

第6章 腐敗タマネギ磨砕汁酸性画分中の誘引物質

緒言

第4章において、タマネギバエ・タネバエに対して強い誘引力を示す腐敗タマネギ磨砕汁の誘引物質の一成分として 2-phenylethanol が明らかにされた。しかし、この誘引物質の誘引力ではハエ個体群の7%~10%しか誘殺できないため、大量誘殺法による両種害虫の防除は困難と考えられた。そこで、未だ分析が行なわれていなかった酸性画分中の誘引物質の検索を行なった。

材料及び方法

化学分析。酸性画分はガスクロマトグラフ(GC-4B、島津)で分析した。分析条件：検出器；FID，カラム；ステンレスカラム(径3mm、3m)，充填剤；15% Polyester FF 含浸 Neosorb NS(西尾工業)，カラム槽温度；80℃~200℃、昇温率4℃/min，キャリアーガス；窒素40ml/min。マススペクトルを得るには、GC-MS(日立063-RMU6)を用いた。分析条件等はGC-4Bでの分析に準じた。

誘引力評価。誘引力の評価は、農林水産省北海道農業試験場内のタマネギ圃場を使用し、1982年8月1日~8月26日にかけて行なった。用いたトラップは前述したMTトラップである。25個のトラップを8m間隔の5X5ラテン方格状に設置した。本実験では対照として、水のほかに4~8日放置した腐敗タマネギ磨砕汁を用い、他の3供試物とあわせて5種類を一度に試験することとし、反復数は5回とした。トラップは原則として、毎日13:00に設置し、翌朝10:00に捕獲されたハエを調査し、種、性別に数を記録した。供試物質は、9cmシャーレ中の50mlの水に溶解し、ハエの溶液への飛込みを防ぐためナイロン製コースで蓋をした。

結果

2-フェニルエタノールの至適濃度

最初に、今後の試験の基礎とするため2-フェニルエタノールの至適濃度を求めた(表6-1)。タネバエ雌は特にこの物質に対する感受性が高く、最も低濃度の0.02%でも弱い活性が認められた。タマネギバエ・タネバエ両種に対する誘引力は0.2%で最大となり、さらに2.0%まで濃度を上げると誘引力はかえって減少した。この減少は特に両種の雌において著しかった。したがって、最も有効な濃度は0.2%付近であると考えられたが、この物質はかなり広い範囲において有効であることが示された。2-フェニルエタノール水溶液(0.2%)は雌に対しては腐敗タマネギ磨碎汁とほとんど変わらない誘引力を示したが、タマネギバエ雄に対する誘引力は若干劣るようであった。

有機酸の同定

腐敗タマネギのエーテル抽出物酸性画分を、GC、GC-MSで分析した結果6種の低級有機酸、すなわち、酢酸、プロピオン酸、n-酪酸、イソ酪酸、n-吉草酸、イソ吉草酸が検出された(図6-1)。これらの内では酢酸が主成分であり、約63%をしめ、イソ酪酸が約17%でこれに次いでいた。これら有機酸以外に多数の未同定ピークと分離不良のピークがクロマトグラム中に観察された。

有機酸類の圃場における誘引性

酸性画分中から検出された有機酸類(0.05%)の単独での誘引性を調査した(表6-2)。また、本実験では酸性画分中には見いだされなかったが、類縁体であるn-カプロン酸、イソカプロン酸、n-ヘプタン酸の誘引性をも調べた。酢酸、n-カプロン酸、n-ヘプタン酸を除くその他の酸はすべて、タネバエに対して弱い誘引性を示したが、タマネギバエに対する誘引力はかなり弱いと考えられる。この結果から、酸類の構造と活性の関係を推察すると、主鎖数3~5の有機酸には誘引活性があり末端のメチル側鎖の阻害作用は認められなかった。

酸と2-フェニルエタノールの共力作用

有機酸を2-フェニルエタノール水溶液に添加して、両者の間に共力作用がみられるか否かを検討した。表6-3に示したとおり、n-酪酸、イソ酪酸、n-吉草酸、イソ吉草酸は種と性によっては共力作用が認められることがあった。これらの酸のなかで、特

表6-1 2-フェニルエタノール(PheEtOH)の至適濃度¹

誘引剤(濃度)	タマネギバエ捕獲数		タネバエ捕獲数	
	雌	雄	雌	雄
PheEtOH (0.02%)	2 a	7 b	4 a b	11 b
PheEtOH (0.2%)	16 b	20 b	23 c	27 c
PheEtOH (2.0%)	4 a	15 b	11 b	33 c
腐敗タマネギ磨砕汁	27 b	79 c	24 c	38 c
水(対照)	2 a	4 a	1 a	1 a

¹ 同一列内で同じ英字が付されている数値間には、5%水準で有意差がない。

表6-2 有機酸のタマネギバエ・タネバエに対する誘引性¹

有機酸 ²	タマネギバエ捕獲数		タネバエ捕獲数	
	雌	雄	雌	雄
酢酸	2	10	5	1
プロピオン酸	3	5	16	15
n-酪酸	8	7	14	20
イソ-酪酸	6	5	23	34
n-吉草酸	6	14	19	28
イソ-吉草酸	4	7	16	25
n-カプロン酸	0	0	6	8
イソ-カプロン酸	10	7	20	34
n-ヘプタン酸	0	0	4	8
水(対照)	0	0	3	4

¹ 試験期間：1982年8月16日～18日。5トラップ合計

² 供試濃度：0.05%

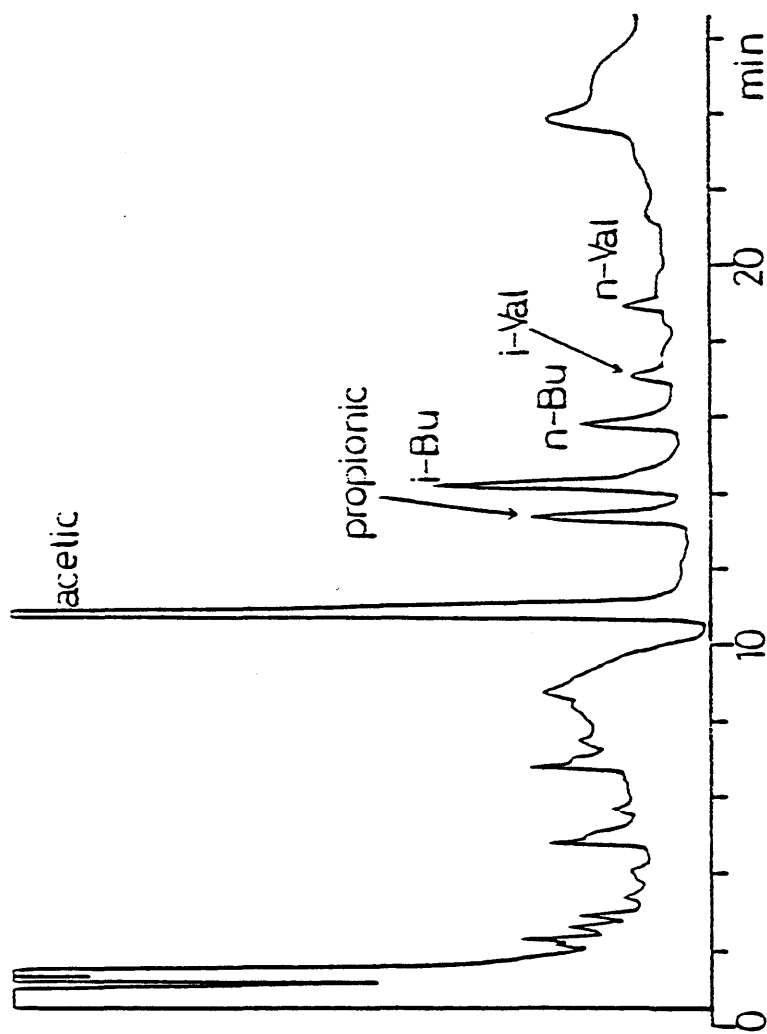


図6-1 腐敗タマネギ磨砕汁抽出物酸性成分のガスクロマトグラム

i-Bu: iso-Butyric acid, n-Bu: n-Butyric acid, i-Val: iso-Valeric acid, n-Val: n-Valeric acid.

にn-吉草酸は両種、両性に対して安定した共力作用を示した。n-吉草酸の添加により、誘引剤の誘引力は2-フェニルエタノール単独使用時の2.3倍~4.3倍に増加している。したがって、共力剤としては、n-吉草酸が最も優れていると判断された。

共力剤としてのn-吉草酸の至適濃度

共力剤としてのn-吉草酸の至適濃度を圃場試験により求めた。0.05%のn-吉草酸添加により、誘引力の有意な増加が認められた(表6-4)。n-吉草酸の濃度を増加すると誘引力はかえって低下する傾向がみられた。しかし、n-吉草酸の濃度を1.25%に上げて強い誘引力は認められ、特にタネバエに対してこの傾向が著しかった。このことから、n-吉草酸も2-フェニルエタノールと同様に、相当広い濃度範囲で有効であると考えられた。

化学誘引剤と腐敗タマネギ磨砕汁の誘引力比較

本実験で新たに開発された誘引剤と、腐敗タマネギ磨砕汁の誘引力比較を行なった(表6-5及び、図6-2)。2-フェニルエタノール(0.2%)とn-吉草酸(0.05%)混合水溶液は、それぞれの成分を単独で用いたときよりも明らかに高く、また、腐敗磨砕汁よりも優れていた。すなわち、混合剤の誘引力は、タマネギ腐敗磨砕汁に比べてタマネギバエ雌で2.6~5.0倍、タマネギバエ雄で1.8~4.5倍、タネバエ雌では5.7~14.0倍、タネバエ雄で6.5~7.4倍であり、両種・両性に対して優れていた。

以上のように、新しく開発された誘引剤はその効力がきわめて高く、大量誘殺法や発生予察などに利用可能であり、両害虫の管理に役立つものと考えられた。

表6-3 有機酸の2-フェニルエタノールに対する共力作用¹

添加有機酸 ³	誘引捕獲数の上昇比率 ²			
	タマネギバエ		タネバエ	
	雌	雄	雌	雄
酢酸	0.3	0.6	0.1	0.2
プロピオン酸	0.3	1.1	1.9	1.5
n-酪酸	2.3	8.3*	1.1	1.6
イソ-酪酸	0.7	1.8	1.5	2.0*
n-吉草酸	2.3*	3.4*	4.3*	3.8*
イソ-吉草酸	1.0	0.6	2.3*	1.7
n-カプロン酸	0.5	2.0	0.5	0.4
イソ-カプロン酸	1.8	3.7	1.4	2.3

¹ 試験期間：1982年8月11日～15日

² 酸を添加した誘引剤による捕獲数÷無添加誘引剤による捕獲数

³ 供試濃度：0.2%の2-フェニルエタノール水溶液に、0.05%になるように各欄記載の有機酸を添加した

* 危険率5%水準で1.0との有意差あり

表6-4 n-吉草酸の濃度と2-フェニルエタノールに対する共力作用¹

誘引剤組成(濃度) ²	タマネギバエ捕獲数		タネバエ捕獲数	
	雌	雄	雌	雄
PheEtOH + Val (0.05%)	23	18	144	254
PheEtOH + Val (0.25%)	10	25	97	242
PheEtOH + Val (1.25%)	3	7	76	189
PheEtOH	11	6	45	88
水 (対照)	0	2	3	15

¹ 試験期間：1982年8月19日～22日

² PheEtOH：2-フェニルエタノール、すべて0.2%

Val：n吉草酸

表6-5 フェニルエタノール, n吉草酸, 混合剤と腐敗タマネギ磨碎汁の誘引力比較¹

誘引剤 ²	タマネギバエ捕獲数		タネバエ捕獲数	
	雌	雄	雌	雄
PheEtOH + Val	15	18	155	251
PheEtOH	6	5	50	89
腐敗タマネギ磨碎汁	3	10	11	34
水 (対照)	1	1	4	8

PheEtOH + Val	13	9	137	208
Val	3	0	46	78
腐敗タマネギ磨碎汁	5	2	24	32
水 (対照)	0	3	4	11

¹ 試験期間：1982年8月15日～16日

² PheEtOH：2-フェニルエタノール 0.2%
Val：n吉草酸 0.05%

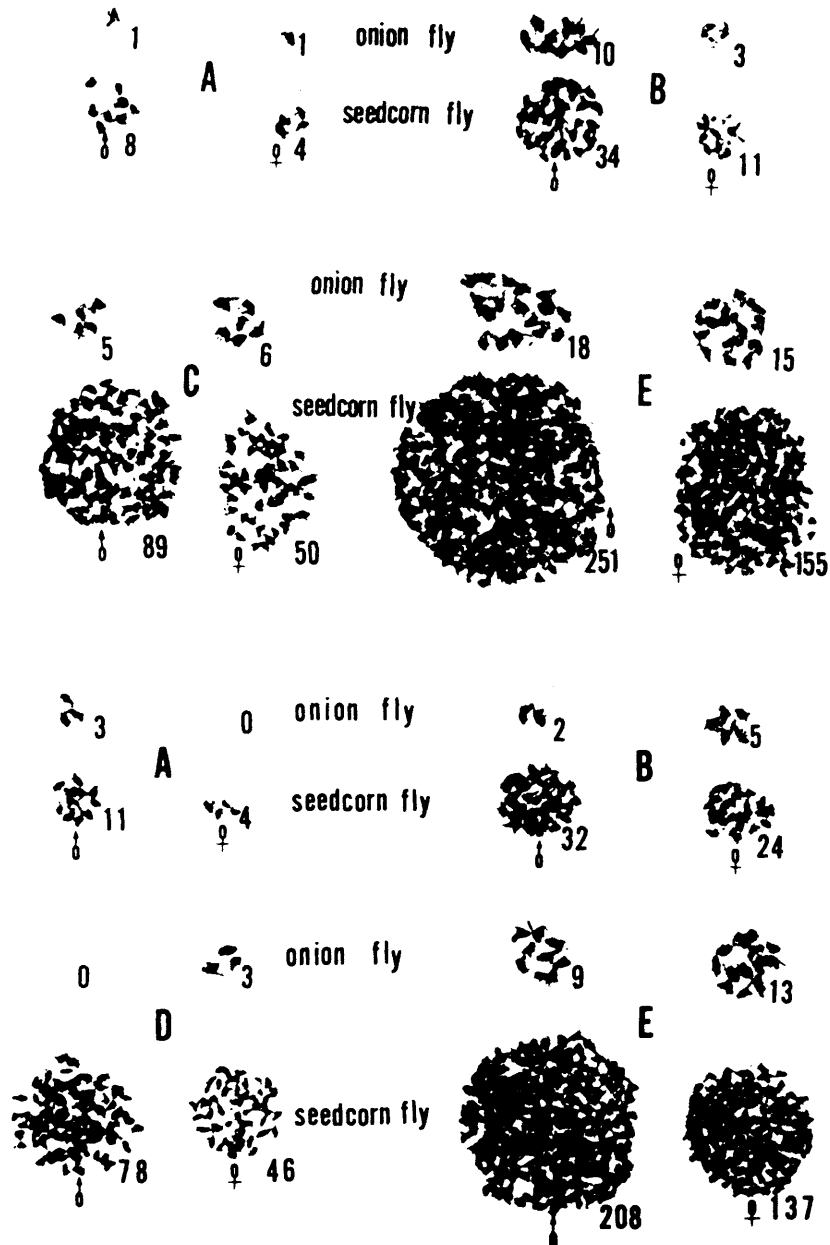


図6-2 数種誘引剤と腐敗タマネギ磨碎汁により捕獲されたタマネギバエ・タネバエ
A: 水(対照) B: 腐敗タマネギ磨碎汁 C: 2-フェニルエタノール D: n吉草酸
E: 2-フェニルエタノール+n吉草酸

考察

これまでに天然の誘引剤の研究から出発して開発された合成誘引剤はそのほとんどが複数成分からなっている。また、その成分間に複雑な共力作用がみられるのが普通である。例えば、ラセンウジバエ Cochliomyia hominivorax Coquerel の合成誘引剤 Swormlure-2 は腐敗中のレバーから検出された物質に基づいているが、その誘引剤は 10 成分からなっている (Snow et al., 1982)。クリヤケシキスイの類縁数種、Carpophilus spp. の誘引剤は、熟したイチヂクの匂い成分からスクリーニングされたものであるが、4 成分系である (Smilanick et al., 1978)。また、イエバエ Musca domestica とメマトイ数種 Hippelates spp. の合成誘引剤は、鶏卵乾燥粉末の水溶液を醗酵させたものから抽出されたが、それぞれ 5 成分からなっている (Hwang et al., 1976; Mulla et al., 1977)。これらの例においては、成分中のどの一物質も単独では強力な誘引力は認められていない。さらに、成分間に複雑な共力作用があるために、成分の構成比を変化させると誘引力や種特異性が大きく変化する。このような現象が広く認められることが、害虫管理にカイロモンの利用の有効性と必要性が叫ばれて久しいにもかかわらず、天然誘引剤から出発して合成誘引剤を開発しようとするときに直面する困難の原因の一部となっている。

タマネギバエとタネバエについては、数多くの天然物に誘引性が知られている。例えば、タマネギ磨砕汁 (新鮮, 腐敗), 糖蜜, 酵母, 蜂蜜, トウモロコシ粉加水分解物, 魚粕などがある (Dindonis and Miller, 1980a, 81b; Ishikawa et al., 1981; Miller and Haarer, 1981; 西沢ら, 1972)。著者はまず, 生育中のタマネギ植物体から放散されている誘引物質同定の研究から出発し, プロピルチオ基を含む化合物がタマネギバエの産卵誘引刺激物質であることを明らかにした。ついで, 腐敗タマネギ磨砕汁の強い誘引力を説明する物質の研究を進め, Ikeshoji et al. (1981) の発見した, dipropyl disulfide の共力物質 ethyl acetate の他にも共力物質があるかどうかを検討し (第4章), 2-フェニルエタノールの誘引力を発見した。本章では, 酸性画分中の有機酸が 2-フェニルエタノールと共力作用を示すことを見出した。これからの課題として, これまで既に発見された生理活性物質の間 (

例えば、硫黄化合物と2-フェニルエタノール)で、複雑な共力作用があるか否かを検討する必要がある。また、腐敗タマネギ抽出物の中性・酸性両画分ともに未同定の誘引物質の存在が示唆されているので、さらに分析をする必要がある。このことによって、さらに強力なヒレミア属害虫用の合成誘引剤の開発も可能ではないかと考えられる。

摘要

本章では、腐敗タマネギ磨碎汁の抽出物酸性画分の分析を行なうとともに、酸性成分と中性画分の活性成分である、2-フェニルエタノールとの共力作用について検討した。結果の概要は以下の通りである。

(1) 酸性画分中から、酢酸、プロピオン酸、イソ酪酸、n酪酸、イソ吉草酸、n吉草酸を検出・同定した。

(2) これらの酸と、その類縁物質の誘引力試験の結果、酸の主鎖炭素数3~5の有機酸に誘引活性のあることが分かった。しかし、酸のタマネギバエに対する誘引力はきわめて弱く、タネバエに対するそれは、タマネギバエより若干強い程度であった。

(3) 2-フェニルエタノール(PheEtOH)の0.2%水溶液に、イソ酪酸、n酪酸、イソ吉草酸、n吉草酸を0.05%になるように添加すると、その誘引力が PheEtOH 単独使用時に比べて、有意に増加する現象がみられた。

(4) 特に、n吉草酸はタマネギバエ・タネバエ両種の雌雄に対して安定した共力作用を示し、その共力係数も2.3倍~4.3倍と最も優れていた。

(5) PheEtOH とn吉草酸の至適組成比・濃度を求めたところ、PheEtOH 0.2%、n吉草酸0.05%水溶液が最も優れた誘引力を有していた。

(6) 上記組成の誘引剤の誘引力は非常に優れており、抽出源の腐敗タマネギ磨碎汁よりも、タマネギバエで2~5倍、タネバエでは5~15倍優れていた。

以上の結果から、2-フェニルエタノール0.2%、n吉草酸0.05%の水溶液はタマネギバエ・タネバエ両種・両性に対する誘引力が非常に優れていることが発見された。酸の添加による活性の上昇により、本誘引物質の害虫管理への応用の可能性はかなり高いものになったと考えられた。

第7章 タマネギバエ・タネバエ誘引剤の放出制御製剤の開発

緒言

これまでの研究で、2-フェニルエタノールとn-吉草酸の混合水溶液（それぞれ、0.2, 0.05 %）がタマネギバエ・タネバエ両種に対して強い誘引力を示すことが明らかになった。しかし、この誘引剤は夏期野外条件下では、その水分の蒸散が激しく、2～3日ごとに溶液を補充する必要があるため、発生予察等の実用にそのままの形で利用するのは無理であると考えられた。

そこで、誘引剤の放出制御製剤を開発することとした。フェロモン用には多数の放出制御製剤が開発され実用化されているが、一般にフェロモンの一日当り放出量は数 μg であり、タマネギ・タネバエ用の誘引剤水溶液から放散すると予想される量に比して桁違いに小さく、新たな製剤の開発が必要とされた。

本章では、まず誘引剤水溶液からの誘引物質の放散量を測定し、この放散量を長期間にわたって安定に維持する方法を検討した。ついで、新たに開発されたシリコンゴムキャップ製剤の誘引力を従来の水溶液と比較するとともに、新製剤からの誘引剤成分の放散速度の経時変化を求め、新製剤の有効期間を推定した。

材料および方法

誘引剤水溶液からの誘引物質の放散量 50 ml の誘引剤水溶液を直径9 cm のシャーレに入れ、屋外または屋内に放置した。適宜この水溶液からサンプリングし、2-フェニルエタノールとn-吉草酸の濃度をガスクロマトグラフを用いて測定した。

実験室内での放散速度の測定 塩化ビニルチューブ、タイゴン[®]チューブ、ケミ[®]チューブ（以上 内径6 mm, 長さ5 cm）、ポリエチレン製カプセル（Beem[®]）、そしてシリコンゴムキャップの5種の材質に誘引剤の原液（2-フェニルエタノール : n-吉草酸 = 4 : 1 重量比の混合物）を封入し、誘引物質の放散速度を調べた。図7-1には、供試した封入用基材の外観を示した。ビームカプセルはほとんど誘引剤を通過させないことが分かったので、チューブ類はビームカプセルで蓋をした。シリコンゴムキャップはガラス製ダーラム管で蓋をしてある。封入した誘引剤の量は、チューブ類は1 m

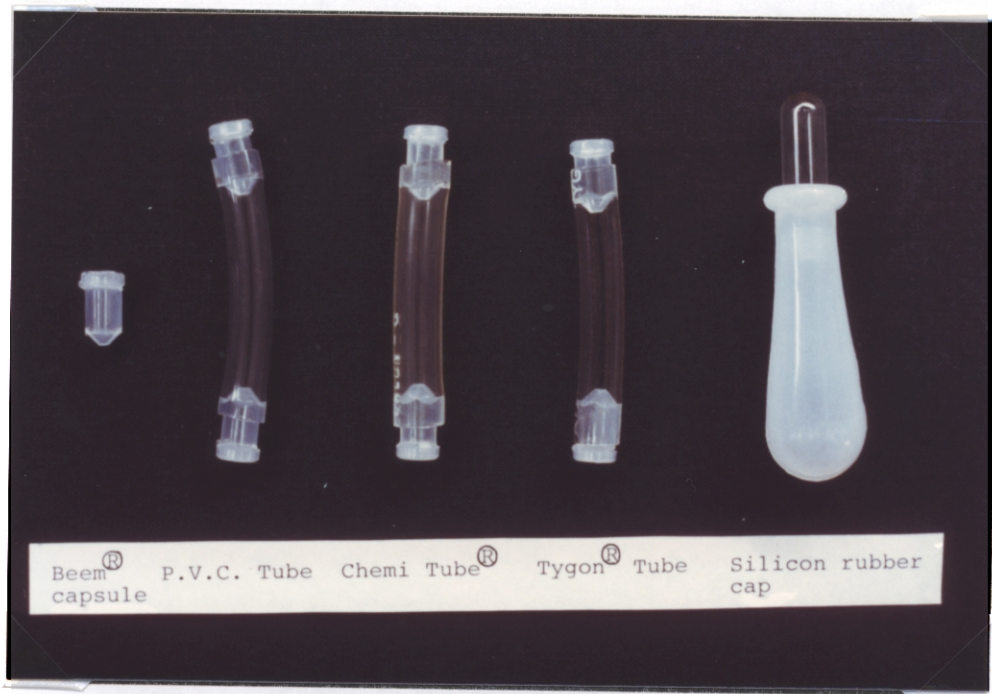


図7-1 供試した各種封入基材の外観

左から、ビーム カプセル、塩化ビニルチューブ、ケミチューブ、タイゴンチューブ、シリコンゴム キャップ。

ℓ, ビームカプセルは100 μℓ, シリコンゴムキャップは2 ml である。これらの封入体は, 容量3ℓ のガラス製ベルジャー中に糸でつるし, ベルジャー内の空気は小型排気ポンプで5ℓ/min の速度で屋外に排気した。排気はベルジャーの側面より行ない, 空気はジャーの底面から自由に入るようにしてある。この装置を23℃の恒温室内に置いた。上記の封入体の重量を最初は1~2日おきに, その後は4~5日おきに精密天秤で測定し, 前回の測定値との差を放散量とみなした。

屋外におけるシリコンゴムキャップ製剤からの放散量の測定。 誘引剤を封入したシリコンゴムキャップ製剤をMTトラップの下に図7-2のように細い針金でつるし, 本学部弥生園場の昆虫放飼実験用網室の周辺に4個設置した(1984年5月10日)。以後, 6月11日まで1~4日目ごとにシリコンゴムキャップ製剤の重量を測定し放散量を計算するとともに, キャップ中から誘引剤1 μℓ をサンプルとして採取し, ガスクロマトグラフによる組成分析を行なった。

ガスクロマトグラフ 誘引剤の組成変化はガスクロマトグラフ(GC-4B, 島津)を用いて追跡した。測定条件を列記する。検出器:FID, カラム: ステンレスカラム(内径3mm, 3m), 充填剤: Polyester FF 含浸60~80メッシュ Neosorb NS(西尾工業), カラム槽温度: 180℃, キャリアーガス: 窒素(40 ml/min), ピーク面積積算: CR-1B(島津)。2-フェニルエタノールとn吉草酸の容量とピーク面積のキャリブレーションカーブは特級の試薬を用いてそれぞれ別個に求めた。サンプル中の組成比はこのキャリブレーションカーブからそれぞれの重量を算出し, 重量百分率で表わした。

誘引力の比較 従来から用いてきた誘引剤水溶液と, 新たに開発されたシリコンゴムキャップ製剤の誘引力比較を北海道農業試験場内のタマネギ畑(既述)において, 1983年8月10日~20日にかけて行なった。水溶液剤を用いたMTトラップ(図3-1)と, シリコンゴムキャップ製剤のMTトラップ(図7-2)4個ずつを畑内に設置し, 捕獲されるハエの種類・数を毎日記録した。



図7-2 シリコンゴム キャップ製剤を装着したMTトラップ

結果および考察

水溶液からの放散速度

水溶液剤からの誘引物質の放散速度は、屋外と屋内とでは大きく異なっていた（表7-1）。時間の経過につれて、放散速度は大きくなったが、これは水分の蒸散速度が誘引物質のそれに比べて大きく、残存溶液の濃度が徐々に増加してしまうためである。気温は屋内外ともほぼ等しかったので、屋外と屋内でみられたこのような放散量の著しい違いの原因は風速にあると考えられる。

種々の封入基材からの放散速度

3種の封入基材からの誘引剤放散の様相を図7-3に示した。ポリエチレン製カプセルBeem[®]からの放散は長期間安定していたが、その速度はきわめて小さく、今回の目的には適当ではなかった。塩化ビニルチューブは試験開始当初は十分に高い放散速度を示したが、その値は急速に減少してしまった。タイゴンチューブ、ケミチューブは誘引剤の封入とほぼ同時に、化学変化を起こし異臭を発生したため、放散速度測定の実験は直ちに中止した。したがって、図7-3にはこれらの封入基材からの放散量は表示していない。シリコンゴムキャップからの誘引剤の放散速度は約60mg/dayであり、少なくとも20日間この値は保持された。この値は、水溶液からの放散速度の初期値45.6mg/day（混合物）よりも大きく、十分な量であると考えられた。

野外でのシリコンゴムキャップ製剤からの放散速度

野外におけるシリコンゴムキャップからの放散速度を図7-3に、室内条件のときと共に示した。野外においてもその放散速度はかなり安定していた。放散速度は室内試験での結果よりもやや小さかった。これは、室内試験の条件が23℃だったのに対し、野外試験期間中の平均気温が16℃～19℃と低かったことによると思われる。

誘引力の比較

圃場におけるシリコンゴムキャップ製剤と、従来の水溶液の誘引力の比較を表7-2に示した。この試験は9日間しか継続できなかったが、シリコンゴムキャップ製剤にはこの期間中タマネギバエ・タネバエの両種に対して、またその雌雄に対して水溶液と同等以上の誘引・捕獲が認められる。

以上の結果を総合して、シリコンゴムキャップ製剤は本誘引剤の放出制御に相当であると

表7-1 2-フェニルエタノールとn吉草酸の誘引剤水溶液からの放散速度

測定条件	温度 ℃	湿度 %	風速 m/sec	水蒸発量 g/hr	PheEtOH ¹ mg/hr	n吉草酸 ¹ mg/hr
室内	25.5	62	-	0.54	0.3-0.6	0.1-0.2
屋外	25.0	54	2	2.89	1.4-3.5	0.5-1.2

¹ PheEtOH : 2-フェニルエタノール

初期値-終値, 2-フェニルエタノールとn吉草酸の放散速度は, 水の蒸散により水溶液の濃度が上がるため, 徐々に増加した。

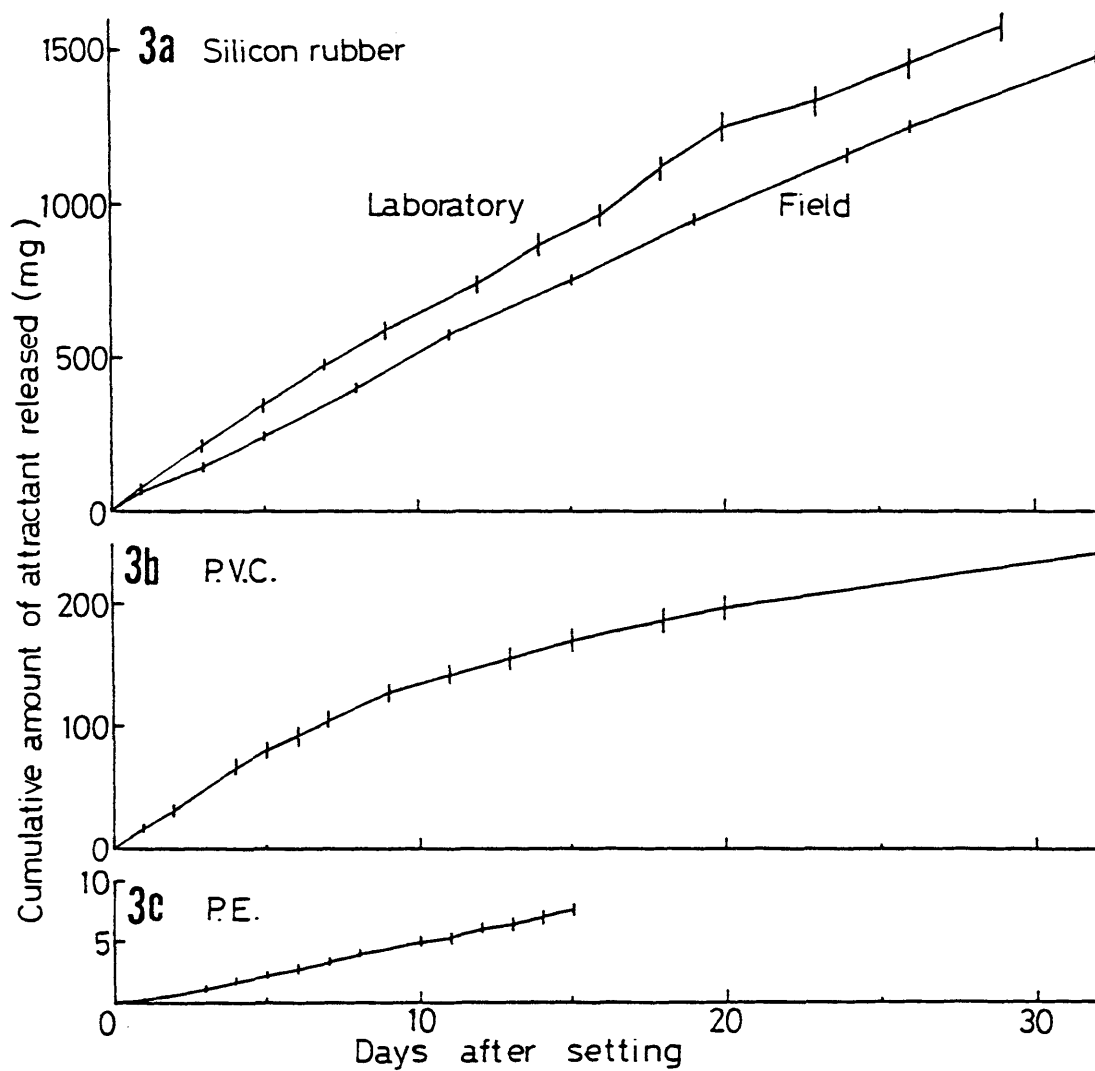


図7-3 3種の封入基材からの誘引剤放散量の経時変化

表7-2 誘引剤（水溶液）とシリコンゴム キャップ製剤の誘引力比較¹

日付	誘引剤	タマネギバエ捕獲数		タネバエ捕獲数	
		雌	雄	雌	雄
8. 4 ' 83	水溶液 ²	2	3	17	23
	キャップ ³	1	1	19	26
8. 5	水溶液	3	3	7	24
	キャップ	3	3	11	34
8. 6	水溶液	3	5	7	21
	キャップ	4	7	6	30
8. 7	水溶液	4	5	5	16
	キャップ	6	6	36	49
8. 8	水溶液	9	16	46	82
	キャップ	8	18	45	96
8. 9	水溶液	14	16	39	74
	キャップ	18	16	79	112
8. 10	水溶液	10	13	48	88
	キャップ	12	10	70	124
8. 11	水溶液	5	7	40	85
	キャップ	4	6	47	86
8. 12	水溶液	8	12	51	141
	キャップ	10	9	52	139
合計	水溶液	58	80	260	554
	キャップ	66	76	365	696

¹ それぞれ4トラップの合計数

² 毎日新しいものと交換

³ 試験期間中無交換

考えられた。

誘引剤組成の変化

以上でシリコンゴムキャップ製剤は少なくとも9日間、水溶液と同等以上の誘引力を示すことが分かったが、これまでの実験では混合物の放散量が一定であることしか確認しておらず、実際に放散されている成分の比率が変化している恐れが十分にある。そこで、誘引剤組成の変化を追跡調査した。図7-4には、初日と37日後のゴムキャップ中の誘引剤の典型的なガスクロマトグラムを示した。これから、n吉草酸の残存液中の割合が減少していることは明らかであった。また、僅かではあるが、フェニルエタノールとn吉草酸の生成が認められる。この物質は、フェニルエタノールとn吉草酸の化合により生じたと考えられた。図7-5 aにn吉草酸の濃度の変化を示した。酸濃度は実験開始時の20%から徐々に低下しており、その関係は回帰式

$$y = 20.07 \exp(-0.256 t)$$

で近似することができた。このことから各物質の放散速度については、

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{a}{a+b} \right) = k \left(\frac{a}{a+b} \right) \quad \frac{d}{dt} (a+b) = c$$

の2式が経験的に成立することが分かった。ただし、a、bは、それぞれシリコンゴムキャップ中に残存しているフェニルエタノール、n吉草酸の重量、k、cは定数である。この2式から、2-フェニルエタノールとn吉草酸の放散速度は図7-5 bのように変化すると推定された。すなわち、酸の放散速度は初期値の20mg/dayから徐々に減少し約20日後には半分の10mg/dayとなる。逆に、2-フェニルエタノールの放散速度は30mg/dayから40mg/dayへと酸の減少にみあう分だけ増加すると考えられた。

シリコンゴムキャップ中の誘引剤の組成と誘引力

上記から、シリコンゴムキャップからの2-フェニルエタノールとn吉草酸の放散速度は経時的に変化してしまうので、キャップ中に誘引剤が残っていても使用開始直後と同じ誘引力が期待できるとは限らないことがわかった。そこで、シリコンゴムキャップ中の誘引剤の組成とその誘引力の関係を圃場誘引試験で求めた。

表7-3に示したように、n吉草酸濃度が0%、5%ではその誘引力が20%に比べて劣るが、10%ではほとんど差が認められなかった。n吉草酸無添加のときと、20%

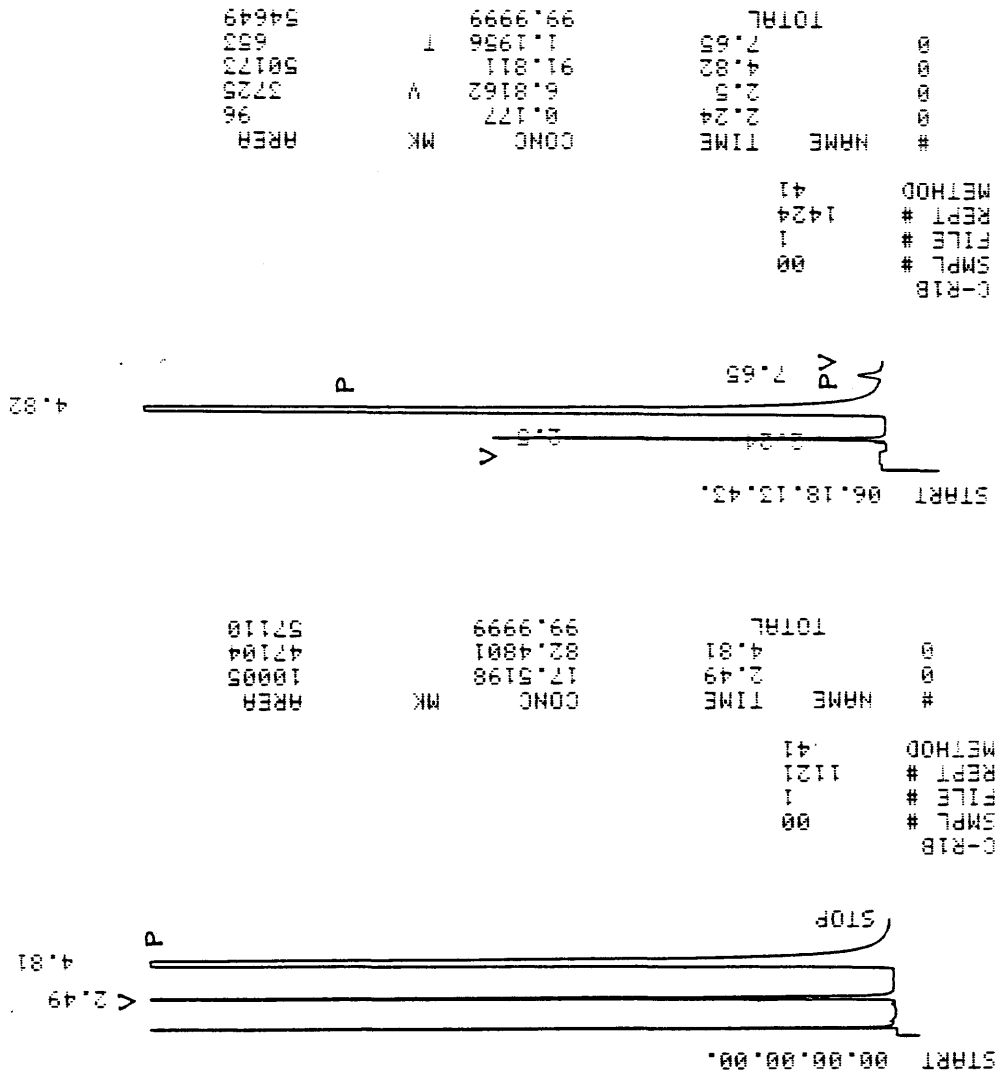


図7-4 実験開始当初(左図)と37日後(右図)のシリコンゴムキャップ中の

誘引剤のガスクロマトグラム。 P:2-フェニルエタノール

V:n吉草酸, PV:フェネチルバレレート

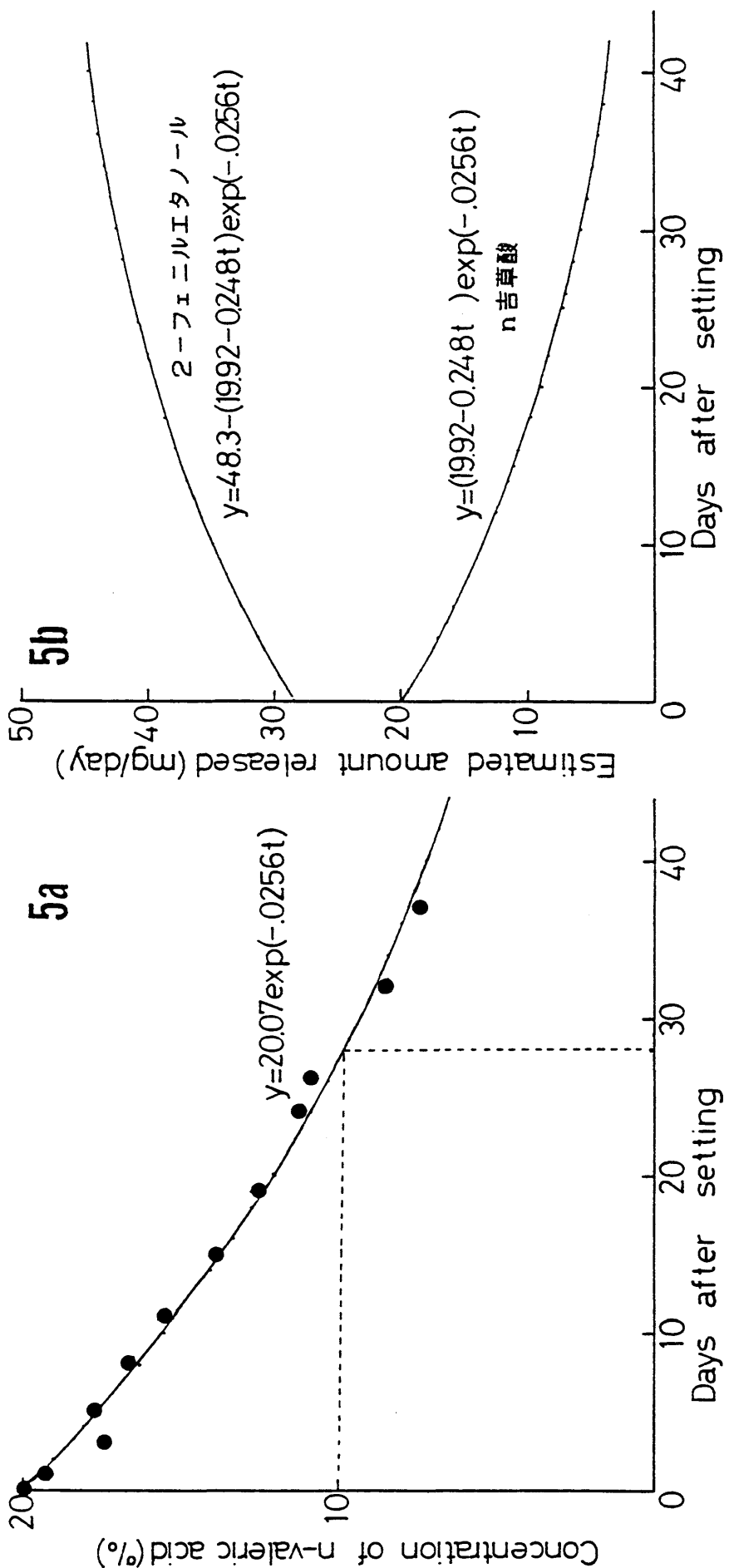


図7-5 5a: 誘引剤 (シリコンゴム キャップ中) のn 吉草酸含量の経時変化.
5b: シリコンゴム キャップからのフェニルエタノール, n 吉草酸の放散速度の変化

表7-3 シリコンゴム キャップ中の誘引剤の組成と誘引力¹

n吉草酸濃度 ² (%)	タマネギバエ		タネバエ	
	雌	雄	雌	雄
0	16	9	67	137
5	29	16	103	142
10	26	22	142	213
20	24	21	155	255
0	5	5	53	95
20	2	4	110	191
30	0	1	89	221
40	2	5	108	231

¹ 試験日 上段：1984年8月9～12日。 下段：8月18～20日

² 2-フェニルエタノール中のn吉草酸の体積百分率

添加したときのシリコンゴムキャップによる捕獲数の比は約1：2であり、水溶液での結果（約3倍、表6-4）よりも差が小さかった。試験後半に行なった高濃度側の結果ではタマネギバエの捕獲が少なく、タマネギバエについてはその影響は明らかではないが、タネバエでは酸濃度の高さ（20%以上）はほとんど捕獲数に影響しなかった。これらの結果から、タマネギバエ・タネバエの両種を対象とした誘引には、今まで慣用してきたn吉草酸濃度20%（4：1混合）を変更する強い必要性はないと判断された。

以上の結果から、シリコンゴムキャップ中のn吉草酸の濃度は使用開始時（20%）から徐々に低下するが、酸濃度が10%以上の間は初期と変らぬ誘引力を期待してよいと考えられた。そこで、図7-5 aから酸濃度が10%になるときを求めると約28日であり、シリコンゴムキャップ製剤は使用開始から約28日間は変らない誘引力を示すと推定される。また、それ以後は徐々に誘引力が低下すると予想されるが、シリコンゴムキャップ内の溶液がほとんどなくなる使用開始37日後でも酸濃度は7.4%以上あるので、誘引力の極端な低下はないと考えられた。しかし、誘引力の規格化という観点からすれば、28日で使用を中止するのが望ましく、また28日という期間は実用上も問題がないと考えられるので、シリコンゴムキャップ製剤の「有効期間」は28日間と結論した。

摘要

前章までに開発された誘引剤の放出制御製剤の開発を行なった。得られた結果の概要は以下のとおりである。

(1) 誘引剤水溶液からの2-フェニルエタノールとn吉草酸の放散速度を推定し、それぞれ 1.4 - 3.5 mg/hr, 0.5 - 1.2 mg/hr (初期値 - 終値)の値を得た。

(2) 各種封入基材からの誘引剤の放散速度を求めた。その結果、シリコンゴム キャップが適当な放散速度を長く維持するのに最も優れていた。

(3) シリコンゴム キャップの誘引力を圃場で試験した結果、誘引剤水溶液と変わらない、タマネギバエ・タネバエの捕獲が得られた。また、その効果は最低9日間以上持続することが確認された。

(4) シリコンゴム キャップに封入する2-フェニルエタノールとn吉草酸の至適混合比を求めたところ、n吉草酸の濃度が5%以下では誘引力が劣るが、10%~40%ならその誘引力の間に顕著な差がなかった。種々検討の結果、すでに使用してきた20%混合が適当と判断された。

(5) シリコンゴム キャップからの誘引剤成分の放散の様相を詳しく調べた結果、n吉草酸の放散速度はゆるやかに減少し、逆に、2-フェニルエタノールの放散速度は徐々に増加することがわかった。

(6) 上記(4)、(5)の結果から、シリコンゴム キャップ(誘引剤2mℓ)の有効期間(初期の誘引力が持続する期間)は約28日間と推定された。

以上の諸結果から、本章で開発・考案されたシリコンゴム キャップ製剤は、放出制御製剤として優れており、発生予察などに十分利用できるものと考えられた。

第8章 タマネギバエ・タネバエの大量誘殺法による防除の理論的考察

緒言

前章までに述べてきたように、この研究で新たに開発されたタマネギバエ・タネバエの誘引剤の最も大きな特徴は、雄だけでなく両性の成虫を誘引できる点にある。そこで本誘引剤をタマネギバエ・タネバエの防除に使用しようとするとき、どのような方法で、どの程度の規模で実施すれば、どのような効果が得られるのかを理論的に予測しておくことが望ましい。

実際の応用としてまず考えられることは、本誘引剤を発生予察に用いて殺虫剤による防除の適期を決定することである。タマネギバエならびに近縁のダイコンバエ、*Hylemya brassicae* では発生予察の情報を適切に用いれば、防除暦にもとづいた定期的な防除よりも殺虫剤の散布回数をかなり減らせることができ、その経済効果は大きいことが他の多くの研究者により明らかとなっている (Wyman et al., 1977; Liu et al., 1982)。

一方、より積極的に、この誘引剤を大量誘殺に用いて害虫の密度を抑制し、ひいては絶滅に向かわせる方法は考慮されてよい。しかし、この方法の検討には、適当な理論モデルがないため、どの程度の誘引力でどの程度の効果を上げられるか全く不明である。そこで、モデルの検討から始めることとした。

本誘引剤を用いた大量誘殺法による防除の効果は二つに分けて考えることができる。第1は、雄および処女雌の個体群からの除去が及ぼす交尾抑圧効果であり、第2は既交尾雌の除去による産卵抑圧効果である。両性の成虫を除去した方が雄成虫だけを除去するよりも次世代の密度抑制効果が高いと直観的に感じられるのは、もっぱら、第2の効果が強く認識されるためであろう。この第2の効果は、雄成虫だけの誘殺では皆無なので、その重要性は自明である。しかし、第1の効果も全く見逃すことはできないと考えられる。そこで本章では、両方の抑圧効果について理論モデルを用いて、特にフェロモンとの比較を中心に検討してみる。

交尾抑圧を利用した害虫防除には不妊雄放飼法と、フェロモンやメチルオイゲノールなどの誘引剤による雄成虫大量誘殺法、フェロモンによる交信攪乱法などが含まれる。

とくに不妊雄放飼法は、ラセンウジバエにおける成功で有名であり、その理論的取り扱いについても数多くの報告があり研究が進んでいるが、大量誘殺とはその理論的基礎が異なり、比較できない。比較の対象となるフェロモンを用いた防除の理論モデルは少なく、Knipling and McGuire (1966), Nakamura and Oyama (1978), Nakasuji and Fujita (1980) が主なものである。この中でも後2者は、Knipling and McGuire (1966)の欠点を改良したものである。しかし、一定の条件のもとでは前者の欠点は無視しうるほど小さいものであり、また、理論的取り扱いも最も簡単であるので前者の理論を基本にして検討をすすめた。

方法

フェロモンについては、交尾抑圧効果を推定した Knipling and McGuire (1966)の式(以後、K-MG式と省略)に、交尾雌による産卵の項を組み入れ、雌雄誘殺法の効果との比較ができるようにした。以下に具体的に述べる。

K-MG式は次の4式である。

$$S_i = V_i + (S_{i-1} - F_{i-1}) d \quad \text{--- (1)}$$

$$R_i = M_i + F_{i-1} d \quad \text{--- (2)}$$

$$P_i = S_i / (AN + S_i) \quad \text{--- (3)}$$

$$F_i = P_i R_i \quad \text{--- (4)}$$

ここで、 V_i は第 i 日に羽化した雌成虫数

M_i は第 i 日に羽化した雄成虫数 ただし、 $M_i = V_i$

P_i は1頭の雄が第 i 日に野生の雌と交尾する確率

S_i は第 i 日に生存している全処女雌数

R_i は第 i 日に生存している全雄成虫数

F_i は第 i 日に行なわれる交尾数

d は1日当り生存率(雌雄、未、既交尾によらず一定とする)

A は処女雌1頭単位に換算したトラップ1個当りの相対誘引力

N はトラップ数 したがって、 AN は処女雌当量で換算したトラップ数に相当する(以後、換算トラップ数と略)。

を表わしている。また、 i の単位は日である。

このモデルが前提としている重要な仮定は次のとおりである。

- (a) 対象とする個体群への外部からの移入と、外部への移出がない。
- (b) 雌雄は羽化当日から交尾可能とする。雄は何度でも交尾できるが、1日には1回だけである。雌は一生に一度だけ交尾する。
- (c) 羽化する成虫の性比は1 : 1である。
- (d) 換算トラップ数 AN は雌の総羽化数 T 、防除対象地の面積に比べて十分多く、すべての成虫は誘引可能な範囲に存在する。
- (e) 雄の誘引剤への反応性低下や、雌のコーリングの頻度の低下は便宜上、生存率 d に含めて処理する。

また、このままでは、種々の比較の際に不便であるので、

$r = T / AN$ なる変数を導入する。この r の導入はフェロモントラップの効果比較のために、Roelofs et al., (1970) によってなされたものであり、総羽化雌数(T)と換算トラップ数の比である。フェロモンの場合にはトラップと野生処女雌との競合の程度を示すとみなされよう。 $r = 0.2$ の防除を行なうには、総雌数 T を1000頭とすると、処女雌5000頭当量の誘引力を持つトラップを設置することを意味する。例えば、フェロモントラップ1個に処女雌2頭分の誘引力があるとするなら($A = 2$)、2500個のトラップを設置することである。

交尾抑圧率も彼らの定義に従い、

$100 \cdot (\text{全雌成虫数} - \text{交尾数}) / (\text{全雌成虫数})$ を用いたが、この定義によると雌雄誘殺モデルでは雄の誘殺による効果ばかりでなく、処女雌の捕獲も交尾抑圧率に含めて評価していることに注意が必要である。

また、新たに産卵抑圧率を次のように定義した。

無防除を仮定した時の産卵数を W とし、防除時の産卵数を Z とすると

$$\text{産卵抑圧率} = (W - Z) / W$$

K-MG式は要するところ、第 i 日に存在する雄成虫を野生虫との交尾とトラップへの捕獲に、当日の処女雌数と換算トラップ数の比、 $S_i : AN$ で割り振っているのである。

すなわち、捕獲されなかった雄はすべて交尾に成功することとしている。この点については、トラップの効果を過小評価することになるとの批判があり、Nakamura and Oyama (1978), Nakasuji and Fujita (1980) が改善しているのもこの部分である。しかし、先にも述べたとおり、ANが十分に大きいときにはこの式でもかまわないことが分かっている(宮井, 1983)。

雄成虫大量誘殺法による防除のモデル

雄大量誘殺法（K-MG式）においても、雌雄大量誘殺法と産卵数での比較ができるように、さらに次の仮定を設定した。

(f) 雌は交尾直後から毎日 e 個の卵を産む。 e は定数とし、 $e = 10$ で試算した。したがって、第 i 日の既交尾雌数を B_i とすると、その日の産卵数は $e B_i$ で与えられる。

以上から、K-MG式は最終的に次のように拡張される。

$$S_i = V_i + (S_{i-1} - F_{i-1}) d$$

$$R_i = M_i + F_{i-1} d$$

$$P_i = S_i / (T/r + S_i)$$

$$F_i = P_i R_i$$

$$B_i = B_{i-1} d + F_i$$

$$C_i = C_{i-1} + e B_i$$

ただし、 B_i は第 i 日目の交尾雌数、 C_i は第 i 日までの総産卵数であり、他の記号は前述の通りである。

雌雄大量誘殺法による防除のモデル

モデル作成の場合に最も問題になるのは、第 i 日における雌雄の交尾確率 P_i および交尾数 F_i をいかに設定するかにある。前述したように、K-MG式でもこの点がしばしば批判されている。

今回の雌雄大量誘殺のモデル作成の目的は、フェロモンなどによる雄だけの大量誘殺と特性の違いを明らかにし、ひいては、防除効果のあげられる誘殺量の最低値を推定することにあるため、 P_i をかなり過大評価することになるのを承知の上、以下の式で与えることとした。

$$P_i = 1 - m \quad \text{--- (5)}$$

$$F_i = \min \{ P_i R_i, S_i \} \quad \text{--- (6)}$$

ただし、 m は N 個のトラップによる雄の総合誘引率で、定数である。

すなわち、 N 個のトラップにより比率 m の雄が捕獲されるとし、その捕獲を逃れた雄 P_i 、 R_i すべてが交尾に成功するとした。ただし、雌の交尾は1度としているので、交尾数は当日の処女雌数 S_i 以下である。

この他、 $K-MG$ 式の仮定(a)~(f)はすべて準用し、式(1)~(2)も必要に応じて変形した後、使用してある。

さらに、雌雄の誘殺では雌の捕獲率が問題となるが、これも個体群密度によらず一定 n とした。試算に当っては、第6章の結果から2-フェニルエタノール、 n 吉草酸混合誘引剤の雌に対する誘引力は雄に対するその2/3程度と弱いことを考慮し、 $n = m/1.5$ とした(処女雌と既交尾雌に差はないとした)。

したがって、第 i 日の雄、処女雌、既交尾雌の捕獲数は、それぞれ、 mR_i 、 nS_i 、 nB_i で与えられる。

上記の諸式を採用することは、2-フェニルエタノール、 n 吉草酸誘引剤について、さらに次のことを仮定することを意味する。

(g) 本誘引剤は雌成虫の性フェロモンと雄の誘引に関して競合しない。

この誘引剤のタマネギバエ・タネバエに対する誘引力の理由は必ずしも明らかではないが、性誘引でないことはほぼ確かである。おそらくは、食餌誘引ではないかと考えられ、雌成虫のフェロモンとは直接競合しないと考えられる。また、もし間接的に競合するとしても、一般にハエ類の性フェロモンの作用は鱗翅目昆虫と比較してきわめて弱いので、無視できるものと考えられる。実際にイエバエ、Musca domesticaでの野外トラップ試験では、合成性フェロモンによる捕獲数よりも、食餌誘引剤による捕獲数の方がはるかに多いことが示されている(Mulla et al., 1977)。

以上の仮定によれば、雌雄大量誘殺による防除効果のモデルは下記のようなになる。

$$S_i = V_i + ((1-n) S_{i-1} - F_{i-1}) d$$

$$R_i = M_i + R_{i-1} (1-m) d$$

$$F_i = \min \{ (1-m) R_i, S_i \}$$

$$B_i = B_{i-1} (1-n) d$$

$$C_i = C_{i-1} + e B_i$$

ただし、 m 、 n は雌雄それぞれの誘引率である。他の記号は前述の通り。

大量誘殺による防除のシミュレーション

誘殺による防除のシミュレーションをするためには成虫の発生パターンを知ることが必要であるが、簡単のため 図8-1に示した平坦なパターン、正弦曲線、集中の3種についてシミュレーションを行なった。誘殺は発生期間中行なうものとし、この試算では45日間としてある。羽化総数 T は便宜上、雌雄それぞれ1000頭とした。なお、計算はPC-8801(日本電気)を用い、精度は倍精度16桁で行なった。

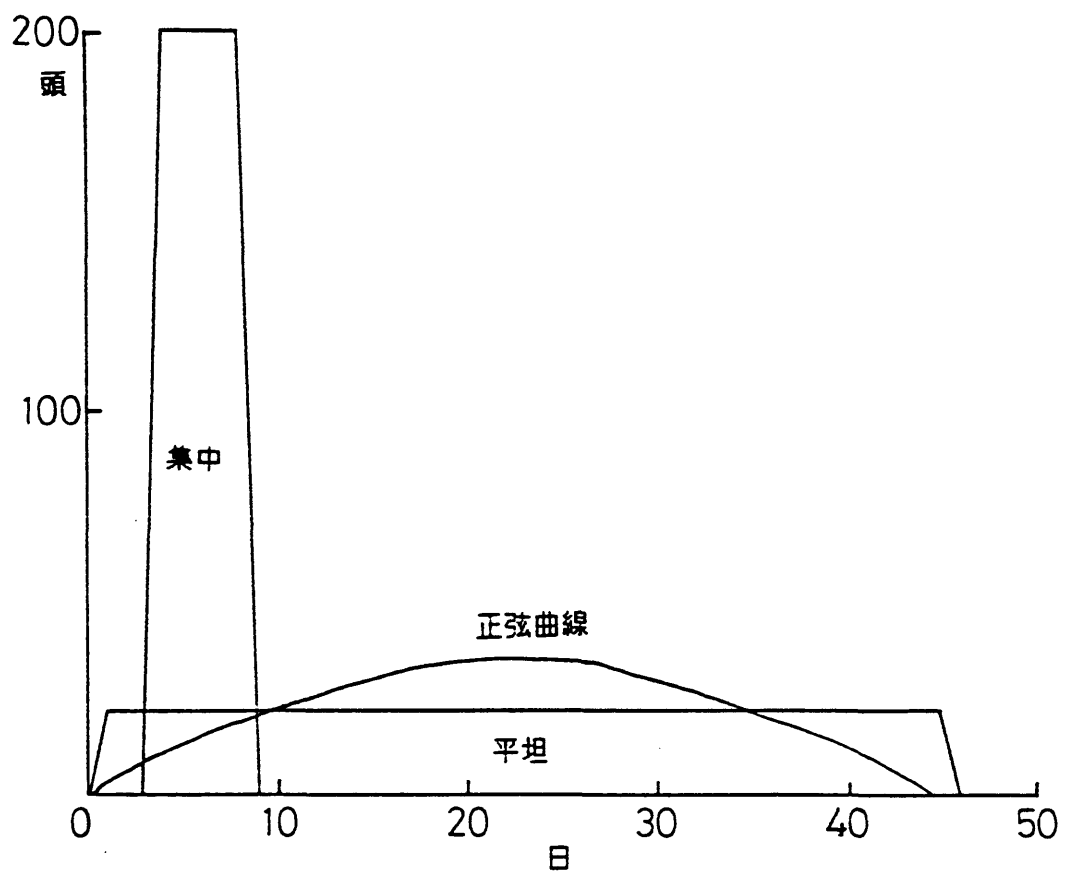


図8-1 シミュレーションに用いた3種の発生パターン

結果および考察

羽化パターンの違いの影響

羽化総数 T は同じであっても、一時に集中して羽化するのと、毎日平均的に羽化するのでは同じ防除をしても、その効果に違いが生ずる可能性がある。そこで、 $T=1000$ に固定し、図8-1に示す3種の羽化パターンについて比較した(表8-1, 表8-2)。

防除を行なう方法が違うので、両モデルの値を直接比べることはできない。しかし、結果として言えるのは、雄誘殺モデルでは発生の集中度が高ければその効果はかなり低下すること、これに対し、雌雄誘殺モデルでは逆に、交尾抑圧率、産卵抑圧率ともに増加傾向がみられることである。これは、雄誘殺モデルでは集中的な羽化が起こると、生存している処女雌数が一時的に増えるため、トラップとの競合が強くなり、トラップの効率が落ちてしまうためである。これに対し、雌雄誘殺モデルでは、個体数が増加しても捕獲率は一定なので、その悪影響を受けないためである。実際には、雌の数が非常に多くなると、雄の誘引に関してトラップと雌の間に競合が起こるかもしれないが、表8-2の条件は雄の捕獲率 $m=0.4$ (雌の捕獲率は $n=0.27$)と低率を想定しているので、後述するように雄の捕獲の交尾・産卵抑制への寄与は全くないので、結果に影響はないと考えられる。

成虫の平均寿命の影響

次に、羽化パターンを正弦曲線とし、平均寿命を変化させた時の交尾抑圧率および産卵抑圧率の変化を表8-3, 表8-4に示した。この2表から明らかなように、雄誘殺モデルでは、平均寿命が伸びると防除効果は低下してしまう。これは、やはり生存している個体数の増加により、トラップの効率が低下するためである。雌雄誘殺モデルでは逆に、産卵抑圧率に増加する傾向がみられた。この産卵抑圧率の見かけの増加は、寿命が伸びると対照となる無防除時の産卵数が著しく増えるためである。

表8-1 雄誘殺モデルにおける羽化パターンの違いの影響¹

羽化パターン	交尾抑圧率(%)	産卵抑圧率(%)
平坦	82.1	85.2
正弦曲線	80.3	82.9
集中	69.2	69.6

¹ 平均寿命=24日, $r=0.6$

表8-2 雌雄誘殺モデルにおける羽化パターンの違いの影響¹

羽化パターン	交尾抑圧率(%)	産卵抑圧率(%)
平坦	20.5	83.4
正弦曲線	20.7	83.6
集中	23.2	88.9

¹ 平均寿命=24日, $m=0.4$, $n=0.27$

表8-3 雄誘殺モデルにおける成虫の平均寿命の違いの影響¹

平均寿命(日)	交尾抑圧率(%)	産卵抑圧率(%)
4	91.5	91.5
8	87.0	87.5
12	84.2	85.4
24	80.3	82.9
36	78.5	81.9

¹ 平均寿命=24日, $r=0.6$, 羽化パターン: 正弦曲線

表8-4 雌雄誘殺モデルにおける成虫の平均寿命の違いの影響¹

平均寿命	交尾抑圧率(%)	産卵抑圧率(%)
4	18.4	64.2
8	19.7	75.3
12	20.2	79.4
24	20.7	83.6
36	20.8	84.9

¹ 平均寿命=24日, $m=0.4$, $n=0.27$, 羽化パターン: 正弦曲線

両モデルの比較

表8-5および表8-6には、平均寿命を24日、羽化パターンは正弦曲線として、誘殺の強度を変化させた時の両モデルによるシミュレーションの結果が示してある。

雄誘殺モデルでは、 r を0.2から2.0まで変化させた。ここでは $T=1000$ なので、これは換算トラップ数で言うと5000個($r=0.2$)から500個($r=2.0$)まで変化させることに相当する。雌雄誘殺モデルでは、雄の捕獲率 m を0.0(無防除)から0.9まで変化させた(雌の捕獲率 n は常に $n=m/1.5$)。このモデルでは雌雄の捕獲率をパラメーターとしているので、トラップ数については何も情報がない。これを知るには、捕獲率とトラップ数の関係を定める別のモデルが必要であるが、ここでは考慮しなかった。

両モデルの比較に当たっては、便宜上、総産卵数が10000卵以下になる誘殺の強度を参考とした。これは、卵から成虫までの生存率を20%とした時、次世代の個体群密度が平衡に達する防除圧である(次世代の雌数が1000頭になる)。

a) 雄誘殺モデル

表8-5に示したように、 $r=0.2$ の条件では実に1000頭中998頭の雄を捕獲することになるが、それでも交尾抑圧率は92.7%にしか上がらない。しかも、総産卵数は10401なので、このレベルの防除をしても個体群密度の上昇を防ぐのがやっとなである。また、ここで注意しなければならないのは、 $r=0.2$ のときの998頭から $r=0.8$ のときの993頭へわずか5頭捕獲数が減っただけで、交尾抑圧率は92.7%から74.9%へ、産卵抑圧率は93.7%から78.2%へ急落してしまうことである(表8-5)。すなわち、雄誘殺モデルでは、わずか数頭(率にして0.2~0.3%)が捕獲から逃れただけで防除の意味がほとんどなくなってしまうのである。この結果は、雄が何回でも交尾できるという仮定(1日には1回)により生ずるものである。したがって、雄の交尾能力の高い種ではフェロモンによる交尾抑圧防除はかなり困難であると考えられる。

また、K-MG式の交尾確率を与える式(3)が、雌は交尾後フェロモンの放散を止めるので、(3)式ではトラップの効果が過小評価になっているとの批判があるが(Nakamura and Oyama, 1980)、むしろ逆に、雌の密度が低い時に過大評価になって

表8-5 雄誘殺モデルにおけるトラップ数変化の影響¹

r	交尾抑圧率	交尾数	捕獲雄数	産卵数	産卵抑圧率
0.2	92.7	73	998	10401	93.7
0.4	86.2	138	996	19824	88.0
0.6	80.3	197	994	28389	82.9
0.8	74.9	251	993	36198	78.2
1.0	70.1	299	991	43337	73.9
2.0	51.8	482	986	71267	57.0

¹ 平均寿命=24日, 羽化パターン: 正弦曲線

いる方が大きな欠陥ではなからうか。式(3)では雌数が減ると、捕獲率は限りなく100%に近づいてしまうからである。

b) 雌雄誘殺モデル

雌雄誘殺モデルにおいて、総産卵数を10000卵以下にするには、雄の捕獲率 m は0.7以上でなくてはならない(表8-6)。 $n = m / 1.5$ としているので、この時の雌の捕獲率は0.47となっている。すなわち、存在する雌雄のそれぞれ47%、70%以上を毎日捕獲し続けなければ、次世代の個体群密度は減少に向かわない。この時、雄の最終捕獲率は98.8%に達する。雄誘殺モデルの99.8%とあまり変わらないような印象を受けるが、この差がいかに大きいかは雌雄誘殺モデルで雄の捕獲率を $m = 0.9$ まで上げて99.7%にしかならないことから理解できよう。すなわち、定率捕獲では毎日90%の雄を捕獲しても最終捕獲率を99.8%に上げることはできないのであり、また、この時の交尾抑圧率は88.9%にしかならないことに注意されたい(表8-6)。フェロモン利用の大量誘殺による防除がいかに困難かが分かると思う。

雌雄誘殺モデルでは、緒言でも述べた通り、その効果のほとんどは既交尾雌の捕獲によるものであって、雄の捕獲の寄与は少ないと予想される。そこで、雄の捕獲の寄与がどの程度かを調べるため、表8-6と同じ条件で雄の捕獲率を $m = 0.0$ としてシミュレーションを行なった(表8-7)。表8-6と表8-7の比較から明らかなように、 $m = 0.1 \sim 0.5$ までは雄の誘殺の影響がほとんど認められない。しかし、0.6以上になるとその影響はかなり大きくなる。例えば、雌の捕獲率が $n = 0.533$ で一定でも、雄を80%捕獲($m = 0.8$)すると、総産卵数は $m = 0.0$ の時の12036卵から4531卵に減少している。

以上から、雌雄誘殺モデルでは雄の誘殺率が50%以下の時は雄誘殺の効果が全くなく、防除効果はすべて雌の捕獲によるものであること、しかし60%以上の雄の捕獲率を達成すれば、その効果が急に大きくなることが分かった。

表8-6 雌雄誘殺モデルにおける雌雄の誘殺率変化の影響¹

雄捕獲率 ²	交尾抑圧率	交尾数	捕獲雌数 ³	捕獲雄数	産卵数	産卵抑圧率
0.0	0.0	1000	0	0	165798	0.0
0.1	6.1	939	63	722	85227	48.6
0.2	11.5	885	118	873	52758	68.2
0.3	16.3	837	168	928	36582	77.9
0.4	20.7	793	213	955	27229	83.6
0.5	24.7	752	254	970	21208	87.2
0.6	35.3	647	356	980	15448	90.7
0.7	57.7	423	570	988	8748	94.8
0.8	75.2	248	739	993	4531	97.3
0.9	88.9	111	874	997	1810	98.9

¹ 平均寿命=24日, 羽化パターン: 正弦曲線

² 雌の捕獲率は雄の2/3として計算

³ 処女雌

表8-7 雌雄誘殺モデルにおける雌雄の誘殺率変化の影響(雄の誘引率=0.0)¹

雌捕獲率 ²	交尾抑圧率	交尾数	捕獲雌数 ³	捕獲雄数	産卵数	産卵抑圧率
0.00	0.0	1000	0	0	165798	0.0
0.07	6.1	939	63	0	85229	48.6
0.13	11.5	885	118	0	52762	68.2
0.20	16.3	837	168	0	36592	77.9
0.27	20.6	794	211	0	27254	83.6
0.33	24.5	755	252	0	21288	87.2
0.40	28.0	720	288	0	17198	89.6
0.47	31.2	688	321	0	14248	91.4
0.53	34.1	659	351	0	12036	92.7
0.60	36.8	632	379	0	10326	93.8

¹ 平均寿命=24日, 羽化パターン: 正弦曲線

² 雌捕獲率は表8-6と同じになっている。

³ 処女雌

産卵前期間の存在の影響

タマネギバエ・タネバエの雌成虫は羽化直後には卵巣が発育しておらず、花の蜜や花粉などの栄養をとり、卵を発育させなければ産卵することができない（Theunissen, 1973）。この卵巣発育の期間を産卵前期間（または前産卵期間）と言ひ、タマネギバエでは7日～14日ではないかと推定されている（Loosjes, 1976）。そこで、平均寿命36日、雌雄の捕獲率をそれぞれ0.4, 0.267, 羽化パターンは正弦曲線を仮定し、産卵前期間の長短の影響を調べた。表8-8に示したとおり、産卵前期間が長くなると防除効果は急激に大きくなる。例えば、産卵期間0日では産卵数が40930なのに対し、14日の産卵前期間があるとわずか297卵となって、防除効果が著しく上昇することがわかる。この結果から、比較的長い産卵前期間をもつタマネギバエでは、雌雄大量誘殺はかなり有利な方法ではないかと考えられた。

シミュレーションの結果のまとめ

以上の結果から、雄誘殺法と比べた雌雄誘殺法の諸特性が明らかとなった。

列挙すれば、

- (1) 羽化パターンの変化による防除効果の変動が小さい。
 - (2) 雄の誘殺率が50%以下では防除への寄与が全くない。すなわち、雌だけ誘殺したのと同じ効果しかない。
 - (3) しかし、雄の誘殺率が50%を越すとその効果は急激に大きくなり、雌だけの誘殺よりも非常に有利である。
 - (4) 雌成虫の産卵前期間が長いと、誘殺による防除の効果は著しく増加する。
- などである。

本章での試算結果について、その傾向だけではなく、得られた値そのものについても議論するには、様々な条件・制約つきであることに注意を要し、本章ではあえてしていない。タマネギバエ・タネバエには、野外における基礎データがほとんどないため、本章のモデルは必ずしも適切な条件設定になっていない。また、モデル化のため止むを得ず、いたる所で単純化が行なわれている。特に、産卵に関する条件について言えば、産卵には日

表8-8 雌雄誘殺モデルにおける雌の産卵前期間変化の影響¹

産卵前期間	交尾数	捕獲雌数 ²	捕獲雄数	産卵数
0日	791	212	967	40930
2	791	212	967	20891
4	791	212	967	10559
6	791	212	967	5283
8	791	212	967	2616
10	791	212	967	1282
12	791	212	967	621
14	791	212	967	297

¹ 平均寿命=36日, 羽化パターン: 正弦曲線。 雄の捕獲率= 0.4
雌の捕獲率= 0.267

² 処女雌

令に応じた変動・周期性のあることが室内試験からも明らかであるが、今回は全く無視してある。産卵数 $e = 10$ としたのも室内試験での結果と野外条件を勘案したものであるが、これについては、 e が2倍になれば結果の各表の産卵数を2倍にすれば良いので、対応は可能であろう。

防除のために必要な誘殺率について、正確な推定ができるようになるためには、野外基礎データの蓄積とモデルの高度化が必要である。また特に、トラップ数と誘殺率との関係については、雌雄誘殺法を実際に適用しようとする時、必らず解明しておかなければならない問題である。

摘要

本章では、雌雄成虫を大量に誘殺して害虫を防除する可能性について、シミュレーションモデルを作成して検討した。また、フェロモンによる交尾抑圧防除のモデルである Knipling and McGuire (1966)の式に修正をほどこし、雌雄成虫誘殺法との比較を可能にし、両モデルについて種々の面から比較・検討を行なった。得られた結果の概要は以下のとおりである。

(1) 雌雄成虫誘殺法はフェロモンによる交尾抑圧法に比べて、防除対象害虫の羽化パターンの変化による防除効果の変動が小さい。

(2) 雄の誘殺率が50%以下では、雄の捕獲は全く防除に寄与しない。すなわち、雌だけ誘殺したのと同じ効果しか期待できない。しかし、雄の誘殺率が50%を越すとその効果は急に大きくなり、雌だけの誘殺よりも非常に有利である。

(3) 雌雄成虫誘殺法では、雌の産卵前期間が長いほど、防除の効果が急激に大きくなる。

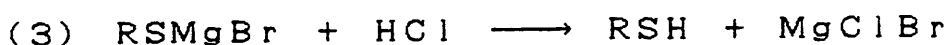
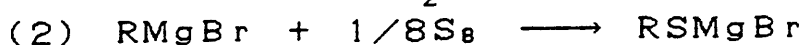
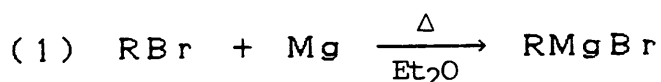
タマネギバエには7~14日の産卵前期間があると推定されているので、本方法はかなり有利である。

以上の諸結果から、雌雄成虫大量誘殺法の優れた諸特性が明らかとなり、本方法はその可能性を実際の圃場において試験してみる価値が十分あるものと判断された。

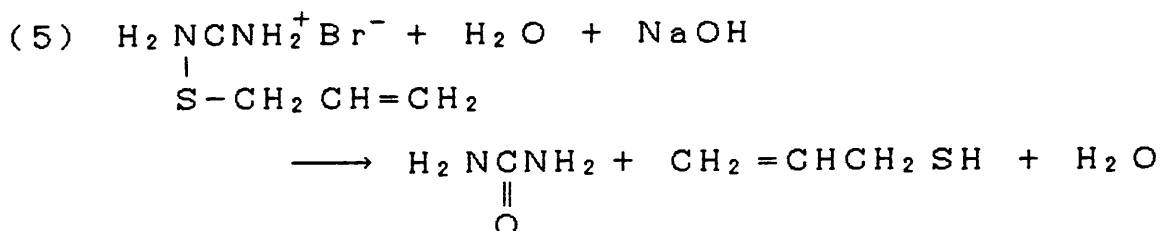
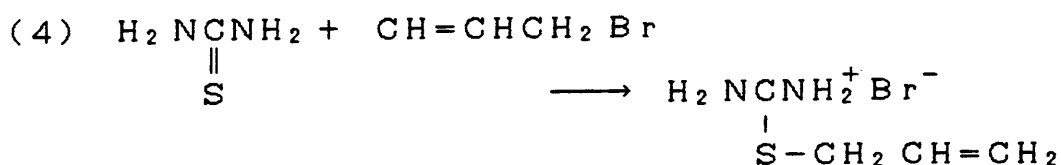
付章 供試硫黄化合物の合成法

A) Mercaptan の合成

方法1: iso-Propyl mercaptan, phenyl mercaptan, n-amy l mercaptan は Griniard試薬の生成(反応式1), これに対する硫黄の取り込ませ 反応(2), alkyl(or phenyl) thiomagnesium bromideの酸による加水分 解(3)の3段階により合成した(Streitwieser and Heathcock, 1976; Wijers et al., 1969).



方法2: allyl mercaptan だけは(2)の反応が進行しないので下記の方法(4, 5)によった(Streitwieser and Heathcock, 1976)。すなわち, allyl bromide と thioureaより allyl isothiourea hydrobromide を 合成し(4), これをアルカリ加水分解することにより, allyl mercaptan を得た (5)。



実験1： 30mℓの2首ナシ型フラスコ中に，magnesium 3.08 g (0.025 mol) および約10mℓの ethyl ether (ただし phenyl mercaptan については tetrahydrofuran) を加える。フラスコに還流冷却器を装着，湯浴上で50℃に加熱，スターラーで激しく攪拌，ethyl ether 還流下にそれぞれの alkyl bromide を滴下，反応が開始すると激しく発熱するので，湯浴よりはらずし，反応の進行状況をみながら alkyl bromide を適宜滴下する。上記反応液をしばらく放置し液温を約30℃に冷却，0.8 g (0.025 mol) の硫黄をごく少量ずつ攪拌下に加える。

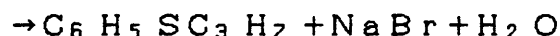
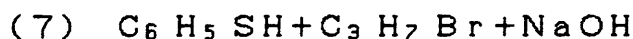
硫黄の取り込み反応は激しく，発熱をともなう。反応が終了すると白色の alkyl (or phenyl) thiomagnesium bromide が沈澱するが，そのまま攪拌下に0.5 N HCl を徐々に滴下する。反応は激しく発熱をともなう。反応液を50mℓ分液ロートに移し，水および ether を加え振とう。有機層を分離し，anhydrous sodium sulfate で乾燥，エーテルを分別蒸留して除く。得られる mercaptan は純度が高く(95%以上)，とくに精製することはしなかった。

実験2： Thiourea 1.90 g (0.025 mol) および95% ethanol 10 mℓ を50mℓナス型フラスコにとる。スターラーで攪拌しながら，湯浴上で80℃に加熱，thiourea を溶解する。ついで，allyl bromide 3.03 g (0.025 mol) を滴下，約30分間加熱攪拌を続ける。エタノールをほとんど蒸発させた後，還流冷却器を装着，NaOH aq. により70℃湯浴上で加水分解する。反応が進行すると allyl mercaptan が水層の上部に分離してくる。反応終了後，分液ロートにより allyl mercaptan を分離する。純度は高くさらに精製しなかった。

B) Monosulfideの合成

プロピル基を持つ monosulfideは原則として, propyl mercaptan と目的とする鎖長の alkyl bromide から合成した(6)。 Phenyl propyl monosulfide だけは, Bromobenzene の求核反応性が弱いために, propyl mercaptan と bromobenzene とから(6)の方法によったのでは合成できなかった。そこで, phenyl mercaptan を合成し, phenyl mercaptan と propyl bromide の反応により目的物を得た(7)。

Methyl allyl sulfide は, methyl mercaptan が取り扱い難いため, allyl mercaptan を合成し, この allyl mercaptan と methyl bromide の反応により目的物を得た(8) (Tarbell and Lovett, 1956)。



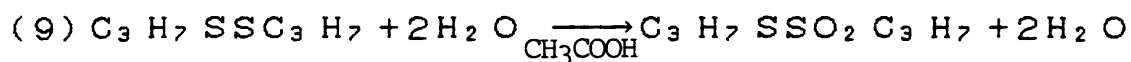
実験3: 50 ml ナス型フラスコにエタノール15 ml を入れ, 水浴上で80℃まで加温, 攪拌下に NaOH 2g (0.05 mol) を加え, 溶解させる。それぞれの mercaptan 0.05 mol をピペットで少量ずつ加え, さらにそれぞれの alkyl bromide 0.05 mol を徐々に滴下する。反応は即座に完了する。90℃に加熱してエタノールの大部分を追出した後, 総量50 ml のエーテルを加え, 100 ml 分液ロートに移す。

定法により水で洗浄し, 水層が中性を示すまで洗浄をくりかえす。有機層を sodium sulfate anhydride で乾燥, エーテルを45℃以下で留去する。不純物として未反応の alkyl bromide, mercaptan を含むので, 減圧蒸留によりこれらを留去する。Phenyl propyl monosulfide は不純物の bromobenzene と沸点の差が小さく, 蒸留による精製は困難だったので, 分取ガスクロマトグラフィーによる精製

を行なった。

C) Sulfonate の合成

Propyl propanethiosulfonate は、酢酸酸性下、過酸化水素により di-n-propyl disulfide を酸化して得た(9)。 (Backer and Jong, 1945; Wijers et al., 1969)。

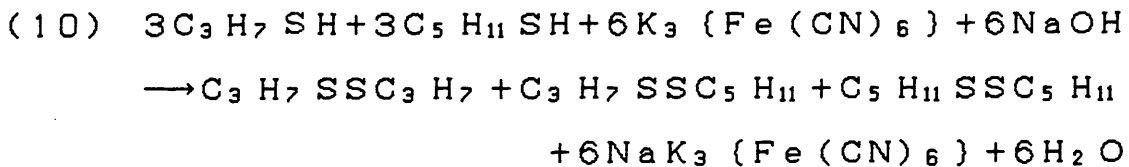


実験4： 酢酸6.25gおよび dipropyl disulfide 7.5g (0.05 mol)を50mℓナス型フラスコに取り、湯浴で70℃に加熱、激しく攪拌しながら、35%過酸化水素水9.7mℓ (0.1 mol)を滴下する。反応が始まると激しく発熱するので水浴中に冷却し、過酸化水素水を徐々に、反応を見ながら滴下する。滴下終了後冷却しながら1時間攪拌を続ける。 ついで、フリーザーで約-15℃に冷却すると2層に分離する。

下層が propyl propanethiosulfonate である。分液ロートで分別後、3mmHgに減圧しながら油浴で90℃まで加熱し、未反応の dipropyl disulfide、混入した acetic acidを分別蒸留により除く。純度は95.8%で、これ以上の精製はしなかった。

D) Disulfide の合成

方法1. Propyl amyl disulfide は Carson and Wong (1959) の方法により, propyl mercaptan と amyl mercaptan を alkaline ferricyanide により酸化して得た (10)。

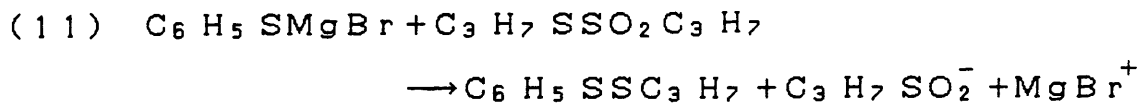


この方法によると, dipropyl disulfide, propyl amyl disulfide, diamyl disulfide の混合物が得られるが, 目的物 propyl amyl disulfide の生成率はガスクロマトグラフによると約33%であった。

実験5: 100mℓ 三角フラスコに, 水30mℓ, sodium hydroxide 2g (0.05 mol) を入れ溶解, amyl mercaptan 2.08g (0.02 mol), propyl mercaptan 1.52g (0.02 mol) を加え攪拌, 水浴で冷却下に 1.25 M potassium ferricyanide 水溶液40mℓ を約1時間かけて滴下する。溶液は黄色エマルジョン状になるが, さらに1時間冷却攪拌を続ける。200mℓ 分液ロートに移し, 定法によりエーテルで抽出, 分離後エーテルを水で洗浄, sodium sulfate anhydride で乾燥後, 減圧下にエーテルを留去する。

Dipropyl disulfide, propyl amyl disulfide, diamyl disulfide をそれぞれ約1/3ずつ含む混合物が得られる。減圧分留を試みたが, 精製が進まなかった。そこで, 分取ガスクロマトグラフィーにより分画し, 生物検定に供した。

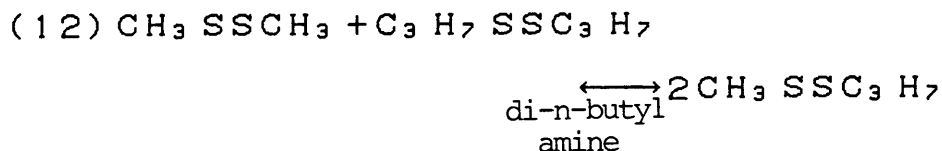
方法2. Propyl phenyl disulfide を上記1. の合成法で試みたが, dipropyl disulfide, diphenyl disulfide のみが生成し, 目的物 propyl phenyl disulfide は全く得ることができなかった。そこで, Wijers et al (1969) らの方法により, phenylthiomagnesium bromide と propyl propanethiosulfonate から合成した (11)。



実験6: 出発物質の一つである propyl propanethiosulfonate の合成法については、Cの項で詳しく説明した。 Phenylthiomagnesium bromide は phenyl mercaptan を合成する際の間生成物であるが (A項参照), それを精製せずに用いた。方法は次の通りである。

Phenyl mercaptan の合成の過程で phenylthiomagnesium bromide が tetrahydrofuran 溶液として得られるが, そこへ同当量の propyl propanethiosulfonate を少しずつ滴下する。反応は速やかに進行し, 若干の発熱をとまなう。反応終了後, 冷却した 25 % ammonium chloride aq. を加える。定法によりエーテル抽出を行ない, エーテルを 25 % ammonium chloride aq. で洗浄し, PrSSO_2 を除く。Sodium sulfate anhydride により乾燥, 減圧下にエーテルを留去する。Propyl phenyl disulfide が比較的高純度で得られるが, phenylthiomagnesium bromide 生成の際からの不純物である phenyl bromide が若干含まれている。これは減圧分留による除去が不可能であったので, 分取ガスクロマトグラフィーによる精製を行なった。

方法3. Methyl propyl disulfide の合成は, methyl mercaptan の取り扱い, methylthiomagnesium bromide の合成が困難なので, 上記1., 2.の方法は避けた。Dipropyl disulfide と dimethyl disulfide を出発物質として, アルキル基の交換反応によって合成した (12)。

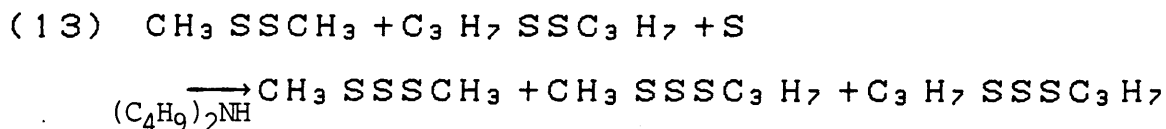


実験7: Dipropyl disulfide 3 g (0.02 mol), dimethyl disulfide 1.9 g (0.02 mol) および di-n-butyl amine 0.2 ml を 20 ml ナス型フラスコに取り, 還流冷却器を装着し, 油浴で 85°C, 2時間加熱する。反応後, 3 mmHg 減圧下, 分留管を通して 110°C で分留する。蒸留物は dimethyl disulfide, methyl propyl disulfide, dipropyl disulfide の混合物であるが, 目的物 methyl propyl disulfide の生成率はきわめて低い (10%程度)。分取ガスクロマトグラフィーによる分画精製を行なった。

E) Trisulfide の合成

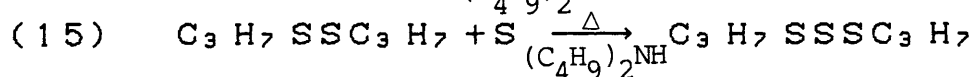
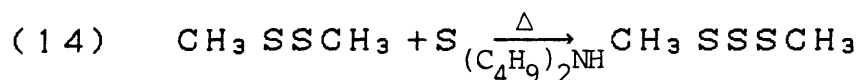
Dimethyl trisulfide, methyl propyl trisulfide, dipropyl trisulfide は, dimethyl disulfide, dipropyl disulfide を出発物質として, 硫黄の取り込み反応により得た (13), (14), (15)。

方法1. Methyl propyl trisulfide の合成



実験8. Dipropyl disulfide 9 g (0.06 mol), dimethyl disulfide 5.8 g (0.06 mol), sulfur 7 g (0.22 eq.) および di-n-butyl amine を 50 ml ナス型フラスコに取り, 還流冷却器を装着して, 油浴で 85°C で 3時間, 続いて 130°C で 5時間加熱する。反応が進行すると, 溶液はしだいに黄色を帯び, 最終的には濃褐色となる。これは副生する polysulfide によるものである。冷却後, 3 mmHg で減圧分留, 油浴温度 50°C ~ 124°C の分画を集める。この分画は, ガスクロマトグラフィーによると, dimethyl trisulfide 6.2%, dipropyl disulfide 11.8%, dipropyl trisulfide 19%, 目的物 methyl propyl trisulfide 55.5% の混合物であった。ついで再度 3 mmHg で減圧分留, 油浴温度 90°C ~ 100°C の分画を得た。これによっても, 純度が不足したので分取ガスクロマトグラフィーによる精製を行なった後, 生物検定に供した。

方法2. Dipropyl trisulfide および dimethyl trisulfide の合成
 この2種の化合物は1. の methyl propyl trisulfide の合成の際の副産物として得られるが、収率が悪く、精製も困難であるので別途合成した。方法はほとんど1. と同じで、それぞれ dipropyl disulfide, dimethyl disulfide に硫黄を取り込ませた(14, 15)。



Dipropyl trisulfide は3mmHgで減圧分留, 100℃~115℃の分留を2度くりかえし, 純度98.4%を得た。Dimethyl trisulfide は, 10mmHgで減圧分留, 80℃の分留をくりかえし, 純度95%以上を得た。

総括

本論文は、タマネギなど Allium 属植物の重要害虫タマネギバエ (Hylemya antiqua Meigen) の寄主選択機構の解明から始められた研究が、その進展によりタマネギバエだけではなく、広範な農作物の害虫タネバエ (H. platura M.) に対しても強力に働らく誘引剤の開発に至った経緯をまとめたものである。その概要は以下のとおりである。

1. タマネギ植物体から放散されるタマネギバエの産卵誘引・刺激物質

タマネギバエのタマネギに対する寄主特異性を説明する一要因として、タマネギ植物体から放散されている産卵誘引・刺激物質の化学的解明を行なった。

a. タマネギ植物体から放散される匂い物質の化学分析を行ない、8種の硫黄化合物を検出・同定した。これらの内では、di-n-propyl disulfide が最も多量に検出され、これに n-propyl propenyl disulfide が次いでいた。

b. 上記物質のタマネギバエに対する産卵誘引・刺激活性を試験し、プロピルチオ基 (C_3H_7S-) を有する化合物に生理活性があることを見いだした。

c. タマネギ匂い成分の類縁化合物を系統的に多数合成し、構造と生理活性の関係について検討した。その結果、物質が活性をもつためには、プロピルチオ基の存在が必須であることを明らかにした。

以上により、タマネギバエはタマネギ植物体から放散されている、一連のプロピルチオ化合物によって、誘引され、産卵を刺激されると結論した。

2. 産卵刺激物質に対するタマネギバエ触角のEAG反応

タマネギバエの産卵刺激物質(プロピルチオ化合物)に対する高い特異性が、触角上の嗅覚感覚器の特異性に帰せられるか否かを、触角電図法(EAG)を用いて検討した。

a. 産卵刺激性を示すプロピルチオ化合物はすべて、高いEAGを与えた。しかし、非活性物質の中にも高いEAGを与えるものがあつた。

b. Dialkyl disulfide について、そのアルキル鎖長とEAGの高さを比較すると、3(di-n-propyl disulfide)のときに最大値が得られた。

c. プロピルチオ化合物に関しては、その産卵刺激性とEAGの間に、 methyl propyl trisulfide の例外を除いて、高い相関が認められた。

d. 数種の硫黄化合物の、葉量-EAGの回帰直線を詳細に検討したところ、プロピルチオ基に特異な受容器の存在が示唆された。

これらの結果から、タマネギバエの産卵行動上でのプロピルチオ基に対する特異性は、少なくともその一部が、触角上の嗅覚感覚器の特異性に帰することができると結論した。

3. タマネギ磨碎汁のタマネギバエ・タネバエに対する誘引性

タマネギバエの産卵誘引・刺激物質である di-n-propyl disulfide の圃場における誘引力を、従来から本種の誘引餌として一部で用いられてきた、タマネギ磨碎汁と比較し、磨碎汁の腐敗と誘引力の上昇の関係を調べた。

a. タマネギ磨碎汁のタマネギバエに対する誘引力は di-n-propyl disulfide (PrSSPr) に比べてはるかに優れていた。タマネギ磨碎汁はタマネギバエばかりではなく、近縁種のタネバエに対しても強い誘引力を示した。

b. 圃場に放置された磨碎汁は、時間が経過し腐敗すると、その誘引力が増加した。タマネギバエに対する誘引力の増加は、放置2日後からみられたが、タネバエに対する誘引力増加は4~5日後になって初めて明らかとなった。

c. この反応性の違いから、タマネギバエとタネバエでは若干選好性が異なり、タネバエはより腐敗の進んだものに強く誘引されると考えられる。したがって、両種の反応する誘引物質は一部が異なっていると推定された。

以上より、少なくとも日本では、di-n-propyl disulfide を単独でタマネギバエの誘引剤として利用するのは無理であると判断された。強い誘引力を示すことが確認された腐敗タマネギ磨碎汁を新たな出発物として、化学分析を進めることが、強力な合成誘引剤の開発には有利であるとの結論に達した。

4. 腐敗タマネギ磨砕汁中性画分中の誘引物質

腐敗タマネギ磨砕汁中のタマネギバエ・タネバエに対する誘引性成分の化学的研究を進め、中性画分中の誘引物質については、さらに分析・同定を行なった。

a. 活性成分は水蒸気蒸留により留出され、酸性ならびに、中性画分中に移行した。中性画分のGC, GC-MSによる分析の結果、腐敗タマネギの成分として従前から知られていた、エタノール、酢酸エチル、などの他に、イソアミルアルコール、2-フェニルエタノール（PheEtOH と略）を検出・同定したが、これらの物質の室内試験の結果では、PheEtOH だけが弱い活性を示し、他のものには活性が認められなかった。

b. 圃場での PheEtOH（0.2%水溶液）のタマネギバエに対する誘引力は強く、新鮮なタマネギ磨砕汁とほぼ同等の誘引力を示した。

c. PheEtOH はタネバエに対しても強い誘引力を示した。すなわち PheEtOH の0.2%水溶液は、タマネギ磨砕汁の2.8（雌）～6.3（雄）倍の捕獲数を与え、雄に対する誘引力はとくに優れていた。

以上、腐敗タマネギ磨砕汁の強い誘引力を説明する物質の一つとして、2-フェニルエタノールが同定された。

5. 標識再捕法による2-フェニルエタノールの誘引力評価

2-フェニルエタノールのタマネギバエ・タネバエに対する誘引力の評価と、タマネギバエの個体群パラメーター推定のため、標識再捕試験を行なった。

a. タマネギバエ・タネバエの両種、両性が2-フェニルエタノールに誘引された。

b. タマネギバエについては、以下の情報が得られた。試験圃場内の総個体数：雄 1160 頭、雌 1720 頭、捕獲率：雄 10.4%、雌 7.0%、日生存率：雄 0.48、雌 0.42。

以上の結果から、2-フェニルエタノールを誘引剤として用いれば、雄の約10%、雌の約7%を捕獲することができると推定された。この値では大量捕獲による両種の防除は困難であると考えられ、さらに強い誘引剤が必要であることがわかった。

6. 腐敗タマネギ磨砕汁酸性画分中の誘引物質

腐敗タマネギ磨砕汁の抽出物酸性画分の分析を行なうとともに、酸性成分と、中性画分の活性成分である2-フェニルエタノールとの共力作用について検討した。

a. 酸性画分中から、酢酸、プロピオン酸、イソ酪酸、n酪酸、イソ吉草酸、n吉草酸を検出・同定した。これらの酸と、その類縁物質の誘引力試験の結果、酸の主鎖炭素数3~5の有機酸に誘引活性のあることがわかった。しかし、酸単独でのタマネギバエ・タネバエに対する誘引力は強くなかった。

b. 2-フェニルエタノール (PheEtOH) の水溶液に、有機酸を添加すると、その誘引力が PheEtOH 単独使用時に比べて、有意に増加する現象がみられた。特に、n吉草酸はタマネギバエ・タネバエ両種の雌雄に対して安定した共力作用を示し、その共力係数も2.3倍~4.3倍と最も優れていた。

c. PheEtOH と n吉草酸の至適組成比・濃度を求めたところ、PheEtOH 0.2%、n吉草酸0.05%水溶液が最も優れた誘引力を有していた。この組成の誘引剤の誘引力はきわめて強く、抽出源の腐敗タマネギ磨砕汁よりも、タマネギバエで2~5倍、タネバエでは5~15倍優れていた。

以上の結果から、2-フェニルエタノール0.2%、n吉草酸0.05%の水溶液はタマネギバエ・タネバエ両種・両性に対する誘引力がきわめて優れていることが示された。

7. タマネギバエ・タネバエ誘引剤の放出制御製剤の開発

上記で開発された誘引剤は水溶液であるため、夏季野外条件では蒸散が激しく、頻繁な溶液補充が必要で、発生予察などへの利用は無理であると考えられた。そこで、誘引剤の放出制御製剤の開発を行なった。

a. 誘引剤水溶液からの2-フェニルエタノールとn吉草酸の放散速度を推定し、この放散速度を長く保持する封入基材を検索したところ、シリコンゴム キャップが最も優れていた。

b. シリコンゴム キャップの誘引力を圃場で試験した結果、誘引剤水溶液と同様なタマネギバエ・タネバエの捕獲数が得られた。また、その効果は9日間持続することが確認され、さらに、誘引剤組成変化の圃場試験結果から約28日間有効であると推定された。

以上から、シリコンゴム キャップ製剤は、放出制御製剤として優れており、発生予察などに十分利用できるものと考えられた。

8. タマネギバエ・タネバエの大量誘殺法による防除の理論的考察

雌雄成虫を大量に誘殺して害虫を防除する可能性について、シミュレーション モデルを作成して検討した。また、フェロモンによる交尾抑圧防除のモデルである Knippling and McGuire (1966) の式に修正をほどこし、雌雄成虫誘殺法との比較を可能にし、両モデルについて種々の面から比較・検討を行なった。

- a. 雌雄成虫誘殺法は、防除対象害虫の羽化パターンの変化による防除効果の変動が小さい。
- b. 雄の誘殺率が50%以下では、雄の捕獲は防除に全く寄与しないが、50%を越すとその効果は急に大きくなり、雌だけを誘殺するよりも有利になる。
- c. 雌雄成虫誘殺法では、雌の産卵前期間が長いほどその効果が大きい。タマネギバエには、7~14日の産卵前期間があると推定されているので、本方法はかなり有利であると考えられた。

以上、雌雄成虫大量誘殺法の優れた諸特性が明らかとなり、本方法はその防除の可能性を実際の圃場において試験してみる価値が十分あるものと判断された。

以上、本研究はタマネギバエの寄主選択機構の解明から出発し、タマネギバエ・タネバエ両種両性成虫に対する強力な誘引剤を発見するに至った。新たに考案された誘引剤のシリコンゴム キャップ製剤はそのままでも、両種の発生予察に利用の可能性が大きい。発生予察の情報による殺虫剤の適時散布、適正利用による殺虫剤使用量の軽減効果は相当にのぼると考えられるが、さらに積極的な、雌雄成虫の大量誘殺による新防除法の開発に本研究の成果が利用されることが期待される。

謝辞

本研究を行なうに当り終始御指導・御鞭撻いただき、また、本文校閲の労をとられた東京大学農学部害虫学研究室 松本義明教授、池庄司敏明助教授に厚く御礼申し上げます。圃場試験の実施では、北海道農業試験場の方々の協力を得ました。とくに、同場虫害第2研究室 三井 康室長、同主任研究官 堀 正明氏には大変お世話になり、試験方法などにつき貴重な御意見をいただきました。また、本研究の成果の特許申請に際しては、同場 一戸 稔病理昆虫部長に多大の労をおかけしました。ここに記して感謝の意を表します。

- 1 BACKER, H.J. and G.J. JONG (1948) [The properties of the sulfonyl group. II. Isomerization of allyl benzyl sulfone to propenyl benzyl sulfone.] Rec. Trav. Chim. 67: 884-893. (Chem. Abst. 43: 6995d).
- 2 BAKER, A.D. and K.E. STEWART (1928) The onion root-maggot (Hylemya antiqua Meig.) on the island of Montreal. 20th Annu. Rep. Quebec Soc. Prot. Plants. 1297-1928.
- 3 BIRCH, M. (1974) Aphrodisiac pheromones in insects. In Pheromones. (M. BIRCH, ed.), Amsterdam, North-Holland Publishing Co., pp. 115-134.
- 4 BOECKH, J., K.E. KAISSLING and D. SCHNEIDER (1965) Insect olfactory receptors. Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology. 30: 263-280.
- 5 BOELENS, M., P.J. De VALOIS, H.J. WOBLEN and A. Van Der GEN (1971) Volatile flavor compounds from onion. J. Agric. Food Chem. 19: 984-990.
- 6 BRODNITZ, M.H., C.L. POLLOCK and P.P. VALLON (1969) Flavor components of onion oil. J. Agric. Food Chem. 17: 760-763.
- 7 BYRNE, K.J., W.E. GORE, G.T. PEARCE and R.M. SILVERSTEIN (1975) Porapak-Q collection of airborne organic compounds serving as models for insect pheromones. J. Chem. Ecol. 1: 1-7.
- 8 CARROL, K.A., C.R. HARRIS and P.E. MORRISON (1983) Resistance shown by a parathion-resistant onion maggot (Diptera: Anthomyiidae) strain to some other insecticides. Can. Ent. 115: 1519-1522.
- 9 CARSON, J.F. and F.F. WONG (1959) Separation of aliphatic disulfides and trisulfides by gas-liquid partition chromatography. J. Org. Chem. 24: 175-179.
- 10 CARSON, J. F. and F. F. WONG (1961) The volatile flavor components of onions. J. Agric. Food Chem. 9: 140-143.

- 11 CAVALLITO, C.J, and J.H. BAILEY (1944) Allicin, the antibacterial principle of Allium sativum. I. Isolation, physical properties and antibacterial action. J. Amer. Chem. Soc. 66: 1950-1951.
- 12 DAPSIS L.J. and D.N. FERRO (1983) Effectiveness of baited cone traps and colored sticky traps for monitoring adult cabbage maggots with notes on female ovarian development. Ent. Exp. Appl. 33: 35-42.
- 13 DINDONIS, L.L. and J.R. MILLER (1980a) Host-finding responses of onion and seedcorn flies to healthy and decomposing onions and several synthetic constituents of onion. Environ. Entomol. 9: 467-472.
- 14 DINDONIS, L.L. and J.R. MILLER (1980b) Host-finding behavior of onion flies, Hylemya antiqua. Environ. Ent. 9: 769-772.
- 15 DINDONIS, L.L. and J.R. MILLER (1981a) Onion fly trap catch as affected by release rates of n-dipropyl disulfide from polyethylene enclosures. J. Chem Ecol. 7: 413-420.
- 16 DINDONIS, L.L. and J.R. MILLER (1981b) Onion fly and little house fly host finding selectively mediated by decomposing onion and microbial volatiles. J. Chem. Ecol. 7: 421-428.
- 17 FINCH, S. and G. SKINNER (1975) Dispersal of adult cabbage root fly. Ann. Appl. Biol. 81: 1-19.
- 18 GUERIN P.M. and J.H. VISSER (1980) Electroantennogram response of the carrot fly, Psila rosae, to volatile plant components. Physiol. Entomol. 5: 111-119.
- 19 GUERIN, P.M. and E. STÄDLER (1982) Host odour perception in three phytophagous Diptera - A comparative study. Proc. 5th Int. Symp. Insect-Plant Relationships. Pudoc. Wageningen, pp. 95-105.
- 20 HAMADA, R. (1976) Density estimation by the modified Jackson's method. Appl. Ent. Zool. 11: 194-201.

- 21 HAWKES, C. (1972) The estimation of the dispersal rate of the adult cabbage root fly (Erioischia brassicae (Bouche)) in the presence of a brassica crop. J. Appl. Ecol. 9: 617-632.
- 22 HONDA, I., Y. ISHIKAWA and Y. MATSUMOTO (1983) Morphological studies on the antennal sensilla of the onion fly, Hylemya antiqua Meigen (Diptera: Anthomyiidae). Appl. Ent. Zool. 18: 170-181.
- 23 HWANG, Y.-S., M.S. MULLA and H. AXELROD (1976) Attractants for synanthropic flies. Identification of attractants and coattractants for Hippelates eye gnats (Diptera: Chloropidae). J. Agric. Food Chem. 24: 164-169.
- 24 IKESHOJI, T., Y. ISHIKAWA and Y. MATSUMOTO (1980) Attractants against the onion maggots and flies, Hylemya antiqua, in onions inoculated with bacteria. J. Pesticide Sci. 5: 343-350.
- 25 ISHIKAWA, Y., T. IKESHOJI and Y. MATSUMOTO (1978) A propylthio moiety essential to the oviposition attractant and stimulant of the onion fly, Hylemya antiqua Meigen. Appl. Ent. Zool. 13: 115-122.
- 26 ISHIKAWA, Y., T. IKESHOJI, Y. MATSUMOTO, M. TSUTSUMI and Y. MITSUI (1981) Field trapping of the onion and seed-corn flies with baits of fresh and aged onion pulp. Appl. Ent. Zool. 16: 490-493.
- 27 ISHIKAWA, Y., A. MOCHIZUKI, T. IKESHOJI and Y. MATSUMOTO (1983a) Mass-rearing of onion and seed-corn flies, Hylemya antiqua and H. platura (Diptera: Anthomyiidae), on an artificial diet with antibiotics. Appl. Ent. Zool. 18: 62-69.
- 28 ISHIKAWA, Y., T. IKESHOJI, Y. MATSUMOTO, M. TSUTSUMI and Y. MITSUI (1983b) 2-Phenylethanol: an attractant for the onion and seed-corn flies, Hylemya antiqua and H. platura (Diptera: Anthomyiidae). Appl. Ent. Zool. 18: 270-277.

- 29 ISHIKAWA, Y., Y. MATSUMOTO, M. TSUTSUMI and Y. MITSUI (1984) Experimental field trapping of the onion and seed-corn flies, Hylemya antiqua and H. platura, using 2-phenylethanol for population estimation. Appl. Ent. Zool. 19: 75-81.
- 30 KNIPLING, E.F., and J.U. McGUIRE, Jr. (1966) Population models to test theoretical effects of sex attractants used for insect control. U. S. Dep. Agric. Inform. Bull. 308: 2-4.
- 31 KUWAHARA, Y. (1980) Isolation and identification of male-secreted possible sex pheromone from a pyralid moth, Aphomia gularis Zeller (Lepitoptera: Pyralidae). Appl. Ent. Zool. 15: 478-485.
- 32 LIU, H.J., F.L. McEWEN and G. RITCEY (1982) Forecasting events in the life cycle of the onion maggot, Hylemya antiqua (Diptera; Anthomyiidae): Application to control schemes. Environ. Ent. 11: 751-755.
- 33 LOOSJES, M. (1976) Ecology and genetic control of the onion fly, Hylemya antiqua (Meigen). Agric. Res. Rep. (Versl. landbouwk. Onderz.) Pudoc. Wageningen 857: 197.
- 34 MATSUMOTO, Y. and A. J. THORSTEINSON (1967) A simple method for rearing onion maggot, Hylemya antiqua Meig. (Diptera: Anthomyiidae) in the laboratory. Appl. Ent. Zool. 2: 58-59.
- 35 MATSUMOTO, Y., and A. J. THORSTEINSON (1968a) Effect of organic sulfur compounds on oviposition in onion maggot, Hylemya antiqua Meigen. Appl. Ent. Zool. 3: 5-12.
- 36 MATSUMOTO, Y. and A.J. THORSTEINSON (1968b) Olfactory response of larvae of the onion maggot, Hylemya antiqua Meigen (Diptera: Anthomyiidae) to organic sulfur compounds. Appl. Ent. Zool. 3: 107-111.
- 37 MATSUMOTO, Y. (1970) Volatile organic sulfur compounds as insect attractants with special reference to host selection. In Control of Insect Behavior by Natural Products (D.L. WOOD et al. eds.), New York, Academic Press, pp. 133-160.

- 38 MILLER, J.R. and B.K. HAARER (1981) Yeast and corn hydrolysates and other nutritious materials as attractants for onion and seed flies. J. Chem. Ecol. 7: 554-562.
- 39 MULLA, M.S., Y.-S. HWANG and H. AXELROD (1977) Attractants for synanthropic flies: Chemical attractants for domestic flies. J. Econ. Ent. 70: 644-648.
- 40 NAKAMORI, H. and H. SOEMORI (1981) Comparison of dispersal ability and longevity for wild and mass-reared melon flies, Dacus cucurbitae Coquillett (Diptera: Tephritidae), under field conditions. Appl. Ent. Zool. 16: 321-327.
- 41 NAKAMURA, K. and M. OYAMA (1978) An equation for the competition between pheromone traps and adult females for adult males. Appl. Ent. Zool. 13: 176-184.
- 42 NAKASUJI, F. and K. FUJITA (1980) A population model to assess the effect of sex pheromones on population suppression. Appl. Ent. Zool. 15: 27-35.
- 43 NASSEH, M.O. (1983) Wirkung von Rohextrakten aus Allium sativum L. auf Getreideblattlaus Sitobion avenae F. und Rhopalosiphum padi L. sowie die grüne Pfirsichblattlaus Myzus persicae Sulz. Z. angew. Ent. 94: 123
- 44 NIEGISH, W. D. and W. H. STAHL (1956) The Onion: Gaseous emanation products. Food Research. 21: 657-665.
- 45 NISHINO, C. and H. WASHIO (1976) Electroantennograms of the american cockroach (Orthoptera: Blattidae) to odorous straight chain compounds. Appl. Ent. Zool. 13: 115-121.
- 46 PIERCE, Jr., H.D., R.S. VERNON, J.H. BORDEN and A.C. OEHLISCHLAGER (1978) Host selection by Hylemya antiqua (Meigen): Identification of three new attractant-oviposition stimulants. J. Chem. Ecol. 4: 65-72.
- 47 ROELOFS, W.L., E.H. GLASS, J. TETTE and A. COMEAU (1970) Sex pheromone trapping for red-banded leaf roller control: Theoretical and Actual. J. Econ. Ent. 63: 1162-1167.

- 48 SMALL, L.D., J.H. BAILEY and C.J. CAVALLITO (1947) Alkyl thiosulfates. J. Amer. Chem. Soc. 69:1710-1713.
- 49 SMILANICK, J.M., L.E. EHLER and M.C. BIRCH (1978) Attraction of Carpophilus spp. (Coleoptera: Nitidulidae) to volatile compounds present in figs. J. Chem. Ecol. 4: 701-707.
- 50 SNOW, J.W., J.R. COPPEDGE, A.B. BROCE, J.L. GOODENOUGH and H.E. BROWN (1982) Swormlure: Development and use in detection and suppression systems for adult screwworm (Diptera: Calliphoridae). Bull. Ent. Soc. Amer. 28: 277-284.
- 51 VAN Der STAAR, H. and M.J. TEMPELAAR (1976) Structural and functional aspects of sense organs on the maxillary palps of Calliphora vicina. J. Insect Physiol. 22: 855-864.
- 52 STREITWIESER, A. Jr. and C.H. HEATHCOCK (1976) Introduction to Organic Chemistry., London, Collier-MacMillan, 1279p.
- 53 TARBELL, D.S. and W.E. LOVETT (1956) The isomerization by base of alkyl allyl sulfides to alkyl propenyl sulfides. The Mechanism of the reaction. J. Amer. Chem. Soc. 78: 2259-2264.
- 54 THEUNISSEN, J. (1973) Egg chamber development in the onion fly, Hylemya antiqua (Meigen) (Diptera: Anthomyiidae). Int. J. Morphol. Embryol. 2: 87-99.
- 55 THEUNISSEN, J. (1976) Aspects of gametogenesis and radiation pathology in the onion fly, Hylemya antiqua (Meigen). I. Gametogenesis. Meded. Landbouwhogeschool Wageningen. 76: 1-163.
- 56 VERNON, R.S., H.D. PIERCE Jr., J.H. BORDEN and A.C. OEHLSCHLAGER (1978) Host selection by Hylemya antiqua: Identification of oviposition stimulants based on proposed active thioalkane moieties. Environ. Ent. 7: 728-731.
- 57 VERNON, R.S. and J.H. BORDEN (1983) Dispersion of marked-released Hylemya antiqua (Meigen) (Diptera: Anthomyiidae) in an onion field. Environ. Ent. 12: 646-649.

- 58 WHITAKER, J.R. (1976) Development of flavor, odor, and pungency in onion and garlic. Adv. Food Res. 22: 73-133.
- 59 WIJERS, H.E., H. BOELEN and A. Van Der GEN (1969) Synthesis and some properties of 1-alkenyl alkyl disulfides and di(1-alkenyl) disulfides. Recueil 88: 519-529.
- 60 WYMAN, J.A., J.L. LIBBY and R.K. CHAPMAN (1977) Cabbage maggot management aided by predictions of adult emergence. J. Econ. Entmol. 70: 327-331.
- 61 YAMAMOTO, I., K. OHSAWA, H. HONDA, S. KATO and R. YAMAMOTO (1976) Attractants of the rice weevil, Sitophilus zeamais Motsch., in rice and corn. In Proc. Joint United States-Japan Seminar on Stored Product Insects, Manhattan, Kansas, pp. 88-103.
- 62 ZOHREN, E. (1968) Laboruntersuchungen zu Massenanzucht, Lebensweise, Eiablage und Eiablageverhalten der Kohlfliege, Chortophila brassicae Bouche (Diptera: Anthomyiidae). Z. angew. Ent. 62: 139-188.

- 1 石川幸男（1979） タマネギバエ Hylemya antiqua Meigen の産卵刺激要因。 東京大学農学部修士論文 94 p.
- 2 加藤静夫（1951） 本邦に於けるタマネギバエ（ Hylemya antiqua Meigen ）の蔓延と種類鑑別上の要点。 防疫時報 22：28-33.
- 3 桑山 覚・堀 松次・瀧沢 求・遠藤和衛・加藤静夫・桜井 清・堤 正明（1970）北海道におけるタネバエの生態ならびに防除に関する研究。 北海道農事試験調査資料 第125号 93 p.
- 4 松本義明（1978） 昆虫の食物。 pp. 21-37. 昆虫の科学（松本義明，高橋信孝，吉武成美 編），東京，朝倉書店，129 p.
- 5 宮井俊一（1983）性フェロモン利用の可能性と限界—数理モデルによる検討—。 pp. 16-20. フェロモン利用に関するシンポジウム講演要旨（日本植物防疫協会）。 129 p.
- 6 西沢省悟・旭 昭男・中村秀子・田原哲子・水谷純也・小幡弥太郎（1972）タマネギ圃場に於けるハエ類の誘殺について。 北海道大学農学部邦文紀要 8：102-109.
- 7 田中健治・汐津美文・鈴木 寛・伊藤嘉昭（1978）マーキング法による沖縄本島南部のウリミバエ個体数の推定。 応動昆 22：81-86.
- 8 雷岡 暢（1977） タネバエ類の発生生態。 植物防疫 31：206-209.
- 9 堤 正明・三井 康（1982）札幌近郊におけるタマネギ鱗茎に寄生する双翅目3種の発生消長。 北日本病虫研報 33：119-121.
- 10 堤 正明（1983） タマネギりん茎加害害虫の生態と防除。 p. 75. 昭和57年度病害虫関係専門別絵括検討会議資料（農業技術研究所編） 309 p.