

カンキツを加害するコナカイガラムシ類の 発育に及ぼす温度の影響

新 井 朋 徳

果樹試験場興津支場

Temperature-Dependent Developmental Rate of Three Mealybug Species, *Pseudococcus citriculus* GREEN, *Planococcus citri* (RISSO), and *Planococcus kraunhiae* (KUWANA) (Homoptera: Pseudococcidae) on Citrus. TOMONORI ARAI (Okitsu Branch, Fruit Tree Research Station, Okitsu, Shimizu, Shizuoka 424-02, Japan). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* **40**: 25-34 (1996)

Three mealybug species, *Pseudococcus citriculus*, *Planococcus citri* and *Planococcus kraunhiae* were reared on citrus leaves to determine the lower developmental thresholds and thermal constants for each nymphal stage and preovipositional period at five constant-temperature regimes. Since few mealybugs developed to oviposition at 30°C, their higher developmental thresholds are around this temperature. The lower developmental threshold temperatures (T_0) and thermal constants (K) in the entire nymphal stage were 11.7°C and 338 degree-days (DD) for *P. citriculus*, 7.7°C and 401 DD for *P. citri*, and 8.0°C and 519 DD for *P. kraunhiae*. Those in the preovipositional period were 10.0°C and 302 DD, 8.0°C and 378 DD, and 11.4°C and 320 DD, respectively. These results for *P. citriculus* were used to calculate the effective cumulative temperature for each developmental stage. The seasonal development of nymphs and adult females of *P. citriculus* predicted using temperatures at Okitsu Branch, Fruit Tree Research Station from 1993 to 1994 matched the actual seasonal occurrence of the mealybug in a citrus orchard in those years.

Key words: *Pseudococcus citriculus*, *Planococcus citri*, *Planococcus kraunhiae*, lower developmental threshold, thermal constant, citrus

緒 言

コナカイガラムシ類は枝葉や果実を成・幼虫期を通して吸汁加害し、排泄した甘露に発生するすす病により果実の商品価値を低下させる。この虫は温室のような人工的に隔離された環境下で多発する傾向があるが、圃場においては有袋栽培を行うリング、ナシ以外で問題となることは少なかった。しかし近年、カンキツやナシ等国産果実の海外輸出時の検疫で幼虫が発見され、輸出の障害となる事態が生じ、重要害虫として注目されるようになった(河合, 1990; 大政, 1990; 伊澤, 1990)。

コナカイガラムシ類は我が国の果樹害虫として古くから記録され、その生態について多数の研究が行われてきた。しかし、その中心はナシやリング、カキを加害する種についてであり(白岩, 1935; 高橋, 1936; 上野, 1963, 1971; 村上, 1965; 津川, 1972)、カンキツを加害するコナカイガラムシ類についての研究は、国内では松浦・八田(1976)の報告以外あまりない。我が国でカン

キツを加害するコナカイガラムシ類は 13 種類ほど知られているが(河合, 1990)、その中でもミカンヒメコナカイガラムシ *Pseudococcus citriculus* GREEN, フジコナカイガラムシ *Planococcus kraunhiae* (KUWANA), ミカンコナカイガラムシ *Planococcus citri* (RISSO) の 3 種がよく見られる。ミカンヒメコナカイガラムシはカンキツ栽培地域に広く分布し、最も普通に発生するコナカイガラムシである。本種は体周縁に長い 17 対のロウ質分泌物の突起を持ち、特に尾端の 1 対は長いので、後述する 2 種と区別できる。本種の年間発生回数は 3~4 回と考えられ、越冬は主に 2 齢幼虫で行われる(松浦・八田, 1976)。フジコナカイガラムシはカキやブドウ等で発生する重要な害虫であり、カンキツでも一部の地域で問題が生じている。この害虫は、カキでは年 3 回の発生が認められ、越冬は 2 齢幼虫で行われる(上野, 1977)。ミカンコナカイガラムシはカンキツをはじめとするいろいろな種の植物を加害する、世界的に重要なコナカイガラムシである。本種は国内では露地で発生することではなく、施設内の観葉植物

† 果樹試験場業績番号: B-211 (平成 7 年 9 月 22 日受付)
1995 年 3 月 10 日受領 (Received 10 March 1995)
1995 年 9 月 18 日登載決定 (Accepted 18 September 1995)

等で多発し問題となる。この虫の年間発生回数は7～8回と推測されているが (BODENHEIMER, 1951), 実際の露地および施設内での年間発生消長を調査した報告はほとんど見られない。ミカンコナカイガラムシはフジコナカイガラムシと同様、体周縁に短い18対のロウ質分泌物の突起を持つが、本種では背中線の部分のワックスが薄く、地肌が露出し、1本の線の様な模様が現れることでフジコナカイガラムシと区別ができる。

ミカンヒメコナカイガラムシ第1世代のふ化幼虫は毎年ほぼ決まった時期に発生するが、これは1齢幼虫、蛹、成虫のような越冬に適さない発育態が翌年の繁殖に寄与せず、越冬が行われる2齢幼虫の繰り越す有効積算温度により翌年の発生時期が影響されているためと考えられる。また、本種は年間を通して各発育態が見られ、越冬期間中にも発育、脱皮が見られることから (松浦・八田, 1976), 休眠による発育の停止はないと考えられ、本種の各世代の発生時期は前年の越冬前に繰り越す有効積算温度と、気温により左右されていると考えられる。フジコナカイガラムシ、ミカンコナカイガラムシでは、休眠について述べられた報告が見あたらないことから、ミカンヒメコナカイガラムシと同様に休眠による発育の停止はなく、冬期には低温により発育が停止していると考えられる。よってこれら3種のコナカイガラムシ類の年間の発生時期、発生回数は気温に影響されていると考えられる。以上のことから、これら3種のコナカイガラムシの発生生態の解明や発生予察法の確立のためには発育と気象要因との因果関係の解明が必要である。しかし、その観点からの研究はほとんど見られなかった。そこで、本研究ではカンキツ上における3種のコナカイ

ガラムシの発育生態を比較検討した。そして得られた結果をもとに、ミカンヒメコナカイガラムシの露地における発生消長を気温から説明できるかどうかを検討した。

なお、本論文のご校閲をいただいた果樹試験場興津支場虫害研究室長氏家 武博士、同研究室の山中正博氏、ならびにフジコナカイガラムシを提供していただいた愛媛県果樹試験場生産環境室の窪田聖一氏に厚くお礼申し上げる。

材料および方法

飼育試験

ミカンヒメコナカイガラムシとミカンコナカイガラムシは果樹試験場興津支場 (静岡県清水市興津中町) 内のガラス室で自然発生していた個体を、フジコナカイガラムシは愛媛県果樹試験場より送付された個体を用いた。1990年から1994年にわたり、これら3種のコナカイガラムシを1世代以上人工気象器内の鉢植えウンシュウミカンで継代飼育し、試験に供試した。ふ化後24時間以内の歩行幼虫を1個体ずつ、直径3cm、深さ3cmのガラス容器に収容し、20°C、22.5°C、25°C、27.5°Cおよび30°Cに設定した定温器内で、光周期16L-8Dの条件下で飼育した。餌には飼育容器におさまる大きさに切った硬化直後の若いウンシュウミカンの葉を用い、褪色などの劣化が認められた場合、速やかに新鮮なものを取り替えた。容器内には水を含ませた約1cm²の濾紙片を入れ、薄くのばしたシーロンフィルムで容器の口を密封し、餌の乾燥および幼虫の逃亡を防いだ。幼虫の観察は原則として毎日実体顕微鏡下で行い、脱皮の有無で幼虫の齢を判別した。雄成虫は交尾のため、羽化後直ち

Table 1. Mean±SD duration (days) of development of *Pseudococcus citriculus* at five constant temperatures

Stage	Temperature (°C)				
	20.0	22.5	25.0	27.5	30.0
Female					
1st instar	18.4±2.1 (149) ^a	12.2±0.7 (12)	11.6±1.2 (49)	9.0±1.5 (42)	8.5±2.1 (2)
2nd instar	11.1±1.6 (149)	10.3±2.3 (12)	6.1±1.0 (47)	5.9±2.2 (42)	11.5±0.7 (2)
3rd instar	12.1±1.8 (149)	8.4±1.8 (12)	7.6±1.4 (47)	6.6±2.4 (42)	25.5±21.9 (2)
Preovipositional period	31.2±3.2 (78)	23.4±2.9 (11)	19.8±2.4 (18)	17.5±3.4 (29)	—
Ovipositional period	57.1±14.2 (75)	35.5±14.8 (11)	38.8±17.8 (18)	29.7±14.1 (27)	—
Hatch-adult	41.6±3.6 (149)	30.9±3.6 (12)	25.3±2.3 (49)	21.6±4.2 (42)	45.4±24.7 (2)
Hatch-oviposition	72.9±4.1 (78)	54.4±2.9 (11)	45.6±3.8 (18)	39.0±5.6 (29)	—
Male					
1st instar	17.7±1.9 (165)	12.0±1.8 (15)	11.7±1.4 (24)	8.9±2.2 (71)	9.0±2.2 (7)
2nd instar	13.7±1.8 (164)	11.6±5.2 (15)	8.5±1.4 (24)	7.5±1.8 (71)	17.0±5.3 (6)
Cocoon	16.2±1.4 (163)	10.7±1.1 (16)	10.2±1.0 (24)	7.2±1.4 (71)	8.3±2.6 (6)
Hatch-adult	47.5±3.1 (164)	34.6±3.4 (16)	30.3±1.9 (24)	23.6±3.4 (71)	33.3±6.9 (7)

^aValues in parentheses indicate number of individuals.

Table 2. Mean±SD duration (days) development of *Planococcus kraunhiae* at five constant temperatures

Stage	Temperature (°C)					
	22.5 ^a	22.5 ^b	25.0	27.0	27.5	30.0
Female						
1st instar	16.1±4.3 (12) ^c	13.2±2.7 (48)	10.2±1.0 (27)	9.3±1.2 (45)	8.1±1.1 (17)	
2nd instar	10.1±2.2 (11)	8.8±1.5 (47)	7.7±1.2 (27)	7.9±1.3 (45)	8.4±2.2 (16)	
3rd instar	13.8±3.2 (11)	12.9±2.6 (47)	11.7±3.2 (27)	10.8±2.5 (47)	10.9±2.6 (16)	
Preovipositional period	29.7±7.1 (6)	31.9±8.1 (40)	18.7±2.9 (15)	23.4±5.4 (36)	19.0±2.5 (6)	
Ovipositional period	6.8±3.6 (4)	9.9±5.6 (36)	7.4±3.8 (14)	7.8±3.9 (32)	8.4±5.2 (5)	
Hatch-adult	40.3±5.0 (12)	35.0±4.6 (48)	29.6±3.8 (27)	28.1±3.1 (47)	27.5±3.6 (17)	
Hatch-oviposition	70.7±8.2 (6)	65.7±8.2 (40)	47.5±3.1 (15)	51.6±6.2 (35)	44.3±2.8 (6)	
Male						
1st instar	13.6±2.0 (17)	12.0±2.5 (73)	10.4±1.7 (95)	9.3±1.7 (46)	8.7±1.2 (13)	7.0 (1)
2nd instar	12.7±2.4 (14)	11.4±2.6 (72)	9.3±2.3 (83)	10.1±3.0 (47)	8.5±2.3 (12)	
Cocoon	11.7±0.9 (14)	10.6±1.2 (73)	8.6±1.3 (83)	8.1±1.1 (46)	7.7±0.8 (12)	
Hatch-adult	38.8±2.9 (17)	33.9±3.9 (74)	28.4±3.2 (95)	27.5±3.3 (46)	25.0±2.3 (13)	29.0 (1)

^a Examined in 1992; ^b Examined in 1994; ^c Values in parentheses indicate number of individuals.Table 3. Mean±SD duration (days) development of *Planococcus citri* at five constant temperatures

Stage	Temperature (°C)						
	20.0	22.5 ^a	22.5 ^b	25.0	27.0	27.5	30.0
Female							
1st instar	13.3±2.1 (15) ^c	11.0±2.8 (9)	9.2±1.2 (39)	7.6±0.7 (25)	7.5±1.5 (41)	7.2±0.8 (13)	8.0±2.1 (2)
2nd instar	7.9±1.3 (15)	7.1±2.5 (8)	6.0±0.8 (38)	6.1±1.8 (24)	5.3±1.8 (42)	4.8±0.7 (12)	8.3±3.1 (3)
3rd instar	11.1±1.7 (21)	14.4±4.7 (12)	10.6±2.7 (42)	9.7±3.6 (24)	8.1±1.8 (35)	9.0±3.5 (12)	17.3±1.5 (3)
Preovipositional period	25.5±3.4 (18)	25.9±12.1(9)	26.8±6.5 (26)	21.6±9.0 (22)	20.7±5.8 (35)	18.5±2.4 (4)	
Ovipositional period	31.3±9.1 (18)	11.9±8.6 (9)	13.6±7.0 (24)	9.8±6.6 (22)	11.7±6.4 (33)	5.7±3.1 (3)	
Hatch-adult	32.4±2.7 (21)	32.0±7.5 (16)	25.7±2.9 (43)	23.3±4.6 (25)	21.0±2.9 (43)	21.0±3.9 (13)	33.7±3.8 (3)
Hatch-oviposition	57.3±3.1 (18)	50.8±4.7 (9)	51.8±6.8 (29)	43.7±8.7 (22)	41.1±6.4 (35)	38.5±3.8 (4)	
Male							
1st instar	14.0±1.5 (17)	12.5±2.8 (10)	9.3±1.7 (29)	8.0±0.8 (25)	7.2±1.1 (45)	7.1±1.7 (15)	7.5±0.6 (4)
2nd instar	10.8±1.5 (15)	11.8±7.6 (9)	8.3±2.3 (29)	7.8±1.1 (25)	6.9±1.6 (45)	6.5±1.6 (15)	5.5±0.7 (2)
Cocoon	12.3±0.8 (16)	9.7±1.8 (20)	9.2±0.6 (33)	8.7±0.9 (25)	7.0±0.7 (45)	6.8±1.1 (15)	7.0±1.4 (2)
Hatch-adult	37.1±2.5 (18)	31.9±7.6 (23)	26.9±2.6 (33)	24.5±1.7 (25)	21.1±2.0 (45)	20.5±3.5 (15)	20.8±1.7 (4)

^a Examined in 1992; ^b Examined in 1994; ^c Values in parentheses indicate number of individuals.

に雌成虫の容器に移し、死亡後は速やかに容器内から除去した。雄と交尾した雌成虫は産卵前期間、産卵期間、産卵数の調査のため、死亡するまで観察を続けた。なお、卵期間(産卵されてからふ化までの期間)は、それぞれの飼育区で羽化した雌成虫が産下した卵を調査して求めた。ただし、ミカンヒメコナカイガラムシの27.5°C区については、露地のカンキツ園で採集した産卵間近の雌成虫を27.5°Cで飼育し、産下した卵を調査して求めた。

年間発生回数・発生時期の推測

飼育結果から求めた3種コナカイガラムシ類の発育零点(T_0)と有効積算温度、および1993, 1994年の露地の気温から露地における年間発生回数を推測した。ミカン

ヒメコナカイガラムシについては各年齢の発生時期も推測した。有効積算温度の計算には坂神・是永(1981)の三角法を用いた。三角法では、有効積算温度を求める式は毎日の最高気温、最低気温、発育限界温度および発育停止温度と、発育零点との組合せで30通りの式が考えられる。しかし、本研究では発育上限温度を設定せず、高温域における発育停止温度を30°Cとし、この温度以上になる時間帯は発育に関与しないとした。また、気温は半旬毎に最高気温と最低気温をそれぞれ平均し、平均した最高気温(T_{max})と最低気温(T_{min})から半旬の1日当たりの有効積算温度(D)を求めた。その結果、今回有効積算温度を求めるのに用いた式は、最高気温、最低気温および発育停止温度(30°C)と発育零点との関係で以下に

示すような4式にまとめることができた。ただし、(4)の条件は、実際に露地で観察されることはなかったの
で、(1)から(3)の式を用いて有効積算温度を計算した。

$$30^{\circ}\text{C} > T_{\max}, T_0 > T_{\min}$$

$$D = \frac{(T_{\max} - T_0)^2}{2 \times (T_{\max} - T_{\min})} \quad (1)$$

$$30^{\circ}\text{C} \geq T_{\max}, T_{\min} > T_0$$

$$D = \frac{(T_{\max} + T_{\min} - 2 \times T_0)}{2} \quad (2)$$

$$T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}, T_{\min} > T_0$$

$$D = \frac{(30 - T_{\min}) \times (30 + T_{\min} - 2 \times T_0)}{2 \times (T_{\max} - T_{\min})} \quad (3)$$

$$T_{\max} > 30^{\circ}\text{C}, T_0 > T_{\min}$$

$$D = \frac{(30 - T_0)^2}{2 \times (T_{\max} - T_{\min})} \quad (4)$$

計算から推測したミカンヒメコナカイガラムシの各齢別の発生時期を実際の露地における消長と比較するため、約30年生ウンシュウミカン成木の果実に1993年の7月7日から9日および、1994年の6月7日に袋掛けを行い、袋内果実に寄生するミカンヒメコナカイガラムシの個体数と齢構成を調査した。このようにして得られた消長を露地における発生消長とした。そして、露地の消長と、本研究で得られた発育零点と有効積算温度を用いて推測した発生時期とを比較して、理論値の適合性を評価した。

結 果

飼育試験

3種コナカイガラムシの発育日数をTable 1~3に示した。いずれの種も、雌は3齢幼虫を経てから成虫に、雄は2齢幼虫末期から繭を形成し、繭中で前蛹、蛹を経て有翅の成虫になった。雄の2齢幼虫以降は繭を取り除くと虫体を傷め、死亡率が高くなる恐れがあったため、今回の試験では繭を除去しないで調査した。2齢幼虫から前蛹になる時の脱皮殻は通常繭の外に排出されたため、2齢幼虫までの発育期間は容易に求められた。蛹、成虫への変化の際に生じた脱皮殻は、成虫の羽化時期

Table 4. Linear regressions of developmental rate (Y) on temperature (X), lower developmental thresholds and thermal constants of three mealybug species

Stage	Regression equation	r^2	Lower developmental threshold (T_0)	Thermal constant (K ; DD)
<i>Pseudococcus citriculus</i>				
Female				
1st instar	$Y = -0.0838 + 0.0070X$	0.94	11.9	143
2nd instar	$Y = -0.1578 + 0.0121X$	0.88	13.1	83
3rd instar	$Y = -0.0870 + 0.0088X$	0.95	9.9	115
Entire instar	$Y = -0.0347 + 0.0030X$	1.00	11.7	338
preovipositing period	$Y = -0.0333 + 0.0033X$	0.99	10.0	302
Hatch-oviposition	$Y = -0.0174 + 0.0016X$	1.00	11.1	636
Male				
1st instar	$Y = -0.0778 + 0.0068X$	0.92	11.4	147
2nd instar	$Y = -0.0993 + 0.0085X$	0.97	11.7	118
Cocoon	$Y = -0.1262 + 0.0094X$	0.93	13.4	106
Entire instar	$Y = -0.0333 + 0.0027X$	0.98	12.2	368
<i>Planococcus kraunhiae</i>				
Entire female instar	$Y = -0.0153 + 0.0019X$	0.93	8.0	519
preovipositing ^a period	$Y = -0.0361 + 0.0031X$	0.85	11.7	312
Hatch-oviposition	$Y = -0.0141 + 0.0013X$	0.81	10.7	759
Entire male instar	$Y = -0.0206 + 0.0022X$	0.93	9.5	454
<i>Planococcus citri</i>				
Entire female instar	$Y = -0.0188 + 0.0024X$	0.92	7.7	401
preovipositing period	$Y = -0.0213 + 0.0027X$	0.93	8.0	378
Hatch-oviposition	$Y = -0.0048 + 0.0011X$	0.98	4.2	921
Entire male instar	$Y = -0.0307 + 0.0029X$	0.97	10.6	340

^aData at 25°C not included.

に一度に繭の外に排出された場合も多く、前蛹期間、蛹期間をそれぞれ求めることはできなかった。そこで、今回は前蛹になった時から雄成虫が繭の外に出るまでを

cocoon 期間とした。

Table 1~3 の飼育結果のうち、30°C を除く各温度区の発育期間から、3 種コナカイガラムシの発育速度の回帰直線、発育零点と有効積算温度を計算した (Table 4)。ただし、フジコナカイガラムシの産卵前期間の回帰直線では、全ての温度を含めて計算すると有意差が認められなかったため、25°C の結果を除いて求めた。また、フジコナカイガラムシとミカンコナカイガラムシの 22.5°C では 1992 年と 1994 年を別々の値として計算に含めた。雌幼虫期間の発育零点と有効積算温度はミカンヒメコナカイガラムシでは 11.7°C と 338 日度、フジコナカイガラムシで 8.0°C と 519 日度、ミカンコナカイ

Table 5. Survival rate (%) in each developmental stage of *Pseudococcus citriculus*

Stage	Temperature (°C)				
	20	22.5	25	27.5	30
1st instar	61.5	33.7	96.3	47.9	29.1
2nd instar	96.8	91.2	100	96.1	31.8
3rd instar	99.3	80.0	98.1	97.8	66.7
Cocoon	94.6	100	100	94.7	87.5
Entire instar	57.6	28.4	95.1	44.2	7.3

Table 6. Survival rate (%) in each developmental stage of *Planococcus kraunhiae*

Stage	Temperature (°C)					
	22.5 ^a	22.5 ^b	25.0	27.0	27.5	30.0
1st instar	27.7	85.0	51.8	67.1	35.0	31.2
2nd instar	60.6	99.2	95.1	98.0	71.8	15.8
3rd instar	73.7	100	90.0	100	72.4	—
Cocoon	95.2	95.0	93.3	94.0	43.8	33.3
Entire instar	14.3	81.7	45.6	63.8	14.4	1.6

^aExamined in 1992; ^bExamined in 1994.

Table 7. Survival rate (%) in each developmental stage of *Planococcus citri*

Temperature (°C)	Stage						
	20.0	22.5 ^a	22.5 ^b	25.0	27.0	27.5	30.0
Stage							
1st instar	50.6	32.1	53.4	38.8	75.4	48.4	43.6
2nd instar	100	80.7	100	100	100	85.0	25.9
3rd instar	95.5	47.2	97.8	93.8	100	73.1	100
Cocoon	100	87.1	100	91.5	100	76.0	100
Entire instar	49.4	17.0	52.7	35.9	75.4	30.7	11.3

^aReared in 1992; ^bReared in 1994.

Table 8. Differences of nymphal durations (days) between 30°C and other temperatures

Stage	Temperature (°C)					
	20	22.5 ^a	22.5 ^b	25	27	27.5
<i>Pseudococcus citriculus</i>						
Female						
1st instar	9.9 ^c	3.7*		3.1 NS		0.5 NS
2nd instar	0.4 NS	1.2 NS		5.4*		5.6*
3rd instar	13.4*	17.1*		17.9*		18.9*
Entire instar	3.8 NS	14.5*		20.1*		23.8*
Male						
1st instar	8.7*	3.0*		2.7*		1.8 NS
2nd instar	3.3*	5.4*		8.5*		9.5*
cocoon	7.9*	2.4*		1.9*		1.1 NS
Entire instar	14.2*	1.3 NS		3.0 NS		9.7*
<i>Planococcus citri</i>						
Female						
1st instar	5.3*	3.0*	1.2 NS	0.4 NS	0.5 NS	0.8 NS
2nd instar	0.4 NS	1.2 NS	2.3 NS	2.2 NS	3.0*	3.5*
3rd instar	6.2*	2.9 NS	6.7*	7.6*	9.2*	8.3*
Entire instar	1.3 NS	1.7 NS	8.0 NS	10.4*	12.7*	12.7*
Male						
1st instar	6.5*	5.0*	1.8 NS	0.5 NS	0.3 NS	0.4 NS
2nd instar	5.3 NS	6.3*	2.8 NS	2.3 NS	1.4 NS	1.0 NS
cocoon	6.3*	2.7*	2.2*	1.7 NS	0.0 NS	0.2 NS
Entire instar	16.3*	11.1*	6.1*	3.7 NS	0.3 NS	0.3 NS

^aReared in 1992; ^bReared in 1994; ^c* $p < 0.05$, NS: Not significant ($p > 0.05$, TUKEY-KRAMER-test)

Table 9. Differences of durations (days) between male and female nymphal stages

Stage	Temperature (°C)						
	20	22.5 ^a	22.5 ^b	25	27	27.5	30
<i>Pseudococcus citriculus</i>							
1st instar	0.7* ^c	0.2 NS		0.1 NS		0.1 NS	0.5 NS
2nd instar	2.6*	1.3 NS		2.4*		1.6*	5.5 NS
Entire instar	5.9*	3.7*		5.0*		2.0*	3.4 NS
<i>Planococcus kraunhiae</i>							
1st instar		2.5 NS	1.2*	0.2 NS	0.0 NS	0.6 NS	
2nd instar		2.6*	2.6*	1.6*	2.2*	0.1 NS	
Entire instar		1.5 NS	1.1 NS	1.2 NS	0.6 NS	2.5*	
<i>Planococcus citri</i>							
1st instar	0.7 NS	1.5 NS	0.1 NS	0.4 NS	0.1 NS	0.1 NS	0.5 NS
2nd instar	2.9*	4.7 NS	2.3*	1.7*	1.6*	1.7*	2.8 NS
Entire instar	4.7*	0.1 NS	1.2 NS	1.2 NS	0.1 NS	0.5 NS	12.9*

^aReared in 1992; ^bReared in 1994; ^c*, $p < 0.05$, NS: Not significant ($p > 0.05$, t -test)

Table 10. Fecundities (±SD) of three mealybug species

Temperature (°C)	<i>Pseudococcus citriculus</i>	<i>Planococcus kraunhiae</i>	<i>Planococcus citri</i>
20	201.9±84.0 (80) a ^{cd}		186.1±44.0 (18) a
22.5 ^a	151.5±50.5 (11) a	35.3±25.8 (6) a	77.0±43.6 (9) b
22.5 ^b		42.2±23.6 (36) a	58.4±26.0 (25) b
25	223.7±89.4 (18) a	52.6±26.0 (18) a	86.2±56.6 (22) b
27		52.1±35.0 (33) a	61.8±25.9 (27) b
27.5	232.4±119.0 (36) a ^c	33.1±27.7 (8) a	41.3±11.3 (4) b

^aExamined in 1992; ^bExamined in 1994; ^cValues in parentheses indicate number of individuals.
^dThe same letter in each column indicates no significant difference ($p > 0.05$, Tukey-Kramer-test).
^eDeposited by females collected from citrus orchard.

Table 11. Durations of egg stage (±SD, days) in three mealybug species

Temperature (°C)	<i>Pseudococcus citriculus</i>	<i>Planococcus kraunhiae</i>	<i>Planococcus citri</i>
20	2.2±1.8 (2281) a ^{cd}		5.6±1.5 (2047) a
22.5 ^a	1.5±0.8 (500) c	10.0±1.2 (77) a	3.7±2.1 (224) b
22.5 ^b		7.2±2.0 (1466) b	3.9±1.8 (1012) b
25	1.9±1.2 (846) b	6.8±1.7 (685) c	4.0±2.1 (297) b
27		5.7±1.4 (926) d	3.2±1.3 (1210) c
27.5	2.3±1.8 (1777) a ^c	6.0±0.9 (60) d	4.0±0.7 (40) b

^aExamined in 1992; ^bExamined in 1994; ^cValues in parentheses indicate number of eggs.
^dThe same letter in each column indicates no significant difference ($p > 0.05$, Tukey-Kramer-test).
^eDeposited by females collected from citrus orchard.

ガラムシで 7.7°C と 401 日度になった。産卵前期間は、それぞれの種で 10.0°C と 302 日度, 11.7°C と 312 日度, 8.0°C と 378 日度であった。

3 種コナカイガラムシ各齢の生存率を Table 5~7 に示した。1 齢幼虫から 3 齢・蛹までの生存率から、3 種とも齢により生存率に差が見られた(ミカンヒメコナカイガラムシ, $\chi^2=72.0$, $df=18$; フジコナカイガラムシ, $\chi^2=44.8$, $df=10$; ミカンコナカイガラムシ, $\chi^2=51.8$, $df=12$)。これは 1 齢幼虫の生存率が他の齢に比べて低

いことが影響しているためではないかと考えられた。また、齢のなかでも 2 齢幼虫では 30°C における生存率が他の温度区に比べて低い傾向が見られた。30°C 区では大部分の供試虫が 1, 2 齢幼虫の間に死亡し、成虫まで発育する個体は非常に少なかった。

Table 8 には、30°C における各齢の発育日数と他の温度区との発育日数との差を示した。ミカンヒメコナカイガラムシ, ミカンコナカイガラムシともに、30°C 飼育区の各齢の発育期間は 25°C から 27.5°C の発育期間

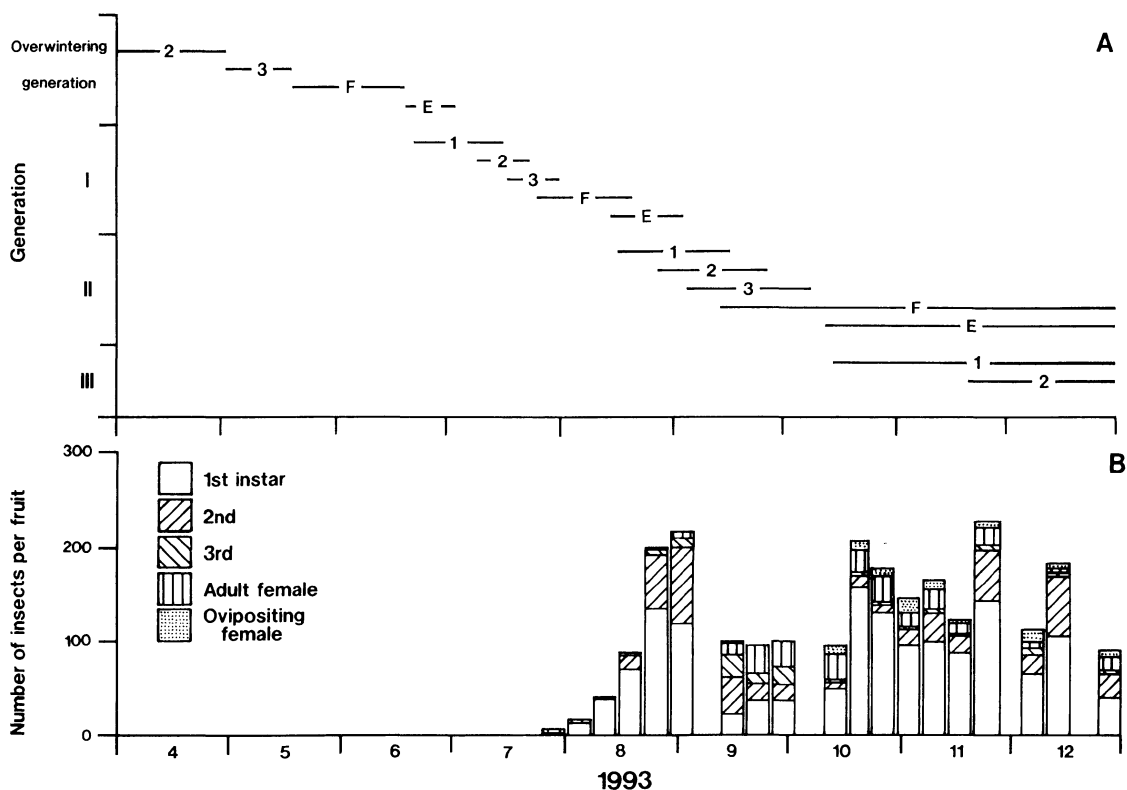


Fig. 1. Seasonal development of *Pseudococcus citriculus* in 1993; (A) predicted from thermal constants, lower developmental thresholds, and field temperatures; and (B) seasonal composition of developmental stages in a citrus orchard. Each developmental stage was predicted during the period shown inside the lines (1: 1st instar, 2: 2nd instar, 3: 3rd instar, F: adult female and E: egg).

以上になる傾向が見られた。ミカンヒメコナカイガラムシとミカンコナカイガラムシの 30°C において回帰直線から予測される雌幼虫期間の 95% 信頼区間は 18.1~18.9 日と 16.7~20.6 日で、雄幼虫期間ではそれぞれ 19.5~22.0 日および 16.7~19.3 日となった。一方、フジコナカイガラムシで予測される雄幼虫期間の範囲は 20.4 日~24.6 日であった。いずれの種も 30°C において実際に観測された発育期間は 30°C において予測される 95% 信頼区間の範囲外であった。また、産卵までに至った個体はいずれの種においても見られなかった。以上より、今回飼育に用いた 3 種のコナカイガラムシは 30°C 以上では高温のため発育遅延がおこると推測された。

Table 9 には 1, 2 齢幼虫期間および幼虫期間全体の発育日数の雌雄間差を示した。1 齢幼虫期間の雌雄間差は 3 種ともにほとんど見られなかったが、2 齢幼虫期間は 30°C 区を除き、ほとんどの飼育区で雄の方が長くなった。ふ化から成虫までの期間は 30°C 区を除き、ミカンヒメコナカイガラムシでは雄の方が長くなったが、他の

2 種では雌雄間差が見られなかった。雄成虫の生存期間は、フジコナカイガラムシとミカンコナカイガラムシともにいずれの温度でも 3 日から 5 日であり、ミカンヒメコナカイガラムシの 20°C 区では平均 7 日であった。いずれの種も雄を放飼しない場合、雌成虫は産卵しなかったため、これら 3 種のコナカイガラムシは単為生殖を行わないと考えられた。

産卵数および卵期間を Table 10, 11 に示した。ミカンヒメコナカイガラムシの産卵数の最高は 522 (27.5°C) であったが、平均すると 22.5°C 飼育区を除き 200 前後で、温度との明確な関係は見られなかった。露地から採集した雌成虫 9 個体の平均産卵数 (±S.D.) は 204.0 (±82.4) であり、これは飼育結果とはほぼ一致した。フジコナカイガラムシとミカンコナカイガラムシをそれぞれ 25°C 恒温条件下でカボチャを用いて飼育した場合の産卵数は、前種が 422.8 (±71.9, n=8) であり、後種が 410.6 (±116.8, n=8) であったが、今回の飼育結果ではミカンコナカイガラムシの 20°C 飼育区を除き、ほとんどの飼

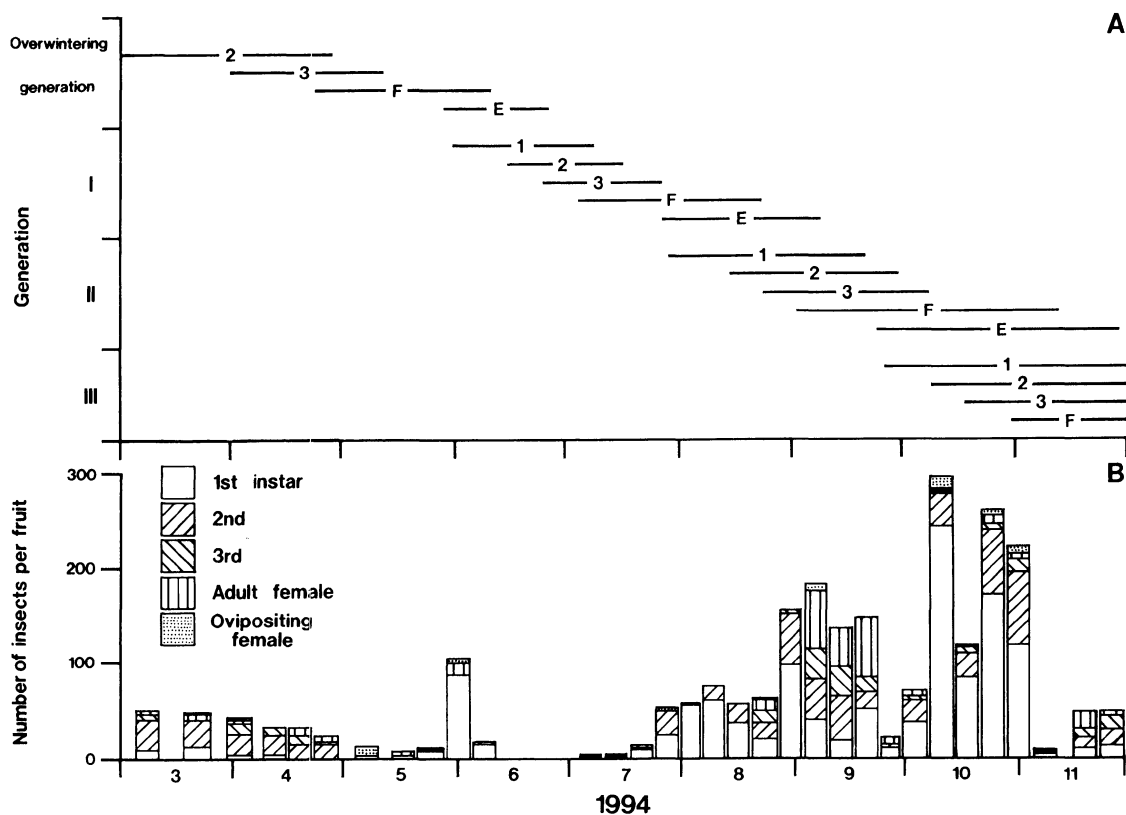


Fig. 2. Seasonal development of *Pseudococcus citriculus* in 1994; (A) predicted from thermal constants, lower developmental thresholds, and field temperatures; and (B) seasonal composition of developmental stages in a citrus orchard. Each developmental stage was predicted during the period shown inside the lines (1: 1st instar, 2: 2nd instar, 3: 3rd instar, F: adult female and E: egg).

育区で平均 100 未満であった。また、両種ともに温度と産卵数との間に関係は見られなかった。卵期間は本実験の飼育温度範囲内ではいずれの種についても、温度との間に明確な関係は認められなかった。ミカンヒメコナカイガラムシの卵期間はいずれの飼育温度でも平均で約 2 日であったが、フジコナカイガラムシでは 5 日から 10 日、ミカンコナカイガラムシでは 3 日から 5 日であった。卵のふ化率はいずれの種においても 98% 以上であった。

年間発生回数・発生時期の推測

Table 4 に示したミカンヒメコナカイガラムシ雌幼虫の各齢別有効積算温度と発育零点を用い、1993 年、1994 年の興津支場の半旬ごとの気温データから計算して、当地における各齢別発生時期を推測した (Fig. 1A, Fig. 2A)。この計算にあたり、越冬は主に 2 齢幼虫態で行われることから、2 齢幼虫以外の発育態は翌年の発生に寄与しないとした。1993 年は、1 齢を終了するまでに必要

な有効積算温度 143 日度が前年から繰り越され、2 齢幼虫態での繰り越し量は 0 とした。1994 年は、圃場において第 1 世代の発生を認めた時期から逆算して、2 齢幼虫態で 0~80 日度の繰り越しがあったとした。1993 の第 1 世代から、越冬世代の産卵期間と卵期間を考慮したため、各発育態の発生時期に重なりが生じた。産卵期間は、飼育結果より総産卵数のうち半数が産卵開始から 13~17 日以内に産卵され、その期間と飼育温度との間に明確な関係が見られなかったため、産卵期間を両年とも一律 14 日とした。卵期間も温度との関係が認められなかったため一律 2 日とした。以上のことを考慮して計算した結果、1993 年には第 1 世代は 6 月中旬から下旬に、第 2 世代は 8 月中旬から下旬に、第 3 世代 (越冬世代) は 10 月以降に発生したと推測され (Fig. 1A)、1994 年には第 2 世代が 7 月下旬から 8 月にかけて、第 3 世代が 9 月下旬から 11 月にかけて発生したと推測された (Fig. 2A)。

1993 年の圃場における各世代の 1 齢幼虫発生時期 (Fig. 1B) と計算から求めた発生時期 (Fig. 1A) とを比較すると、第 1 世代は圃場における調査を欠くので比較はできなかったが、第 2、第 3 世代ではほぼ一致していた。また、1994 年の場合も、各世代の発生時期は計算から予測した発生時期とほぼ一致した (Fig. 2)。なお、1994 年度は袋内の果実だけでなく袋内の葉における消長も調査したが、各世代のふ化幼虫発生時期は果実における時期とほぼ一致していた。

1993 年と 1994 年の気温から他の 2 種コナカイガラムシの年間発生回数を推測したところ、フジコナカイガラムシでは 3 世代が、またミカンコナカイガラムシでは 4 世代までの発生が可能であった。しかし、この 2 種のコナカイガラムシは当場の圃場で発生が見られなかったため、本推定法の検証はできなかった。

考 察

本研究で飼育した 3 種のコナカイガラムシは、いずれも 1992 年の 22.5°C 飼育区で幼虫期間全体を通した生存率が低く、またフジコナカイガラムシとミカンコナカイガラムシでは 1994 年の結果よりも発育期間が長くなった。この原因は不明だが、餌の劣化を見落として飼育を続けたために生じたことも考えられる。一方、30°C 恒温条件では、いずれの種も成虫まで発育できた個体は少なく、特に 2 齢幼虫における死亡が他の発育態に比べて高い傾向が見られた。2 齢幼虫はミカンヒメコナカイガラムシとフジコナカイガラムシでは越冬する発育態であることから、低温に対する耐性はあるが高温には弱いのではないかと考えられた。コナカイガラムシ類のうちクワコナカイガラムシ *Pseudococcus comstocki* (KUWANA) と *Phenacoccus herreni* COX & WILLIAMS の 2 種については 30°C 以上の恒温条件における飼育が報告されている。クワコナカイガラムシでは 30°C における飼育条件下で発育遅延は見られなかった (村上, 1965)。一方、*P. herreni* では、30°C、35°C における幼虫期間全体の発育速度は 25°C に比べ同じか、それよりも低いことから、発育遅延が 30°C 以上において起こったと考えられる (HERRERA et al., 1989)。以上から、今回調査した 3 種以外にも 30°C 以上で発育遅延の例があることから、多くのコナカイガラムシ類では 30°C 以上の条件下では発育に適さないのではないかと考えられた。30°C 恒温あるいは日平均気温が 30°C という条件は我が国の自然環境ではほとんど考えられないが、1 日のある時間帯だけ 30°C 以上になることは夏には恒常的に起こる。今

回、ミカンヒメコナカイガラムシの各世代の発生時期の推測では、この温度以上になる時間帯を無効として計算した。その結果、本種の発生の推測に関しては実際に観察された各世代の発生時期と合致しており、この部分の温度域を無効としても問題はないと考えられた。ただし、この部分の温度域が発育に阻害的な作用をすることも考えられ、今後検討が必要である。

ミカンヒメコナカイガラムシとフジコナカイガラムシの発育に関して、上野 (1977) がカボチャを用いて行った報告がある。それによるとミカンヒメコナカイガラムシの 25°C における発育日数は、1 齢が 6~12 日、2 齢が 5~11 日、3 齢が 5~16 日、産卵前期間が 9~12 日となり、フジコナカイガラムシでは 1 齢が 11~12 日、2 齢が 8~10 日、3 齢が 8~13 日、産卵前期間が 9~13 日という結果が得られている。本研究で得られたこの 2 種コナカイガラムシの発育期間は上野 (1977) の範囲内に含まれていたことから、幼虫の発育に関しては餌植物の差は見られないと考えられた。一方、産卵前期間はカボチャ飼育虫に比べカンキツ葉飼育虫の方が長くなり、餌植物により発育に差が生じたと考えられた。しかし、ミカンヒメコナカイガラムシについては、本研究で得られた発育零点や有効積算温度を用いて計算した各世代の幼虫発生時期は、露地における発生時期とほぼ一致しており、より実態に近いものと考えられる。従って、本推定法は今後、発生予測に適用が可能と思われる。ただし、実際の圃場では本種の密度は低く、発生初発からピークまでの間の時間的な差もあるために、各世代の幼虫発生時期に幅が生じたり、齢構成がオーバーラップして発生時期の把握が困難な場合も予想される。また、越冬幼虫が前年度から繰り越す温量の決定方法も未解決であり、今後これらの検討が必要である。

フジコナカイガラムシの発生時期を 1993 年と 1994 年に当場において観測した気温から計算したところ、年間 3 回の発生が可能であると推測された。これはわが国で報告されている本種の発生回数と一致した。しかし、フジコナカイガラムシの実際の露地における消長と、計算から求められた発生時期とを比較することはできなかった。今後、本種の露地における発生時期と計算から求めた発生時期を比較し、その適合性を評価し、発生の予測が行えるかどうかを検討する必要がある。

BODENHEIMER (1951) は、ミカンコナカイガラムシの卵から産卵までの発育零点は 8.4°C で、有効積算温度は 525~884 日度と報告している。この結果を用いて 1993 年と 1994 年の気温から、当地における本種の発生回数

を計算した結果、年間 3~6 世代の発生が可能であった。今回得られた幼虫期間と産卵前期間の発育零点、有効積算温度からミカンコナカイガラムシの発生を計算したところ、年間 3~4 世代の発生が可能と推測された。また、今回得られたふ化から産卵までの発育零点は 4.2°C とかなり低くなったが、この結果を用いて計算すると年間 4 世代の発生が可能であり、発生回数に関する限り他の結果と同じであった。ただし、各世代の発生時期は用いた結果により異なった。本種の露地における発生は認められなかったため、それぞれの発生時期の適合性を比較することはできなかった。今後、得られた飼育結果が施設等での発生予測に利用可能かどうか今後検討する必要がある。また、本種は通常、露地での越冬は認められないが、九州南部では露地から得られたという記録もある(河合, 1980)。ミカンコナカイガラムシの発育零点は、南関東以西のカンキツ栽培地帯で越冬がみられるミカンヒメコナカイガラムシ、フジコナカイガラムシと同じか、それよりも低いことから、これら 2 種のコナカイガラムシの発生している地域では本種が露地で越冬する可能性もある。このことについても今後調査する必要がある。

摘 要

カンキツを加害する 3 種のコナカイガラムシをウンシュウミカンの葉で飼育し、発育速度と温度との関係を比較調査した。

1) ミカンヒメコナカイガラムシの雌幼虫期間と産卵前期間における発育零点はそれぞれ 11.7, 10.0°C, 有効積算温度は 338 日度, 302 日度であった。フジコナカイガラムシでは 8.0°C, 11.7°C, および 519 日度, 312 日度, ミカンコナカイガラムシでは 7.7°C, 8.0°C, および 401 日度, 378 日度であった。

2) 3 種のコナカイガラムシとも 30°C の条件下では幼虫の発育が遅延し、産卵するまでに至った虫は見られなかった。

3) ミカンヒメコナカイガラムシの平均産卵数は約 200 であり、20~27.5°C の範囲における卵期間は温度に関係なく平均 2 日であった。フジコナカイガラムシ、ミカンコナカイガラムシの産卵数は 100 未満であり、卵期間は前種で 3~5 日、後種で 5~10 日であった。

4) 恒温条件で求めたミカンヒメコナカイガラムシの発育零点と有効積算温度を用い、各齢の発生時期を気温から計算した結果、露地における実際の発生時期とほぼ一致した。

引用文献

- BODENHEIMER, F.S. (1951) Soft scales, mealybugs, and fluted scales. In: *Citrus Entomology*. Dr. W. Junk Publishers, Hague: pp. 354-511.
- HERRERA, C.J., R.G. Van DRIESCHE and A.C. BELLOTTI (1989) Temperature-dependent growth rates for the cassava mealybug, *Phenacoccus herreni*, and two of its encyrtid parasitoids, *Epidinocarsis diversicornis* and *Acerophagus coccis* in Colombia. *Entomol. exp. appl.* **50**: 21-27.
- 伊澤宏毅 (1990) ナシに寄生するクワコナカイガラムシの防除対策. 植物防疫 **44**: 260-263.
- 河合省三 (1980) 日本原色カイガラムシ図鑑. 東京: 全国農村教育協会, 455p.
- 河合省三 (1990) 果樹に寄生するコナカイガラムシ類の見分け方. 植物防疫 **44**: 251-255.
- 松浦 誠・八田茂嘉 (1976) 柑橘を加害するコナカイガラムシの種類とミカンヒメコナカイガラムシの発生経過. 和歌山園試報 **4**: 61-68.
- 村上陽三 (1965) 代用飼料で飼育したクワコナカイガラムシの発育速度と産卵数. 園試報 **A 4**: 145-152.
- 大政義久 (1990) カンキツに寄生するコナカイガラムシ類の防除対策. 植物防疫 **44**: 256-259.
- 坂神泰輔・是永龍二 (1981) 有効積算温度の簡易な新算法“三角法”について. 応動昆 **25**: 52-54.
- 白岩秀雄 (1935) 日本に於て梨を害する粉介殻蟲に就いて. 昆虫 **9**: 63-75.
- 高橋信次 (1936) 梨に寄生する粉介殻蟲防除に関する試験成績. 新潟農試特報 **36**: 1-116.
- 津川 力 (1972) リンゴ園における主要害虫類の発生予察. 青森県りんご試報 **16**: 1-73.
- 上野晴久 (1963) カキを加害するカイガラムシ類の研究 第 1 報 フジコナカイガラムシ越冬幼虫の行動. 応動昆 **7**: 85-91.
- 上野晴久 (1971) カキを加害するカイガラムシ類の研究 第 2 報 フジコナカイガラムシとオオワタコナカイガラムシ越冬幼虫の相互関係. 応動昆 **15**: 211-214.
- 上野晴久 (1977) フジコナカイガラムシの生態と防除. 植物防疫 **31**: 159-164.