka 1	Cherry tomato	Chemical	8	-0.008	0.14	0.64 *
Hamaoka 2	Cherry tomato	Biological	8	0.14	0.20	0.36 n.s.

^a Number of observations. The number of larvae was counted 1 week after adult counting.

^b n.s.: Not significant; *, **, ***: Significant at $p < 0.05$, 0.01, 0.001, respectively.

^c Number of larvae including larvae killed by parasitoid attack.

(3) 黄色粘着トラップによる成虫誘殺数と潜孔密度との関係

黄色トラップを用いたモニタリング方法によって被害量の指標である潜孔数を予測することを想定して、黄色トラップによる成虫誘殺数と潜孔数との関係を検討した。本種の幼虫による潜孔は必ず葉に残るため、各調査時の潜孔数は最初に幼虫が寄生したときからその時点までの潜孔数の累積値となっている。このことから、トラップによる成虫誘殺数も調査開始時から各調査時点までの累積値を算出して両者の関係を検討し

たところ、小型ハウスではトラップ当りの累積成虫誘殺数とその1週間後の株当たり潜孔数との間には $r^2 = 0.93$ ($p < 0.001$) の有意な正の相関関係が認められた (Fig. 18)。また、農家ハウスにおいても累積成虫誘殺数とその1週間後の葉当たり潜孔数との間には、 $r^2 = 0.68$ ($p < 0.05$) ~ 0.96 ($p < 0.01$) の有意な正の相関関係が認められた (Table 14)。

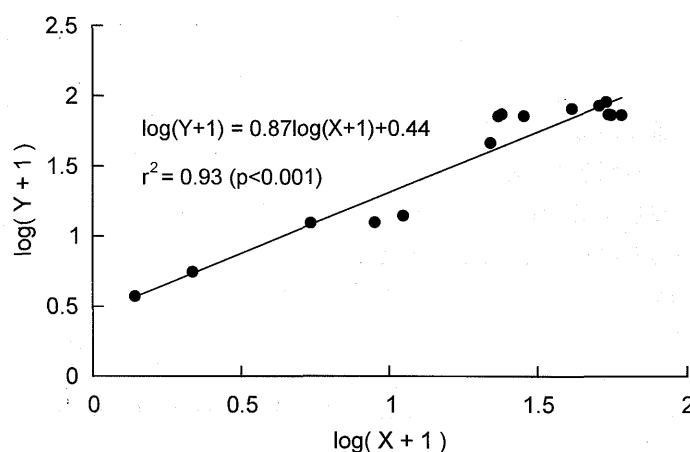


Fig. 18 Relationship between cumulative number of adults captured per yellow sticky trap (X) and number of mines per plant (Y) of *L. trifolii* on tomatoes in experimental greenhouse. The number of larvae was counted 1 week after adult trapping.

Table 14. Relationship between the cumulative number of adults captured by yellow sticky traps (X) and the number of mines per leaf (Y) of *L. trifolii* on tomatoes in four commercial greenhouses, represented by the equation $\log(Y+1) = A + B \log(X+1)$

Location	Host plant	Control method	N ^a	A	B	r ²
Shimizu 1	Tomato	Chemical	9	0.0003	0.19	0.77 ** ^b
Shimizu 2	Tomato	Biological ^c	9	-0.14	0.46	0.93 ***
Hamaoka 1	Cherry tomato	Chemical	8	-0.03	0.27	0.96 **
Hamaoka 2	Cherry tomato	Biological	8	0.22	0.29	0.68 *

^a Number of observations. The number of mines was counted 1 week after adult counting.

^b n.s.: Not significant; *, **, ***: Significant at $p < 0.05$, 0.01, 0.001, respectively.

^c Number of larvae including larvae killed by parasitoid attack.

(4) 小型ハウスにおける蛹数と幼虫密度との関係

蛹トレイを用いたモニタリング方法によって、その後の幼虫の発生量を推定することを想定して、蛹数とその後の幼虫密度との関係を検討した。蛹とその次世代幼虫との間には成虫および卵期間が加わるため、温度条件によっては蛹と次世代幼虫の発生時期との間に2～3週間の時間差が生じると考えられるので、蛹を数えた時点とその時点から0, 1, 2, 3, 4週間後の幼虫密度との関係をそれぞれ検討した。その結果、同時点(時間差0)では $r^2 = 0.37$ ($p < 0.05$)の有意な正の相関関係が認められたが、それ以外の時間差では有意な相関は認められなかった(Table 15)。

(5) 小型ハウスにおける蛹トレイの捕獲効率

前述の黄色粘着トラップについては、成虫の絶対密度の見取り調査がほぼ不可能であるため、トラップの誘殺効率を直接計算することは困難である。一方、蛹トレイについては、本種の幼虫は蛹化する直前に葉内から脱出して落下し、潜孔はそのまま葉に残るため葉上に累積され、空の潜孔の数は調査時まで葉から脱出・蛹化した蛹の総数にほぼ等しいと考えられる。従って、空の潜孔の単位時間当たりの増加数とその間にトレイへ落下した蛹数を比較することでトレイによる株単位での蛹の捕獲率が推定できる。そこで、各調査時のトレイ当り蛹数を、空の潜孔の前回からの増加数で割ってトレイによる捕獲率を算出し、その経時変化をFig. 19に示した。また、トマトの平均葉数の経時変化も併せて示した。その結果、捕獲率は10月上旬には

最高値の36.3%を示したが、その後徐々に低下し、摘心を行って新葉の展開を止めた11月上旬以降は、5～8%で推移した。ただし、11月下旬に下葉を5枚程度除去したため、その後の蛹の捕獲率は算出しなかった。一方、平均葉数はほぼ直線的に増加し、11月上旬の摘心時には約30枚であった。ここで、捕獲率(Y)と平均葉数(X)の間には、 $Y = -2.44X + 87.8$, $r^2 = 0.66$ ($p < 0.05$)の有意な負の相関関係が認められた。

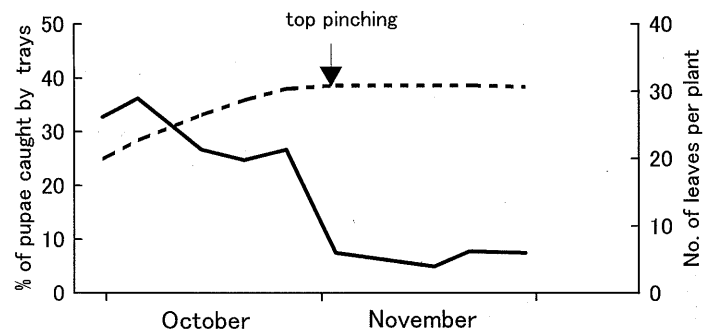


Fig. 19 Seasonal change in capture of *L. trifolii* pupae in trays (solid line) and the number of leaves per plant (dashed line) on tomatoes in experimental greenhouse.

Table 15. Relationship between the number of pupae in trays per day (X) and the number of larvae per plant (Y) of *L. trifolii* on tomatoes in experimental greenhouse, represented by the equation $\log(Y+1) = A + B \log(X+1)$

Time interval ^a	N^b	A	B	r^2
0	14	0.27	2.31	0.37 ^{*c}
1 week	13	0.47	-0.36	0.01 n.s.
2 weeks	12	0.57	-1.07	0.08 n.s.
3 weeks	11	0.35	1.69	0.20 n.s.
4 weeks	10	0.24	1.95	0.39 n.s.

^a Period from day of pupal counting to day of larval counting.

^b Number of observations.

^c n.s.: Not significant; *: Significant at $p < 0.05$, respectively.

(6) 幼虫および潜孔の株内分布

小型ハウスにおける幼虫と幼虫の脱出した空の潜孔の株内垂直分布の推移をそれぞれFig. 20とFig. 21に示した。幼虫はトマトの生育に伴って下葉から上葉へと順次寄生部位が移る傾向が認められ、株内垂直分布の中心は生育初期は下位葉、中期は中位葉、摘心後の後期は上位葉へと移り、比較的ピークのはっきりした1山型の分布を示した。空の潜孔の垂直分布は、生育初期は下位葉に多く、徐々に上位葉まで上がっていき、生育後期には中位葉を分布の中心としたダラダラ型の分布型を示した。

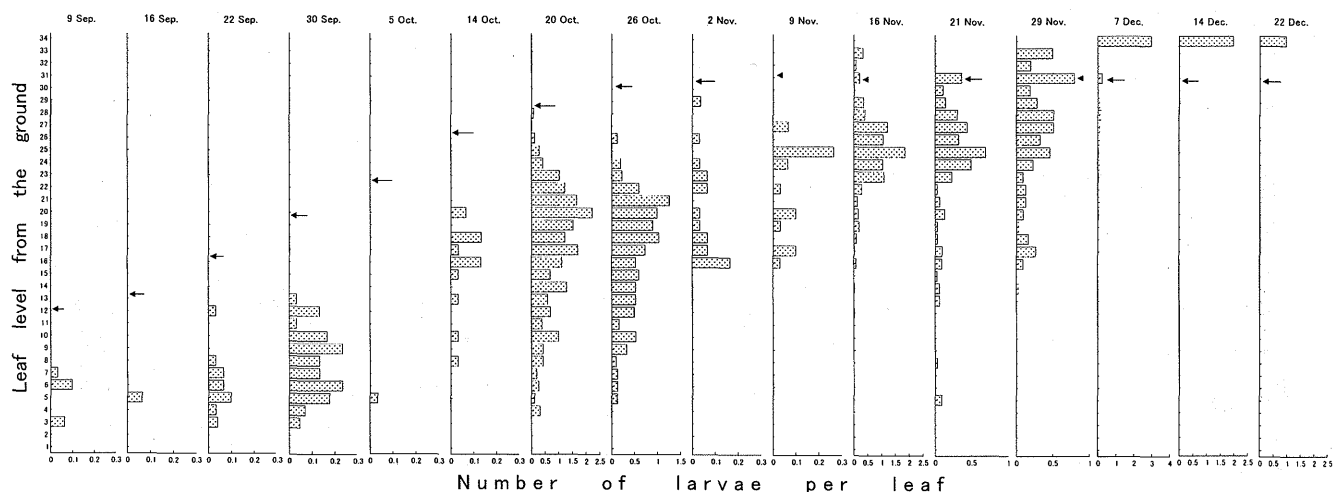


Fig. 20 Inter-plant distribution of *L. trifolii* larvae on the tomato plant cultivated in experimental greenhouse in relation to the position of leaves. Arrows indicate the top leaf level in the experimental greenhouse.

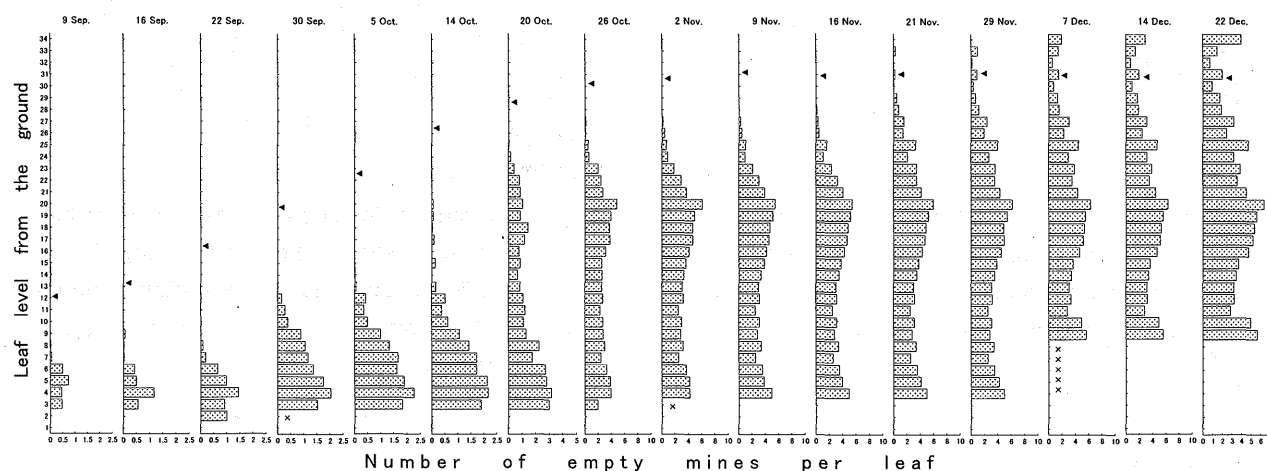


Fig. 21 Inter-plant distribution of empty mines of *L. trifolii* on the tomato plant cultivated in relation to the position of leaves in the experimental greenhouse. Arrows indicate the top leaf level. Cross marks indicate pinched leaves.

(7) 幼虫および潜孔の空間分布様式と密度推定法

小型ハウスにおける幼虫と潜孔（ここでは幼虫とは区別するために空の潜孔）の密度についてIwao (1968) の $m-\bar{m}$ 回帰分析法に基づき空間分布様式を検討した。ここでは系統抽出した調査株のすべての葉について調べた集落抽出となっているので、株単位でまとめた密度データについて、平均値と平均込み合い度を求め、両者の関係をFig. 22に示した。平均値 ($\bar{X}$) と平均込み合い度 ($\bar{X}^*$) の回帰式は、幼虫では $\bar{X}^* = 2.12\bar{X} + 0.25$ ($r^2 = 0.95$)、空の潜孔では $\bar{X}^* = 1.36\bar{X} + 0.49$ ($r^2 = 0.99$) となり、基本集合度指数 α は幼虫で0.25、空の潜孔では0.49、密度-集合度係数 β は幼虫で2.12、空の潜孔では1.36となった。幼虫および空の潜孔ともに $\alpha > 0$ 、 $\beta > 1$ であることから、いずれも一定の平均値を持つ集団が集中分布していることが示された。

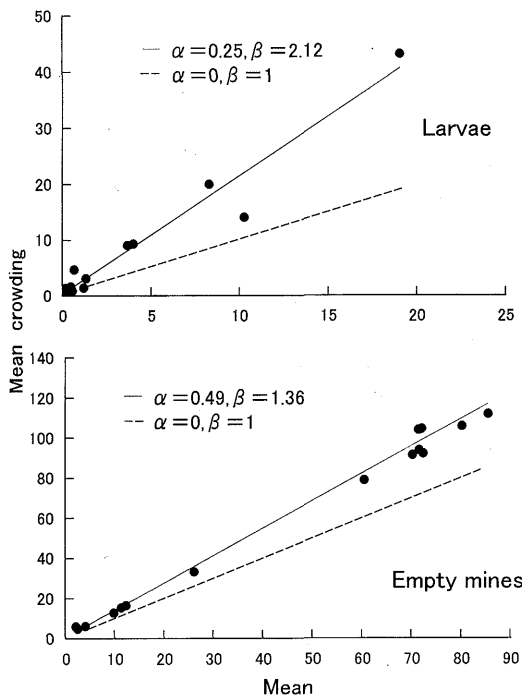


Fig.22 Relationships between mean crowding ($\bar{X}^*$) and mean density ($\bar{X}$) for the number of larvae and empty mines of *L. trifolii* per tomato plant in the experimental greenhouse.

Iwao and Kuno (1971) によれば、密度調査において一定の目標精度 D (標準誤差/平均密度) で平均密度の推定値を得るために必要な標本数 q は、

$q = ((\alpha + 1) / \bar{X} + \beta - 1) / D^2$ となる (α , β は $m-\bar{m}$ 回帰式の係数の推定値)。そこでこの式から、先に求めた α および β の値に基づき目標精度0.1, 0.2および0.3における必要標本数 (調査株数) をFig. 23に示した。

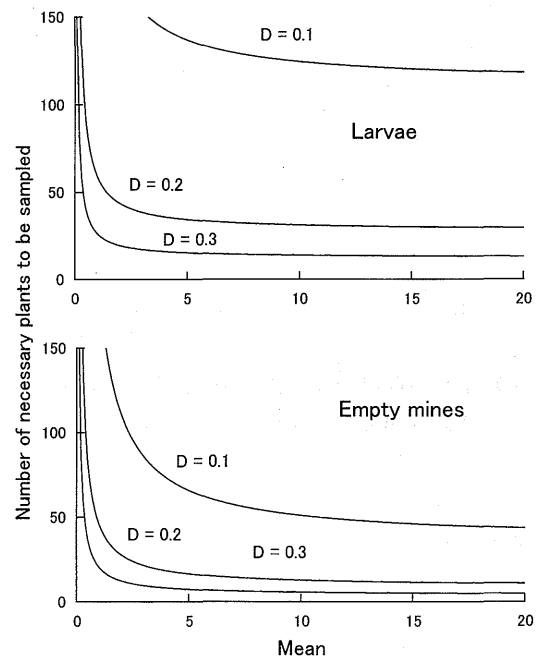


Fig.23 Number of necessary tomato plants to be sampled to estimate the mean density of *L. trifolii* with a fixed level of precision in terms of D (D : magnitude of standard error relative to mean density).

4. 4 考察

施設内でのマメハモグリバエの発消長には重なりのない発生ピークが認められた。ここで、黄色トラップによる成虫誘殺数のピーク間の有効積算温量は、本種の1世代当りの有効積算温量とほぼ等しかったことから、これらは各世代の発生ピークを表していると思われる。また、本種の成虫の寿命はトマトでは約4日と短いことも世代の重なりが少なくなった理由と考えられる。従って、静岡県抑制栽培トマトでは、発消長の山の数や有効積算温量から3~4世代を経過すると推測される。

黄色粘着トラップは発生の時間的変動を明瞭に示しており、発消長の変動パターンを把握する手段としては利用価値が高いといえよう。しかし、誘殺数が生息数の絶対密度の指標として利用できるかどうかについては、成虫の絶対密度の調査は困難であることから、相対密度である黄色トラップによる成虫誘殺数と絶対密度である幼虫密度との関係が検討されてきた (Schuster and Beck, 1981; Frijters et al., 1986)。その結果、海外では成虫誘殺数と幼虫密度との間には有意な相関関係は認められないとされており (Schuster and Beck, 1981; Frijters et al., 1986)、黄色粘着トラップによるモニタリング方法は発生量の定性的な把握手段としてのみ評価されている (Parrella and Jones, 1985)。一方、我が国の施設栽培は、施設面積や栽培方法、気象条件などが欧米のそれとは異なると思われ、こうした栽培環境の違いがトラップの誘殺効率に影響することも考えられるので、海外での結果が我が国の栽培場面に一概には適用できないと思われた。そこで、本研究では、我が国の施設トマトにおける成虫誘殺数と幼虫数、成虫誘殺数と潜孔数との関係を検討した結果、成虫誘殺数と幼虫数の間にはばらつきはあるものの、条件によっては有意な正の相関関係が認められた。また、小型ハウスにおいて高温期は低温期に比べて相関係数は低かった (Fig. 17) が、この理由としては、25℃における幼虫期間は約4日であることから高温期には幼虫期間が調査間隔 (約7日) より短くなり、続く2回の幼虫調査時に見逃してしまう個体がでることが考えられた。また、Table. 13に示したように、生物防除を行っているハウスでは有意な相関関係は認められなかったが、この理由としては、寄生蜂の寄生率の変動が幼虫密度に影響してばらつきが大きくなったためと思われる。以上のように、条件によっては成虫誘殺数と幼虫密度との間に有意な正の相関関係が認めら

れたことから、黄色トラップを用いて得た成虫のモニタリングデータから幼虫の絶対密度を推定することは必ずしも不可能でないと考えられた。

一方、累積成虫誘殺数と潜孔数との間には、いずれの試験でも有意な正の相関関係が認められ、黄色トラップによる被害量の推定は可能であることが示唆された。この方法によれば、例えば要防除水準を潜孔数によって設定すれば、トラップによる成虫誘殺数をみてあらかじめ防除適期を決定することも可能となろう。ただ、両者間の回帰直線の傾きにはハウス間でばらつきがみられ、今回得られた関係式が個々のハウス固有のものである可能性が高く、関係式の不特定多数のハウスへの適用は問題があると思われる。もっとも、一般の農家栽培では、品種や作型など基本的な栽培環境は毎年ほぼ同じであり、同一ハウス内の環境条件の年次による違いは少ないと思われる。従って、トラップの設置場所など誘殺効率に影響を与える諸条件を毎年固定して誘殺数と潜孔数との関係式を調べておけば、これらは同一ハウスに限って恒常的に適用することも可能と考えられる。いずれにしても、トマトでは、マメハモグリバエの被害 (潜孔数) が収量や品質に及ぼす影響がはっきりせず (Kotze and Dennill, 1996)、経済的被害許容水準自体が未だ不明であるので、黄色トラップによる要防除水準を設定するためには、今後、トマトでの詳細な被害解析を行う必要があろう。

Johnsonら (1980) は、マメハモグリバエの近縁種 *Liriomyza sativae* の簡便な密度調査法として地上においたトレイへの落下蛹数を数える方法を検討し、落下蛹数と観察された幼虫数との間に有意な正の相関関係を認めた。一方、Frijtersら (1986) の報告では有意な相関関係は認められず、この理由は、調査期間中の虫の密度が低く推移したためとしている。本研究では、トレイへの落下蛹数と幼虫密度との間に調査時点が同じならば有意な正の相関関係が認められたが、これは後述するように蛹の捕獲効率が一定でないことから、他の要因とのバランスで得られた見かけ上の相関の可能性もある。また、1週間以上の時間差をとった場合には、Frijtersら (1986) の報告同様に有意な相関関係は認められなかったことから、蛹トレイを次世代幼虫の密度予測に利用することは困難であろう。Fig. 19に示したように、本研究で使用した蛹トレイの捕獲率は大きく変動したが、これはトレイのサイズが20×30 cmと小型であるため、植物体の生長にともなった葉数の増加と葉面積の増大により、上位葉から脱出した幼虫のトレイ内への落下が阻害されたためと思われる。

このことは、捕獲率と平均葉数との間に有意な負の相関関係が認められたことから裏付けられよう。従って、現時点では、蛹トレイを用いたモニタリング方法は、捕獲効率の不安定性など精度の点で問題があるため、幼虫の絶対密度の推定に用いることはやや困難であろうが、その簡便性から幼虫や蛹の相対的な密度推定手段としては利用価値があると思われる。なお、蛹トレイのサイズと捕獲効率との関係はモニタリング精度の向上の点から今後検討する必要がある。

次に、幼虫と潜孔の空間分布に関しては、幼虫の株内分布の中心は下位葉から上位葉に徐々に移っていくことから、マメハモグリバエの雌成虫は展開したばかりの若い葉には余り産卵せず、成熟した葉を好んで産卵することが示唆された。観察によるとトマトでは若い葉ほど毛茸の密度や線毛からの分泌物が多い。毛茸はマメハモグリバエ雌成虫の寿命や産卵数を減少させ (Quiring et al., 1992)、線毛からの分泌物は雌成虫の摂食を阻害すること (河名, 私信) から、毛茸の密度や線毛からの分泌物の多少が産卵場所の選択に影響していると考えられる。また、幼虫と潜孔の株間分布は集中分布を示し、株間で幼虫密度にばらつきがあった。これは、雌成虫は産卵に好適な葉または株に集中的に産卵することを示しており、この理由としてハウス内の照度や温度分布の偏りが雌成虫の定位行動に影響していることが考えられた。

目標精度を満たすために必要な標本数については、目標精度 $D=0.3$ の場合、例えば株当たり平均密度 1 頭/株の低密度時に必要な調査株数は、幼虫で 26.3 株、空の潜孔では 20.6 株、 $D=0.2$ では、幼虫で 59.3 株、空の潜孔では 46.3 株と計算された (Fig. 23)。従って、現場ほ場における防除試験などで目標精度を 0.3 に設定した場合、ほ場当たり 25 株程度を調査すれば幼虫、潜孔ともに推定誤差は問題ないと考えられる。なお、今回の小型ハウスにおける調査株数は 30 株と固定したが、30 株調査の場合、幼虫密度が 1, 5, 10 頭/株の場合の精度はそれぞれ 0.28, 0.21, 0.20 となり、極低密度時を除いて 0.2~0.3 の精度は確保されていた。

ところで、トマトの葉に寄生する微小害虫の密度推定法に関して、Yano (1983) はオンシツコナジラミを対象に Kuno (1976) の多段抽出法に基づき、株-複葉-小葉の 3 段抽出法を試みている。マメハモグリバエは、コナジラミ類に比べると体サイズも大きく、葉当たりの寄生密度は概して低いうえ、植物体の許容限界密度もはるかに低いと考えられる。また、葉表に寄生し、寄生の証拠となる潜孔を残すため一見して寄生

が確認でき、潜孔が交互に交錯するような高密度時を除けば個体数も数えやすい。こうしたことから、今回、小型ハウスで実施したような株単位での集落抽出による密度調査は物理的に十分可能であるが、より簡便性が要求される現場での調査を考えた場合には、Yano (1983) が示したような複葉または小葉を単位とした多段抽出法も今後検討する必要がある。また、Schuster and Beck (1992) は、トマトの複葉の先端 3 小葉を調査対象として存在頻度率と平均密度との関係式を用いたハモグリバエ類の密度推定法を提唱している。簡便さを求める場合には、こうした存在頻度率を用いる密度推定法も有効であろう。

第5章 施設トマトのマメハモグリバエに対する寄生蜂イサエヒメコバチの防除効果

5. 1 緒言

マメハモグリバエは、有機リン剤や合成ピレスロイド剤などの既存の殺虫剤に対する薬剤抵抗性を有しており（西東ら，1992），また当初は殺虫活性の高かった薬剤に対する感受性の低下の兆候も確認されていることや（西東ら，1994），合成ピレスロイド剤によるリサージェンスが発生することから（西東ら，1993，1996），化学農業に依存した防除には問題が多い。

一方、オランダなどヨーロッパの施設栽培では、様々な害虫に対して商業的に大量生産された天敵資材を使ったIPM（総合害虫管理）技術が開発され、広く普及している（Van Lenteren, 1995）。1976年にオランダに侵入したとされるマメハモグリバエ（Van Frankenhuyzen and Van de Bund, 1979）に対しても、イサエヒメコバチ *Diglyphus isaea* (Walker) とハモグリコマユバチ *Dacnusa sibirica* Telenga の2種の寄生蜂が1984年以降、主に施設栽培作物を対象に供給されている（Ravensberg, 1992；Van Lenteren, 1995）。

我が国でも、マメハモグリバエ初発生から2年後の1992年にオランダから輸入したイサエヒメコバチとハモグリコマユバチ両種を用いたトマトでの放飼試験（多々良ら，1993；小澤ら，1993）が実施されて以来、これら2種の寄生蜂を同時に用いた放飼試験が試みられてきた（西東ら，1995；柴尾ら，1996；市川ら，1996；井口，1997）が、イサエヒメコバチのみを用いた報告はこれまでない。現在、我が国で販売されている天敵は、それら2種の混用資材であるが、高温条件に適しているとされるイサエヒメコバチ（Malais and Ravensberg, 1992；Minkenberg, 1989）単独の資材も製品化が進められているので、本種単独による密度抑制効果をあらかじめ評価しておく必要がある。また、これまでの報告には、土着寄生蜂が施設内に侵入し、放飼種に換わってそれらが優占種となったために、寄生蜂の放飼効果がはっきりしない事例もある（西東ら，1995）。そのため、寄生蜂の放飼効果を正確に評価するためには土着の寄生蜂を排除した条件でも試験を行う必要がある。

そこで、本研究では、施設トマトのマメハモグリバエに対するイサエヒメコバチ単独放飼による防除効果を明らかにするとともに、寄生蜂の放飼時期やハウスの隔離程度の影響についても検討した。

5. 2 材料と方法

放飼試験は3回行い、各試験におけるトマトの耕種概要とマメハモグリバエおよびイサエヒメコバチの放飼概要はTable 16にまとめて示した。

(1) 供試虫

試験には、イギリスから輸入されたイサエヒメコバチ成虫を用いた。これらは輸入後ただちに静岡県農業試験場に輸送され、到着後1日以内（イギリス発送5日後前後）の成虫を試験に用いた。なお、供試した寄生蜂の羽化後の正確な日齢は不明であるが、寄生蜂の封入ボトルの開口部には蜂蜜液を染み込ましたフェルトが取り付けられてあり、当场に到着した時点における寄生蜂の生存率はいずれも95%以上と高かった。

寄主として温室に放飼したマメハモグリバエは、1991年に浜松市で採集した静岡農試累代飼育系統（西東ら，1992）を用いた。

(2) 寄生蜂の放飼密度と放飼回数

供試した寄生蜂は、成虫約250頭（性比はほぼ1:1）が1ボトルに封入された製品であり、現場では通常1ハウスに1ボトル単位で使用することが想定されている。静岡県における現地のハウス面積は一般に500m²～1000m²であることから、1ハウスに1ボトルを使用すると一回の放飼密度は成虫0.50～0.25頭/m²となる。そこで、今回の試験では、現場での使用を想定して、1回の放飼密度は0.40～0.27頭（雌0.20～0.13頭/m²または0.19～0.13頭/株）とした（Table 16）。

また、ヨーロッパでは1週間間隔で3～4回の連続放飼が基本であることから（ノバルティス社私信）、放飼回数は試験1では5回、試験3では3回とした。試験2では、試験1および3に比べて寄主の増殖に好適な気温条件と品種（ミニトマト）であったため、寄生蜂による密度抑制効果をより高めるために放飼回数は8回とした（Table 16）。

(3) 春期（3～5月）における放飼試験（試験1）

試験には静岡県農業試験場内のガラス温室（面積約60m²）2棟を用い、1棟は寄生蜂放飼区、もう1棟は無放飼区（対照区）とした。

温度管理は、最低20℃に設定した温湯配管による暖房を行い、天窓と側窓は25℃以上で自動的に開くように設定した。また、天窓と側窓には2mm目合いの防虫網を張った。栽培管理は慣行によったが、防除はケル

セン乳剤のスポット散布のみを行った。

調査は、3月8日から5月10日までおよそ7日間隔で行った。1区から全体の約22%にあたる10株を系統抽出してこれらを調査株として固定し、毎回、調査株の全葉についてマメハモグリバエの生存幼虫数を見取りにより調べた。イサエアヒメコバチは死物寄生蜂で、寄主幼虫を毒針で殺した後に寄生（産卵）または寄主体液摂取（体液を吸う行動）を行う。寄生蜂の攻撃を受けて死亡した幼虫は濃黄色または褐色に変色し、生存虫との識別が可能なので、これら死亡幼虫の数を調べ、死亡幼虫数の葉当たり平均値／（生存幼虫数の平均値＋死亡幼虫数の平均値）を幼虫死亡率とした。なお、観察によると、寄生蜂に寄生された死亡個体は寄生後1週間程度で蜂の幼虫に食い尽くされて消失し、見取り調査では確認できなくなる。一方、寄主体液摂取された死亡個体は葉内に長期間残存するが、死後1週間程度経過すると体色が褐色から黒色に変化する。葉内に残存した死亡個体は累積することから、死亡個体すべてを死亡幼虫数に加えると幼虫死亡率は時間経過とともに過大推定値となることが考えられたので、寄主体液摂取された古い黒化した死亡個体は幼虫死亡数に含めなかった。体色の変化が肉眼で判別できないほど小さな幼虫（1齢初期の幼虫）は調査しなかった。また、幼虫による被害の指標として、老熟幼虫が脱出したと思われる大型の空の潜孔数を見取りにより調べた。さらに、調査株の株元には本研究・第4章と同じ蛹トレイを設置し、トレイの中に落下した蛹の数を毎回調べた。計数済みの蛹は地表面に戻した。

5月2日と5月10日には、両区からマメハモグリバエ幼虫の寄生葉をランダムに20～30枚採集し、これらを濾紙を敷いたプラスチック容器（直径約25cm、高さ約10cm）の中に入れて約25℃の恒温室内に約3週間放置し、羽化した虫の種類と数を調べた。なお、寄生蜂の同定は、小西（1998）に従った。

（4）夏期（5～7月）における放飼試験（試験2）

静岡県農業試験場内のガラス温室（面積約25㎡）2棟を用い、試験1と同様に寄生蜂放飼区と無放飼区を設けた。

温度管理のための暖房は行わず、天窓と側窓は25℃以上で自動的に開くように設定した。また、天窓と側窓には2mm目合いの防虫網を張った。栽培管理は慣行によったが、放飼区では薬剤を全く散布せず、無放飼区のみ天敵の侵入とコナジラミの発生を抑制するためにマメハモグリバエに影響のない合成ピレスロイド剤などを適宜散布した。

調査は、最初の寄生蜂放飼翌日の5月11日から7月6日までおよそ7日間隔で行った。1区から全体の25%にあたる6株を系統抽出して調査株として固定し、毎回、調査株の全葉について前述の試験1と同様にマメハモグリバエの生存幼虫数、幼虫死亡数および空の潜孔数を調べた。また、調査株の株元には蛹トレイを置いて、トレイの中に落下した蛹の数を調べ、さらに、6月6日と7月6日には、試験1と同様にマメハモグリバエ幼虫の寄生したトマト葉を採集して、羽化した虫の種類と数を調べた。

（5）夏期（6～8月）における隔離温室を用いた放飼試験（試験3）

静岡県農業試験場内のガラス温室（面積約60㎡）2棟を用い、試験1、2と同様に寄生蜂放飼区と無放飼区を設けた。ここでは、試験温室の天窓には0.8mm、側窓には0.4mm目合いの防虫網を張り、試験1および2で使用した温室に比べて外界との隔離度を高くした。

温度管理は、25℃以上で天窓と側窓が自動的に開くように設定した。栽培管理は慣行によったが、薬剤散布については放飼区、無放飼区ともに農薬は全く散布しなかった。

調査は、6月18日から7月31日までおよそ7日間隔で行った。両区とも全体の約27%にあたる16株について試験1、2とほぼ同様の密度調査を行ったが、後半の調査は調査株の全葉ではなく5節位ごとに抽出した葉について行った。また、各区に黄色粘着トラップ（HORIVAR®）を2枚ずつ約1.5mの高さに設置し、これらを1週間間隔で交換して誘殺された成虫数とマメハモグリバエ寄生蜂の種類とその数を8月14日まで調べた。なお、7月28日には、試験1、2と同様に幼虫の寄生したトマト葉を採集して、羽化した虫の種類と数を調べた。

Table 16. Cultivation conditions and release of parasitoids in the tomato greenhouses tested.

	Trial 1		Trial 2		Trial 3	
	Release	Control	Release	Control	Release	Control
(Cultivation condition)						
Tomato cultivar	Sunroad	← ^a	Carol 7 ^b	←	Sunroad	←
Date of planting	6 Jan. 1996	←	8 May 1995	←	28 May 1997	←
Area of greenhouse	60 m ²	←	25 m ²	←	60 m ²	←
Mesh size of ventilator of greenhouse (side/top) 2	2mm/2 mm	←	2mm/2 mm	←	0.4 mm/0.8 mm	←
Average of daily mean temperature (±s.d.)	21.6±2.3 °C	22.9±2.1	—	23.2±2.6	28.1±2.0	27.9±1.8
(Release of insects)						
Release of <i>D. isaea</i>	30 Mar., 4 Apr. 12, 19, 26 Apr.	—	10 May - 28 Jun. (8 times weekly)	—	20 Jun., 3 Jul. 10 Jul.	—
No. of <i>D. isaea</i> females released / plant	0.13	—	0.19	—	0.15	—
Release of <i>L. trifolii</i>	25 Feb.	←	9, 25, 29 May	←	16 Jun.	←
No. of <i>L. trifolii</i> females released / plant	0.5	←	0.5	←	0.5	←
No. of larvae of <i>L. trifolii</i> / plant	2.9	15.7	0	←	0	←
at the first time of release of parasitoids						

^a the same as left.^b cherry tomato.

5. 3 結果

(1) 幼虫密度の推移

試験1, 2および3におけるマメハモグリバエの生存幼虫の密度推移をFig. 24に示した。試験1では, マメハモグリバエ成虫放虫後の幼虫の発生ピークは約3回認められ, 全般に発生量は少なく経過した。放飼区では, 暖房装置の故障により温度がやや低く経過したため, 1回目の発生ピークは無放飼区より約1週間遅れた。1回目のピーク密度は, 無放飼区は0.85頭/葉, 放飼区は0.31頭/葉であり, 寄生蜂放飼初期における幼虫密度は無放飼区の方が高かった。寄生蜂最終放飼後の2回目のピーク密度は, 無放飼区が0.85頭/葉と1回目ピーク密度と同等であったのに対して, 放飼区では0.23頭/葉とやや低下した。さらに5月10日には, 無放飼区では2.01頭/葉と急増したのに対して放飼区の密度は0.03頭/葉と低く推移した。

試験2では, 第1回目の寄生蜂放飼時における幼虫密度は放飼区, 無放飼区とも0であったが, 無放飼区では6月29日に密度が急上昇して15.6頭/葉と高密度になった。一方, 放飼区では6月6日の0.6頭/葉を最高に終始1頭/葉以下の低密度で推移し, 6月29日には無放飼区の約1/36の密度であった。

試験3では, 2回の幼虫発生ピークが認められ, 1回目の7月9日のピーク密度は放飼区3.5頭/葉, 無放飼

区5.3頭/葉とほぼ同数であったが, 2回目の7月24日のピーク時には, 無放飼区が9.1頭/葉であったのに対して放飼区はその約1/10の0.8頭/葉と低かった。

なお, 各試験における日平均気温の平均値はTable 16に示した。

(2) 幼虫死亡率の推移

Fig. 25には, 試験1, 2および3におけるマメハモグリバエの幼虫死亡率の推移を示した。試験1では, 無放飼区の幼虫死亡率は7.1%以下で推移したが, 放飼区では寄生蜂2回放飼後の4月11日に94.1%と急増した。その後, 2回目の幼虫発生ピーク時の4月26日には24.5%に低下したが, 死亡率は増加して5月10日には90.9%に達した。

試験2では, 無放飼区の幼虫死亡率は最高5.2%と低く推移したが, 放飼区では寄生蜂3回放飼後の5月31日に66.7%と急増し, その後, 変動しながら6月15日には98.4%, 7月6日には90.9%に達した。

試験3では, 第1回寄生蜂放飼の5日後に放飼区では77.8%を示したが, 無放飼区では0%であった。その後, 放飼区では変動は大きかったものの, 7月17日と7月30日には100%に達した。一方, 無放飼区では7月9日以降になって死亡幼虫が認められるようになり, 7月17日には100%, 7月30日には93.5%に達した。

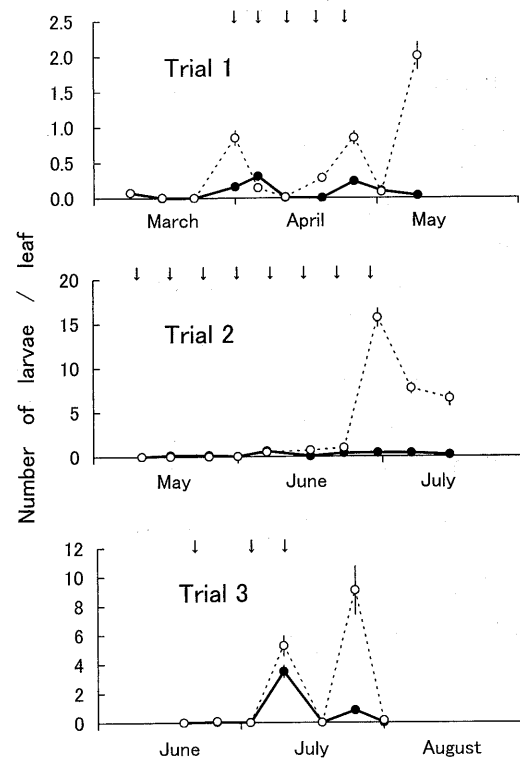


Fig.24 Number of *L.trifolii* larvae per leaf on tomato plants in trials 1,2 and 3 (mean $\pm$ SE). Closed circles with solid line indicate data in greenhouse where *Diglyphus isaea* was released, open circles with dashed line indicate data in control greenhouse. Arrows show the timing of parasitoid releases.

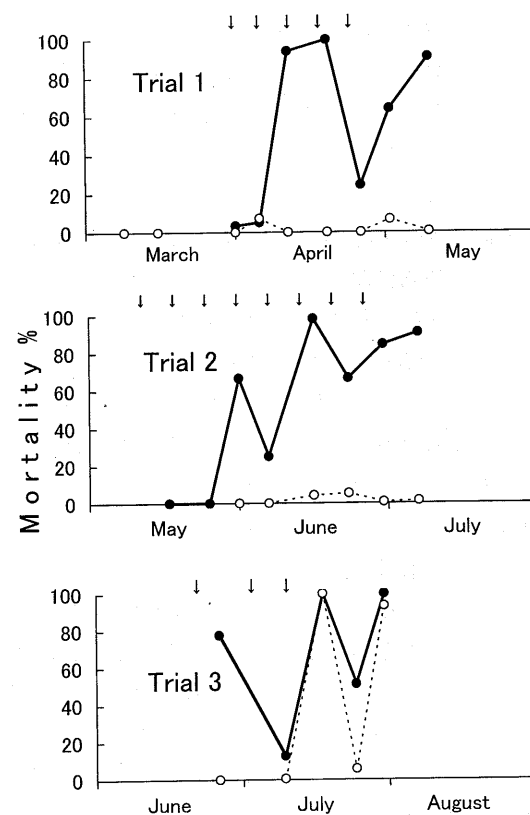


Fig.25 Mortality of *L.trifolii* larvae on tomato plants in trials 1,2 and 3. The symbols are the same as for Fig.24.

(3) 幼虫が脱出した空の潜孔の密度推移

Fig. 26には、試験1、2および3におけるマメハモグリバエ老熟幼虫が脱出した空の潜孔の密度推移を示した。試験1では、両区とも徐々に密度は上昇したが、放飼区ではその速度は緩やかで、最終調査時の5月10日の密度は1.3個/葉であった。一方、無放飼区では、4月上旬と4月下旬に急増して、5月2日の密度は放飼区の約6倍の9.3個/葉に達した。なお、5月10日の無放飼区においては、前回の調査時より密度が高くなり、潜孔が交錯して個別に分けて数えることが難しくなったため調査しなかった。

試験2では、放飼区における密度は漸増したものの7月6日には2.2個/葉であった。一方、無放飼区では、6月下旬以降急激に増加して7月6日には放飼区の約16倍の32.7個/葉に達して株全体が枯死し始めた。

試験3では、放飼区では7月24日に最高値3.4個/葉を示したが、無放飼区では7月中旬以降急増して、7月30日には放飼区の約6倍の17.6個/葉に達した。

(4) 試験1および2におけるトレイへの落下蛹数の推移

Fig. 27に試験1および2におけるトレイへの落下蛹数の推移を示した。試験1では、両区とも落下数のピークが2回認められたが、放飼区の方が無放飼区より明らかに少なく推移した。寄生蜂5回放飼後の4月下旬から5月上旬にかけて認められた2回目のピーク密度は、無放飼区は1.78頭/トレイ/日であったのに対して、放飼区ではその約1/14の0.13頭/トレイ/日であった。また、調査期間中の落下蛹の総数は、無放飼区が35.7頭/トレイであったのに対して、放飼区ではその約1/10の3.6頭/トレイであった。

試験2では、無放飼区は6月中旬以降急増し、7月6日には26.3頭/トレイ/日に達したが、放飼区では終始0.1頭/トレイ/日以下の低密度で推移した。トレイへの落下蛹の総数は、無放飼区が326.0頭/トレイであったのに対して、放飼区ではその約1/200の1.7頭/トレイと少なかった。

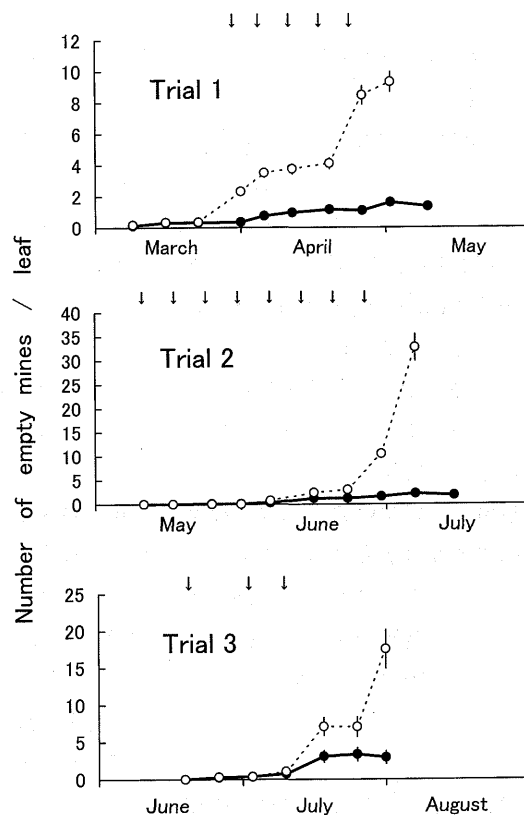


Fig.26 Number of empty mines per leaf on tomato plants in trials 1,2 and 3 (mean±SE). The symbols are the same as for Fig.24.

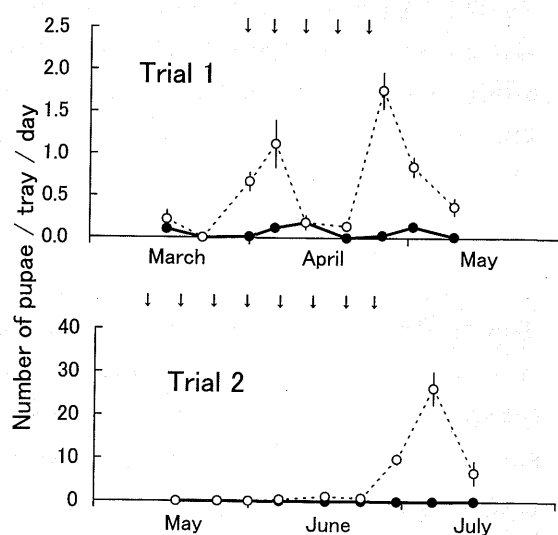


Fig.27 Number of *L.trifolii* pupae in trays under tomato plants in trials 1 and 2 (mean±SE). The symbols are the same as for Fig.24.

(5) 試験3における黄色粘着トラップへの誘殺数の推移

Fig. 28には試験3における黄色粘着トラップに誘殺されたマメハモグリバエとその寄生蜂の成虫数の推移を示した。マメハモグリバエ成虫の誘殺ピークは7月9日、7月24日および8月7日の3回認められた。2回目のピークでは、放飼区は21.2頭/トラップ/日であったのに対し、無放飼区はその2倍以上の49.9頭であった。さらに、3回目のピークでは、放飼区は2.1頭であったのに対して、無放飼区はその約20倍の45.9頭となり、明らかに放飼区より多かった。

誘殺された寄生蜂の種類は、放飼区・無放飼区ともにすべてイサエヒメコバチであり、他の土着種は認められなかった。8月7日以降のイサエヒメコバチの誘殺数は、無放飼区の方が放飼区より多かった。

(6) 寄生蜂の種類と寄生率

Table 17には、試験1、2および3のほ場より採集したマメハモグリバエ幼虫から羽化した寄生蜂の種類とその寄生率を示した。試験1の放飼区では、2回の採集時ともに放飼したイサエヒメコバチのみが確認され、他の土着種は認められなかった。一方、無放飼区では5月2日に寄生蜂は認められなかったが、5月10日にはイサエヒメコバチが1頭のみ確認された。羽化調査に基づく寄生率は放飼区が86.5%と92.3%，無放飼区は0%と2.1%であった。

試験2の無放飼区では寄生蜂の寄生はまったく認められなかった。一方、放飼区では羽化による寄生率は6月6日が38.9%，7月6日が86.7%を示した。寄生蜂の種類は、8回もの放飼を行ったにもかかわらず、放飼し

たイサエヒメコバチよりも他の土着種の羽化数が多く、特に7月6日には寄生蜂13頭中にイサエヒメコバチはわずか1頭しか認められなかった。

試験3では、放飼したイサエヒメコバチ以外の土着種は認められなかったが、無放飼区においてもイサエヒメコバチの寄生が認められた。最終放飼18日後の7月28日における寄生率は放飼区が95.1%，無放飼区が88.2%であった。

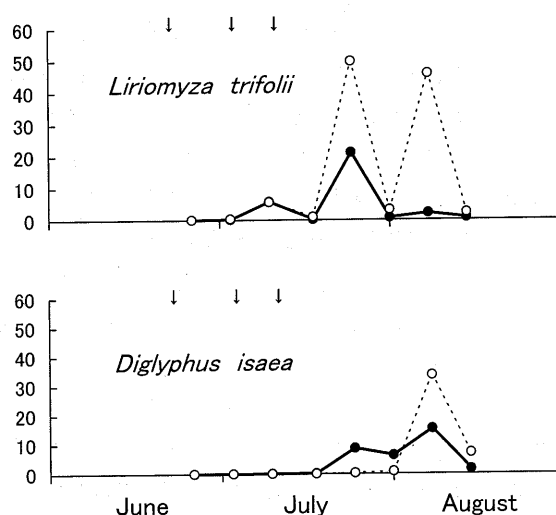


Fig.28 Number of adults of *L.trifolii* and its parasitoid *D.isaea* caught by yellow sticky traps in Trial 3. The symbols are the same as for Fig.24.

Table 17. Number of individuals emerged from larvae or mines of *L. trifolii* on the tomato leaves collected in the greenhouses.

Collected date	Trial 1				Trial 2				Trial 3	
	2 May		10 May		6 June		6 July		28 July	
Species	Release	Control	Release	Control	Release	Control	Release	Control	Release	Control
<i>Diglyphus isaea</i>	45	0	24	1	3	0	1	0	39	15
Indigenous parasitoids ^a	0	0	0	0	5	0	12	0	0	0
<i>L. trifolii</i> (host)	7	25	2	46	13	23	2	31	2	2
% parasitism ^b	86.5	0	92.3	2.1	38.9	0	86.7	0	95.1	88.2

^a *Neochrysocharis formosa* was dominant species.

^b Number of parasitoids emerged / total number of parasitoids and *L. trifolii* emerged $\times 100$.

5. 4 考察

これまで、我が国におけるマメハモグリバエを対象にした寄生蜂の放飼試験は、寒暖の差が大きい我が国の施設環境を考慮して、高温に適したイサエヒメコバチと低温に適したハモグリコマユバチ (Malais and Ravensberg, 1992) の2種の混用資材を用いた2種同時放飼が専ら行われてきた。しかし、前述のように、イサエヒメコバチとハモグリコマユバチそれぞれ単独の天敵資材も今後、販売される見込みで、季節に応じて2種を単独に用いたり、あるいは2種を同時放飼したりする、よりきめ細かい放飼戦略が構築可能となる。しかし、イサエヒメコバチ単独の放飼効果は不明であったことから、本研究では、3月～8月にかけて施設トマトのマメハモグリバエ対象に本種の放飼試験を行った結果、Figs. 24～28に示したように無放飼区と比べるとマメハモグリバエに対する密度抑制効果は明らかで、防除資材として利用価値の高いことが判明した。なお、トマトにおけるマメハモグリバエの被害許容水準はいまだ明確にされていない (Kotze and Dennill, 1996) が、Ledieu and Helyer (1985) によるとナスハモグリバエによるトマトの減収率5%水準は潜孔数13個/葉とされており、この数値を当てはめれば今回行った3回の試験とも被害許容水準以下に密度を抑制できたといえよう。

ところで、施設栽培では、野外から施設内に侵入した土着寄生蜂がマメハモグリバエの密度を抑制した事例が報告されている (西東ら, 1995; 井口, 1997; 柴尾ら, 1996)。野外における土着寄生蜂の実態ははっきりしないが、発消長や密度は野外のハモグリバエ類の発生に依存していると考えられるので、季節変動や地域間差が大きいことは容易に推測される。春期に行った試験1では、換気窓に後述する試験2と同じ2mm目合いの防虫網を使用したため、気温が上昇して換気窓が開いている日中に野外の土着寄生蜂が温室内に侵入する可能性はあった。にもかかわらず、温室内ではイサエヒメコバチ以外の土着種は認められず、また無放飼区では寄生蜂の寄生はほとんど認められなかった。井口 (1997) も12月～3月にかけて行った放飼試験では放飼した種 (2種) 以外の土着寄生蜂の寄生をほとんど認めていない。このように春期には土着寄生蜂のハウス内での活動はあまり期待できないと考えられ、この時期におけるイサエヒメコバチの放飼では本種が優占種になることが多いと思われる。

一方、初夏から夏にかけて行った試験2では、西東

ら (1995) が先に報告した事例と同様に土着種が優占種となった。この試験では、結果的にマメハモグリバエは極めて低密度に抑制されたものの、放飼したイサエヒメコバチが密度抑制効果にどの程度貢献したかは正確にはわからない。しかし、6月6日の調査では1ヶ月後の7月6日の調査よりイサエヒメコバチの頻度は高かったこと (Table 17) から、土着寄生蜂はイサエヒメコバチを温室内に放飼した後に侵入してきたとも考えられる。従って、土着寄生蜂によるマメハモグリバエ密度の抑制が予想される環境条件でも、その侵入密度や種が正確に予測できない限り、防除に失敗するリスクをより少なくするためにはイサエヒメコバチの放飼が必要といえよう。

夏期に行った試験3では、細かな編み目の防虫網を張った温室を使用して土着寄生蜂の温室内への侵入を阻止したため、イサエヒメコバチ以外の土着種は全く認められず、試験2のような野外からの土着寄生蜂の侵入はなかった。ただし、試験後半に無放飼区でも本種がみられるようになったのは、試験温室はガラスの壁1枚を隔てて隣接しているため、調査や栽培管理の際に無放飼区の温室内に放飼区の寄生蜂が侵入したものであると思われる。また、イサエヒメコバチの黄色トラップへの誘殺数は、8月14日には無放飼区の方が放飼区より多くなっているが、これは、寄主のマメハモグリバエ幼虫の密度が7月24日の段階で放飼区の約10倍の密度に増加していたためである。後半、無放飼区に放飼区から寄生蜂が侵入したことを考慮しても、放飼区では幼虫密度 (Fig. 24)、空の潜孔密度 (Fig. 26)、黄色トラップへのマメハモグリバエ誘殺数 (Fig. 28) は無放飼区に比べて明らかに少なく、最高気温が40℃を越えるような夏期の高温期においてもイサエヒメコバチの放飼効果は高いことが判明した。ヨーロッパでもイサエヒメコバチは主に気温の高い夏期に限って使用されていることから (Scholz, 1997)、本種は高温期において利用価値の高い種といえよう。なお、イサエヒメコバチは我が国にも生息する土着種でもあり (Kamijo, 1978; Takada and Kamijo, 1979)、静岡県内のマメハモグリバエからも採集されているが (西東ら, 1996)、試験を行った静岡県農業試験場内ではこれまで *Hemiptarsenus varicornis* (Girault) やハモグリミドリヒメコバチ *Neochrysocharis formosa* (Westwood) などが土着寄生蜂の中で優占種であり、イサエヒメコバチの発生頻度が極めて低かったことから (西東ら, 1995, 1996)、今回の一連の試験で羽化を確認したイサエヒメコバチは温室内に放飼した

寄生蜂の後代と考えて差し支えないと思われる。

今回の放飼試験では、密度抑制効果に大きく影響すると思われる寄生蜂の放飼密度や放飼回数は、現場での普及を考慮して設定した。従って、今回の試験における放飼密度や放飼回数が必ずしも最適かどうかは明らかではない。海外においてもトマトほ場におけるマメハモグリバエに対するイサエアヒメコバチの最適放飼密度に関連した報告はほとんど見当たらないものの、Ushchekov (1994) によると、夏～秋の作型の施設トマトにおいてイサエアヒメコバチ雌成虫とナスハモグリバエ幼虫の密度比率が1:15の1回放飼で効果的にハモグリバエ密度が抑制されたという。一方、著者が今回行った試験1では、寄生蜂第1回放飼時における寄生蜂雌成虫と寄主幼虫の密度比率は約1:20であった。また、試験2および試験3では、第1回放飼時の幼虫密度はともに0であったが、放飼1週間後の幼虫と空の潜孔数の合計値を当てはめた場合、それぞれ約1:2と1:13であった。今回の一連の試験では複数回の放飼をしていることから一概には比較できないものの、Ushchekov (1994) が報告した密度比率1:15は、我が国の施設トマトのマメハモグリバエを対象にした場合も、ほぼ適正な値と考えられる。いずれにしても、本種のように活発に飛翔する天敵昆虫を使ったほ場試験は、原則的に1ハウス1処理となってしまうため、放飼密度などを同時に段階的に設定して最適放飼密度を求める帰納的な研究手法を実施することは現実的には難しい。従って、寄生蜂の最適放飼戦略を構築するためには、これまでのように、様々な条件の元で多くの試験事例を積み重ねるとともに、Yano (1989ab) やBoot et al. (1992), Heinz et al. (1993) が示したようなシミュレーションモデルを利用した理論的な研究手法も必要となろう。

第6章 マメハモグリバエの寄生蜂イサエアヒメコバチ およびハモグリコマユバチに対する各種農薬の影響

6. 1 緒言

ヨーロッパの施設栽培では、ハダニ類の防除にチリカブリダニが実用化された1968年以来、20種以上の害虫に対して約30種類の生物的防除資材が開発され生産現場に導入されてきた (Dissevelt and Ravensberg, 1997)。近年、我が国においても施設栽培での天敵利用、特に商業的に生産された天敵の農薬的利用に関心が高まり、ハダニ類に対するチリカブリダニ、コナジラミ類に対するオンシツツヤコバチなどがすでに農薬登録され、現場でも普及しつつある。一方、マメハモグリバエに対する天敵資材としては、ヨーロッパでも使用されているイサエアヒメコバチ *Diglyphus isaea* とハモグリコマユバチ *Dacnusa sibirica* の2種類の寄生蜂が我が国に導入され (多々良ら, 1993; 小澤ら, 1993)、本研究第5章ではトマトのマメハモグリバエに対するイサエアヒメコバチの防除効果を検討した。

ところで、現場ほ場でこうした天敵資材を用いた生物的防除を成功させるためには、その特性を熟知するとともに、生産者が散布する様々な農薬の天敵類に対する影響を十分に把握しておく必要がある。さらに、現代の害虫管理では、天敵類に悪影響を与えないで対象害虫のみを防除する選択性殺虫剤が必要とされていること (Hassan, 1989) から、IOBC/WPRSのワーキンググループにより天敵類に対する各種農薬の影響が詳細に調べられている (Franz et al, 1980; Hassan et al, 1983; 1987; 1988; 1991; 1994)。そこで得られた結果は、主に天敵販売企業によって天敵資材に対する農薬影響一覧としてまとめられ、普及指導資料として我が国でも利用されている (例えば、雑誌・バイオコントロール巻末資料)。しかし、我が国とヨーロッパとは、農薬登録制度や害虫の発生状況の違いから実際に現場で使用されている農薬の種類や散布方法が異なる場合があり、IOBC/WPRSのワーキンググループによって報告された結果は必ずしも我が国に適用できず、天敵類に対する影響を改めて調べる必要がある。また、マメハモグリバエの天敵資材であるイサエアヒメコバチとハモグリコマユバチに関しては、農薬の影響に関する報告は少なく (Beitia et al, 1991, 1992; Helyer et al, 1992; 多々良ら, 1993)、また IOBC/WPRSのワーキンググループの報告 (Franz et

al, 1980; Hassan et al, 1983; 1987; 1988; 1991; 1994) でも扱われていないことから、オンシツツヤコバチ (河合, 1988; 松井, 1994, 1996; 林, 1996) など他の天敵資材に比べて情報が不足している。そこで、本研究では、我が国で使用頻度の高い様々な農薬について、イサエアヒメコバチとハモグリコマユバチに対する影響を主に室内試験により調べた。

6. 2 材料と方法

(1) 供試虫と供試薬剤

試験には、オランダから輸入されたイサエアヒメコバチとハモグリコマユバチの天敵製品を用いた。これらは輸入後ただちに静岡県農業試験場に輸送され、当場への到着後1週間以内の健全な寄生蜂を各試験に用いた。なお、寄生蜂は供試されるまで5℃の冷蔵庫に保管された。また、寄主としてのマメハモグリバエは、1991年に浜松市で採集した静岡農試累代飼育系統 (西東ら, 1992) を用いた。

供試薬剤はすべて市販の製剤を用い、原則として農薬登録上の常用濃度に希釈して使用した。試験は1994年から1996年にかけて25±2℃, 16L-8Dの恒温室内で行った。なお、後述する残効性試験に関する項目(3)および(5)-3では、薬剤処理されたトマトは温室内で栽培された。

(2) 壁面接触法による2種寄生蜂成虫に対する殺虫効果

Table 18および19に示した殺虫剤36剤、殺菌剤18剤のイサエアヒメコバチおよびハモグリコマユバチ成虫に対する直接的な影響を室内試験により調べた。試験方法は、日本植物防疫協会の「天敵に対する農薬の影響特別連絡試験」においてオンシツツヤコバチに対する農薬の影響評価法として用いられた壁面接触法 (松井, 1994) に準じたが、各農薬の希釈溶媒としては揮発時間が短く薄膜の濃度差がでにくいとされるアセトン (岩田・杉本, 1965) を用いた。

小型管瓶 (9 cc) に99.5%アセトンで所定の濃度に希釈した薬剤を0.1ml注ぎ、ただちに管瓶を回転させ内側に薬剤の薄膜を作った後、寄生蜂成虫を6頭ずつ管瓶に入れ、これらを恒温室内に24時間放置した後、寄生蜂の死虫率を調べた。なお、水和剤はアセトンに溶

けにくかったため、希釈に要するアセトン量の1/10の水であらかじめ十分に溶かした後に残りの量のアセトンを注いで薬液を調整した。また、供試薬剤によるガス効果の影響を防ぐために管瓶の蓋にはテロンゴースを張った直径約1cmの換気用の穴を開け、餌として20%蜂蜜液を浸した5mm角の濾紙を成虫とともに管瓶に入れた。1薬剤につき5本の管ビンを使い、合計30頭の成虫を供試した。対照はアセトンのみの処理とした。

(3) 処理葉接触法による2種寄生蜂成虫に対する残効期間

前述の室内試験の結果、殺虫作用が強いと判断された殺虫剤の中から、特にトマトでの使用頻度が高いと思われる散布剤7剤と粒剤3剤について、寄生蜂成虫に対する薬剤の殺虫作用の残効期間を調べた。試験方法は、日本植物防疫協会の「天敵に対する農薬の影響特別連絡試験」においてオンシツツヤコバチに対する農薬の残効期間の評価法として用いられた散布葉接触法(松井, 1994)と、キクの葉を用いてイサエアヒメコバチとハモグリコマユバチに対する薬剤の影響を調べたHelyer et al. (1992)の方法に準じて行った。すなわち、10号鉢(直径約30cm, 高さ約25cm)に植えたトマト(品種: 桃太郎, 葉数約15枚)に所定の濃度に希釈した薬剤(展着剤としてポリオキシエチレンノニルフェニルエーテル20%+ポリナフチルメタンスルホン酸ナトリウム6%液剤の5000倍を加用)を肩掛け式噴霧器で十分量散布し、所定の日数が経過した後に薬剤が付着した葉を採取した。粒剤では、定植時に所定量(fosthiazate粒剤は、登録上の施用量である30kg/10aを平均的な栽植本数3000本/10aで割った1株当たりの施用量10g)を定植時に植え穴に処理した後、所定の日数が経過した後に下から第2または3節位の葉を採取した。次に、採取した葉(小葉)に20%蜂蜜液を回転式散布塔で適量散布して風乾し、葉とともにイサエアヒメコバチおよびハモグリコマユバチの成虫各10頭を直径9cmのプラスチックシャーレに入れ、恒温室内に48時間放置した後、死虫率を調べた。1薬剤につきトマト3鉢を供試し、各鉢から1枚ずつ計3葉を採取して試験に使用した。なお、薬剤散布は1994年6月16日に行い、トマトはガラス温室内で慣行の方法で管理した。

(4) 葉片浸漬による各種農薬のイサエアヒメコバチ幼虫に対する殺虫効果

イサエアヒメコバチはハモグリバエの幼虫に外部寄生し、寄生蜂の幼虫は葉肉内の坑道中に生息するため、

寄生蜂の幼虫に直接薬剤を処理してその影響を調べることは困難である。そこで、葉ごと薬液に浸漬する方法により、Table 20に示した殺虫剤14剤、殺菌剤5剤の寄生蜂幼虫に対する影響を調べた。

まず、温室内で育成した鉢植えのインゲンマメの初生葉にマメハモグリバエ成虫を24時間接種し産卵させた。次に、産下されたマメハモグリバエ幼虫が老熟幼虫になった時点で、このインゲンマメ数鉢とイサエアヒメコバチ成虫数10頭をともにケージに入れて恒温室内で48時間集団寄生させた。接種後、インゲンマメの鉢を取り出して恒温室内に約1週間放置し、ふ化した寄生蜂の幼虫が老熟幼虫になった時点で葉を切り取った。切り取った葉について、マメハモグリバエの潜孔内に生息する寄生蜂の幼虫数を実体顕微鏡下で数えた後、所定の濃度に希釈した薬液(前述の展着剤加用)に10秒間浸し、風乾した後1枚ずつ濾紙を敷いたスチロール容器に入れて放置した。放置約2週間後に羽化した寄生蜂の数を調べ、薬剤処理前に数えた幼虫数(前蛹を含む)から羽化率を算出した。なお、試験は3反復で行い、1薬剤につき合計32~65頭の寄生蜂幼虫を供試した。

(5) 各種農薬の寄生蜂の寄生行動に及ぼす影響

前述の寄生蜂成虫または幼虫に対する農薬の影響試験において、直接的な殺虫作用がなかった殺虫剤と若干の殺虫作用が認められた殺菌剤を中心に、薬剤散布後に寄生蜂を放飼した場合の寄生蜂の寄生行動に及ぼす影響を調べた。

1. イサエアヒメコバチの寄主攻撃に及ぼす散布葉接触の影響

Table 21に示した殺虫剤13剤と殺菌剤4剤を供試した。まず、初生葉のみを残した鉢植えのインゲンマメにマメハモグリバエを24時間産卵させ、ふ化2日後の中齢幼虫の時点で葉当たり20~50頭の幼虫が着生した1葉だけを残し、これに所定の濃度に希釈した薬液(前述の展着剤加用)をハンドスプレーで十分量散布した。風乾した後、このインゲンマメ鉢を高さ約40cm, 直径約25cmの円筒形の透明プラスチック容器の中に1鉢ずつ入れ、容器内にイサエアヒメコバチの雌雄成虫各5頭を48時間放飼し、寄生させた。放飼48時間後に処理したインゲンマメ葉を切り取り、実体顕微鏡下でマメハモグリバエ幼虫の生存個体数と死亡個体数を調べた。本試験に供試した薬剤は、マメハモグリバエ幼虫に対する殺虫作用をほとんど有しないこと(西東ら, 1992)から、ハエ幼虫の死亡要因はすべて寄生蜂による寄主攻撃(産卵および寄主体液摂取)であるとみな

し、寄主攻撃によるハエ幼虫の死亡率を算出した。また、調査時にすでに蛹化した寄主個体は幼虫死亡率の計算から除外した。なお、試験は3反復行った。

2. ハモグリコマユバチの寄主攻撃に及ぼす散布薬接触の影響

イサエアヒメコバチの場合と同様に、マメハモグリバエの中齢幼虫が寄生したインゲンマメの葉に薬剤を処理した後、ハモグリコマユバチの雌雄成虫各5頭を48時間寄生させた。インゲン鉢はそのまま数日間放置し、マメハモグリバエ幼虫がすべて蛹化した後に、これらの蛹をすべて回収した。回収した蛹は、湿らした濾紙を底に敷いた直径7cm深さ5cmのアイスクリームカップに入れて約3週間放置し、羽化したハモグリコマユバチ成虫とマメハモグリバエ成虫数を調べて、両者の合計に対する前者の割合をハモグリコマユバチの寄生率とみなした。なお、マメハモグリバエに対して羽化阻害作用のあるflufenoxuron剤（西東ら、1992）などを除いた殺虫剤10剤を供試した（Table 22）。試験は3反復で行った。

3. 植え穴処理したimidacloprid粒剤のイサエアヒメコバチの寄主攻撃に及ぼす影響

前述の農薬の残効期間の試験に供試した3種類の粒剤のうち、寄生蜂の成虫に対する殺虫作用がほとんど認められなかったimidacloprid粒剤について、寄生蜂の寄生行動に及ぼす影響があるかどうかを調べた。

試験はハウス内に定植したトマトを用いて行い、imidacloprid粒剤は2g/株を定植時（1995年6月1日）に植え穴処理した。薬剤処理直後、19日後、27日後および33日後に、処理区と無処理区の各3株から接種又は自然発生したマメハモグリバエ幼虫が着生した複葉を1枚ずつ切り取ってそれぞれガラス瓶に水差しし、前述の鉢植えのインゲンマメを用いた試験と同様に、25±2℃の恒温室内でイサエアヒメコバチの雌雄成虫各5頭を48時間接種した後にハエ幼虫死亡率を調べた。

（6）虫体浸漬によるIGR剤のイサエアヒメコバチ次世代の生存に及ぼす影響

前述の試験結果から、成・幼虫に対する直接的な影響と寄生行動に及ぼす影響がないと判断されたIGR4剤について、さらに、薬剤を寄生蜂の雌成虫に処理した場合に、蜂の次世代の生存に及ぼす影響を調べた。

まず、初生葉のみを残した鉢植えのインゲンマメにマメハモグリバエを24時間産卵させ、産下された幼虫が老熟幼虫になった時点で葉当たり50頭前後の幼虫が寄生している葉を葉柄の基から切り取った。次に、直径約13cm、高さ約10cmのプラスチックカップの蓋に切

り取った葉の葉柄をさし、これにテトロンゴースを底に張ったプラスチックカップをかぶせ、水を張った別の容器に水差しした。一方、2日間マメハモグリバエ幼虫を与え蔵卵させたイサエアヒメコバチの雌成虫を所定濃度に希釈した薬液に10秒間浸漬した。その後、蜂を濾紙上で風乾させ、前述のインゲン葉が入ったカップの中に5頭ずつ入れ、48時間寄生させた。次に、インゲン葉を取り出し、ティッシュペーパーで葉を包んでビニール袋に入れ、恒温室内に約3週間放置した後、羽化した寄生蜂の数と葉肉に残っているマメハモグリバエの死亡幼虫数を数え、両者の合計に対する前者の割合を算出して、次世代への影響評価の指標とした。なお、pyriproxyfen乳剤1000倍液は粘着性があり、この方法では処理後の蜂の飛翔活動が阻害される傾向がみられたので、細筆で直接薬液を虫体に附着させた。試験は3反復行った。

6. 3 結果

（1）壁面接触法による2種寄生蜂成虫に対する殺虫効果

Table 18にイサエアヒメコバチとハモグリコマユバチ成虫の殺虫剤処理24時間後の補正死虫率を示した。

有機リン、合成ピレスロイド、カーバメートおよびネライストキシシン系の殺虫剤のすべてとemamectin benzoateおよびchlorphenapyrでは、2種寄生蜂ともに死虫率はほぼ100%であり、これらの薬剤の寄生蜂成虫に対する殺虫作用は極めて強かった。一方、IGR剤、BT剤、pymetrozineおよびsodium oleateでは、2種寄生蜂ともに殺虫作用はほとんど認められなかった。殺ダニ剤による死虫率は0~100%と剤の種類により異なったが、fenpyroximateとmilbemectinの殺虫作用が特に強かった。クロロニコチニル系剤（imidacloprid, nitenpyram, acetamiprid）では、イサエアヒメコバチについては死虫率70.8~100%と概して殺虫作用は強かったが、ハモグリコマユバチでは死虫率5.6~100%と剤の種類によりばらつきが大きかった。ハモグリコマユバチに対するnitenpyramの殺虫作用は弱かった。

Table 19に各種殺菌剤による補正死虫率を示した。剤の種類と寄生蜂の種類によって死虫率が大きくばらついたが、殺虫剤に比べると死虫率50%以上の殺虫作用を示した剤は少なく、イサエアヒメコバチに対してはcaptan（75.3%）とzineb（53.3%）が、ハモグリコマユバチに対してはcaptan（51.3%）とtriadimefon（79.1%）およびsulfur（48.7%）の殺虫作用がやや強かった。

Table 18. Contact toxicity of some insecticides and acaricides to adults of *Diglyphus isaea* and *Dacnusa sibirica*

Insecticide and acaricide (Formulation, %AI) ^a	Dilution ^b	% corrected mortality ^c	
		<i>Dacnusa sibirica</i>	<i>Dacnusa sibirica</i>
Organophosphate			
Acephate (W, 50)	X1,000	100.0	100.0
Dichlorvos (E, 50)	X1,000	100.0	100.0
Isoxathion (E, 50)	X1,000	100.0	100.0
Malathion (E, 50)	X1,000	100.0	100.0
Methidathion (E, 40)	X1,000	100.0	100.0
Naled (E, 50)	X1,000	100.0	100.0
Pirimiphos-methyl (E, 45)	X1,000	100.0	100.0
Pyrazophos (E, 27.5)	X500	100.0	—
Synthetic pyrethroid	X1,000	100.0	100.0
Ethofenprox (E, 20)	X4,000	100.0	100.0
Flivalinate (W, 20)			
Nereistoxin analog	X1,000	100.0	100.0
Cartap (S, 50)	X1,000	100.0	100.0
Thiocyclam (W, 50)			
Carbamate	X1,000	100.0	100.0
Ethiofencarb (E, 50)	X1,000	100.0	100.0
Methomyl (W, 45)	X2,000	91.7	100.0
Pirimicarb (W, 48)			
Chloronicotinyl	X1,000	100.0	31.0
Imidacloprid (W, 10)	X1,000	100.0	100.0
Nitenpyram (W, 10)	X2,000	70.8	5.6
Acetamiprid (W, 20)			
Insect growth regulator (IGR)	X1,000	0.0	3.3
Buprofezin (W, 25)	X2,000	0.0	3.3
Chlorfluazuron (E, 5)	X4,000	0.0	0.0
Flufenoxuron (E, 10)	X1,000	6.7	0.0
Pyriproxyfen (E, 10)	X2,00	3.3	10.0
Teflubenzuron (E, 5)			
Acaricides	X1,500	20.0	46.7
Bromopropylate (E, 45)	X2,000	46.7	86.7
Dicofol (E, 40)	X1,000	63.3	46.7
Fenbutatin oxide (W, 25)	X1,000	100.0	100.0
Fenpyroximate (F, 5)	X1,500	83.3	100.0
Milbemectin (E, 1)	X1,500	72.0	82.6
Propargite (E, 30)	X1,000	75.9	73.3
Pyridaben (F, 20)	X2,000	0.0	0.0
Hexythiazox (W, 10)			
Others	X2,000	100.0	100.0
Emamectin benzoate (E, 1)	X1,000	100.0	100.0
Chlorphenapyr (F, 10)	X1,000	0.0	0.0
<i>Bacillus thuringiensis</i> (W, 10)	X3,000	0.0	0.0
Pymetrozine (W, 25)	X100	0.0	11.1
Sodium oleate (L, 20)			

^a E: Emulsifiable concentrate, W: Wettable powder, S: Water-soluble powder, F: Flowable, L: Liquid formulation, G: Granule

^b Materials were solute in acetone.

^c Corrected by method of Abbott (1925). Control mortalities were from 0% to 16.7%.

Table 19. Contact toxicity of some fungicides to adults of *Diglyphus isaea* and *Dacnusa sibirica*

Fungicide (Formulation, %AI) ^a	Dilution ^b	% corrected mortality ^c	
		<i>Diglyphus isaea</i>	<i>Dacnusa sibirica</i>
Captan (W, 80)	X800	75.3	51.3
Zineb (W, 72)	X400	53.3	33.3
Diethofencarb+Procymidone (W, 12)	X2,000	29.4	
Copper sulfate (W, 58)	X500	23.3	23.3
Sulfur (W, 52)	X500	22.4	48.7
Difenoconazole (W, 10)	X2,000	18.8	—
Potassium hydrogen carbonate (W, 80) X	X1,000	16.7	6.7
Mancozeb (W, 75)	X400	16.7	23.3
Triflumizole (W, 30)	X2,000	16.7	0
Anilazine (W, 50)	X600	13.3	10
Triadimefon (W, 5)	X1,000	6.7	79.1
Benomyl (W, 50)	X1,000	6.7	6.7
Chlorothalonil (W, 40)	X1,000	6.7	0
Iprodione (W, 50)	X1,000	3.3	0
Procymidone (W, 50)	X1,000	0	6.7
Triforine (E, 15)	X1,000	0	
Polyoxins (E, 10)	X1,000	0	3.3
Chinomethionat (W, 25)	X1,500	0	30

^a See Table 18.^b Materials were solute in acetone.^c Corrected by method of Abbott (1925). Control mortalities were from 0% to 16.7%.

(2) 処理葉接触法による2種寄生蜂成虫に対する残効期間

供試した10剤について、薬剤処理後の2種寄生蜂の補正死虫率の推移をFig. 29に示した。有機リン系のacephateおよびfosthiazate粒剤では、処理1週間後には死虫率90%以上の強い殺虫作用が認められ、時間経過とともに死虫率は低下したが、2種寄生蜂の死虫率がともに25%以下に低下するのはacephateで処理7週間後、fosthiazateで処理6週間後と残効期間が長かった。一方、クロロニコチニル系のimidacloprid粒剤では、殺虫作用はイサエアヒメコバチ、ハモグリコマユバチともにほとんど認められなかった。

散布剤では、有機リン系のacephate, isoxathionの処理直後の死虫率は100%と高く、また、2種寄生蜂の死虫率がともに25%以下に低下したのは、両剤とも処理7週間後と長かった。殺ダニ剤のpyridaben, 合成ピレスロイド剤のethofenprox, ネライストキシン系のcartapでは、薬剤処理直後の死虫率はイサエアヒメコバチではそれぞれ60.7, 77.9, 100%, ハモグリコマユバチではそれぞれ88.9, 100, 100%と高かった。また、2種寄生蜂の死虫率がともに25%以下に低下したのはいずれの薬剤も処理3週間後であった。imidaclopridでは、処理直後のイサエアヒメコバチの死虫率は58.0%, ハモグリコマユバチでは40.0%であり、死虫率が25%以下に低下したのは2種寄生蜂ともに処

理2週間後であった。Dichlorvosでは、処理直後は死虫率が100%と高かったが、1週間後には約10%以下と急激に低下した。

(3) 葉片浸漬による各種農薬のイサエアヒメコバチ幼虫に対する殺虫効果

供試した各薬剤を処理した場合のイサエアヒメコバチ幼虫の羽化率(3反復の平均値)をTable 20に示した。供試した薬剤の中で、対照区(水処理)と比較して有意に羽化率が低かった($p<0.05$)薬剤は、カーバメート剤のmethomyl, 合成ピレスロイド剤のethofenprox, ネライストキシン系剤のthiocyclamの3剤であった。IGR剤のpyriproxyfenは、対照区に比べて羽化率はやや低かったが、有意差は認められなかった。一方、壁面接触法では成虫の死虫率50%以上と成虫に対する明らかな殺虫作用が認められたpyridaben, imidaclopridおよび殺菌剤のzineb, captan (Table 18, 19)では、羽化率の差は有意でなかった。また、IGR剤やBT剤など成虫に対する殺虫作用が認められなかった薬剤(Table 18)は、羽化率にも有意な差は認められなかった。

(4) 各種農薬の2種寄生蜂の寄生行動に及ぼす影響

1. イサエアヒメコバチによる寄主攻撃に及ぼす散布葉接触の影響

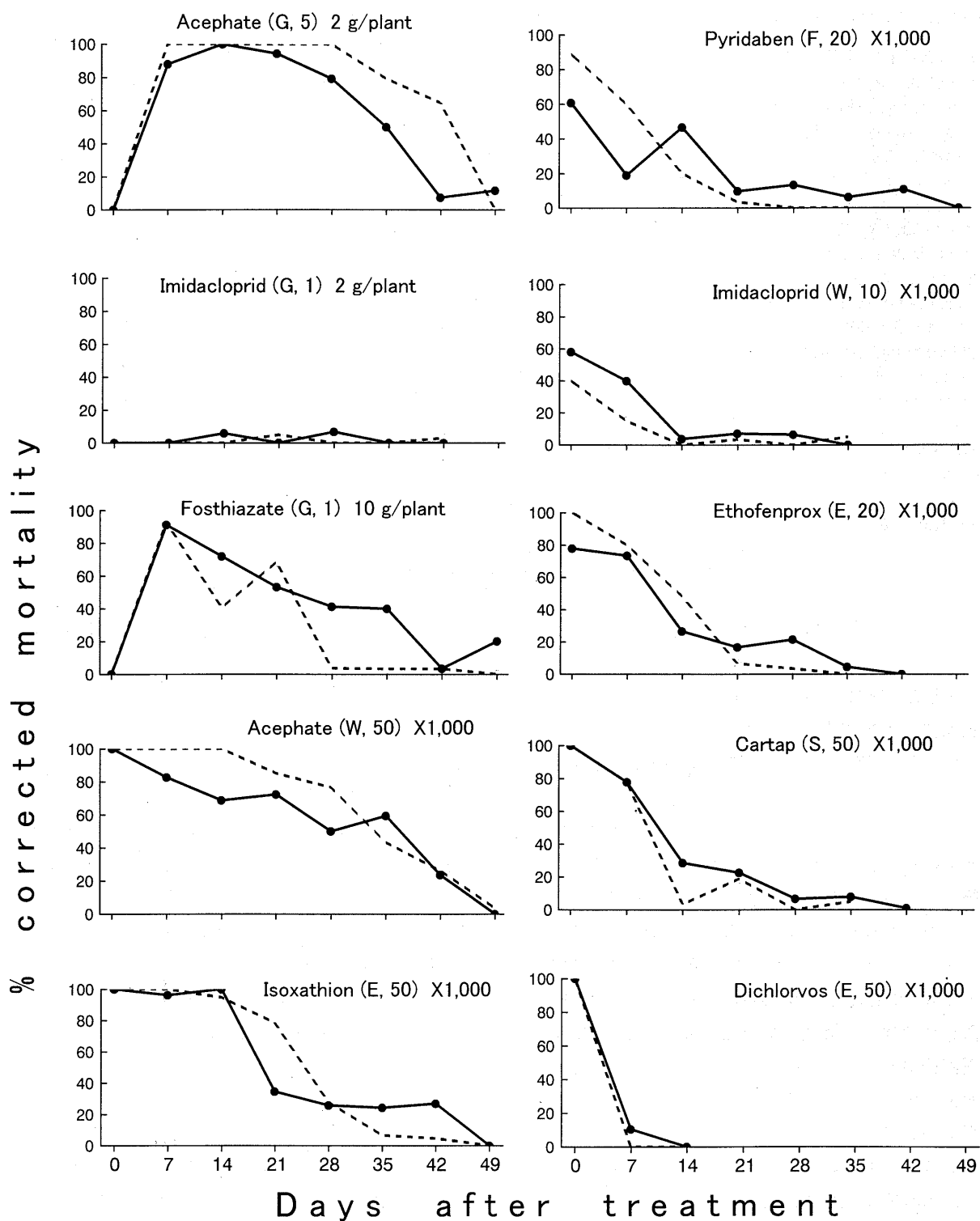


Fig.29 Residual contact toxicity of some insecticides on tomato leaves in greenhouse to adults of leafminer parasitoids, *Diglyphus isaea* and *Dacnusa sibirica*. Closed circles with solid line indicate *D. isaea*, open circles with broken line indicate *D. sibirica*. Formulation in parentheses, see Table 18.

各薬剤を処理した場合のマメハモグリバエの幼虫死亡率（3反復の平均値）をTable 21に示した。対照区と比較して、幼虫死亡率が有意に低かった（ $p<0.05$ ）薬剤は、ethofenprox, imidacloprid, pymetrozine, pirimicarbの4つの殺虫剤であった。一方、壁面接触法による成虫の死虫率では50%以上の殺虫作用が認められた殺ダニ剤のfenbutatin oxideおよびpyridaben（Table 18）では、有意差は認められなかった。

2. ハモグリコマユバチによる寄主攻撃に及ぼす散布葉接触の影響

各薬剤を処理した場合の羽化した寄生蜂数の割合（寄生蜂数／（寄生蜂数＋寄主ハエ数）×100，3反復の平均値）をTable 22に示した。Ethofenproxおよびpirimicarbでは、正常に羽化した寄生蜂は羽化個体数

の5%以下であり、ほとんどが寄主のマメハモグリバエであった。一方、その他の殺虫・殺ダニ剤および殺菌剤では羽化個体の70%以上が寄生蜂であり、寄生蜂の割合は対照区と比べて有意差（ $p>0.05$ ）は認められなかった。

3. 植え穴処理したimidacloprid粒剤のイサエヒメコバチの寄主攻撃に及ぼす影響

トマトの定植時にimidacloprid粒剤2 g／株を処理した場合の定植直後、定植19，27，34日後のイサエヒメコバチの寄生による幼虫死亡率をFig. 30に示した。

定植直後の幼虫死亡率は処理区が75.9%，無処理区が71.7%と差はみられなかった。しかし、定植19日後の処理区の幼虫死亡率は46.8%で無処理区の73.9%に比べると低下したが、有意差は認められなかった（ $p>0.05$ ）。定植後27および33日後の幼虫死亡率は、区間で有意差はなかった。

Table 20. Effects of some pesticides on mature larvae of *Diglyphus isaea*

Pesticide (Formulation, %AI) ^a	Dilution ^b	% emergence $\pm$ SD(Total number of mature larvae tested)	
Insecticide and acaricide			
Methomyl (W, 45)	X1,000	2.6 $\pm$ 3.6 ** ^c	(37)
Ethofenprox (E, 20)	X1,000	26.9 $\pm$ 5.7 *	(43)
Thiocyclam (W, 50)	X1,000	30.5 $\pm$ 5.3 *	(58)
Pyriproxyfen (E, 10)	X1,000	43.0 $\pm$ 18.5	(57)
Pyridaben (F, 20)	X1,000	68.1 $\pm$ 5.2	(70)
Fenbutatin oxide (W, 25)	X1,000	80.8 $\pm$ 14.4	(65)
Flufenoxuron (E, 10)	X4,000	77.3 $\pm$ 10.2	(38)
Teflubenzuron (E, 5)	X2,000	80.5 $\pm$ 11.5	(50)
<i>Bacillus thuringiensis</i> (W, 10)	X1,000	84.5 $\pm$ 15.6	(53)
Imidacloprid (W, 10)	X1,000	84.9 $\pm$ 12.4	(61)
Hexythiazox (W, 10)	X2,000	86.1 $\pm$ 10.4	(43)
Buprofezin (W, 25)	X1,000	92.3 $\pm$ 10.1	(35)
Sodium oleate (L, 20)	X100	97.4 $\pm$ 3.6	(65)
Pymetrozine (W, 25)	X3,000	91.1 $\pm$ 7.4	(51)
Fungicide			
Benomyl (W, 50)	X1,000	90.9 $\pm$ 12.9	(38)
Chinomethionat (W, 25)	X1,500	89.1 $\pm$ 10.5	(32)
Zineb (W, 72)	X400	97.6 $\pm$ 3.3	(35)
Captan (W, 80)	X800	100 $\pm$ 0	(45)
Mancozeb (W, 75)	X400	98.7 $\pm$ 1.9	(51)
Water (control)		86.5 $\pm$ 16.3	(48)

^a See Table 18.

^b Materials were solute in water.

^c Asterisks mean significant difference ($p<0.01$ = **, $p<0.05$ = *) between treatments and control by one-way ANOVA using angular transformation value.

Table 21. Effects of some pesticides on attack behavior of adults of *Diglyphus isaea* against larvae of *Liriomyza trifolii*

Pesticide (Formulation, %AI) ^a	Dilution ^b	% killed hosts $\pm$ s.d. (Total number of hosts)
Insecticide and acaricide		
Ethofenprox (E, 20)	X1,000	11.4 $\pm$ 4.4 *** ^c (52)
Imidacloprid (W, 10)	X1,000	20.4 $\pm$ 9.4 *** (72)
Pirimicarb (W, 48)	X1,000	16.3 $\pm$ 12.1** (136)
Pymetrozine (W, 25)	X3,000	45.7 $\pm$ 14.0** (161)
Teflubenzuron (E, 5)	X2,000	81.8 $\pm$ 18.3 (257)
Fenbutatin oxide (W, 25)	X1,000	92.1 $\pm$ 4.7 (139)
<i>Bacillus thuringiensis</i> (W, 10)	X1,000	93.2 $\pm$ 8.0 (197)
Sodium oleate (L, 20)	X100	94.7 $\pm$ 7.5 (186)
Buprofezin (W, 25)	X1,000	95.6 $\pm$ 3.3 (216)
Pyridaben (F, 20)	X1,000	99.1 $\pm$ 1.3 (191)
Pyriproxyfen (E, 10)	X1,000	98.9 $\pm$ 0.8 (201)
Flufenoxuron (E, 10)	X4,000	100 $\pm$ 0 (202)
Hexythiazox (W, 10)	X2,000	100 $\pm$ 0 (101)
Fungicide		
Chinomethionat (W, 25)	X1,500	99.6 $\pm$ 0.5 (222)
Captan (W, 80)	X800	100 $\pm$ 0 (164)
Zineb (W, 72)	X40	100 $\pm$ 0 (194)
Benomyl (W, 50)	X1,000	100 $\pm$ 0 (175)
Water (control)		97.8 $\pm$ 2.2 (194)

^a See Table 18.^b Materials were solute in water.^c Asterisks mean significant difference ($p < 0.001 = ***$, $p < 0.01 = **$) between treatments and control by one-way ANOVA using angular transformation value.Table 22. Effects of some insecticides on parasitism of *Dacnusa sibirica* against *Liriomyza trifolii*

Insecticide (Formulation, %AI) ^a	Dilution ^b	% parasitism $\pm$ s.d. (Total number of emerged insects)
Ethofenprox (E, 20)	X1,000	1.9 $\pm$ 2.6 ** ^c (75)
Pirimicarb (W, 48)	X1,000	4.2 $\pm$ 5.9 ** (108)
Fenbutatin oxide (W, 25)	X1,000	70.0 $\pm$ 28 (26)
Imidacloprid (W, 10)	X1,000	86.6 $\pm$ 8.3 (47)
Pyriproxyfen (E, 10)	X1,000	93.9 $\pm$ 8.6 (60)
<i>Bacillus thuringiensis</i> (W, 10)	X1,000	94.4 $\pm$ 7.9 (31)
Hexythiazox (W, 10)	X2,000	94.1 $\pm$ 1.9 (59)
Pymetrozine (W, 25)	X3,000	97.4 $\pm$ 3.6 (21)
Buprofezin (W, 25)	X1,000	100 $\pm$ 0 (22)
Sodium oleate (L, 20)	X100	100 $\pm$ 0 (24)
Water (control)		89.3 $\pm$ 9.1 (29)

^a See Table 18.^b Materials were solute in water.^c Asterisks mean significant difference ($p < 0.01 = **$) between treatments and control by one-way ANOVA using angular transformation value.

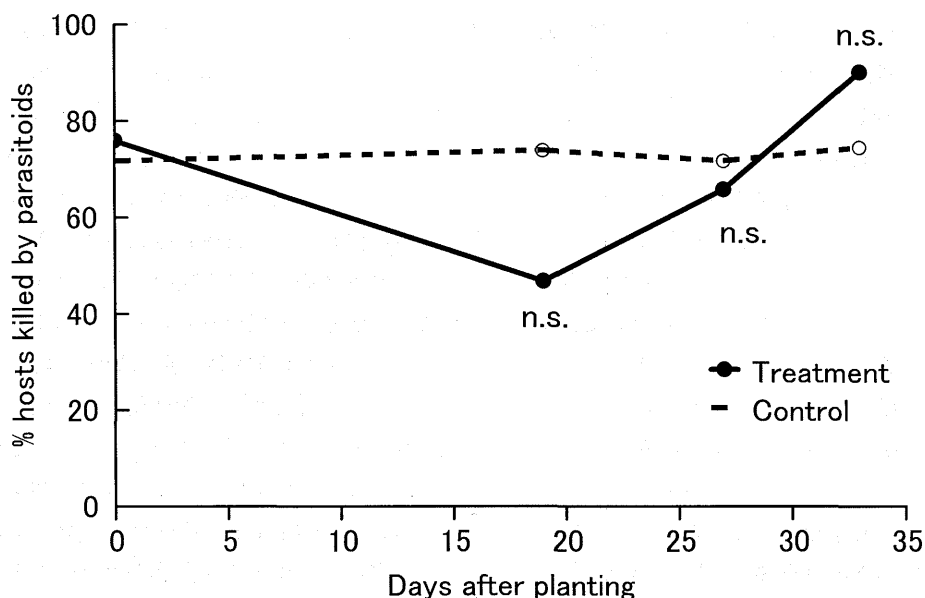


Fig.30 Effect of Imidacloprid 1G on attack behavior of *D.isaea* against *L.trifolii* on tomato. 2 g per plant applied to planting hole. Closed circles with solid line indicate treatment, open circles with broken line indicate control, n.s. means insignificant difference ($p < 0.05$) between treatment and control by one-way ANOVA using angular transformation value.

(5) 虫体浸漬による I G R 剤のイサエヒメコバチ次世代の生存に及ぼす影響

I G R 系殺虫剤 4 剤をイサエヒメコバチの成虫に処理した場合の次世代成虫の羽化率 (= 寄生蜂羽化数 / (寄生蜂羽化数 + 死亡寄主幼虫数) × 100) を

Table 23に示した。

羽化率はbuprofezin, teflubenzuron, flufenoxuron およびpyriproxyfenで、それぞれ50.7, 54.4, 61.6, 61.8%であり、いずれも対照の54.4%との差は認められなかった ($p > 0.05$)。

Table 23. Effects of IGR insecticides on progeny of *Diglyphus isaea* adults

Insecticide (Formulation,%AI) ^a	Dilution ^b	% parasitism ^c ±s.d. (Total number of hosts killed)
Buprofezin (W, 25)	X1,000	50.7 ±6.0 (165) n.s. ^d
Teflubenzuron (E, 5)	X2,000	54.4 ±10.2 (189) n.s.
Flufenoxuron (E, 10)	X4,000	61.6 ±9.2 (189) n.s.
Pyriproxyfen (E, 10)	X1,000	61.8 ±6.3 (95) n.s.
Water (control)		54.4 ±22.1 (281)

^a See Table 18.

^b Materials were solute in water.

^c % parasitism : No. of adults of *D. isaea* emerged / (no. of adults of *D. isaea* emerged + no. of dead larvae of *L. trifolii*) × 100

^d n.s.: No significant difference ($p > 0.05$) between treatments and control by one-way ANOVA using angular transformation value.

6. 4 考察

近年、我が国でも精力的に天敵資材の導入が図られているトマトには、殺虫剤70種類以上、殺菌剤80種類以上もの登録農薬がある。このすべてについて、天敵資材に対する影響を評価するのは困難ではあるが、使用頻度の高い薬剤、あるいは今後使用が見込まれる新薬剤については、導入される天敵資材に対する影響をあらかじめ検討しておく必要がある。ところで、我が国でも販売が開始されたマメハモグリバエの天敵寄生蜂イサエヒメコバチとハモグリコマユバチに対する農薬の影響については、これまでにいくつかの報告がある (Beitia et al., 1991, 1992; Helyer et al., 1992; 多々良ら, 1993)。しかし、これらの報告は、我が国では使用頻度の少ない薬剤を扱っていたり、また成虫や幼虫への直接的な活性のみを調べた断片的な報告にとどまっている。そこで、本研究では、これら2種の寄生蜂に対する農薬の影響について、室内試験によって様々な角度から評価した。

有機リン、カーバメート、合成ピレスロイドおよびネライストキシン系の非選択性殺虫剤については、供試したいずれの薬剤も寄生蜂成虫や幼虫および寄生行動に対する強い影響がみられた。有機リンなどの非選択性殺虫剤の散布は、ほ場においてもマメハモグリバエの土着寄生蜂群集に有害な影響を与えることがわかっており (西東ら, 1996)、本研究で扱った2種寄生蜂に対しても極めて有害な影響を与えることが推察された。また、粒剤を定植時に植え穴処理した場合も、供試したacephateおよびfosthiazateでは、強い殺虫作用が1ヶ月以上持続し、やはり天敵を導入する場合は使用しにくいことが示唆された (Fig. 29)。このように、土壌中に処理されたこれら2種の粒剤が散布葉接触法で殺虫作用を示す理由としては、寄生蜂が葉片の切断面から流れ出した薬剤を含んだ汁液を摂取することも考えられた。しかし、切断面をビニールでシールして実験を行った結果でも、同様の殺虫作用が認められたこと (小澤ら, 未発表) から、薬剤の成分が植物体内に浸透して葉の表面ににじみ出し、寄生蜂がこれに接触するためと考えられる。いずれにしても、有機リンなどの非選択性殺虫剤は、天敵を使用する総合防除体系には原則として組み込めないと思われる。

Imidaclopridに代表されるクロロニコチニル系殺虫剤 (塩川ら, 1994) は、有機リンなど既存の殺虫剤に感受性が低下した害虫に対しても有効であり、アブラムシ類、コナジラミ類などの半翅目昆虫や総翅目昆虫

に対して非常に高い基礎活性を有し (坪井, 1993; 塩川ら, 1994) から、広く利用されつつある。また、天敵類に対する影響が比較的小さく、ナス栽培において土着天敵を活用した総合防除体系にも採用されている (根本, 1995)。しかし、imidacloprid水和剤はオンシツヤコバチに対する影響が強く (林, 1996)、また今回の試験でマメハモグリバエの寄生蜂2種に対する殺虫作用が強く、また寄生行動に対する阻害作用もみられ、トマト栽培で天敵を用いる総合防除体系に組み込むことは難しいと思われる。一方、植え穴処理したimidacloprid粒剤は寄生蜂成虫に対する殺虫作用は全く認められず、また植え穴処理後約3週間経過すると寄生行動への影響も認められなくなった。これらの結果から、トマト栽培でマメハモグリバエ寄生蜂を利用する場合は、imidacloprid粒剤などクロロニコチニル系粒剤を育苗鉢に施用する方法がコナジラミ類への防除の点からも実用的と考えられる。

I G R系殺虫剤は一般に脱皮や変態など昆虫に特有な成育過程に作用し、正常な発育を阻害する (竹田・桑野, 1997)。また、キチン合成阻害剤は、成虫に摂食させると産下された卵のふ化が阻害される作用があることが知られている (竹田・桑野, 1997)。そこで、マメハモグリバエの寄生蜂に対しても同様の作用があるかどうかをI G R系殺虫剤5剤について調べた結果、供試したいずれの剤も、イサエヒメコバチの老熟幼虫の発育に対してはほとんど影響が認められなかった。また、イサエヒメコバチの雌成虫にI G R剤を処理した試験では、寄生蜂の産卵により死亡した寄主幼虫は寄生蜂の幼虫に捕食され最終的には消失することから、観察された死亡幼虫は寄主体液摂取による死亡と考えられる。ここで、雌成虫を処理した薬剤の影響を受けて産下された卵が発育阻害によって死亡すれば、産卵されたハエ幼虫も死亡幼虫数に加算されるため、羽化した寄生蜂とハエの死亡幼虫の合計数に対する前者の割合は無処理に比べて低くなると考えられるが、供試したいずれの薬剤でも有意差は認められず、次世代の生存に対する影響は認められなかった。さらに、寄生行動に及ぼす影響もみられないことから、一連のI G R剤は、マメハモグリバエ寄生蜂に対する影響の少ない殺虫剤といえる。なお、buprofezinについては、今回の試験では寄生蜂成虫、幼虫および寄生行動に及ぼす影響は全く認められていないが、イサエヒメコバチの卵に対しては若干の影響 (殺卵作用) があるとされ (Beitia et al., 1991)、またハモグリコマユバチ成虫に対しても影響が認められるとする報告も

ある(多々良ら, 1993)。また, 幼若ホルモン活性物質であるpyriproxyfen(波多腰・中山, 1987)については, イサエヒメコバチ幼虫に対する弱い羽化阻害作用が認められたが, ヒメハナカメムシに対する有害な影響はないものの(永井, 1993), オンシツツヤコバチ*Encarsia formosa*に対する羽化阻害(林, 1996; Liu and Stansly, 1997)と羽化成虫の羽の奇形(Liu and Stansly, 1997)やカイガラムシの寄生蠅に対する有害な影響(Mendel et al., 1994)が報告されている。

前述のように, IGR剤は総じてマメハモグリバエ寄生蜂に対する有害な影響は少なく, 総合防除体系の中に組み込み可能と思われるが, 天敵に対する安全性を確認するためには, さらにほ場規模での検証が必要である。なお, ハモグリコマユバチの寄生行動に及ぼす影響について, マメハモグリバエに対して羽化阻害作用のあるflufenoxuron(西東ら, 1992)などのベンゾイルフェニル尿素系化合物は, 今回行った寄生蜂の羽化による評価方法では羽化個体がほとんど確認できないため評価できなかった。これらの薬剤のハモグリコマユバチの寄生行動に及ぼす影響を調べるためには, 寄生蜂接種後に寄主を解剖して産卵の有無を確認なくてはならない。

Sodium oleateは, オンシツツヤコバチやチリカブリダニなどの天敵類に影響の少ないことが明らかになっている(松田ら, 1995; 林, 1996)。本研究で扱ったマメハモグリバエ寄生蜂2種についても, 成虫, 幼虫(イサエヒメコバチ)および寄生行動に対する影響は認められず, 天敵類と組み合わせて使用することは可能である。ただし, 本剤は昆虫の気管系の物理的封鎖という作用を持ち, 残効性, 忌避効果および殺卵活性はほとんどない(松田ら, 1995)ので, 他剤に比べると使用場面は限られよう。

Pymetrozineは, 半翅目害虫に対して吸汁行動を阻害し餓死させる特異な作用(Kayser et al., 1994; Harrewijn and Kayser, 1997)があり, 他の殺虫剤に対して抵抗性の発達した害虫に対しても有効(Fluckiger et al., 1992)でオンシツツヤコバチ(Senn et al., 1994; 林, 1996; 松井, 1996)やマルハナバチ(Senn et al., 1994)に対する有害な影響も少ないことから総合防除体系での基幹剤として期待されている。マメハモグリバエ寄生蜂についても, 成虫および幼虫に対する殺虫作用は全く認められず, ハモグリコマユバチの寄生行動への影響もみられなかった。ただし, イサエヒメコバチの寄生行動に対する若干の影響が認められた。これはイサエヒメコバチが寄主体

液摂取をする習性があり, 葉の表面に付着した薬剤を体内に取り込んだために剤の持つ摂食阻害作用が発現したためと考えられる。しかし, 今回の試験は薬剤の影響がしやすい室内実験によるものであり, 温室内で行った同様の実験では影響はみられていない(小澤, 1999a)。このことからpymetrozineもIGR剤と同様に総合防除体系に組み込み可能と思われる。

BT剤については, Helyer et al. (1992)やBeitia et al. (1992)がすでに報告しているように, 2種寄生蜂の成虫および幼虫に対する影響は認められず(Table 18, 20), また今回の試験で寄生行動に対する影響も認められなかった(Table 21, 22)。従って, BT剤は, 鱗翅目害虫の防除手段として, 総合防除体系に組み込むことは容易と思われる。

殺ダニ剤については, 剤の種類によって成虫に対する殺虫作用にばらつきがみられたが, 比較的新しい剤であるfenpyroximate, milbemectinおよびpyridabenの3剤は, 死虫率50%以上と寄生蜂に対する殺虫活性はやや高かった(Table 18)。Pyridabenは, トマト栽培ではコナジラミ類の防除薬剤として用いられているが, 多々良ら(1993)の報告と同様に, マメハモグリバエ寄生蜂に対する殺虫作用があり, また残効期間も長く, トマトで寄生蜂を導入する場合には使用しにくい剤と考えられる。ただし, 本剤はガーベラ栽培ほ場では, マメハモグリバエの土着寄生蜂群集に対する影響は小さい(西東ら, 1996)とされており, 今後はトマト栽培ほ場における検討も必要となろう。一方, bromopropylate, dicofol およびfenbutatin oxideは, fenpyroximateなど比較的新しい殺ダニ剤に比べると寄生蜂に対する影響は弱く, オンシツツヤコバチ成虫に対する残効期間も1日と短い(河合, 1988)ことから, マメハモグリバエ寄生蜂に対する残効も短いことが推測される。さらに, dicofol とfenbutatin oxideでは, イサエヒメコバチの卵(Beitia et al., 1991)と幼虫(Beitia et al., 1992)に対する殺虫作用は認められず, 本研究でもfenbutatin oxideについては, イサエヒメコバチ幼虫に対する影響と2種寄生蜂の寄生行動に対する影響は認められなかった。従って, dicofol とfenbutatin oxideは, 天敵導入直前または寄生蜂のステージが卵または幼虫の時期では使用可能と思われる。また, hexythiazoxについては, イサエヒメコバチの卵(Beitia et al., 1991)および幼虫(Beitia et al., 1992)にも影響のないことがすでに報告されているが, 本研究でも成虫, 幼虫および寄生行動に及ぼす影響はみとめられなかった。本剤はハダニ類の卵や幼虫の発

育を阻害する作用（山田ら，1987）があることから I G R 剤の一種と考えられ，天敵のチリカブリダニに対する影響もない（山田ら，1987）。従って，本剤は総合防除体系の中でのハダニ対策の手段として利用価値があろう。

殺菌剤については，殺虫剤に比べると総じて寄生蜂成虫に対する殺虫作用は弱く，これは Helyer et al. (1992) や多々良ら（1993）の報告，あるいは殺菌剤 32 剤のオンシツツヤコバチに対する影響を調べた河合（1988）の報告と同様であった。また captan のように，成虫には比較的強い殺虫作用のある剤も幼虫や寄生行動に及ぼす影響はまったく認められなかった。このことから，殺菌剤の散布に関しては，天敵への影響をあまり考慮しなくてもよいと思われる。ただし，captan はイサエアヒメコバチ，ハモグリコマユバチともに成虫死虫率が 50% 以上だったので，天敵導入後の散布は控える必要がある。また，triadimefon では，ハモグリコマユバチに対してのみ殺虫作用が認められたので，ハモグリコマユバチを導入中の本剤の散布は控える必要がある。

施設栽培作物を主な対象とした天敵資材は，我が国でも供給体制が徐々に整えられつつある。このため，矢野（1996）が指摘したように，現場における技術的な問題として，農薬との併用による防除の体系化や天敵に対する農薬の影響評価が早急に解決される必要がある。オンシツツヤコバチに対する農薬の影響については，IOBC/WPRS のワーキンググループによる報告（Franz et al., 1980； Hassan et al., 1983； 1987； 1988； 1991； 1994）をはじめ，我が国でも河合（1988），松井（1994，1996）および林（1996）の報告があり，市販のほとんどの薬剤の影響が明らかになっているので，今後は，こうした他の天敵に関する影響データとマメハモグリバエ寄生蜂に対する影響データをすりあわせて，防除体系に採用する薬剤を選択する必要がある。施設栽培トマトでは，本研究でマメハモグリバエ寄生蜂に対する影響がないことが明らかになった flufenoxuron などの I G R と pymetrozine および B T 剤を主体として，クロロニコチニル系の粒剤の育苗鉢施用を組み込んだ薬剤体系が薬剤の登録状況からも最も実用的と考えられる。また，施設栽培トマトで受粉昆虫として広く普及しているマルハナバチに対する安全性も視野に入れた総合防除体系の現場ほ場での検証が必要となろう。

第7章 寄生蜂と選択性殺虫剤を併用した総合防除体系の現地実証

7. 1 緒言

第5章では高温適応性が高いこと (Malais and Ravensberg, 1992; Minkenberg, 1989) から我が国での使用に適していると考えられるイサエヒメコバチのマメハモグリバエに対する防除効果を検討した。その結果、農薬をほとんど散布していない小規模な温室においては、効果的にマメハモグリバエの密度を抑制することを示した。

次に、第6章では、マメハモグリバエの寄生蜂イサエヒメコバチとハモグリコマユバチに対する各種薬剤の影響を調べ、両種ともに有機リン剤や合成ピレスロイド剤などの非選択性殺虫剤に対しては感受性の高いことを明らかにした。一般に生産現場では様々な病害虫に対する化学農薬が頻繁に散布されるので、寄生蜂を用いた生物的防除法を現地に普及させるためには、マメハモグリバエ以外の害虫対策も考慮して、導入する寄生蜂に影響の少ないIGR剤などを組み入れた総合防除体系を構築し、その実用性を現場ほ場において検証する必要がある。

そこで、本章では、第6章で選抜したマメハモグリバエ寄生蜂に対して影響の少ない選択性殺虫剤と第5章で高い密度抑制効果を確認したイサエヒメコバチを含む天敵資材とを組み合わせた防除体系の実用性を、施設トマトの現地ほ場において検証した。

7. 2 材料と方法

(1) 供試虫

試験には、オランダから輸入されたイサエヒメコバチとハモグリコマユバチの2種類の天敵資材を用いた。これらは入手後、ただちに現地農家に輸送され、農家に到着後1日以内の成虫 (オランダ発送5日後) を夕方に放飼した。

(2) 静岡県小笠郡浜岡町における現地試験

試験は、静岡県小笠郡浜岡町合戸のミニトマト農家の鉄骨ハウス (硬質フィルム張り) 2棟 (面積約11aと約5a) で行った。1棟 (約5a) は天敵放飼区、もう1棟 (約11a) は慣行防除区とし、両試験ハウスの側窓に約1mm目合いの防虫網を設置した (天窓には未設置)。1995年8月26日に第1花房開花期のミニマ

ト苗 (品種: ココ) 460株を天敵区に、1080株を慣行区に定植し、2本仕立てとした。定植作業などすべての栽培管理は担当農家が行い、暖房は11月中旬より最低気温約12℃に設定して行った。天窓と側窓の開閉は、手動により農家の判断で適宜行った。

1995年9月20日、9月27日、10月4日及び10月11日の計4回、イサエヒメコバチとハモグリコマユバチの成虫各250頭 (各500頭/10a) を天敵放飼区のハウスのほぼ中心に放飼した。

マメハモグリバエ幼虫と潜孔の密度調査は2週間間隔、黄色粘着トラップによる成虫誘殺数の調査は1週間間隔で、定植直後の9月上旬から翌年2月上旬まで行った。本研究第4章では、密度調査時の目標精度を $D=0.3$ に設定した場合の必要調査株数は25株程度であり、本調査ではハウス全体から25株 (天敵区) または24株 (慣行区) を均等な間隔で系統抽出して調査株を固定した。さらに、これら調査株の完全に展開した複葉について、最下葉から、5、10、15節目と5節位間隔で複葉を選んで調査葉を固定した。株当たりの調査葉数は新葉が展開するにしたがって増加したが、一方で老化した下葉は適宜除去されたため、調査期間の後半は5~6枚/株とほぼ一定であった。

幼虫と潜孔の調査では、調査葉上のすべての潜孔を、内部にマメハモグリバエの生存幼虫が認められる潜孔 (以下、生存幼虫)、内部に死亡幼虫が認められる潜孔 (以下、死亡幼虫)、生存または死亡幼虫が確認できない潜孔、の3項目に分けて数え、区当たり総死亡幼虫数/ (総生存幼虫数 + 総死亡幼虫数) を幼虫死亡率とした。ただし、ここでの死亡幼虫は濃黄色または褐色に変色した比較的新鮮な2~3齢の大型幼虫のみとし、明らかに前回の調査以前に死亡したと思われる黒化し干からびた古い個体や、肉眼での生死の識別が困難な小さな個体は死亡幼虫には含めなかった。なお、古い死骸を死亡個体に含めなかったのは、寄生蜂の寄主体液摂取や殺虫活性のある薬剤により死亡した個体は葉内に長く残存・累積し、そのため幼虫死亡率を時間経過とともに過大推定することが考えられるためである。成虫誘殺数の調査では、黄色粘着トラップ「HORIVER®」 (縦25×横10cm) を各区6枚ずつ、高さ約1.8mの位置に施設内に均等に吊し、これらを1週間間隔で回収してマメハモグリバエ成虫と寄生蜂成虫の

誘殺数を種類別に調べた。

寄生蜂の種類とその寄生率については、密度調査時に両区からマメハモグリバエ幼虫の寄生した小葉をランダムに40～50枚採集し、これらを濾紙を敷いた直径約25cmの高さ約10cmのプラスチック容器の中に入れて約25℃の恒温室内に約3週間放置し、羽化した虫の種類と数を調べた。なお、寄生蜂の同定は、小西（1998）に従った。

薬剤散布は、両区とも原則としてトマトにおける農薬適正使用基準に従って薬剤の種類とその施用量を決めた。天敵放飼区では、本研究第6章で寄生蜂に対する影響が比較的少ないことが明らかとなっているイミダクロプリド粒剤（第6章）2g/株を育苗ポットに散布した。さらにイサエアヒメコバチとハモグリコマユバチに影響のないフルフェノクスロン剤やブプロフェジン剤などのIGR剤とBT剤などの選択性殺虫剤（第6章）の中から選択した薬剤を散布した。また、天敵放飼区ではシルバーリーフコナジラミ対策としてオンシツツヤコバチ *Encarsia formosa* Gahan（エンストリップ®）を4200頭/10a、マメハモグリバエ天敵と同時期に放飼した。一方、慣行防除区の散布薬剤の選択と散布回数及び時期は、現地の慣行に従った。殺菌剤はキノキサリン系剤1回を除いて両区とも全く散布せず、すべての薬剤散布は担当農家が行った。なお、天敵放飼区には温度データログを設置して、1時間ごとに気温を測定した。

（3）静岡県清水市における現地試験

試験は、静岡県清水市折戸のトマト農家のガラス温室2棟（ともに面積約5a）で行った。1棟は天敵放飼区、もう1棟は慣行防除区とし、両試験ハウスの側窓には約1mm目合いの防虫網を設置した（天窓には未設置）。1995年7月29日に第1花房開花期のトマト苗（品種：木熟麗玉2号）812株を各区に定植し、1本仕立てとした。定植作業などすべての栽培管理は担当農家が行い、暖房は11月中旬より最低気温約12℃に設定して行った。天窓と側窓の開閉は、手動により農家の判断で適宜行った。

天敵の放飼は同年9月13日、9月20日、9月27日及び10月4日の計4回行い、前記浜岡町と同じ放飼密度で2種の寄生蜂を放飼した。

調査は、定植直後の8月上旬から12月上旬まで行い、浜岡町での試験と同様の方法でマメハモグリバエの密度推移と寄生蜂の種類を調査した。ただし、黄色トラップへの誘殺数は、マメハモグリバエのみ調べ、寄生蜂については調査しなかった。

薬剤散布は、両区とも原則としてトマトにおける農薬適正使用基準に従って薬剤の種類とその施用量を決めたが、天敵放飼区では粒剤の育苗ポット処理は行わず、放飼天敵に対する影響のないことが判明しているブプロフェジン剤とBT剤など（第6章）を病害虫の発生状況に応じて適宜散布した。ただし、両区とも、天敵放飼の約1ヶ月前までに限り、主にハスモンヨトウ対策として天敵に対する影響の強い合成ピレスロイド剤やカーバメート剤（第6章）を散布した。また、天敵放飼区ではコナジラミ対策としてオンシツツヤコバチ（エンストリップ®）を4200頭/10a、マメハモグリバエ天敵と同時期（4回）とさらに11月1日に1回追加放飼した。一方、慣行防除区の散布薬剤の選択と散布回数及び時期は、現地の慣行に従った。なお、殺菌剤については、育苗期にポリカーバメート剤1回、本圃でTPN剤が7回とトリフルミゾール剤が1回、いずれも殺虫剤との混用により両区に散布された。すべての薬剤散布は担当農家が行った。

7. 3 結果

（1）幼虫密度と幼虫死亡率の推移

浜岡町と清水市におけるマメハモグリバエの生存幼虫の密度推移をFig. 31上段に示した。浜岡町では寄生蜂放飼後に幼虫発生ピークが2回認められ、10月31日のピークでは天敵放飼区は慣行防除区の約2倍の密度であったが、12月14日のピークでは逆に天敵放飼区は慣行防除区の約1/2に低下した。清水市では、発生ピークははっきりしなかったものの、天敵放飼区では11月中旬までは密度はほぼ横ばいで推移し、11月29日に一時的に密度が上昇した。一方、慣行防除区では10月中旬以降は極めて低密度で推移し、10月中旬以降については慣行防除区の方が天敵放飼区より密度は低かった。

次に、マメハモグリバエ幼虫死亡率の推移をFig. 31下段に示した。浜岡町では、天敵放飼前の9月中旬までは死亡率は両区ともほぼ0%であったが、天敵放飼区では天敵放飼後に死亡率が上昇して、11月30日には87.6%、最終調査時の1月11日には97.4%となった。一方、慣行防除区では、10月31日の19.3%と12月14日の5.6%を除いて0%であった。清水市では、調査開始時の8月8日では死亡率は0%であったが、天敵放飼区では天敵放飼前の9月6日以降に死亡率が上昇して10月4日には96.9%に達した後、79.9%～95.8%と高く推移した。一方、慣行防除区では、10月18日まで0%～37.1%と天敵放飼区に比べて低かったが、10月21日に

幼虫に対して殺虫活性の高いイソキサチオン剤（西東ら，1992）が散布された後は，薬剤の効果と思われる幼虫死亡が認められるようになり，幼虫死亡率は11月15日に100%に達した。

なお，浜岡町の試験ハウスでは，9月中は日最高気温が30℃以上を示した日が多く，日平均気温は9月上旬から10月上旬まで20℃以上であった。暖房を開始し

た11月上旬以降は，日最高気温は20℃を越える日があったものの，日平均気温は12℃～15℃で推移した。一方，清水市の試験ハウスでは，9月中旬までは日最高気温が30℃以上を示した日が多く，日平均気温は10月下旬まで20℃以上を示したが，11月から12月の平均気温はおおよそ15℃～20℃であった。

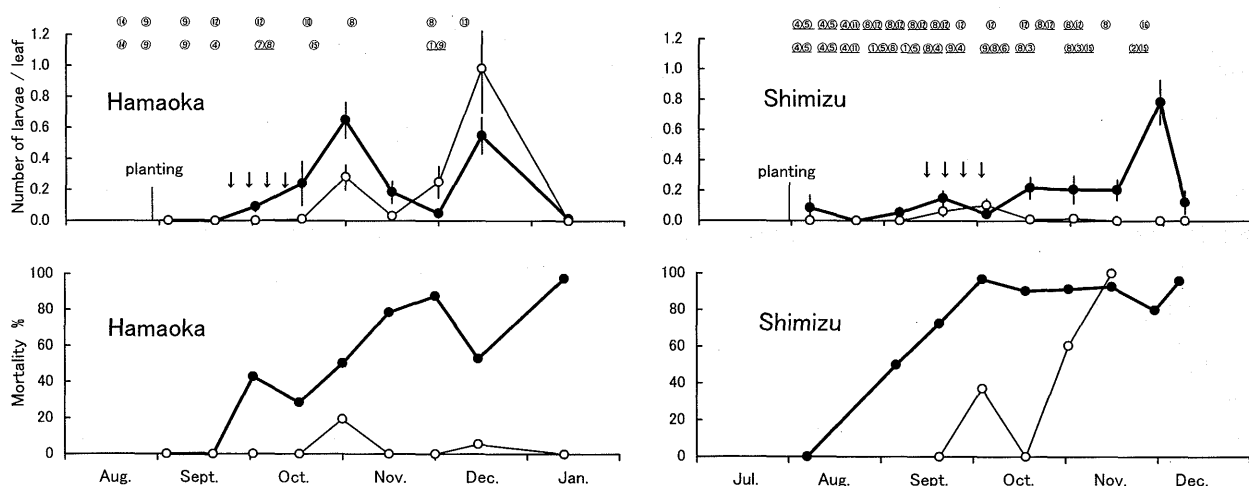


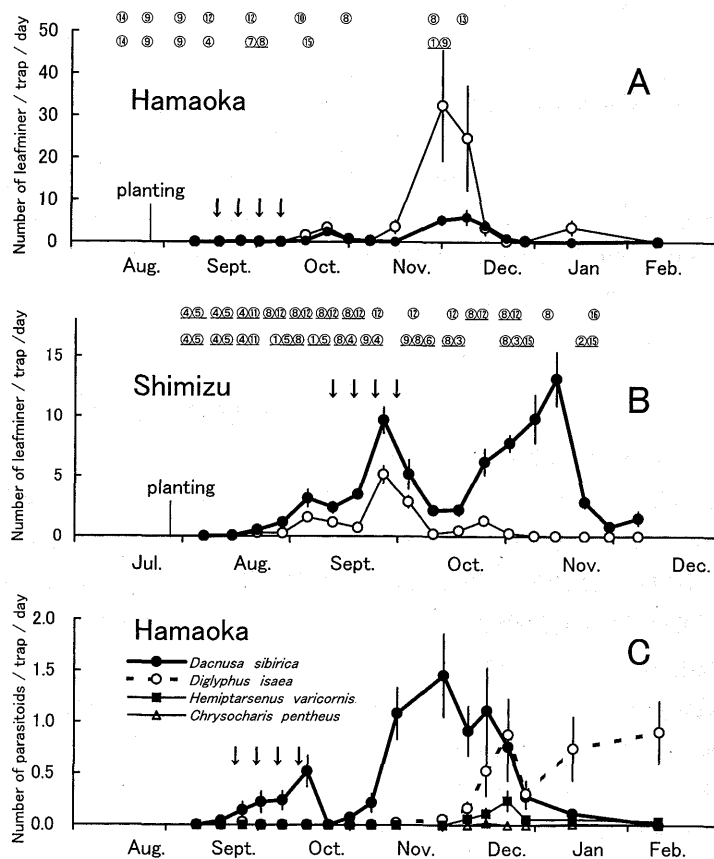
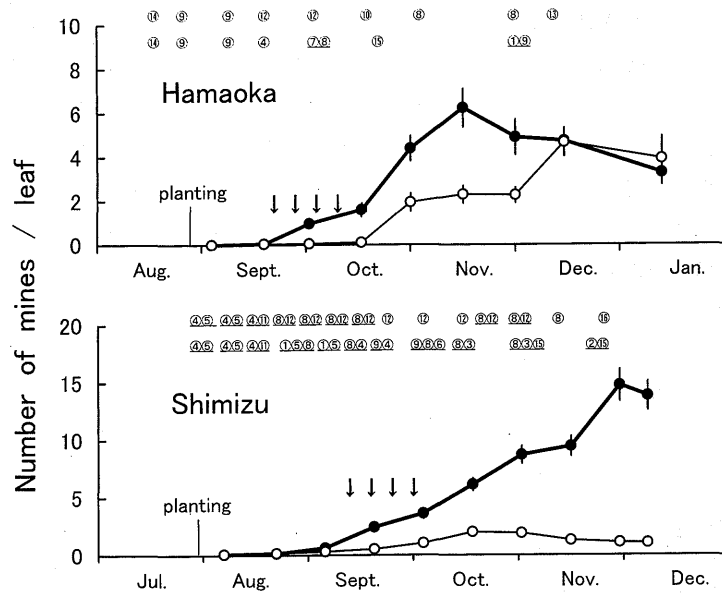
Fig.31 Seasonal changes in the density ($\pm$ S.E.) and mortality of larvae of *L.trifolii* on tomato in greenhouses with parasitoids release (closed circles) and in those only with chemical treatments (open circles). Arrows indicate release of parasitoids, *D.isaea* and *D.sibirica*. Upper lined numbers in circles indicate pesticides treatment in greenhouses with parasitoids release, and lower lined numbers in circles indicate pesticides treatment in greenhouse with chemical control. Numbers are as for in Table.25. Numbers with underline mean combined application.

(2) 潜孔密度の推移

Fig. 32には潜孔（生存および死亡幼虫を含んだすべての潜孔）の密度推移を示した。浜岡町では，天敵放飼区は11月15日に6.2個／葉とピークを示した後は減少に転じ，最終調査時の1月11日には3.3個／葉であったのに対して，慣行防除区では11月上旬以降徐々に増加して，1月11日には天敵放飼区より多い3.9個／葉であった。清水市では，天敵放飼区では9月中旬以降増加傾向を示し，最終調査時の12月7日には13.8個／葉であった。一方，慣行防除区では，10月18日の2.0個／葉をピークにその後は徐々に減少した。なお，両地区の天敵放飼区では，1～2齢幼虫の時点で進展が停止した小型の潜孔の割合が高く，特に試験後半では潜孔はより小型化した。

(3) 黄色粘着トラップによる誘殺数の推移

Fig. 33 (A, B) には，両試験における黄色粘着トラップに誘殺されたマメハモグリバエ成虫数の推移を示した。浜岡町の慣行防除区では10月24日，11月30日及び1月11日の3回，天敵放飼区では10月24日及び12月8日の2回のピークが認められた。10月24日には誘殺数は両区ともほぼ同数であったが，12月8日のピークでは，慣行防除区が32.4頭／トラップ／日であったのに対して，天敵放飼区では5.9頭／トラップ／日と慣行防除区の1/5程度であった。また，慣行防除区でみられた1月11日のピークは天敵放飼区では認められなかった。清水市の天敵放飼区では，9月6日，9月27日及び11月14日の3回，慣行防除区では9月6日，9月27日及び10月24日の3回のピークが認められた。しかし，誘殺数は，天敵放飼区の方が慣行防除区よりや



や多く、特に10月21日に慣行防除区でイソキサチオン剤が散布された後、慣行防除区では誘殺はほとんど認められなくなった。

次に、浜岡町におけるマメハモグリバエ寄生蜂の成虫の誘殺は、天敵放飼区にのみ誘殺が認められた (Fig. 33C)。誘殺された寄生蜂の種類は、放飼したイサエヒメコバチとハモグリコマユバチ、土着種の *Hemiptarsenus varicornis* (Girault) がほとんどで、これら以外では *Chrysocharis pentheus* (Walker) がごく少数誘殺された。ハモグリコマユバチでは、10月中旬と11月下旬から12月中旬にかけての2つの誘殺ピークが認められ、後のピーク時の誘殺数は前のピークの約2倍であった。イサエヒメコバチでは、放飼中の9月26日にわずかに誘殺された後、11月上旬まで誘殺は認められなかった。しかし、11月中旬から徐々に誘殺数が増加し、12月21日にはハモグリコマユバチとほぼ同数の約0.9頭/トラップ/日に達した。その後、0.3~0.9頭/トラップ/日で推移し、この時期はハモグリコマユバチより誘殺数は多かった。*Hemiptarsenus varicornis*は、前2種に比べ全般に誘殺数は少なかったが、12月21日にピークがみられた。

(4) 寄生蜂の種類と寄生率

浜岡町と清水市の天敵放飼区から採集したサンプルから羽化した寄生蜂の種類別の寄生率をFig. 34に示した。浜岡町の慣行防除区では10月31日と11月30日にサンプルを採集したが、寄生蜂の羽化は確認できなかった。また、清水市の慣行防除区では、十分なサンプル

数が確保できなかったので調査しなかった。浜岡町では、放飼種2種と土着種の *Hemiptarsenus varicornis*、ハモグリミドリヒメコバチ *Neochrysocharis formosa* (Westwood) 及び *Chrysocharis pentheus* の計5種の寄生蜂が確認され、これら寄生蜂群集の寄生率 (寄生蜂羽化総個体数/寄生蜂羽化総個体数+寄主羽化個体数) は、時期により変動したものの67.9% (10月31日) ~100% (10月18日及び1月11日) と高く推移した。放飼されたイサエヒメコバチは16.7% (11月15日) ~57.1% (1月11日)、ハモグリコマユバチは0% (1月11日) ~30.4% (10月31日) であり、これら2種の合計では11月30日を除いて寄生蜂総寄生率のほぼ50%以上を示した。また、イサエヒメコバチとハモグリコマユバチの調査全期間の羽化総個体数から算出した雌比は、前者は0.49、後者は0.42であり (Table 24)、0.5と有意差はなかった ($p>0.05$)。なお、土着種3種の種類別の寄生率は変動が大きく、一定の傾向は認められなかった。

次に、清水市では、寄生蜂の種類は浜岡町と同様に放飼種2種と土着種3種の計5種類が認められた。寄生蜂群集の寄生率は、9月20日から10月18日の試験前半は52.2~64.9%と浜岡町に比べるとやや低かったが、10月4日以降は徐々に上昇して11月29日には89.8%、12月7日には100%に達した。一方、寄生蜂の種類別寄生率は、放飼したイサエヒメコバチとハモグリコマユバチの寄生率はともに5%以下と低く、土着種のハモグリミドリヒメコバチがほぼ優占種で推移した。

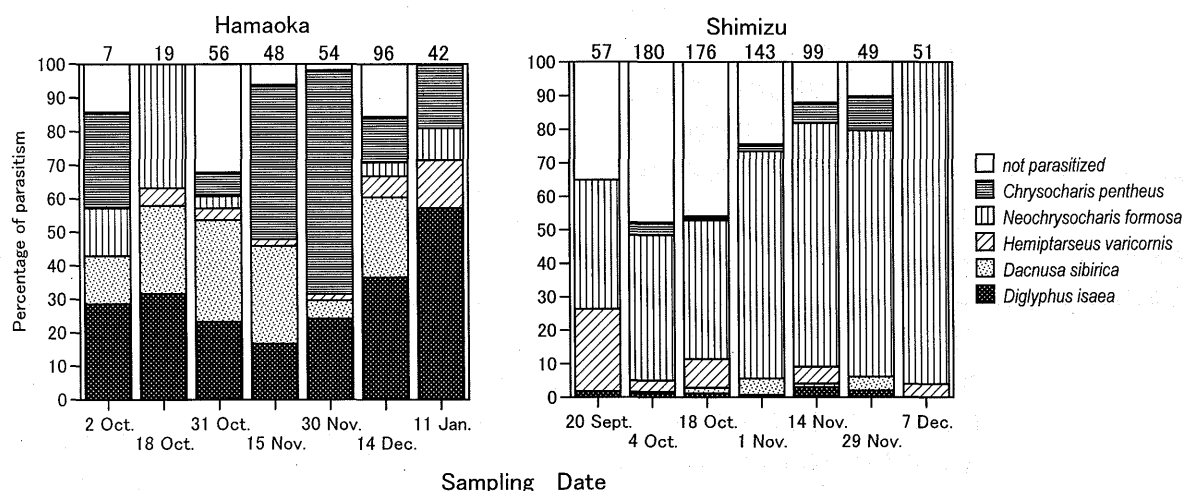


Fig.34 Seasonal changes in the composition of parasitoids species that emerged from *L. trifolii* larvae collected in commercial greenhouses with parasitoids release. Numerals on the bars indicate total number of emerged insects.

Table 24. Sex ratio of *Diglyphus isaea* and *Dacnusa sibirica* emerged from *L. trifolii* larvae collected in the greenhouse with parasitoid release in Hamaoka.

Sampling date	Female sex ratio	
	<i>D. isaea</i> (n)	<i>D. sibirica</i> (n)
18 Oct.1995	0.33 (6)	0 (5)
31 Oct.	0.62(13)	0.47(17)
15 Dec.	0.5 (8)	0.50(14)
30 Dec.	0.46(13)	0.67 (3)
14 Nov.	0.51(35)	0.39(23)
11 Jan.1996	0.46(24)	— (0)
Total	0.49(99)n.s. ^a	0.42(62)n.s. ^a

^a n.s.: No significant difference from 0.5 ($p>0.05$, χ^2 test).

(5) 使用された殺虫剤の種類とその回数

Table 25には、試験期間中に散布された殺虫剤の種類、主な対象害虫及び散布回数を示した。浜岡町、清水市ともに天敵区では主に I G R 剤などの選択性殺虫剤が散布され、慣行区では合成ピレスロイド剤など非選択性殺虫剤も散布された。殺虫剤の延べ散布回数は、浜岡町では天敵放飼区が9回で慣行防除区も9回と同数であった。清水市では天敵放飼区の22回に対して慣行防除区は25回と天敵放飼区の方がやや少なかった。ここで、マメハモグリバエ防除のための散布回数は、浜岡町は天敵放飼区がフルフェノクスロン剤を育苗期後半と定植直後の2回散布したのに対して、慣行防除区ではさらにマメハモグリバエ密度が上昇した12月上旬にアセフェート剤とフルフェノクスロン剤が追加され計4回散布された。一方、清水市の天敵放飼区ではマメハモグリバエに対する薬剤散布は一度も行われなかったのに対して、慣行防除区ではアセフェート剤やイソキサチオン剤など計6回散布され、両地区ともマメハモグリバエに対する散布回数は天敵放飼区の方が明らかに少なかった。

Table 25. Frequency of application of insecticides in commercial tomato greenhouses.

Applied insecticide(Formulation,%AI) ^a		Hamaoka		Shimizu	
No.	Main target pest	Biological ^b	Chemical	Biological ^b	Chemical
Organophosphate					
1 Acephate (W,50)	<i>Liriomyza trifolii</i>	0	1	0	2
2 Dichlorvos (E,50)	<i>Aphis gossypii</i>	0	0	0	1
3 Isoxathion (E,50)	<i>Liriomyza trifolii</i>	0	0	0	2
Carbamate					
4 Methomyl (W,45)	<i>Spodoptera litura</i>	0	1	3 ^d	5
Synthetic pyrethroid					
5 Ethofenprox (E,20)	<i>Bemisia argentifolii</i>	0	0	2 ^d	4
6 Flivalinate (W,20)	<i>Spodoptera litura</i>	0	0	0	1
7 Permethrin (E,20)	<i>Spodoptera litura</i>	0	1	0	0
Insect growth regulator (IGR)					
^c *8 Buprofezin (W,25)	<i>Bemisia argentifolii</i>	2	1	7	5
*9 Flufenoxuron (E,10)	<i>Liriomyza trifolii</i>	2	3	0	2
*10 Pyriproxyfen (E,10)	<i>Bemisia argentifolii</i>	1	0	0	0
11 Tebufenozide (F,20)	<i>Spodoptera litura</i>	0	0	1	1
Others					
*12 <i>Bacillus thuringiensis</i> (W,10)	<i>Spodoptera litura</i>	2	0	8	0
*13 Chinomethionat (W,25)	<i>Aculops lycopersici</i>	1	0	0	0
*14 Imidacloprid (G,1)	<i>Bemisia argentifolii</i>	1 ^e	1 ^e	0	0
15 Pyridaben (F,20)	<i>Bemisia argentifolii</i>	0	1	0	2
*16 Sodium oleate (L,20)	<i>Bemisia argentifolii</i>	0	0	1	0
Total number of application (against <i>L. trifolii</i>)		9(2)	9(4)	22(0)	25(6)

^a G: Granule, W: Wettable powder, E: Emulsifiable concentrate, F: Flowable, L: Liquid formulation.

^b Biological: greenhouse with parasitoid release(*Diglyphus isaea*, *Dacnusa sibirica* and *Encarsia formosa*),
Chemical: greenhouse controlled by only chemical pesticides.

^c Asterisks indicate safe pesticides for parasitoids, *D. isaea* and *D. sibirica*.

^d Applied by a month before release of parasitoids.

^e Applied on soil in seedling pots before planting.

7. 4 考察

筆者らは、これまで現地のトマトほ場でイサエアヒメコバチとハモグリコユバチを用いた放飼試験を数回行っているが、天敵に対して強い影響のある殺虫剤が散布されたり（小澤ら，1993），スポット散布された殺虫剤の寄生蜂に対する影響を過小評価したため、結果的にマメハモグリバエによる被害を十分には抑制できなかった（小澤ら，未発表）。そこで、本研究では、寄生蜂に対する影響の少ない農薬を厳密に選定し（第6章），天敵放飼区では選定された薬剤のみを組み込んだIPM（総合的害虫管理）プログラムを念頭においた防除体系を設定して慣行防除区との比較を行った。

その結果、浜岡町で行った試験では、天敵放飼区に

おけるマメハモグリバエの密度抑制効果は慣行防除区とはほぼ同程度で、試験後半ではむしろ慣行防除区に勝る防除効果が確認された。さらに、マメハモグリバエに対する農薬散布回数は1/2に削減することができた（Table 25）。また、寄生蜂の種類は放飼した2種がほぼ優占種で推移しており（Fig. 34），これらのことから、寄生蜂放飼を主体としたマメハモグリバエの総合防除体系は実用性が高いことが示された。ただし、シルバーリーフコナジラミに対する天敵としてオンシツツヤコバチを放飼したものの密度抑制効果は十分でなく、さらにトマトサビダニ *Aculops lycopersici* (Massee) が天敵放飼区のみ発生したことから、これらの防除のための追加散布が必要となり、結果的には殺虫剤の総散布回数は慣行防除区と同等であった（Table 25）。

一方、清水市で行った試験では、イソキサチオン剤などマメハモグリバエに対する殺虫活性の高い薬剤（西東ら、1992）が使用された慣行防除区と比べると天敵放飼区でのマメハモグリバエの密度抑制効果はやや劣り、潜孔密度の最高値は13.8個／葉とナスハモグリバエでの5%減収率の13個／葉（Ledieu and Helyer, 1985）よりやや多かった。しかし、ヒメコバチ類の攻撃を受けて進展が停止したと思われる小型の潜孔がほとんどであり、植物体に対する被害は小さかったと考えられる。また、担当農家もマメハモグリバエの被害は実用上ほとんど問題にはならなかったとの意見であることや、収量と果実品質についても慣行防除区との間に差はみられなかったこと（小澤ら、未発表）から、実用的なマメハモグリバエの被害低減効果は得られたと考えられる。薬剤散布回数に関しては、慣行防除区ではイソキサチオン剤などが6回散布されたのに対して、天敵放飼区ではマメハモグリバエを対象とした殺虫剤の散布はまったく行われず、マメハモグリバエ防除に関しては薬剤散布回数は大幅に削減できた。しかし一方で、シルバーリーフコナジラミとハスモンヨトウに対する薬剤散布回数は慣行防除区より多かったため、殺虫剤の総散布回数は慣行防除区に比べてやや少ない程度に止まった。これは、コナジラミ防除のために用いたオンシツツヤコバチとハスモンヨトウに対して使用したBT剤の効果が十分でなく、結果的にこれらの害虫防除のための散布回数が多くなったためである。

以上から、施設トマトのマメハモグリバエに対しては、寄生蜂に影響のないIGR剤やBT剤等と寄生蜂を組み合わせた防除体系は実用性があり、薬剤散布回数の低減も可能であることが示された。今後、薬剤散布回数や防除労力の低減を目的としたIPMを実現するためには、今回の試験では十分に密度抑制できなかったシルバーリーフコナジラミに対する、より効果的な手段を防除体系に組み込むとともに防除コストなどの経営面での検討も必要であろう。

天敵資材として放飼された寄生蜂の次世代以降の性比は、防除効率に影響する重要な要因と思われるが、イサエアヒメコバチとハモグリコマユバチの性比に関する報告はこれまで少ない。イサエアヒメコバチと同属の*D. intermedius*（Hendrickson and Barth, 1978）や*D. begini*（Heinz and Parrella, 1990ab）では、性比は雄に偏る傾向があることが報告されている。また、Hendrickson and Barth（1978）によると、寄主植物の種類によっても寄生蜂の性比は変化するという。また、

*D. begini*では、蜂の性比は寄主幼虫の体サイズの影響を受けるとされており（Heinz and Parrella, 1990b）、この現象はイサエアヒメコバチでも実験的に確認されている（小澤・矢野、未発表）。こうした知見から、寄生蜂の性比制御には様々な要因が関与していると考えられるが、浜岡町で採集されたイサエアヒメコバチとハモグリコマユバチの性比は変動はあるもののほぼ1:1であり、実用上は両種とも性比の変化はあまり問題にする必要はないと思われる。

今回実施した現地試験では、本研究第5章の試験2や西東ら（1995）と同様に放飼した種類以外の土着寄生蜂が確認され、特に清水市の試験では土着種が優占種であった。この現象は、本試験の前年に行った同一ほ場における試験でも確認されており、やはり浜岡町では放飼種が優占種で清水市では土着種が優占種であった（小澤ら、未発表）。浜岡町のハウスの周辺はススキなどイネ科の雑草を主体とした荒地やマメハモグリバエの寄生しないイチゴの施設があり、マメハモグリバエをはじめとしたハモグリバエ類の発生量が少なく、そのため土着寄生蜂の密度も低いと考えられる。一方、清水市では、ハウスの周辺に野菜や花卉などが栽培された家庭菜園と様々な観葉植物の施設があり、ハモグリバエ類の密度が高く、寄生蜂の密度も高いことが推察される。スイカズラハモグリバエでは寄主植物の密度や分布の違いが寄生蜂の群集構造が地域間で異なる要因とされており（加藤、1996）、同様にマメハモグリバエの場合もほ場周辺の寄主植物相の違いが土着寄生蜂の種類や密度に影響すると考えられる。

寄生蜂を放飼した施設内へ土着寄生蜂が野外から侵入して定着することはオランダでも確認されている。Woets and Van der Linden（1985）は、アメリカから導入したヒメコバチ科の*Chrysocharis parksii*をトマトハウスに放飼したところ、放飼種が優占種で推移したものの最終放飼1ヶ月半後には土着種であるイサエアヒメコバチとハモグリコマユバチが寄生蜂の約半分を占めたことを報告している。また、Van der Linden（1991）は、施設トマトのレタスハモグリバエ*Liriomyza huidobrensis*に対してコマユバチ科のハモグリコマユバチと*Opius pallipes*を放飼したところ、野外から侵入した土着のイサエアヒメコバチが定着し、徐々に優勢となって最終的にはイサエアヒメコバチの寄主攻撃によってハモグリバエ幼虫の死亡率は100%となったことを報告している。ここでイサエアヒメコバチが優勢となった理由としては、コマユバチに対しては死物寄生であるヒメコバチは活物寄生の前

者に寄生された寄主を一方的に利用できる競争関係があること（杉本, 1995）が考えられる。いずれにしてもこれらの報告は、放飼した寄生蜂と野外からの土着種、あるいは寄生様式の異なるコマユバチとヒメコバチ両方の寄主攻撃によって、ハモグリバエ密度が効果的に抑制された事例といえる。今回の浜岡町における試験結果は、こうした事例にあてはまるといえよう。

一方でオランダの現地の大型温室では、土着寄生蜂の侵入のみによってナスハモグリバエが効果的に密度抑制された事例も報告されている（Woets and Van der Linden, 1982）。清水市での試験はこれにあてはまるといえるが、Woets and Van der Linden（1982）が報告した成功事例は土着寄生蜂（ハモグリコマユバチと *Opius pallipes*）の侵入と定着がハモグリバエの発生初期に認められたほ場に限られており、土着寄生蜂の施設内の定着時期には年次変動も認められている。従って、何らかの要因でハモグリバエの発生初期に土着寄生蜂が定着しなかった場合には、ハモグリバエの被害が拡大する可能性が高く、土着寄生蜂の侵入と定着のみを期待した防除は確実性に乏しい。こうした点からは、今回の試験で行ったような発生初期に人為的に寄生蜂を放飼する方法は、現時点ではより安全な方策と考えられる。

オランダより温暖な気候のスペインでは、ヒメコバチ類を中心としたマメハモグリバエの土着寄生蜂8種が知られている（Garcia et al., 1991）。スペインでも防除資材として使用されているイサエアヒメコバチは土着種の中では優占種ではない（Garcia et al., 1991）が、イサエアヒメコバチなどを人為的に放飼するか否かの判断は土着寄生蜂の寄生率25%を基準にしている（Alomar et al., 1992）。天敵導入の要否を土着寄生蜂の寄生率に基づいて判断する方法が我が国に適用できるかどうかについては検討を要するが、土着寄生蜂を効率的に利用して天敵資材の経済コストを削減するためには、今後、それらについての簡便なモニタリング技術の開発は必要であろう。ちなみに、浜岡町における黄色粘着トラップには寄生蜂4種が少なからず誘殺され、発生消長パターンも示された。このことから、黄色粘着トラップは、第3章で示したマメハモグリバエ幼虫の発生予測に加えて、寄生蜂の密度推定や発生予測にも利用できると考えられる。しかし、例えばハモグリコマユバチとイサエアヒメコバチを比較すると、前者に比べて後者の誘殺は10月～11月にはほとんど認められない（Fig. 33）にもかかわらず、両方の寄生率はほぼ等しい（Fig. 34）。このように誘殺数は寄

生率を必ずしも反映していないと考えられることから、黄色粘着トラップを寄生蜂のモニタリングに利用するためには、今後、寄生蜂の種類と誘殺特性との関係や誘殺に關与する諸要因を明らかにする必要がある。

第8章 総合考察

静岡県では、マメハモグリバエの初発生の翌年1991年頃から、県内のキクやトマトなどの施設栽培地帯で本種による甚大な被害が発生した。観察によると本種の被害の進展は極めて速く、トマトなどでは初発からわずか2～3ヶ月で株が枯死するほどの激しい被害も認められた。このことから、施設環境における本種の発育日数は短く、個体群の増殖能力はこれまで確認されている主な施設害虫の中でも特に高いことが推察されたが、新害虫である本種の生活史パラメータは不明であった。そこで、本研究では、本種の発育日数、産卵数、ステージ別の生存率、雌成虫の寿命などを主な寄主作物および温度別に調べて個体群の増殖能力を明らかにした。その結果、最も好適な25℃における本種の増殖能力は、近年施設栽培で問題となっている侵入害虫のミカンキイロアザミウマなどの難防除微小害虫と比べてもひときわ高いことが判明した。加えて本種の幼虫は葉緑素を含む葉の柔組織を食害するため、直接的に葉の光合成能力を低下させ (Johnson et al., 1984)、幼虫1頭が植物体に与える被害は吸汁性のコナジラミ類などの微小害虫をはるかに凌ぐと思われる。増殖能力の高さとともに、本種のこうした被害特性が農作物に甚大な被害をもたらす要因となっている。また、本種の増殖率は、寄主作物によって大きく異なることも判明した。本種の寄主範囲は広く (西東, 1997a)、主要な寄主作物には、チンゲンサイやキクのように加害部位である葉の外観が重視されるため、総じて経済的被害許容水準の低い作物から、トマトやメロンのように生産物そのもの (果実) は加害されないために経済的被害許容水準が比較的高い作物まで含まれている。従って、本種の防除対策を策定する際には、各寄主作物固有の増殖率や経済的被害許容水準を考慮して品目別に効率的な対策を構築する必要がある。すなわち、チンゲイサイのように増殖率が高く被害許容水準の低い作物では、基礎活性の高い化学農薬を基幹とした徹底した防除対策が必要であり、一方、トマトのように増殖率が低く被害許容水準の高い作物では、チンゲンサイなどに比べれば防除圧は低くても実害は少ないであろう。

マメハモグリバエがわずか数年で全国的な重要害虫となった要因としては、本種の増殖能力の高さとともに、成虫の移動分散能力の高さも関与していると考えられる。本種の成虫は数時間で100m以上移動する

(Van de Vrie and Dirkse, 1982) ように敏捷性に優れ、野外では広い範囲に移動分散していることは容易に推測される。しかし、野外における成虫の空間的な移動分散の実態は、我が国では不明であった。また、本種が新発生害虫であったことから、成虫の移動分散の季節変動についても不明な点が多く、成虫の空間的・時間的な移動分散の実態を明らかにすることは、ハウス内への侵入防止対策や年間防除計画の策定などを考える上で重要な情報となる。

本研究では、本種が多発しているビニールハウスの周辺に、黄色粘着トラップを垂直方向と水平方向に等間隔で設置し、多発ハウスから飛び出してきたと思われる成虫を捕獲して空間的な移動分散の実態を明らかにした。また、本種の発生地域の露地キクほ場において2カ年にわたって黄色粘着トラップによる成虫誘殺数の調査を実施し、野外における成虫の周年の発生消長パターンを明らかにした。その結果、成虫は地表面により近い空間を飛翔することが多いものの、地上5m以上の高度で飛翔する個体もあることが判明し、あわせて野外では発生源から数10m以上の範囲で分散していることも明らかとなった。これらの知見から、栽培施設の近くに発生源がある場合には、成虫の野外から施設内への侵入防止策として喚気窓への防虫網の設置が有効であり、網の設置は側窓だけでなく天窓にも実施するとより効果が高いことが示唆される。また、成虫の発生消長パターンから、盛夏期と冬期には成虫の移動分散活動は低下することが判明した。なお、盛夏期に成虫の誘殺数が少ないのは、本研究で明らかにしたように、増殖に対する高温抑制が働いたためと考えられる。これらの知見により、年間の防除計画を考える上では初夏の時期における防除対策が最も重要であり、発生源から広範囲に成虫が分散していることから地域ぐるみの防除対策が必要と考えられる。以上のように、本研究では、成虫の移動分散の視点からも、防除対策を策定する上での有益な情報が得られた。

本種の成虫は黄色に強く誘引されることから (Chandler, 1985)、黄色粘着トラップが簡便なモニタリング方法として我が国でもよく利用されている。露地トマトほ場においては、黄色トラップを用いた成虫の絶対密度の推定が可能とされているので (Zoebisch et al., 1993)、トラップによる誘殺数は成虫密度の相対的指標とみることができる。ここで黄色粘着トラッ

ブを虫のは場密度の推定や予測のためのモニタリングとして利用する場合には、あらかじめ誘殺数と虫の絶対密度との関係を明らかにしておく必要がある。本種同様にカラー粘着トラップがモニタリング方法としてよく用いられている侵入害虫のミナミキイロアザミウマ（河合，1983）やシルバーリーフコナジラミ（Natwick et al., 1995）では、誘殺数と虫の絶対密度との関係が検討されているが、我が国のマメハモグリバエに関するこれらの関係はこれまでほとんど検討されていない。マメハモグリバエでは成虫の絶対密度の調査は実際には難しいので、本研究では、発生予測の視点から黄色トラップへの成虫誘殺数と次世代幼虫密度との関係を施設トマトにおいて検討した。その結果、黄色粘着トラップは成虫密度の相対的指標として利用するだけでなく、次世代幼虫や潜孔密度の予測にも有効であることが示唆され、黄色粘着トラップはマメハモグリバエのモニタリング方法として実用性に優れた手段であることがあらためて裏付けられた。ただし、一般にカラー粘着トラップの誘引効率は、気象条件など様々な環境要因に影響されるので（MeEnen, 1997）、精度の点からは必ずしも信頼性が高いとは言えない。本研究でも、条件によっては誘殺数と次世代幼虫密度との間に相関関係が認められなかったため、今後、誘殺効率に関与する諸要因についても検討する必要がある。

本種は、施設栽培の野菜・花卉類に対して我が国ではこれまで経験したことのない甚大な被害をもたらしたことから、防除対策を早急に確立するよう農業現場から強い要望が出されていた。しかし、発生当初から本種には既存の殺虫剤に対する薬剤抵抗性が発達しており（西東ら，1992）、有効薬剤に対する感受性の早急な低下（西東ら，1994）や合成ピレスロイド剤によるリサージェンス（西東ら，1993）など化学薬剤に依存した防除には問題が多いことが明らかになっていった。そこで、本研究では、化学的防除に替わる防除手段として、天敵利用による生物的防除の実用化を目指した。天敵利用による生物的防除は化学的防除と比べて、生産者（散布者）、消費者、周辺環境いずれにとっても安全性が高く、また常温煙霧など無人防除の施設が整っていない我が国では圧倒的に省力的な防除手段である。さて、本研究ではマメハモグリバエの主要な寄主作物の中で増殖率が低くかつ経済的被害許容水準が高いこと、受粉昆虫のマルハナバチが広く普及し（池田，1992）、生産者からも生物的防除技術の確立が強く要望されていたことなどから、施設栽培トマトを

対象作物として選び、寄生蜂を用いた防除技術について検討した。寄生蜂放飼によるマメハモグリバエの生物的防除試験は筆者らのグループが我が国で最初に実施したが（多々良ら，1993；小澤ら，1993）、さらに本研究では、ヨーロッパから輸入された寄生蜂イサエヒメコバチを小規模なトマト温室に条件を変えて放飼して本寄生蜂の防除効果を確認するとともに、我が国で使用されている主な農薬のイサエヒメコバチとハモグリコマユバチに対する影響を詳細に調べ、本寄生蜂に対する影響の少ない薬剤を選定した。加えて、寄生蜂と予め選定した影響の少ない薬剤を組み合わせた総合防除体系を現地農家に導入してその有効性を実証した。なお、イサエヒメコバチおよびハモグリコマユバチに対する農薬の影響に関する情報は海外の報告も含めて極めて少なかったが、本研究では、近年使用頻度が急速に高まっているクロロニコチニル系殺虫剤やIGR剤などに関する多くの新知見を得た。天敵に対する農薬の影響データは、天敵を用いた総合防除体系を策定する上では必要不可欠であり、本研究で得られた農薬の影響データは、天敵利用技術の普及資料として現場でも活用されている（例えば、雑誌・バイオコントロール巻末資料など）。また、本研究で扱ったイサエヒメコバチとハモグリコマユバチの2種寄生蜂は、本研究で実施した放飼試験の結果などにより、トマトのマメハモグリバエを対象として農薬登録され、すでに一部のトマト農家では使用され始めた。

近年、天敵昆虫などの生物農薬の実用化が我が国でも積極的に進められ、これまでに14種類の天敵資材（微生物は除く）が農薬登録されているが、イサエヒメコバチとハモグリコマユバチを含めて農薬登録された天敵資材のほとんどは海外からの導入種である。本研究ではマメハモグリバエの土着寄生蜂が密度抑制の重要な要因となっていることも明らかにしたが、有望な土着寄生蜂を選抜して天敵資材として利用する研究（西東，1997b；大野ら，1999）やバンカープラント法による土着寄生蜂の誘引（杉本，私信）など、マメハモグリバエの土着寄生蜂の利用方法についても近年検討され始めた。害虫防除手段としての土着天敵の活用は、セイヨウオオマルハナバチのような有用昆虫といえども海外から導入した生物の生態系への影響を懸念する意見（鷲谷，1998）があることから、施設栽培における天敵利用技術開発の今後の方向の一つを示したものとしよう。

現在のところ、施設トマトを対象作物として農薬登録された天敵資材は、マメハモグリバエを対象とした

イサエアヒメコバチとハモグリコマユバチおよびコナジラミ類の天敵であるオンシツツヤコバチの3種のみである。本研究で実施した現地実証試験では、マメハモグリバエについては天敵による生物的防除の実用性は高かったものの、シルバーリーフコナジラミについてはオンシツツヤコバチだけでは防除効果は十分でなく、結果的には殺虫剤の総散布回数を慣行に比べて大幅に削減することはできなかった。天敵を導入するメリットとして、農薬散布回数の削減が重要であるので、今後は、マメハモグリバエ以外の害虫を対象とした生物的防除技術を確立して、総合的に農薬散布回数の削減を目指す必要がある。なお、本研究の後、筆者らは、シルバーリーフコナジラミに対して新たな天敵サバクツヤコバチ *Eretmocerus eremicus* Rose & Zolnerowich と新薬剤ピメトロジンを組み込んだ防除体系により、薬剤散布回数を慣行防除区の約2/3に低減することに成功している（小澤，1999b）。しかし、現在のところ天敵資材の価格は化学薬剤よりかなり高いので、農家の防除経費の負担を少なくするうえでも、総合防除体系では化学農薬の削減をさらに進める必要がある。

新しい天敵の探索と環境に優しい選択性殺虫剤の開発は、昨今の全世界的な環境保全型農業推進の流れの中で強く推進されており、総合防除体系に組み込み可能な新しい技術が次々と登場しつつある。今後は、こうした新技術を取り込みながら総合防除体系をより実用的な体系へと改善し、病害や線虫対策も含めたIPM（総合的病害虫管理技術）プログラムを構築していく必要がある。また、IPMプログラムの信頼性を高めるためには、防除体系に組み込む天敵生物の生態的特性を熟知するとともに、対象害虫と天敵との相互関係を詳しく解明して、シミュレーションモデルなどの理論的な手法による天敵の最適放飼戦略の検討も必要である。本研究では、室内実験で得られた生活史パラメータに基づいたマメハモグリバエのモデルシミュレーションの計算値は、ほ場における実測値によく適合していた。今後、寄生蜂の最適放飼戦略を構築するための動態モデルの寄主に関する部分は、本研究で得られた各パラメータの利用が可能である。

第9章 摘要

1990年に静岡県で最初に発生が確認された侵入害虫 マメハモグリバエ *Liriomyza trifolii* (Burgess) は、その後全国に分布が拡大し、現在では西南暖地における野菜・花卉類の重要害虫となっている。本種は我が国では全く新たな害虫で、その生態的特性やほ場における動態は未知であり、防除対策を策定する上での基礎的知見としてこれらの解明が急務であった。本種は最初から各種殺虫剤に対し強い抵抗性を有し、また抵抗性の発達も早いために、薬剤のみに依存した防除法には限界があった。さらに、本種の被害が問題となっている施設トマトでは受粉昆虫の普及により、現場から殺虫剤に代わる防除方法の開発について強い要望があった。そこで本研究では、本種の生態的特性とほ場における発生動態を明らかにするとともに、施設トマトにおいて寄生性天敵を利用した生物的防除法を検討し、その実用化を目指した。

1 生活史パラメータと増殖能力

様々な寄主作物における25℃条件での発育期間、産卵数、雌成虫寿命、蛹化率および羽化率を調べ、これらの生活史パラメータを基に寄主植物別の個体群増殖パラメータを求めたところ、寄主作物によって増殖能力が大きく異なることが明らかとなった。また、温度別に生活史パラメータを調べた結果、25℃が個体群増殖にとって最適であることが判明した。さらに、これらの生活史パラメータに基づいたマメハモグリバエの発生動態モデルを作成し、シミュレーションによって得られた予測値は、ほ場における実測値とほぼ一致した。

2 成虫の野外における移動分散

本種の成虫は飛翔活動性が高く、黄色粘着トラップによく誘殺される。そこで、黄色粘着トラップを用いて成虫の移動状況の季節変化を調べたところ、野外で成虫が飛翔している期間は2月下旬から12月中旬までで、6月～7月にピークがみられた。また、黄色トラップを垂直および水平方向に並べて成虫の野外での分散状況を調べた結果、垂直方向では地表面に近いほど成虫誘殺数は多かったが、高度5.5m以上の高さでも飛翔していることが確認された。一方、水平方向では、成虫はその発生源から数10mの範囲に分散していることが判明した。

3 施設トマトにおける幼虫の発生予測と空間分布
黄色トラップは簡便なモニタリング手法として現場

でも利用されているが、誘殺数とほ場密度との関係は不明であった。そこで、黄色トラップによる成虫誘殺数から、幼虫数または幼虫の加害による潜孔数を予測できるかどうかについて、施設栽培トマトにおいて検討した。その結果、成虫誘殺数とその1週間後のトマトにおける幼虫密度、累積成虫誘殺数とその1週間後の潜孔密度との間に有意な正の相関関係が認められ、黄色トラップをハモグリバエの幼虫密度やその被害量の予測に利用できることが示唆された。あわせて、トマトにおける幼虫と潜孔の空間分布を調べた結果、幼虫の株内垂直分布の中心は、作物の生育に伴って下位葉から上位葉に移動した。株単位での分布様式は、幼虫、潜孔ともに一定の平均値を持つ集団が集中分布する分布型を示した。

4 施設トマトにおける寄生蜂イサエヒメコバチの防除効果

次に、寄生蜂を用いたマメハモグリバエの生物的防除法について検討した。まず、施設トマトにおいて本種に対する寄生蜂イサエヒメコバチ *Diglyphus isaea* の防除効果を調べた。春期、初夏期および夏期と時期を変えて寄生蜂の放飼試験を3回行った結果、寄生蜂放飼区におけるハモグリバエ幼虫密度は無放飼区の1/4～1/36に抑制され、放飼区における潜孔密度は無放飼区の約1/6以下に抑制された。いずれの試験でも、寄生蜂放飼区における寄生率は86.7～95.1%と高く、寄生蜂はよく定着していた。これらの結果から、施設トマトにおいて本寄生蜂による防除効果が高いことが判明した。

5 寄生蜂イサエヒメコバチおよびハモグリコマユバチに対する各種農薬の影響

頻繁に農薬が散布されている農家ほ場で天敵を使用する場合、天敵に対する影響の少ない薬剤をあらかじめ選定しておく必要がある。そこで、我が国で使用されている主な農薬の、2種寄生蜂イサエヒメコバチとハモグリコマユバチ *Dacnusa sibirica* に対する影響を調べた。その結果、有機リン剤などの非選択性殺虫剤の殺虫作用は極めて強く、殺ダニ剤の殺虫作用は剤の種類により異なり、また殺菌剤の殺虫作用は総じて弱かった。一方、IGR剤（昆虫発育制御剤）、BT剤などの選択性殺虫剤には殺虫作用はなかった。IGR剤などの選択性殺虫剤および殺菌剤には、イサエヒメコバチ幼虫に対する羽化阻害作用や蜂の寄生行動を

抑制する作用は認められず、ハモグリコマユバチの寄生行動にも影響しなかった。また、I G R剤にはイサエヒメコバチの次世代幼虫の生存に及ぼす影響も認められなかった。以上から、I G R剤、B T剤などの選択性殺虫剤および多くの殺菌剤は、寄生蜂を用いた総合防除体系に組み込み可能な薬剤と判定された。

6 寄生蜂と選択性殺虫剤を併用した総合防除体系の実証

寄生蜂およびそれに対する影響が少ない殺虫剤を併用した総合防除体系の実用性を現地トマトほ場において検証した。天敵放飼区における幼虫密度は、浜岡町では慣行防除区の約1/2に抑制されたが、清水市では慣行防除区に比べてやや高かった。天敵放飼区における潜孔密度は、浜岡町では慣行防除区の85%に抑制され、清水市では慣行防除区より多く推移したが実害はなかった。浜岡町における寄生蜂の寄生率は67.9～100%で、放飼したイサエヒメコバチとハモグリコマユバチが優占種であった。一方、清水市における寄生率は52.2～100%で、土着の寄生蜂が優占種であった。天敵放飼区における殺虫剤の総散布回数は、両地区とも慣行防除区とほぼ同数であったが、マメハモグリバエに対する散布回数は大幅に削減された。以上から、施設トマトのマメハモグリバエに対する寄生蜂を組み入れた総合防除体系は現地ほ場においても実用性があり、天敵の導入により殺虫剤の散布回数の低減が可能であることが示された。

謝

本論文の作成に当たり、終始ご懇篤なるご指導・ご鞭撻を賜りました京都大学大学院農学研究科教授高藤晃雄博士に厚くお礼申し上げます。元京都大学大学院農学研究科教授久野英二博士には、本研究の遂行に当たりあたたかいご助言とご激励を賜りました。京都大学大学院農学研究科教授津田盛也博士、同教授武田博清博士、同教授西岡孝明博士には論文審査の労を賜りました。農林水産省農業環境技術研究所昆虫管理科天敵生物研究室長矢野栄二博士には、本研究遂行に当たって格別のご指導・ご鞭撻をいただくとともに、投稿論文の校閲の労を賜りました。同研究所昆虫管理科長松井正春博士には、多くの有益なご助言・ご教示とともにあたたかいご激励を賜り、元同研究所昆虫管理科昆虫分類研究室小西和彦氏（北海道農業試験場）にはマメハモグリバエ寄生蜂の同定をしていただきました。また、同研究所昆虫管理科の諸氏には、農業環境技術研究所での研修期間中、本研究遂行のための多くのご便宜を図っていただくとともに有益なご助言やご教示を賜りました。同研究所資材動態部長浜 弘司博士には、寄生蜂に対する農薬の影響のデータをみていただき貴重なご助言を賜りました。農林水産省野菜・茶業試験場環境部虫害研究室長河合 章博士、同上席研究官浜村徹三博士には、施設害虫に関する貴重な文献やご指導・ご教示を賜りました。元農林水産技術会議事務局宮井俊一博士（中国農業試験場）には、シミュレーションモデルに関するご教示と貴重な文献を賜りました。近畿大学農学部昆虫学研究室教授杉本 毅博士には、ハモグリバエとその寄生蜂に関する貴重な文献やご助言・ご教示をはじめ、終始あたたかいご激励を賜りました。埼玉県園芸試験場根本 久博士、スペインC.I.T.-I.N.I.A.のFrancisco J. Beitia氏、オランダ・アールスメール花卉試験場のA. Van der Linden氏、元イギリス・リトルハンプトン園芸研究所のN. L. Helyer氏には貴重な文献とともにヨーロッパにおける生物防除の現状などの有益なご助言とご意見を賜りました。(株)トーマン、(株)ノバルティスおよび(株)トモノアグリカの諸氏には、寄生蜂製品とともに貴重な文献と最新の情報をご提供していただきました。各農薬メーカーの諸氏には、供試薬剤のサンプルをご提供していただきました。ここにあわせて心より深謝いたします。

(有)サギサカ鷲坂哲志氏、元静岡県中部農林事務所影山智津子氏（静岡県東部農林事務所）、元静岡県中遠

辞

農林事務所小笠支所伊藤直樹氏（静岡県北遠農林事務所）、元同中遠病虫害防除所の久保田栄氏（静岡県茶業試験場）および栗岡 隆氏（農林水産部みかん市場室）、元静岡県中部病虫害防除所の外側正之氏（静岡県農業試験場）、増井伸一氏、石上 茂氏（静岡県病虫害防除所）をはじめ、J A 遠州夢咲農協、J A 清水市農協、静岡県中部農林事務所、同中遠農林事務所の諸氏には現地試験においてご協力をいただきました。現地のトマト農家の諸氏には大切な栽培ほ場を現地実証試験で使用させていただきました。また、元静岡県農業試験場病虫害部西東 力博士（静岡県商工労働部）には、本研究の当初よりマメハモグリバエとその寄生蜂の飼育技術を始め、格別のご指導ご鞭撻を賜りました。元静岡県農業試験場病虫害部大石剛裕氏（静岡県中遠農林事務所）にはマメハモグリバエの生態に関する貴重なデータを賜りました。さらに、静岡県農業試験場歴代場長、同病虫害部長池田二三高氏、元同部長佐藤允通氏、元同部長小林義明博士、静岡県柑橘試験場長古橋嘉一博士、静岡県農業試験場病虫害部の小林久俊氏、太田光昭氏、袴田重澄氏、市川 健氏、土井誠氏、伊代住浩幸氏、大場詞信氏、鈴木礼三氏、元同試験場普及課多々良明夫博士（静岡県農林水産部）はじめ静岡県農業試験場および同病虫害防除所の皆様には、本研究の遂行に際し、多大なご支援とご協力をいただきました。ここにあわせて厚くお礼申し上げます。

引用文献

- Abbott W. S. (1925) A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 18: 265-267.
- Alomar, O., C. Castane, R. Gabarra and R. Albajes (1992) El control integrado de plagas en horticultura intensiva en Catalunya. *Phytoma Espana* 36: 34-40.
- Auerbach, M. J. and J. D. Alberts (1992) Occurrence and performance of the aspen blotch miner, *Phyllonorycter salicifoliella*, on three host-tree species. *Oecologia* 89: 1-9.
- Bartlett, P. W. and D. F. Powell (1981) Introduction of American serpentine leaf miner, *Liriomyza trifolii*, into England and Wales and its eradication from commercial nurseries, 1977-81. *Plant Path.* 4: 185-193.
- Beitia F., A. Garrido and M. Castaner (1991) Mortality produced by variousicides applied eggs of *Diglyphus isaea* (Walker) (Hym., Eulophidae) in laboratory tests. *Ann. Appl. Biol.* 118 (suppl.): 16-17.
- Beitia F., M. Castaner and A. Garrido (1992) Incidencia de diversos plaguicidas aplicados sobre el estado larvario de *Diglyphus isaea* (Walker) (Hym., Eulophidae). *Bol. San. Veg. Plagas* 18: 303-308.
- Birch, L. C. (1948) The intrinsic rate of natural increase of an insect population. *J. Anim. Ecol.* 17: 15-26.
- Boot, W. J., O.P.J.M. Minkenberg, R. Rabbinge and G.H. De Moed (1992) Biological control of leafminer *Liriomyza bryoniae* by seasonal inoculative releases of *Diglyphus isaea*: simulation of a parasitoid-host system. *Neth. J. Pl. Path.* 98: 203-212.
- Chandler, L. D. (1985) Flight activity of *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae) in relationship to placement of yellow traps in Bell pepper. *J. Econ. Entomol.* 78: 825-828.
- D'Aguilar, J., M. Martinez and J. Aguilar (1979) On the presence in France of *Liriomyza trifolii* Burgess (Dipt. Agromyzidae). *Bull. Soc. Ent. France* 84: 143-146.
- Daware, D. G. S. N. Puri and S. M. Sarsar (1993) Incidence of leaf miner - a new record on cotton in Marathwada region. *J. Cotton Research and Development* 7: 170.
- Dissevelt M. and W.J. Ravensberg (1997) The present status and future outlook of the use of natural enemies and pollinators in protected crops. In *Plant production in closed ecosystems* (E. Goto et al. eds.). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands. pp.49-65.
- Faeth, S. H. (1986) Indirect interactions between temporally separated herbivores mediated by the host plant. *Ecology* 67: 479-494.
- Feng, S. S. and W. W. Jer (1989) Four new records of *Liriomyza* leaf-miners (Diptera: Agromyzidae) from Taiwan. *J. Taiwan Museum* 42: 15-23.
- Flückiger CR., R. Senn and H. Buholzer (1992) CGA 215'944 - opportunities for use in vegetables. In *Proc. Brighton Crop Prot. Conf. - Pests and Diseases 1992* vol. 3, British Crop Protection Council, Farnham, UK, pp.1187-1192.
- Franz, J. M., H. Bogenschutz, S. A. Hassan, P. Huang, E. Nation, H. Suter and G. Viggiani (1980) Results of a joint pesticide test programme by the Working Group: Pesticides and Beneficial Arthropods. *Entomophaga* 25: 231-236.
- Frijters, A. J. M., O.P.J. M. Minkenberg, J. Woets and W. J. Ravensberg (1986) *Chrysocharis parksi* in commercial greenhouse for the biological control of leafminer, *Liriomyza bryoniae* and *L. trifolii*, on tomatoes; case studies and sampling techniques. *Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent* 51/3a: 987-997.
- 古木孝典・多々良明夫・小林久俊 (1993) 施設栽培のミニトマト、セルリーにおけるマメハモグリバエの発生消長と被害. 関東東山病虫研報 40: 227-230.
- Garcia, T. C., F. P. Torres, J. B. Suarez, M. A. Duenas, A. G. Marcos, M. D. Rodriguez, R. J. Munoz, M. M. A. Martin and A. C. Gutierrez (1991) Lucha biologica contra minadores de hoja (Diptera: Agromyzidae) en cultivos hortícolas intensivos. *Resultados de los proyectos de investigacion terminados en 1991*: 37-45.
- Han, M. J., S. H. Lee, J. Y. Choi, S. B. Ahn, M. H. Lee

- and M. J. Han (1996) Newly introduced insect pest, American serpentine leafminer, *Liriomyza trifolii* (Burgess) (Diptera: Agromyzidae) in Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 35: 309-314.
- Harrewijn, P. and H. Kayser (1997) Pymetrozine, a fast-acting and selective inhibitor of aphid feeding. In-situstudies with electronic monitoring of feeding behaviour. *Pesticide-Science* 49: 130-140.
- Hassan, S. A. (1989) Testing methodology and the concept of the IOBC/WPRS working group. In *Pesticides and non-target invertebrates* (P.C. Jepson ed.) . Intercept, Wimborne, England, pp.1-18.
- Hassan, S. A., R. Albert, F. Bigler, P. Blaisinger, H. Bogenschutz, E. Boller, J. Brun, . Chiverton, P. Edwards, W. D. Englert, P. Huang, C. Inglesfield, E. Naton, P. A. Oomen, W. P. J. Overmeer, W. Rieckmann, L. Samsoe-Petersen, A. Staubli, J. J. Tuset, G. Viggiani and G. Vanwetswinkel (1987) Results of the third joint pesticide testing programme by the IOBC/WPRS-Working Group "Pesticides and Beneficial Organisms". *J. Appl. Entomol.* 103: 92-107.
- Hassan, S. A., F. Bigler, H. Bogenschutz, J. U. Brown, S. I. Firth, P. Huang, M. S. Ledieu, E. Naton, P. A. Oomen, W. P. J. Overmeer, W. Rieckmann, L. Samsoe-Petersen, G. Viggiani and A. Q. van Zon (1983) Results of the second joint pesticide testing programme by the IOBC/WPRS-Working Group "Pesticides and Beneficial Arthropods". *Zeit. Angew. Entomol.* 95: 151-158.
- Hassan, S. A. F. Bigler, H. Bogenschutz, E. Boller, J. Brun, P. Chiverton, P. Edwards, F. Mansour, E. Naton, P. A. Oomen, W. P. J. Overmeer, L. Polgar, W. Rieckmann, L. Samsoe-Petersen, A. Staubli, G. Sterk, K. Tavares, J. J. Tuset, G. Viggiani, and A. G. Vivas (1988) Results of the fourth joint pesticide testing programme carried out by the IOBC/WPRS-Working Group "Pesticides and Beneficial Organisms". *J. Appl. Entomol.* 105: 321-329.
- Hassan, S. A., F. Bigler, H. Bogenschutz, E. Boller, J. Brun, J. N. M. Calis, P. Chiverton, J. P. Coremans, C. Duso, G. B. Lewis, F. Mansour, L. Moreth, P. A. Oomen, W. P. J. Overmeer, L. Polgar, W. Rieckmann, L. Samsoe-Petersen, A. Staubli, G. Sterk, K. Tavares, J. J. Tuset and G. Viggiani (1991) Results of the fifth joint pesticide testing programme carried out by the IOBC/WPRS-working group "Pesticides and beneficial organisms". *Entomophaga* 36: 55-67.
- Hassan, S. A., F. Bigler, H. Bogenschutz, E. Boller, J. Brun, J. N. M. Calis, J. P. Coremans, C. Duso, A. Grove, U. Heimbach, N. Helyer, H. Hokkanen, G. B. Lewis, F. Mansour, L. Moreth, L. Polgar, L. Samsoe-Petersen, B. Sauphanor, A. Staubli, G. Sterk, A. Vainio, van de M. Veire, G. Viggiani, H. Vogt and M. Van de Veire (1994) Results of the sixth joint pesticide testing programme of the IOBC/WPRS-working group "Pesticides and beneficial organisms" *Entomophaga* 39: 107-119.
- 波多腰信・中山 勇 (1987) 幼若ホルモン活性物質－最近の研究－. 植物防疫41: 339-347.
- 林 英明 (1996) オンシツツヤコバチに対する農薬の影響. 広島農技セ研報64: 22-43.
- 林 恵子・嶽本弘之・大野和朗 (1995) 福岡県におけるマメハモグリバエの分布拡大と主要作物での発生消長. 九病虫研会報41: 102-105.
- Heinz, K. M., J. P. Newman and M. P. Parrella (1988) Biological control of leafminers on greenhouse marigolds. *Calif. Agric.* 42 (2) : 10-12.
- Heinz, K. M., L. Nunney and M. P. Parrella (1993) Toward predictable biological control of *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae) infesting greenhouse cut chrysanthemums. *Environ. Entomol.* 22: 1217-1233.
- Heinz, K. M. and M. P. Parrella (1990a) Holarctic distribution of the leafminer parasitoid *Diglyphus begini* (Hymenoptera: Eulophidae) and notes on its life history attacking *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae) in chrysanthemum. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 83: 916-924.
- Heinz, K. M. and M. P. Parrella (1990b) The influence of host size on sex ratios in the parasitoid *Diglyphus begini* (Hymenoptera: Eulophidae). *Ecol. Entomol.* 15: 391-399.
- Helyer, N. L., G. Gill and Donna Spreadbury (1992) Evaluation of pesticides for effects on the leafminer parasites *Dacnusa sibirica* and *Diglyphus isaea*. *Ann. Appl. Biol.* 120 (suppl.) : 138-139.
- Hendrickson, R. M. and S. E. Barth (1978) Notes on the biology of *Diglyphus intermedius* (Hymenoptera:

- Eulophidae), a parasite of the alfalfa blotch leafminer, *Agromyza frontella* (Diptera: Agromyzidae). *Proc. Entomol. Soc. Wash.* 80: 210-215.
- 市川耕治・大野 徹・中込暉雄 (1996) トマトにおけるマメハモグリバエの防除. 愛知農総試研報 28: 177-187.
- 井口雅裕 (1997) ミニトマト栽培における在来寄生蜂によるマメハモグリバエの密度抑制. 今月の農業 41: 64-68.
- 池田二三高 (1992) ヨーロッパ産マルハナバチによる果菜類の交配. トーメン農業ガイド 65: 17-19.
- 池田二三高 (1997) 侵入害虫の発生生態と防除対策. 関東東山病虫研報 44: 11-15.
- 池田二三高・久保田栄・石川 毅・高橋啓之 (1984) メロン温室及びその周辺におけるミナミキイロアザミウマの発生生態. 静岡農試研報29: 33-40.
- Iwao, S (1968) A new regression method for analyzing the aggregation pattern in animal populations. *Res. Popul. Ecol.* 10: 1-20.
- Iwao, S. and E. Kuno (1971) An approach to the analysis of aggregation pattern in biological population. In: *Statistical Ecology*. (G. P. Patil, E. C. Pielou and W. E. Waters eds.) Penn. State Univ. Press, Univ. Park and London, pp.461-513.
- 岩田俊一・杉本 渥 (1965) 殺虫剤の生物検定法. 農薬の生物検定法 (岩田俊一・杉本渥 編). 南江堂. 東京, pp.84-167.
- Johnson, M. W., E. R. Oatman, N. C. Toscano, S. C. Welter and J. T. Trumble (1984) The vegetable leafminer on fresh market tomatoes in southern California. *Calif. Agric.* 38 (1, 2): 10-11
- Johnson, M. W., E. R. Oatman, J. A. Wyman and R. A. van Steenwyk (1980) A technique for monitoring *Liriomyza sativae* in fresh market tomatoes. *J. Econ. Entomol.* 73: 552-555.
- James A. B., M. P. Parrella and J. T. Trumble (1987) Effect of tomato cultivar and fertilizer regime on the survival of *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae). *J. Econ. Entomol.* 80: 200-203.
- Jones V. P. and M. P. Parrella (1986) The movement and dispersal of *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae) in a chrysanthemum greenhouse. *Ann. Appl. Biol.* 109: 33-39.
- Kamijo, K (1978) Chalcidoid parasites (Hymenoptera) of Agromyzidae in Japan, with description of a new species. *Kontyu* 46: 455 - 469.
- 片山晴喜 (1997) ミカンキイロアザミウマ *Frankliniella occidentalis* (Pergande) の發育と産卵に及ぼす温度の影響. 応動昆 41: 225-231.
- 片山晴喜・多々良明夫 (1994) ミカンキイロアザミウマの最近における分布拡大. 植物防疫 48: 502-504.
- 加藤 真 (1996) 寄生蜂の群集構造と寄主潜葉虫の個体群動態. 昆虫個体群生態学の展開. (久野英二編著). 京都大学出版会, 京都, pp.195-215.
- 河合 章 (1983) ミナミキイロアザミウマ個体群の生態学的研究 3. 圃場密度と粘着トラップへの誘引数. 九病虫研会報 29: 87-89.
- 河合 章 (1985) ミナミキイロアザミウマ個体群の生態学的研究. VII. 増殖能力に及ぼす温度の影響. 応動昆 29: 140-143.
- 河合 章 (1986) ミナミキイロアザミウマ個体群の生態学的研究. X. 異なる作物上での増殖の比較. 応動昆 30: 7-11.
- 河合 章 (1988) オンシツツヤコバチに対する殺虫剤および殺菌剤の影響. 野菜茶誌研報 D1: 59-67.
- Kayser H., L. Kaufmann, F. Schurmann and P. Harrewijn (1994) Pymetrozine (CGA 215944): a novel compound for aphid and whitefly control. An overview of its mode of action. In *Proc. Brighton Crop Prot. Conf. - Pests and Diseases* vol. 2, British Crop Protection Council, Farnham, UK, pp. 737-742.
- Keularts J. L. W. and R. K. Lindquist (1989) Increase in mortality of prepupae and pupae of *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae) by manipulation of relative humidity and substrate. *Environ. Entomol.* 18: 499-503.
- 小林久俊・古木孝典・石上 茂 (1992) 静岡県におけるマメハモグリバエの発生実態. 関東東山病虫研報 39: 227-232.
- 小西和彦 (1998) マメハモグリバエ寄生蜂の図解検索. 農環研資料22: 27-76.
- Kotze, D. J. and G. B. Dennill (1996) The effect of *Liriomyza trifolii* (Burgess) (Dipt., Agromyzidae) on fruit production and growth of tomatoes, *Lycopersicon esculentum* (Mill) (Solanaceae). *J. Appl. Ent.* 120: 231-235.
- Kuno, E. (1976) Multi-stage sampling for population estimation. *Res. Popul. Ecol.* 18: 39-56.
- Lakshminarayana, M., H. Basappa, S. Vijay and V. Singh (1992) Report on the incidence of hitherto

- unknown leaf miner *Liriomyza trifolii* Burgess (Diptera: Agromyzidae) on castor. *J. Oilseeds Res.* 9: 175-176.
- Ledieu, M. S. and N. L. Helyer (1985) Observation on the economic importance of tomato leaf miner (*Liriomyza bryoniae*) (Agromyzidae). *Agric. Ecosystems Environ.* 13: 103-109.
- Leibee G. L. (1984) Influence of temperature on development and fecundity of *Liriomyza trifolii* (Burgess) (Diptera: Agromyzidae) on celery. *Environ. Entomol.* 13: 497-501.
- Liu T. X. and P. A. Stansly (1997) Effects of pyriproxyfen on three species of *Encarsia* (Hymenoptera: Aphelinidae), endoparasitoids of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae). *J. Econ. Entomol.* 90: 404-411.
- Logan, J. A., D. J. Wollkind, S. C. Hoyt and L. K. Tanigoshi (1976) An analytic model for description of temperature dependent rate phenomena in arthropods. *Environ. Entomol.* 5: 1133-1140.
- Malais M. and W. J. Ravensberg (1992) *Knowing and recognizing: The biology of glasshouse pests and their natural enemies*. Koppert B. V., Berkel en Rodenrijs, the Netherlands. 110pp.
- Marino, P. C., H. V. Cornell and D. H. Kahn (1993) Environmental and clonal influences on host choice and larval survival in a leafmining insect. *J. Anim. Ecol.* 62: 503-510.
- 松田径央・宮田哲至・高木康至 (1995) オレイン酸ナトリウム液剤の殺虫効果とそのメカニズム. 植物防疫 49: 50-53.
- 松井正春 (1994) オンシツツヤコバチに対する農薬の影響. トーメン農業ガイド72: 16-19.
- 松井正春 (1996) コナジラミ類の天敵オンシツツヤコバチと併用できる選択的殺虫剤ピメトロジン. 関西病虫研報 38: 27-28.
- MeEnen, P. (1997) Sampling, handling and rearing insects. In *Methods in ecological and agricultural Entomology* (D. R. Dent and M. P. Walton eds.) CAB INTERNATIONAL, Wallingford, UK. pp. 5-26.
- Mendel, Z., D. Blumberg and I. Ishaaya (1994) Effects of some insect growth regulators on natural enemies of scale insects (Hom.: Coccoidae). *Entomophaga* 39: 199-209.
- Miller, G. W. and M. B. E. Isger (1985) Effects of temperature on the development of *Liriomyza trifolii* (Burgess) (Diptera: Agromyzidae). *Bull. Entomol. Res.* 75: 321-328.
- Minkenberg, O. P. J. M. (1988) Life history of the agromyzid fly *Liriomyza trifolii* on tomato at different temperatures. *Entomol. Exp. Appl.* 48: 73-84.
- Minkenberg, O. P. J. M. (1989) Temperature effects on the life history of the eulophid wasp *Diglyphus isaea*, an ectoparasitoid of leafminers (*Liriomyza spp.*), on tomatoes. *Ann. Appl. Biol.* 115: 381-397.
- Minkenberg, O. P. J. M. (1990) Reproduction of *Dacnusa sibirica* (Hymenoptera: Agromyzidae) on tomatoes, at constant temperature. *Environ. Entomol.* 19: 625-629.
- Minkenberg, O. P. J. M. and J. C. van Lenteren (1986) The leafminers *Liriomyza bryoniae* and *L. trifolii* (Diptera: Agromyzidae), their parasites and host plants: a review. *Agric. Univ. Wageningen Papers* 86 (2): 1-50.
- Minkenberg, O. P. J. M. and J. J. G. W. Ottenheim (1990) Effect of leaf nitrogen content of tomato plants on preference and performance of a leafmining fly. *Oecologia* 83: 291-298.
- Miyai and Hokyo (1992) Modelling approach to simulate the progress of insect-borne rice virus disease in paddy fields. In *Ecological Processes in Agro-Ecosystems* (eds. M. Shiomi, E. Yano, H. Koizumi, D. A. Andow and N. Hokyo) National Institute of Agro-Environmental Sciences, Tsukuba, Japan, pp.139-154.
- 永井一哉 (1993) ミナミキイロアザミウマ個体群の総合的管理に関する研究. 岡山農試臨報82: 1-55.
- Natwick E. T., N. C. Toscano and L. Yates (1995) Correlations of adults *Bemisia* sampling techniques in cotton to whole plant samples. In *Bemisia: 1995 Taxonomy, Biology, Damage, Control and Management* (D. Gerling and R. T. Mayer eds.) Intercept, Hants, UK, pp.247-252.
- 根本 久 (1995) 天敵利用と害虫管理. 農山漁村文化協会. 東京. pp129-134.
- Newman, J. P. and M. P. Parrella (1986) A license to kill. *Greenhouse Manage* 5 (3): 86-92.
- 大野和朗・山口大輔・ニナ マリヤナ・嶽崎 研・嶽本弘之 (1999) マメハモグリバエ (双翅目: ハモ

- グリバエ科) 幼虫寄生蜂の増殖効率. *Jpn. J. Ent.* 2: 1-9.
- 太田光昭・小澤朗人 (1997) 野外におけるシルバーリーフコナジラミの垂直方向への分散. 関東東山病虫研報44: 229-230.
- 小澤朗人 (1999a) チェス剤を組み入れた施設栽培トマトのIPM. 農薬春秋78: 8-12.
- 小澤朗人 (1999b) 施設トマトにおける天敵利用の現状と展望. 農耕と園芸 54(8): 116-119.
- 小澤朗人・小林久俊・天野高士・井狩 徹・西東 力 (1993) 輸入天敵によるマメハモグリバエの防除. II 施設ミニトマトにおける現地試験事例. 関東東山病虫研報 40: 239-241.
- Parrella, M. P. (1982) A review of the history and taxonomy of economically important serpentine leafminers (*Liriomyza* spp.) in California. *Pan-Pac. Entomol.* 58: 302-308.
- Parrella, M. P. (1984) Effect of temperature on oviposition, feeding, and longevity of *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae). *Can. Ent.* 116: 85-92.
- Parrella, M. P. and V. P. Jones (1985) Yellow traps as monitoring tools *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae) in chrysanthemum greenhouses. *J. Econ. Entomol.* 78: 53-56.
- Parrella, M. P. and K. L. Robb (1982) Technique for staining eggs of *Liriomyza trifolii* within chrysanthemum, celery, and tomato leaves. *J. Econ. Entomol.* 75: 383-384.
- Parrella, M. P., K. L. Robb and J. Bethke (1983) Influence of selected host plants on the biology of *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 76: 112-115.
- Parrella, M. P., J. T. Yost, K. M. Heinz and G. W. Ferrentino (1989) Mass rearing of *Diglyphus begini* (Hymenoptera: Eulophidae) for biological control of *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae). *J. Econ. Entomol.* 82: 420-425.
- Parrella, M. P., K. M. Heinz and L. Nunney (1992) Biological control through augmentative releases of natural enemies: a strategy whose time has come. *American Entomologist* 38: 172-179.
- Potter, D. A. and T. W. Kimmerer (1986) Seasonal allocation of defensive investment in *Ilex opaca* Aiton and constraints on a specialist leaf-miner. *Oecologia* 69: 217-224.
- Quiring, D. T., P. R. Timmins and S. J. Park (1992) Effect of variations in hooked trichome densities of *Phaseolus vulgaris* on longevity of *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae) adults. *Environ. Entomol.* 21: 1357-1361.
- Ravensberg, W. J. (1992) The use of beneficial organisms for pest control under practical conditions. *Pflanzenschutz-Nachrichten-Bayer* 45: 49-72.
- 西東 力 (1988a) メロンのナスハモグリバエに対する各種薬剤の殺虫力と防除. 関東東山病虫研報 35: 168-170.
- 西東 力 (1988b) メロンを加害するナスハモグリバエの発生生態. 関西病虫研報 30: 49-55.
- 西東 力 (1992) マメハモグリバエのわが国における発生と防除. 植物防疫 46: 103-106.
- 西東 力 (1993) マメハモグリバエの最近における発生と防除. 植物防疫 47: 123-124.
- 西東 力 (1997a) マメハモグリバエ: おもしろ生態とかしこい防ぎ方. 農文教. 東京. 103pp.
- 西東 力 (1997b) マメハモグリバエの寄生蜂 *Hemiptarsenus varicornis*. 植物防疫51: 530-533.
- 西東 力・尾崎 丞 (1991) タバココナジラミによって起こるトマト果実の着色異常. 農業および園芸 66: 747-748.
- 西東 力・池田二三高・大石剛裕 (1994) マメハモグリバエの3種薬剤に対する感受性の安定性と野外個体群におけるイソキサチオン感受性の低下. 関東病虫研報41: 243-244.
- 西東 力・池田二三高・小澤朗人 (1996) 静岡県におけるマメハモグリバエの寄生者相と殺虫剤の影響. 応動昆40: 127-133.
- 西東 力・大石剛裕・池田二三高 (1993) ペルメトリンの散布によるマメハモグリバエのリサージェンス. 関東病虫研報40: 233-234.
- 西東 力・大石剛裕・池田二三高 沢木忠雄 (1992) マメハモグリバエ *Liriomyza trifolii* (Burgess) に対する各種殺虫剤の効力. 応動昆 36: 183-191.
- 西東 力・小澤朗人・池田二三高 (1995) マメハモグリバエに対する輸入寄生蜂の放飼効果. 関東東山病虫研報 42: 235-237.
- Sasakawa, M. (1993) Notes on the Japanese Agromyzidae (Diptera), 1. *Jpn. J. Ent.* 61: 149-155.
- Scholz, D. H. (1997) Experiences with natural

- enemies. *Gemuse Munchen* 33: 246-248.
- Senn, R., B. Sechser and C. R. Fluckiger (1994) Use of pymetrozine in IPM vegetable programs. In *Proc. Brighton Crop Prot. Conf. - Pests and Diseases 1994* vol. 3, British Crop Protection Council, Farnham, UK, pp.1187-1192.
- Schuster, D. J. and H. W. Beck (1981) Sampling and distribution of *Liriomyza* on tomatoes. In *Proc. IFAS-Ind. Conf. Biol. Contr. Liriomyza leafminer* (DJ Schuster ed.) . Lake Buena Vista, Florida, pp. 106-128.
- Schuster, D. J. and H. W. Beck (1992) Presence-absence sampling for assessing densities of larval leafminers in field-grown tomatoes. *Tropical Pest Management* 38: 254-256.
- Schuster, D. J. and K. J. Patel (1985) Development of *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae) larvae on tomato at constant temperatures. *Florida Ent.* 68: 158-161
- 柴尾 学・田中 寛・木村 裕 (1996) 寄生蜂によるトマトのマメハモグリバエの防除効果. 関西病虫研報 38: 31-32.
- 塩川絃三・坪井真一・岩谷宏司・盛家晃一 (1994) クロロニコチニル系殺虫剤イミダクロプリドの開発. 農薬誌 19: 209-217.
- 末永 博・石田和英・田中 章 (1995) マメハモグリバエの加害に対するキクの感受性の品種間差. 応動昆39: 245-251.
- 杉本 毅 (1995) ハモグリバエ寄生蜂の繁殖戦略. 天敵利用のはなし (根本久・矢野栄二編著), 技報堂出版, 東京, pp. 56-62.
- Spencer, K. A. (1965) A clarification of the status of *Liriomyza trifolii* (Burgess) and some related species (Diptera: Agromyzidae) . *Proc. Entomol. Soc. Wash.* 67: 32-40.
- Spencer, K. A. (1990) *Host specialization in the world Agromyzidae (Diptera)* . Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherland. 444pp.
- Takada, H. and K. Kamijo (1979) Parasite complex of the garden pea leaf-miner, *Phytomyza horticola* Goureau, in Japan. *Kontyu* 47: 18-37.
- 竹田敏・桑野栄一 (1997) 昆虫のホルモンと発育制御剤. 昆虫機能利用学. (鈴木幸一・竹田敏・桑野栄一・伴戸久徳・山川稔・本田洋・田村俊樹・木村澄著). 朝倉書店. 東京, pp.35-51.
- 多々良明夫・古木孝典 (1993) マメハモグリバエに対するトラップの効率的使用法とミニトマト・セルリーの施設栽培における本種の発生と被害. 今月の農業37 (10) : 73-77.
- 多々良明夫・古木孝典 (1994) 施設内に設置した黄色平板粘着トラップのマメハモグリバエ捕獲特性. 関東東山病虫研報41: 235-238.
- 多々良明夫・古木孝典・原川勝好 (1993) 輸入天敵によるマメハモグリバエの防除. I 日本における寄生性の確認及び薬剤の影響. 関東病虫研報 40: 235-238.
- Tryon, E. H. Jr. , Poe, S. L., Cromroy, H. L. (1980) Dispersal of vegetable leafminer onto a transplant production range. *Florida Ent.* 63: 292-296.
- 坪井真一 (1993) クロロニコチニル系殺虫剤イミダクロプリドの殺虫活性. 植物防疫47: 199-202.
- Ushchekov, A.T. (1994) *Diglyphus* as an efficient parasitoid of mining flies. *Zashchita Rastenii Moskva* 1994 (3) : 56-57.
- Van der Linden, A. (1991) Biological control of the leafminer *Liriomyza huidobrensis* (Blanchard) in Dutch greenhouse tomatoes. *Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent* 56: 265-271.
- Van de Vrie, M. and F. B. Dirkse (1982) Biology and control of leafminer *Liriomyza trifolii* Burgess on glasshouse chrysanthemum. *Acta Horti.* 125: 257-261.
- Van Elferen, J. H. W. M. and S. T. Yathom (1989) The bionomics of *Liriomyza trifolii* on gypsophila and bean leaves. *Phytoparasitica* 17: 241-250.
- Van Frankenhuyzen, A. and C. F. Van de Bund (1979) *Liriomyza trifolii* op chrysanten gerbera[in Dutch]. In *Report Plant Protection Service for 1978*, Wageningen, the Netherlands, pp. 69-71.
- Van Lenteren, J. C. (1995) Integrated pest management in protected crops. In *Integrated Pest Management* (David Dent ed.) . Chapman & Hall, London, UK, pp.311-343.
- Viraktamath, C. A., G. C. Tewari, K. Srinivasan and M Gupta (1993) American serpentine leaf-miner is a new threat to crops. *Ind. Farm.* 43: 10-12.
- Wang, C. L. and F. C. A. Lin (1988) A newly invaded insect pest *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae) in Taiwan. *J. Agric. Res. China* 37: 453-457.

- Waage, J. K. and M. P. Hassell (1982) Parasitoids as biological control agents - a fundamental approach. *Parasitology* 84: 241-268.
- 鷺谷いずみ (1998) 保全生態学からみたセイヨウオオマルハナバチの侵入問題. *生態誌* 48: 73-78.
- Woets, J. and A. Van Der Linden (1982) On the occurrence of *Opius Pallipes* Wesmael and *Dacnusa sibirica* Telenga (Braconidae) in cases of natural control of the tomato leafminer *Liriomyza bryoniae* Kalt. (Agromyzidae) in some large greenhouses in the Netherlands. *Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent* 47: 533-540.
- Woets, J. and A. Van Der Linden (1985) First experiments on *Chrysocharis parksi* Crawford (Hym.: Eulophidae) as a parasite for leafminer control (*Liriomyza* spp.) (Dipt.: Agromyzidae) in European greenhouse tomatoes. *Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent* 50: 763-768.
- 山田富夫・帰山 稔・松井宣夫・米田 渥 (1987) 殺ダニ剤ヘキシチアゾクスの開発. *農薬誌* 12: 327-335.
- Yano, E. (1983) Spatial distribution of greenhouse whitefly (*Trialeurodes vaporariorum* Westwood) and a suggested sampling plan for estimating its density in greenhouses. *Res. Popul. Ecol.* 25: 309-320.
- Yano, E. (1998) Sampling protocols for pre- and post-release evaluations of natural enemies in protected culture. In *Biological Control of Arthropod Pests in Protected Culture*. (Parela, M. P. and K. M. Heinz eds.) . Ball Publishing, Batavia, Illinois. (in press)
- Yano, E. (1989a) A simulation study of population interaction between the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Homoptera: Aleyrodidae) , and the parasitoid *Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera: Aphelinidae) . I. Description of the model. *Res. Popul. Ecol.* 31: 73-88.
- Yano, E. (1989b) A simulation study of population interaction between the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Homoptera: Aleyrodidae) , and the parasitoid *Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera: Aphelinidae) . II. Simulation analysis of population dynamics and strategy of biological control. *Res. Popul. Ecol.* 31: 89-104.
- 矢野栄二 (1989) オンシツコナジラミ個体群の増殖に影響する要因. *応動昆* 33: 122-127.
- 矢野栄二 (1996) 天敵の特性と利用技術. *植物防疫* 50: 455-459.
- Zehnder, G. W. and J. T. Trumble (1983) Monitoring leafminer activity in pole tomatoes. In *Proc. 3rd Ann. Ind. Conf. Leafminer.* (S. L. Poe, ed) . San Diego, Calif, pp.153-162.
- Zehnder, G. W. and J. T. Trumble (1984) Spatial and diel activity of *Liriomyza* species (Diptera: Agromyzidae) in fresh market tomatoes. *Environ. Entomol.* 13: 1411-1416.
- Zehnder, G. W. and J. T. Trumble (1985) Sequential sampling plans with fixed level of precision for *Liriomyza* species (Diptera: Agromyzidae) in fresh market tomatoes. *J. Econ. Entomol.* 78: 138-142.
- Zoebisch, T. G., D. J. Schuster and J. P. Gilreath (1984) *Liriomyza trifolii* : oviposition and development in foliage of tomato and common weed hosts. *Florida Ent.* 67: 250-254.
- Zoebisch, T. G. and D. J. Schuster (1987) Suitability of foliage of tomatoes and three weeds hosts for oviposition and development of *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae) . *J. Econ. Entomol.* 80: 758-762.
- Zoebisch T. G. and D. J. Schuster (1987) Longevity and fecundity of *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae) exposed to tomato foliage and honeydew in the laboratory. *Environ. Entomol.* 16: 1001-1003.
- Zoebisch T. G. and D. J. Schuster (1990) Influence of height of yellow sticky cards on captures of adults leafminer (*Liriomyza trifolii*) (Diptera: Agromyzidae) in staked tomatoes. *Florida Ent.* 73: 505-507.
- Zoebisch, T. G., D. J. Schuster, G. H. Smerage and J. L. Stimac (1992) Mathematical descriptions of oviposition and egg and larval development of *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae) on tomato foliage. *Environ. Entomol.* 21: 1341-1344.
- Zoebisch, T. G., J. L. Stimac and D. J. Schuster (1993) Methods for estimating adult densities of *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae) in staked tomato fields. *J. Econ. Entomol.* 86: 523-528.

Studies on Population Ecology and Biological Control by Parasitoids of *Liriomyza trifolii* (Burgess)

Akihito Ozawa

Summary

The American Serpentine Leafminer, *Liriomyza trifolii* (Burgess), was first observed in 1990 at Hamamatsu in Shizuoka Prefecture in Japan. The distribution of *L. trifolii* has been spreading in Japan and this pest has become one of the most difficult pests to control on many kinds of crops, such as tomato, celery, gerbera and chrysanthemum. Since *L. trifolii* is an exotic insect, its population ecology in Japan is unknown so far. But it is known that the population of *L. trifolii* in Japan has the strong pesticide resistance against many insecticides by nature. And also, the introduction of pollinating insects, *Bombus terrestris*, on tomato has become popular as a labor-saving technique among growers, so the applications of insecticides in tomato greenhouses are restricted. These situations demand the development of control methods that can substitute for chemicals against *L. trifolii*, so these studies deal with the population ecology of *L. trifolii* and the biological control by the imported parasitoids, *Diglyphus isaea* (Walker) and *Dacnusa sibirica* Telenga, against *L. trifolii*.

1. The effects of temperature and host plants on the population growth of *L. trifolii* were studied in the laboratory. The estimated threshold temperature for eggs, larval and pupal development on kidney bean were 8.0, 8.9 and 10.1°C, respectively. The total effective temperature for all stages was 257 degree-days. *L. trifolii* was reared at 25°C on kidney bean, pak-choi, tomato, cherry tomato, celery, gerbera, chrysanthemum and melon, and at different temperatures on tomato. The combined egg and larval development time varied from 6.5 days on kidney bean to 9.7 days on chrysanthemum. The fecundity of female adults varied from 54.7 eggs on tomato to 637.7 eggs on pak-choi. The pupation rates at 25°C varied from 56.2% on melon to 97.8% on kidney bean and were significantly different between crops. The adult emergence rates varied from 82.8% on celery to 96.5%

on tomato. There were no large differences in the mean generation time between crops. Large differences in the net reproductive rate were found between crops, ranging from 25.21 on tomato to 271.99 on pak-choi. The intrinsic rates of natural increase on kidney bean, pak-choi, tomato, cherry tomato, celery, gerbera, chrysanthemum and melon were 0.2384, 0.2268, 0.1607, 0.1684, 0.2008, 0.1866, 0.1709 and 0.1429, respectively. The reproductive rates per day varied from 1.269 on kidney bean to 1.154 on melon. The hatchabilities on tomato were not significantly different between different temperatures, but the pupation rates and emergence rates were significant different between temperatures. The female fecundity varied from 3.3 at 15°C to 29.4 at 25 °C, and female longevity was negatively correlated with temperature. The mean generation times varied from 55.85 at 15 °C to 14.27 at 30°C. The net reproductive rate was 25.21 at 25 °C, and the intrinsic rates of natural increase at 15 °C, 20 °C, 25 °C and 30 °C were -0.0042, 0.0655, 0.1607 and 0.0995, respectively. The population growth rate of *L. trifolii* was highest at 25 °C. And also, close agreement between the density of *L. trifolii* predicted from a simulation model including the parameters elucidated in this study and the density observed on cherry tomato in a greenhouse was obtained.

2. The dispersal and the seasonal prevalence of occurrence of adults of *L. trifolii* in fields were studied using yellow sticky traps. The capture of *L. trifolii* adults on traps was observed from the end of February to the middle of December, peaks of the occurrence were observed on June or July. Yellow sticky traps were placed horizontally and vertically near an eggplant greenhouse severely infested by *L. trifolii* in order to investigate the dispersal of *L. trifolii* adults. The number of adults captured by the traps placed vertically 0.5 - 5.5 m above the ground decreased with increased trap height. The number of

adults captured by traps at 5.5 m above the ground was from 0% to 0.2% of the total number of adults captured by all vertical traps. The number of adults captured by traps placed horizontally from east to west decreased with distance from the greenhouse. The number of adults captured by traps at 48 m east of the greenhouse was from 1.4% to 1.9% of the total number of adults captured by all horizontal east traps. The sex of adults captured by traps was biased to males. The ratio of females was from 9.4% to 31.7% for vertical traps, and was from 9.1% to 29.9% for horizontal traps. Female ratio tended to decrease with the number of captured adults. There was a significant correlation between sex ratio and the number of captured adults.

3. The efficiency of adult counts on yellow sticky traps and pupal counts in trays to estimate the larval occurrence of *L. trifolii* in tomato greenhouses were evaluated based on the relationships between the former counts and the number of larvae or mines found on leaves, and between the latter counts and the number of larvae found on leaves. A significant correlation was found between the number of adults per trap per day and the density of larvae 1 week after trapping adults in an experimental greenhouse and in commercial greenhouses controlled by chemicals. No significant relationships were found in commercial greenhouses where the leafminer was controlled with parasitoids. A significant correlation was found between the cumulative number of adults per trap and the density of mines 1 week after trapping adults in all greenhouses. In an experimental greenhouse, the number of pupae caught per tray per day was significantly correlated with the number of larvae per plant. However, it was not significantly correlated with the number of larvae 1, 2, 3, and 4 weeks after counting pupae. The capture rate of emerged pupae changed from 36.3% to 5.0%, due to the increased number of leaves per plant. Consequently, it is suggested that the yellow sticky trap is more reliable than the pupal tray for estimating densities of larvae and mines of *L. trifolii* on tomatoes. Spatial distribution of *L. trifolii* larvae and mines on tomato were investigated. The center of larval distribution in plants moved gradually from bottom

leaves to top leaves with the growth of tomato plants. The distribution of both larvae and mines among plants was clumped.

4. The effectiveness of biological control of *L. trifolii* by the release of *Diglyphus isaea* (Walker) on tomatoes was evaluated in greenhouses. Three experiments were tried in spring (Trial 1), early summer (Trial 2), and mid-summer (Trial 3). The parasitoid release rates were 0.13 ♀ per plant (5 releases) in Trial 1, 0.19 ♀ per plant (8 releases) in Trial 2, and 0.15 ♀ per plant (3 releases) in Trial 3. The host release rates were 0.5 ♀ per plant (1 release) in Trial 1, 0.5 ♀ per plant (3 releases) in Trial 2, and 0.5 ♀ per plant (1 release) in Trial 3. The densities of leafminer larvae in greenhouses where parasitoids were released in trials 1, 2 and 3, were held below 1/4, 1/36, and 1/10 of the control larval density, respectively. The mortalities of leafminer larvae observed in trials 1, 2 and 3, increased by up to 94.1%, 98.4%, and 100%, respectively. The number of empty mines in trials 1, 2 and 3, were 1.3 per leaf, 2.2 per leaf, and 3.4 per leaf at the end of the experiment, respectively. The number of fallen leafminer pupae in trays under tomato plants in trials 1 and 2, and the number of leafminer adults caught by yellow sticky traps in Trial 3, were few compared to the controls. The only parasitoid species emerging from *L. trifolii* larvae in trials 1, and 3 was *D. isaea*, while the indigenous parasitoid, *Neochrysocharis formosa* (Westwood), was dominant in Trial 2. The maximum percentage parasitisms based on the number of adult parasitoids emerging from samples collected in the release greenhouses in trials 1, 2, and 3, were 92.3%, 86.7%, and 95.1%, respectively. Consequently, it is suggested that *D. isaea* is effective against *L. trifolii* on tomato in greenhouses from spring through summer.

5. The effects of 28 insecticides, 8 acaricides and 18 fungicides on *Diglyphus isaea* and *Dacnusa sibirica*, parasitoids of *L. trifolii*, were evaluated by laboratory experiments to determine their toxicity to the adults and larvae of these parasitoids, and their action on parasitism. All tested organophosphate, synthetic pyrethroid, nereistoxin analog and carbamate insecticides were harmful to the adults and mature larvae of *D. isaea* and the adults of *D. sibirica*, and also

prevented their parasitism of larvae of *L. trifolii*. The period of residual contact toxicity of granules of acephate and fosthiazate applied in soil to adults of *D. isaea* and *D. sibirica* was more than 6 weeks. Tested Chloronicotinyl insecticides tested were moderately harmful to the adults of the parasitoids, and imidacloprid prevented parasitism by *D. isaea*. Granules of imidacloprid applied in soil did not show contact toxicity, and prevention of parasitism by *D. isaea* was slight. Bromopropylate, dicofol and fenbutatin oxide acaricides were slightly harmful to the adult parasitoids, but fenbutatin oxide was safe to larvae and parasitism by *D. isaea*. Hexythiazox, *Bacillus thuringiensis* and sodium oleate were safe for adults and larvae of *D. isaea*, and parasitism by the two species of parasitoids. Growth regulator insecticides, buprofezin, flufenoxuron, pyriproxyfen and teflubenzuron, were safe for the adults, parasitism by the two species of parasitoids and development of progeny oviposited by adult *D. isaea* dipped in them. Except pyriproxyfen, these IGR insecticides were safe for larvae of *D. isaea*. Pymetrozine was safe for adults of the two parasitoids, the larvae of *D. isaea* and parasitism by *D. sibirica*, while it was slightly harmful to parasitism by *D. isaea*. Most tested fungicides were safe. Captan was moderately harmful to adults of the two parasitoids, but was safe for larvae and parasitism by the parasitoids. Thus, it is suggested that IGRs (buprofezin, flufenoxuron, pyriproxyfen and teflubenzuron), *Bacillus thuringiensis*, sodium oleate, pymetrozine, some acaricides and most fungicides can be combined with *D. isaea* and *D. sibirica* in *L. trifolii* IPM programs.

6. The effectiveness of integrated control against *L. trifolii* on tomatoes was evaluated in commercial greenhouses. Experiments were conducted at 2 locations, Hamaoka and Shimizu in Shizuoka Prefecture, from summer to winter in 1995. *D. isaea* and *D. sibirica*, were released 4 times weekly from September to October, at release rates of 500 wasps per 10a. Only selective insecticides such as IGR and BT were applied in greenhouses with parasitoid release, whereas various insecticides including non-selective pesticides were applied in control greenhouses. In Hamaoka, density of leafminer larvae

in a greenhouse with parasitoid release was kept at 50% of that in a control greenhouse, and mortality of leafminer larvae increased up to 97.4%. Density of mines and number of adults captured by yellow sticky traps were kept at 85%, 20% of those in the control greenhouse, respectively. In Shimizu, densities of leafminer larvae and mines, and the number of adults captured by yellow sticky traps in a greenhouse with parasitoid release were higher than those in a control greenhouse, but mortality of leafminer larvae increased up to 96.9% and its damage was not severe. Maximum percentage of parasitism by the parasitoids complex based on numbers of adult parasitoids emerged from collected tomato leaves in greenhouses with parasitoid release in Hamaoka and Shimizu were 100%. Dominant parasitoids species emerged from *L. trifolii* larvae in Hamaoka were *D. isaea* and *D. sibirica*, while dominant parasitoids in Shimizu were indigenous species, among which *Neochrysocharis formosa* was predominant. Total frequency of insecticide application in greenhouses with parasitoid release were the same as that in control greenhouses, but the frequency of insecticide application against leafminers was by far lower than that in control greenhouses. These results suggest that integration of parasitoids with selective insecticides against *L. trifolii* was practically effective on tomatoes in commercial greenhouses.