

蚜蟲類食餌及溫度對狹翅褐蛉 (*Micromus timidus* Hagen)

發育之影響

趙語矜、蔡漢祥、莊益源*

摘要 狹翅褐蛉 (*Micromus timidus* Hagen) 的幼蟲及成蟲皆具有捕食多種蚜蟲的能力，為本土重要捕食性天敵。本研究評估狹翅褐蛉對不同蚜蟲之捕食潛力，及於不同定溫下對其發育之影響。自褐蛉初孵化幼蟲開始分別提供大豆蚜 (*Aphis glycines* Matsumura)、夾竹桃蚜 (*Aphis nerii* Boyer de Fonscolombe)、棉蚜 (*Aphis gossypii* Glover)、桃蚜 (*Myzus persicae* (Sulzer)) 及偽菜蚜 (*Lipaphis erysimi* (Kaltenbach)) 等五種蚜蟲食餌，結果顯示除供食偽菜蚜處理組無法完成生活史，於蛻皮前即全數死亡外，供食其餘四種蚜蟲者皆能發育至成蟲。其中供食大豆蚜、棉蚜及桃蚜等處理，發育至成蟲僅需約 12 日，而供食大豆蚜及桃蚜處理組，褐齡幼蟲平均存活率可達 90% 以上；供食此四種蚜蟲發育後之雌成蟲的平均壽命 (介於 60.5 至 71.8 日)、一生總產卵量 (介於 1130.3 至 1404.1 粒) 及其子代平均孵化率 (介於 62.7 至 80.5%) 彼此間皆無顯著差異。另於 15、20、25 及 30°C 等四種定溫處理下，以大豆蚜為食，卵發育至成蟲之總發育時間分別需 50.6、22.8、15.7 及 13.0 日，20 及 25°C 下存活率則皆可達 70% 以上，褐蛉發育速率 (D) 與溫度 (T) 之直線迴歸模式為 $D(T)=0.0039T-0.0373$ ，發育臨界溫度為 9.6°C，有效總積溫為 256.4 日度。狹翅褐蛉對於多種蚜蟲均具有捕食能力，且成蟲期捕食量大亦具備良好的繁殖潛能，相當適合應用於蚜蟲類害蟲之生物防治，室內大量繁殖以大豆蚜及桃蚜等食餌，並將溫度設定在 20 至 25°C 間可達較佳飼育狀態，相關結果可供此天敵未來室內量產及應用於生物防治之參考。

關鍵詞： 狹翅褐蛉、蚜蟲防治、有效積溫

The Effects of Various Aphid Preys and Temperatures on the Development of *Micromus Timidus* Hagen

Yu-Chin Chao, Han-Hsiang Tsai and Yi-Yuan Chuang*

ABSTRACT *Micromus timidus* Hagen is one of the native natural enemies in Taiwan, and predator of many aphid species in both larval and adult stages. In this study, we documented the effect of prey types and temperatures on the development of *M. timidus*. Five species of aphids evaluated for establishing life history baseline information were, *Aphis glycines* Matsumura, *A. nerii* Boyer de Fonscolombe, *A. gossypii* Glover, *Myzus persicae* (Sulzer) and *Lipaphis erysimi* (Kaltenbach), respectively. None of the larvae fed with *L. erysimi* survived till 2nd instar. *M. timidus* fed with *A. glycines*, *A. nerii* and *A. gossypii* took about 12 days to complete their development from larval to adult stage. Survival rate of *M. timidus* in *A. glycines* and *M. persicae* treatments both were higher than 90%. There were no significant differences found between four prey types on *M. timidus* female reproductive traits. The average female longevity was between 60.5 to 71.8 days. The average fecundity ranged from 1130.3 to 1404.1 eggs per female. Offspring hatchability was between 62.7 to 80.5%. The relationship between development rate (D) and temperature (T) was shown in linear regression equation: $D(T)=0.0039T-0.0373$. The development periods of *M. timidus* fed with *A. glycines* from egg to adult were 50.6, 22.8, 15.7 and 13.0 days at 15, 20, 25 and 30°C, respectively. Survival rate was higher than 70% at both 20 and 25°C. The lower threshold temperature and effective accumulated temperature for *M. timidus*

國立中興大學昆蟲學系。Department of Entomology, National Chung Hsing University.

* 通訊作者。Corresponding author. Email: chuangyyu@nchu.edu.tw

were 9.6°C and 256.4 degree-day, respectively. Results showed that *M. timidus* has high reproductive and control potential in both larval and adult stages against several aphid species. For better mass rearing condition, choosing *A. glycines* and *M. persicae* as preys and temperature set up at 20-25 °C were recommended.

Keywords: *Micromus timidus* Hagen, aphids control, effective accumulated temperature

一、前言

農業中的蚜蟲類害蟲泛指半翅目蚜總科 (Hemiptera: Aphidoidea) 中約 100 種列名為重要經濟性有害蚜蟲^[2]。蚜蟲類主要透過刺吸危害影響作物植體生長發育，其排泄之蜜露則常誘發煤煙病影響光合作用，許多物種亦具有媒介傳播植物病毒病風險，如設施蔬果花卉中常見的棉蚜 (*Aphis gossypii* Glover) 及桃蚜 (*Myzus persicae* (Sulzer)) 為胡瓜嵌紋病毒 (cucumber mosaic virus, CMV)、西瓜嵌紋病毒 (watermelon mosaic virus, WMV)、及馬鈴薯病毒 Y (potato virus Y, PVY)、菸草嵌紋病毒 (tobacco mosaic virus, TMV) 等病毒的傳播媒介^[9,10,17,30,32]。許多作物上害蚜經長期化學殺蟲劑選汰，根據節肢動物防治殺蟲劑抗性資料庫 (Arthropod pesticide resistance database) 中登錄資訊顯示，已對數十種化學殺蟲劑產生抗藥性^[20]，因此急需研發其他非農藥防治技術，供整合作為蚜蟲綜合管理 (integrated pest management, IPM) 的改善配套策略。

脈翅目姬蛉科 (Neuroptera: Hemerobiidae) 昆蟲又名褐蛉 (brown lacewings)，其幼蟲及成蟲皆為肉食性，與同目草蛉科 (Neuroptera: Chrysopidae) 同為農業生態系中重要捕食性天敵物種，均為對小型害蟲具有防治潛力的昆蟲類群，如 *Micromus tasmaniae* (Walker) 此種褐蛉為紐、澳地區蔬菜及雜糧作物上害蚜類的重要天敵，亦具備捕食粉介殼蟲能力^[12,15]；且 *M. tasmaniae* 相較於一種草蛉 *Chrysoperla carnea* (Stephens) 對於有機磷或除蟲菊類等殺蟲劑具有較高耐受性^[34]，因此田間可搭配其他防治技術建立 IPM 體系。*M. angulatus* (Stephens) 對於溫室黃瓜上蚜蟲 *A. frangulae* Kaltenbach 具有防治效果^[31]。Kar *et al.* (2004)^[14] 及 Patil *et al.* (2006)^[28] 曾探討 *M. igorotus* Banks 應用於防治甘蔗綿蚜 (*Ceratovacuna lanigera* Zehntner) 的效益；而 *Hemerobius pacificus* Banks 此種褐蛉在田間對於桃蚜及朝鮮薊羽蛾 (*Platyptilia carduidactyla* (Riley)) 族群具有良好的控制效果^[25]。

狹翅褐蛉 (*Micromus timidus* Hagen) 為台灣本土天敵昆蟲^[38]，廣泛分佈於亞洲、非洲及大洋洲等之熱帶地區^[41]，此天敵曾於 1919 年自澳洲引進夏威夷群島防治多種蚜蟲^[39]。狹翅褐蛉已被報導具備捕食如棉蚜、黑豆蚜 (*A. craccivora* Koch)、桃蚜、小桔蚜 (*Toxoptera aurantii* (Boyer de Fonscolombe))、高粱蚜 (*Melanaphis sacchari* (Zehntner))、甘蔗綿蚜、*M. nicotianae* Blackman 及 *Uroleucon carthami* Hille Ris Lambers 等蚜蟲的能力^[1,22,23,29,33,37,44]。

狹翅褐蛉之幼蟲及成蟲皆具捕食能力，應用於田間在其發育過程中可提供持續性的防治效果，成蟲具飛行能力亦有助於提升搜尋害蟲的速率與範圍，具有進一步評估在生物防治上應用的價值，然而目前國內雖有此物種資源，惟其基礎生物學與生態學資料均闕如。本研究評估狹翅褐蛉對不同蚜蟲之捕食能力，及在不同定溫下對其發育之影響，可供未來室內大量飼養及田間應用此天敵之參考。

二、材料與方法

(一) 供試蟲源飼養

1. 狹翅褐蛉

狹翅褐蛉採集自苗栗區農業改良場生物防治分場之馬利筋 (*Asclepias curassavica* L.) 植體，與南投市安安有機農場 (23°53'24.9"N, 120°38'30.9"E) 之網室花胡瓜 (*Cucumis sativus* L.) 植體上。採集攜回之蟲體飼育於昆蟲飼養室 (平均溫度 25.0±0.5°C，相對溼度 40.0±5.0%，及光週期設定 12L:12D) 之壓克力蟲箱 (30×30×30 cm) 內，將種植於透明塑膠杯 (直徑 9 cm，高 5.5 cm) 並已接種大豆蚜之大豆苗置入蟲箱，供褐蛉獵食蚜蟲及做為停棲處所，每日觀察並適時補充新鮮食餌。當雌成蟲進入產卵期時，放入一片薄脫脂棉花或不織布 (約 5×5 cm) 供其作為產卵介質 (參考 Hilson (1964)^[12])，繼代飼育蟲體供後續相關試驗應用。

2. 蚜蟲

大豆蚜 (*Aphis glycines* Matsumura) 由國立臺灣大學生命科學系何傳愷老師實驗室提供，隔離飼育於上

述昆蟲飼養室之養蟲籠 ($93 \times 47.5 \times 47.5\text{ cm}$) (BD4S4590DH·博視科教) 中，種植台南4號綠肥大豆 (*Glycine max (L.) Merr.*) 作為飼育的寄主植物。大豆栽培於鋪有培養土的塑膠盤 ($30 \times 20 \times 2.5\text{ cm}$) 上，將大豆蚜接種至豆苗 (高度約 $3\text{-}5\text{ cm}$) 上，約 $3\text{-}5$ 天後蚜蟲會陸續移至新豆苗並繁殖子代，植體衰老前再次供給新鮮豆苗以進行此蚜蟲之繼代飼養。供褐蛉取食試驗之大豆蚜所需之大豆植株，則另以上述透明塑膠杯經同樣栽培方式後接種蚜蟲，待蚜蟲族群密度足夠即可供應餵食褐蛉。

夾竹桃蚜 (*Aphis nerii* Boyer de Fonscolombe) 採集自苗栗區農業改良場生物防治分場之馬利筋植體上，攜回後以馬利筋 (禾康肥料公司) 作為寄主植物，利用昆蟲飼育帳篷 (Bugdorm-2120·博視科教) 隔離飼育於中興大學昆蟲系溫室區外之露天植床架上。將馬利筋苗木移植至 5 吋 盆栽後接種夾竹桃蚜，待植株衰老前，讓蚜蟲移至新的植株。

棉蚜 (*Aphis gossypii* Glover)、桃蚜 (*Myzus persicae* (Sulzer)) 及 偽菜蚜 (*Lipaphis erysimi* (Kaltenbach)) 分別採集自國立中興大學農業試驗場有機農業推廣教育市民農園之扁蒲 (*Lagenaria siceraria* (Molina) Standley) 及 甘藍 (*Brassica oleracea var. capitata* L.) 等植體上，攜回後棉蚜以花胡瓜 (秀燕·農友種苗)、桃蚜及偽菜蚜二者以甘藍 (高峰·農友種苗) 等分別作為寄主植物，以上述昆蟲飼育帳篷飼養於溫室露天植床架上。花胡瓜及甘藍皆以穴盤育苗，待第二至三本葉展開後，移植至 5 吋 塑膠盆，分別於定植一至二週後，將長滿蚜蟲的植株移入壟接，使其自然移至新植株。

(二) 狹翅褐蛉供食五種蚜蟲後之發育情形

試驗於平均溫度 $25.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ，平均相對溼度 $60.0 \pm 5.0\%$ ，光週期設定為 $12\text{L}:12\text{D}$ 之定溫生長箱中進行，測試與觀察記錄褐蛉幼蟲在供食五種不同蚜蟲食餌後之發育情形，及估算成蟲壽命與繁殖潛能。

1. 褐蛉未成熟期的發育情形

將初孵化 12 h 內之褐蛉幼蟲單隻放入塑膠培養皿 (直徑 5.5 cm)，每日分別供給足量新鮮大豆蚜、夾竹桃蚜、棉蚜、桃蚜及偽菜蚜等五種食餌，每 12 h 觀察並記錄各處理組褐蛉幼蟲發育階段及存活情況，每處理各 10 隻， 5 重複，統計分析幼蟲各齡期及蛹期的平均發育時間，並換算存活率。

2. 褐蛉成蟲壽命及繁殖潛能

相關褐蛉成蟲之壽命及繁殖潛能部分，則因供食偽菜蚜處理組均無法順利發育至成蟲階段，僅取前述分別供食其餘四種蚜蟲後，羽化之成蟲進行試驗，每一處理逢機選取雌、雄成蟲各 15 隻，配對後分別放入含網蓋之昆蟲飼育杯 (直徑 12.5 cm 、高 8.3 cm ·博視科教) 中單對飼育，逐日再分別供給原供食之四種蚜蟲，杯內放置棉花供其產卵，待雌蟲進入產卵期後，每日更新棉花並計算單日產卵數量，並每隔五日留存當日所產下的卵，待幼蟲孵化後，紀錄子代孵化情形，試驗持續觀察與紀錄至所有成蟲死亡，最後分別統計雌、雄成蟲平均壽命、雌成蟲平均產卵前期及產卵量等數據，並估算子代孵化率。

(三) 不同定溫對狹翅褐蛉發育之影響

1. 褐蛉在四種定溫下的發育情形

試驗於 15 、 20 、 25 及 30°C 等四種不同定溫生長箱中進行，並在各生長箱中放置水盤，分別維持相對溼度 $60.0 \pm 5.0\%$ ，光週期設定為 $12\text{L}:12\text{D}$ 。將甫產下 3 h 內的卵單獨放入塑膠培養皿 (直徑 5.5 cm)，待幼蟲孵化後每日供給足量的大豆蚜食餌，試驗期間每 12 h 觀察並記錄褐蛉各發育階段及存活情況，至羽化為成蟲止，每一溫度處理各 10 粒卵， 5 重複，統計分析褐蛉各發育期之平均發育時間及存活率。

2. 褐蛉發育速率與溫度直線迴歸

Sato and Takada (2004)^[36] 及 Yayla and Satar (2012)^[46] 等研究均依據直線迴歸模式^[3]來探討褐蛉發育速率及溫度間的關聯性，其定義為 $D(T)=a+bT$ 。其中 D 為發育速率， T 為飼育的定溫 ($^\circ\text{C}$)， a 為迴歸直線於溫度為 0°C 時的發育速率， b 為該直線迴歸方程式中的斜率。並可藉此公式計算發育有效積溫 (effective accumulated temperature, $K=1/b$)，及發育臨界低溫 (lower threshold temperature, $T_0=-a/b$)。

發育有效積溫 (K) 的標準誤差由下列公式計算：

$$\frac{\text{S. E. of } b}{b^2}$$

發育臨界低溫 (T_0) 的標準誤差由下列公式計算：

$$\bar{y} \sqrt{\frac{S^2}{N\bar{y}^2} + \left[\frac{\text{S. E. of } b}{b} \right]^2}$$

其中 S. E. 為標準誤差， \bar{y} 為樣本平均， N 為樣本數量， S^2 是樣本的殘差平均平方和 (residual mean square)。

(四) 統計分析

試驗所得數據均以 SAS (Version 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) 軟體進行分析。相關褐蛉各發育期之各項試驗數據經單因子變異數分析 (one-way

ANOVA)，再以 Tukey HSD test 進行事後檢定，顯著水準設定為 5%。雌成蟲之相關試驗數據，皆以能產下有效卵者進行統計分析。此外，本試驗將雌蟲的產卵高峰期之分析設定為，在雌蟲平均壽命內，經 ANOVA 分析及 Tukey HSD test 後，與最高單日產卵量在 5% 顯著水準下無顯著差異者。

三、結果

(一) 狹翅褐蛉供食五種蚜蟲後之發育情形

1. 褐蛉未成熟期的發育情形

供食偽菜蚜處理組之褐蛉幼蟲皆於蛻皮至第二齡前即死亡，因此無法紀錄後續發育資料及進行相關統計分析。而供食大豆蚜、夾竹桃蚜、棉蚜及桃蚜等四個處理組，一齡幼蟲平均發育時間分別為 1.5 ± 0.0 、 2.4 ± 0.1 、 1.9 ± 0.1 及 1.5 ± 0.0 天 ($F=67.64, df=19, p<0.05$)，二齡幼蟲分別為 1.2 ± 0.0 、 1.8 ± 0.0 、 1.1 ± 0.1 及 1.3 ± 0.0 天 ($F=30.51, df=19, p<0.05$)，三齡幼蟲分別為 1.8 ± 0.1 、 2.5 ± 0.1 、 1.8 ± 0.1 及 1.7 ± 0.0 天 ($F=18.33, df=19, p<0.05$)，其中，供食夾竹桃蚜處理組，於幼蟲三個齡期之發育時間皆較其他處理組長，均呈顯著差異。幼蟲期供食四種不同食餌組的平均發育時間分別為 4.5 ± 0.0 、 6.6 ± 0.2 、 4.9 ± 0.1 及 4.5 ± 0.0 天 ($F=70.74, df=19, p<0.05$)，其中，供食桃蚜及大豆蚜組所需發育時間最短，兩者間無顯著差異，而供食棉蚜處理組次之，供食夾竹桃蚜者最長。此四個處理組在蛹期（含前蛹期）的發育時間分別為 7.4 ± 0.0 、 7.3 ± 0.1 、 7.1 ± 0.2 及 7.2 ± 0.1 天，四組處理間則無顯著差異 ($F=1.27, df=19, p=0.32$) (表 1)。

統計褐蛉幼蟲發育至成蟲之存活率，供食大豆蚜、夾竹桃蚜、棉蚜及桃蚜組分別為 98.0 ± 2.0 、 68.0 ± 8.0 、 71.6 ± 2.2 及 $92.0 \pm 3.7\%$ ($F = 10.10, df = 19, p < 0.05$)，供食大豆蚜及桃蚜組之存活率最高，兩者間無顯著差異，供食夾竹桃蚜及棉蚜組之存活率相對較低，此兩者間亦無顯著差異。褐蛉幼蟲供食四種蚜蟲後，統計從初齡幼蟲發育至成蟲的總時間分別為 11.9 ± 0.0 、 13.9 ± 0.2 、 12.0 ± 0.3 及 11.7 ± 0.1 天 ($F=30.03, df=19, p<0.05$)，供食夾竹桃蚜組所需發育時間顯著較長，而供食桃蚜、大豆蚜及棉蚜等處理組所需發育時間相對較短，三者間無顯著差異 (表 1)。

2. 褐蛉成蟲壽命及繁殖潛能

褐蛉成蟲供食大豆蚜組，73.3% 之雌蟲能夠產有效卵，

雌、雄蟲平均壽命分別為 69.1 ± 4.6 及 63.6 ± 7.7 日，平均每雌蟲總產卵量達 $1,182.6 \pm 132.2$ 粒卵，估算子代平均孵化率為 $62.7 \pm 8.6\%$ ，平均產卵前期為 3.9 ± 0.3 日，可產卵天數達 63.8 ± 4.3 日 (表 2)。供食大豆蚜處理組最高單日產卵量出現於第 31 日齡平均為 34.7 粒，產卵高峰期自第 6 日齡起，可持續至第 54 日齡，期間僅於第 19 日齡與最高單日產卵量具顯著差異 (圖 1A)。

供食夾竹桃蚜組中，73.3% 之雌蟲能夠產有效卵，雌、雄蟲平均壽命分別為 70.9 ± 3.4 及 82.2 ± 5.3 日，平均每雌蟲總產卵量為 $1,404.1 \pm 100.6$ 粒卵，估算子代平均孵化率為 $73.8 \pm 4.4\%$ ，平均產卵前期為 4.7 ± 0.9 日，可產卵天數達 61.5 ± 3.7 日 (表 2)。供食夾竹桃蚜處理組最高單日產卵量出現於第 43 日齡平均為 42.5 粒，產卵高峰期自第 23 日齡起，可持續至第 50 日齡，期間僅於第 27 及 28 等日齡與最高單日產卵量具顯著差異 (圖 1B)。

供食棉蚜組中，93.3% 之雌蟲能夠產有效卵，雌、雄蟲平均壽命分別為 71.8 ± 4.1 及 97.1 ± 7.5 日，平均每雌蟲總產卵量達 $1,147.6 \pm 68.5$ 粒卵，估算子代平均孵化率為 $74.8 \pm 2.8\%$ ，平均產卵前期為 3.6 ± 0.1 日，可產卵天數達 66.1 ± 3.7 日 (表 2)。棉蚜處理組最高單日產卵量出現於第 11 日齡平均為 28.9 粒，產卵高峰期自第 6 日齡起，可持續至第 44 日齡，期間第 18、19、21、22 及 40 等日齡與最高單日產卵量具顯著差異 (圖 1C)。

供食桃蚜組中，80.0% 之雌蟲能夠產有效卵，雌、雄蟲平均壽命分別為 60.5 ± 4.0 及 77.6 ± 6.0 日，平均每雌蟲總產卵量達 $1,130.3 \pm 122.9$ 粒卵，估算子代平均孵化率為 $80.5 \pm 4.7\%$ ，平均產卵前期為 5.3 ± 0.7 日，可產卵天數達 54.2 ± 3.9 日 (表 2)。桃蚜處理組最高單日產卵量出現於第 32 日齡平均為 36.6 粒，產卵高峰期自第 13 日齡，可持續至第 60 日齡，期間第 14、17 及 46-48 等日齡與最高單日產卵量具顯著差異 (圖 1D)。

綜合試驗結果，褐蛉成蟲供食不同蚜蟲處理組之產卵高峰期約介於羽化後第 6 日至 60 日齡間，而各處理組之平均雌蟲壽命 ($F=1.65, df=47, p=0.191$)、產卵前期 ($F=1.98, df=47, p=0.131$)、產卵天數 ($F=1.83, df=47, p=0.156$)、平均總產卵量 ($F=1.38, df=47, p=0.262$) 及平均子代孵化率 ($F=1.91, df=47, p=0.142$) 等各項統計資料間皆無顯著差異，僅雄蟲平均壽命具顯著差異，以棉蚜處理組最長，大豆蚜處理組最短 ($F=4.25, df=54, p<0.05$)。

表 1、狹翅褐蛉幼蟲供食四種蚜蟲後之發育時間及存活率

Table 1 Mean (\pm SE) developmental period and survival rate of *Micromus timidus* larvae fed with four different aphid species

Prey species	Larval stage						Developmental periods (days)			Survival rate (%)
	1 st instar	2 nd instar	3 rd instar	Total	Prepupa	Pupa	Total	Larva to adult		
<i>A. glycines</i>	1.5 \pm 0.0c	1.2 \pm 0.0b	1.8 \pm 0.1b	4.5 \pm 0.0c	2.7 \pm 0.0a	4.7 \pm 0.1a	7.4 \pm 0.0a	11.9 \pm 0.0b	98.0	98.0 \pm 2.0a
<i>A. nerii</i>	2.4 \pm 0.1a	1.8 \pm 0.0a	2.5 \pm 0.1a	6.6 \pm 0.2a	2.8 \pm 0.1a	4.5 \pm 0.0a	7.3 \pm 0.1ab	13.9 \pm 0.2a	68.0	68.0 \pm 8.0b
<i>A. gossypii</i>	1.9 \pm 0.1b	1.1 \pm 0.1b	1.8 \pm 0.1b	4.9 \pm 0.1b	2.6 \pm 0.1ab	4.5 \pm 0.1a	7.1 \pm 0.2b	12.0 \pm 0.3b	71.6	71.6 \pm 2.2b
<i>M. persicae</i>	1.5 \pm 0.0c	1.3 \pm 0.0b	1.7 \pm 0.0b	4.5 \pm 0.0c	2.5 \pm 0.0b	4.7 \pm 0.1a	7.2 \pm 0.1ab	11.7 \pm 0.1b	92.0	92.0 \pm 3.7a

Means in the same column followed by the same letter were not significantly different at 5% level by Tukey' s HSD test.

表 2、狹翅褐蛉成蟲供食四種蚜蟲後之壽命與繁殖潛能

Table 2 Longevity and female reproductive traits (mean \pm SE) of *Micromus timidus* adults fed with four different aphid species

Prey species	Percentage of fertile female (%)	Pre-oviposition period (days)	Oviposition period (days)	Adult longevity (days)		Fecundity (eggs/ female)	Offspring hatchability (%)
				female	male		
<i>A. glycines</i>	73.3 (15)	3.9 \pm 0.3a (11)	63.8 \pm 4.3a (11)	69.1 \pm 4.6a (11)	63.6 \pm 7.7b (14)	1182.6 \pm 132.2a (11)	62.7 \pm 8.6a (11)
<i>A. nerii</i>	73.3 (15)	4.7 \pm 0.9a (11)	61.5 \pm 3.7a (11)	70.9 \pm 3.4a (11)	82.2 \pm 5.1ab (13)	1404.1 \pm 100.6a (11)	73.8 \pm 4.4a (11)
<i>A. gossypii</i>	93.3 (15)	3.6 \pm 0.1a (14)	66.1 \pm 3.7a (14)	71.8 \pm 4.1a (14)	97.1 \pm 7.5a (14)	1147.6 \pm 68.5a (14)	74.8 \pm 2.8a (14)
<i>M. persicae</i>	80 (15)	5.3 \pm 0.7a (12)	54.2 \pm 3.9a (12)	60.5 \pm 4.0a (12)	77.6 \pm 6.0ab (14)	1130.3 \pm 122.9a (12)	80.5 \pm 4.7a (12)

Number of individuals shown in parentheses.

Means in the same column followed by the same letter were not significantly different at 5% level by Tukey' s HSD test.

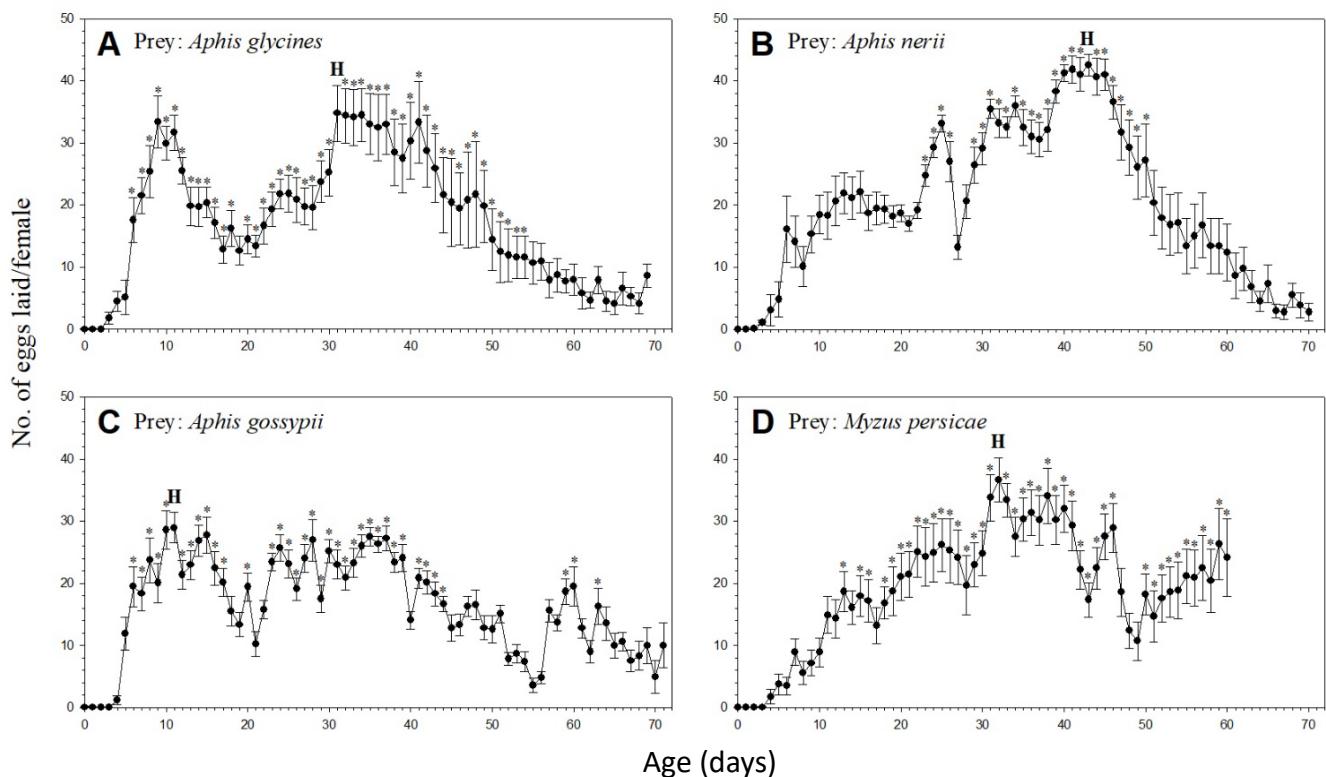


圖 1、狹翅褐蛉供食四種蚜蟲後之每日平均產卵量及產卵高峰期

Fig. 1 Daily fecundity (mean \pm SE) and peak periods of oviposition (*) of *Micromus timidus* fed with four aphids, (A) *Aphis glycines*, (B) *Aphis nerii*, (C) *Aphis gossypii*, and (D) *Myzus persicae*. The means marked with H denote the highest number of progeny, and with * were not significantly different from H at 5% level by Tukey's HSD test

(二) 不同定溫對狹翅褐蛉發育之影響

1. 褐蛉在四種定溫下的發育情形

在 15、20、25 及 30 °C 等四種定溫下，褐蛉卵成功發育至成蟲之存活率分別為 28.0 ± 8.6 、 76.0 ± 3.7 、 70.0 ± 3.7 及 $42.0 \pm 3.7\%$ ($F=19.72, df=19, p<0.05$)。20 及 25°C 處理組存活率較高，15 及 30°C 處理組存活率較低，分別在高低存活率中之兩組間彼此無顯著差異。褐蛉各發育期均呈現隨溫度升高所需時間縮短，卵期平均發育時間在四個定溫下介於 3.0-11.6 天 ($F=14964.5, df=19, p<0.05$)，幼蟲期介於 3.7-15.1 天 ($F=708.19, df=19, p<0.05$) (一齡：1.2-5.0 天 ($F=292.14, df=19, p<0.05$)·二齡：1.0-4.5 天 ($F=456.56, df=19, p<0.05$)·三齡：1.5-5.6 天 ($F=469.70, df=19, p<0.05$))·蛹期 (含

前蛹期) 介於 6.4-24.2 天 ($F=10303.2, df=19, p<0.05$)。四種定溫環境下，總和褐蛉從卵至成蟲所需之平均總發育時間介於 13.0-50.6 天 ($F=10820.1, df=19, p<0.05$) (表 3)。

2. 褐蛉發育速率與溫度直線迴歸

褐蛉的卵期、幼蟲期、蛹期及總和未成熟期之發育速率與溫度直線迴歸公式分別為 $y=0.0170x-0.1661$ ($R^2=0.988, p<0.05$)、 $y=0.0138x-0.1368$ ($R^2=0.992, p<0.05$)、 $y=0.0078x-0.0727$ ($R^2=0.980, p<0.05$) 及 $y=0.0039x-0.0373$ ($R^2=0.988, p<0.05$)，均呈現高度線性關係，發育臨界低溫則介於 9.3-9.9°C，上述四個發育階段的有效積溫分別為 59.2 ± 4.6 、 72.5 ± 4.4 、 128.2 ± 12.9 及 256.4 ± 19.9 日度 (表 4)。

表 3、狹翅褐蛉於四種定溫下之發育時間及存活率

Table 3 Mean (\pm SE) developmental period and survival rate of *Micromus timidus* under four constant temperatures

Temp.	Egg	Developmental periods (days)						Survival rate (%)		
		Larval stage			Pupal (+prepupa) stage					
		1 st instar	2 nd instar	3 rd instar	Total	Prepupa	Pupa	Total		
15°C	11.6 \pm 0.0a	5.0 \pm 0.1a	4.5 \pm 0.1a	5.6 \pm 0.1a	15.1 \pm 0.3a	8.8 \pm 0.1a	15.8 \pm 0.2a	24.2 \pm 0.1a	50.6 \pm 0.3a	28.0 \pm 8.6b
20°C	6.0 \pm 0.0b	2.5 \pm 0.1b	2.0 \pm 0.0b	2.6 \pm 0.1b	7.0 \pm 0.1b	4.4 \pm 0.0b	7.5 \pm 0.0b	11.9 \pm 0.0b	24.8 \pm 0.0b	78.0 \pm 3.7a
25°C	3.6 \pm 0.0c	1.5 \pm 0.0c	1.4 \pm 0.0c	1.7 \pm 0.1c	4.6 \pm 0.1c	2.8 \pm 0.1c	4.7 \pm 0.1c	7.5 \pm 0.0c	15.7 \pm 0.1c	72.0 \pm 3.7a
30°C	3.0 \pm 0.0d	1.2 \pm 0.1d	1.0 \pm 0.0d	1.5 \pm 0.1c	3.7 \pm 0.1d	2.4 \pm 0.1d	4.0 \pm 0.1d	6.4 \pm 0.1d	13.0 \pm 0.1d	42.0 \pm 3.7b

Means in the same column followed by the same letter were not significantly different at 5% level by Tukey' s HSD test.

表 4、狹翅褐蛉未成熟期之發育速率與溫度關係直線迴歸公式、發育臨界低溫及有效積溫

Table 4 Linear regression equations between developmental velocity and temperature, lower threshold temperature and effective accumulated temperature (mean \pm SE) for each immature stage of *Micromus timidus*

Stage	Linear regression equation between growth velocity and temperature	Lower threshold temperature (°C)	Effective accumulated temperature (degree-day)
Egg	y = 0.0170x - 0.1661 (R ² = 0.988, p = 0.006)	9.8 \pm 1.1	59.2 \pm 4.6
Larva	y = 0.0138x - 0.1368 (R ² = 0.992, p = 0.004)	9.9 \pm 0.9	72.5 \pm 4.4
Pupa	y = 0.0078x - 0.0727 (R ² = 0.980, p = 0.010)	9.3 \pm 1.5	128.2 \pm 12.9
Egg-adult	y = 0.0039x - 0.0373 (R ² = 0.988, p = 0.006)	9.6 \pm 1.1	256.4 \pm 19.9

四、討論

本研究完成評估五種蚜蟲食餌對狹翅褐蛉發育之影響，其中供食大豆蚜、夾竹桃蚜、棉蚜及桃蚜等四種處理皆能順利完成生活史，且成蟲期均具有良好的繁殖能力。狹翅褐蛉曾被記錄為棉蚜及桃蚜等二種世界性經濟害蚜的天敵^[22,37]，本研究另發現狹翅褐蛉亦能捕食大豆蚜及夾竹桃蚜，前者造成大豆產量減損，後者則可危害多種夾竹桃科 (Apocynaceae) 園藝作物而影響商品價值。然而，並非所有蚜蟲皆能作為狹翅褐蛉之食餌，本試驗中餵食偽菜蚜處理組之褐蛉幼蟲無法發育至二齡即死亡，Navi (2009)^[21]曾供給偽菜蚜、菜蚜 (*Brevicoryne brassicae* (L.)) 及一種 *Glyricidia* 屬植物上的蚜蟲，作為狹翅褐蛉之食餌，結果顯示褐蛉均無法完成生活史；Vidya (2007)^[43]測試同樣以此三種蚜蟲食餌供食另一種褐蛉 *M. igorotus* Banks，亦得到相同試驗結果。根據其他相關試驗推測造成褐蛉死亡可能的原因，為此等蚜蟲無法滿足褐蛉發育的營養需求，或是偽菜蚜及菜蚜等刺吸十字花科 (Brassicaceae) 寄主植物後，所累積於體內的毒性物質—硫代葡萄糖苷 (glucosinolate) 及其衍生物等，對捕食者生理產生負面效應有關^[11]。但本研究中供食之桃蚜其寄主同為十字花科的甘藍，狹翅褐蛉生長發育卻未受到負面影響，因此，以往相關推論仍待進一步確認與釐清。此外，雖褐蛉科昆蟲普遍被認為是廣食性天敵，能捕食許多體壁柔軟的小型節肢動物^[26]，但 Navi (2009)^[21]曾測試餵食狹翅褐蛉一種木蟲 (*Heteropsylla cubana* Crawford)，後續雖能完成生活史，但存活率低，而供給螺旋粉蟲 (*Aleurodicus disperses* Russell)、鱗翅目之番茄夜蛾 (*Helicoverpa armigera* (Hübner))、斜紋夜蛾 (*Spodoptera litura* (Fabricius)) 及外米綴蛾 (*Coryca cephalonica* (Stainton)) 之卵及初齡幼蟲等食餌，褐蛉皆未順利取食與發育，且最終無法藉由此等食餌完成生活史。Chao and Lo (1974)^[7]曾記錄狹翅褐蛉幼蟲為田間偽二點葉蠅 (*Tetranychus truncates* Ehara) 的天敵，但後續發現此為偶發性的捕食行為。綜合以上，狹翅褐蛉對於蚜蟲類具有明顯的偏好性，此外的小型節肢動物大多無法成為褐蛉的理想食餌，因此目前狹翅褐蛉能防治應用的對象亦受限於蚜蟲類，且大量飼養技術上並無適當的替代食餌可供應用。

狹翅褐蛉於 25°C 下分別供食大豆蚜及桃蚜後，自幼蟲發育至成蟲階段皆僅需約 12 天，存活率可達 90% 以上，而供食夾竹桃蚜處理則需 13.9 天，且存活率降至

68.0%。Omkar (2005)^[27]指出一種瓢蟲 (*Propylea dissecta* (Mulsant)) 在供食 6 種不同蚜蟲處理後，供食夾竹桃蚜處理所需發育時間最長且存活率最低，原因可能與夾竹桃蚜攝食馬利筋中的有毒物質 cardenolides 所產生的防禦機制有關^[19,47]。Navi (2009)^[21]在實驗室內非定溫環境下，共測試供食甘蔗棉蚜、棉蚜、高粱蚜及黑豆蚜等 4 種蚜蟲後，褐蛉自幼蟲發育至成蟲的時間則約介於 14 至 16 天，存活率達 80% 以上，因此，除本試驗測試的大豆蚜及桃蚜外，上述 4 種蚜蟲亦可參考作為大量飼養的食餌選擇。若將狹翅褐蛉發育期及存活率與其他 *Micromus* 屬的褐蛉物種相比，在同樣 25°C 飼育條件下，*M. tasmaniae* (Walker) 自幼蟲發育至成蟲約需 15.8 天^[40]，*M. numerosus* Navás、*M. angulatus* (Stephens) 及 *M. linearis* (Hagen) 則分別約需 15.7、12.3 及 16.1 天，存活率則分別為 23.8、46.4 及 44.4%^[36]，本試驗中供食大豆蚜、棉蚜及桃蚜等處理組之發育時間相對較短，與 *M. angulatus* 試驗結果相近，且供食四種蚜蟲後之存活率則皆高於此三種褐蛉，顯示狹翅褐蛉更具潛力開發應用於蚜蟲的生物防治。

利用統計方法從雌蟲的產卵曲線中定義出產卵高峰期，供食大豆蚜處理之產卵高峰約在羽化後第 6 至第 54 日齡間，期間於第 10-20 日出現略為下降趨勢，之後再度上升至第二波峰，此 48 日高峰期間的產卵總數，占總產卵量的 89.8%。供食夾竹桃蚜處理之產卵高峰比大豆蚜處理組較晚，約在羽化後第 23 至第 50 日齡間，趨勢呈現緩慢攀升至波峰後快速下降，此 26 日高峰期間產卵總數，占總產卵量之 62.0%。供食棉蚜處理之產卵高峰約在羽化後第 6 至第 44 日齡間，達到最大值後並無明顯波峰出現，之後趨勢緩慢下降，在第 59、60 及 63 等日齡時再度出現短暫高峰，此 37 日高峰期間的產卵總數，占總產卵量之 71.7%。供食桃蚜處理之產卵高峰約在羽化後第 13 至平均壽命終了的第 60 日齡間，與夾竹桃蚜處理的曲線相比，達到波峰的時間點較早，較呈左右對稱，此 43 日高峰期間的產卵總數，占總產卵量之 82.4%。供食大豆蚜及桃蚜處理之產卵高峰期累計可得到超過八成以上的一生總產卵量，相關結果可提供作為評估大量飼養褐蛉時，方便在較密集期間收集大量子代蟲卵的參考依據。

在昆蟲可存活的適當溫度範圍內，其發育速率與溫度呈正相關，可藉此計算發育時間，評估田間發生世代，然而發育過程若持續高於或低於臨界溫度將產生明顯致死效果，狹翅褐蛉在 15 及 30°C 等二種定溫環境下，存

活率皆低於 50%；而在 20 及 25°C 等定溫下，存活率則皆可達 70% 以上，且所需發育期短，介於 15.7-22.8 天，在此溫度區間內可維持相對高存活率，相關不同定溫試驗結果，可作為大量飼養及產能調節的參考。此外，目前國內溫網室設施中常栽培的花胡瓜及番茄等，分別易遭受棉蚜及桃蚜危害，其最適栽種溫度分別介於 18-30°C 間及 16-30°C 間^[42]，此與狹翅褐蛉適合發育存活的溫度區間相吻合，因此狹翅褐蛉具有應用於此兩種作物栽培環境下防治蚜蟲的潛力。以往的文獻中曾指出，許多其他褐蛉物種具有低發育臨界低溫的特性^[24,35,40]（以上紀錄皆 <6°C），可在溫帶地區的早春季節蚜蟲開始活動時，便開始發育並建立族群^[37]。本研究中狹翅褐蛉發育臨界低溫為 9.6°C，與之相近的 *M. angulatus* 約為 9°C^[13,36]，雖未達較低發育臨界低溫的特性，但由於臺灣平地低溫甚少持續低於 10°C 的情況，因此狹翅褐蛉終年均能在本地維持良好的生長發育。

目前國內商業化的脈翅目天敵昆蟲以基徵草蛉 (*Mallada basalis* (Walker)) 為主，在其生活史中僅幼蟲期為肉食性，廣泛應用於防治農業上多種小型節肢動物^[6,8,18,45]，其成蟲則嗜花粉、蜜露等食物。在 25°C 條件下，基徵草蛉完成生活史需 27.7 日，發育臨界低溫為 7.8°C，有效積溫為 462.3 日度^[4]。此外，雌成蟲於最佳食物條件下，壽命可達 74.1 天，平均每一雌蟲總產卵量為 571.0 粒卵^[5]。本研究顯示狹翅褐蛉相較於基徵草蛉，僅需約一半的發育時間時間即可完成生活史，雌蟲壽命相近，但平均總產卵量可達草蛉兩倍以上，雖狹翅褐蛉獵食寄主範圍較窄，但在供食蚜蟲食餌後的發育及繁殖潛力表現上均優於基徵草蛉。捕食潛能方面，一種草蛉 *C. carnea* 於具捕食能力之幼蟲期平均能捕食 292 隻棉蚜^[16]，而狹翅褐蛉一生平均能捕食 1,045 隻棉蚜^[22]，達此草蛉的 3.5 倍以上，具有更佳防治蚜蟲類害蟲的潛力。

五、結論

綜觀以上，狹翅褐蛉對於多種蚜蟲均具有捕食能力，且成蟲期捕食量大亦具備良好的繁殖潛能，以大豆蚜及桃蚜為食餌皆能提供狹翅褐蛉良好生長發育及發揮繁殖潛能，表示此等蚜蟲可作為室內大量繁殖褐蛉的優良食餌，將溫度設定在 20 至 25°C 間可達較佳飼育環境。狹翅褐蛉在田間防治應用上相較於基徵草蛉，對蚜蟲類具有專食性的特點，可減少其捕食非標有有害生物而分散捕食潛能，確保防治效果確實作用在目標害蚜上，其成蟲階段具有可飛行搜尋獵物及更強的捕食能力，有助於其分

散保護整個防治區域範圍，減少人工釋放處理的成本。

六、誌謝

本研究承蒙行政院農業委員會 109 農科-8.4.1-檢-B1 計畫經費支持，本系郭美華老師提供蚜蟲相關分類鑑定資訊，賴保成先生協助狹翅褐蛉之解剖鑑定，及國立臺灣大學生命科學系何傳愷老師提供大豆蚜供相關褐蛉食餌評估試驗，一併謹致謝忱。

七、參考文獻

- [1] Arakaki, N. (1992). "Seasonal occurrence of the sugarcane woolly aphid, *Ceratovacuna lanigera* Zehntner (Homoptera: Aphididae) and its predators in sugarcane fields of Okinawa Island." *Appl. Entomol. Zool.*, 27(1): 99-105.
- [2] Blackman, R. L. and Eastop V. F. (2007). Taxonomic issues. pp. 1-29. In: van Emden H. F. and Harrington R. (eds). *Aphids as crop pests*. CABI, London, UK.
- [3] Campbell, A., Frazer B. D., Gilbert N. G. A. P., Gutierrez A. P. and Mackauer M. (1974). "Temperature requirements of some aphids and their parasites." *J. Appl. Ecol.*, 11: 431-438.
- [4] Chang, C. P. (2000). "Investigation on the life history of *Mallada basalis* (Walker) (Neuroptera: Chrysopidae) and the effects of temperatures on its development." *Chinese J. Entomol.*, 20(2): 73-87 (in Chinese).
- [5] Chang, C. P. and Hsieh F. K. (2005). "Effects of different foods on the longevity and fecundity of *Mallada basalis* (Walker) adults (Neuroptera: Chrysopidae)." *Chinese J. Entomol.*, 25(1): 59-66 (in Chinese).
- [6] Chang, C. P. and Huang S. C. (1995). "Evaluation of the effectiveness of releasing green lacewing, *Mallada basalis* (Walker) for the control of tetranychid mites on strawberry." *Plant Protection Bulletin*, 37(1): 41-58 (in Chinese).
- [7] Chao, S. R. S. and Lo P. K. C. (1974). "Biological studies of the spider mite, *Tetranychus truncatus* and its natural enemies." *J. Taiwan Agric.*

- Res.*, 23(2): 126-135 (in Chinese).
- [8] Cheng, L. L., Nechools J. R., Margolies D. C., Campbell J. F., Yang P. S., Chen C. C. and Lu C. T. (2012). "Efficacy of the predator *Mallada basalis* (Neuroptera: Chrysopidae) on *Tetranychus kanzawai* and *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae) at different predator: prey release ratios." *J. Asia-Pac. Entomol.*, 15(1): 142-146.
- [9] Coudriet, D. L. (1962). "Efficiency of various insects as vectors of cucumber mosaic and watermelon mosaic viruses in cantaloups." *J. Econ. Entomol.*, 55(4): 519-520.
- [10] Escriu, F., Perry K. L. and García-Arenal F. (2000). "Transmissibility of cucumber mosaic virus by *Aphis gossypii* correlates with viral accumulation and is affected by the presence of its satellite RNA." *Phytopathology*, 90(10): 1068-1072.
- [11] Francis, F., Haubrige E., Hastir P. and Gaspar C. (2001). "Effect of aphid host plant on development and reproduction of the third trophic level, the predator *Adalia bipunctata* (Coleoptera: Coccinellidae)." *Environ. Entomol.*, 30(5): 947-952.
- [12] Hilson, R. J. D. (1964). The ecology of *Micromus tasmaniae* (Walker). MS. Thesis, University of Canterbury. 100 pp.
- [13] Honěk, A. and Kocourek F. (1988). "Thermal requirements for development of aphidophagous Coccinellidae (Coleoptera), Chrysopidae, Hemerobiidae (Neuroptera), and Syrphidae (Diptera): some general trends." *Oecologia*, 76(3): 455-460.
- [14] Kar, R., Sharma N. and Kar R. (2004). "Brown lacewing, *Micromus igorotus* Banks—a potential predator of sugarcane woolly aphid." *Curr. Sci. India*, 87(8): 1056.
- [15] Leathwick, D. M. (1989). Applied ecology of the Tasmanian lacewing *Micromus tasmaniae* Walker (Neuroptera: Hemerobiidae). PhD thesis, University of Canterbury. 129 pp.
- [16] Liu, T. X. and Chen T. Y. (2001). "Effects of three aphid species (Homoptera: Aphididae) on development, survival and predation of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae)." *Appl. Entomol. Zool.*, 36(3), 361-366.
- [17] Lojek, J. and Orlob G. (1972). "Transmission of tobacco mosaic virus by *Myzus persicae*." *J. Gen. Virol.*, 17(1): 125-127.
- [18] Lu, C. T. and Wang C. L. (2006). "Control effect of *Mallada basalis* on insect pests of nethouse sweet peppers." *J. Taiwan Agric. Res.*, 55(2): 111-120 (in Chinese).
- [19] Malcolm, S. B. (1990). "Chemical defense in chewing and sucking insect herbivores: plant-derived cardenolides in the monarch butterfly and oleander aphid." *Chemoecology*, 1(1): 12-21.
- [20] Mota-Sánchez, D. and Wise J. C. (2020). The Arthropod Pesticide Resistance Database. Michigan State University. Retrieved from <http://www.pesticideresistance.org>
- [21] Navi, S. S. (2009). Exploitation *Micromus igorotus* Banks and *Micromus timidus* Hagen (Hemerobiidae: Neuroptera) in the management of aphids in cotton and tobacco. PhD thesis, University of Agricultural Sciences, Dharwad. 154 pp.
- [22] Navi, S. S., Lingappa S. and Patil R. K. (2010). "Biology and feeding potential of *Micromus timidus* Hagen on cotton aphid, *Aphis gossypii* (Glover)." *Karnataka J. Agric. Sci.*, 23(4): 652-654.
- [23] Navi, S. S., Lingappa S. and Patil R. K. (2011). "Biotic potential of *Micromus timidus* Hagen on six aphid species." *J. Entomol. Res.*, 35(2): 143-146.
- [24] Neuenschwander, P. (1975). "Influence of

- temperature and humidity on the immature stages of *Hemerobius pacificus*." *Environ. Entomol.*, 4(2): 215-220.
- [25] Neuenschwander, P. and Hagen K. S. (1980). "Role of the predator *Hemerobius pacificus* in a non-insecticide treated artichoke field." *Environ. Entomol.*, 9(5): 492-495.
- [26] New, T. R. (1975). "The biology of Chrysopidae and Hemerobiidae (Neuroptera), with reference to their usage as biocontrol agents: a review." *T. Roy. Ent. Soc. London*, 127(2): 115-140.
- [27] Omkar, M. G. (2005). "Preference-performance of a generalist predatory ladybird: A laboratory study." *Biol. Control*, 34(2): 187-195.
- [28] Patil, A. S., Magar S. B. and Shinde V. D. (2007). "Biological control of the sugarcane woolly aphid (*Ceratovacuna lanigera*) in Indian sugarcane through the release of predators." *Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol.*, 26: 797-804.
- [29] Patnaik, N. C., Satpathy J. M. and Bhagat K. C. (1977). "Note on the occurrence of aphidophagous insect predators in Puri district (Orissa) and their predation on the sorghum aphid, *Longiunguis sacchari* (Zhnt.)." *Indian J. Agr. Sci.*, 47(11): 585-586.
- [30] Pinto, Z. V., Rezende J. A. M., Yuki V. A. and Piedade S. M. D. S. (2008). "Ability of *Aphis gossypii* and *Myzus persicae* to transmit cucumber mosaic virus in single and mixed infection with two potyviruses to zucchini squash." *Summa Phytopathol.*, 34(2): 183-185.
- [31] Potemkina, V. I. and Kovalenko T. K. (1990). "The use of aphid predator *Micromus angulatus* in the integrated vegetable protection system." *Nauchno-Tekhnicheskii Byulleten, VASKhNIL, Sibirskoe Otdelenie*, 2: 24-32 (in Russian).
- [32] Raccah, B., Gal-On A. and Eastop V. (1985). "The role of flying aphid vectors in the transmission of cucumber mosaic virus and potato virus Y to peppers in Israel." *Ann. Appl. Biol.*, 106(3): 451-460.
- [33] Radhakrishnan, B. and Muraleedharan N. (1989). "Life history and population dynamics of *Micromus timidus* Hagen a predator of the tea aphid, *Toxoptera aurantii* (Boyer De Fonscolombe)." *J. Plant. Crops*, 16 (supplement): 189-194.
- [34] Rumpf, S., Hetzel F. and Frampton C. (1997). "Lacewings (Neuroptera: Hemerobiidae and Chrysopidae) and integrated pest management: enzyme activity as biomarker of sublethal insecticide exposure." *J. Econ. Entomol.*, 90(1): 102-108.
- [35] Samson, P. R. and Blood P. R. B. (1979). "Biology and temperature relationships of *Chrysopa* sp., *Micromus tasmaniae* and *Nabis capsiformis*." *Entomol. Exp. Appl.*, 25(3): 253-259.
- [36] Sato, T. and Takada H. (2004). "Biological studies on three *Micromus* species in Japan (Neuroptera: Hemerobiidae) to evaluate their potential as biological control agents against aphids: 1. Thermal effects on development and reproduction." *Appl. Entomol. Zool.*, 39(3): 417-425.
- [37] Singh, L. S., Devjani P., Debaraj Y. and Singh T. K. (1994). "Studies on the seasonal incidence of *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) on cabbage in relation to abiotic and biotic factors." *Proc. Nation. Acad. Sci, India, Section B Biol. Sci.*, 64(1): 95-98.
- [38] Stange, L. A. and Wang H. Y. (1998). Guide book of the insects of Taiwan: Neuroptera, Megaloptera, Raphidioptera. pp 175-176. Su-Hsing publication, Taipei, Taiwan.
- [39] Swezey, O. H. (1923). "Records of introduction of beneficial insects into the Hawaiian Islands." *P. Hawaii Entomol. Soc.*, 5: 299-304.
- [40] Syrett, P. and Penman D. (1981).

- "Developmental threshold temperatures for the brown lacewing, *Micromus tasmaniae* (Neuroptera: Hemerobiidae)." *New Zeal. J. Zool.*, 8(2): 281-283.
- [41] Tjeder, B. (1961). "Neuroptera-Planipennia. The lacewings of southern Africa. 4. The family Hemerobiidae." *South African Animal Life*, 8: 296-408.,
- [42] Tsao, J. S. J. and Lo S. F. (2003). Vegetables: Types and Biology. pp. 1-25. In: Hui, Y. H., Ghazala S., Graham D. M., Murrell K. D. and Nip W. K. (eds). *Handbook of Vegetable Preservation and Processing*. CRC Press, New York. <https://doi.org/10.1201/9780203912911>.
- [43] Vidya, M. (2007). Exploitation of *Micromus igorotus* Banks (Neuroptera: Hemerobiidae) in the management of sugarcane woolly aphid, *Ceratovacuna lanigera* Zehntner. PhD thesis, University of Agricultural Sciences, Dharwad. 147 pp.
- [44] Vidya, M., Lingappa S., Patil R. K. and Ramegowda G. K. (2010). "Biology and feeding potential of *Micromus timidus* Hagen (Neuroptera :Hemerobiidae) on sugarcane woolly aphid, *Ceratovacuna lanigera* Zehntner." *Karnataka J. Agr. Sci.*, 23(2): 246-248.
- [45] Wu, T. K. (1992). "Feasibility of controlling citrus red spider mite, *Panonychus citri* (Acarina: Tetranychidae) by green lacewing, *Mallada basalis* (Neuroptera: Chrysopidae)." *Chinese J. Entomol.*, 12(2): 81-89 (in Chinese).
- [46] Yayla, M. and Satar S. (2012). "Temperature influence on development of *Symppherobius pygmaeus* (Rambur) (Neuroptera: Hemerobiidae) reared on *Planococcus citri* (Risso) (Hemiptera: Pseudococcidae)." *Turk. Entomol. Derg-Tu*, 36(2): 11-22.
- [47] Züst, T., Mou S. and Agrawal A. A. (2018). "What doesn't kill you makes you stronger: The burdens and benefits of toxin sequestration in a milkweed aphid." *Funct. Ecol.*, 32(8): 1972-1981.
-
- 2020年12月09日 收稿
2021年01月16日 修正
2021年02月08日 接受