

ナスコナカイガラムシ (カメムシ目: コナカイガラムシ科) の 殺虫剤評価手法および有効薬剤

柿元 一樹*

鹿児島県農業開発総合センター

Effectiveness of Available Insecticides against the Solanum Mealybug, *Phenacoccus solani* (Hemiptera: Pseudococcidae). Kazuki KAKIMOTO* Kagoshima Prefectural Institute for Agricultural Development; Kinpou-cho, Minamisatsuma, Kagoshima 899–3401, Japan. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 64: 183–191 (2020)

Abstract: The solanum mealybug, *Phenacoccus solani* Ferris (Hemiptera: Pseudococcidae), has become a serious pest with the extension of the IPM system based on biological control using natural enemies. We tested the efficacy of available insecticides in the laboratory and eggplant fields. Laboratory experiments were performed under a controlled environment of 25°C and 14L:10D using green bean leaflets. To distinguish each developmental stage of *P. solani*, the body length and developmental time were investigated every day. We were unable to distinguish the different developmental stages of the mealybugs by body length; however, we could estimate the developmental stage from the number of days from birth (day-age). The estimated developmental stages in terms of day-age were below 4 days for 1st instar nymphs, 8–9 days for 2nd instar nymphs, 14–16 days for 3rd instar nymphs, and over 25 days for female adults. Fourteen insecticides were tested against 2nd and 3rd instar nymphs and female adults. Three chemical insecticides (acetamiprid, nitenpyram, and sulfoxaflor) and two spiracle-blocking insecticides (decanoyloctanoylglycerol and hydrogenated starch hydrolysate (HSH)) were particularly effective. The efficacy of selected insecticides (acetamiprid, sulfoxaflor, and HSH) was also evaluated in a greenhouse. The results showed that sulfoxaflor was the most effective, with acetamiprid in second place, and HSH in third.

Key words: Mealybug; pesticides; oil; biological control; organic

緒 言

近年、施設栽培のピーマン *Capsicum annuum* L. を中心にナスコナカイガラムシ *Phenacoccus solani* Ferris (カメムシ目: コナカイガラムシ科) の発生が散見されている (桑澤, 2017). 桑澤 (2017) によると, 本種は 2003 年に高知県において初めて国内での発生が確認された侵入害虫である. 体色は灰色を呈し, 体長は 3–5mm で体表は白色粉状の分泌物で覆われる. 同属他種の多くが卵のうを形成する (河合, 1980) のに対し, 本種は卵胎生で産雌性単為生殖を行う (桑澤, 2017). 鹿児島県の施設ピーマン栽培において本種の発生が認められるのは, 化学合成農薬を全く使用しない有機農業の圃場またはアザミウマ類やタバココナジラミ *Bemisia tabaci* (Gennadius) に対してスワルスキーカブリダニ *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot やタイリクヒメハナカメムシ *Orius strigicollis* (Poppius), タバコカスミカメ *Nesidiocoris tenuis* (Reuter) 等の天敵を利用すること

で殺虫剤が大幅に削減された圃場であることが多い. この問題は, 高知県ではすでに 2003 年に指摘されていた (岡林, 2003). 鹿児島県の発生実態を見るかぎり, ピーマンの施設におけるナスコナカイガラムシの発生時期は一定ではない. ピーマンでの主な被害は, すずによる果実の汚れである. 被害果実は出荷前に洗浄されるか, 繁忙期には廃棄される. このため, 本種の被害によってピーマンの生産効率および生産量の低下を招く. しかし, ナスコナカイガラムシの生態や有効な防除技術に係る情報は非常に少ない. 国外では, Aheer et al. (2009) により殺虫剤の効果が評価されているが, 検証された殺虫剤の種類は少ない. また, 我が国においては, 有機農業で使用可能な殺虫剤や天敵への影響を考慮した殺虫剤の選定が求められるが, ナスコナカイガラムシに対するこのような殺虫剤の効果は明らかでない.

そこで本研究では, ナスコナカイガラムシに対するインゲン *Phaseolus vulgaris* L. の葉を用いた室内での殺虫剤評

*E-mail: kakimoto-kazuki@pref.kagoshima.lg.jp
2020 年 3 月 31 日受領 (Received 31 March 2020)
2020 年 8 月 29 日登載決定 (Accepted 29 August 2020)
DOI: 10.1303/jjaez.2020.183

餌手法を確立するとともに、この手法により有効な殺虫剤を選定した。なお、本種は3段階の齢期を経て成虫に至るが(Nakahira and Arakawa, 2006)、各発育態で明確な形態的变化を示さない。このため、外観により特定の齢期を得ることが困難である。そこで、インゲンの葉で飼育した場合の発育期間および体長を調べることで発育態を推定し、この情報に基づいて各発育態別に殺虫剤の効果を明らかにした。

本文に先立ち、ナスコナカイガラムシの同定を賜った沖縄県農業研究センターの上里卓己氏、事前の論文査読を賜った安部めぐみ氏に厚く御礼申し上げる。なお、本研究の一部は地方創生交付金により実施したものである。

材料および方法

1. 供試虫

ナスコナカイガラムシは2018年3月に鹿児島県志布志市の有機栽培のピーマン圃場から採集し、播種から約1か月間育苗したピーマン(品種: TM 鈴波; タキイ種苗(株))の苗を用いて、温度25°Cおよび光周期14L:10Dの条件下で飼育された個体群であった。

2. 生活史解明のための発育および増殖実験

インゲンで飼育した場合のナスコナカイガラムシ幼虫の発育期間および体長ならびに雌成虫の体長、増殖および生存期間を調べるため、以下の飼育方法により幼虫および雌成虫を個別飼育した。プラスチック製容器(直径10cm×高さ4cm、蓋の通気口直径4cm、メッシュ孔サイズ0.053mm; Insect breeding dish 310102; SPL Life Sciences)を用い、受け皿に3cm四方に調整した脱脂綿を敷いて水で十分に湿らせ、この上に4cm四方に切断したインゲン(品種: ベストクroppキセラ; 雪印種苗(株))初生葉の葉片の葉裏を上へ向けて載せた。脱脂綿よりも葉片面積を広くしたのは、予備実験において、インゲンの葉片よりも下の脱脂綿の面積が広いと葉片から離脱した虫が脱脂綿上で捕捉されて死亡する個体が多かったためである。また、虫のシェルターとして3cm四方のろ紙をインゲンの葉片上へ置いた。本実験を含む本研究の室内実験は全て、温度25°Cおよび光周期14L:10Dの条件下で実施された。

発育実験に用いる産下後24時間以内の幼虫を得るため、本種の飼育個体群から雌成虫と思われる個体を50頭採集し、上記の飼育容器へ10個体ずつ放した。産まれた幼虫を新たな飼育容器へ移して個別飼育し、以後発育経過および体長(頭頂部~腹部末端)を実体顕微鏡(Leica Microsystems; MZ125)により毎日観察した。供試個体数は28頭とした。餌のインゲン葉片は2~3日毎に交換し、その都度面相筆を用いて供試虫を新たな飼育容器へ移動した。

雌成虫の寿命および生涯産子数を調べるため、成虫まで

到達した個体を上記と同様の方法により継続して飼育し、生存の状況は原則として毎日調査した。雌成虫の体長および産子数については3日間隔で調査した。なお、産まれた幼虫は計数後に全て除去するとともに、インゲン葉片は2~3日間隔で交換した。

3. 室内における殺虫剤の効力評価

野菜でコナカイガラムシ類に適用のある殺虫剤はほとんど存在しない。このため、アブラムシ類またはコナジラミ類に対して有効な薬剤を中心に、産地での使用実態を考慮しながら14剤の殺虫剤を候補として選定した。効力評価を行うナスコナカイガラムシの発育態は2齢、3齢幼虫および雌成虫を対象とした。供試した薬剤および希釈倍数は、アセタミプリド20%顆粒水溶剤(4,000倍)、ニテンピラム10%水溶剤(1,000倍)、スルホキサフロル9.5%フロアブル(1,000倍)、ピメトロジン25%顆粒水和剤(5,000倍)、ピリフルキナゾン20%顆粒水和剤(4,000倍)、スピロテトラマト22.4%フロアブル(2,000倍)、シアントラニリプロール10.3%水和剤(2,000倍)、フロニカミド10%顆粒水和剤(2,000倍)、フロメトキン10%フロアブル(1,000倍)、昆虫寄生性糸状菌の*Beauveria bassiana* 1.6×10¹⁰/ml 乳剤(500倍)、気門封鎖剤の還元デンプン糖化物60%液剤(100倍)、脂肪酸グリセリド90%乳剤(300倍)、ヒドロキシプロピルデンプン5%液剤(100倍)、プロピレングリコールモノ脂肪酸エステル70%乳剤(1,000倍)である。対照として水のみを散布する区を設けた。

供試虫を得るため、インゲンの葉片上で雌成虫に24時間産子させた。得られた幼虫個体群を新たな飼育容器へ移して1容器当たり20頭の割合で集団飼育し、特定の発育態に達した個体を後述のとおり実験に供した。上記2の発育実験結果に基づき、産子されて9日後の個体を2齢幼虫、15日齢の個体を3齢幼虫、27日齢の個体を雌成虫とみなした。殺虫剤の評価にあたっては、1飼育容器当たり10個体を収容して1反復とし、各殺虫剤とも3反復実施した。所定の発育態の個体を飼育容器内のインゲン葉片へ放した後、インゲン葉片からの離脱個体がないことを確かめ、ハンドスプレーを用いて所定濃度の薬液を1容器当たり6ml散布した。虫に薬液が十分付着したことを確認し、飼育容器に残った薬液をティッシュペーパーで拭き取った。葉片を自然乾燥させた後にシェルター用の3cm四方のろ紙を載せ、飼育容器の蓋をかぶせた。薬液の処理から24時間後、48時間後、72時間後に実体顕微鏡下で供試虫の生死を判別した。なお、苦悶虫は死亡個体と見なした。

4. 圃場における殺虫剤の効力評価

先の3で実施した殺虫剤のうち、高い効果が得られたアセタミプリド20%顆粒水溶剤(4,000倍希釈)、スルホキサフロルフロアブル9.5%(1,000倍希釈)、還元デンプン糖化物液剤60%(100倍希釈)の3種類について、施設

栽培のナス *Solanum melongena* L. (品種：筑陽；タキイ種苗(株)) を用いて圃場での防除効果を検証した。試験区は、上記の3薬剤および無処理の4区で、各区3反復とした。1区の面積は10m² (畝幅2m×畝長5m) で、播種から35日間育苗したナスの苗を株間50cmの間隔で1区当たり10株植え付けた。硬質プラスチックハウス4棟を用いてナスを栽培し、各区をランダムに割り当てた。ナスの定植は2019年5月27日であった。定植から11日後の同年6月7日に、ナスコナカイガラムシの雌成虫と考えられる個体を1区当たり100頭の割合で各区の中央の株の地際付近に放した。若齢幼虫が確認され始めた6月17日から試験を開始した。全株の全体を肉眼で観察して虫数を計数した後、300L/1,000m² 相当の薬液を動力噴霧機により散布した。殺虫剤散布から4日後、9日後および14日後に全株について株全体のナスコナカイガラムシ個体数を肉眼により計数した。なお、本種は圃場において発育態の区別が困難であるため、達観により若齢幼虫、中齢幼虫、老齢または雌成虫の3段階に区別した。

5. 統計処理

ナスコナカイガラムシの各発育態間の変態前後における2群間の体長の差はStudentの*t*検定により比較し、各発育態の最大時の体長の差は分散分析により有意差を検出した後、TukeyのHSD検定により各発育態間での差を比較した。圃場における薬剤の効力評価試験で得られた虫数データは、Box-Cox変換により正規分布へ近似した後、殺虫剤の処理前および処理後別に処理の違いを説明変数として分散分析を用いて効果の有意差を評価した。なお、殺虫剤処理後の評価にあたっては、調査日を変量効果として設定した分散分析(混合モデル)により解析した。各水準間の差はTukeyのHSD法により比較した。統計処理にあたっては、JMP12 (SAS Institute, 2015) を用いた。

結 果

1. インゲンで飼育したナスコナカイガラムシの発育と増殖

温度25°Cおよび光周期14L:10Dの条件下で、インゲン

のリーフディスクを用いて飼育したナスコナカイガラムシの発育期間および生存率をTable 1に示した。各発育態での平均発育期間は、1齢幼虫で約6.5日、2齢幼虫で約5.6日、3齢幼虫で約7.9日であった。1齢期および2齢期においては、発育期間が最も短い個体と長い個体間で6日の差があった。3齢期は1~2齢期に比べて個体間のばらつきは小さく、最も短い個体と長い個体間での発育期間の差は2日であった。3齢期到達までの期間は、短い個体が10日であり、平均では約12.2日であった。約8割の個体は飼育開始後12日齢までに3齢まで到達したが、最も長い個体の3齢到達日齢は18日であった。成虫到達日齢は、短い個体が17日、長い個体が24日で、両者の差は7日であった。成虫到達日齢までの平均は19.6日、中央値は20日であった。幼虫期間に全ての個体が同一発育態である日齢は4日齢までであり、5日齢以後はいずれかの異なる発育態が混在した(Fig. 1a)。異なる発育態数の存在が最少で、なおかつ特定の発育態個体の存在割合が最大である産子後の日齢は、1齢期が4日齢以内、2齢期が8および9日齢、3齢期が14から16日齢であった。

幼虫の体長は時間の経過とともに増大し(Fig. 1b)、いずれの個体も3齢期が最大となった。但し、幼虫期の体長が最大であるのは、概ね3齢期の中間日齢であり、その後はいずれの個体も成虫羽化日齢に近づくにつれて体長は縮小した。成虫羽化後の体長は羽化後9日齢にかけて増大したが、以後成虫期間の体長は大きく変動することなく推移した(Fig. 1c)。生存個体の各発育態での体長は、1齢期が0.62~0.99mm、2齢期が0.62~1.85mm、3齢期が1.23~3.09mmであった。各発育態の初期(脱皮直後(1齢幼虫は産下直後))、最大時、後期(脱皮直前)の平均体長は、それぞれ1齢幼虫が0.62mm、0.79mm、0.78mm、2齢幼虫が0.82mm、1.35mm、1.34mm、3齢幼虫が1.36mm、2.66mm、2.28mm、成虫では羽化直後が2.01mm、最大時が2.89mmであった。各発育態の最大時の体長は発育態により有意に異なり(分散分析, $df=3$, $F=568.8$, $p<0.0001$)、発育態が進むほど体長は長く、各発育態間にはそれぞれ有意な差が認められた(TukeyのHSD検定, $p<0.05$)。一方、変態前

Table 1. Nymphal development and survival of *Phenacoccus solani* reared on green beans at 25°C and a 14L:10D photoperiod

	Developmental stage			Total
	1st instar	2nd instar	3rd instar	
Developmental duration (days) (mean±SD)	6.46±1.48	5.64±1.41	7.85±0.81	19.60±1.76
Minimum (days)	5	4	7	17
Maximum (days)	11	10	9	24
Median (days)	6	5	8	20
No. of samples	26	25	20	20
Survival rate (%)	92.9	96.2	80.0	71.5

後の体長には有意差はないか、あるいは発育態の進展と体長の増加は比例しなかった。すなわち、2 齢幼虫および3 齢幼虫のいずれの発育態においても脱皮前および脱皮後の体長には有意な差は認められなかった (Student の t 検定, $p > 0.05$)。成虫羽化前後においては、3 齢幼虫後期の体長が成虫羽化直後よりも有意に長かった (Student の t 検定, $p < 0.01$)。したがって、体長により各発育態を正確に識別することは困難であった。

供試した成虫 18 個体のうち、産子が認められたのは 10 個体であり、残り 8 個体は子を産出することなく死亡した。産子までの期間は最短の個体で 14 日、最長の個体で 22 日であり、平均で 18.6 日であった (Table 2)。産子個体と非産子個体では成虫期間の寿命は 2 倍以上異なり、産子個体

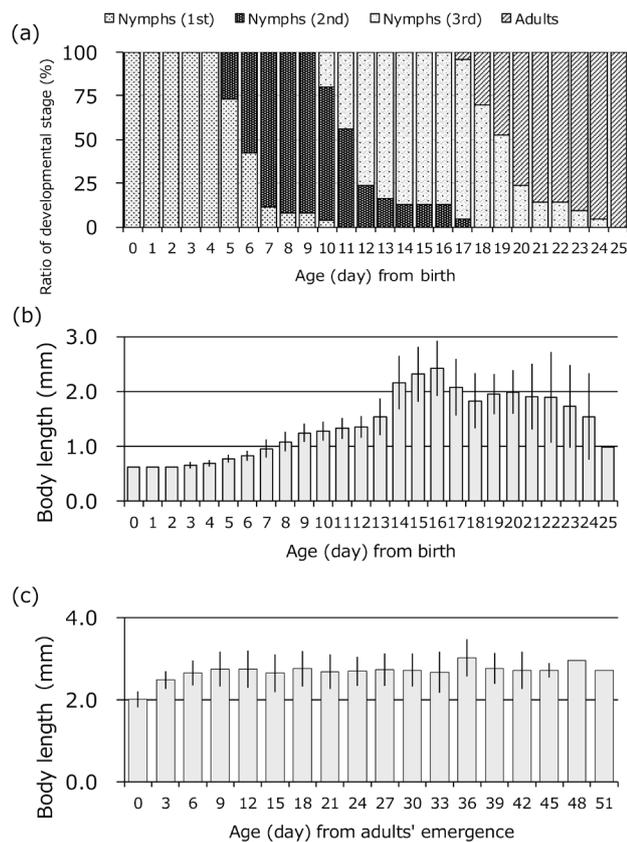


Fig. 1. Age-specific developmental ratio (a), nymphal body length (b), and adult body length (c) of *P. solani*. Data of body length (b, c) show mean \pm SD.

Table 2. Reproduction of *P. solani* reared on green beans at 25°C and a 14L:10D photoperiod

	No. of samples	Pre-reproduction duration (days)	Adult longevity (days)	No. of offspring/female	No. of offspring/female/3 days
Productive females	10	18.6 \pm 2.3	34.8 \pm 8.6	49.3 \pm 30.0	8.1 \pm 1.9
Non-productive females	8	—	13.4 \pm 6.0	—	—

Data show mean \pm SD.

では約 35 日であった。産子数は産み始めから 3~6 日後にピークを示し (Fig. 2)、生涯産子数は平均で 49.3 個体であった (Table 2)。

2. 室内における殺虫剤の効力評価

ナスコナカイガラムシの 2 齢および 3 齢幼虫ならびに雌成虫に対する殺虫剤の効果を Table 3~5 に示した。対照である水のみ処理による供試虫の死亡は、3 齢幼虫および雌成虫では認められず、2 齢幼虫では 14.1% であった。このため、薬剤処理区の死亡率は補正しなかった。殺虫効果および効果発現までの時間は殺虫剤の種類およびナスコナカイガラムシの発育態により異なった。化学合成殺虫剤の効果の高低は総じて 2 分され、いずれの発育態に対しても高い効果が認められた殺虫剤は、化学合成殺虫剤の中ではアセタミプリド顆粒水溶剤、ニテンピラム水溶剤およびスルホキサフロフロアブルであった。これらの処理区では供試個体全ての死亡が認められ、効果の発現も速やかであった。ピリフルキナゾン顆粒水和剤およびフロニカミド顆粒水和剤処理区の 2 齢幼虫は、処理 72 時間後で 40% 以上の死亡が認められたが、ナスコナカイガラムシの発育態が進むとこれらの効果は低下した。昆虫寄生性糸状菌である *Beauveria bassiana* 乳剤処理区では最大で約 53% の死亡が認められたが、実験期間中での発病は認められなかった。本剤処理区では、供試虫を処理後 120 時間後まで飼育して補足的に経過を観察したが、この間の発病は確認されなかった。気門封鎖剤の殺虫効果が発現するまでの時間は種類によりやや異なるものの、2 齢幼虫に対しては総じて高

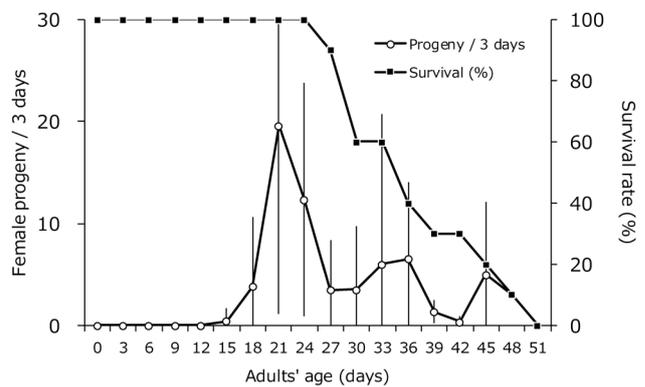


Fig. 2. Changes in progeny/3 days and female adults' survival of *P. solani*.

Table 3. Efficacy of insecticides on 2nd instar nymphs of *P. solani*

Category and IRAC code ^a	Insecticide ^b	Dilution (times)	Mortality (%) ^c		
			24h ^d	48h ^d	72h ^d
Chemical insecticide					
4A	Acetamiprid 20% WSP	4,000	100±0	100±0	100±0
4A	Nitenpyram 10% WSP	1,000	100±0	100±0	100±0
4C	Sulfoxaflor 9.5% WP	1,000	100±0	100±0	100±0
9B	Pymetrozine 25% WP	5,000	0±0	20.8±26.0	35.1±9.2
9B	Pyriproxyfen 20% WP	4,000	0±0	22.2±29.4	42.2±33.4
23	Spirotetramat 22.4% WP	2,000	0±0	3.3±5.8	3.3±5.8
28	Cyantraniliprole 10.3% WP	2,000	0±0	10.7±0.6	21.1±9.5
29	Flonicamid 10% WP	2,000	13.3±11.5	29.3±23.6	47.0±36.5
—	Flometoquin 10% WP	1,000	0±0	0±0	0±0
Parasitic pathogen					
—	<i>Beauveria bassiana</i> (GHA) 1.6×10 ¹⁰ /ml EC	500	0±0	18.6±12.8	41.0±13.1
Spiracle-blocking insecticide					
—	Decanoylethanolglycerol 90% EC	300	93.3±5.8	93.3±5.8	93.3±5.8
—	Hydrogenated starch hydrolysate 60% SL	100	70.0±0	100±0	100±0
—	Propyleneglycol fattyacid monoester 70% EC	1,000	73.3±11.5	96.7±5.8	96.7±5.8
—	Hydroxypropylstarch 5% SL	100	66.7±15.3	85.9±12.2	100±0
Water			3.3±5.8	10.7±11.1	14.1±7.1

^a — : no-code.^b EC: emulsifiable concentrate, SL: soluble concentrate, WP: wettable powder, WSP: water soluble powder.^c Data show mean±SD.^d Time after treatment (hours).Table 4. Efficacy of insecticides on 3rd instar nymphs of *P. solani*

Category and IRAC code ^a	Insecticide ^b	Dilution (times)	Mortality (%) ^c		
			24h ^d	48h ^d	72h ^d
Chemical insecticide					
4A	Acetamiprid 20% WSP	4,000	100±0	100±0	100±0
4A	Nitenpyram 10% WSP	1,000	100±0	100±0	100±0
4C	Sulfoxaflor 9.5% WP	1,000	100±0	100±0	100±0
9B	Pymetrozine 25% WP	5,000	4.2±7.2	7.9±6.9	19.4±7.3
9B	Pyriproxyfen 20% WP	4,000	12.0±12.5	15.4±8.4	27.0±20.4
23	Spirotetramat 22.4% WP	2,000	3.3±5.8	6.7±5.8	10.0±10.0
28	Cyantraniliprole 10.3% WP	2,000	3.3±5.8	6.7±5.8	6.7±5.8
29	Flonicamid 10% WP	2,000	3.7±6.4	3.7±6.4	10.7±11.1
—	Flometoquin 10% WP	1,000	0±0	0±0	0±0
Parasitic pathogen					
—	<i>Beauveria bassiana</i> (GHA) 1.6×10 ¹⁰ /ml EC	500	6.7±5.8	26.7±5.8	36.7±5.8
Spiracle-blocking insecticide					
—	Decanoylethanolglycerol 90% EC	300	90.0±17.3	93.3±11.5	93.3±11.5
—	Hydrogenated starch hydrolysate 60% SL	100	73.3±11.5	80.0±10.0	83.9±5.3
—	Propyleneglycol fattyacid monoester 70% EC	1,000	93.0±6.1	100±0	100±0
—	Hydroxypropylstarch 5% SL	100	61.9±7.4	65.2±8.3	68.5±12.3
Water			0±0	0±0	0±0

^a — : no-code.^b EC: emulsifiable concentrate, SL: soluble concentrate, WP: wettable powder, WSP: water soluble powder.^c Data show mean±SD.^d Time after treatment (hours).

Table 5. Efficacy of insecticides on female adults of *P. solani*

Category and IRAC code ^a	Insecticide ^b	Dilution (times)	Mortality (%) ^c		
			24h ^d	48h ^d	72h ^d
Chemical insecticide					
4A	Acetamiprid 20% WSP	4,000	100±0	100±0	100±0
4A	Nitenpyram 10% WSP	1,000	100±0	100±0	100±0
4C	Sulfoxaflor 9.5% WP	1,000	100±0	100±0	100±0
9B	Pymetrozine 25% WP	5,000	0±0	10.0±10.0	30.0±0
9B	Pyriproxyfen 20% WP	4,000	0±0	0±0	3.3±5.8
23	Spirotetramat 22.4% WP	2,000	0±0	6.7±11.5	6.7±11.5
28	Cyantraniliprole 10.3% WP	2,000	0±0	6.7±5.8	16.7±11.5
29	Flonicamid 10% WP	2,000	0±0	0±0	0±0
—	Flometoquin 10% WP	1,000	0±0	0±0	0±0
Parasitic pathogen					
—	<i>Beauveria bassiana</i> (GHA) 1.6×10 ¹⁰ /ml EC	500	3.3±5.8	30.0±10.0	53.3±23.1
Spiracle-blocking insecticide					
—	Decanoyloctanoylglycerol 90% EC	300	63.3±30.6	83.3±11.5	93.3±5.8
—	Hydrogenated starch hydrolysate 60% SL	100	6.7±5.8	13.3±15.3	83.3±5.8
—	Propyleneglycol fattyacid monoester 70% EC	1,000	25.8±15.1	46.7±25.2	46.7±25.2
—	Hydroxypropylstarch 5% SL	100	10.0±17.3	10.0±17.3	13.3±15.3
Water					
			0±0	0±0	0±0

^a — : no-code.

^b EC: emulsifiable concentrate, SL: soluble concentrate, WP: wettable powder, WSP: water soluble powder.

^c Data show mean±SD.

^d Time after treatment (hours).

い殺虫効果が認められた。しかし、ナスコナカイガラムシの発育態が進むと殺虫剤の種類により殺虫効果に違いが認められ、3 齢幼虫および雌成虫に対しても高い殺虫効果が認められた気門封鎖剤は、脂肪酸グリセリド乳剤および還元デンプン糖化物液剤であった。

3. 圃場における殺虫剤の効力評価

ナスコナカイガラムシの概ね全ての発育態を含む個体群がナス株上に存在すると考えられた条件下で、有効な薬剤の圃場での効力を比較した (Fig. 3)。薬剤処理前のナスコナカイガラムシの密度は、無処理区において 65.3 頭/区、薬剤処理区で 94.3~113.7 頭/区であり、各区間での有意な差は認められなかった (分散分析, $df=3, F=1.16, p=0.38$)。この時点で、いずれの区においても中齢幼虫が主体であった (Fig. 4)。無処理区のナスコナカイガラムシは、試験開始 9 日後から増加し、14 日後は試験開始前の約 4 倍に相当する 244.7 頭/区に達した (Fig. 3)。薬剤処理区での密度は、いずれの区においても薬剤処理前よりも低下し、最も効果が高かったスルホキサフルフロアブル処理区では処理 9 日後からゼロに達した (Fig. 3)。処理 4 日、9 日および 14 日後の密度を用いて各区間での差を比較すると、スルホキサフルフロアブル処理区は他のいずれの試験区よりも有意に低く、無処理の密度は、いずれの薬剤処理区よりも有意に高かった (分散分析 [混合モデル] 後 Tukey の HSD 検定,

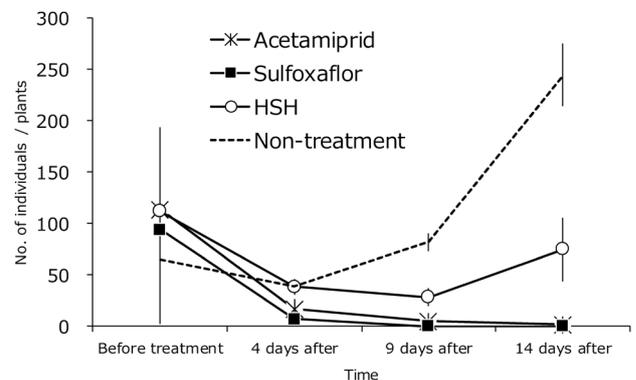


Fig. 3. Effect of insecticides on the population density of *P. solani* on eggplants cultivated in a greenhouse. Data show mean±SD. HSH represents hydrogenated starch hydrolysate.

$p<0.05$)。アセタミプリド顆粒水溶剤および還元デンプン糖化物液剤処理区の密度には有意な差は認められなかった (分散分析 [混合モデル] 後 Tukey の HSD 検定, $p>0.05$)。但し、これら2種類の効果の持続性は異なった。すなわち、アセタミプリド顆粒水溶剤処理区のナスコナカイガラムシは薬剤処理後 14 日目まで次第に減少し、処理 14 日後で 2.0 頭/区であったのに対し、還元デンプン糖化物液剤処理区では処理 14 日後には再び密度の増加が認められた (Fig.

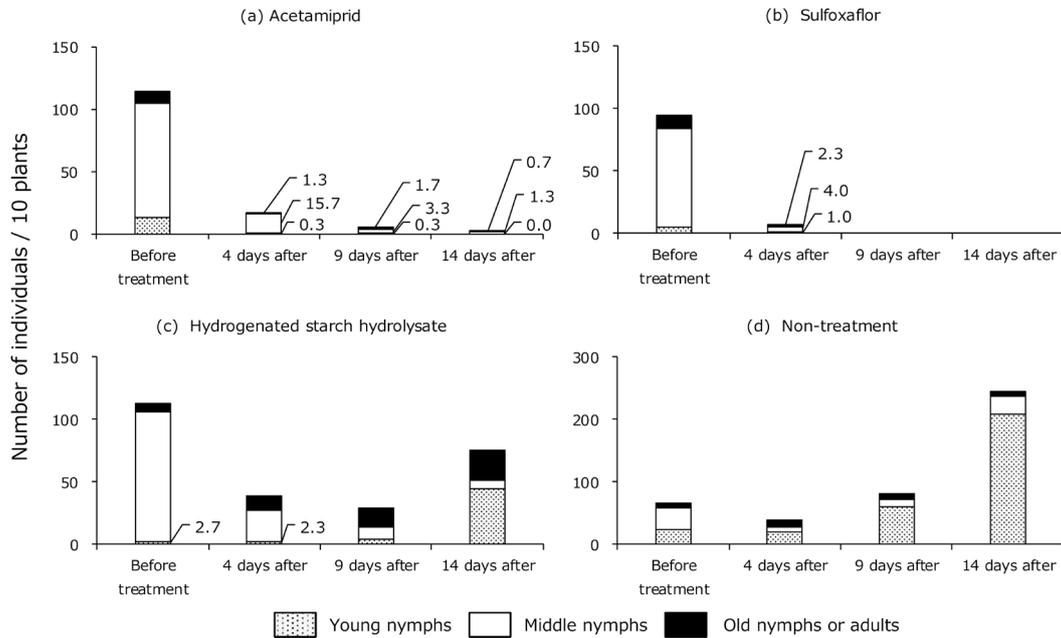


Fig. 4. Changes in the number at each developmental stage of *P. solani* on eggplant treated with different insecticides. Values with arrows indicate a lower number of *P. solani*.

3). 還元デンプン糖化物液剤処理区では、中齢幼虫の密度は薬剤処理後に大幅な低下が認められたが、若齢幼虫の密度は処理9日後まで処理前とほぼ同水準で推移し、14日後に増加した (Fig. 4c). 当該処理区の老齢幼虫または雌成虫の密度は薬剤処理後に低下することはなく、時間の経過とともに連続して増加した (Fig. 4c).

考 察

我が国におけるナスコナカイガラムシの生態および防除技術に係る情報は十分でない。本種に対して有効な殺虫剤を選定する目的で、室内実験において14薬剤の効力を評価するとともに、室内実験で有望と考えられた殺虫剤について圃場での効果を検証した。一般的に、昆虫・ダニ類に対して薬剤等の影響を評価するには、一定数の同一発育態の供試個体が同時に必要となる。しかし、ナスコナカイガラムシは各発育態間で明確な形態変化を示さないため、特定の発育態を区別する方法が必要である。そこで、インゲンの葉を餌として温度25°Cおよび光周期14L:10Dの条件下における日齢別の体長、発育および繁殖特性を調べた。ナスコナカイガラムシの幼虫の体長は、発育態が進むにつれて増大する傾向が見られたが、変態の前後において各齢期を区別できるほど体長の差は顕著でなかった (Fig. 1)。また、本種幼虫の体長は概ね3齢の中間期で最大であり、成虫羽化に近づくにつれて短縮し、2齢幼虫後期と変わらない個体も存在した。このことから、本種の体長により発育態を識別することは困難であった。一方、本種の

発育期間を調べた結果、産子後5日齢以後は特定の同一の発育態の個体だけが存在することはなかったが、異なる発育態数の存在が最少で、なおかつ特定の発育態個体の存在割合が最大である産子後の日齢は、1齢幼虫では産子後4日以内、2齢幼虫では産子後8~9日齢、3齢幼虫では産子後14~16日齢、雌成虫では産子後25日齢以後であると推定された (Fig. 1)。飼育後の発育期間から特定の発育態を推定して実験へ供試する手法は、カキ、ブドウおよびカンキツ類等の重要害虫であるフジコナカイガラムシ *Planococcus kraunhiae* (Kuwana) でも用いられており (森下, 2006)、外部形態による発育態の識別が困難なコナカイガラムシ類に対しては有効な手段であると考えられる。

Nakahira and Arakawa (2006) は、ピーマンを餌として20°C, 25°C, 30°Cの温度条件下でナスコナカイガラムシの発育および繁殖特性を調べ、以下のとおり報告した。すなわち、25°Cにおける本種の発育期間は、1齢幼虫が7.2日、2齢幼虫が5.8日、3齢幼虫が6.1日、全幼虫期間が19.1日であった。同一の温度条件における本研究の結果は、1齢幼虫が6.5日、2齢幼虫が5.6日、3齢幼虫が7.9日、全幼虫期間が19.6日であり、これらの両研究において発育期間の大きな差は認められなかった。しかし、繁殖特性については両者において顕著な違いが認められた。本研究の結果はNakahira and Arakawa (2006) に比べて産子前期間が約4日長く、寿命が約7日短かった。産子数の差は両研究間で特に顕著であり、Nakahira and Arakawa (2006) と本研究の1雌当たり生涯産子数は約7倍の差があった。また、本

研究では子を産まない雌成虫が4割以上認められた。成虫の繁殖に係る両研究間での相違の要因は明らかでないが、ピーマンとインゲンの間で餌としての適性が異なる可能性がある。リーフディスクを用いた室内実験法は一般的なものである。しかし、実験に必要な植物葉を得るためには、生育速度が速い植物が望ましい。この点において、ピーマンは約1か月を要するが、インゲンは約1週間で必要な材料が得られることがメリットである。しかし、ナスコナカイガラムシの大量飼育等にインゲンを用いる場合にはピーマンに比べて増殖率が劣る可能性があるため、この点を考慮して用いる必要がある。

室内においてナスコナカイガラムシに対する殺虫剤の効力を比較した結果、IRACコードが4Aまたは4Cに属するアセタミプリド顆粒水溶剤、スルホキサフロルフロアブル、ニテンピラム水溶剤はいずれも高い殺虫効果が認められた (Table 3, 4, 5)。また、アセタミプリド顆粒水溶剤およびスルホキサフロルフロアブルは圃場試験でもその有効性が示された。気門封鎖剤のうち、脂肪酸グリセリド乳剤および還元デンプン糖化物液剤の効果は上記の化学合成殺虫剤には劣るものの、室内実験では前者はナスコナカイガラムシの全ての発育態に対して90%以上、後者は80%以上の死亡率が認められた (Table 3, 4, 5)。圃場試験における還元デンプン糖化物液剤の効果は、スルホキサフロルフロアブルには劣ったが、アセタミプリド顆粒水溶剤との間に有意な差はなく、無処理区の密度よりも約70%の低下が認められた (Fig. 3)。しかし、圃場試験におけるナスコナカイガラムシの発育態構成 (Fig. 4) から判断して、還元デンプン糖化物液剤処理区では、薬液処理により死亡しなかった特に中齢幼虫以降の個体の発育および増殖に伴い、処理14日後には再びナスコナカイガラムシ密度が増加したと考えられる。したがって、殺虫剤処理後の効果の持続性の点では、還元デンプン糖化物液剤はアセタミプリド顆粒水溶剤およびスルホキサフロルフロアブルに劣ると考えられる。

本研究で明らかにしたナスコナカイガラムシに対して有効な殺虫剤は、農業者に対する指導情報として活用できよう。Aheer et al. (2009) は、ナスコナカイガラムシに対してクロルピリホス乳剤、プロフェノホス乳剤、メソミル水和剤等の殺虫効果が高いことを示している。しかし、現在我が国において本種の被害が問題となっているのは、施設栽培のナスやピーマン等で天敵が利用され殺虫剤の使用が大幅に低減された環境 (岡林, 2003) や化学合成農薬がほとんど使用できない有機農業の圃場であることが多い。Aheer et al. (2009) が報告した上記の殺虫剤は、天敵に対する悪影響が強い (日本生物防除協議会, 2019)。このため、天敵が導入された圃場では利用できない。したがって、本研究においてナスコナカイガラムシへの高い殺

虫効果が認められた殺虫剤について、それぞれの農業者の生産工程または農業者が利用する天敵の種類に対応した殺虫剤の選定が必要である。例えば、施設栽培ナスやピーマンではアザミウマ類やコナジラミ類に対してスワルスキーカブリダニの利用が一般的な技術となっており、より高度な天敵利用を図る農業者はアザミウマ類またはコナジラミ類に対してタイリクヒメハナカメムシまたはタバコカスミカメ、アブラムシ類に対してコレマンアブラバチ *Aphidius colemani* Viereck やヒメカメノコテントウ *Propylea japonica* Thunberg 等を利用することが多い。本研究においてナスコナカイガラムシに対して有効性が示されたアセタミプリド顆粒水溶剤、スルホキサフロルフロアブル、ニテンピラム水溶剤、脂肪酸グリセリド乳剤および還元デンプン糖化物液剤は、いずれもスワルスキーカブリダニに対する悪影響はさほど大きくないため (宮田, 2010; アリスタライフサイエンス, 2019)、スワルスキーカブリダニを利用する場面ではいずれもナスコナカイガラムシに対する防除に活用できよう。但し、アセタミプリド顆粒水溶剤、スルホキサフロルフロアブルおよびニテンピラム水溶剤はいずれもコレマンアブラバチ、タイリクヒメハナカメムシ、タバコカスミカメおよびヒメカメノコテントウ等を利用する場面では使用を控えるよう推奨されている (アリスタライフサイエンス, 2019; 日本ら, 2019; 住化テクノサービス, 2019)。他方、脂肪酸グリセリド乳剤および還元デンプン糖化物液剤の悪影響はいずれの天敵に対しても上記の3薬剤ほど大きくない (アリスタライフサイエンス, 2019; 日本ら, 2019; 住化テクノサービス, 2019)。したがって、スワルスキーカブリダニに加えて複数の天敵が導入された条件または有機農業圃場では、有機JASでも使用が認められている脂肪酸グリセリド乳剤または還元デンプン糖化物液剤を選択する必要がある。

なお、カキ、ブドウ、カンキツ類等の重要害虫であるフジコナカイガラムシに対しては、土着の天敵寄生蜂であるフジコナカイガラクロバチ *Allotropa subclavata* (Muesebeck) (手柴・堤, 2004) 等や合成性フェロモン (手柴ら, 2009) を用いた防除技術の有効性が示されている (手柴, 2013)。ナスコナカイガラムシに対する持続的な管理技術を確立する上では、今後生物的防除技術の開発も必要である。

摘 要

ナスコナカイガラムシは、天敵利用による生物的防除を基幹としたIPMの普及に伴い深刻化した害虫である。しかし、本種に対して有効な殺虫剤についてはほとんど知見がないため、著者は室内実験と圃場試験により効果的な殺虫剤を明らかにした。室内実験は、インゲンの葉片を用い、温度25°C、光周期14L:10Dの条件下で実施された。

ナスコナカイガラムシの各発育態を区別するために毎日虫の体長と発育期間を調べた結果、体長では各発育態を区別できなかったが、産下後の発育日齢により概ね各発育態を識別可能であると考えられた。各発育態を区別するための産下後日齢は、1齢幼虫では4日以内、2齢幼虫で8~9日齢、3齢幼虫で14~16日齢、雌成虫で25日齢以上と推定された。2齢および3齢幼虫、雌成虫に対する14薬剤の効果を調べた結果、化学合成殺虫剤3剤（アセタミプリド顆粒水溶剤、スルホキサフロルフロアブル、ニテンピラム水溶剤）、気門封鎖剤2剤（脂肪酸グリセリド乳剤および還元デンブン糖化物液剤）が有効であった。アセタミプリド顆粒水溶剤、スルホキサフロルフロアブル、還元デンブン糖化物液剤について施設栽培ナス圃場で防除効果を評価した結果、スルホキサフロルフロアブル、アセタミプリド顆粒水溶剤、還元デンブン糖化物液剤の順に高い効果が示された。

引用文献

- Aheer, G. M., R. Ahmad and A. Amjad (2009) Efficacy of different insecticides against cotton mealybug, *Phenacoccus solani* Ferris. *J. Agric. Res.* 47: 47-53.
- アリスタライフサイエンス (2019) 天敵等への殺虫・殺ダニ剤の影響 第29版. [Arysta Life Science (2019) The effects of insecticides and acaricides on natural enemies. 29th edition.] https://arystalifescience.jp/product/eikyoyouyou_I_v29_201911_arysta.pdf (2020年5月29日参照)
- 日本典秀・田淵 研・中野亮平・斉藤千温 (2019) タバコカスミカメ. 化学合成殺虫剤を半減する新たなトマト地上部病害虫防除体系マニュアル—個別技術集—(農研機構 編). 農研機構, つくば, pp. 2-8. [Hinamoto, N., K. Tabuchi, R. Nakano and C. Saito (2019) *Nesidiocoris tenuis*. In *A Technical Manual of New Strategy to Reduce Chemical Insecticides in Tomato Greenhouses* (NARO, ed.). NARO, Tsukuba, pp. 2-8.]
- 河合省三 (1980) 日本原色カイガラムシ図鑑. 全国農村教育協会, 東京. 455 pp. [Kawai, S. (1980) *Scale Insects of Japan in Colors*. National Rural Education Association Co., Ltd., Tokyo. 455 pp.]
- 桑澤久仁厚 (2017) 最近話題となっている病害虫—ナスコナカイガラムシ—. 植物防疫所病害虫情報 113: 6. [Kuwawasa, K. (2017) Current pest topics — Solanum mealybug *Phenacoccus solani*. *Information of Plant Protection Station* 113: 6.]
- 宮田将秀 (2010) スワルスキーカブリダニへの数種薬剤の影響. 植物防疫 64: 463-467. [Miyata, M. (2010) Affect of insecticides for predacious mite *Amblyseius swirskii*. *Plant Prot.* 64: 463-467.]
- 森下正彦 (2006) 虫体・葉片散布法によるフジコナカイガラムシの薬剤感受性. 応動昆 50: 211-216. [Morishita, M. (2006) Susceptibility of the mealybug, *Planococcus kraunhiae* (Kuwana) (Homoptera: Pseudococcidae) to insecticides, evaluated by the petri dish-spraying tower method. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 50: 211-216.]
- Nakahira, K. and R. Arakawa (2006) Development and reproduction of an exotic pest mealybug, *Phenacoccus solani* (Homoptera: Pseudococcidae) at three constant temperatures. *Appl. Entomol. Zool.* 41: 573-575.
- 日本生物防除協議会 (2019) 天敵等に対する農薬の影響目安の一覧表. [Japan Biological Control Council (2019) A list of the effects of pesticides on natural enemies.] http://www.biocontrol.jp/_src/sc2314/tenteki_ver.27_mar-2019_sattyuzai_web.pdf (2020年5月29日参照)
- 岡林俊宏 (2003) 農業現場における天敵利用技術の開発と普及の課題. 植物防疫 57: 530-534. [Okabayashi, T. (2003) The development of the practical natural enemy use in the field and its extension. *Plant Prot.* 57: 530-534.]
- SAS Institute (2015) *JMP Statistics and Graphics Guide, version 12*. SAS Institute, Cary, NC.
- 住化テクノサービス (2019) 天敵農薬に対する各種農薬の影響の目安表. [Sumika Technoservice (2019) Influence table of various pesticides on natural enemy pesticides.] <https://www.sc-sts.co.jp/assets/dl/pdf/service/enemy/faq/1910-pesticide-effect.pdf> (2020年5月29日参照)
- 手柴真弓 (2013) カキにおけるフジコナカイガラムシの総合的防除法の開発. 応動昆 57: 129-135. [Teshiba, M. (2013) Integrated management of *Planococcus kraunhiae* Kuwana (Homoptera: Pseudococcidae) injuring Japanese persimmons. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 57: 129-135.]
- 手柴真弓・堤 隆文 (2004) カキを加害するフジコナカイガラムシの天敵相. 福岡農試研報 23: 68-72. [Teshiba, M. and T. Tsutsumi (2004) The natural enemy complex of *Planococcus kraunhiae* injuring Japanese persimmons. *Bull. Fukuoka Agric. Res. Cent.* 23: 68-72.]
- 手柴真弓・清水信孝・澤村信生・奈良井祐隆・杉江 元・佐々木力也・田端 純・堤 隆文 (2009) フジコナカイガラムシ *Planococcus kraunhiae* (Kuwana) (カメムシ目: コナカイガラムシ科) に対する性フェロモン成分による交信攪乱効果. 応動昆 53: 173-180. [Teshiba, M., N. Shimizu, N. Sawamura, Y. Narai, H. Sugie, R. Sasaki, J. Tabata and T. Tsutsumi (2009) Use of a sex pheromone to disrupt the mating of *Planococcus kraunhiae* (Kuwana) (Homoptera: Pseudococcidae). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 53: 173-180.]