



不同恆溫對瓜實蠅（雙翅目：果實蠅科）幼蟲寄生蜂 *Psytalia fletcheri*（膜翅目：小繭蜂科）存活率與寄生能力之影響

黃琬庭¹、吳怡慧²、莊益源^{1*}

¹ 國立中興大學昆蟲學系 402 台中市南區興大路 145 號

² 行政院農業委員會苗栗區農業改良場生物防治分場 苗栗縣大湖鄉民族路 42 號

* 通訊作者 email: chuangyiyu@nchu.edu.tw

收件日期：2018 年 4 月 30 日 接受日期：2018 年 8 月 3 日 線上刊登日期：2018 年 9 月 4 日

摘 要

本研究在 4 種恆溫（18、23、28、33°C）環境下，測試寄生於瓜實蠅（*Zeugodacus cucurbitae* (Coquillett)）（雙翅目：果實蠅科）幼蟲的單員內寄生蜂（solitary larval endoparasitoid）*Psytalia fletcheri* (Silvestri)（膜翅目：小繭蜂科）的壽命、不同日齡期雌寄生蜂的寄生能力及存活率，與其子代發育時間。結果顯示 *P. fletcheri* 成蟲平均壽命隨溫度上升而縮減，在 18°C 時最長，雌、雄寄生蜂分別為 20.4、18.7 日，分別與 23°C 時無顯著差異，但與 28、33°C 則呈顯著差異。*P. fletcheri* 雌寄生蜂均能在 18、23、28°C 等 3 種溫度環境下，自羽化後第 2 日齡起，成功寄生瓜實蠅第 3 齡幼蟲而產出子代，隨日齡變化之平均累計子代數的迴歸分析中，發現在 23°C 環境下比其他二種溫度具有顯著最高的繁殖潛能，平均每一雌寄生蜂一生約可產 85.8 隻子代。而 *P. fletcheri* 子代在此 3 種溫度下的發育時間，則隨溫度增加而縮短，由卵發育至羽化為雌寄生蜂分別需要 36.0、20.3 及 15.8 日，三種溫度處理間呈現顯著差異。本研究之發現可應用於設定室內飼育溫度，縮短大量繁殖此寄生蜂的時程，或作為配合田間溫度應用於瓜實蠅生物防治之參考。

關鍵詞：瓜實蠅、幼蟲寄生蜂 (*Psytalia fletcheri*)、溫度、存活率、寄生能力。

前 言

雙翅目果實蠅科 (Diptera: Tephritidae) 中多種經濟害蟲除了嚴重影響蔬果產量，更常造成新鮮果品外銷的檢疫問題 (Purcell, 1998; Vargas *et al.*, 2015, 2016)。瓜實蠅 (*Zeugodacus cucurbitae* (Coquillett)) 廣泛分布於溫帶、亞熱帶、熱帶等地區，主要危害葫蘆科 (Cucurbitaceae) 作物，有紀錄可危害 125 種寄主植物，其雌成蟲於瓜類結果期產卵於瓜果內，幼蟲孵化後取食瓜果組織造成損

害，常導致外觀畸形或果肉腐爛，而嚴重影響品質與產量 (Weems, 1964; White and Elson-Harris, 1994; Dhillon *et al.*, 2005; Vargas *et al.*, 2012; De Meyer *et al.*, 2015)。

生物防治是應用於果實蠅類害蟲的重要防治策略之一，將室內大量飼育的寄生蜂釋放至田間，藉由其對特定果實蠅類或特定生活期的搜尋與寄生能力，可降低標的寄主的族群密度；若配合其他防治措施，諸如田間衛生管理、食物餌劑或特定雄蟲誘殺劑、套袋或溫網室等物理阻隔等技術，可達到減

輕化學防治所造成的負面影響與風險，為相當具有潛力的管理策略 (Knippling, 1992; Vargas *et al.*, 2008, 2015)。前人相關的研究均證實，田間釋放 *Diachasmimorpha tryoni* (Cameron)、*D. longicaudata* (Ashmead)、*Fopius arisanus* (Sonan)、*Psytalia fletcheri* (Silvestri) 等膜翅目小蘗蜂科 (Hymenoptera: Braconidae) 寄生蜂後，均分別能提升對標的果實蠅類的寄生率，有效降低此等果實蠅類的族群密度 (Haramoto and Bess, 1970; Wong *et al.*, 1984, 1991, 1992; DeBach and Rosen, 1991; Vargas *et al.*, 1993, 2004, 2007, 2008; Purcell and Messing, 1996; Rouse *et al.*, 2005)。

美國針對果實蠅類害蟲的防治，曾研究及測試很多生物防治相關的技術 (Vargas *et al.*, 2008, 2015, 2016)。十九世紀末期，夏威夷曾因瓜實蠅入侵與危害多種經濟作物，因此陸續引進多種寄生性與捕食性天敵進行防治，其中以寄生於瓜實蠅幼蟲的單員內寄生蜂 (solitary larval endoparasitoid) *P. fletcheri* 為表現較為優異者之一 (Willard, 1920; Nishida, 1955)。*P. fletcheri* 1916 年自印度引進夏威夷，三年後已在當地立足並建立其田間族群，可從田間受瓜實蠅危害的瓜類果實中採得此蟲源，並確認其為對瓜實蠅專一性較高的寄生蜂 (Fullaway, 1920; Willard, 1920)，雖然無法單靠 *P. fletcheri* 在田間完全撲滅瓜實蠅，但此寄生蜂確實降低了瓜實蠅的族群密度，約經過一個世紀，*P. fletcheri* 仍是應用於瓜實蠅生物防治最具潛力的寄生性天敵 (Wong and Ramadan, 1992; Bautista *et al.*, 2000; Vargas *et al.*, 2004, 2008, 2012; Harris *et al.*, 2010)。

然而，生物防治技術中，天敵對氣候環境的適應程度，被列為篩選天敵應用於生物防治的重要指標 (van Lenteren, 1986)，而溫度更被認為是判斷應用天敵時，對環境適應程度的最主要因素 (Loni, 1997; Appiah *et al.*, 2013)。例如 *F. arisanus* 幼期的發育時間與溫度呈負相關，而飛行能力與寄生行為則隨溫度呈正相關，但其在澳洲的分布會因為冬季氣溫太低而受限制 (Snowball and Lukins, 1964; Rouse *et al.*, 2009; Appiah *et al.*, 2013)；Kroder and Messing (2010) 從肯亞引進另一種可適應較低溫環境的 *Fopius ceratitivorus* Wharton (Hymenoptera: Braconidae) 到夏威夷，評估其應用於防治地中海果實蠅 (*Ceratitis capitata* (Wiedemann)) 的適用性時，發現此寄生蜂可以適

應較寬廣的氣溫條件及其較長的壽命，因此，認為 *F. ceratitivorus* 可彌補 *F. arisanus* 較不適合低溫環境的限制，而共同應用於地中海果實蠅的生物防治。

在室內大量繁殖寄生蜂或田間應用於生物防治時，溫度為影響寄生蜂壽命、活動能力及寄生表現的重要因子 (Wong and Ramadan, 1992; Rouse *et al.*, 2009; Kroder and Messing, 2010; Appiah *et al.*, 2013)。因此，本研究擬在室內經由不同恆溫處理，探討 *P. fletcheri* 在此等環境下的生存、寄生表現及其子代發育情形，做為評估未來應用於室內大量繁殖與田間防治瓜實蠅之參考。

材料與方法

一、試驗用蟲

1. 瓜實蠅之大量飼養

本試驗之瓜實蠅蟲源，包括 2013 年 8 月由行政院農業委員會農業試驗所應用動物組提供其繼代繁殖之瓜實蠅蛹體一批，羽化後進行室內飼育；此外，2015 年 8 月於臺中市新社地區採集田間受害苦瓜內的幼蟲，待其羽化為成蟲且經鑑定確認後，與前者室內繼代族群合併飼育。瓜實蠅幼蟲人工飼料配方沿用與改良自 Liu and Shiao (1984) 及 Chang *et al.* (2004) 的飼料配方，包含 1000 ml 逆滲透 (reverse osmosis, RO) 水、72 g 細砂糖 (台灣糖業股份有限公司，高雄，台灣)、48 g 食用酵母粉 (Guangdong Jiangmen Center For Biotech Development, 廣東，中國)、0.8 g 苯甲酸鈉 (Methyl ρ -Hydroxybenzoate, Wako Pure Chemical Industries, Osaka, Japan)、120 g 麥麩 (群豐小雞飼料用品店，台中，台灣)、5 ml 鹽酸 (36% hydrochloric acid, Wako Pure Chemical Industries, Osaka, Japan) 等，幼蟲飼育於 28 ± 1 °C 的恆溫生長箱 (CEN-520，聖力儀器有限公司，臺灣)；成蟲飼育於 25 ± 1 °C 的走入式生長箱 (F-560DHN，聯發公司，臺灣)，餵食包含細砂糖、酵母粉 (extract of autolysed yeast cells, Becton, Dickinson and Company, Spark, USA) 及蛋白脛 (enzymatic digest of protein, Becton, Dickinson and Company, Spark, USA) 三者以 3 : 1 : 1 混合之成蟲飼料，繼代繁殖之瓜實蠅幼蟲作為後續試驗之測試昆蟲。

2. 瓜實蠅幼蟲寄生蜂 *P. fletcheri* 之大量飼養

瓜實蠅的幼蟲寄生蜂 *P. fletcheri* 由行政院農業

委員會苗栗區農業改良場生物防治分場提供蟲源後進行繼代飼育，寄生蜂成蟲飼育於壓克力飼育箱 (30 × 30 × 30 cm) 中，供給以餐巾紙吸附的稀釋蜂蜜 (Lover Honey Shooping Co. Ltd., Taiwan) (RO 水：蜂蜜=1:1) 作為食物，另以吸附 RO 水之海棉供給水分，飼育於光週期為 12L:12D，溫度為 23 ± 1°C 的恆溫生長箱中。參考 Bautista *et al.* (2000) 的試驗結果，選取其偏好寄生的瓜實蠅 3 齡初-中期幼蟲供其寄生，配合本研究瓜實蠅飼育溫度條件，約為孵化後第 3 日的幼蟲，室內繼代飼育寄生蜂時，逢機選取約 500 隻幼蟲 (含幼蟲人工飼料) 置入寄生用培養皿 (oviposition equipment) (改良自 Wong and Ramadan (1992)) 中，此裝置為直徑 9 cm 培養皿，上蓋為中央鏤空且裝設絹網 (100 目網) 的軟質塑膠上蓋，可防瓜實蠅幼蟲逃脫，但可供雌寄生蜂將產卵管穿過絹網產卵於瓜實蠅幼蟲 (附圖一)，再將此培養皿放入壓克力飼育箱中供雌寄生蜂寄生，24 h 後取出並打開上蓋後，放置於含細木屑的塑膠盒中，待完成發育的瓜實蠅幼蟲跳入木屑中化蛹，再經 24 h 後收集瓜實蠅蛹體置於布丁杯中，並放入木框網籠 (30 × 30 × 30 cm) 內，待未被寄生者羽化為瓜實蠅成蟲後，將剩餘可能遭寄生之蛹體移至另一壓克力飼育箱，待寄生蜂子代羽化，重複上述相同步驟，建立此寄生蜂子代族群，供作後續相關試驗之蟲源。

二、*Psytalia fletcheri* 在不同溫度下的生物特性探討

自上述飼養之蟲源逢機選取同一天羽化之 *P. fletcheri* 雌、雄寄生蜂 (第 1 日齡) 各 10 隻，放入每一個壓克力試驗箱 (15 × 15 × 15 cm) 中，於試驗期間每日更新 1:1 蜂蜜稀釋液和 RO 水，分別將相同處理之試驗箱放置於 18、23、28 及 33°C 等 4 種恆溫箱中，光週期為 12L:12D、相對溼度為 60.0 ± 5.0%，每 1 處理 4 重複。

1. 寄生蜂的平均壽命

逐日紀錄各溫度處理下之雌、雄寄生蜂的存活情形，先分別計算每一處理中 10 隻雌或雄寄生蜂的平均存活天數，再以 4 重複平均值估算在各恆溫環境下寄生蜂成蟲的平均壽命。

2. 雌寄生蜂的寄生能力

在 4 種恆溫處理下，自 *P. fletcheri* 寄生蜂羽化第 1 日齡起，逐日各供給 150 隻瓜實蠅 3 齡初期幼蟲，放入寄生用培養皿內，供雌寄生蜂寄生產卵，24 h 後取出並更新，將取出之培養皿中的瓜實蠅幼

蟲挑至含木屑的塑膠杯後，再放回原設定的測試溫度環境，待瓜實蠅幼蟲化蛹後收集蛹體並放入測試箱，將未被寄生者所羽化的瓜實蠅成蟲移除後，待可能遭寄生的蛹體在原設定溫度下羽化為寄生蜂後，紀錄雌寄生蜂在各日齡時平均可成功寄生並產出的子代數量，將隨日齡增加的平均累計子代數以 MS (Microsoft® office) Excel 進行簡單線性迴歸分析 (simple linear regression analysis)，得出相對於雌寄生蜂日齡的累計子代數迴歸分析線 (regression analysis line) 及迴歸方程式 (regression equation)，隨後分別統計雌寄生蜂在各恆溫下，從第 1 日齡起的平均累計子代數，分別以 1~5、1~10、1~15 及 1~17 等 4 種日齡區間為代表，檢定 4 種區間累計子代數的差異性，探討 *P. fletcheri* 雌寄生蜂在不同恆溫下的繁殖潛能。

3. 雌寄生蜂各日齡的存活率

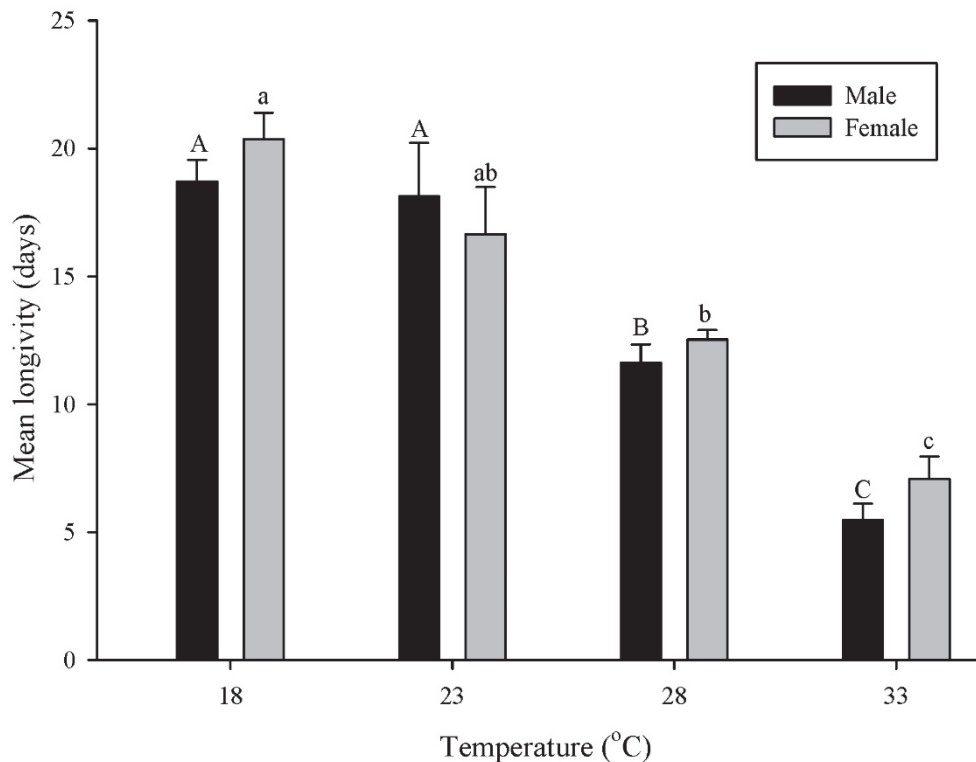
於各恆溫下以 *P. fletcheri* 雌寄生蜂的存活數量，換算隨日齡增加之平均存活率，以上述相同之簡單線性迴歸分析模式，分別求出各定溫下的日齡存活率迴歸線及迴歸方程式，後續以雌寄生蜂具產出子代能力的各定溫處理進行檢定，分別以 1~5、1~10、1~15 及 1~17 等 4 種日齡區間為代表，將日齡代入各溫度之迴歸方程式後，檢定不同恆溫下雌寄生蜂在各日齡區間存活率的差異性。

4. 子代發育時間及雌雄比率

在不同恆溫試驗過程，分別記錄 *P. fletcheri* 子代發育時間，並分析比較溫度對子代發育之影響。待各恆溫處理子代羽化為成蜂後，先分別計算每一處理中子代雌、雄寄生蜂數量，換算為雌寄生蜂/雄寄生蜂的比率，再以 4 重複進行統計，分析各恆溫下子代雌雄性比率。

三、統計與分析

Psytalia fletcheri 在不同溫度下雌、雄寄生蜂的平均壽命，子代發育時間及雌雄比以 SAS (Version 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) 進行單向變方分析 (one-way analysis of variance, one-way ANOVA)，再以 Tukey honest significant difference (HSD) 進行事後檢定，比較不同恆溫間的差異。*P. fletcheri* 雌寄生蜂在不同恆溫下，日齡與累計子代數間的相關性分析，先以簡單線性迴歸分析得出迴歸方程式後，將雌寄生蜂在 4 種代表日齡區間的累計子代數，以 SAS 統計軟體 one-way ANOVA 及 HSD test 進行分析與檢定；以上述相同方法，進行 *P. fletcheri* 雌寄生蜂的存活率分析，百



圖一 不同恆溫下 *P. fletcheri* 雄、雌寄生蜂的平均壽命。

Fig. 1. Longevity (mean \pm SE) of *P. fletcheri* held at various temperatures. Mean marked with the same letters (uppercase: male; lowercase: female) are not significantly different (ANOVA, Tukey's HSD test at $p=0.05$).

分比數據經轉角轉換後再進行分析，而以未轉換數據呈現於圖表中。

結 果

一、*Psytalia fletcheri* 在不同溫度下的平均壽命

在 4 種恆溫處理下，*P. fletcheri* 雌、雄寄生蜂的平均壽命，均以在 18°C 恆溫時最長，分別均與 23°C 時無顯著差異，但與 28 及 33°C 時則呈顯著差異。雌寄生蜂的平均壽命在 18、23、28 及 33°C 等 4 種恆溫時，分別為 20.4 ± 1.0 、 16.7 ± 1.8 、 12.5 ± 0.4 及 7.1 ± 0.9 日 ($F=24.35$; $df=3, 12$; $p<0.0001$)；而雄寄生蜂的平均壽命則分別為 18.7 ± 0.8 、 18.1 ± 2.1 、 11.6 ± 0.7 及 5.5 ± 0.6 日 ($F=25.85$; $df=3, 12$; $p<0.0001$) (圖一)。

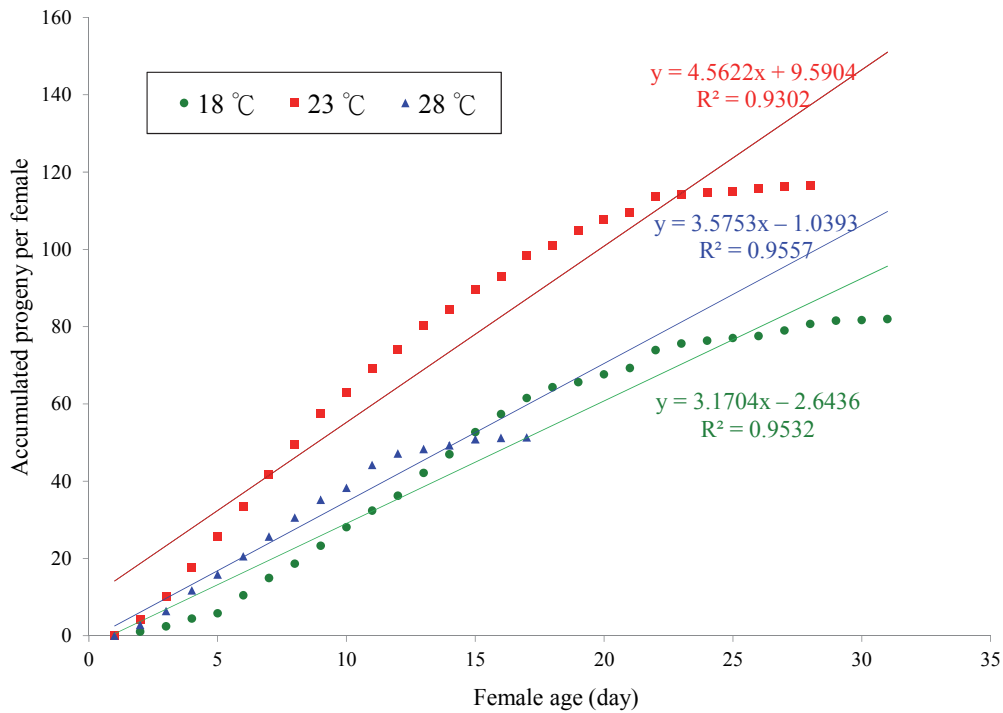
二、*Psytalia fletcheri* 雌寄生蜂在不同恆溫下的寄生能力

Psytalia fletcheri 雌寄生蜂在 33°C 時雖能存活超過 7 日，但此期間並未能成功產出子代，雖然瓜實蠅幼蟲在此溫度下能化蛹，但三周 (超過 28°C

時寄生蜂發育時間) 後鏡檢解剖蛹體，發現其內大都僅為已成形的瓜實蠅蛹體，但呈現褐化萎縮現象，持續在此恆溫下，瓜實蠅無法順利羽化，但亦未發現 *P. fletcheri* 的幼蟲或蛹，與在 23°C 繼代繁殖者比較，遭寄生者在瓜實蠅蛹體內可發現寄生蜂的幼蟲或蛹體 (附圖二) 呈現明顯差異。

於 18、23 及 28°C 等 3 種恆溫下，*P. fletcheri* 雌寄生蜂可以成功寄生瓜實蠅的第 3 齡幼蟲產出子代寄生蜂。且發現在此 3 種恆溫下，雌寄生蜂均從第 2 日齡起，即可成功寄生而產出子代。

Psytalia fletcheri 雌寄生蜂在 18、23 及 28°C 等 3 種恆溫下，雌寄生蜂隨日齡增加之累計子代數經迴歸分析，結果分別可得 $y=3.1704x - 2.6436$ ($R^2=0.9532$)、 $y=4.5622x + 9.5904$ ($R^2=0.9302$) 及 $y=3.5753x - 1.0393$ ($R^2=0.9557$) 三組迴歸方程式 (圖二)，三條迴歸線經檢定後均為常態分布，後續分別將 1~5、1~10、1~15 及 1~17 等 4 種日齡區間代入三組方程式後，再經 one-way ANOVA 及 HSD test 檢定後，結果顯示 4 種日齡區間，累計子代數迴歸線的平均值均以 23°C 時最高，與 18 及 28°C 呈顯著差異。18、23 及 28°C 在 1~5 日齡期間，平均累計子代數分別為 6.9、23.3 及 9.7 隻 ($F=10.58$;



圖二 不同恆溫下 *P. fletcheri* 雌寄生蜂的累計平均子代數。

Fig. 2. Number of accumulated progeny produced by *P. fletcheri* female parasitoids at various ages when held at 18, 23, and 28°C. Color solid lines (green line: 18°C, red line: 23°C, and blue line: 28°C) indicated correlation between the mean accumulated progeny and female age when held at various temperature conditions.

df=2, 12; $p=0.0022$) ; 在 1~10 日齡期間，三者分別為 14.8、34.7 及 18.6 隻 ($F=8.35$; df=2, 27; $p=0.0015$) ; 在 1~15 日齡期間，三者分別為 22.7、46.1 及 27.6 隻 ($F=7.84$; df=2, 42; $p=0.0013$) ; 在 1~17 日齡期間，三者分別為 25.9、50.7 及 31.1 隻 ($F=7.8$; df=2, 48; $p=0.0012$) (表一)。

三、*Psytalia fletcheri* 雌寄生蜂在不同恆溫下的存活率

在 18、23、28 及 33°C 等 4 種恆溫下，*P. fletcheri* 雌寄生蜂隨日齡增加之存活率經迴歸分析，結果分別可得 $y=-3.1457x + 111.97$ ($R^2=0.9629$)、

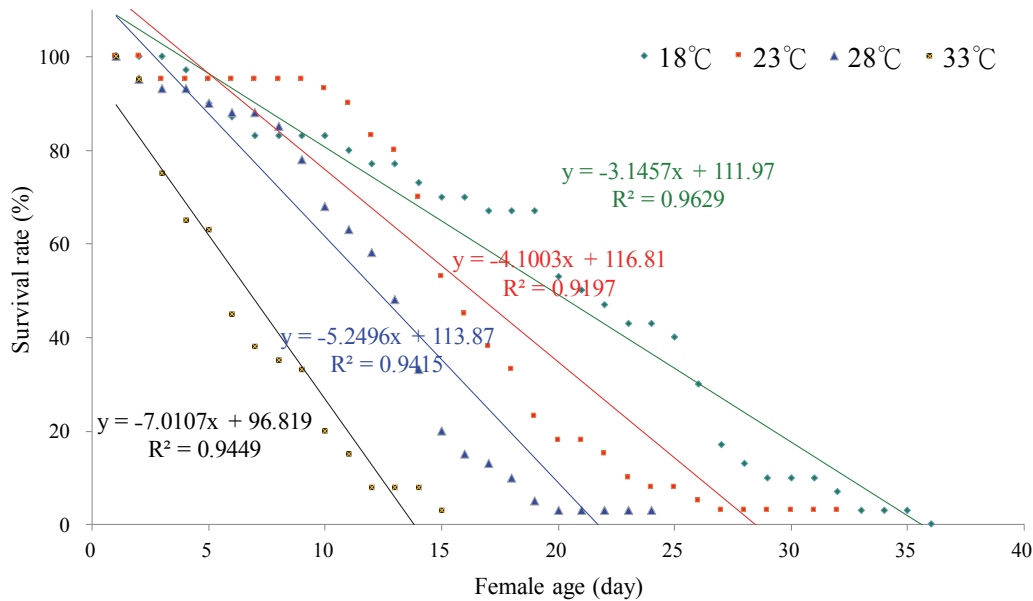
$y=-4.1003x + 116.81$ ($R^2=0.9197$)、 $y=-5.2496x + 113.87$ ($R^2=0.9415$) 及 $y=-7.0107x + 96.819$ ($R^2=0.9449$) 等四組迴歸方程式 (圖三)。選取雌寄生蜂具寄生能力的 3 種恆溫條件之迴歸線進行分析，經檢定後均為常態分布，後續分別將 1~5、1~10、1~15 及 1~17 等 4 種日齡區間代入三組方程式後，再經 one-way ANOVA 及 HSD test 檢定後，結果顯示分別在 4 種日齡區間，各恆溫存活率迴歸線的平均值間均無顯著差異。18、23 及 28°C 在 1~5 日齡期間，平均存活率分別為 86.5、87.7 及 81.3% ($F=1.31$; df=2, 12; $p=0.3069$) ; 在 1~10 日齡期間，平均存活率分別為 77.8、77.2 及 69.7% ($F=1.39$;

表一 不同恆溫下 *Psytalia fletcheri* 雌寄生蜂不同日齡累計平均子代數迴歸分析比較

Table 1. Regression analysis of accumulated progeny (means \pm SE) produced by *P. fletcheri* female parasitoids at various age periods

Temperature (°C)	Accumulated progeny (means \pm SE) followed regression equation			
	Female age periods			
	1 - 5	1 - 10	1 - 15	1 - 17
18	6.9 \pm 2.2 ^b	14.8 \pm 3.0 ^b	22.7 \pm 3.7 ^b	25.9 \pm 3.9 ^b
23	23.3 \pm 3.3 ^a	34.7 \pm 4.4 ^a	46.1 \pm 5.3 ^a	50.7 \pm 5.6 ^a
28	9.7 \pm 2.5 ^b	18.6 \pm 3.4 ^b	27.6 \pm 4.1 ^b	31.1 \pm 4.4 ^b

Within each column, mean values followed by the same letters are not significantly different (ANOVA, Tukey's HSD test at $p=0.05$)



圖三 三種恆溫下 *P. fletcheri* 雌寄生蜂各日齡的存活率。

Fig. 3. Survival rate of *P. fletcheri* female parasitoids at various ages. Color solid lines (green line: 18°C, red line: 23°C, and blue line: 28°C) indicate a correlation between the survival rate and female age when held at various temperature conditions.

df=2, 27; $p=0.2672$)；在 1~15 日齡期間，平均存活率分別為 71.1、69.1 及 60.6% ($F=1.94$; df=2, 42; $p=0.156$)；在 1~17 日齡期間，平均存活率分別為 68.7、66.2 及 57.2% ($F=2.24$; df=2, 48; $p=0.1178$) (表二)。

四、*Psytalia fletcheri* 子代在不同恆溫下的發育時間與雌雄比

寄生蜂子代發育時間隨著溫度升高而縮短，在 18、23 及 28°C 時，完成發育後羽化為雌、雄寄生蜂的時間分別均呈現顯著差異，雌寄生蜂之發育期分別為 36.0 ± 0.2 、 20.3 ± 0.1 及 15.8 ± 0.3 日 ($F=1917.26$; df=2, 9; $p<0.0001$)；而雄寄生蜂之發育期分別為 34.3 ± 0.1 、 19.3 ± 0.1 及 15.0 ± 0.4 日 ($F=1667.85$; df=2, 9; $p<0.0001$)。而在 18、23、28°C 等 3 種恆溫環境下，產出雌性子代寄生蜂分別為雄性子代的 2.3 ± 0.4 、 2.3 ± 0.1 及 2.2 ± 0.1 倍，三者間則無顯著差異 ($p>0.05$) (表三)。

討 論

溫度為影響膜翅目寄生蜂 (hymenopterous parasitoids) 寄生能力與子代發育的關鍵因子，亦

關係到室內大量繁殖的效率 (Wong and Ramadan, 1992; Jones and Stephen, 1994; Miller, 1996; Appiah *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2016)。Wong and Ramadan (1992) 曾於室內 26°C (> 60% RH) 定溫條件下，探討 *P. fletcheri* 不同日齡雌寄生蜂與繁殖能力的相關性，結果顯示雌寄生蜂羽化後第 5 日齡 (該研究並未進行 1~4 日齡之測試) 相較後續日齡具有較高的寄生能力。但我們於 *P. fletcheri* 繼代飼育的過程 (23°C) 中，發現寄生蜂羽化後第 2 日齡起，即陸續出現雌、雄寄生蜂交尾行為，而從本研究不同恆溫下寄生能力的測試結果更證實，在 18、23 及 28°C 等 3 種恆溫下，雌寄生蜂均自第 2 日齡起，即可成功寄生瓜實蠅的幼蟲也產出子代，顯示雌寄生蜂的卵巢發育亦相當迅速，估計產卵前期 (preoviposition period) 少於 48 h，此特性相當適合將已遭受其寄生的寄主蛹體運送到防治釋放地點，若能配合 Vargas *et al.* (2012) 所研發技術於田間釋放地點設置圓柱形網籠，提供剛羽化寄生蜂充足的水、碳水化合物等食物，及提升交尾機會，2 日 (48 h) 後應隨即可應用於田間發揮寄生效能，除了可減輕運送過程空間的負擔及減少蟲體死亡風險，更可提升寄生蜂羽化後存活與發揮有效寄生效能。

表二 不同恆溫下 *Psytalia fletcheri* 雌寄生蜂不同日齡存活率迴歸分析比較Table 2. Regression analysis of the survival rate (means \pm SE) of *P. fletcheri* females at various age periods

Temperature ($^{\circ}$ C)	Survival rate (means \pm SE) (%) followed by regression equation			
	Female age periods			
	1 – 5	1 – 10	1 – 15	1 – 17
18	86.5 \pm 2.3 ^a	77.8 \pm 3.2 ^a	71.1 \pm 3.3 ^a	68.7 \pm 3.4 ^a
23	87.7 \pm 2.3 ^a	77.2 \pm 3.8 ^a	69.1 \pm 4.0 ^a	66.2 \pm 4.0 ^a
28	81.3 \pm 4.1 ^a	69.7 \pm 4.4 ^a	60.6 \pm 4.5 ^a	57.2 \pm 4.6 ^a

Within each column, mean values followed by the same letters are not significantly different (ANOVA, Tukey's HSD test at $p=0.05$).

表三 不同恆溫下 *Psytalia fletcheri* 子代發育時間與雌雄性比Table 3. Developmental time and sex ratio of *P. fletcheri* progeny

Temperature ($^{\circ}$ C)	Developmental time (days) of progeny (mean \pm SE)		Sex ratio of progeny (Female/male)
	Male	Female	
	18	34.3 \pm 0.1 ^a	
23	19.3 \pm 0.1 ^b	20.3 \pm 0.1 ^b	2.3 \pm 0.1 ^a
28	15.0 \pm 0.4 ^c	15.8 \pm 0.3 ^c	2.2 \pm 0.1 ^a

Within each column, mean values followed by the same letters are not significantly different (ANOVA, Tukey's HSD test at $p=0.05$).

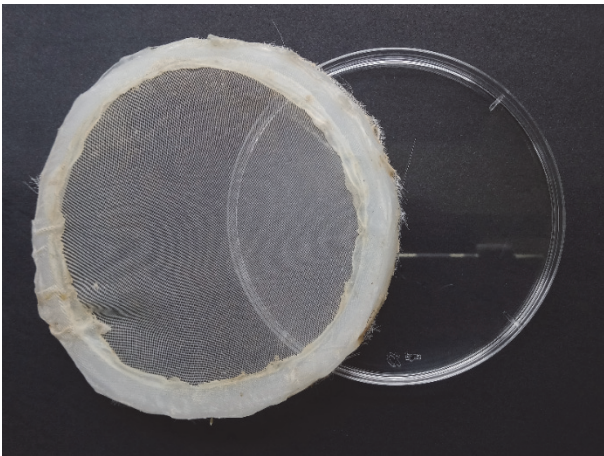
從雌寄生蜂的日齡-累計子代數迴歸分析中，我們發現在 3 種恆溫模式下，所得迴歸線的決定係數 (coefficient of determination) R^2 值均 >0.9 ，顯示應用此迴歸分析模式可合理判斷雌寄生蜂隨日齡之繁殖潛能的趨勢，當比較 3 種恆溫模式的回歸線時，則發現在 1~5、1~10、1~15 及 1~17 等 4 種日齡區間，23 $^{\circ}$ C 時雌寄生蜂均具有顯著較高的累計子代數 ($p<0.05$)；此外，從雌寄生蜂不同日齡之存活率分析，所得之日齡-存活率迴歸線在 3 種恆溫模式下的 R^2 值亦均 >0.9 ，顯示此等存活率迴歸線亦可合理判斷雌寄生蜂在不同溫度下的存活表現，然而，比較 3 種恆溫模式的存活率迴歸線時，則發現在 1~5、1~10、1~15 及 1~17 等 4 種日齡區間，3 種溫度間呈現無顯著差異 ($p>0.05$)。另以各恆溫下雌寄生蜂的平均壽命日數，代入各溫度累計子代數迴歸方程式中，估算雌寄生蜂平均一生可產子代總數，在 18、23 及 28 $^{\circ}$ C 等 3 個溫度時，分別可產出 62.0、85.8 及 43.7 隻子代，亦顯示在 23 $^{\circ}$ C 時最具繁殖潛能。因此，綜合固定日齡期間或一生總子代數二種判斷模式，室內大量飼育時，建議以 23 $^{\circ}$ C 建構飼育環境，可獲取最多子代數量，但考量子代發育時間，則可將已被寄生之瓜實蠅幼蟲或蛹體移置 28 $^{\circ}$ C 環境，縮短寄生蜂幼蟲期發育時間，以利在最短時程內獲得最多子代寄生蜂。

溫度條件是田間應用寄生蜂生物防治的最重要

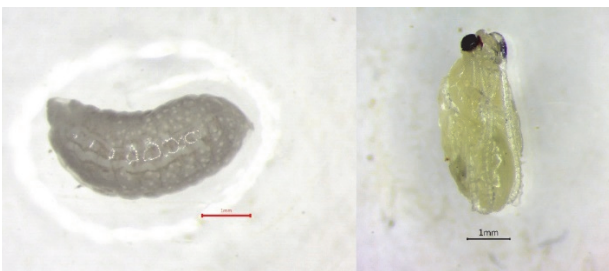
因素之一 (Loni, 1997; Appiah *et al.*, 2013)，且近年來因應未來氣候變遷的研究，亦常聚焦於模擬溫度變化對寄生蜂與寄主的影響，而二者在溫度條件的同步性 (synchrony) 更是探討重點 (Hance *et al.*, 2007; Kant *et al.*, 2012; Romo and Tylianakis, 2013; Gebauer *et al.*, 2015)。從適合瓜實蠅發育與瓜類生長的角度評估，可發現瓜實蠅適合繁殖的溫度為 24~29 $^{\circ}$ C (Vargas *et al.*, 1997)，而多種瓜類作物適合栽培的溫度範圍為 65~85 $^{\circ}$ F (\approx 18.3~29.4 $^{\circ}$ C) (Maynard and Hochmuth, 2007)，適合寄主植物生長與害蟲繁殖的溫度範圍同步性極高，因此，不難想像瓜類種植期間遭受瓜實蠅攻擊的高風險性。田間欲應用寄生蜂進行瓜實蠅的生物防治時，亦需考量雌寄生蜂在此等溫度環境間的適用性，而從本試驗測試 *P. fletcheri* 雌寄生蜂在 18、23 及 28 $^{\circ}$ C 等 3 種恆溫度狀況下的寄生與存活表現，均發現雌寄生蜂在無顯著差異的存活率下，均可發揮寄生瓜實蠅幼蟲之效能，且在 23 $^{\circ}$ C 環境時則更具有提升寄生效能的應用價值。因此，考量適合瓜類作物生長、瓜實蠅發育繁殖及寄生蜂發揮寄生能力三者最適溫度範圍的同步性，此寄生蜂具備在瓜類種植期間應用於瓜實蠅生物防治之潛力。

相當多文獻記載 *P. fletcheri* 應用於瓜實蠅生物防治的重要性，但有關室內大量飼育之研究，除了

確定瓜實蠅第 3 齡初期幼蟲為其較適合之寄生齡期，及適當供其寄生裝置與技術之改良外，均以恆溫環境進行大量飼育，而未曾針對此寄生蜂與溫度間的相關性進行探討 (Willard, 1920; Nishida, 1955; Wong and Ramadan, 1992; Bautista *et al.*, 2000; Vargas *et al.*, 2004, 2008, 2012; Harris *et al.*, 2010)。本研究模擬恆溫環境下的試驗結果，應用迴歸分析探討各溫度下存活率及累計子代數 (繁殖潛能) 間的差異，及配合子代發育時間的分析，除了可提供室內飼育 *P. fletcheri* 時，作為縮短時程獲取最多子代之參考，亦可於田間防治瓜實蠅時，作為配合田間溫度條件提升此寄生蜂發揮最大防治潛能之參考。



附圖一 寄生用培養皿。
Appendix Fig. 1 Oviposition equipment.



附圖二 *Psytalia fletcheri* 的幼蟲及蛹。
Appendix Fig. 2 Larva (left) and pupa (right) of *P. fletcheri*.

參考文獻

- Appiah EF, Ekesi S, Salifu D, Afreh-Nuamah K, Obeng-Ofori D, Khamis F, Mohamed SA. 2013. Effect of temperature on immature development and longevity of two introduced opiine parasitoids on *Bactrocera invadens*. *J Appl Entomol* 137: 571-579.
- Bautista RC, Mochizuki N, Spencer JP, Harris E J, Ichimura DM. 2000. Effects of depth of oviposition dish and age of rearing host on efficiency of mass production of the tephritid fruit fly parasitoid *Psytalia fletcheri*. *Biol Control* 45: 389-399.
- Chang CL, Caceres C, Jang EB. 2004. A novel liquid larval diet and its rearing system for melon fly, *Bactrocera cucurbitae* (Diptera: Tephritidae). *Ann Entomol Soc Am* 97: 524-528.
- De Meyer M, Delatte H, Mwatawala M, Quilici S, Vayssières JF, Virgilio M. 2015. A review of the current knowledge on *Zeugodacus cucurbitae* (Coquillett) (Diptera, Tephritidae) in Africa, with a list of species included in *Zeugodacus*. *ZooKeys* 540: 539-557.
- DeBach P, Rosen D. 1991. *Biological Control by Natural Enemies*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 440 pp.
- Dhillon MK, Singh R, Naresh JS, Sharma HC. 2005. The melon fruit fly, *Bactrocera cucurbitae*: a review of its biology and management. *J Insect Sci* 5: 40. 16 pp.
- Fullaway DT. 1920. The melon fly: its control in Hawaii by a parasite introduced from India. *Hawaiian Forester and Agriculturist* 17: 101-105.
- Gebauer K, Hemerik L, Meyhöfer R. 2015. Effects of climate change on pest-parasitoid dynamics: development of a simulation model and first results. *J Plant Dis Prot* 122: 28-35.
- Hance T, Baaren J, vanVernon P, Boivin G. 2007. Impact of extreme temperatures on parasitoids in a climate change perspective. *Annu Rev Entomol* 52: 107-126.
- Haramoto FH, Bess HA. 1970. Recent studies on the abundance of the oriental and Mediterranean fruit flies and the status of their parasites. *Proc Hawaiian Entomol Soc* 20: 551-566.

- Harris EJ, Bautista RC, Vargas RI, Jang EB, Eitam A, Leblanc L.** 2010. Suppression of melon fly (Diptera: Tephritidae) populations with releases of *Fopius arisanus* and *Psytalia fletcheri* (Hymenoptera: Braconidae) in North Shore Oahu, HI, USA. *Biocontrol* 55: 593-599.
- Jones JM, Stephen FM.** 1994. Effect of temperature on development of Hymenopterous Parasitoids of *Dendroctonus frontalis* (Coleoptera: Scolytidae). *Environ Entomol* 23: 457-463.
- Kant R, Minor MMA, Trewick SA.** 2012. Reproductive strategies of *Diaeretiella rapae* (Hymenoptera: Aphidiinae) during fluctuating temperatures of spring season in New Zealand. *Biocontrol Sci Technol* 22: 1-9.
- Knipling EF.** 1992. Principles of insect parasitism analyzed from new perspectives: practical implications for regulating insect populations by biological means. U.S. Department of Agriculture Handbook No. 693. 349 pp.
- Kroder S, Messing RH.** 2010. A new parasitoid from Kenya, *Fopius ceratitivorus*, complements the extant parasitoid guild attacking Mediterranean fruit fly in Hawaii. *Biol Control* 53: 223-229.
- Liu YC, Shiao TY.** 1984. Mass production of the melon fly *Dacus cucurbitae* Coquillett. I. Mass rearing technique of the larvae. *Bull Soc Entomol NCHU* 17: 1-13. (in Chinese)
- Loni A.** 1997. Developmental rate of *Opius concolor* (Hymenoptera: Braconidae) at various constant temperatures. *Entomophaga* 42: 359-366.
- Maynard DN, Hochmuth GJ.** 2007. Knott's Handbook for vegetable growers. Fifth Edition. Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, Inc. 621 pp.
- Miller JC.** 1996. Temperature-dependent development of *Meteorus communis* (Hymenoptera: Braconidae), a parasitoid of the variegated cutworm (Lepidoptera: Noctuidae). *J Econ Entomol* 89: 887-880.
- Nishida T.** 1955. Natural enemies of the melon fly, *Dacus curcurbitae* Coq. in Hawaii. *Ann Entomol Soc Am* 48: 171-178.
- Purcell MF.** 1998. Contribution of biological control to integrated pest management of tephritid fruit flies in the tropics and subtropics. *Integr Pest Manag Rev* 3: 63-93.
- Purcell MF, Messing RH.** 1996. Effect of ripening fruit in three vegetable crops on abundance of augmentatively released *Psytalia fletcheri*: improved sampling and release methods. *Entomophaga* 41: 105-115.
- Romo CM, Tylanakis JM.** 2013. Elevated temperature and drought interact to reduce parasitoid effectiveness in suppressing hosts. *PLoS ONE* 8: e58136. doi:10.1371/journal.pone.0058136
- Rousse P, Harris EJ, Quilici S.** 2005. *Fopius arisanus*, an egg-pupal parasitoid of Tephritidae. Overview. *Biocontrol News and Information* 26: 59-69.
- Rousse P, Gourdon F, Roubaud M, Chiroleu F, Quilici S.** 2009. Biotic and abiotic factors affecting the flight activity of *Fopius arisanus*, an egg-pupal parasitoid of fruit fly pests. *Environ Entomol* 38: 896-903.
- Snowball GJ, Lukins RG.** 1964. Status of introduced parasites of Queensland fruit fly (*Strumeta tryoni*), 1960- 1862. *Australian J Agri Res* 15: 586-608.
- van Lenteren JC.** 1986. Parasitoids in the greenhouse: successes with seasonal inoculative release systems. In Waage J and Greathead D (eds.). *Insect Parasitoids*. Academic Press, London, pp. 341-374.
- Vargas RI, Piñero JC, Leblanc L.** 2015. An overview of pest species of *Bactrocera* fruit flies (Diptera: Tephritidae) and the integration of biopesticides with other biological approaches for their management with a focus on the Pacific region. *Insects* 6: 297-318.
- Vargas RI, Stark JD, Uchida GK, Purcell M.** 1993. Opiine parasitoids (Hymenoptera:

- Braconidae) of Oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae) on Kauai Island, Hawaii: islandwide relative abundance and parasitism rates in wild and orchard guava habitats. *Environ Entomol* 22: 246-253.
- Vargas RI, Leblanc L, Putoa R, Eitam A.** 2007. Impact of introduction of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) and classical biological control releases of *Fopius arisanus* (Hymenoptera: Braconidae) on economically important fruit flies in French Polynesia. *J Econ Entomol* 100: 670-679.
- Vargas RI, Leblanc L, Harris EJ, Manoukis NC.** 2012. Regional suppression of *Bactrocera* fruit flies (Diptera: Tephritidae) in the Pacific through biological control and prospects for future introductions into other areas of the world. *Insects* 3: 727-742.
- Vargas RI, Mau RFL, Jang EB, Faust RM, Wong L.** 2008. The Hawaii fruit fly areawide pest management programme. pp. 300-325. In: Koul O, Cuperus G, Elliott N (eds) *Areawide Pest Management: Theory and Implementation*. CABI, UK.
- Vargas RI, Piñero JC, Leblanc L, Manoukis NC, Mau RF.** 2016. Area-wide management of fruit flies (Diptera: Tephritidae) in Hawaii. pp. 673-693. In: Ekesi S, Mohamed SA, De Meyer M (eds). *Fruit Fly Research and Development in Africa-Towards a Sustainable Management Strategy to Improve Horticulture*. Switzerland.
- Vargas RI, Walsh WA, Kanehisa D, Jang EB, Armstrong JW.** 1997. Demography of four Hawaiian fruit flies (Diptera: Tephritidae) reared at five constant temperatures. *Ann Entomol Soc Am* 90: 162-168.
- Vargas RI, Long J, Miller NW, Delate K, Jackson CG, Uchida GK, Bautista RC, Harris EJ.** 2004. Releases of *Psytalia fletcheri* (Hymenoptera: Braconidae) and sterile flies to suppress melon fly (Diptera: Tephritidae) in Hawaii. *J Econ Entomol* 97: 1531-1539.
- Weems HY.** 1964. Melon fly (*Dacus cucurbitae* Coquillett) (Diptera: Tephritidae). *Entomol Circular* 29: 1-2.
- White IM, Elson-Harris MM.** 1994. *Fruit Flies of Economic Significance: Their Identification and Bionomics*. CAB International, Wallingford. 600 pp.
- Willard HF.** 1920. *Opius fletcheri* as a parasite of the melon fly in Hawaii. *J Agri Res* 20: 423-438.
- Wong TTY, Ramadan MM.** 1992. Mass rearing biology of larval parasitoids (Hymenoptera: Braconidae: Opiinae) of tephritid flies (Diptera: Tephritidae) in Hawaii. pp. 405-426. In: Anderson TE, Leppla NC (eds). *Advances in Insect Rearing for Research and Pest Management*. Westview Press, Inc. USA.
- Wong TTY, Mochizuki N, Nishimoto JI.** 1984. Seasonal abundance of parasitoids of the Mediterranean and oriental fruit flies (Diptera: Tephritidae) in the Kula area of Maui, Hawaii. *Environ Entomol* 13: 140-145.
- Wong TTY, Ramadan MM, Herr JC, McInnis DO.** 1992. Suppression of a Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae) population with concurrent parasitoids and sterile fly releases in Kula, Maui, Hawaii. *J Econ Entomol* 85: 1671-1681.
- Wong TTY, Ramadan MM, McInnis DO, Mochizuki N, Nishimoto JI, Herr JC.** 1991. Augmentative releases of *Diachasmimorpha tryoni* (Hymenoptera: Braconidae) to suppress a Mediterranean fruit fly population in Kula, Maui, Hawaii. *Biol Control* 1: 2-7.
- Zhang J, Huang J, Lu Y, Xia T.** 2016. Effects of temperature and host stage on the parasitization rate and offspring sex ratio of *Aenasius bambawalei* Hayat in *Phenacoccus solenopsis* Tinsley. *Peer J* 4: e1586. <https://doi.org/10.7717/peerj.1586>

Effects of Constant Temperatures on Survival Rate and Parasitism of a Specialist Larval Parasitoid *Psytalia fletcheri* (Hymenoptera: Braconidae) in *Zeugodacus cucurbitae* (Diptera: Tephritidae)

Wan-Ting Huang¹, Yi-Hui Wu², Yi-Yuan Chuang^{1*}

¹ Department of Entomology, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan

² Miaoli District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan

* Corresponding email: chuangyiyu@nchu.edu.tw

Received: 30 April 2018

Accepted: 3 August 2018

Available online: 4 September 2018

ABSTRACT

In this study, we evaluated the survival rate, parasitism, and progeny development time of a melon fly larval endoparasitoid, *Psytalia fletcheri* (Silvestri) (Hymenoptera: Braconidae) held at four constant temperatures (18, 23, 28, and 33°C). The mean longevity for male and female parasitoids was recorded at 18°C, which were 20.3 ± 8.9 and 18.7 ± 9.5 days, respectively. No significant difference was observed between the mean values obtained at 18°C and 23°C; however, longevity was shorter at 28 and 33°C than at 18 and 23°C. Female parasitoids produced offspring from the second day at 18, 23, and 28 °C. No progeny was recorded for female parasitoids at 33°C. The mean total number of progeny produced per *P. fletcheri* female parasitoid (85.8) was significantly higher at 23°C than at the other two temperatures according to the results of the regression analysis of accumulated progeny. Progeny development time decreased with increasing temperatures, with mean values of 36.0 ± 0.2 , 20.3 ± 0.1 , and 15.8 ± 0.3 for female parasitoids when reared at 18, 23, and 28°C, respectively. Progeny development time differed significantly among the temperatures. The results of this study can be applied to mass rearing or integrating field temperature for the biological control of melon fly.

Key words: *Zeugodacus cucurbitae*, *Psytalia fletcheri*, temperature, survival rate, parasitism