



赤星瓢蟲 (*Lemnia saucia* (Mulsant)) (鞘翅目：瓢蟲科) 捕食竹葉扁蚜 (*Astegopteryx bambucifoliae* (Takahashi)) (半翅目：蚜蟲科) 之功能反應與對食餌齡期偏好性

羅權彧¹、宋一鑫²、黃啟鐘^{1*}

¹ 國立嘉義大學生物資源學系 60004 嘉義市東區學府路 300 號

² 國立嘉義大學植物醫學系 60004 嘉義市東區學府路 300 號

* 通訊作者 email: chuang@mail.ncyu.edu.tw

收件日期：2018 年 3 月 29 日

接受日期：2018 年 6 月 23 日

線上刊登日期：2018 年 7 月 30 日

摘要

捕食功能反應研究在瞭解捕食性動物與獵物間的交互作用關係，亦可應用於評估捕食性昆蟲取食農業害蟲，是否能成為生物防治的有效天敵。赤星瓢蟲 (*Lemnia saucia* (Mulsant)) 三、四齡幼蟲對竹葉扁蚜 (*Astegopteryx bambucifoliae* (Takahashi)) 二齡若蟲之日平均捕食量，分別為 62.2 和 68.9 隻，而成蟲最多可達 179.4 隻。雌、雄赤星瓢蟲皆屬於第 II 型捕食功能反應，比較雌、雄成蟲的捕食量、攻擊係數 (attack rate, a) 均以雌成蟲較高，而捕捉時間 (handling time, T_h) 則以雄成蟲花費時間較長。捕食偏好性比較，赤星瓢蟲幼蟲、成蟲均偏好捕食竹葉扁蚜成蟲，而雌成蟲對竹葉扁蚜成蟲之偏好性亦高於雄成蟲。由於竹類作物被竹葉扁蚜危害嚴重，赤星瓢蟲具開發作為其生物防治天敵的潛力。

關鍵詞：赤星瓢蟲、竹葉扁蚜、捕食功能反應、捕食偏好性。

前言

功能反應 (functional response) 理論源於 1949 年英國昆蟲學家 Solomon 所提出。生態學家 Holling (1959) 描述三類型功能反應，包括 I 型 (Type I)：單位時間內，捕食量隨著獵物密度的增加以直線型的方式上升；II 型 (Type II)：單位時間內，捕食量隨著獵物密度上升而增加，但是獵物密度過高時，上升的比例減少而趨於平穩，亦稱作 Holling 圓盤型方程式 (Holling disc equation) 的功能反應；III 型 (Type III)：亦稱 S 型 (sigmoid) 反

應，在低獵物密度時，捕食量較 Type II 型低，之後隨著獵物密度上升，捕食量以 S 型的方式遞增，待捕食量達到飽和時不再增加。其後，學者由以上三類型功能反應為基礎，發展不同天敵的寄生或捕食模式之功能反應模型，使模型更能適用於各種天敵，如本研究採用 Rogers 所提出的隨機性捕食者模型 (random predator model) (Rogers, 1972)。

捕食性瓢蟲普遍為多食性的昆蟲，在捕食不同種獵物時，所呈現的捕食功能反應型態會不同 (Pervez and Omkar, 2005)，如南美洲一種捕食性瓢蟲 (*Eriopis connexa* (Germar)) 捕食馬鈴薯長

管蚜 (*Macrosiphum euphorbiae* (Thomas)) 的捕食功能反應屬 Type III 型反應，但轉向捕食伊凡氏葉蟪 (*Tetranychus evansi* Baker and Pritchard) 則屬 Type II 型反應，此與不同獵物對天敵的防禦機制 (Sarmiento *et al.*, 2007; Milonas *et al.*, 2011)、獵物體型大小 (Milonas *et al.*, 2011)、獵物棲息於不同寄主植物 (Clercq *et al.*, 2000; Skirvin and Fenlon, 2001; Stavrinides and Skirvin, 2003; Bayoumy *et al.*, 2014)、其他種類天敵之干擾 (Phoofolo and Obrycki, 1998)、氣候及棲地型態 (Milonas *et al.*, 2011) 或天敵之捕食經驗 (Lai, 2004) 等有關。

本研究所選之捕食昆蟲為赤星瓢蟲 (*Lemnia saucia* (Mulsant))，又稱黃斑盤瓢蟲，屬於斑盤瓢蟲屬 (*Lemnia*)，為肉食性，主要捕食半翅目之蚜蟲、介殼蟲、木蝨和飛蝨等多種害蟲 (Lin and Yu, 2012)，也是臺灣普遍存在之捕食性瓢蟲。

而本研究所選之獵物為竹葉扁蚜 (*Astegopteryx bambucifoliae* (Takahashi))，又稱竹姬角蚜 (Chen *et al.*, 2002)，為臺灣低海拔竹林間的常見害蟲。此蟲多行孤雌生殖，世代繁衍快速，喜在秋冬旱季時，危害禾本科 (Gramineae)、竹亞科 (Bambusoideae) 之麻竹屬 (*Dendrocalmus* spp.) 和荊竹屬 (*Bambusa* spp.) 等多種竹類 (Liu and Cheng, 1976)。此蟲常群聚於竹葉背面吸取養分，嚴重危害時致使葉片枯黃，並分泌蜜露，助長真菌表生引發煤煙病，阻礙葉片光合作用與呼吸作用的進行，影響竹的生長勢及竹筍的產量 (Yeh and Ko, 2014)。

Pakyari *et al.* (2009) 指出應用天敵於生物防治工作前，評估天敵對獵物之捕食效率極為重要。因此，本研究於室內進行赤星瓢蟲對竹葉扁蚜捕食效率 (predation efficiency)、捕食功能反應 (functional response) 以及對獵物發育期之偏好性 (prey-stage preference) 等試驗，並評估應用於竹葉扁蚜生物防治的可行性。

材料與方法

一、竹葉扁蚜之飼養

竹葉扁蚜及新鮮竹葉採自嘉義市蘭潭附近竹林 (23°28'46.7"N; 120°29'23.0"E)，飼育在透明長方形飼育盒 (16.5 × 12.3 × 5.5 cm³) 內，置於恆溫生長箱 26.5 ± 1°C、85 ± 5% RH 及光週期 14:10 (L:D) 條件下。飼育竹葉扁蚜的方法，在飼育盒塑膠蓋中

間切開 4 × 4 cm² 的面積並貼上 18 目網孔 (1 × 1 mm) 的藥用紗布，以利盒內通風。飼育盒底部先墊入一張 9 cm 濾紙，兩端各墊一濕潤棉片，竹葉以剪刀將其基部與頂端修剪約 10 cm 長，以毛筆將 10 隻竹葉扁蚜成蟲挑至葉背上，其後葉背朝下置於棉片上，兩端各再墊一濕潤棉片以夾住竹葉兩端，使葉背與濾紙留有空隙讓蚜蟲活動；待竹葉黃化時更換新鮮竹葉，且每天清除蚜蟲分泌於葉背之蜜露與棉片等材料。竹葉扁蚜繁殖之後代亦作為後續實驗赤星瓢蟲之食餌。

二、赤星瓢蟲之飼養

赤星瓢蟲亦採自同地點，以供試竹葉扁蚜為食餌，置於恆溫生長箱 26.5 ± 1°C、65 ± 5% RH 及光週期 14:10 (L:D) 下飼養，飼育盒內以棉球沾濕 10% 蜜水 (蜂蜜來源為本地產市售龍眼蜂蜜) 供每飼育盒中一對雌、雄性瓢蟲吸食，直至該瓢蟲所產之卵孵化為幼蟲，再各別移入與上述相同的飼育盒中進行下列試驗。

三、赤星瓢蟲幼蟲捕食量

赤星瓢蟲幼蟲共 4 個齡期。試驗進行時，每飼育盒中竹葉配置 100 隻竹葉扁蚜二齡若蟲，並挑入一隻初齡赤星瓢蟲幼蟲，共 20 個重複。每日觀察記錄赤星瓢蟲幼蟲之生長齡期與竹葉扁蚜存活蟲數，直到每盒瓢蟲幼蟲化蛹為止。瓢蟲幼蟲的每日捕食蟲數為當日供應蟲數減去存活蟲數。各齡期赤星瓢蟲幼蟲之每日平均捕食量，以 Student's *t*-test 統計方法分析齡期間之差異。

四、赤星瓢蟲雌、雄成蟲之捕食量及捕食功能反應型

前述方法飼養之赤星瓢蟲成蟲羽化兩天後，依雌、雄成蟲單獨飢餓 24 h 後，挑入竹葉扁蚜二齡若蟲 3、6、12、24、48、96、192 及 384 隻等八種處理置於盒內飼養，每處理各 10 重複。瓢蟲經取食 24 h 後方取出，再計算竹葉扁蚜存活蟲體數及死亡蟲數。以供應蟲數減去存活蟲體數得知其捕食量，再以供應蟲數除以捕食量換算其捕食率 (predation rate)。

赤星瓢蟲雌、雄成蟲之捕食功能反應型，參考 Juliano (2001)，以捕食量相對於初始獵物密度，透過邏輯迴歸 (logistic regression) 分析，判別捕食功能反應型。方程式如 Equation 1 所示

$$\text{Equation 1: } \frac{N_d}{N_0} = \frac{\exp(P_0 + P_1 N_0 + P_2 N_0^2 + P_3 N_0^3)}{1 + \exp(P_0 + P_1 N_0 + P_2 N_0^2 + P_3 N_0^3)}$$

其中, N_a 為捕食量, N_0 為初始獵物密度, 而係數 P_0 、 P_1 、 P_2 和 P_3 分別為常數、一次、二次及三次方係數, 由此公式當 P_1 顯著呈負值時, 屬 Type II 型反應, 而當 P_1 顯著呈正值時, 屬 Type III 型反應。

若此瓢蟲雌、雄成蟲屬 Type II 型反應, 則以 Rogers II 隨機捕食方程式 (random predator equation) (Rogers, 1972), 如 Equation 2 所示

$$\text{Equation 2: } N_a = N_0(1 - e^{(a(N_a h - T))})$$

其中, a 為攻擊效率常數, h 為捕捉時間 (T_h), T 為捕食總時間, 透過最大相似法 (maximum likelihood estimation), 分析出攻擊效率常數 (a) 和捕捉時間 (T_h), 當攻擊效率常數越大, 且捕捉時間越小, 表示瓢蟲之捕食效率越佳。隨後比較此瓢蟲之雌、雄成蟲攻擊效率常數 (a) 和捕捉時間 (T_h) 之方程式, 如 Equation 3 所示

$$\text{Equation 3: } N_a = N_0(1 - e^{((a - D_a \times grp)(N_a(h - D_h \times grp) - T)})}$$

其中, grp 為迴歸分析中的虛擬編碼變數 (dummy coding variable), 如第一種捕食者之功能反應方程式, 以 $grp = 0$ 為編碼表示, 而第二種捕食者, 即 $grp = 1$; 此外, $D(a)$ 及 $D(T_h)$ 為兩種捕食者之攻擊效率常數和捕捉時間的差異, 並透過最大相似法檢驗是否據差異性 (Juliano, 2001)。

五、赤星瓢蟲之幼蟲與雌雄成蟲對食餌之偏好性

分別取一至四齡之赤星瓢蟲幼蟲, 以及羽化後兩天且未交配之雌、雄成蟲, 挑入竹葉扁蚜二齡若蟲與成蟲各 25 隻, 共計 50 隻食餌, 置於瓢蟲飼育盒內, 每一處理各 10 重複。進行捕食 5 h 後, 分別記錄瓢蟲幼蟲與成蟲捕食竹葉扁蚜之若、成蟲存活蟲數及死亡蟲數, 並換算其捕食量。捕食量之原始數據 (raw data) 以平方根做轉換 ($\sqrt{x} + 0.5$), 參考 Xiao *et al.* (2013), 計算捕食偏好係數 β , 方程式如 Equation 4 所示

$$\text{Equation 4: } \beta = \left[\frac{\ln\left(\frac{N'}{N_c'}\right)}{\ln\left(\frac{N}{N_c}\right)} + 1 \right]^{-1}$$

其中, N 和 N' 是代表兩種獵物之原提供數量; N_c 和 N_c' 是代表兩種獵物之被捕食量。 β 值介於 0~1 之間, 當 $\beta = 0.5$ 時, 表示無偏好性。其後, 再以 Student's *t*-test 分別檢定赤星瓢蟲各齡期幼蟲以及雌、雄成蟲之 β 值是否與 $\beta = 0.5$ 重疊 (Carrillo and Peña, 2012; Xiao *et al.*, 2013)。

六、資料統計與處理

上述實驗數據, 以 MS Excel 軟體進行數據輸入及轉換。以 R Project (Version 3.3.3) 統計軟體進行 Student's *t*-test 檢定, 捕食功能反應分析以 frair (Version 0.5) 擴充套件進行分析。

結 果

一、赤星瓢蟲幼蟲之捕食量

赤星瓢蟲幼蟲每日捕食竹葉扁蚜若蟲的數量如圖一。一至四齡幼蟲日平均捕食 21.2、35.0、62.2 及 68.9 隻竹葉扁蚜若蟲 ($n = 20$)。其中以三、四齡幼蟲的平均日捕食量為最高且二者間無顯著差異, 但與一、二齡幼蟲達顯著差異 ($P < 0.05$), 而第一齡幼蟲最低。

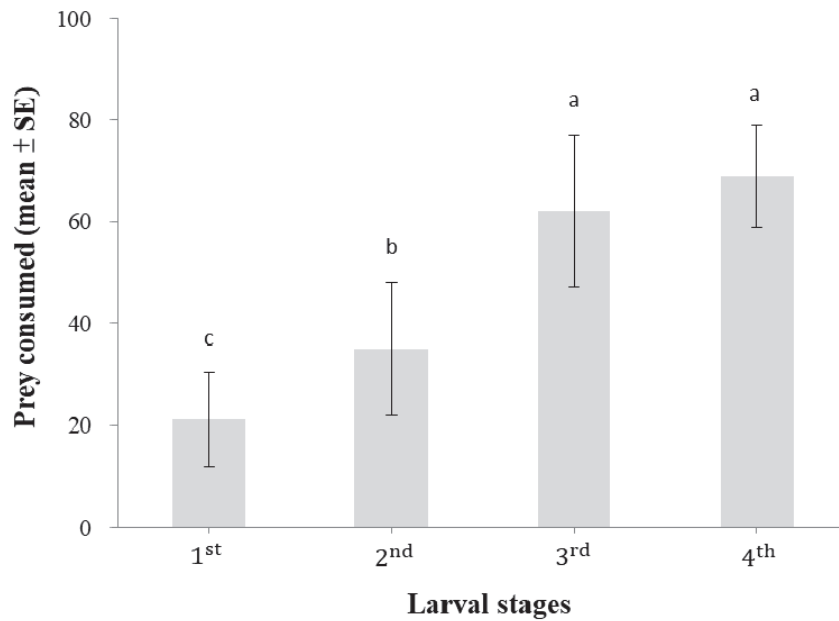
二、赤星瓢蟲雌、雄成蟲之捕食量及捕食功能反應型

赤星瓢蟲雌、雄成蟲平均每日所捕食竹葉扁蚜若蟲之數量如表一。八種處理中, 雌瓢蟲捕食量範圍為 2.9~179.4 隻, 雄瓢蟲則為 2.7~157.9 隻, 各個處理中, 除扁蚜數量為 12 之處理組外, 瓢蟲雌、雄成蟲間之差異皆不具顯著性。

以邏輯迴歸分析此瓢蟲雌、雄成蟲之功能反應型之結果, 如表二所示。其中 z 值為迴歸係數, 由估計值 (estimate) 與標準誤差 (standard error, SE) 相除而得, 若該值之絕對值大於 2.0, 表示變數與母體資料有關, 故本研究 Linear (P_1) 變數數據資料成立; 此外, Linear (P_1) 變數之計算值呈負數值且具顯著差異性 ($P < 0.05$), 顯示雌、雄成蟲對竹葉扁蚜的功能反應皆屬 Type II 型反應。在 Rogers II 方程式中, 赤星瓢蟲對不同竹葉扁蚜捕食量, 隨密度增加而增大 (圖二), 而在食餌密度超過 192 隻以上時, 捕食則隨之降低 (圖三)。從 Rogers II 方程式分析瓢蟲捕食效率, 顯示雌成蟲之攻擊效率常數 (a) 及捕捉時間 (T_h) 分別為 0.251 hr^{-1} 與 0.108 h , 而雄成蟲分別為 0.194 h^{-1} 與 0.115 h (表三)。雌、雄成蟲的攻擊效率常數 (a) 以雌成蟲較高, 而捕捉時間 (T_h) 以雄成蟲較長。另比較 $D(a)$ 與 $D(T_h)$, 結果如表四, 兩參數均達顯著差異, 顯示雌成蟲的捕食效率高於雄成蟲。

三、赤星瓢蟲之幼蟲與雌雄成蟲對食餌之偏好性

赤星瓢蟲一至四齡幼蟲捕食竹葉扁蚜二齡若蟲與成蟲之偏好性結果如圖四, 顯示赤星瓢蟲一至四齡幼蟲之偏好性係數 (β) 對食餌的捕食量分別為



圖一 赤星瓢蟲一至四齡幼蟲捕食竹葉扁蚜之日平均數量與標準誤差。

Fig. 1. Mean of prey *A. bambucifoliae* consumed by predator *L. saucia* at various larval stages.

表一 赤星瓢蟲雌、雄成蟲在八種獵物密度處理之日捕食量

Table 1. Mean number of preys consumed by female and male *L. saucia* adults at different prey densities in 24 hours

Prey density	Female	Male	<i>P</i> value*
3	2.9±0.32 ^a	2.7±0.67 ^a	0.5032
6	5.6±0.70 ^a	6.0±0.00 ^a	0.6789
12	12.0±0.00	12.0±0.00	<i>N/A</i>
24	22.7±2.16 ^a	21.3±7.51 ^a	0.4666
48	47.4±0.84 ^a	44.5±7.26 ^a	0.4666
96	93.9±2.38 ^a	93.2±3.43 ^a	0.7260
192	167.8±29.31 ^a	160.3±26.70 ^a	0.3442
384	179.4±36.97 ^a	157.9±35.25 ^a	0.1618

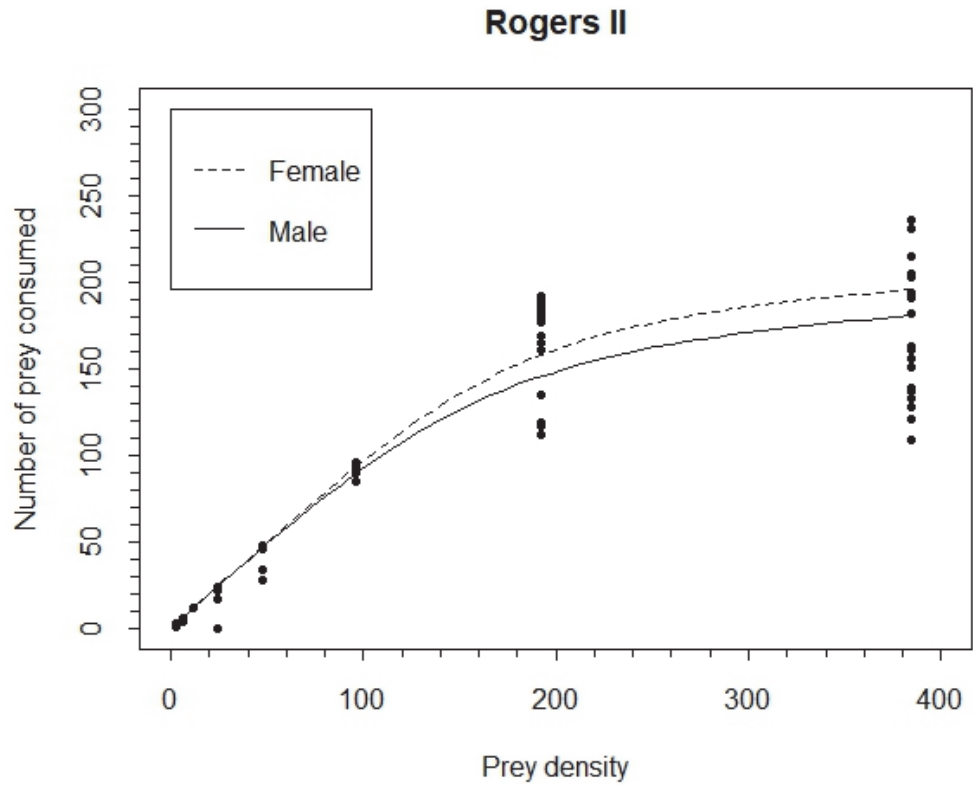
* Student's *t*-test (*n* = 10).

表二 雌、雄赤星瓢蟲取食竹葉扁蚜之功能反應型之邏輯回歸參數

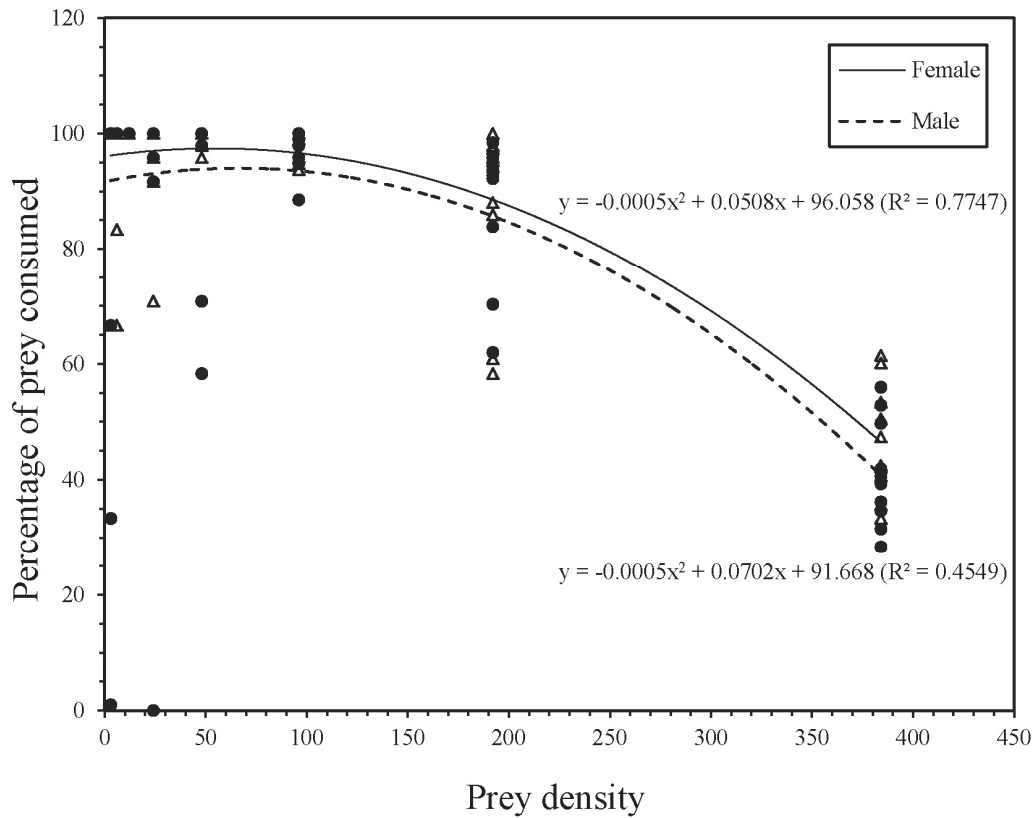
Table 2. Estimation of coefficients in binomial logistic regressions of prey consumed by female and male *L. saucia* adults

Adult sex	Parameter	Estimate*	SE	z-value	<i>P</i> value
Female	Intercept (<i>P</i> ₀)	4.2114013	0.1094391	38.48	< 0.05
	Linear (<i>P</i> ₁)	-0.0113262	0.0003123	-36.25	< 0.05
Male	Intercept (<i>P</i> ₀)	3.6040250	0.0907682	39.71	< 0.05
	Linear (<i>P</i> ₁)	-0.0103041	0.0002682	-38.41	< 0.05

*Negative and positive linear terms indicating type II and III functional responses, respectively.



圖二 雌、雄赤星瓢蟲之 Rogers II 型捕食功能反應曲線。
 Fig. 2. Curves of Rogers II predatory functional response of female and male *L. saucia* adults.



圖三 雌、雄赤星瓢蟲於不同竹葉扁蚜密度下之捕食比例。
 Fig. 3. Percentage of prey consumed by female and male *L. saucia* adults at different densities of *A. bambucifoliae*.

表三 雌、雄赤星瓢蟲在Rogers II 模型下以最大相似法計算功能反應參數之攻擊效率常數 (a) 及捕捉時間 (T_h)

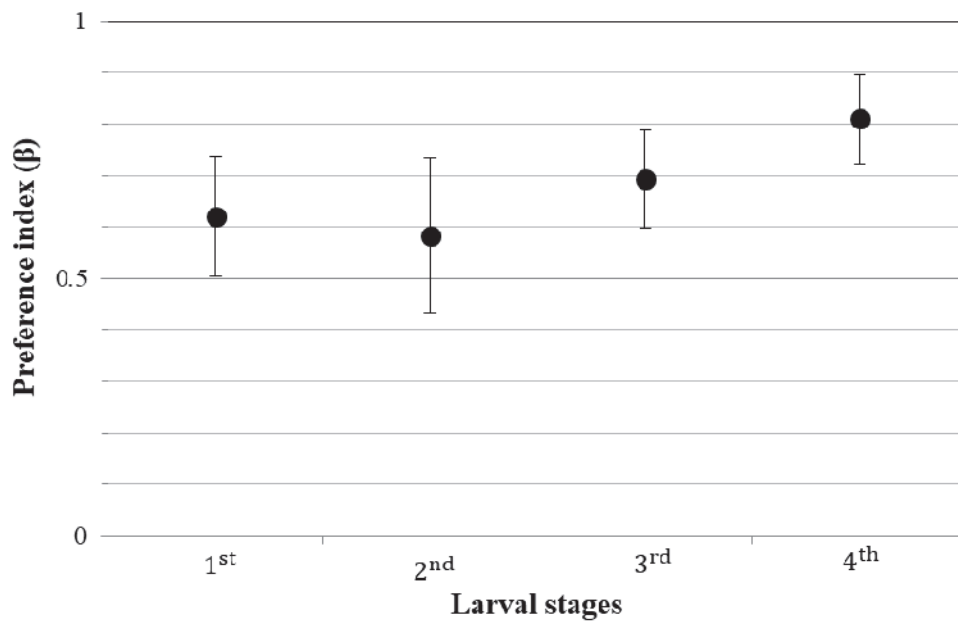
Table 3. Attack rate (a) and handling time (T_h) of *L. saucia* female and male adults based on maximum likelihood estimation of the Rogers II model

Adult Sex	Attack rate (a)	Handling time (T_h)	Total time (hr)
Female	0.251	0.108	24
Male	0.194	0.115	24

表四 雌、雄赤星瓢蟲在Rogers II 模型下比較功能反應參數之攻擊效率常數 ($D(a)$) 及捕捉時間 ($D(T_h)$)

Table 4. Difference in attack rate, $D(a)$, and handling time, $D(T_h)$, between *L. saucia* female and male adults based on Rogers II model

Parameter	Estimate	Std. Error	z-value	P value
$D(a)$	-0.05702	0.01296	-4.4006	< 0.05
$D(T_h)$	0.00655	0.00289	2.2630	< 0.05



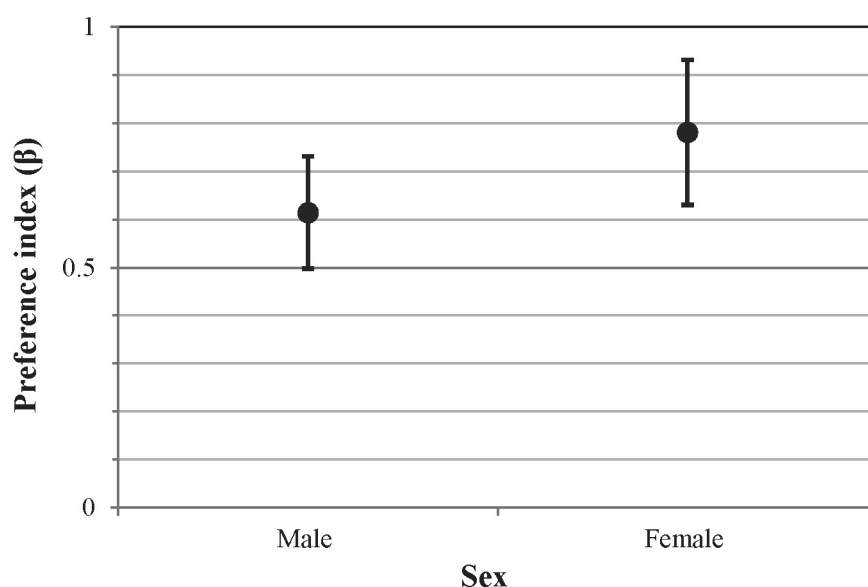
圖四 赤星瓢蟲一至四齡幼蟲取食竹葉扁蚜若蟲與成蟲之偏好性係數 (β)。

Fig. 4. Preference index β of *L. saucia* larvae against nymphs and adults of *A. bambucifoliae*.

0.62、0.58、0.69 及 0.81，二齡幼蟲統計上呈現對於兩種餌食不具偏好性 ($P = 0.1109$)，一、三及四齡幼蟲皆偏好捕食蚜蟲成蟲 ($P < 0.05$)。雌雄成蟲捕食竹葉扁蚜之偏好性之結果如圖五，顯示雌、雄成瓢蟲之偏好性係數 (β) 分別為 0.78 和 0.61，雖雄成蟲之偏好性係數 (β) 較低，兩者統計上皆顯示偏好捕食蚜蟲成蟲 ($P < 0.05$)。

討 論

一般而言，捕食性瓢蟲隨著幼蟲齡期的增長，能捕食更多獵物。本研究在環境控制下進行實驗，其結果得知，赤星瓢蟲初齡幼蟲之每日捕食量較低。參考 Lee and Kang (2004) 研究指出異色瓢蟲 (*Harmonia axyridis* (Pallas)) 之初齡幼蟲對棉蚜 (*Aphis gossypii* Glover) 捕食率低的原因，可能與初齡幼蟲對棉蚜攻擊率低及捕捉時間長有關；此



圖五 雌、雄赤星瓢蟲取食竹葉扁蚜若蟲與成蟲之偏好性係數 (β)。

Fig. 5. Preference index β of female and male *L. saucia* adults against nymphs and adults of *A. bambucifoliae*.

外，Farhadi *et al.* (2010) 研究利用多異瓢蟲 (*Hippodamia variegata* (Goeze)) 幼蟲對甜菜蚜 (*Aphis fabae* Scopoli) 進行捕食功能反應實驗結果，顯示隨著幼蟲齡期的增長，其捕食效率越高，且以終齡幼蟲為最高。綜上所述，本研究赤星瓢蟲各齡期幼蟲之捕食量差異，主要與幼蟲之捕食能力有關。

捕食性瓢蟲中，其捕食功能屬於 Type II 型反應者，參閱文獻其他瓢蟲種類如孟氏隱唇瓢蟲 (*Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant) 捕食桑粉介殼蟲 (*Maconellicoccus hirsutus* (Green)) 的卵 (Lai, 2004)；六條瓢蟲 (*Cheilomenes sexmaculata* (Fabricius))、波紋瓢蟲 (*Coccinella transversalis* Fabricius) 與西南龜瓢蟲 (*Propylea dissecta* (Mulsant)) 捕食豆蚜 (*Aphis craccivora* Koch) 和桃蚜 (*Myzus persicae* (Sulzer)) (Pervez and Omkar, 2005)，以及多異瓢蟲捕食甜菜蚜 (Farhadi *et al.*, 2010) 等。Heidarian *et al.* (2012) 報導捕食性天敵之捕食功能反應，可推測防治害蟲的可行性，另外，Farhadi *et al.* (2010) 報告指出，大多數成功應用於害蟲生物防治的捕食性天敵，其功能反應型態常屬 Type II 型。因此，本研究之赤星瓢蟲對竹葉扁蚜的功能反應亦屬於 Type II 型，推測以赤星瓢蟲防治竹葉扁蚜可行性極高。

從 Rogers II 方程式中得知，赤星瓢蟲的捕食量顯示雌成蟲高於雄成蟲，當竹葉扁蚜若蟲食餌密度增加時，此差異越明顯；此外，雌成蟲的攻擊係

數較雄成蟲高，而雌成蟲的捕捉時間 (處理食餌) 則較雄成蟲低，說明雌成蟲對竹葉扁蚜若蟲的捕食效率較高。上述實驗結果與 Farhadi *et al.* (2010) 利用多異瓢蟲之雌、雄成蟲捕食甜菜蚜的實驗結論相同。其原因在羅氏小黑瓢蟲 (*Stethorus loi* Sasaji) 的研究上得到驗證，雌成蟲每日攝取食餌，除了供於生存、活動所需之能量外，還需供於生產後代之能量和營養 (Shih *et al.*, 1991)。

本研究結果顯示，除二齡幼蟲統計上呈現不顯著外，赤星瓢蟲幼蟲與成蟲皆偏好捕食竹葉扁蚜成蟲。相關研究說明，不同發育期之獵物對天敵之營養效益是相異的 (Carrillo and Peña, 2012)；而對於大型捕食者來說，體型大的蚜蟲個體所含的能量較高，因此能誘引大型瓢蟲種類偏好捕食 (Sloggett, 2008)。

據 Chen *et al.* (2002) 的記載，防治竹葉扁蚜除了噴施化學藥劑外，可配合捕食性天敵，如瓢蟲科 (Coccinellidae) 之大十三星瓢蟲 (*Synonycha grandis* (Thunberg))、小黑瓢蟲 (*Pseudocymus kuroshimae* Miyatake) 及赤星瓢蟲；草蛉科 (Chrysopidae) 之斑面草蛉 (*Chrysopa boninensis* Okamoto)；食蚜虻科 (Syrphidae) 之刺腿食蚜虻 (*Ischiodon scutellaris* (Fabricius))；捕植蟻科 (Phytoseiidae) 之卵形捕植蟻 (*Amblyseius ovalis* (Evans)) 等。雖然竹葉扁蚜的捕食性天敵種類多，但對竹葉扁蚜天敵之效能評估文獻則較缺乏。

根據 Liu and Cheng (1976) 於臺灣臺中地區的田間觀察結果，發現瓢蟲科的赤星瓢蟲及黑方突毛瓢蟲最為常見，且此兩種瓢蟲的族群世代長，會隨著竹葉扁蚜族群變動而改變，但是大型捕食性瓢蟲之捕食量或捕食效率較小型瓢蟲佳 (Sloggett, 2008)，本研究結果顯示未來以赤星瓢蟲應用於竹葉扁蚜生物防治頗具潛力。

誌 謝

本文初稿承農業委員會農業試驗所嘉義農業試驗分所植物保護系黃守宏博士提供寶貴意見；研究期間承本校生物資源學系蟲害管理研究室汪重言、陳建儒及陳俊佑同學協助試驗工作，謹致謝忱。

引用文獻

- Bayoumy MH, Osman MA, Michaud JP.** 2014. Host plant mediates foraging behavior and mutual interference among adult *Stethorus gilvifrons* (Coleoptera: Coccinellidae) preying on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Environ Entomol* 43: 1309-1318.
- Carrillo D, Peña JE.** 2012. Prey-stage preferences and functional and numerical responses of *Amblyseius largoensis* (Acari: Phytoseiidae) to *Raoiella indica* (Acari: Tenuipalpidae). *Exp Appl Acarol* 57: 361-372.
- Chen WH, Cheng AH, Huang HY, Fang HC, Chang HY, Chen SK.** 2002. Plant Protection Technology Special Issue Book Series: Bamboo. Taipei: Bureau of Animal and Plant Health Inspection and Quarantine, Council of Agriculture, Executive Yuan. 23 pp. (in Chinese)
- Clercq PD, Mohaghegh J, Tirry L.** 2000. Effect of host plant on the functional response of the predator *Podisus nigrispinus* (Heteroptera: Pentatomidae). *Biol Control* 18: 65-70.
- Farhadi R, Allahyari H, Juliano S.** 2010. Functional response of larval and adult stages of *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae) to different densities of *Aphis fabae* (Hemiptera: Aphididae). *Environ Entomol* 39: 1586-1592.
- Heidarian M, Fathipour Y, Kamali K.** 2012. Functional response, switching, and prey-stage preference of *Scolothrips longicornis* (Thysanoptera: Thripidae) on *Schizotetranychus smirnovi* (Acari: Tetranychidae). *J Asia Pac Entomol* 15: 89-93.
- Holling CS.** 1959. The components of predation as revealed by a study of small - mammal predation of the European pine sawfly. *Can Entomol* 91: 293-329.
- Juliano SA.** 2001. Non-linear curve fitting: Predation and functional response curves. pp. 178-196. In: Samuel SM, Gurevitch J (eds). *Design and Analysis of Ecological Experiments*. Oxford University Press, Oxford.
- Lai WH.** 2004. Life history, population parameters and predation of *Cryptolaemus montrouzieri* (Mulsant) (Coleoptera: Coccinellidae) [dissertation]. Taiwan: National Pingtung University of Science and Technology. 121 pp. (in Chinese)
- Lee JH, Kang TJ.** 2004. Functional response of *Harmonia axyridis* (Pallas) (Coleoptera: Coccinellidae) to *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae) in the Laboratory. *Biol Control* 31: 306-310.
- Lin YH, Yu KY.** 2012. Ladybirds Illustrations. Taichung: Morning Star. 320 pp. (in Chinese)
- Liu YC, Cheng LJ.** 1976. Population dynamics of *Astegopteryx (Trichoregma) bambusifoliae* Takahashi (Homoptera: Aphididae). *J Agric For* 25: 71-84. (in Chinese)
- Milonas PG, Kontodimas DC, Martinou FA.** 2011. A predator's functional response: influence of prey species and size. *Biol Control* 59: 141-146.
- Pakyari H, Fathipour Y, Rezapanah M, Kamali K.** 2009. Temperature-dependent functional

response of *Scolothrips longicornis* (Thysanoptera: Thripidae) preying on *Tetranychus urticae*. J Asia Pac Entomol 12: 23-26

Pervez A, Omkar. 2005. Functional responses of coccinellid predators: an illustration of a logistic approach. J. Insect Sci 5: 5. Available online: <http://insectscience.org/5.5>.

Phoofolo MW, Obrycki JJ. 1998. Potential for intraguild predation and competition among predatory Coccinellidae and Chrysopidae. Entomol Exp Appl 89: 47-55.

Rogers D. 1972. Random search and insect population models. J Anim Ecol 41: 369-383.

Solomon ME. 1949. The natural control of animal populations. J Anim Ecol 18: 1-35.

Sarmento RA, Pallini A, Venzon M, De Souza OFF, Molina-Rugama AJ, De Oliveira CL. 2007. Functional response of the predator *Eriopis connexa* (Coleoptera: Coccinellidae) to different prey types. Braz Arch Biol Technol 50: 121-126.

Shih CIT, Lin PJ, Chang TW. 1991. Biology, predation, life table and intrinsic rate of increase of *Stethorus loi* Sasaji. Plant Prot Bull 33: 290-300. (in Chinese)

Skirvin DJ, Fenlon JS. 2001. Plant species

modifies the functional response of *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae) to *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae): implications for biological control. Bull Entomol Res 91: 61-67.

Sloggett JJ. 2008. Weighty matters: body size, diet and specialization in aphidophagous ladybird beetles (Coleoptera: Coccinellidae). Eur J Entomol 105: 381-389.

Stavrínides MC, Skirvin DJ. 2003. The effect of chrysanthemum leaf trichome density and prey spatial distribution on predation of *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) by *Phytoseiulus persimilis* (Acari: Phytoseiidae). Bull Entomol Res 93: 343-350.

Xiao Y, Osborne LS, Chen J, McKenzie CL. 2013. Functional responses and prey-stage preferences of a predatory gall midge and two predacious mites with two spotted spider mites, *Tetranychus urticae*, as host. J Insect Sci 13: 8. Available online: <http://insectscience.org/13.8>.

Yeh ST, Ko WH. 2014. Disease and Pest of Bamboo Shoots and Management. Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan. Technical Special Issue 190, 28 pp. (in Chinese)

Functional Response and Preference of *Lemnia saucia* (Mulsant) to Bamboo Leaf Aphids, *Astegopteryx bambucifoliae* (Takahashi)

Chuan-Yu Lo¹, I-Hsin Sung², Chi-Chung Huang^{1*}

¹ Department of Biological Resources, National Chiayi University, 300 Syuefu Road., Chiayi City 60004, Taiwan

² Department of Plant Medicine, National Chiayi University, 300 Syuefu Road., Chiayi City 60004, Taiwan

* Corresponding email: chuang@mail.ncyu.edu.tw

Received: 29 March 2018

Accepted: 23 June 2018

Available online: 30 July 2018

ABSTRACT

Studying predatory functional responses can enable understanding the interactions between predators and preys and evaluating whether a predator can become an effective natural enemy for biological control. The present study examined predatory ladybird, *Lemnia saucia* (Mulsant) (Coleoptera: Coccinellidae), and its prey bamboo leaf aphid, *Astegopteryx bambucifoliae* (Takahashi) (Homoptera: Aphididae), in Taiwan. The numbers of daily prey consumption activities in the third and fourth instar larval stages were 62.2 and 68.9, respectively; the number of consumption activities among adults was up to 179.4. Female and male *L. saucia* adults exhibited type II functional response. The predation number and attack rate (a) of female adults were higher than those of their male counterparts. However, the handling time (T_h) of male adults was longer. The stage preference test showed that at all stages, *L. saucia* preferred adult *A. bambucifoliae*. Thus, we propose that *L. saucia* has the potential to be an effective natural enemy against *A. bambucifoliae*.

Key words: *Lemnia saucia*, *Astegopteryx bambucifoliae*, predatory functional response, prey-stage preference