気門封鎖剤によるタバココナジラミ (カメムシ目: コナジラミ科) の 定位および交尾阻害効果について

杖田 浩二 *

岐阜県農業技術センター

Inhibitory Effects of Spiracle-Blocking Insecticides on Courtship and Orientation in Sweetpotato Whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). Hirotugu TSUEDA* Gifu Agricultural Technology Center, 729 Matamaru, Gifu 501-1152, Japan. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 63: 155–162 (2019)

Abstract: The sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae), is a notorious agricultural pest worldwide. In this study, the inhibitory activities of several spiracle-blocking insecticides on its orientation and courtship were investigated to identify an effective control agent against this pest. The numbers of orientated adults, courting pairs, and eggs were found to decrease on tomato plants that had been sprayed with decanoyloctanoylglycerol, safflower and cotton oil, or rape seed oil. Furthermore, when virgin female and male adults were released on tomato plants, the progeny sex ratio was higher (i.e., a higher percentage of males) on the plants that had been sprayed with decanoyloctanoylglycerol or safflower and cotton oil than on the corresponding control plants. Under greenhouse conditions, a cohort of tomato plants that had been sprayed with 500-fold diluted decanoyloctanoylglycerol four times every 10 days had fewer whitefly adults, lower numbers of eggs and larvae, and a higher sex ratio than the control plants. These results indicate that spiracle-blocking insecticides containing liquid oil, decanoyloctanoylglycerol, safflower and cotton oil, and rape seed oil can inhibit orientation and courtship in *B. tabaci* and allow this pest species to be maintained at a low density.

Key words: Spiracle-blocking insecticides; inhibitory effect; orientation; courtship; *Bemisia tabaci*

緒 言

タバココナジラミ *Bemisia tabaci* (Gennadius) (カメムシ目: コナジラミ科) は、熱帯から亜熱帯にかけて分布する農業害虫である。本虫の食性は広く、600 種以上の寄主植物が報告されている (Oliveria et al., 2001)。本虫の繁殖力は高く、施設内では各発育ステージからなる安定した個体群を形成する。そのため、施設栽培の野菜類や花卉類では、深刻な被害が発生しやすい。本虫は、吸汁による生育阻害、排泄物に起因するすす病による光合成能力の低下 (Hussey et al., 1958; Yee et al., 1996)、カボチャ (*Cucurbita maxima* Duchesne ex Lam.) の白化症 (Yokomi et al., 1990) やトマト (*Solanum lycopersicum* L.) の着色異常果 (Schuster et al., 1990; 松井, 1992) といった障害を引き起こす。さらに本種はベゴモウイルスを主とする各種植物病原性ウイルスの媒介虫でもあり (Brown and Bird, 1992; Brown, 2000)、各国で問題となっているトマト黄化葉巻病 (病原ウイルス, *Tomato yellow leaf curl virus*; TYLCV) やキュウリ退

緑黄化病 (病原ウイルス, *Cucurbit chlorotic yellows virus*; CCYV) を引き起こす。タバココナジラミ種内には、形態的な差は認められないものの、寄主適合性やウイルスの媒介能力の差などから、少なくとも 24 種類以上のバイオタイプが存在すると考えられている (Costa and Brown, 1991; Bedford et al., 1994; Perring, 2001)。現在、わが国には在来のもを含む 4 つのバイオタイプが確認されているが (本多, 2005)、農業生産において問題となるものは、バイオタイプ B および Q である。両バイオタイプはともに侵入害虫であり、それぞれ 1989 年と 2005 年に国内で初確認され (大戸, 1990; Ueda and Brown, 2006)、その後急速に分布を拡大した (本多, 2008)。近年の研究では、タバココナジラミは少なくとも 24 の遺伝的に異なる隠蔽種の複合であると報告されているが (Dinsdale et al., 2010; Xu et al., 2010; De Barro et al., 2011)、本稿ではバイオタイプとして扱う。なお、バイオタイプ B は Middle East-Asia Minor 1、バイオタイプ Q は Mediterranean と同一である。

タバココナジラミは、多くの殺虫剤に対して感受性が

* E-mail: tsueda-hirotugu@pref.gifu.lg.jp

2018 年 11 月 25 日受領 (Received 25 November 2018)

2019 年 6 月 30 日登載決定 (Accepted 30 June 2019)

DOI: 10.1303/jjaez.2019.155

低く、なかでもバイオタイプQはバイオタイプBの防除に有効であったピリプロキシフェンやネオニコチノイド系殺虫剤に対する感受性が低いことが報告されている (Horowitz et al., 2003; Dennehy et al., 2010). また、中国やスペイン、わが国の各地域では、これまで優占的であったバイオタイプBが減少し、対照的にバイオタイプQが増加して優占的となるようなバイオタイプの変遷現象が報告されている (Simón et al., 1999; 樋口ら, 2007; 大井田ら, 2007; Chu et al., 2010). 殺虫剤感受性の差は、個体群中のバイオタイプBとQの生存率に影響するため、この変遷現象に影響している要因の1つであると指摘されている (Crowder et al., 2010; Sun et al., 2013). バイオタイプQの比率が高まれば、効果的な殺虫剤が限定されるため、殺虫剤による防除は困難になることが予想される. 特にバイオタイプBには高い殺虫効果を示すがバイオタイプQには効果の低い殺虫剤を使用すると、バイオタイプQへの変遷現象を助長することが指摘されている (杖田・妙楽, 2015). このような変遷現象を回避するためには、両バイオタイプに同程度の効果を示す殺虫剤の選択が重要となる.

近年、アセチル化グリセリドを植物に散布することで、タバココナジラミ成虫の定位忌避や求愛行動を阻害する効果が得られることが報告されている (Kashima et al., 2014). アセチル化グリセリドによる求愛行動の阻害は、タバココナジラミの雌雄成虫が葉を振動させて発する音響信号による交信が正常に行えないことに起因するとされ、バイオタイプBとQともに交尾が正常に行われないことが報告されている (Kashima et al., 2016). タバココナジラミは半数倍数性であり、受精卵から雌が、未受精卵から雄成虫が発育する (Byrne and Berrows, 1991). そのため、アセチル化グリセリドの散布による交尾阻害は、未受精卵から発育する雄の子孫の増加につながり、性比 (雄率: 雄/(雄+雌)) の上昇による繁殖率の低下につながることが期待されている (Kashima et al., 2016). アセチル化グリセリドによる交信阻害のメカニズムは十分に解明されていないが、葉に付着したアセチル化グリセリドの影響により、タバココナジラミ成虫が葉を振動させる音響が正常に伝達しない、もしくは本剤を使用しない場合と比べて変化する可能性が考えられる.

気門封鎖剤は、虫体に付着した薬液が気管系を封鎖して窒息死させる殺虫剤である (松田ら, 1995; 日本植物防疫協会, 2016). そのため、両バイオタイプに同様の防除効果を期待できることから、バイオタイプQへの変遷現象には影響しないと予想される. 現在市販されている気門封鎖剤の主成分は、界面活性剤、油脂、糖など多様で、固着性や粘性の強い物質も含まれる. これらの成分が、葉の表面に付着することで音響信号が変化し、アセチル化グリセ

リドと同様に定位忌避および求愛行動阻害効果を示す可能性が考えられる. そこで、数種の気門封鎖剤を対象にアセチル化グリセリドと同様の定位忌避および交尾阻害効果の有無を確認するとともに、より現地の施設栽培条件に近い環境下においてその効果を検討した結果を以下に記す.

本文に先立ち、統計処理に有益な助言を賜った農研機構中央農業研究センターの光永貴之博士に謝意を表する.

材料および方法

1. 供試虫と供試植物

2015年に岐阜市内のダイズ圃場から採集した成虫をもとに、累代飼育したタバココナジラミ個体群を供試した. 餌植物は、ポリエチレン製ポット (直径7.5cm) を用いて本葉が約5枚展開した実生栽培トマト (品種: ハウス桃太郎) とし、液体肥料 (ハイポネックス 6-10-5, 株式会社ハイポネックスジャパン製) を適宜与えて管理した. 飼育は床面積2.9m² (1.7m×1.7m) の恒温室内で行い、管理条件は温度25°C、日長14L10Dとした. 試験に必要な個体数を維持するため、餌植物は劣化に応じて新しいものと交換した. 累代飼育したタバココナジラミ成虫は、杖田・妙楽 (2015) で採用されたPCR法により、バイオタイプBであることを確認した. 累代飼育虫のバイオタイプは、無作為に採集した30頭の成虫を対象に前述の方法で定期的に確認し、異なるバイオタイプの混入がないことを確認した.

室内試験には、ポリエチレン製ポット (直径7.5cm) を用いて本葉が3~4枚展開するまで実生栽培したトマト (品種: ハウス桃太郎) を用いた. このトマト苗の上位第2複葉と未展開葉以外の葉をすべて切除したものを、供試植物とした.

2. 薬剤選別試験

供試剤は、オレイン酸ナトリウム液剤 (商品名: オレート液剤, 100倍), プロピレングリコールモノ脂肪酸エステル乳剤 (商品名: アカリタッチ乳剤, 1000倍), ソルビタン脂肪酸エステル (商品名: ムシラップ, 500倍), 還元澱粉糖化物液剤 (商品名: エコピタ液剤, 100倍), 脂肪酸グリセリド乳剤 (商品名: サンクリスタル乳剤, 500倍), 調合油乳剤 (商品名: サフオイル乳剤, 300倍), なたね油乳剤 (商品名: ハッパ乳剤, 100倍) とした. 供試剤は、水道水で所定の倍数に希釈した. 希釈倍数は、それぞれの使用基準に従った. 希釈した薬液は、ハンドスプレーを用いて薬液が葉から滴る程度供試植物に散布した. 水道水のみを散布したものを無処理とした. 風乾後、各処理苗を1つずつプラスチックトレイ (23cm×32cm) に入れ、累代飼育虫の飼育室内に配置した. すなわち、処理苗を入れたプラスチックトレイ8個を飼育室の中央付近に並べ、タバココナジラミ成虫が付着した餌用トマト苗をトレイの周囲に均等に配置した. プラスチックトレイ1個を1反復と

し、8 反復とした（配置苗の総数：64）。配置 6 日後、各処理苗に定位する成虫数を調査した。また、タバココナジラミは求愛行動の第 1 段階で雌雄成虫が並んで定位する（Li et al., 1989）ことから、2 頭の成虫が並んで定位している数（ペア数）を調査した。3 頭以上の成虫が並んで定位している場合も、ペア数は 1 とした。吸虫管を用いて葉上の成虫をすべて除去した後、供試植物を実験室に持ち帰り、実体顕微鏡下で産卵数を調査した。管理条件は、累代飼育虫の管理条件と同様、温度は 25°C、日長は 14L10D とした。

3. 効果持続期間

供試剤は、脂肪酸グリセリド乳剤（500 倍）、調合油乳剤（300 倍）、なたね油乳剤（100 倍）とした。水道水で所定の濃度に希釈した供試剤は、ハンドスプレーを用いて薬液が葉から滴る程度供試植物に散布した。試験には、処理から 1 日、3 日および 5 日経過した苗を用いた。水道水を散布した苗を無処理とし、散布 1 日後の苗を供試時のみ比較に用いた。処理苗 1 つをプラスチックケース（20cm×20cm×20cm）に入れ、ここにタバココナジラミ成虫を 10 頭（雌雄 5 頭）入れたガラスシャーレ（直径 3cm、高さ 1cm）を入れた。タバココナジラミ成虫は、低温麻酔後に面相筆でガラスシャーレに入れ、回復を確認したのちプラスチックケースに入れた。シャーレのフタを開けて放虫したのち、プラスチックケースのフタをして、温度 25°C、日長 14L10D で管理した。放虫 24 時間後、寄主植物に定位している成虫数を調査した。反復は 5 とした。

4. 交尾阻害効果

累代飼育虫の飼育室から終齢幼虫が付着しているトマト複葉を採集し、ガラスバイアルに水挿ししたのち透明の円筒型プラスチックケース（直径 20cm、高さ 8cm）に入れて室温条件で管理し、羽化 24 時間以内の雌雄成虫を供試した。吸虫管で採集した成虫を低温麻酔したのち、面相筆でガラスシャーレ（直径 3cm、高さ 1cm）に雌雄 5 頭ずつ入れた。雌雄の識別は、実体顕微鏡下で行った。供試薬剤は、脂肪酸グリセリド乳剤（500 倍）と調合油乳剤（300 倍）とした。水道水で所定の濃度に希釈した供試剤は、ハンドスプレーを用いて薬液が葉から滴る程度供試植物に散布した。水道水を散布した苗を無処理とし、散布 2 日後の苗を試験に用いた。換気用にナイロンゴースを張り付けた直径 2cm の穴を 2 か所空けた透明プラスチックケース（20cm×20cm×20cm）に、処理苗を 1 個とタバココナジラミ成虫を入れたガラスシャーレを入れ、シャーレのフタを開けて放虫したのち、プラスチックケースのフタをした。放虫後、温度 25°C、日長 14L10D で管理した。放虫 3 日後、供試植物に定位している成虫数とペア数を調査し、すべての成虫を吸虫管で除去したのち、実体顕微鏡下で葉裏の産卵数を調査した。さらに、供試植物を前述の条件で管理し、産下卵を飼育した。眼点を確認できるまで幼虫が

発育したら、幼虫が付着する複葉を切除してガラスバイアルに水挿しし、別の透明プラスチックケース（7cm×7cm×10cm）に入れて羽化するまで管理した。羽化した成虫は吸虫管ですべて採集し、70% エタノールに液浸したのち、実体顕微鏡下で雌雄を識別して性比を算出した。また、羽化成虫数と産卵数から、羽化率を算出した。反復は 10 とした。

5. 温室試験

試験は岐阜県農業技術センター内のガラス温室で実施した。供試温室は、内部が 5.4m²（1.8m×3.0m）の小部屋に仕切られており、側窓および通路に通じる開口部はすべて 0.4mm 目合いのネットで被覆した。2016 年 5 月 31 日に、本葉が 5 枚展開するまで実生栽培したトマト苗（品種：ホーム桃太郎）を、各小部屋に 8 株ずつ定植した。そして、2016 年 6 月 6 日から約 10 日間隔で、脂肪酸グリセリド乳剤 500 倍液を 4 回散布した（散布日：2016 年 6 月 6 日、17 日、28 日および 7 月 8 日）。小部屋 1 室を 1 反復とし、脂肪酸グリセリド乳剤 500 倍液区および無処理区ともに 3 反復とした。第 1 回散布から第 3 回散布の 1 日後と 6 または 7 日後、第 4 回散布の 1 日後には、タバココナジラミ成虫を小部屋 1 室あたり 20 頭放虫した（放虫日：6 月 7 日、13 日、18 日、23 日、29 日、7 月 5 日および 9 日）。タバココナジラミ成虫は、累代飼育室から吸虫管で採集し、低温麻酔後に面相筆で雌雄無作為にガラスシャーレ（直径 3cm、高さ 1cm）を入れた。麻酔回復後に各小部屋の中央付近にガラスシャーレを配置し、フタを開けて放虫した。各区の全株全複葉につき、葉裏に寄生するタバココナジラミ成虫数と、2 頭以上の成虫が並んで定位している数（ペア数）を調査した。調査は、1 および 2 回目散布では 2 および 7 または 8 日後、3 および 4 回目散布では 2 または 3 日後に実施した（調査日：6 月 8 日、14 日、19 日、24 日、30 日、7 月 11 日）。最終調査時には、各区全株のトマト株につき、中位にある 3 複葉から 1 枚ずつ小葉を採集して実験室に持ち帰り、実体顕微鏡下でタバココナジラミの卵数と幼虫数を調査した。さらに 7 月 20 日には、トマト株からタバココナジラミ成虫を吸虫管で採集し、70% エタノールに液浸した後、実体顕微鏡下で雌雄の識別を行い、性比（雄率：雄／（雄＋雌））を算出した。採集数は 100 頭以上を原則とし、それに至らない場合は確認できたすべての成虫を採集した。

6. 統計処理

薬剤選別試験における定位成虫数、ペア数および卵数、効果持続期間判定試験における定位成虫数は、1 元配置分散分析で平均値の差を比較したのち、Tukey 法により薬剤間の差を比較した。交尾阻害試験における羽化率と性比（雄率：雄／（雄＋雌））は、角変換後に *t* 検定で無処理区との差を比較した。温室試験における産下小葉数、卵数およ

び若齢幼虫数は、 t 検定で処理間の差を比較した。性比（雄率）は、全反復で出現した総成虫数を用い、 χ^2 検定で2区間の差を比較した。

χ^2 検定以外の統計計算には、エクセル統計 ver. 2.15 (BellCurve 製) を用いた。

結 果

1. 薬剤選別試験および効果持続期間

処理6日後のトマト苗上に定位したタバココナジラミ成虫数は、調合油乳剤区 (49.6 ± 20.3 頭; 平均±標準偏差) と脂肪酸グリセリド乳剤区 (59.8 ± 23.8 頭) で無処理区 (100.9 ± 20.8 頭) の半分程度と少ない傾向であったが、すべての区間に有意な差は認められなかった ($df=7$, $F=1.863$, $p=0.093$; Table 1)。タバココナジラミ成虫のペア数は、脂肪酸グリセリド乳剤区 (2.1 ± 1.7 組), 調合油乳剤区 (2.6 ± 1.5 組), なたね油乳剤区 (7.4 ± 4.6 組) が他区と比較して少ない傾向にあり、無処理区や一部の処理区と有意な差が認められた ($df=7$, $F=3.149$, $p<0.05$; Table 1)。産卵数は、少ないほうから調合油乳剤区 (121.6 ± 34.7 個), 脂肪酸グリセリド乳剤区 (147.4 ± 52.3 個), なたね油乳剤区 (188.5 ± 66.8 個) の順であったが、ソルビタン脂肪酸エステル処理区との間以外に有意な差は認められなかった ($df=7$, $F=2.876$, $p=0.122$; Table 1)。

脂肪酸グリセリド乳剤, 調合油乳剤, なたね油乳剤の処

理1日後のトマト苗に定位した成虫数は、それぞれ 1.4 ± 1.1 頭, 1.8 ± 0.8 頭, 2.2 ± 1.8 頭 (平均±標準偏差) であり、無処理区 (6.2 ± 1.3 頭) と比較して有意に少なかった ($df=3$, $F=14.338$, $p<0.001$)。各処理区における処理3日後および5日後の定位成虫数は、いずれも2頭程度で処理1日後と大きな差はなく、処理区間でも有意な差は認められなかった (3日後: $df=2$, $F=1.696$, $p=0.225$, 5日後: $df=2$, $F=0.261$, $p=0.775$; Table 2)。

2. 次世代の性比

脂肪酸グリセリド乳剤500倍希釈液を処理した区では、すべての反復で次世代に雌成虫が出現しなかった。対照的に、無処理区では10回中8回の反復で次世代の雌成虫が出現した。無処理区における次世代の性比（雄率：雄／（雄＋雌））は 0.68 ± 0.26 (平均±標準偏差) であり、脂肪酸グリセリド乳剤処理区よりも有意に低かった（角変換後 t 検定, $t=4.718$, $p<0.001$; Table 3)。羽化した総成虫数は、脂肪酸グリセリド乳剤処理区 (98 頭) が無処理区 (239 頭) より少なかった。羽化率はそれぞれ $82.9 \pm 22.3\%$ および $92.7 \pm 41.9\%$ であり、有意な差はなかった（角変換後 t 検定, $t=0.054$, $p=0.958$; Table 3)。

調合油乳剤300倍希釈液を処理した区では、10反復中1反復で次世代に雌成虫が出現した。対照的に、無処理区ではすべての反復で次世代に雌成虫が出現した。調合油乳剤における次世代の性比（雄率）は 0.90 ± 0.17 で、無処理

Table 1. Numbers of oriented adults, courting pairs, and eggs of *Bemisia tabaci* on the treated tomato plants

Pesticide	Dilution	Number of oriented adults	Number of courting pairs	Number of eggs
Sodium oleate	100	84.3 ± 21.3 a	19.1 ± 5.9 ab	261.8 ± 82.3 ab
Propylene glycol esters of fatty acids	1000	124.3 ± 23.3 a	25.3 ± 5.1 b	322.6 ± 55.4 ab
Sorbic acid esters of fatty acids	500	116.5 ± 25.8 a	25.5 ± 7.2 b	516.3 ± 130.3 b
Hydrogenated starch hydrolysate	100	76.9 ± 15.8 a	14.4 ± 4.0 ab	288.9 ± 80.3 ab
Decanoyloctanoylglycerol	500	59.8 ± 23.8 a	2.1 ± 1.7 a	147.4 ± 52.3 a
Safflower and cotton oil	300	49.6 ± 20.3 a	2.6 ± 1.5 a	121.6 ± 34.7 a
Rape seed oil	200	93.1 ± 35.4 a	7.4 ± 4.6 a	188.5 ± 66.8 a
Control (water)	—	100.9 ± 20.8 a	21.4 ± 6.1 b	279.4 ± 43.7 ab

Examination was conducted six days after treatment. Values are presented as mean±SD. Values in the same column with the same letters are not significantly different (Tukey's post hoc test, $p>0.05$).

Table 2. Changes in the number of oriented adults of *B. tabaci* on tomato leaflets after treatment

Pesticide	Dilution	Number of oriented adults		
		1	3	5 (day after treatment)
Decanoyloctanoylglycerol	500	1.4 ± 1.1 a	3.0 ± 1.6 a	2.2 ± 1.1 a
Safflower and cotton oil	300	1.8 ± 0.8 a	2.6 ± 1.3 a	2.6 ± 0.9 a
Rape seed oil	100	2.2 ± 1.8 a	1.6 ± 0.5 a	2.4 ± 0.5 a
Control (water)	—	6.2 ± 1.3 b	—	—

Values are presented as mean±SD. Values in the same column with the same letters are not significantly different (Tukey's post hoc test, $p>0.05$).

Table 3. Numbers of courting pairs, emergence ratio, and progeny sex ratio in the sprayed and control cohorts

Pesticide	Dilution	Replicate	Number of courting pairs	Emergence ratio ^a (%)	Total number of emerged adults ^a	Sex ratio ^a (male/(male+female))
Decanoyloctanoylglycerol	500	10 (0)	0±0	82.9±22.3 a	98	1±0 b
Control (water)	—	10 (8)	1.0±1.2	92.7±41.9 a	239	0.68±0.26 a
Safflower and cotton oil	300	10 (1)	0±0	81.8±15.5 a	68	0.90±0.17 b
Control (water)	—	10 (10)	0.6±0.8	98.7±23.6 a	214	0.76±0.16 a

^a Values in these columns indicate the data of emerged whitefly progeny.

Values are presented as mean±SD. Values in the same column with the same letters are not significantly different (*t*-test after arcsine transformation, $p>0.05$). Numbers in parentheses indicate the number of replicates in which adult females emerged.

Table 4. Numbers of leaflets oviposited on, eggs, larvae, and the progeny sex ratio of *B. tabaci*

Pesticide	Dilution	Number of leaflets oviposited on	Number of eggs per 24 leaflets	Number of larvae per 24 leaflets	Progeny sex ratio (male/(male+female))
Decanoyloctanoylglycerol	500	2±0 a	6.3±6.1 a	3.0±1.7 a	0.46±0.03 b
Control (water)	—	12.5±4.7 b	54.25±10.3 b	42.0±25.9 b	0.33±0.03 a

Values are presented as mean±SD. Values in the same column with the same letters are not significantly different [*t*-test (numbers of leaflets, eggs, and larvae) or chi-square test (progeny sex ratio), $p>0.05$].

区 (0.76±0.16) よりも有意に高かった (角変換後 *t* 検定, $t=5.872$, $p<0.001$; Table 3). 羽化した総成虫数は, 調合油乳剤処理区 (68 頭) が無処理区 (214 頭) より少なかった. 羽化率はそれぞれ 81.8±15.5% および 98.7±23.6% であり, 有意な差はなかった (角変換後 *t* 検定, $t=0.599$, $p=0.563$; Table 3).

3. 温室試験

タバコナジラミ成虫は, いずれの区でも調査開始時から認められ, 調査終了時にかけて増加する傾向であった. すべての調査において, 脂肪酸グリセリド乳剤 500 倍液を散布した区の成虫数は, 無処理区よりも少なかった. 第 1 回散布の 18 日後となる 6 月 24 日以降, 無処理区の成虫数は指数関数的に増加したが (6 月 24 日: 42.0 頭, 6 月 30 日: 123.7 頭, 7 月 11 日: 530.7 頭), 散布区における増加の程度は緩やかな直線的であった (6 月 24 日: 18.7 頭, 6 月 30 日: 23.3 頭, 7 月 11 日: 58.3 頭; Fig. 1). 無処理区におけるタバコナジラミ成虫のペアは, 2 回目の調査以降すべての調査で認められ, 成虫数の増加に伴いペア数が増加する傾向であった. 一方, 散布区における成虫のペアは, 6 月 14 日の第 2 回調査時に 1 組認められたものの, それ以外の調査では認められなかった (Fig. 1). 最終調査時に採集した 24 小葉あたりの産卵数は, 無処理区で 54.3±10.3 個 (平均±標準偏差), 散布区では 6.3±6.1 個であり, 両区の間には有意な差が認められた (*t* 検定, $t=3.873$, $p=0.012$; Table 4). 幼虫数は, 無処理区で 42.0±25.9 頭, 散布区では 3.0±1.7 頭であり, 産卵数と同様, 両区の間には有意な差が認められた (*t* 検定, $t=4.019$, $p=0.010$; Table

Fig. 1. Changes in the numbers of *B. tabaci* adults and courting pairs on tomato plants treated with 500-fold diluted decanoyloctanoylglycerol solution (sprayed cohort: solid line) or left untreated (control: broken line). Points and vertical bars represent mean values and standard deviations, respectively. White and black arrows indicate the spray and whitefly release days, respectively.

4). 採集した成虫の性比(雄率:雄/(雄+雌))は、無処理区では 0.33 ± 0.03 と雌に偏っていたが、散布区では 0.46 ± 0.03 で雌雄ほぼ同数であり、両区間の性比(雄率)には有意な差が認められた(χ^2 検定, $\chi^2_{\text{cal}}=7.589$, $p<0.01$; Table 4).

考 察

本研究で供試した7種の気門封鎖剤のうち、脂肪酸グリセリド乳剤、調合油乳剤、およびなたね油乳剤を散布したトマト苗では、処理6日後に定位するタバコナジラミ成虫数と産卵数は他剤を散布した区や無処理区と比較して少ない傾向にあり、ペア数は他区と比較して有意に少なかった(Table 1). 近年、アセチル化グリセリドを散布したトマトにおいて、タバコナジラミバイオタイプBおよびQ成虫の定位数、ペア数、産卵数が減少することから、成虫の定位阻害、産卵抑制、交尾阻害効果を持つと報告されている(Kashima et al., 2014). 前述の結果は、この報告と概ね同様の傾向であると考えられる. タバコナジラミは、求愛行動の第1段階で雄成虫が雌成虫に並んで定位する(Li et al., 1989). 本研究において、脂肪酸グリセリド乳剤や調合油乳剤を散布したトマト苗に処女雌成虫と雄成虫を放虫したところ、並んで定位する個体は確認できなかった(Table 3). さらに、産下卵を成虫まで発育させた結果、脂肪酸グリセリドを散布した区からは雌成虫が出現せず、調合油乳剤を散布した区からは10反復中1回だけ雌成虫が出現した(Table 3). 対照的に、水のみを散布した区からは10反復中10回または8回雌成虫が出現した. 両剤を散布したトマトで発育した次世代の性比(雄率:雄/(雄+雌))は、無処理区と比べて高い傾向にあった(Table 3). 脂肪酸グリセリド乳剤や調合油乳剤を散布した区の羽化率は無処理区と差がなかったことから(Table 3), 脂肪酸グリセリドや調合油乳剤を散布した植物上で雌に発育する個体だけが死亡したとは考えにくい. タバコナジラミは半数倍数性であり、受精卵から雌が、未受精卵からは雄が発育する(Byrne and Berrows, 1991). したがって、脂肪酸グリセリド乳剤や調合油乳剤の散布により、タバコナジラミの正常な交尾が阻害され、未受精卵から発育する雄成虫が多く出現したと考えられる. 以上のことから、脂肪酸グリセリド乳剤と調合油乳剤は、アセチル化グリセリドと同様、植物に散布することでタバコナジラミ成虫の定位抑制、それに伴う産卵数の減少、求愛行動抑制といった効果を有すると考えられる.

施設内で栽培されるトマトなどの農作物では、外部から施設内に侵入したタバコナジラミ成虫が植物に定位・産卵し、繁殖することで施設内の密度が上昇すると考えられる. 本研究では、温室内のトマトに脂肪酸グリセリド乳剤を10日間隔で散布し、散布1日後と6または7日後にタ

バコナジラミ成虫を放虫した. その結果、散布区の葉上における定位成虫数は、無処理区よりも少なく推移した(Fig. 1). さらに、最終調査時における散布区の産卵数と幼虫数は、無処理区よりも少なかった(Table 4). 本研究の室内試験では、脂肪酸グリセリド乳剤処理区における産卵数は、調合油乳剤処理区に次いで、他剤処理区よりも少ない傾向であった(Table 1). 脂肪酸グリセリド乳剤などの気門封鎖剤は、虫体に付着した薬液が気管系を封鎖して窒息死させるとされている(松田ら, 1995; 日本植物防疫協会, 2016). コナジラミ類の幼虫は、微小なうえに葉の表面で固着生活しているため、気門封鎖剤による防除効果を得やすいかもしれない. 対照的に、タバコナジラミ成虫は飛翔による移動が可能なうえ、本研究では脂肪酸グリセリド乳剤の散布後に放虫しているため、気門封鎖剤により死亡する個体は多くないと予想される. 特に、散布6または7日後に放虫した個体は、脂肪酸グリセリド乳剤散布の直接的な致死効果で死亡したとは考えにくい. これらのことから、本研究では産卵数の減少と幼虫の死亡が、脂肪酸グリセリド乳剤散布による密度抑制効果の主要因と考えられる. 一方、求愛行動の第1段階である雌雄成虫が並んで定位するペア数は、無処理区では成虫数の増加に伴い増加する傾向であったが、散布区では6回の調査で1組認められただけであった(Fig. 1). 最終調査時におけるタバコナジラミ成虫の性比(雄率:雄/(雄+雌))は、散布区ではほぼ0.5(雌雄同数)であったが、無処理区では0.33で雌が多かった(Table 3). 本研究では、最初の放虫から34日後に性比の調査を行った. トマトにおけるタバコナジラミバイオタイプBの卵から成虫までの発育期間は、25°Cで21日、30°Cで18日程度である(Tsueda and Tsuchida, 2011)ことから、性比調査時の成虫には放虫した成虫の次世代が含まれていると考えられる. これらのことから、散布区における性比(雄率)の上昇は、脂肪酸グリセリド乳剤の散布により放虫した成虫の交尾が阻害され、未受精卵から発育した雄成虫が多く含まれた可能性がある. 本研究では、累代飼育室で無作為に採集した成虫を供試しており、放虫個体には性別、羽化日齢、交尾経験の異なるものが混在すると考えられる. このことは、実際の生産現場において野外から施設内に侵入するタバコナジラミ成虫の条件に近いと思われる. したがって、現地圃場でも脂肪酸グリセリド乳剤散布による成虫の交尾阻害、次世代以降の性比の上昇が期待できる. 一般に、性比(雄率)の上昇は、個体群の繁殖力の低下につながると考えられる. 以上のことから、脂肪酸グリセリド乳剤を定期的に散布すれば、殺虫効果に加え、タバコナジラミ成虫の定位阻害、産卵数減少および交尾行動阻害に伴う性比の上昇により、タバコナジラミの密度を抑制できると考えられる.

これまでに、アセチル化グリセリドは、タバコナジラミパイオタイプ B および Q に対し、成虫の定位阻害、産卵抑制、交尾阻害効果を持つことが報告されている (Kashima et al., 2014, 2016). アセチル化グリセリドは、モノまたはジアセチルグリセロールに分類される油脂である。また、本研究で用いた脂肪酸グリセリド乳剤、調合油乳剤およびなたね油乳剤は、いずれも油脂を主成分とする気門封鎖剤である。したがって、油脂を主成分とする気門封鎖剤は、上記効果を有する可能性がある。今後は、上記効果のメカニズム解明、これらの薬剤を利用した防除体系の検討を行う必要がある。

摘 要

タバコナジラミは、施設栽培の野菜類などに深刻な被害を与える害虫である。気門封鎖剤の脂肪酸グリセリド乳剤、調合油乳剤およびなたね油乳剤を散布したトマト苗では、処理 6 日後のタバコナジラミの雌雄成虫が並んで定位するペア数は、他の気門封鎖剤を散布したトマトよりも少なかった。脂肪酸グリセリド乳剤および調合油乳剤を散布したトマト苗に処女雌成虫と雄成虫を放虫したところ、出現した次世代成虫の性比は雄に偏った。温室に定植したトマト株に脂肪酸グリセリド乳剤を 10 日間隔で散布し、散布後にタバコナジラミ成虫を放虫したところ、散布区における葉上の成虫数とペア数は無処理区と比較して少なく推移し、産卵数と幼虫数は有意に少なかった。最初の散布から約 1 か月後、散布区における成虫の性比 (雄率) は、無処理区よりも高かった。以上のことから、油脂を有効成分とする気門封鎖剤である脂肪酸グリセリド乳剤、調合油乳剤およびなたね油乳剤は、タバコナジラミ成虫の定位阻害や交尾阻害をもたらす効果を有しており、一定間隔で散布すれば、これらの効果によりタバコナジラミ密度を低く抑制できると考えられた。

引 用 文 献

Bedford, I. D., R. W. Bridson, J. K. Brown, R. C. Rosell and P. G. Markham (1994) Geminivirus transmission and biological characterization of *Bemisia tabaci* (Gennadius) biotypes from different geographic regions. *Ann. Appl. Biol.* 125: 311–325.
 Brown, J. K. (2000) Molecular markers for the identification and global tracking of whitefly vector-Begomovirus complexes. *Virus Res.* 71: 233–260.
 Brown, J. K. and J. Bird (1992) Whitefly-transmitted geminiviruses and associated disorders in the Americas and the Caribbean Basin. *Plant Dis.* 76: 220–225.
 Byrne, D. N. and T. S. Berrows Jr. (1991) Whitefly biology. *Ann. Rev. Entomol.* 36: 431–457.
 Chu, D., Y. J. Zhang and F. H. Wan (2010) Cryptic invasion of the exotic *Bemisia tabaci* biotype Q occurred widespread in Shandong

Province of China. *Fla. Entomol.* 93: 203–207.
 Costa, H. S. and J. K. Brown (1991) Variation in biological characteristics and esterase patterns among populations of *Bemisia tabaci* and the association of one population with silverleaf symptom induction. *Entomol. Exp. Appl.* 61: 211–219.
 Crowder, D. W. et al. (2010) Mating behavior, life history and adaptation to insecticides determine species exclusion between whiteflies. *J. Anim. Ecol.* 79: 563–570.
 De Barro, P. J., S. S. Liu, L. M. Boykin and A. Dinsdale (2011) *Bemisia tabaci*: a statement of species status. *Ann. Rev. Entomol.* 56: 1–19.
 Dennehy, T. J. et al. (2010) Extraordinary resistance to insecticides reveals exotic Q biotype of *Bemisia tabaci* in the New World. *J. Econ. Entomol.* 103: 2174–2176.
 Dinsdale, A., L. Cook, C. Riginos, Y. M. Buckley and P. De Barro (2010) Refined global analysis of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Sternorrhyncha: Aleyrodidae: Aleyrodinae) mitochondrial cytochrome oxidase 1 to identify species level genetic boundaries. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 103: 196–208.
 樋口聡志・前田美佐・行徳 裕・上田重文・小牧孝一 (2007) 熊本県に発生しているタバコナジラミのパイオタイプ分布と季節的変動. 九病虫研会報 53: 59–65. [Higuchi, S., M. Maeda, Y. Gyoutoku, S. Ueda and K. Komaki (2007) Distribution and seasonal fluctuations in the population of different biotypes of *Bemisia tabaci* (Gennadius) in Kumamoto Prefecture. *Kyushu Pl. Prot. Res.* 53: 59–65.]
 本多健一郎 (2005) トマト黄化葉巻病と媒介コナジラミをめぐる最近の研究情勢. 植物防疫 59: 299–304. [Honda, K. (2005) Recent advances on researches of tomato yellow leaf curl and its vector whitefly. *Plant Prot.* 59: 299–304.]
 本多健一郎 (2008) トマト黄化葉巻病及びタバコナジラミ・パイオタイプ Q の発生状況と防除の取り組み. 今月の農業 52 (3): 17–22. [Honda, K. (2008) “Distribution and elimination of tomato yellow leaf curl disease and *Bemisia tabaci* Q-biotype.” *Japan Agricultural Technology* 52 (3): 17–22.]
 Horowitz, A. R., I. Denholm, K. Gorman, J. L. Cenis, S. Kontsedalov and I. Isyaya (2003) Biotype Q of *Bemisia tabaci* identified in Israel. *Phytoparasitica* 31: 94–98.
 Hussey, N. W., W. J. Parr and B. Gurney (1958) The effect of whitefly populations on the cropping of tomatoes. *Ann. Rep. Glasshouse Crops Res. Inst.* 7: 79–103.
 Kashima, T., C. Takeda, N. Akiyoshi, K. Yoshida and Y. Arimoto (2014) Effect of a novel repellent, acetylated glyceride, against sweet potato whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae). *J. Pestic. Sci.* 39: 91–97.
 Kashima, T., K. Kanmiya, K. Yoshida and Y. Arimoto (2016) Effect of a novel repellent, acetylated glyceride, on courtship behaviors and acoustic signals of *Bemisia tabaci*. *J. Appl. Entomol.* 140: 11–18.
 Li, T. Y., S. B. Vinson and D. Gerling (1989) Courtship and mating behavior of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *Environ. Entomol.* 18: 800–806.
 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.

- [Matsuda, M., T. Miyata and Y. Takagi (1995) Insecticidal activities and mechanism of sodium oleate. *Plant Prot.* 49: 50–53.]
- 松井正春 (1992) タバココナジラミの吸汁によるトマト果実の着色異常. 応動昆 36: 47–49. [Matsui, M. (1992) Irregular ripening of tomato fruit caused by the sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius) in Japan. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 36: 47–49.]
- 日本植物防疫協会(編) (2016) 農薬ハンドブック 2016 年版. 日本植物防疫協会, 東京. 1089 pp. [Japan Plant Protection Association (ed.) (2016) *The Handbook of Agricultural Pesticides ver. 2016*. Japan Plant Protection Association, Tokyo. 1089 pp.]
- 大戸謙二 (1990) タバココナジラミの発生とその見分け方. 植物防疫 44: 264–266. [Ohto, K. (1990) Occurrence of the sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci* Gennadius, on the poinsettia. *Plant Prot.* 44: 264–266.]
- 大井田寛・津金胤昭・久保周子・草川知行・清水喜一・野々宮弘明・風戸治子・中臺敬子 (2007) 千葉県におけるタバココナジラミパイオタイプ Q の発生状況および物理的防除法の検討. 関東病虫研報 54: 143–150. [Oida, H., T. Tsugane, C. Kubo, T. Kusakawa, K. Shimizu, H. Nonomiya, N. Kazato and K. Nakadai (2007) Distribution, seasonal occurrence and physical control of sweet potato whitefly *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) Q-biotype in Chiba Prefecture. *Ann. Rept. Kanto Pl. Prot. Soc.* 54: 143–150.]
- Oliveria, M. R. V., T. J. Henneberry and P. Anderson (2001) History, current status, and collaborative research projects for *Bemisia tabaci*. *Crop Prot.* 20: 709–723.
- Perring, T. M. (2001) The *Bemisia tabaci* species complex. *Crop Prot.* 20: 725–737.
- Schuster, D. J., T. F. Mueller, J. B. Kring and J. F. Price (1990) Relationship of the sweetpotato whitefly to a new tomato fruit disorder in Florida. *Hortscience* 25: 1618–1620.
- Simón, B., E. Moriones, C. Soria, F. Beitia, D. Bosco and J. L. Cenis (1999) Variación genética de poblaciones de *Bemisia tabaci* (Gennadius) en la Cuenca Mediterránea occidental. *Resúmenes del Congreso Nacional de Entomología Aplicada*. Jornadas Científicas de la Sociedad Española de Entomología Aplicada, Aguadulce, Spain. Junta de Andalucía, p. 20.
- Sun, D. B., Y. Q. Liu, L. Qin, J. Xu, F. F. Li and S. S. Liu (2013) Competitive displacement between two invasive whiteflies: insecticide application and host plant effects. *Bul. Entomol. Res.* 103: 344–353.
- 杖田浩二・妙楽 崇 (2015) 殺虫剤の土壌処理がタバココナジラミ (カメムシ目: コナジラミ科) パイオタイプ B および Q の個体群比率に与える影響. 応動昆 59: 133–137. [Tsueda, T. and T. Taera (2015) The impact of insecticide soil treatment to the ratio of biotype B and Q populations of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 59: 133–137.]
- Tsueda, H. and K. Tsuchida (2011) Reproductive differences between Q and B whiteflies, *Bemisia tabaci*, on three host plants and negative interactions in mixed cohorts. *Entomol. Exp. Appl.* 141: 197–207.
- Ueda, S. and J. K. Brown (2006) First report of the Q biotype of *Bemisia tabaci* in Japan by mitochondrial cytochrome oxidase I sequence analysis. *Phytoparasitica* 34: 405–411.
- Xu, J., P. J. De Barro and S. S. Liu (2010) Reproductive incompatibility among genetic groups of *Bemisia tabaci* supports the proposition that the whitefly is a cryptic species complex. *Bull. Entomol. Res.* 100: 359–366.
- Yee, W. L., N. C. Toscano, C. C. Chu, T. J. Henneberry and R. L. Nichols (1996) *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) action thresholds and cotton photosynthesis. *Environ. Entomol.* 25: 1267–1273.
- Yokomi, R. K., K. A. Hoelmer and L. S. Osborne (1990) Relationship between the sweetpotato whitefly and the squash silverleaf disorder. *Phytopathology* 80: 895–900.