ミカンキジラミ成虫の耐寒性[†]

芦原 亘

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所

Cold Hardiness of Adult Asian Citrus Psyllid, *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllidae). Wataru ASHIHARA National Institute of Fruit Tree Science, National Agriculture and Food Research Organization; Fujimoto 2-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8605, Japan. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 51: 281–287 (2007)

Abstract: The survival of *Diaphorina citri* adults during the winter in Tsukuba (Ibaraki, Japan) and under various low temperatures was investigated. When adults were released into a screened cage containing a potted *Citrus unshiu* tree in the field in Tsukuba, new generation adults emerged and reached a peak in late October. Rapid population decline was not observed by December 24 when daily minimum temperatures had decreased below 0°C for 4 days and an extreme low temperature reached -3.9°C. Adults died between December 25 and January 5, when daily minimum temperatures were continuously below 0°C and an extreme low temperature reached -6.4°C. When adults maintained at 15°C on *Murraya paniculata* and *C. unshiu* were transferred to the field in Tsukuba in mid-January and early February, they did not die immediately, even though the minimum temperature decreased below -4°C on the first and third days after transfer. Mortality trends did not differ between *D. citri* maintained on *M. paniculata* and *C. unshiu*. When adults were exposed to temperatures decreasing at 1°C/h, mortality rates were 58 and 89% at -10 and -11°C, respectively. At a constant temperature of -6°C, it took 4 hours to reach 50% mortality. At constant temperatures of 12.5 and 15°C, psyllid adults on *M. paniculata* survived for more than 50 days. Mean adult longevity decreased as temperatures fell below 10°C. With water alone and without water or leaves, the longest longevity (34 and 28 days, respectively) was observed at 12.5°C. Mean adult longevity on *M. paniculata* under alternating temperatures of 12.5°C (12 h)/5°C (12 h) was more than 50 days, longer than at a constant temperature of 10°C (38 days). These results suggest that maximum and minimum temperatures are more important than the mean temperature in determining winter survival of the psyllid, and they would be able to survive the winter in areas where mean daily minimum and maximum temperatures of the coldest month are above 5 and 12.5°C, respectively.

Key words: *Diaphorina citri*; cold hardiness; low temperature; mortality

緒 言

ミカンキジラミ *Diaphorina citri* はカンキツグリーニング病 (HLB) のアジア型病原体 *Candidatus Liberibacter asiaticus* を媒介するカンキツ類の重要害虫である (Martinez and Wallece, 1967; Capoor et al., 1974). 本種はわが国では奄美大島以南に分布しているが (Miyatake, 1965), 近年, 屋久島 (牛牧, 2002) や鹿児島県指宿市 (井上, 2007) でも発生が確認された. 一方, HLB は 1988 年に西表島で罹病樹が確認されて以来 (Miyakawa and Tsuno, 1989), 奄美大島を除く奄美群島にまで分布を拡大している (濱島ら, 2003; 橋本ら, 2006). また, ミカンキジラミが分布していたブ

ラジルでは 2004 年にサンパウロで HLB の罹病樹が発見され, 被害が拡大している (Coletta-Filho et al., 2004). さらにフロリダでは 1998 年にミカンキジラミが侵入し (Halbert et al., 2002), 2005 年に HLB の発生が確認された (Bove, 2006). このように HLB とミカンキジラミは世界的に分布拡大傾向にあることから, 両者の未発生地では侵入に警戒を深めている.

ミカンキジラミは熱帯・亜熱帯のカンキツ栽培地帯に分布しており (Catling, 1970), レユニオン島 (Catling, 1973), 中国 (Zhao, 1982; Yang et al., 2006) やネパール (芦原, 1988) の標高の高い場所にはミカンキジラミの発生が認められていない. このような分布や季節的消長の特徴から,

[†]果樹研究所業績番号: 1464

本研究は独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構運営費交付金プロジェクト研究 No. 166 「作物及び家畜生産における気候温暖化の影響解明とその制御技術の開発」の助成により行われた.

2007 年 7 月 6 日受領 (Received 6 July 2007)

2007 年 8 月 30 日登載決定 (Accepted 30 August 2007)

DOI: 10.1303/jjaez.2007.281

本種は比較的高い気温の地域に適応した昆虫であり、冬期の低温が分布の限定要因として重要な役割を果たしていると考えられている (Ôtake, 1990; Yang et al., 2006). 本種はミカン科のカンキツ属 *Citrus* やゲッキツ属 *Murraya* を寄主とするが、芽や展葉初期の新梢でしか増殖出来ない (Hussain and Nath, 1927). また、終齢幼虫は 15°C 以下で死亡する (Nakata, 2006). 九州本土を含むカンキツの主要産地でのカンキツ類の発芽時期は春、夏、秋の 3 期に限られており、冬期には発芽しないこと (岩崎, 1953), 最寒月の日最高気温平均が 15°C 以上となるのは屋久島以南であること (気象庁), 中国におけるミカンキジラミの分布北限での越冬ステージが成虫であることなどから (Yang et al., 2006), 九州本土南部のような分布の北限での越冬ステージは成虫と考えられる. 芦原 (2004) は本種の九州本土での分布の可能性を推定するため、成虫を九州本土中南部の冬期の気温条件下で飼育し、鹿児島県枕崎市のような温度条件では越冬し、翌春に産卵できる可能性を示唆した. また、水野ら (2004) は鹿児島市の冬期を模倣した条件で成虫を飼育し、2 月下旬まで生存した個体は産卵能力を保持していること示した. その後、2006 年に指宿市で本種の発生が認められたが、越冬可能域を広範囲に推定するにはミカンキジラミの耐寒性の特徴を明らかにする必要がある. このため、茨城県つくば市の野外 (N36°3', E140°6') におけるミカンキジラミの冬期までの生存消長と冬期に成虫を野外に移した場合の死亡過程を明らかにするとともに、成虫を各種低温条件下で飼育して耐寒性の特徴を解析し、本種が越冬可能な条件について考察したので、その結果を報告する.

本文に入るに先立ち、供試虫の準備に協力いただいた果樹研究所 池田綱介博士 (現 財団法人岡山県環境保全事業団) と井上広光博士に感謝の意を表する.

材料および方法

1. 供試昆虫

2003 年に奄美大島 (龍郷町, N28°25', E129°35') で採集し、果樹研究所内の温室内 (20~40°C) においてゲッキツ *Murraya paniculata* の実生苗で継代飼育しているミカンキジラミを用いた.

2. つくば市の野外条件での生存消長

1) 冬期までの生存消長

温室内のゲッキツに産下させた卵を自然採光の恒温室 (23~27°C, 以下同様) で飼育し、羽化後 2~6 日経過したものを供試虫とした. 2004 年 8 月 20 日に鉢植えのウンシュウミカン *Citrus unshiu* (「興津早生」, 1 年生) を入れた飼育ケージ (73×73×108 cm) に供試虫を 40 個体放飼した. ケージの側面のうち、2 面は寒冷紗、他の 2 面は透明塩化ビニルを、上面は 10 月 28 日までは透明塩化ビニル、

以降は寒冷紗を張った. 放飼後定期的に生存成虫数と長さが約 0.5 cm 以上で自己剪定前のウンシュウミカンの新梢数、並びにケージ内の温度を記録した.

2) 冬期の生存消長

上記と同様の条件下で飼育し、羽化後 3~4 日経過した成虫を 23°C (16L:8D) の条件でゲッキツ実生とともに、約 10 日飼育した. これらを餌植物が入ったポリプロピレン製遠沈管 (直径 30 mm, 長さ 115 mm) に収容し、シリコセンでふたをした. 餌植物は水を入れたサンプルチューブに挿したゲッキツの枝またはウンシュウミカン (「興津早生」) 葉である. この遠沈管を 17.5°C に 3~4 日、次いで 15°C に 3~4 日間保持し、2005 年 1 月 11 日と 2 月 1 日に、2 段重ねして野外に置いた側面が格子状のコンテナ (50×33×30 cm) の上段に収容した. コンテナには温度記録のために熱電対を挿入した遠沈管も収容し、合板で覆った. 以後、定期的に取り出して恒温室に移し、2 日目に生死を記録した. 供試個体数は 1 区 (Fig. 2 の各プロット) につき 20 個体以上とした.

3. 成虫の低温条件における生存消長

成虫の耐凍性並びに低温恒温と低温変温条件下における生存消長を調査した. 耐凍性と低温恒温条件下での調査では供試虫を 2-2) と同様に準備したが、低温変温条件では羽化成虫を新たなゲッキツの実生に移し替え、恒温室で 10 日間、15°C で 7~10 日間飼育したのちに管瓶に収容した. 耐凍性の試験時には遠沈管をアクリロニトリルスチレン製デシケータ (224×200×170 mm) に、低温恒温と低温変温条件では無機塩の飽和水溶液で湿度を調節したポリプロピレン製密閉容器 (250×356×165 mm) に収容して試験条件に置いた. 12.5°C 以上の恒温条件と 5°C (12 h)/12.5°C (12 h) の変温条件では各温度区について 20 個体以上供試し、同一個体の生死を経時的に調査したが、それ以外の条件では調査間隔ごとに 20 個体以上を恒温室に移し、2 日目に生死を判定した.

1) 耐凍性

つくば市の最低気温が零下となるときには、おおむね、1 時間で 1°C 程度の割合で低下する. そこで、成虫を 10°C に 24 時間、5°C に 3 時間維持し、次いで 1 時間当たり 1°C の速度で低下させ、① -7, -8, -9, -10, -11°C に達したとき、並びに② -6°C となったときに定温とし、1~5 時間経過したときの生死を調査した.

2) 低温恒温条件における生存消長

-1.5~15°C の恒温条件下において、ゲッキツ給餌、水のみ給餌、および無給餌における生存消長を調査した. ただし、-1.5°C ではゲッキツ給餌区のみとした. 水給餌区では、遠沈管をアクリルキャップで密閉したが、キャップの裏側に水で湿らせた脱脂綿を載せ、濾紙で覆った. 無給餌区では直径 2 cm の穴を開け、テトロンゴースを張った

キャップで蓋をした。ゲッキツ給餌区は硝酸カリウム（水分の供給がない密閉状態では 94% R.H. に保持される）、水給餌と無給餌は塩化ナトリウムの過飽和溶液（75% R.H. に保持）で湿度を調節した。

3) 低温変温条件における生存消長

3.-2) のゲッキツ給餌区と同様の容器に入れて、0°C (12h)/5°C (12h), 0°C (12h)/10°C (12h), 0°C (12h)/12.5°C (12h) と 5°C (12h)/12.5°C (12h) の変温条件下で飼育した。

結果および考察

1. つくば市の野外条件での生存消長

1) 冬期までの生存消長

野外ケージに放飼した成虫のうち 20% がウンシュウミカンに定着した。寄生数は新梢の発生後に増加し始め、10 月 26 日には 216 個体に達した。寄生数はその後ゆるやかに減少し、12 月 24 日には 103 個体が生存していたが、1 月 5 日の調査では死滅していた (Fig. 1)。芦原 (2004) はミカンキジラミの成虫を発生地である沖縄県名護市の秋期～春期の気温を再現した変温条件下で飼育し、ウンシュウミカンで 4 か月以上生存したことを報告している。また、25°C におけるウンシュウミカンでの平均寿命は 80 日で、90 日以上生存する個体もある (井上・芦原, 未発表)。このようなことから、本調査での主な死亡要因は自然死亡ではなく、冬期の低温と思われる。急激な死亡が起きる前の 12 月 3 日～12 月 24 日の間の最低温度と最高温度の平均はそれぞれ 2.3°C と 22.1°C で、最低温度が 0°C 以下となった日が 4 日あり、最低極温は -3.9°C であった。したがって、このように最低温度が 0°C 以下となる日が数日続くような条件でも成虫はほとんど死亡しないものと思われる。急激な密度低下が認められた 12 月 25 日～1 月 5 日では最低温度が 0°C 以下の日が連続し、最低極温は -6.4°C、最低温

度と最高温度の平均はそれぞれ -3.3°C と 17.6°C であった。

2) 冬期における成虫の生存消長

冬期の死亡経過を明らかにするため、成虫を 1 月 11 日と 2 月 1 日に野外に置いて生存消長を調査した (Fig. 2)。水野ら (2004) も報告しているように、生存期間の性差は認められなかった。以下、雌雄をこみした値を示す。1 月 11 日に設置した場合、翌朝と 3 日目に最低温度がそれぞれ -4°C と -5°C となり、2 月 1 日設置では翌朝と 3 日目に -4.2°C と -5.1°C に低下したが、このときに生存率が極端に低下しなかった。したがって、ここで観察された密度低下は凍死のような直接死によるものではないと考えられる。野外に設置後、死滅までの日数が 1 月 11 日設置では約 20 日、2 月 1 日設置では約 15 日であった。この間の日最低温度と日最高温度の平均は、1 月 11 日設置区ではそれぞれ -1.2°C と 8.7°C、2 月 1 日設置では -2.6°C と 8.8°C であった。死滅までの日数の違いはこの温度差によると思われるが、さらにデータを蓄積して解析する必要がある。食餌植物による生存消長の差は認められなかった。

3) 耐凍性

前項の調査で成虫は -5°C に遭遇しても、その日のうちに死亡しなかった。したがって、-6°C 以下に冷却あるいは -6°C に維持し、直接死をもたらす条件を調べた (Fig. 3)。-6°C 以下に冷却し続けた場合、-9°C に達するまでの生存率は 89% 以上であり、-10°C になると 42%、-11°C で 11% に低下した。また、-6°C に達したときにその温度を維持した場合、1～3 時間後の生存率は 76% 以上で、4 時間後に 50%、5 時間後に 20% となった。東海地方や西日本のカンキツ栽培地ではこのような低温条件に遭遇することはまれである。したがって、多くのカンキツ栽培地域ではミカンキジラミ成虫の低温による直接死はほとんど起こらないものと思われる。

Fig. 1. Seasonal change in the number of *D. citri* adults and number of new shoots on a potted *C. unshiu*, and daily minimum and maximum temperature in a screened cage in the field in Tsukuba from August 2004 to January 2005.

Fig. 2. Surviving *D. citri* adults with *M. paniculata* and *C. unshiu* leaves, and daily minimum and maximum temperatures in insect-rearing tubes in the field in Tsukuba. Test insects were kept in the field from January 11 and February 1, 2005.

Fig. 3. Surviving *D. citri* adults at subzero temperatures. The temperature was maintained at 5°C constant for 3 h, then decreased by 1°C per hour (—) or was kept at -6°C constant (---) after the temperature reached -6°C. □: Survival rate when the temperature decreased continuously. ■: Survival rate when the temperature was maintained at -6°C.

4) 低温恒温条件における生存消長

-1.5~15°Cの恒温条件で成虫を飼育した場合の生存消長と半数致死時間 (LT₅₀) (Bliss, 1935 における濃度を時間, LD₅₀ を LT₅₀ として算出した) をそれぞれ Fig. 4, 5 に示す。ゲッキツを食餌とした場合, 12.5°C と 15°C では 50 日以上生存したが, LT₅₀ は 10°C で 38 日となり, 低温になるほど短くなった。15°C の水給餌と無給餌区での LT₅₀ は 16 日と 9 日であったが, 12.5°C の水給餌では 34 日で, 無給餌区でも 28 日と長かった。両区での生存期間は 10°C で短くなったことから, 12.5°C 前後がエネルギー消費が少なく, 低温の悪影響も少ない温度と思われる。10°C 以上ではゲ

Fig. 4. Surviving *D. citri* adults at different constant temperatures when maintained on *M. paniculata* leaves (Murraya), wet filter paper (Water) and without water and leaves (None).

Fig. 5. LT₅₀ (median lethal time in days) for *D. citri* adults held at different constant temperatures (calculated from data in Fig. 4). Vertical bars indicate 95% confidence intervals.

キツ給餌区の寿命の方が水給餌区より長かったが, 7.5°C 以下では差が認められなくなった。したがって, 生存に有効な吸汁は 10°C 未満~7.5°C になると阻害されると考えら

れる。

昆虫の耐寒性についてはこれまで多くの報告や総説があるが (Bursell, 1974; Lee and Denlinger, 1991 参照), ほとんどが温帯に分布する種の冬期の低温への適応現象解明を目的としたものである。熱帯, 亜熱帯産昆虫については小泉・柴田 (1964a, b, c) のウリミバエとミカンコミバエの発育と生存に及ぼす低温の影響以外に詳しく調査されたものは少ない。この報告では両ミバエの摂食可能な低温限界は 9°C で, 8°C 以下になると成虫の寿命が短縮したとしており, ミカンキジラミも似た特徴を備えていると思われる。ミカンキジラミの従来からの分布北限である奄美大島の名瀬の最寒月における月最低気温は 11.8°C で月最高気温は 17.4°C である (気象庁)。したがって, 10°C という温度はこのキジラミが従来からの分布域ではほとんど遭遇しない条件で, 適応の範囲外にある。このため, 10°C 以下の温度では何らかの生理的傷害が生じ, その蓄積により生存期間が短縮するものと推定される。

5) 低温変温条件における生存消長

Fig. 6 には 0°C , 5°C と 10°C , 12.5°C を 12 時間サイクルで組み合わせた変温条件での生存消長を恒温条件下のものと併せて示した。 $0^{\circ}\text{C}/5^{\circ}\text{C}$ と $0^{\circ}\text{C}/10^{\circ}\text{C}$ における LT_{50} はそれぞれ, 10~15 日と 25 日で, 各試験区の平均温度である 2.5°C と 5°C 恒温におけるよりも長かった。また, $0^{\circ}\text{C}/12.5^{\circ}\text{C}$ と $5^{\circ}\text{C}/12.5^{\circ}\text{C}$ での LT_{50} はそれぞれ 32 日と 50 日以上で, 平均温度より高温の 7.5°C と 10°C におけるよりも長かった。小泉・柴田 (1964b) はウリミバエとミカンコミバエの成虫の変温での寿命は夜間が摂食不能の 8°C 以下のときは, 昼間温度に無関係にその平均温度におけるよりも短かったことを報告している。ミカンキジラミでは変温条件における寿命はその平均温度におけるよりも長いので, 野外での生存期間を推定する場合, 平均気温ではなく変温条件を考慮して検討する必要があると考えられる。芦原

Fig. 6. Surviving *D. citri* adults under varying temperatures regimes: 0°C (12 h)/ 5°C (12 h), 0°C (12 h)/ 10°C (12 h), 0°C (12 h)/ 12.5°C (12 h) and 5°C (12 h)/ 12.5°C (12 h), and at constant temperatures of 0, 2.5, 7.5, 10 and 12.5°C (data from Fig. 4) on *M. paniculata* leaves.

(2004) は枕崎の秋~春期の気温を再現した条件下で飼育すると, 50% 以上が 4 月まで生存したことを報告している。このときの最寒月である, 1 月の月最低温度は 4.7°C , 月最高温度は 12.8°C で平均は 8.8°C であった。これらから, 最寒月の最低気温が 5°C 以上, 最高気温が 12.5°C 以上の地域はミカンキジラミの越冬可能域に含まれると推定してよいと思われる。2006 年 9 月には指宿市のゲッキツの垣根で本種の発生が認められたが (井上, 2007), 同市における過去 20 年間における最寒月 (1 月) の月最低気温は 4.5°C で月最高気温は 12.5°C で, 2006 年 1 月ではそれぞれ, 5.1°C と 13.1°C であった (気象庁)。指宿市で発見された個体群は数カ所に分散しており (井上, 2007), ミカンキジラミの飛翔能力が低いことから, 越冬したものと思われるが, 現地での越冬生態調査が望まれる。芦原 (2004) によれば, 鹿児島県阿久根市の条件でも供試個体群によっては 40% 程度が越冬し, 長崎県口之津町では 6% が越冬した。今回の試験条件は限られたものなので, より詳細に調査し, 越冬可能域を広範囲に推定するためのデータを蓄積する必要がある。

摘 要

茨城県つくば市で, ウンシュウミカンを収容したケージにミカンキジラミの成虫を放飼すると, 寄生数は 10 月下旬にピークとなった。12 月下旬までに 0°C 以下となった日が数日あり, 最低極温は -3.9°C であったが, 急激な密度低下は認められなかった。以後, 日最低温度が 0°C 以下の日が連続し, 最低極温が -6.4°C となる日もあった 1 月上旬までにすべての個体が死亡した。成虫を 1 月 11 日に野外に置いた場合, 翌朝と 3 日目に最低温度がそれぞれ -4°C と -5°C となり, 2 月 1 日設置では翌朝と 2 日目の最低温度は -4.2 と -5.1°C に低下したが, このときに生存率が極端に低下しなかった。成虫を 1 時間に 1°C 低下する条件で飼育すると, 生存率は -10°C で 42%, -11°C で 11% であった。また, -6°C に 3, 4, 5 時間保持した場合の生存率はそれぞれ 76, 50, 20% となった。成虫は 15°C と 12.5°C では 50 日以上生存し, 12.5°C においては水給餌と無給餌区でも 1 カ月程度生存した。 10°C 以下では低温ほど生存期間が短縮した。 7.5°C 以下ではゲッキツ給餌区と水給餌区とで生存期間に差が認められないことから, 有効な摂食を停止すると推定された。 5°C (12 h)/ 12.5°C (12 h) の変温条件では成虫が 50 日以上生存したことから, 最寒月の最低気温が 5°C 以上, 最高気温が 12.5°C 以上の地域はミカンキジラミの越冬可能範囲に含まれると推定された。

引用文献

芦原 亘 (1988) ネパールにおけるカンキツグリーニング病のベクターミカンキジラミの分布。今月の農業 32(11): 31-34。

- [Ashihara, W. (1988) Distribution of *Diaphorina citri*, a vector of citrus greening disease in Nepal. *Agric. Monthly Mag.* 32(11): 31–34.]
- 芦原 亘 (2004) 九州中・南部の冬期の温度条件におけるミカンキジラミ *Diaphorina citri* Kuwayama 成虫の生存消長. 応動昆 48: 207–211. [Ashihara, W. (2004) Survival of Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* Kuwayama adults under winter temperature conditions in middle and south Kyushu. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 48: 207–211.]
- Bliss, C. I. (1935) The calculation of the dosage-mortality curve. *Ann. Appl. Biol.* 22: 134–167.
- Bove, J. M. (2006) Huanglongbing: a destructive, newly emerging, century-old disease of citrus. *J. Plant Pathol.* 88: 7–37.
- Bursell, E. (1974) Environmental aspects—temperature. In *The Physiology of Insecta*, vol II (M. Rockstein ed.). Academic Press, New York, pp. 1–41.
- Capoor, S. P., D. G. Rao and S. M. Viswanath (1974) Greening disease of citrus in the Deccan Trap Country and its relationship with the vector, *Diaphorina citri* Kuwayama. In *Proc. 6th Conf. Intern. Org. Citrus Virol.* Div. Agric. Science, Univ. California, pp. 45–49.
- Catling, H. D. (1970) Distribution of the Psyllid vectors of citrus greening disease, with notes on the biology and bionomics of *Diaphorina citri*. *FAO Plant Protect. Bull.* 18: 8–15.
- Catling, H. D. (1973) Results of a survey for psyllid vectors of citrus greening disease in Reunion. *FAO Plant Protect. Bull.* 21: 78–82.
- Coletta-Filho, H. D., M. L. P. N. Targon, M. A. Takita, J. D. De Negri, J. Pompeu Jr., M. A. Machado, A. M. do Amaral and G. W. Muller (2004) First report of the causal agent of huanglongbing, “*Candidatus*” *Liberibacter asiaticus* in Brazil. *Plant Disease* 88: 1382.
- Halbert, S. E., C. L. Niblett, K. L. Monjunath, R. F. Lee and L. G. Brown (2002) Establishment of two new vectors of citrus pathogens in Florida. In *Proc. Intern. Soc. Citriculture 9th Congr.* ASHS Press, Alexandria, Virginia, pp. 1016–1017.
- 濱島朗子・橋元祥一・永松講二・牟田辰朗 (2003) 鹿児島県におけるカンキツグリーニング病の初発生. 日植病報 69: 307–308. [Hamashima, A., S. Hashimoto, K. Nagamatsu and T. Muta (2003) First occurrence of citrus greening disease in Kagoshima Prefecture. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 69: 307–308.]
- 橋本祥一・濱島朗子・林川修二・末永 博・篠原和孝・湯田達也・時村金愛 (2006) 鹿児島県におけるカンキツグリーニング病の発生実態と対策. 植物防疫 60: 298–301. [Hashimoto, S., A. Hamashima, S. Hayashikawa, H. Suenaga, K. Shinohara, T. Yuda and K. Tokimura (2006) Occurrence and control measure of citrus greening disease in Kagoshima Prefecture. *Plant Prot.* 60: 298–301.]
- Husain, M. A. and D. Nath (1927) The citrus psylla (*Diaphorina citri*, Kuw.) [Psyllidae: Homoptera]. *Mem. Dept. Agric. India, Entomol. Ser.* 10(2): 1–27.
- 井上広光 (2007) カンキツグリーニング病媒介昆虫ミカンキジラミ, 鹿児島県指宿市で発生. 今月の農業 51(2): 86–90. [Inoue, H. (2007) Occurrence of *Diaphorina citri*, an insect vector of citrus greening disease at Ibusuki in Kagoshima prefecture. *Monthly Agric. Mag.* 51(2): 86–90.]
- 岩崎藤助 (1953) 柑橘栽培法. 朝倉書店, 東京. 435 pp. [Iwasaki, T. (1953) *Citrus Cultivation*. Asakura Publishing, Tokyo. 435 pp.]
- 小泉清明・柴田喜久夫 (1964a) ウリミバエとミカンコミバエの日本および近接温帯地生息の可否について. 第1報 両ミバエの発育生殖の可能温度, 適温ならびに可能限界温度と世界の分布地とくに東洋温帯地に対する関係. 応動昆 8: 11–19. [Koidsumi, K. and K. Shibata (1964a) Possible distribution and establishment of two species of tropical fruit flies, melon fly and Oriental fruit fly, in Japan and its adjacent temperate countries I. Effective, favorable and the lowest temperatures for the development and reproduction of both flies and their relations to the distribution and abundance in the world and especially in Japan and the other Oriental countries. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 8: 11–19.]
- 小泉清明・柴田喜久夫 (1964b) ウリミバエとミカンコミバエの日本および近接温帯地生息の可否について. 第2報 両ミバエの発育生殖積算温度, 定温致死日数ならびに飢餓生存日数と東洋温帯地に対する関係. 応動昆 8: 91–100. [Koidsumi, K. and K. Shibata (1964b) Possible distribution and establishment of two species of tropical fruit flies, melon fly and Oriental fruit fly, in Japan and its adjacent temperate countries II. Total sum of effective temperatures for development and reproduction, cold death with or without food and their relations to the distribution to Japan and the other Oriental countries. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 8: 91–100.]
- 小泉清明・柴田喜久夫 (1964c) ウリミバエとミカンコミバエの日本および近接温帯地生息の可否について. 第3報 総合考察と結論. 応動昆 8: 179–184. [Koidsumi, K. and K. Shibata (1964c) Possible distribution and establishment of two species of tropical fruit flies, melon fly and Oriental fruit fly, in Japan and its adjacent temperate countries III. General discussion and conclusion. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 8: 179–184.]
- Lee, R. E. and D. L. Denlinger (eds.) (1991) *Insects at Low Temperature*. Chapman and Hall, New York. 513 pp.
- Martinez, A. L. and J. M. Wallece (1967) Citrus leaf-mottle-yellows disease in the Philippines and transmission of the causal virus by a psyllid, *Diaphorina citri*. *Plant Disease Repr.* 51: 692–695.
- Miyakawa, T. and K. Tsuno (1989) Occurrence of citrus greening disease in the southern island of Japan. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 55: 667–670.
- Miyatake, Y. (1965) Notes on Psyllidae from the Ryukyu Islands (Hemiptera: Homoptera). *Kontyu* 33: 171–189.
- 水野孝彦・米田雅典・水庭真一郎・土肥野利幸 (2004) ミカンキジラミ *Diaphorina citri* Kuwayama の耐寒性と繁殖能力に関する研究—九州南部地域における越冬の可能性—. 植防研報 40: 89–93. [Mizuno, T., M. Yoneda, S. Mizuniwa and T. Dohino (2004) Studies on cold hardiness and fecundity of the Asian citrus psylla *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: Psyllidae)—Possibility of over-wintering of the Asian citrus psylla in the southern part of Kyushu. *Res. Bull. Pl. Prot. Japan* 40: 89–93.]
- Nakata, T. (2006) Temperature-dependent development of the citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Homoptera: Psyllodea), and the predicted limit of its spread based on overwintering in the nymphal stage in temperature regions of Japan. *Appl. Entomol. Zool.* 41: 383–387.
- Ôtake, A. (1990) *Bibliography of Citrus Greening Disease and Its Vectors and Attached with Indices, and a Critical Review on the Ecology of the Vectors and Their Control*. Jpn. Intern. Coop. Agency, Tokyo. 161 pp.

- 牛牧 昭 (2002) ミカンキジラミが屋久島で発生. 九州植物防疫 582: 5. [Ushimaki, A. (2002) *Diaphorina citri* was found in Yakushima island. *Kyushu Plant Protect.* 582: 5.]
- Yang, Y., M. Huang, G. A. C. Beattie, Y. Xia, G. Ouyang and J. Xiong (2006) Distribution, biology, ecology and control of the psyllid *Diaphorina citri* Kuwayama, a major pest of citrus: A status report for China. *Intern. J. Pest Management* 52: 343–352.
- Zhao, X. Y. (1982) Citrus yellow shoot disease (huanglongbing) in China—A. review. In *Proc. Int. Citriculture, 1981*. Vol. 1. ICI Japan, Shimizu, Japan, pp. 466–469.
-