短 報

奄美と沖縄で発見されたミカンキジラミ
(カメムシ目：ヒラズキジラミ科)
寄生菌の病原性と生育温度上地 奈美^{1,*}・藤川 貴史¹・藤原 和樹²¹ 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構果樹茶業研究部門² 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構九州沖縄農業研究センター

Pathogenicity and Growth Temperature of Three Isolates of Entomopathogenic Fungi Isolated from the Asian Citrus Psyllid, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae), Found in Amami and Okinawa, Japan. Nami UECHI,^{1,*} Takashi FUJIKAWA¹ and Kazuki FUJIWARA² ¹Institute of Fruit Tree and Tea Science, National Agriculture and Food Research Organization; Tsukuba, Ibaraki 305-8605, Japan. ²Kyushu Okinawa Agricultural Research Center, National Agriculture and Food Research Organization; Koshi, Kumamoto 861-1192, Japan. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 64: 133-137 (2020)

Abstract: Two isolates of *Beauveria bassiana* (Balsamo-Crivelli) Vuillemin and one isolate of *Isaria fumosorosea* Wize were isolated from *Diaphorina citri* Kuwayama (Hemiptera: Liviidae), a vector of Huanglongbing (citrus greening disease). The ability of these isolates to kill *D. citri*, two *Cacopsylla* species (Hemiptera: Psyllidae), and the brown citrus aphid, *Toxoptera citricida* (Kirkaldy), and the effect of temperature in vitro on their growth were investigated. Infection with all three isolates resulted in high mortality for *D. citri*. In the *Cacopsylla* spp. and *T. citricida*, some isolates caused consistent mortality, but this varied among isolates. Mycelial growth of the three isolates was vigorous at 20–30°C. The two isolates of *B. bassiana* grew well at 25°C, while the *I. fumosorosea* isolate grew well at 25–30°C, indicating that the optimal growth temperature varied among the isolates.

Key words: *Beauveria bassiana*; *Isaria fumosorosea*; citrus greening disease (HLB); indigenous natural enemy

カンキツグリーニング病は“*Candidatus*” *Liberibacter asiaticus* 等の細菌によって引き起こされる重要病害である(藤川, 2015)。カンキツ樹が本病害に感染すると、葉の黄化、果実の着色不良、樹勢の低下等の症状を示し枯死に至る(Husain and Nath, 1927)。実用的な治療法はないため、感染樹は伐採するしかない。中国南部が起源だと考えられているが、現在は世界のカンキツ栽培で発生して脅威となっている。アメリカ合衆国では、2005年にフロリダ半島で発見されて以降も被害が拡大し、2012年には西岸のカリフォルニア州へと達し、生産コストが倍増している(藤川, 2015)。日本では、1988年に沖縄県の西表島で発見され、現在

は鹿児島県奄美地方から沖縄県にかけて発生している(大石ら, 2006; 都外川ら, 2010)。しかし、集中的な防除により、発生北限の喜界島では根絶を達成した(門司植物防疫所, 2012)。感染樹の伐採や媒介虫の防除が継続されており、奄美地域における感染樹の本数は減少している(堀江・都外川, 2014)。

ミカンキジラミ *Diaphorina citri* Kuwayama (カメムシ目：ヒラズキジラミ科) はカンキツグリーニング病の媒介虫である。アジア原産で、苗木の移動とともに分布を拡大し、世界中のカンキツ産地に定着している(Halbert and Núñez, 2004)。寄主植物はカンキツ類 *Citrus* spp. や生垣などに植栽されるゲッキツ *Murraya paniculata* (L.) Jack などのミカン科植物である(Aubert, 1990)。

カンキツグリーニング病の発生地域では、媒介虫防除のために頻繁に薬剤が散布される。薬剤散布は防除技術として普及している一方で、化学合成殺虫剤の多用による薬剤抵抗性の発達や生態系への影響が懸念される。さらに、今後、より省力的で環境への負担が少ない媒介虫管理技術が求められている。そのような技術の一つとして、昆虫寄生菌の活用が考えられる。

近年、鹿児島県の奄美大島や沖縄本島で、ミカンキジラミに寄生している糸状菌が複数得られた。そこで、天敵としての可能性を評価するべく、寄生性や菌叢生育に与える温度の影響を調査した。同時に、ミカンキジラミから得られた菌株の宿主特異性を検討するため、在来キジラミ類やカンキツ害虫を用いた予備的な接種試験も実施したため、これらの結果も併せて報告する。

本研究の実施にあたり、菌株の提供ならびにミカンキジラミの試験に御協力くださった袖山北斗氏、池上亮太氏(当時、那覇植物防疫事務所)、嶺崎研、宮路克彦の両氏(鹿児島県農業開発総合センター)、そして、菌株を単離してくださった清水進先生(西日本短期大学)に感謝の意を申し上げる。なお、本研究は、農食事業「グリーニング病根絶を加速する多検体・高感度診断技術および媒介虫防除技術の高度化(27007C)」によって実施された。

材料および方法

1. 供試菌株

2013年に那覇植物防疫事務所の隔離網室で飼育されているミカンキジラミ個体群において糸状菌の寄生が発生した。また、2016年に、奄美大島のゲッキツ生垣、および、別のゲッキツ生垣に設置された黄色粘着トラップから、菌糸に覆われたミカンキジラミの成虫が得られた。これらの糸状菌は、著者ら、あるいは、清水進特任教授(西日本短期大学、当時)によって単離され、それぞれ、*Isaria fumosorosea* Wize (以降、If 沖縄株)、*Beauveria bassiana* (Balsamo-Crivelli) Vuillemin (以降、Bb 奄美ゲッキツ株)、*B. bassiana* (以後、Bb 奄美トラップ株)と同定された。これらの

菌株は著者らによってサブロー培地あるいはSMY（ショ糖・麦芽エキス・酵母エキス）培地上で維持され、接種試験ならびに生育試験に供試された。

2. ミカンキジラミ、ナシキジラミ、サツマキジラミ、ミカンクロアブラムシに対する病原性

上記の3菌株の病原性を確認するため、ミカンキジラミへの接種試験を行った。菌株の宿主特異性を検討するため、ナシキジラミ *Cacopsylla pyrisuga* (Foerster) (カメムシ目：キジラミ科)、サツマキジラミ *Cacopsylla satsumensis* (Kuwayama) (カメムシ目：キジラミ科) および、カンキツやゲッキツで発生するカンキツ害虫のミカンクロアブラムシ *Toxoptera citricida* (Kirkaldy) (カメムシ目：アブラムシ科) への接種も行った。

(1) ミカンキジラミへの接種試験

沖縄植物防疫事務所の隔離温室（沖縄県浦添市）でゲッキツを用いて累代飼育していた沖縄本島由来のミカンキジラミ個体群から得た成虫を供試し、接種試験も同じ施設で実施した。分生子懸濁液を虫体あるいはゲッキツ葉に処理した。虫体への処理においては、二酸化炭素で麻酔した成虫を分生子懸濁液に5秒間浸漬し、懸濁液から成虫を取り出して水分を除去して、RO水（逆浸透（Reverse Osmosis）水）で十分に湿らせたろ紙と、餌としてゲッキツ葉を入れたプラスチックシャーレ（ポリスチレン製、直径90mm）内に入れた。対照区は、0.05%のtween80を虫体に分生子懸濁液のときと同様に処理した。1反復あたりの供試虫数は8~11頭（平均9.9頭）で、反復は、If沖縄株処理区2反復、Bb奄美ゲッキツ株処理区2反復、Bb奄美トラップ株処理区4反復、対照区1反復とした。ゲッキツ葉の処理においては、ゲッキツの複葉を分生子懸濁液に浸し、風乾して、RO水で十分に湿らせたろ紙を敷いたシャーレに入れた。そして、二酸化炭素で麻酔したミカンキジラミを導入した。1反復あたりの供試虫数は5~10頭（平均6.9頭）で、反復は、If沖縄株処理区2反復、Bb奄美ゲッキツ株処理区2反復、Bb奄美トラップ株処理区3反復とした。対照区は、0.05%のtween80をゲッキツ葉に処理した。対照区ははじめ2反復としたが、操作上の不備により処理後に1反復の5個体すべてが死亡したため、結果からは除外し、1反復として解析した。分生子濃度は $1.7 \times 10^8 \sim 7.0 \times 10^8$ 分生子/mlとした（Table

1）。そして、25°C, 14L:10Dで飼育した。湿度は制御しなかったが、ろ紙を十分湿らせている影響でシャーレ内面に水滴の付着が見られたため、ほぼ100%と推定される。7日後に生存虫および死亡虫を確認・記録した。苦悶虫は死亡とした。死亡・生存個体数は菌株の処理区ごとに合算し、死亡率に与える菌株処理の効果をFisherの正確確率検定によって計算し、各菌株処理区の死亡率を対照区と比較した。検定の多重性を考慮して、Bonferroniの補正により有意水準0.05を $0.05/6=0.008333$ とした。

なお、試験で得られたデータの統計的な解析には、R version 3.5.2 (R Core Team, 2018)を用いた。これ以降のデータ解析も同様におこなった。

(2) ナシキジラミおよびサツマキジラミへの接種試験

ナシキジラミは果樹茶業研究部門敷地内（つくば市藤本）のナシ *Pyrus pyrifolia* (Burm.) Nakai (バラ科)の栽培圃場で2016年5月2日に採取した個体群、サツマキジラミはつくば市内に植栽されているシャリンバイ *Rhaphiolepis umbellata* (Thunb.) Makino (バラ科) 上で2016年5月13日に採取した個体群を用いた。長さ約5cmに切った寄主植物の切り枝に分生子懸濁液を十分量散布し、風乾後、給水したフローラルフォーム（生花用給水スポンジ）に挿し、昆虫飼育用角型ディッシュ（72mm×72mm×100mm）を連結させた試験容器に入れた。そして吸虫管を用いて飼育容器からキジラミを回収し、試験容器に移し、パラフィルムで密閉した。それぞれ3反復おこない、ナシキジラミは1反復あたり6頭、サツマキジラミは1反復あたり10頭供試した。分生子濃度は $1.7 \times 10^6 \sim 7.0 \times 10^6$ 分生子/mlとした（Table 2, 3）。対照として0.05%のtween80を処理した。25°C, 14L:10Dで飼育し、7日後に生存虫および死亡虫を確認・記録した。生死の判定は、ルーペで触角の動きや定位の姿勢を確認して判断した。湿度は制御しなかったが、フローラルフォームに十分給水させており容器内には結露が見られたため、ほぼ100%と推定される。各菌株処理区の平均死亡個体数と対照区の平均死亡個体数の差についてDunnettの方法によって検定し、菌株処理の効果を計算した。

(3) ミカンクロアブラムシへの接種試験

果樹茶業研究部門でカンキツの実生で飼育している茨城県牛久市由来の個体群を用いた。ユズ実生苗（高さ約20cm）にアブ

Table 1. Mortality of *Diaphorina citri* seven days after inoculation by the dipping and leaf treatment methods with the three fungal isolates

Treatment	Isolate	Concentration of conidial suspension (conidia/ml)	No. of individuals at each replicate	Mortality (%)
Dipping method	<i>I. fumosorosea</i> –Okinawa	7.0×10^8	8, 10	100*
	<i>B. bassiana</i> (trap)–Amami	2.1×10^8	10, 10, 10, 10	100*
	<i>B. bassiana</i> (Murraya)–Amami	1.7×10^8	10, 10	100*
	Control (0.05% tween80)	—	11	27.3
Leaf treatment	<i>I. fumosorosea</i> –Okinawa	7.0×10^8	5, 5	100*
	<i>B. bassiana</i> (trap)–Amami	2.1×10^8	10, 8, 8	100*
	<i>B. bassiana</i> (Murraya)–Amami	1.7×10^8	8, 8	100*
	Control (0.05% tween80)	—	5	0

Asterisks indicate a significant difference between the treatments and the control at the level of 0.05 (*) by Fisher's exact test. The significance level was adjusted to 0.008 by Bonferroni's correction.

Table 2. Mortality of *Cacopsylla pyrisuga* seven days after inoculation by the leaf treatment method with the three fungal isolates

Isolate	Concentration of conidial suspension (conidia/ml)	No. of replicates	No. of individuals at each replicate	Mortality (%)
<i>I. fumosorosea</i> –Okinawa	3.2×10^6	3	6	77.8**
<i>B. bassiana</i> (trap)–Amami	6.8×10^6	3	6	22.2
<i>B. bassiana</i> (Murray)–Amami	1.7×10^6	3	6	33.3
Control (0.05% tween80)	—	3	6	12.5

Asterisks indicate a significant difference between the treatment and the control at the level of 0.01 (**) by Dunnet's test.

Table 3. Mortality of *Cacopsylla satsumensis* seven days after inoculation by the leaf treatment method with the three fungal isolates

Isolate	Concentration of conidial suspension (conidia/ml)	No. of replicates	No. of individuals at each replicate	Mortality (%)
<i>I. fumosorosea</i> –Okinawa	7.0×10^6	3	10	86.7***
<i>B. bassiana</i> (trap)–Amami	2.1×10^6	3	10	60.0**
<i>B. bassiana</i> (Murray)–Amami	1.7×10^6	3	10	0.0
Control (0.05% tween80)	—	3	10	3.3

Asterisks indicate a significant difference between the treatment and the control at the levels of 0.01 (**) and 0.001 (***) by Dunnet's test.

Table 4. Mortality of *Toxoptera citricida* five days after inoculation by direct spray with the three fungal isolates

Isolates	Concentration of conidial suspension (conidia/ml)	No. of replicates	No. of individuals at each replicate	Mortality (%)
<i>I. fumosorosea</i> –Okinawa	8.8×10^6	3	16, 38, 68	85.2***
<i>B. bassiana</i> (trap)–Amami	5.3×10^6	3	15, 31, 61	70.1***
<i>B. bassiana</i> (Murray)–Amami	5.6×10^6	3	16, 17, 23	78.6***
Control (0.05% tween80)	—	3	11, 18, 58	11.6

Asterisks indicate a significant difference between the treatment and the control with mortality at the level of 0.001 (***) by Turkey's WSD test.

ラムシを放して定着させた。そして、クロマト噴霧器で分生子懸濁液を散布した。分生子濃度は $5.3 \times 10^6 \sim 8.8 \times 10^6$ 分生子/ml とし、30 ml 程度を散布した (Table 4)。各処理につき 3 本の実生苗を用い、3 反復とした。対照として 0.05% の tween80 を散布した。各反復の個体数は、If 沖縄株処理区で、16, 38, 68 頭、Bb 奄美トラップ株処理区で 15, 31, 61 頭、Bb 奄美ゲッキツ株処理区で 16, 17, 23 頭、対照区で 11, 18, 58 頭である。容器底面に十分給水させたキムタオルを敷いた昆虫飼育容器 (41 cm × 26 cm × 29 cm) に菌株ごとに入れ、25°C、14L : 10D で飼育し、5 日後に実生苗上の生存個体数、死亡個体数を記録した。なお、生死判定時に行方が明らかでない個体があったため、不明個体数として記録した。湿度は制御しなかったが、土やキムタオルは十分給水させていたため、ほぼ 100% と推定される。苦悶虫は死亡とした。分生子懸濁液の処理後に産下された若齢の個体は、体サイズによって判断し、カウントから除外した。生存個体数、死亡個体数、不明個体数は菌株の処理区ごとに合算し、死亡率および不明率に与える菌株処理の効果を Fisher の正確確率検定により比較した。その際、検定の多重性を考慮して Holm の補正を行った。処理間で有意な差が認められた場合は、さらに、Tukey の WSD 検定により多重比較をおこない、各菌株処理区および対照区の死亡率を比較した。

3. 温度条件が菌叢発達に与える影響

ポテトデキストロース寒天培地 (PDA 培地) で 25°C、14 日間培養した各菌株を供試した。直径 5 mm のコルクボーラーで菌叢をくり抜き、直径 9 cm のプラスチックシャーレの PDA 培地中央に菌叢面が接するよう移植し、一定温度 (10, 15, 20, 25, 30, 32.5, 35°C) で培養した。日長は全暗とした。10 日後に、菌叢の直径を測定した。1 処理区につき 3~8 反復実施した。

結 果

1. ミカンキジラミに対する病原性

3 菌株の処理区において、分生子懸濁液を虫体に処理した場合も、ゲッキツ葉に処理した場合も、7 日後にはすべての菌株処理区で全個体が死亡し、対照区と比較して 5% 水準で有意に高い死亡率が認められた (Table 1)。

2. ナシキジラミとサツマキジラミに対する病原性

ナシキジラミの処理 7 日後の平均死亡率は、If 沖縄株処理区で 77.8%、Bb 奄美トラップ株処理区で 22.2%、Bb 奄美ゲッキツ処理区で 33.3% であり、If 沖縄株処理区で対照区と比較して有意に高い死亡率が認められた (Table 2)。

サツマキジラミでは、処理 7 日後の平均死亡率は、If 沖縄株処理区で 86.7%、Bb 奄美トラップ株処理区で 60.0%、Bb 奄美ゲ

Fig. 1. Radial colony growth of three fungal isolates under different temperature regimes. The solid line indicates the *I. fumosorosea*-Okinawa isolate. The dashed line indicates the *B. bassiana* (trap)-Amami isolate. The dotted line indicates the *B. bassiana* (Murray)-Amami isolate. Error bars indicate standard error.

キツ株処理区で0%であり、If沖縄株処理区とBb奄美トラップ株処理区で対照区と比較して有意に高い死亡率が認められた (Table 3)。

3. ミカンクロアブラムシに対する病原性

死亡率は、If沖縄株処理区で85.2%、Bb奄美トラップ株処理区で70.1%、Bb奄美ゲッキツ株処理区で78.6%となり、対照区と比較して有意に高い死亡率が認められた (Table 4)。なお、不明個体の割合はIf沖縄株処理区で13.1% (平均5.3頭)、Bb奄美トラップ株処理区で29.9% (10.7頭)、Bb奄美ゲッキツ株処理区で16.1% (3.0頭)であり、対照区の9.3% (2.7頭)より高い傾向にあった。

4. 温度条件が菌叢発達に与える影響

各菌株のIf沖縄株は25°Cと30°Cで菌叢がよく発達し、菌叢の平均直径±標準誤差は、25°Cで36.8±1.7mm、30°Cで36.7±1.7mmと最大になった。Bb奄美トラップ株とBb奄美ゲッキツ株は20°Cと25°Cで菌叢がよく発達した。菌叢の平均直径±標準誤差は、20°Cでは、Bb奄美トラップ株が38.0±0.4mm、Bb奄美ゲッキツ株は35.3±1.1mmであり、25°Cでは、それぞれ、48.4±2.8mm、50.6±1.4mmとなり最も大きくなった (Fig. 1)。30°Cでは、Bb奄美ゲッキツ株とBb奄美トラップ株の菌叢の直径±標準誤差は、それぞれ、23.7±0.7mmと23.9±1.0mmであり、If沖縄株 (36.7±0.7mm)のほうが大きく、32.5°Cでも同様の傾向が見られた (Fig. 1)。なお、10°Cでは、菌叢の直径はIf沖縄株、Bb奄美ゲッキツ株、Bb奄美トラップ株で、それぞれ8.6±0.5mm、7.6±0.2mm、8.2±0.4mmであり、開始時の5.0mmからの発育はわずかだった。また、35°Cでは、いずれの菌株も6.0mmであり、開始時の5.0mmからほとんど発達しなかった (Fig. 1)。

考 察

ミカンキジラミに対しては、今回使用した3菌株は高い殺虫効果を示した (Table 1)。インドネシアのジャワ島のカンキツ園で得られた *I. fumosorosea* (= *Paecilomyces fumosoroseus* (Wize) Brown and Smith) は、 $10^7 \sim 10^9$ 分生子/ml で寄生率が10.0~35.0%

だった (Subandiyah et al., 2000)。また、メキシコで得られた菌株 (*I. fumosorosea*, *B. bassiana*, *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin, *Hirsutella citrififormis* Speare) では、 10^8 分生子/ml を接種し、16日後までの死亡率が40~100%だった (Orduño-Cruz et al., 2015)。一方、アメリカ合衆国で2009年に得られた *I. fumosorosea* は、 10^3 分生子/ml の濃度の分生子懸濁液を葉面に接種することにより、成虫を平均5~6日間ですべて死亡させた (Avery et al., 2009)。実験条件等が異なるため単純な比較はできないが、これらの結果と比較すると、本研究で供試された菌株の病原性は、中程度かやや高い可能性が考えられる。ナシキジラミに対しては、3供試菌株のうちIf沖縄株の病原性が比較的高く (Table 2)、サツマキジラミに対しては、If沖縄株とBb奄美トラップ株の寄生性が高い可能性が示唆された (Table 3)。これらのことから、ミカンキジラミから得られた3菌株は、キジラミ類に対する病原性が異なるが、If沖縄株は3種キジラミ類に対していずれも高い病原性を示した。ミカンクロアブラムシに対しては、いずれの菌株とも病原性を有する結果が得られた (Table 4)。本研究は供試虫数や反復が少なく、昆虫寄生菌に最適な環境下で試験を実施しているため、今後これらを検討することで、より詳細な病原性を明らかにでき、利用可能な天敵として検討する余地ができると考えられる。また、生態系への影響を考慮する視点からは、在来昆虫類に対する影響も確認する必要があると考えられる。

If沖縄株は25~30°C、Bb奄美トラップ株およびBb奄美ゲッキツ株は20~25°Cで菌叢がよく発達した (Fig. 1)。*I. fumosorosea* や *B. bassiana* は20~30°C前後で多くの菌株の菌糸がよく生育する (Fargues et al., 1997; Vidal et al., 1997)。If沖縄株、Bb奄美トラップ株、Bb奄美ゲッキツ株のいずれも、菌糸がよく生育する温度は他の菌株とおおむね同様であることが示唆された。そして、25°C以下ではBb奄美トラップ株とBb奄美ゲッキツ株の菌叢が、If沖縄株よりよく発達し、30°C以上ではIf沖縄株のほうが菌叢の発達がよかった。季節や環境の温度条件により、これらの菌株の発育が異なることが示唆された。なお、鹿児島県の徳之島がある奄美地方や沖縄県の気温と3菌株の発育可能な温度を比較してみると、例えば鹿児島県伊仙町 (徳之島) と沖縄県名護市 (沖縄本島北部) の最寒月の日最低気温の平年値は、それぞれ、12.0°C、13.5°C、最暖月の日最高気温の平年値は、31.4°C、31.8°Cである (気象庁, 2018)。気温条件だけから推測すると、3菌株ともこれらの地域において、通年にわたって生育が可能だと考えられた。

これまで、世界各地でミカンキジラミ寄生菌が分離されている (Samson, 1974; Rivero-Aragon and Grillo-Ravelo, 2000; Ausique et al., 2017)。現在、アメリカ合衆国ではフロリダ州のミカンキジラミから分離された複数の菌株の評価が進められており、一部は製剤化されて市販されている (Avery et al., 2013)。本剤の場合、対象害虫の範囲が幅広いのが特色であり、ミカンキジラミやミカンクロアブラムシに加えて、カンキツ害虫であるヨコバイの一種 *Homalodisca vitripennis* (Germar) (カメムシ目: ヨコバイ科) やゾウムシの一種 *Diaprepes abbreviatus* (Linnaeus) (コウチュウ目: ゾウムシ科) にも効果が確認されている (Hunter et al., 2011)。本研

究で供試した3菌株に関しては、まず、より詳細に病原性や寄生性の評価をおこない、その上で、既に市販されている製剤との比較をおこなって実用性を検討することが、今後の課題であると考えられる。さらに、昆虫寄生菌の宿主範囲、発育条件等について把握することが、環境に負荷の少ない防除技術として検討する際に必要である。昆虫寄生菌は効果を発揮する環境条件が難しいことや、効果が出るまでに時間がかかるといった特性を持つ。そのため、緊急的・集中的な対策として利用するというより、発生地での持続的なカンキツ栽培における、環境に負荷の少ない防除手段としての利用を検討するのがよいと考えられる。その場合、温度や湿度条件が昆虫寄生菌の活動に適している季節（例えば梅雨の季節）に散布するというような処理時期の工夫、ならびに、湿度を保持したり、紫外線の曝露を抑えられるような資材とともに処理するといった処理方法の工夫が必要だと考えられる。

引用文献

- Aubert, B. (1990) In *Rehabilitation of Citrus Industry in the Asia Pacific Region* (B. Aubert, S. Tontyaporn and S. D. Buangsuwon, eds.). UNDP-FAO, Rome, pp. 133–144.
- Ausique, J. J. S., C. P. D'Alessandro, M. R. Conceschi, G. M. Mascarín and I. J. Delalibera (2017) *J. Pest Sci.* 90: 947–960.
- Avery, P. B., W. B. Hunter, D. G. Hall, M. A. Jackson, C. A. Powell and M. E. Rogers (2009) *Fla. Entomol.* 92: 608–618.
- Avery, P. B., D. A. Pick, L. F. Aristizábal, J. Kerrigan, C. A. Powell, M. E. Rogers and S. P. Arthurs (2013) *Insects* 4: 694–711.
- Fargues, J., M. S. Goettel, N. Smits, A. Ouedraogo and M. Rougier (1997) *Mycologia* 89: 383–392.
- 藤川 貴史 (2015) 果実日本 70: 35–41. [Fujikawa, T. (2015) *Kajitsu-nihon* 70: 35–41.]
- Halbert, S. E. and C. Núñez (2004) *Fla. Entomol.* 87: 401–402.
- 堀江宏彰・都外川総明 (2014) 九病虫研究会報 60: 37–42. [Horie, H. and N. Totokawa (2014) *Kyushu Pl. Prot. Res.* 60: 37–42.]
- Hunter, W. B., P. B. Avery, D. Pick and C. A. Powell (2011) *Fla. Entomol.* 94: 1051–1054.
- Husain, M. A. and D. Nath (1927) *Mem. Dept. Agric. India, Entomol. Ser.* 10: 1–27.
- 気象庁 (2018) <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- [Japan Meteorological Agency (2018) <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>]
- 門司植物防疫所 (2012) 植物防疫 66: 348–349. [Moji Plant Protection Station (2012) *Plant Prot.* 66: 348–349.]
- 大石 毅・豊里哲也・諸見里知絵・玉城秀和・上間君子・谷口昌弘・河村 太 (2006) 九病虫研究会報 52: 66–70. [Ooishi, T., T. Toyosato, C. Moromizato, H. Tamashiro, K. Uema, M. Taniguchi and F. Kawamura (2006) *Kyushu Pl. Prot. Res.* 52: 66–70.]
- Orduño-Cruz, N., A. W. Guzmán-Franco, E. Rodríguez-Leyva, R. Alatorre-Rosas, H. González-Hernández and G. Mora-Aguilera (2015) *Biol. Control* 90: 1–5.
- R Core Team (2018) R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Rivero-Aragon, A. and H. Grillo-Ravelo (2000) *Centro Agrícola* 27: 87–88.
- Samson, R. A. (1974) *Stud. Mycol.* 6: 1–119.
- Subandiyah, S., N. Nikoh, S. Tsuyumu, S. Somowiyarjo and T. Fukatsu (2000) *Zool. Sci.* 17: 983–989.
- 都外川総明・堀江宏彰・篠原和孝・湯田達也 (2010) 九病虫研究会報 56: 20–26. [Totokawa, N., H. Horie, K. Shinohara and T. Yuda (2010) *Kyushu Pl. Prot. Res.* 56: 20–26.]
- Vidal, C., J. Fargues and L. A. Lacey (1997) *J. Invertebr. Pathol.* 70: 18–26.