

沖縄本島産ナスミバエの飛翔能力

野田 好孝¹⁾・平原 統・京道 聡史²⁾・小林 貴芳

那覇植物防疫事務所

Flight Ability of Solanum Fruit Fly, *Bactrocera latifrons* (Diptera: Tephritidae) Collected on Okinawa Island. ¹⁾Yoshitaka Noda, Osamu Hirahara, ²⁾Satoshi Kyodo and Kiyoshi Kobayashi (Naha Plant Protection Station, 2-11-1 Minato-machi, Naha-shi, Okinawa, 900-0001 Japan. ¹⁾Yokohama Plant Protection Station, ²⁾Fushiki-Toyoma Sub-station, Nagoya Plant Protection Station). *Res. Bull. Pl. Prot. Japan*. **51**: 27-31 (2015).

Abstract: The flight ability of solanum fruit fly (*Bactrocera latifrons*) was investigated on a wild strain collected on Okinawa Island. Using a flight mill system and speed gun, we measured 12hrs flight duration, flight frequency and flight velocity on days 2, 5, 10, 13, 20 after emergence of male and female adults of *B. latifrons*. Flight duration and flight frequency of females was significantly longer and higher than for males, but there was no significant difference in flight duration per flight and flight velocity between males and females. In addition, there were no significant differences among flying ages after emergence in flight duration, flight frequency, flight duration per flight and flight velocity. In this study, 12hrs flight distances estimated as flight velocity multiplied by flight duration were; males 9.1 km and females 12.7km. We conclude that the flight ability of wild strain females is higher than that of males under laboratory conditions.

Key words: Flight mill, Wild Strain, Flight distance

緒 言

ナスミバエ *Bactrocera latifrons* は、主にナス科の果実を加害するミバエである(小濱, 2014)。国内では1984年に沖縄県と那国島で初確認され、2004年には同島全域に定着しているのが確認された。しかし、沖縄県による不妊虫放飼法などの防除が行われた結果、2009年4月以降本種の寄生果実が発見されていないこと等の沖縄県からの防除効果確認調査の結果を受け、那覇植物防疫事務所は駆除確認調査を実施し、農林水産省は2011年8月に与那国島におけるナスミバエの根絶を公表した(福ヶ迫・岡本, 2012)。

しかしながら、2010年12月、沖縄県が実施したミバエ類侵入警戒調査において、沖縄本島中部地区の中城村で採集したナス生果実から本種が与那国島以外で初めて発見された。その後の調査で、中部地区を中心に北部地区及び南部地区でも発生していることが判明した(小濱, 2014)。本種は主に家庭菜

園や露地は場のトウガラシ、キダチトウガラシ及びテリミノイヌホオズキで確認されているものの(佐渡山ら, 2014)、沖縄県等による防除対策により経済園地において大きな農業被害は出ていない。現在、沖縄県にはナスミバエを除いて有害ミバエが存在していないことから、本種が今後沖縄島内において生息域を広げ、そして沖縄島周辺の島々、宮古・八重山諸島、さらには南西諸島を北上し、奄美諸島あるいはそれ以北に達する可能性があることを小濱(2014)は指摘しているが、本種はミカンコミバエ等とは異なり、急激にまん延して大きな農業被害をもたらすものではなく、通常防除が行われていれば被害がないと判断がされている(農林水産省, 2014)。また、本種の成虫は、その低温耐性から、日本では種子島北部では越冬することが難しいと考えられており(Takano, 2014)、日本本土での越冬の可能性は小さいと推測される。

しかしながら、本種の繁殖能力は、ウリミバエやミカンコミバエに比べて低い(小濱, 2014)ものの、現在、本種の有効

¹⁾横浜植物防疫所業務部輸出検疫担当

²⁾名古屋植物防疫所伏木富山支所

なモニタリング手法は寄主果実調査しかなく、低密度で発生している場合には本種の検出が非常に困難であること(松山、2012)から、新たな地域で本種が発見された場合、既に広範囲で発生している可能性が高い。

本試験は、ナスミバエ成虫の潜在的な飛翔能力や雌雄別の分散能力を推定することで、万が一新たな地域で本種が発見された場合の防除範囲の設定や発生地におけるモニタリング範囲の設定を行うための基礎資料とすることを目的に、沖縄本島で発生しているナスミバエを用いて、飛翔能力に関する調査を行った。

材料及び方法

ナスミバエは国内の一部のみに発生している害虫であることから、那覇植物防疫事務所長に利用届を提出して、散逸防止措置を図った上、那覇植物防疫事務所飼育施設内において管理した。飼育及び飛翔能力試験は、温度 $27.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $60 \pm 10\%$ 、明期14時間：暗期10時間(なお、明期は6時～20時、うち6時～8時は薄明、18時～20時は薄暮で設定)の条件下で行った。

1. 供試虫

2013年5月～6月に沖縄本島中部地区の読谷村でナスミバエの寄主果実であるテリミノイヌホオズキを採取した。採取したテリミノイヌホオズキの生果実から羽化したナスミバエ262頭を飼育用金属ケージ(300×300×410mm)内で飼育し、その中にナス生果実(九州産150～200g)をおいて、12時間～72時間程度自由産卵させた。産卵させたナス生果実は、砂を敷いたプラスチックタッパー(287mm×357mm×120mm)内にて保管した。その後、蛹を回収し、プラスチックカップに入れ金属製ケージ(180×180×220mm)内に静置した。羽化した成虫は、雌雄を分けずに入れ、平林ら(2012)の試験同様、羽化後日齢(以下、日齢とする)2、5、10、13、20日まで飼育して供試虫とした。なお、試験に供試するまで成虫飼料として加水分解酵母(AY-65、アサヒフードアンドヘルスケア)及びグラニュー糖の混合物(配合割合1:4)、給水用として寒天(寒天48g：水道水5ℓ)を与えた。

2. 方法

本試験では、平林ら(2012)が作製したフライトミルを用いて飛翔時間、飛翔回数を測定するとともに、角田・守屋(2008)により考案された、スピードガンで測定した飛翔速度にフライトミルで測定した飛翔時間に乗じる方法で飛翔距離の推定も行った。なお、フライトミル及びスピードガン(Applied Concepts社製「Stalker Pro[®]」)による飛翔時間、飛翔回数及び飛翔速度の測定はすべて平林ら(2012)の方法で行った。

(1) フライトミルでの飛翔時間、飛翔回数の測定

フライトミルは、ローターの長さ20cm(回転半径10cm)、回転軸は昆虫針5号(志賀昆虫普及社)、平均重量は0.60g(0.25～0.72g)で、回転回数及び回転時間は赤外線センサー(Keyence社製「PS52T」)でカウントした情報を、パソコンの集計ソフト(ADTEC SYSTEM SCIENCE社製「Daisy Lab[®] 7.0 J」)で記録した。供試虫のフライトミルへの接着は、虫体への影響のみられない低温麻酔(平林ら、2012)を行った後、胸部背面へ接着剤(ボンドG17、コニシ社製)を用いて行った。供試頭数は、各日齢・雌雄毎に34～38頭合計354頭で、測定1回につき雌雄各5頭ずつ供試し、平林ら(2012)の試験と同様、おおむね午前9時に開始し、薄暮期を含む12時間の飛翔時間(以下、飛翔時間という。)及び飛翔行動を行った回数(以下、飛翔回数という。)を5秒間の間隔で測定した。なお、5秒間に6回以上カウントした場合を飛翔とし、測定中に脱落した個体及び1度も飛翔しなかった個体はデータから除外した。

(2) スピードガンでの飛翔速度測定

飛翔速度の測定は、2日齢の雌雄各50頭をそれぞれ金属製ケージ(20×20×25cm)内へ放飼し、飛翔する供試虫をスピードガンで3分間測定した。3分間の測定中にスピードガンに表示された最高値を記録した。この個体群はそのままケージ内で飼育を続け、5、10、13、20日齢についても同様に測定した。測定は2日齢～20日齢のそれぞれ各4～6回実施した。

(3) 統計解析

統計解析は、飛翔時間、飛翔回数、飛翔時間を飛翔回数で割った飛翔1回あたりの飛翔時間(以下、1飛翔あたりの時間)、飛翔速度の4要素で評価した。飛翔速度以外については得られた測定値を対数変換後に、雌雄と日齢を要因とする

Table 1. Comparison of the average flight duration, flight frequency and flight duration per flight of *B. latifrons*

	Sex	This study					Former study (Hirabayashi <i>et al.</i> , (2012))
		Days after emergence					Days after emergence 2～20
Flight duration (second)	♂	3,311	2,873	2,234	2,981	911	150～876
	♀	4,381	4,115	4,520	4,197	3,607	329～926
Flight frequency (No. of times)	♂	108.05	77.29	74.97	95.77	38.46	5.78～22.32
	♀	135.33	104.19	136.30	138.45	144.66	11.21～19.56
Flight duration per flight (second)	♂	181.96	228.67	70.28	64.89	34.85	24.25～59.89
	♀	59.03	102.72	107.77	122.53	54.05	18.58～50.34
No. of individuals	♂	36	34	34	35	35	130
	♀	36	38	36	35	35	130

*: a significant difference (Tukey-Kramer's HSD test, $p < 0.05$)

二元配置分散分析を行った。なお、対数変換に際しては、山村(2002)に従い、測定値の最小単位の数値の半分(飛翔時間及び1飛翔あたりの時間については2.5、飛翔回数については0.5)を測定値に加えた後、変換を行った。飛翔速度については、測定値を、雌雄と日齢を2要因とする二元配置分散分析を行った。また、雌雄間に差の認められた飛翔形質については、多重比較検定(Tukey-Kramer's HSD test)を行った。

なお、本解析には、統計解析ソフトのJMP® 9.0.0 (SAS Institute INC. Cary, NC, USA)を用いた。

結 果

1. 飛翔時間、飛翔回数及び1飛翔あたりの時間

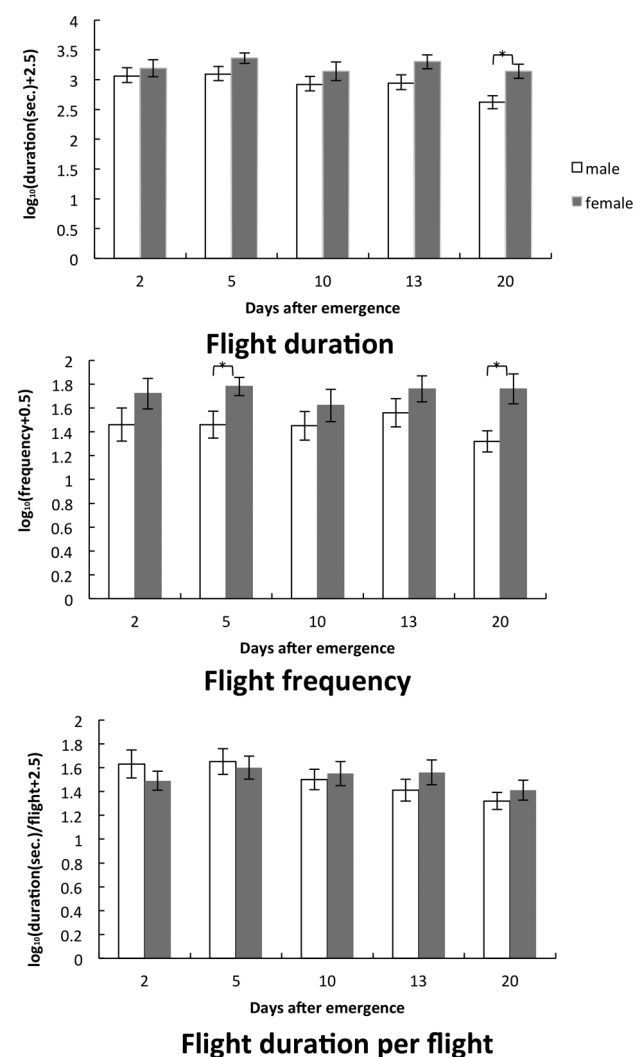
Table 1及びFig. 1に、日齢別、雌雄別の飛翔時間、飛翔回数及び1飛翔あたりの時間を示した。

飛翔時間の各日齢での平均は、雄911～3,311 (s)、雌3,607～4,520 (s)で、Table 2及びFig. 1に示したとおり、日齢間には有意差は認められなかった(対数変換後二元配置分散分

析、 $F(4)=2.0291$, $p>0.05$)ものの、雌が有意に雄より飛翔時間が長かった(対数変換後二元配置分散分析、 $F(1)=13.9557$, $p<0.01$)。また、20日齢の飛翔時間は雌が有意に長かった(Tukey-Kramer's HSD test, $p<0.05$)。

飛翔回数の各日齢での平均は、雄38～108 (回)、雌104～145(回)で、Table 3及びFig. 1に示したとおり、日齢間には有意差は認められなかった(対数変換後二元配置分散分析、 $F(4)=0.4317$, $p>0.05$)ものの、雌が有意に雄より飛翔回数が多かった(対数変換後二元配置分散分析、 $F(1)=14.0755$, $p<0.01$)。また、5日齢及び20日齢の飛翔回数は雌が有意に多かった(Tukey-Kramer's HSD test, $p<0.05$)。

1飛翔あたりの時間の各日齢での平均は、雄35～229 (s)、雌54～123 (s)であった。Table 4及びFig. 1に示したとおり、1飛翔あたりの時間は、日齢間(対数変換後二元配置分散分析、 $F(4)=2.0200$, $p>0.05$)及び雌雄(対数変換後二元配置分散分析、 $F(1)=0.1021$, $p>0.05$)で有意差は認められなかった。



*: a significant difference (Tukey-Kramer's HSD test, $p<0.05$)

Fig. 1. Flight ability of *Bactrocera latifrons* measured by flight mill. Bars show the standard error.

Table 2. Influence of Days after emergence and Sex on Flight duration

Factor	SS	df	F value	p value
Days after emergence	4.7165295	4	2.0291	0.0899 NS
Sex	8.1097268	1	13.9557	0.0002 **
Days after emergence×Sex	1.6248649	4	0.6990	0.5931 NS

NS: not significant difference, **: significant difference at $p<0.01$

Table 3. Influence of Days after emergence and Sex on Flight frequency

Factor	SS	df	F value	p value
Days after emergence	0.8352684	4	0.4317	0.7857 NS
Sex	6.8079036	1	14.0755	0.0002 **
Days after emergence×Sex	0.7623493	4	0.3940	0.8129 NS

NS: not significant difference, **: significant difference at $p<0.01$

Table 4. Influence of Days after emergence and Sex on Flight duration per flight

Factor	SS	df	F value	p value
Days after emergence	2.5786960	4	2.0200	0.0912 NS
Sex	0.0325897	1	0.1021	0.7495 NS
Days after emergence×Sex	0.9294413	4	0.7281	0.5733 NS

NS: not significant difference

Table 5. Influence of Days after emergence and Sex on Flight velocity

Factor	SS	df	F value	p value
Days after emergence	5.9970333	4	0.6141	0.6550 NS
Sex	2.2252262	1	0.9225	0.3426 NS
Days after emergence×Sex	6.1127000	4	0.6259	0.6468 NS

NS: not significant difference

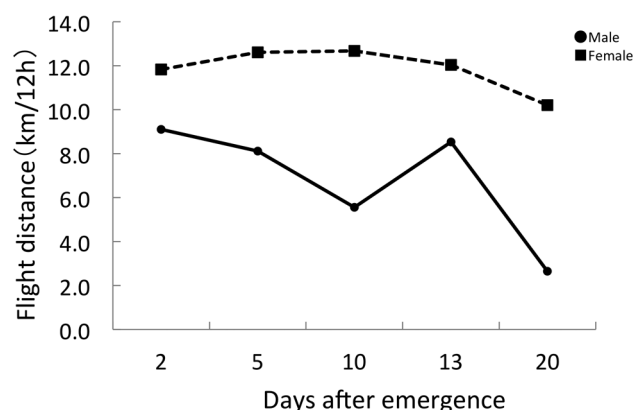


Fig. 2. Flight distance per 12hrs of *Bactrocera latifrons*.

2. 飛翔速度

スピードガンで測定した飛翔速度の平均は、雄：2日目9.9 (km/h)、5日目10.2 (km/h)、10日目9.0 (km/h)、13日目10.3 (km/h)、20日目10.5 (km/h)、雌：2日目9.7 (km/h)、5日目11.0 (km/h)、10日目10.6 (km/h)、13日目10.3 (km/h)、20日目10.2 (km/h)であった。

Table 5に示したとおり、飛翔速度は日齢間（二元配置分散分析、 $F(4)=0.6141$, $p>0.05$)及び雌雄（二元配置分散分析、 $F(1)=0.9225$, $p>0.05$)で有意差は認められなかった。

3. 飛翔距離の推定

日齢ごとに、飛翔速度に12時間の飛翔時間を乗じて12時間あたりの飛翔距離を推定した（Fig. 2）。雌雄の最長飛翔距離（日齢）は、雄9.1km（2日齢）、雌12.7km（10日齢）であった。

考 察

1. 雌雄の飛翔能力の比較

沖縄本島産ナスミバエ野生系統を用いた今回の試験では、1飛翔あたりの時間には、雌雄間に有意な差がなかったが、雌の方が雄に比べて飛翔時間は有意に長く（Table 2）、飛翔回数も有意に多かった（Table 3）。この結果は、種が異なるものの、Nakamori and Simizu(1983)によるウリミバエの雌の方が雄に比べて飛翔時間が長いという結果と一致する。これらの結果から、ナスミバエ野生系統の飛翔能力は、雌の方が雄より高いと考えられる。

ただし、今回の試験では餌や水分を与えないで飛翔行動を12時間計測したため、体内に蓄えられているエネルギーの雌雄間差が結果に影響した可能性も否定できない。これを明らかにするためには雌雄の体内に蓄えられているエネルギーが飛翔能力に与える影響について調査する必要がある。

2. 日齢間の飛翔能力の比較

今回の野生系統を用いた試験においては、日齢間で飛翔能力に有意な差はなかった（Table 2～Table 5）。平林ら(2012)の報告では、ミカンコミバエとナスミバエの雄では、2日齢の飛翔時間が最も短く、その後急激に飛翔時間が長くなったことから、Nakamori and Simizu(1983)によるウリミバエの試験と同様に、2日齢のナスミバエでは外骨格と飛翔筋が十分に発達していないことが考えられると述べている。しかし、平林ら(2012)の結果は、今回の試験より飼育温度が0.5℃低かったことから成虫の生育が遅かった可能性、もしくは累代飼育による影響を受けている可能性が考えられる。今回の結果からは、野生のナスミバエは27℃で餌や水分が十分にある条件下では、雌雄とも2日齢では既に十分に飛翔できる能力を獲得しているのではないかと考えられた。

3. 累代飼育による飛翔能力への影響

今回供試した野生系統の沖縄本島産ナスミバエは雌雄とも、平林ら(2012)の供試した約90世代の与那国産ナスミバエより、飛翔時間は長く、飛翔回数も多く、1飛翔あたりの時間も

長かった（Table 1）。

ウリミバエでは、野生系統と大量増殖系統の野外での分散能力の比較試験において、累代飼育の比較的早い段階で、大量増殖系統の虫に分散能力の低下が認められ（添盛・久場、1983）、フライトミルを用いた試験では、15世代累代飼育を行ったウリミバエは野生虫と比較して飛翔時間が低下したとの報告（Nakamori and Simizu, 1983）がある。本試験と平林ら(2012)とでは、供試虫の由来、飼育・実験温度及び幼虫飼料が異なっているが、ナスミバエにおいても、少なくとも約90世代の累代飼育により飛翔能力が大きく低下する可能性があることを示唆している。しかしながら、本調査においては、累代飼育の影響に関する試験及び統計解析を行っていないため、ナスミバエの累代飼育による飛翔能力の評価について追加調査を行う必要がある。

4. 移動分散の推定

小濱(2014)も述べているとおり、ナスミバエの飛翔力や移動分散についての研究は、Peck and McQuate(2004)及び平林ら(2012)の報告のみで、長距離移動についての情報はない。

また、小濱(2014)は、ナスミバエの飛翔能力はミカンコミバエより劣るかもしれないが、ナスミバエが野外においてあまり分散しないということを示している訳ではないとしている。

フライトミルによる測定は、室内の特殊な条件下での測定値であるため、野外での飛翔距離については、標識再捕獲法などによって、調査されるべきである。ただし、同一条件下での飛翔能力を比較する手段としては、有力な武器となると考えられており（伊藤・守屋、1985）、今回のような雌雄間や日齢間の潜在的な飛翔能力の比較を行うには、フライトミルによる調査が適している。

今回の調査では、ナスミバエ野生系統の12時間の飛翔距離は、ナスミバエ雄9.1km、雌12.7kmで、雄3.0km、雌2.7kmと推定した平林ら(2012)と大きく異なり、また飛翔時間、飛翔回数、1飛翔あたりの時間のすべての調査項目で異なる結果を示した（Table 1）。本調査では、沖縄本島内で採取したテリミノイヌホオズキの生果実から羽化した成虫をナス生果実に採卵させ羽化したナスミバエを供試した。本調査で得たナスミバエの潜在的な飛翔能力は、累代飼育の影響をほとんど受けていないため、野外の個体群の飛翔能力とは大きく異なっていないと考える。平林ら(2012)は、約200世代人工飼育したミカンコミバエ種群と約90世代人工飼育したナスミバエのフライトミルによる飛翔データを比較した相対的飛翔能力を基に、ナスミバエの発見時の調査範囲はミカンコミバエ種群と同等かそれ以下に設定しても良いと報告しているが、ミカンコミバエ種群とナスミバエの潜在的な飛翔能力について比較するためには、飛翔能力の低下の可能性となる要因は取り除いた上で、改めて検討をする必要があるだろう。

ナスミバエは、発育期間が長い、繁殖能力が低い、生育や繁殖に適した温度の範囲が狭く、低温に弱い、個体群が低いレベルで維持される、主要な寄主はナス科で寄主範囲は狭いという生物学的特性であることから、害虫としての重要性は低いと考えられている一方、沖縄島に限って言えば、潜在的に重

要な害虫と位置づけられている(小濱,2014)。

また、本種は植物防疫所において実施されているミバエ類等侵入警戒調査の対象病害虫であることから、沖縄本島内のナスミバエの発生動向については、常に沖縄県から情報収集し、対応に協力しているところである。

新たな地域で本種が発見された場合の防除範囲の設定や発生地におけるモニタリング範囲の設定は、その病害虫の生物学的特性の他、気象条件や発生状況等を基に設定される。今回の結果は、ナスミバエ野生系統の潜在的な飛翔能力について明らかにしたが、平林ら(2012)も述べているとおり、野外での飛翔距離として取り扱うことは適当ではなく、飛翔能力の比較をする上での一つの指標ととらえるべきである。

謝 辞

本試験の設計については横浜植物防疫所成田支所の平林千鶴氏に多大なるご協力をいただいた。また、論文考察においては、沖縄県病害虫防除技術センターの松山隆志氏に、貴重なご意見をいただいた。この場を借りてお礼申し上げる。

引用文献

- 福ヶ迫晃・岡本昌洋(2012) 与那国島におけるナスミバエの根絶達成. 植物防疫 **66**: 13-17.
- 平林千鶴・小森一也・城間良昭・岡本昌洋・濱上昭人(2012) ナスミバエとミカンコミバエの飛翔能力の比較. 植防研報 **48**: 19-26.
- 伊藤清光・守屋成一(1985) フライトミルの作り方と取り扱い. 植物防疫 **39**: 183-185.
- 小濱継雄(2014) 沖縄島に侵入したナスミバエ:発生経緯と防除対策および今後の課題. 沖縄県農業研究センター研究報告 **8**: 1-18.
- 松山隆志(2012) 南方系侵入ミバエ類の根絶技術に関する一連の研究. 沖縄県農業研究センター研究報告 **6**: 60-90.
- Nakamori, H. and K.Simizu (1983) Comparison of Flight Ability between Wild and Mass-Reared Melon Fly, *Dacus cucurbitae* COQUILLET (Diptera: Tephritidae), Using a Flight Mill. *Appl. Ent. Zool.* **18**: 371-381.
- 農林水産省 (2014) 沖縄県におけるナスミバエの防除について. http://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/keneki/k_kokunai/nasumi/nasumi.html (2014年4月8日公表).
- 佐渡山安常・山岸正明・嘉数怜・守屋信生・原口大・安藤緑樹 (2014) 沖縄本島におけるナスミバエの発生状況. 応動昆 **58**: 3(講要).
- 添盛浩・久場洋之(1983) ウリミバエの大量累代増殖2系統と野生系統の野外における分散能力の比較. 沖縄県農業試験場研究報告 **8**: 37-41.
- Peck, S. L. and G. T. McQuate (2004) Ecological aspects of *Bactrocera latifrons* (Diptera: Tephritidae) on Maui, Hawaii: movement and host preference. *Environ. Entomol.* **33**: 1722-1731.
- Takano, S. (2014) Survival of *Bactrocera latifrons* (Diptera: Tephritidae) adults under constant and fluctuating low temperatures. *Appl. Ent. Zool.* **49**: 411-419.
- 角田隆・守屋成一 (2008) フライトミルとスピードガンを組み合わせた昆虫の飛翔距離推定法. 植物防疫 **62**: 393-396.
- 山村光司 (2002) 正しい分散分析結果を導くための変数変換法. 植物防疫 **56**: 436-441.

