



馬尼拉小繭蜂（膜翅目：小繭蜂科）於秋行軍蟲及斜紋夜蛾上之寄生與發育表現

黃妤婷¹、王智立^{1,2}、黃紹毅^{1,3*}

¹ 國立中興大學植物醫學暨安全農業碩士學位學程 402 台中市南區興大路 145 號

² 國立中興大學植物病理系 402 台中市南區興大路 145 號

³ 國立中興大學昆蟲學系 402 台中市南區興大路 145 號

* 通訊作者 email: oleander@dragon.nchu.edu.tw

收件日期：2022 年 1 月 17 日 接受日期：2022 年 5 月 2 日 線上刊登日期：2022 年 5 月 27 日

摘要

秋行軍蟲 (Fall armyworm; *Spodoptera frugiperda*) 為重要農業害蟲，可危害玉米、水稻及落花生等多種作物，並已多次於全球造成嚴重損失。2019 年 6 月秋行軍蟲首次入侵臺灣，由於臺灣全年氣候溫暖，作物多樣化，產期不間斷，更間接加劇了秋行軍蟲的肆虐及防治難度。以過去其他疫區之防治經驗為鑒，過度依賴化學防治往往導致抗藥性快速產生，而尋求其他防治策略予以協助乃成為需嚴正看待之議題。秋行軍蟲與斜紋夜蛾 (*S. litura*) 同屬夜蛾科 *Spodoptera* 屬。而斜紋夜蛾於臺灣之所有寄生性天敵中，以馬尼拉小繭蜂 (*Snellenius manila* (Ashmead)) 寄生率最高，且分布最普遍。本試驗目的為評估應用馬尼拉小繭蜂防治秋行軍蟲之效能，希望利用其環境適應性高、世代短、不易產生抗性、且產卵集中於羽化前期等特性，輔助綜合防治之落實。本試驗分別以馬尼拉小繭蜂對二齡秋行軍蟲及斜紋夜蛾幼蟲進行選擇及非選擇性試驗，並記錄馬尼拉小繭蜂各發育階段所需時間、寄生率、化繭率、羽化率、繭重及性比。結果顯示，馬尼拉小繭蜂以秋行軍蟲為寄主時卵至幼蟲期為 8.51 ± 0.04 日，蛹期為 5.49 ± 0.04 日，總發育所需日數為 13.93 ± 0.06 日，平均繭重為 2.59 ± 0.02 mg，其中，雌蜂總發育所需日數為 14.37 ± 0.07 日，顯著長於雄蜂之 13.50 ± 0.08 日；以斜紋夜蛾為寄主時卵至幼蟲期為 8.40 ± 0.05 日，蛹期 5.32 ± 0.04 日，總發育所需日數為 13.65 ± 0.07 日，平均繭重為 2.56 ± 0.02 mg，其中雌蜂總發育所需日數為 14.06 ± 0.11 日，亦顯著長於雄蜂之 13.34 ± 0.08 日。且不論馬尼拉小繭蜂親代來源為何、寄主轉換與否，子代以秋行軍蟲為寄主時，卵至幼蟲期及總發育所需日數皆顯著較以斜紋夜蛾為寄主時長，於雌雄蜂皆有相同趨勢。此外，馬尼拉小繭蜂於無選擇情況下，對秋行軍蟲之寄生率 (62.88%) 顯著高於對斜紋夜蛾之寄生率 (42.06%)；於可選擇情況下，亦對臺灣原有之主要寄主—斜紋夜蛾，無顯著寄生偏好。依此可結論馬尼拉小繭蜂對於秋行軍蟲具有相當良好之防治潛力。

關鍵詞：馬尼拉小繭蜂、秋行軍蟲、斜紋夜蛾、寄生偏好、發育表現。

前 言

秋行軍蟲 (*Spodoptera frugiperda* (JE Smith); Fall armyworm, FAW) 屬於鱗翅目夜蛾科 (Lepidoptera: Noctuidae)。幼蟲為廣食性 (polyphagous) 具有六個齡期，其中 98% 的取食量集中於最後三個齡期 (Luginbill, 1928)。目前已紀錄之寄主包含 76 科，共 353 種植物，其中顯著偏好禾本科 (Montezano *et al.*, 2018)，為美洲最重要之夜蛾科害蟲，多次在美國南部玉米等多種禾本科植物上造成嚴重損失 (Luginbill, 1928; Ashley *et al.*, 1989; Montezano *et al.*, 2018)，同時亦被認為是西半球玉米栽培之首要害蟲 (Buntin, 1986)。現今許多國家藉由化學藥劑及種植轉基因作物作為秋行軍蟲之主要防治策略，但隨農業技術發展玉米產期延長，加上藥劑及蘇力菌轉基因作物之頻繁使用，秋行軍蟲多已產生抗性 (Yu, 1991; Storer *et al.*, 2010, 2012; Zhu *et al.*, 2015; Omoto *et al.*, 2016; Yainna *et al.*, 2021)。

秋行軍蟲起源自美洲熱帶地區，無滯育能力，因此於美國多數地區無法越冬。每年冬季之低溫及降雪使絕大部分秋行軍蟲群族受到摧毀，直到隔年春季成蟲再次由南方擴散至北美建立群落 (Luginbill, 1928; Buntin, 1986; Ashley *et al.*, 1989; Mitchell *et al.*, 1991)。而臺灣氣候溫暖，全年皆為秋行軍蟲合適之棲息環境，且農業生產模式以小農居多，作物多樣化，產期不間斷，一年四季皆提供秋行軍蟲取食繁衍之良好寄主，更間接加劇秋行軍蟲之防治難度。

2019 年 6 月秋行軍蟲入侵臺灣，首先被發現於苗栗縣之玉米田中。起初採用化學藥劑進行緊急圍堵撲滅，並配合性費洛蒙進行誘殺監測，但仍持續在臺灣有新寄主被記錄 (百慕達草、高粱、薏仁、小米、狼尾草、薑、落花生、水稻、香蕉等)。直至今日已在臺灣多處發現秋行軍蟲族群。

臺灣以精緻農業為主流，對產品品質相當重視，隨食品安全及環境友善議題日漸受到關注，產銷履歷盛行，政府對有機農業的擴大推廣等，種種跡象皆指出農藥之減少使用已成為市場趨勢。此外，為防止對化學藥劑之過度依賴導致抗藥性提早產生，結合多面向防治措施之整合應用，勢必為較佳防治策略。其中，生物防治對環境相對友善、可自行繁殖維持族群、對非目標生物相對影響小又不易產生抗性之特點，使其成為綜合害物管理 (integrated pest management, IPM) 不可或缺的策略之一

(DeBach and Rosen, 1991)。

面對此新入侵害蟲，除原先被廣泛應用於玉米田中防治亞洲玉米螟 (*Ostrinia furnacalis* Guenée) 之赤眼卵寄生蜂 (*Trichogramma ostrinae* Pang et Chen) 外，對其他可應用於秋行軍蟲生物防治之本土天敵所知甚少，又因秋行軍蟲卵塊非單層結構並被鱗毛覆蓋，包覆於內側之卵粒難以被寄生，導致卵寄生蜂之防治效果大為降低 (Noldus, 1989)，致使化學防治仍為防治秋行軍蟲極度依賴之方式。

目前害蟲生物防治經常利用天敵昆蟲及致病微生物，與致病微生物相較之下，天敵昆蟲具主動搜尋與攻擊能力，且較不易受環境影響，對害蟲作用相對穩定。而天敵昆蟲包含寄生性天敵及捕食性天敵，其中寄生性天敵具有高專一性、主動擴散能力強等特性，因此本試驗以寄生性天敵著手進行研究。秋行軍蟲與斜紋夜蛾 (*S. litura* (Fabricius), Tobacco cutworm) 同屬夜蛾科 *Spodoptera* 屬，故本試驗由同樣為臺灣重要農業害蟲「斜紋夜蛾」之寄生蜂中進行幼蟲寄生蜂 (larval parasitoid) 之篩選評估。根據 2009 年臺灣農作物害蟲天敵名錄中紀錄，斜紋夜蛾於臺灣之寄生性天敵共有 6 科 14 種。其中，屬於膜翅目小爾蜂科 (Hymenoptera: Braconidae) 脊背爾蜂屬 (*Snellenius*) 之單元內寄生蜂 (solitary endoparasitoid) — 馬尼拉小爾蜂 (*Snellenius manilae* (Ashmead)) 為各種寄生蜂中出現比例最高者 (91.33%)，全臺灣普遍存在，寄生率可高達 43.9% (Chiu *et al.*, 1977; Chen *et al.*, 2009)，被視為斜紋夜蛾最強勢之寄生蜂 (Chiu and Chou, 1976)。

利用馬尼拉小爾蜂防治斜紋夜蛾已有相關研究，而對秋行軍蟲之防治潛力仍屬未知。故本試驗將以斜紋夜蛾為對照寄主，分別對馬尼拉小爾蜂進行選擇及非選擇性試驗，探討馬尼拉小爾蜂對秋行軍蟲之寄生能力；及以秋行軍蟲為寄主時，馬尼拉小爾蜂各階段之發育表現；評估應用馬尼拉小爾蜂防治秋行軍蟲之可行性；比較馬尼拉小爾蜂對斜紋夜蛾及秋行軍蟲於可選擇情況下之寄生偏好。此外，更進一步加入寄主轉換因子對其發育表現進行討論，以利後續田間應用。希望利用馬尼拉小爾蜂之環境適應性高、世代短、產卵集中於羽化前期、偏好低齡期寄主 (Ting, 2011; Javier and Ceballo, 2018) 且在寄主造成大量危害前即使其死亡等特性，輔助綜合防治之落實，延緩抗藥性之產生及降低化學藥劑過度使用造成之環境污染，促進生態平衡及農業永續

經營。

材料與方法

一、供試寄主

供試秋行軍蟲採集自雲林縣東勢鄉及褒忠鄉之玉米田；斜紋夜蛾採集自苗栗縣公館鄉之芋頭田。飼養於溫度 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ ；相對濕度 $65 \pm 5\%$ ；光週期 $14:10$ (Light : Dark ; L : D) 之精密恆溫恆濕昆蟲飼育箱中 (HSIN CHIEN XIANG GTR-820HI)。幼蟲以人工飼料 (配方修改自 Ou-Yang and Chu (1988), 如附錄一) 飼養於加蓋布丁杯中 (9 (DI) \times 5.5 (H) cm^3)，待幼蟲發育至 4 齡時將其個別移至 30 孔透明塑膠孔盤中進行單隻飼育，每日提供新鮮人工飼料直至化蛹。將化蛹 5 日之蛹置入產卵桶中 (15 (DI) \times 21 (H) cm^3 ，透明壓克力圓桶內鋪有紙巾)，並提供糖水 (配方修改自 Kao (1995), 如附錄二) 供羽化成蟲取食產卵。每兩日更換紙巾收取卵塊繼代，以確保蟲源規模及每日穩定提供 2 齡幼蟲以供馬尼拉小繭蜂繼代。試驗期間不定期至田間採集以更新蟲源。

二、供試寄生蜂

供試馬尼拉小繭蜂採集自苗栗縣公館鄉芋頭田中受其寄生之 1~3 齡斜紋夜蛾幼蟲。受寄生之斜紋夜蛾幼蟲飼養於溫度 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ ；相對濕度 $65 \pm 5\%$ ；光週期 $14:10$ (L : D) 之精密恆溫恆濕昆蟲飼育箱中。每日提供人工飼料，待馬尼拉小繭蜂鑽出寄主體外化繭後 1 日，將繭收集於指形瓶內 (1 (DI) \times 5 (H) cm^3)，羽化後以糖水飼養並分別提供 2 齡秋行軍蟲幼蟲及 2 齡斜紋夜蛾幼蟲作為寄主，以供繼代為兩群不同之馬尼拉小繭蜂族群，分別為 (1) 繼代於秋行軍蟲之馬尼拉小繭蜂族群及 (2) 繼代於斜紋夜蛾之馬尼拉小繭蜂族群。試驗期間不定期自野外採集寄生於斜紋夜蛾幼蟲之馬尼拉小繭蜂以更新蟲源。

此外，為排除寄生蜂之寄主轉換對其寄生能力造成之影響，進行非選擇性試驗時，寄生蜂之親代選擇與供試寄主相同之來源。

以前人研究為基礎，馬尼拉小繭蜂之產卵高峰期集中於羽化後前 4 日，且此 4 日之產卵量無顯著差異 (Ting, 2011)。因此，本試驗選擇羽化後第 2~3 日齡，已交尾之馬尼拉小繭蜂雌成蜂作為供試寄生蜂，進行選擇與非選擇性試驗 (雌蜂與雄蜂共處同一寄生裝置中達 24 小時以上即視為已交尾 (Ikawa and Okabe, 1985))。寄主齡期之選擇參考相關文

獻，馬尼拉小繭蜂於 2 齡斜紋夜蛾幼蟲及孵化後 49~72 小時之秋行軍蟲幼蟲上有最高之繁殖潛力 (Rajapakse *et al.*, 1985; Ting, 2011)。故本試驗分別提供 2 齡秋行軍蟲幼蟲及 2 齡斜紋夜蛾幼蟲作為寄主供馬尼拉小繭蜂繼代，並皆以 2 齡幼蟲作為本試驗之供試寄主。

三、試驗方法

(一) 非選擇性試驗：馬尼拉小繭蜂分別以秋行軍蟲及斜紋夜蛾為寄主時之寄生能力及其後代發育表現

試驗於上午 11:00 至 12:00 間陸續開始。將 1 隻 2~3 日齡已交尾、未具寄生經驗之馬尼拉小繭蜂雌成蜂與 50 隻秋行軍蟲 2 齡幼蟲同置於寄生裝置中 (9 (DI) \times 5.5 (H) cm^3) 供其寄生 6 小時，同時提供糖水予馬尼拉小繭蜂；人工飼料予秋行軍蟲幼蟲取食。試驗於溫度 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ ；相對濕度 $65 \pm 5\%$ ；光週期 $14:10$ (L : D) 之昆蟲飼育箱中進行。每日定時觀察並記錄馬尼拉小繭蜂以秋行軍蟲為寄主時，各發育階段所需日數、寄生率、化繭率、羽化率、繭重及性別比。該處理進行 10 重複，共累計 500 隻秋行軍蟲為供試寄主進行試驗。

1. 卵至幼蟲期、寄生率及化繭率：經 6 小時之寄生後，將供試秋行軍蟲幼蟲移至塑膠孔盤中單獨飼育並個別編號，每日提供足量新鮮人工飼料供其取食。以寄主幼蟲體側馬尼拉小繭蜂鑽出孔之有無作為寄生判斷依據 (圖一)。馬尼拉小繭蜂幼蟲未成功化繭或遭寄主幼蟲以口器攻擊致死皆視為化繭失敗，以此換算成功化繭率。
2. 繭重：待馬尼拉小繭蜂末齡幼蟲鑽出秋行軍蟲體外化繭後，將繭置於透明之塑膠指形瓶中 (1 (DI) \times 5 (H) cm^3)，2 日後以微量天秤 (Sartorius-M2P) 個別測量 3 日齡繭之重量，並換至透明膠囊 (新歷芳-硬膠囊 0 號) 中個別發育。
3. 繭期及羽化率：每日定時觀察，紀錄馬尼拉小繭蜂以秋行軍蟲為寄主時，繭期發育所需天數及其羽化率。
4. 性比：待馬尼拉小繭蜂羽化後，使用解剖顯微鏡檢視成蟲腹部末端，以產卵管之有無作為性別判定依據，判斷雌雄 (圖二)。

馬尼拉小繭蜂以斜紋夜蛾幼蟲為寄主進行非選擇性試驗時，各階段發育所需日數、寄生率、化繭率、羽化率、繭重及性比之試驗方法及統計方式，皆同於以秋行軍蟲為供試寄主之處理組。本處理亦進行 10



圖一 箭頭所指處為馬尼拉小繭蜂由秋行軍蟲幼蟲體側鑽出化繭產生之孔洞。

Fig. 1. The arrow points to the hole produced by the *Snellenius manilae* drilled out of *Spodoptera frugiperda*.

重複，共累計 500 隻斜紋夜蛾為供試寄主。

(二) 選擇性試驗：馬尼拉小繭蜂對秋行軍蟲及斜紋夜蛾幼蟲之寄生偏好

依供試寄生蜂（親代）之寄主來源分為兩種處理，進行選擇性試驗。分別為 (1) 來自於秋行軍蟲之供試寄生蜂親代及 (2) 來自於斜紋夜蛾之供試寄生蜂親代。

試驗於上午 11:00 至 12:00 間陸續開始。將 1 隻 2~3 日齡已交尾、未具寄生經驗之馬尼拉小繭蜂雌成蜂同時與作為供試寄主之 30 隻 2 齡秋行軍蟲幼蟲及 30 隻 2 齡斜紋夜蛾幼蟲同置於寄生裝置中 (15 (DI) × 15 (H) cm) 寄生 6 小時。並分別提供糖水予馬尼拉小繭蜂；人工飼料予供試寄主取食。

6 小時後，將供試寄主分別移至 30 孔透明塑膠孔盤中單獨飼育並個別給予編號，每日定時以新鮮人工飼料飼養。待馬尼拉小繭蜂鑽出供試寄主體外化繭後，將繭置於透明膠囊中直至羽化。

供試昆蟲全程飼育於 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ ；相對濕度 $65 \pm 5\%$ ；光週期 14 : 10 (L : D) 之昆蟲飼育箱中，每日定時於下午 4:00 至 7:00 時進行觀察紀錄。兩處理

各進行 5 重複，共累積 600 隻寄主樣本。

四、統計分析

本試驗所有數據皆以 IBM SPSS Statistics 20.0 (IBM Corp. in Armonk, NY) 進行統計分析。相關參數之計算方式，如下列公式：

寄生率 = (鑽出寄主體外之寄生蜂數 / 總供試寄主數) × 100%

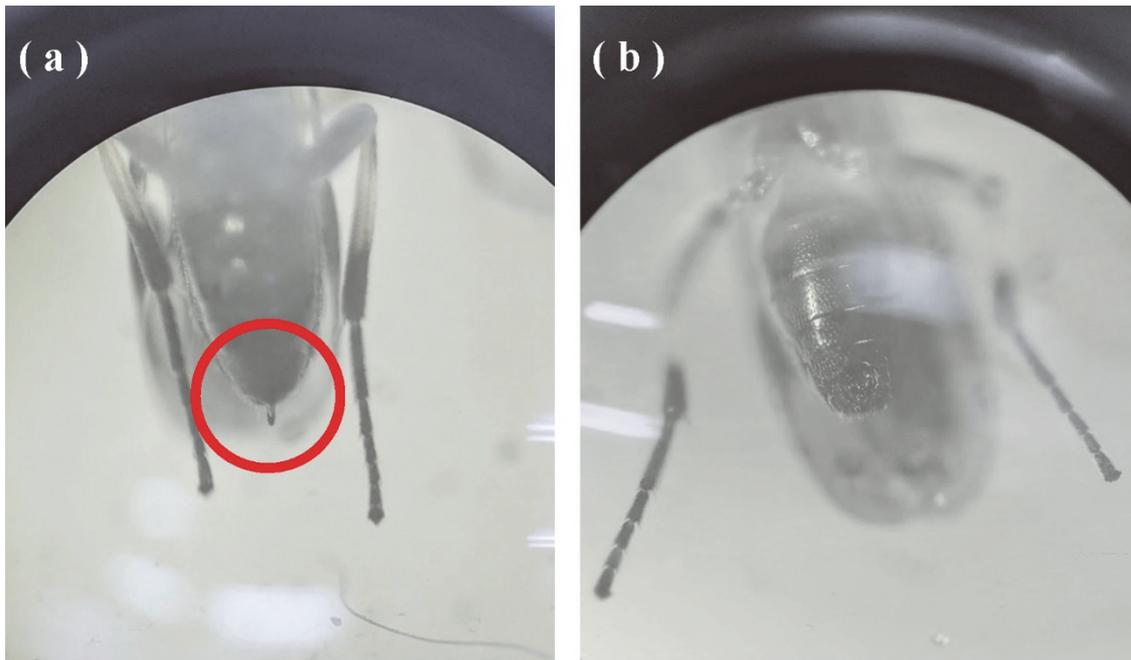
化繭率 = (成功化繭數 / 總寄生數) × 100%

羽化率 = (羽化數 / 總繭數) × 100%

雌蟲所佔比例 = (雌蟲數量 / 總羽化數) × 100%

(一) 非選擇性試驗

先將各數值計算出平均值 (Mean) 及標準誤差 (Standard Error, SE)，再將該兩處理組數據以獨立樣本 t 檢定進行分析 (Independent sample t-test)，並以 p 值小於 0.05 表示具有顯著差異性。分析馬尼拉小繭蜂在非選擇情況下，對秋行軍蟲及斜紋夜蛾之寄生能力、各發育階段所需日數等發育表現關係。



圖二 以產卵管有無作為馬尼拉小繭蜂性別判斷依據，紅圈處為雌蜂之產卵管；(a) 雌蜂具產卵管；(b) 雄蜂不具產卵管。
Fig. 2. The sex of *Snellenius manilae* is determined based on the presence or absence of the ovipositor. The ovipositor of the female wasp is marked by the red circle; (a) female with an ovipositor and (b) male without an ovipositor.

(二) 選擇性試驗

先將各數值計算出平均值及標準誤差。探討親代寄主來源是否影響其寄生偏好時，使不同來源之馬尼拉小繭蜂親代分別於可選擇之環境下進行寄生選擇。以各自成功寄生之所有寄主幼蟲為母數（秋行軍蟲 + 斜紋夜蛾），計算所有被寄生之寄主中，秋行軍蟲及斜紋夜蛾個別所佔之比例，進一步進行卡方分析（Chi-Square Test），顯著水平為 α 值 = 0.05。

探討寄主轉換與各階段發育所需日數時，將發育所需日數依照馬尼拉小繭蜂親代來源、發育寄主及性別差異，進一步分為 8 組進行分析。有鑒於非選擇性試驗結果，不論寄主為何，雌蜂之蛹期及總發育所需日數皆極顯著長於雄蜂 ($p < 0.001$)。為求分析代表性，將雌蜂及雄蜂各自分別使用獨立樣本單因子變異數分析（One-way ANOVA）對各發育階段所需日數進行初步分析，再以最低顯著差異檢定（Fisher's least significant different test, LSD test）不同處理之顯著性。

結 果

一、非選擇性試驗

(一) 馬尼拉小繭蜂寄生於不同寄主上之寄生能力及發育表現

非選擇情況下，馬尼拉小繭蜂對秋行軍蟲之寄生率 ($62.88 \pm 3.23\%$) 顯著高於對斜紋夜蛾之寄生率 ($42.09 \pm 6.21\%$)；而以斜紋夜蛾為寄主時之化繭率 ($92.94 \pm 2.01\%$) 則顯著高於以秋行軍蟲為寄主時之化繭率 ($81.52 \pm 2.87\%$)。羽化率 ($p = 0.275$) 及性別比 ($p = 0.738$) 則無顯著差異（表一）。

(二) 馬尼拉小繭蜂以秋行軍蟲幼蟲及斜紋夜蛾幼蟲為寄主時，發育所需時間

馬尼拉小繭蜂以秋行軍蟲為寄主時，蛹期 (5.49 ± 0.04 日) 及總發育所需時間 (13.93 ± 0.06 日) 皆顯著長於以斜紋夜蛾為寄主時之蛹期 (5.32 ± 0.04 日) 及總發育所需時間 (13.65 ± 0.07 日)。而卵至幼蟲期 ($p = 0.131$) 及繭重 ($p = 0.365$) 則無顯著差異（表二）。

(三) 馬尼拉小繭蜂分別以秋行軍蟲及斜紋夜蛾為寄主時，雌、雄蜂發育所需日數

馬尼拉小繭蜂以秋行軍蟲為寄主時，雌、雄蜂間卵至幼蟲期發育所需日數無顯著差異 ($p = 0.559$)，而雌蜂蛹期 (5.91 ± 0.04 日) 及總發育日數 (14.37 ± 0.07 日) 則皆顯著長於雄蜂之蛹期 (5.09 ± 0.03 日) 及總發育日數 (13.50 ± 0.08 日)（表三）；以斜紋夜蛾為寄主時，雌蜂卵至幼蟲期 (8.44 ± 0.08 日)、蛹期 (5.62 ± 0.06 日) 及總發育所需日數 ($14.06 \pm$

表一 於非選擇試驗中，馬尼拉小繭蜂寄生於不同寄主上之發育表現
Table 1. Effect of different hosts on the development of *Snellenius manilae* in a non-choice test.

Host	Parasitic performance of <i>Snellenius manilae</i> ¹ (Mean ± SE)			
	Parasitic rate (%)	Pupation rate (%)	Ecdysis rate (%)	Female ratio (%)
<i>S. frugiperda</i>	62.88 ± 3.23**	81.52 ± 2.87	89.39 ± 2.48	48.01 ± 5.82
<i>S. litura</i>	42.09 ± 6.21	92.94 ± 2.01**	93.29 ± 2.41	44.46 ± 8.70

¹ *t*-test, **: *p* < 0.01

表二 於非選擇試驗中，馬尼拉小繭蜂以秋行軍蟲及斜紋夜蛾為寄主時，發育所需日數及繭重
Table 2. Developmental days and cocoon weight of *Snellenius manilae* on *Spodoptera frugiperda* and *Spodoptera litura* in a non-choice test.

Host	Growth performance ¹ (Mean ± SE)			
	Egg-Larva (n)	Pupa (n)	Egg-Pupa (n)	Cocoon weight ² (n)
<i>S. frugiperda</i>	8.51 ± 0.04	5.49 ± 0.04**	13.93 ± 0.06**	2.59 ± 0.02
	(273)	(202)	(202)	(222)
<i>S. litura</i>	8.40 ± 0.05	5.32 ± 0.04	13.65 ± 0.07	2.56 ± 0.02
	(228)	(198)	(198)	(212)

¹ *t*-test, **: *p* < 0.01

² Unit of cocoon weight is in mg.

表三 於非選擇試驗中，馬尼拉小繭蜂以秋行軍蟲為寄主時，雌雄蜂發育所需時間
Table 3. Developmental days of male and female of *Snellenius manilae* on *Spodoptera frugiperda* in a non-choice test.

Sex	n	Developmental day ¹		
		Egg-Larva	Pupa	Egg-Pupa
Female	99	8.46 ± 0.06	5.91 ± 0.04***	14.37 ± 0.07***
Male	103	8.41 ± 0.07	5.09 ± 0.03	13.50 ± 0.08

¹ *t*-test, ***: *p* < 0.001

0.11 日) 皆顯著長於雄蜂之卵至幼蟲期 (8.24 ± 0.06 日)、蛹期 (5.10 ± 0.03 日) 及總發育所需日數 (13.34 ± 0.08 日) (表四)。

二、選擇性試驗

(一) 不同親代來源之寄生蜂對不同寄主之寄生偏好

於寄生裝置中同時提供寄生蜂相同數量之兩種不同寄主，供其進行寄主選擇。以所有受到寄生之寄主幼蟲為母數 (秋行軍蟲 + 斜紋夜蛾)，計算所有被寄生之寄主中，秋行軍蟲及斜紋夜蛾個別之比例。當寄生蜂親代來自秋行軍蟲時，所有受到寄生之寄主幼蟲之中，有 60.15% 為秋行軍蟲，39.85% 為斜紋夜

蛾；而當寄生蜂親代來自斜紋夜蛾時，所有受到寄生之寄主幼蟲之中，有 44.77% 為秋行軍蟲，55.23% 為斜紋夜蛾。進一步以卡方檢定進行分析 (Chi square test)，皆不具顯著差異 (*p* > 0.05)，意即皆無顯著偏好寄主 (圖三)。

(二) 在不同親代來源及不同寄主情況下，雌、雄性寄生蜂發育所需日數

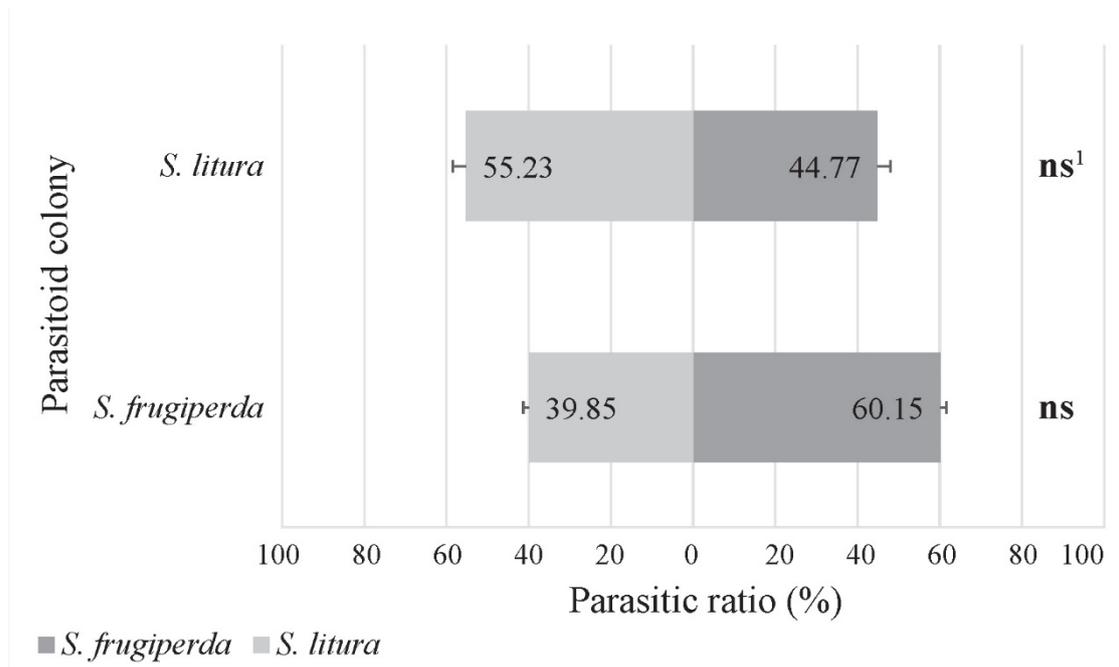
在相同處理條件下，馬尼拉小繭蜂雌蜂總發育所需日數均較雄蜂所需日數長。且不論馬尼拉小繭蜂親代來源為何、親代寄主轉換與否，子代以秋行軍蟲為寄主時，卵至幼蟲期及總發育所需日數皆顯著

表四 於非選擇試驗中，馬尼拉小繭蜂以斜紋夜蛾為寄主時，雌雄蜂發育所需時間

Table 4. Developmental days for male and female *Snellenius manilae* on *Spodoptera litura* in a non-choice test.

Sex	n	Developmental day ¹		
		(Mean ± SE)		
		Egg-Larva	Pupa	Egg-Pupa
Female	86	8.44 ± 0.08*	5.62 ± 0.06***	14.06 ± 0.11***
Male	112	8.24 ± 0.06	5.10 ± 0.03	13.34 ± 0.08

¹ *t*-test, *: $p < 0.05$ and ***: $p < 0.001$



圖三 於可選擇情況下，不同親代來源馬尼拉小繭蜂 (*Snellenius manilae*) 對秋行軍蟲 (*S. frugiperda*) 及斜紋夜蛾 (*S. litura*) 之寄生偏好。¹ Chi square test, ns = not significant

Fig. 3. Parasitic ratio (mean ± SE) of a different colony of *Snellenius manilae* on *S. frugiperda* and *S. litura*, when they were exposed to another.

較以斜紋夜蛾為寄主時長，且於雌雄蟲皆有相同趨勢 (表五、表六)。

蛹期發育所需日數則不論馬尼拉小繭蜂親代來源為何，在馬尼拉小繭蜂親代寄主轉換情況下，子代以秋行軍蟲幼蟲為寄主時，蛹期發育所需日數皆顯著較以斜紋夜蛾幼蟲為寄主時長；於親代寄主不轉換情況下，則無顯著差異。於雌雄蟲皆有相同趨勢 (表五、表六)。

討 論

許多研究指出，寄生於鱗翅目幼蟲之單元內寄

生蜂多傾向寄生初齡幼蟲以外之較小齡期寄主，這種偏好可能是基於寄生難度、寄生蜂後代發育及存活率所作出之權衡。例如，馬尼拉小繭蜂偏好寄生斜紋夜蛾及甜菜夜蛾 (*S. exigua* (Hübner)) 之 2 齡幼蟲 (Qiu *et al.*, 2013)；斑痣懸繭蜂 (*Meteorus pulchricornis*) 偏好寄生斜紋夜蛾之 2 齡幼蟲 (Chen *et al.*, 2011)；*Microplitis mediator* (Haliday) 偏好寄生分泌夜蛾 (*Mythimna separatea* (Walker)) 之 2~3 齡幼蟲 (Li *et al.*, 2006)；*Campoletis sonorensis* (Cameron) 偏好寄生銀紋夜蛾 (*Trichoplusia ni* (Hübner)) 之 2 齡幼蟲 (Murillo *et al.*, 2013) 及秋行軍蟲之 3 齡幼蟲

表五 在不同親代來源及不同寄主情況下，雌蜂發育所需日數

Table 5. Developmental days for female *Snellenius manilae* on different hosts and their parent generation from different colonies.

<i>Snellenius manilae</i>	Colonies ²	Developmental day ¹ (Mean ± SE)		
		Egg-Larva	Pupa	Egg-Pupa
Female	FF	8.82 ± 0.03 a	5.76 ± 0.02 bc	14.58 ± 0.03 a
	FS	8.06 ± 0.04 c	5.63 ± 0.06 c	13.69 ± 0.06 c
	SF	8.59 ± 0.02 ab	5.95 ± 0.01 a	14.55 ± 0.02 a
	SS	8.35 ± 0.02 bc	5.86 ± 0.01 ab	14.22 ± 0.02 b

¹ Different letters indicate a significant difference between treatments, according to Fisher's least significant difference (LSD) test ($p < 0.05$).

² FF: Parent parasitoid from *S. frugiperda* parasiting on *S. frugiperda*;
 FS: Parent parasitoid from *S. frugiperda* parasiting on *S. litura*;
 SF: Parent parasitoid from *S. litura* parasiting on *S. frugiperda*;
 SS: Parent parasitoid from *S. litura* parasiting on *S. litura*.

表六 在不同親代來源及不同寄主情況下，雄蜂發育所需日數

Table 6. Developmental days for male *Snellenius manilae* on different hosts and their parent generation from different colonies.

<i>Snellenius manilae</i>	Colonies ²	Developmental day ¹ (Mean ± SE)		
		Egg-Larva	Pupa	Egg-Pupa
Male	FF	8.42±0.01 a	5.08±0.01 b	13.50±0.01 a
	FS	7.81±0.01 c	5.04±0.01 b	12.84±0.01 b
	SF	8.26±0.04 ab	5.32±0.04 a	13.58±0.05 a
	SS	7.93±0.02 bc	5.04±0.02 b	12.96±0.02 b

¹ ANOVA, Different letters indicate a significant difference between treatments, according to Fisher's least significant difference (LSD) test ($p < 0.05$).

² FF: Parent parasitoid from *S. frugiperda* parasiting on *S. frugiperda*;
 FS: Parent parasitoid from *S. frugiperda* parasiting on *S. litura*;
 SF: Parent parasitoid from *S. litura* parasiting on *S. frugiperda*;
 SS: Parent parasitoid from *S. litura* parasiting on *S. litura*.

(Isenhour, 1985)。

而本試驗首次針對馬尼拉小繭蜂進行跨物種間之寄生偏好及發育表現研究。馬尼拉小繭蜂寄生於 2 齡秋行軍蟲幼蟲時，相較於寄生 2 齡斜紋夜蛾幼蟲，總發育所需時間較長，化繭及羽化率較低；但於非選擇情況下，有顯著較高之寄生率。推測此現象與寄主體型相關，2 齡之斜紋夜蛾體型大於秋行軍蟲。

過去研究顯示，寄生蜂之寄生率及發育表現往往隨寄主齡期不同而改變。體型較大之寄主體內養分及空間更為充足，得以提供寄生蜂幼蟲更加合適之生長環境，使之發育所需時間較短，且有較高之化繭率及羽化率。但體型較大之寄主幼蟲往往伴隨著

一系列較強的防禦反應來抵抗寄生蜂之寄生行為，例如較厚之表皮厚度、吐出反芻液、激烈擺動頭部進行驅趕，甚至以大顎進行攻擊，從而導致寄生蜂之寄生率下降 (Schmidt, 1974; Rajapakse *et al.*, 1985; Godfray and Godfray, 1994; Brodeur *et al.*, 1996; Qiu *et al.*, 2013)。而此寄主體型對寄生蜂寄生率及發育表現產生之影響，套用至本試驗中的兩種不同寄主上，亦可見到相同趨勢。

本試驗結果顯示，不論寄主為何，雄性馬尼拉小繭蜂之蛹期及總發育所需日數皆極顯著短於雌性馬尼拉小繭蜂 ($p < 0.001$)。此性別間發育所需時間之差異，再次驗證了絕大多數昆蟲雄性發育所需時間

顯著短於雌性之現象 (Jarošík and Honek, 2007)。會造成此現象可能與雄性體型往往較雌性小 (Charnov *et al.*, 1981) 及較快之發育速率有助於雌性提早進行交尾，有助於基因延續有關 (Godfray and Godfray, 1994)。

此外，根據文獻描述，寄生蜂性比 (雄蜂:雌蜂) 受到多種因子所影響。有許多物種之性別比會隨著下列單項或多項因素而隨之改變，例如 (1) 極端環境溫度；(2) 雌蜂密度；(3) 產卵時雌蜂年齡或受精後日數；(4) 雄蜂年齡或交尾次數；(5) 寄主種類；(6) 寄主齡期、密度、體型或品質等 (Charnov *et al.*, 1981; King, 1987; Godfray and Godfray, 1994)。於本試驗中，對環境溫溼度、光週期、寄生當下雌蜂密度、雌雄蜂年齡及交尾後日數、寄主種類、齡期及密度皆進行控制情況下，寄生蜂雌雄比於各重複間仍有相對大的變動。推測馬尼拉小繭蜂後代雌雄比之影響因子，除試驗中之控制變因及操作變因外，亦受到其他因子所影響，有待後續研究進一步探討。

本研究亦針對馬尼拉小繭蜂及寄主之生物行為進行觀察，結果發現馬尼拉小繭蜂幼蟲即將從寄主體內鑽出化繭前 1~2 日，寄主會有向上爬行的行為，絕大多數寄生蜂會化繭於相對乾燥之孔盤蓋下及少量於側壁。若化繭於相對潮濕之表面，如孔盤底部或飼料上，則成功化繭率大為降低，此行為與 Rajapakse *et al.* (1985) 於試驗中所觀察到之現象相同；於馬尼拉小繭蜂幼蟲即將鑽出寄主體外前幾日至鑽出後，寄主幼蟲皆不取食移動，但仍保留受到驚擾時會快速擺動頭胸部進行驅趕之習性，維持 2~3 日，直至死亡，此行為特性間接達到保護馬尼拉小繭蜂繭之益處；馬尼拉小繭蜂老熟幼蟲多於上午 10~12 點間，由寄主腹部 5~7 節處，以頭朝外方向鑽出寄主體外吐絲作繭。初期馬尼拉小繭蜂幼蟲腹部仍保持於寄主體內，待其繭形成一半橢圓形之雛形時，馬尼拉小繭蜂幼蟲腹部才完全鑽出脫離寄主，繼續吐絲完成全繭，並包覆其中。待發育完全，馬尼拉小繭蜂成蟲以口器環形割開繭前端部，使成一半圓形繭蓋，並由此開口鑽出，成蟲具向光性。當雄蜂接收到周圍雌蜂刺激時，隨即產生振翅行為進行求偶 (Bai *et al.*, 2017)。雌蜂產卵時間極短，約 2 秒即可完成。

前人研究結果顯示，寄主幼蟲受到與馬尼拉小繭蜂互利共生之一種多去氧核糖核酸病毒 (Polydnavirus, PDV) — Snellenius manilae bracovirus (SmBV) 所影響，免疫及代謝系統受到抑制，導致生長發育大為受限 (Dushay and

Beckage, 1993; Chang *et al.*, 2020; Tang *et al.*, 2021)。受馬尼拉小繭蜂寄生之幼蟲，齡期停留於 3 齡末至 4 齡初，行動遲緩，不再取食，且於寄主腹部末端已可明顯見到寄生蜂幼蟲之灰黑色蟲影。於此同時，與寄主源自同一卵塊，未受寄生之夜蛾幼蟲已發育為 5 至 6 齡食量大增之幼蟲，體型與活動力亦有極顯著之差異。

秋行軍蟲幼蟲發育至 4 齡後，常躲藏於玉米生長點或果穗中，此種習性成為其防治之限制因子之一。因此食量小且尚未躲藏至植株內部之 3 齡前幼蟲，為秋行軍蟲最重要之防治時期。前人研究指出，馬尼拉小繭蜂偏好 2 齡之寄主幼蟲，且產卵期集中於羽化後前 4 天。此特性可在遭遇天敵捕食或不良環境等種種造成死亡之風險前，盡快發揮其防治潛力 (Luo *et al.*, 2007; Ting, 2011)。而本試驗結果顯示，馬尼拉小繭蜂對秋行軍蟲之寄生能力，不亞於臺灣本土之主要寄主斜紋夜蛾；縱使於可選擇環境下，亦無顯著寄生偏好。此外，馬尼拉小繭蜂具有對非目標生物危害小、環境適應性高、分佈廣泛、世代短、不易產生抗性、可寄生初齡體型較小之寄主等優良特性。綜合以上研究及本試驗結果，評估馬尼拉小繭蜂對於秋行軍蟲應具有相當良好之防治潛力。惟目前秋行軍蟲於臺灣主要危害作物為玉米，而斜紋夜蛾並非玉米之重要害蟲，使得原先建立於玉米園中之斜紋夜蛾及馬尼拉小繭蜂族群量極低。但由於臺灣小農林立，田區劃分細碎，作物多樣化且產期不間斷，秋行軍蟲及斜紋夜蛾棲地相鄰本為常態。在此情況下，馬尼拉小繭蜂藉自身飛行及搜索能力，是否足以自然擴展至相鄰玉米園中並於秋行軍蟲上成功建立族群，仍有待後續調查。

若欲以人為釋放提升防治效果及協助馬尼拉小繭蜂族群之建立。作者推測，由於馬尼拉小繭蜂為幼蟲寄生蜂，若提供受寄生之寄主幼蟲給農友可能會出現以下問題 (1) 在農友無法分辨寄主是否受寄生的情況下，將標的害蟲釋放至園中，往往使農友對產品產生質疑；(2) 幼蟲相較不穩定且不便於釋放；(3) 為避免相互殘食，包裝體積增大且複雜化，提高運輸成品。因此，提供馬尼拉小繭蜂之繭，應為較有利於農友使用及儲運之產品狀態。

於本試驗之 26°C 條件下，馬尼拉小繭蜂蛹期約 5~6 日。而根據 Qiu *et al.* (2012) 之研究結果顯示若將馬尼拉小繭蜂之繭維持於 23°C 環境中，蛹期可延長至 8.2 日，且仍有 84.8% 之存活率；當溫度下降至 20°C 時，蛹期延長至 12.6 日，但存活率則大幅降至 50.7%。在有效延長馬尼拉小繭蜂蛹期，並兼

附錄一 夜蛾幼蟲之人工飼料配方

Appendix 1. Ingredients in artificial diet of *Spodoptera* sp. larvae.

Ingredients	Quantity (g)
Flowering bean powder	300
Wheat germ	110
Yeast powder	120
Sorbic acid	3
Methyl 4-hydroxybenzoate	3.5
L-Cysteine	1.2
L-Ascorbic acid	12
Agar	65
95% Ethanol	60
RO water	2,400

附錄二 夜蛾成蟲及馬尼拉小繭蜂成蟲之糖水配方

Appendix 2. Sugar solution ingredients of *Spodoptera* sp. adults and *Snellenius manilae* adults

Ingredients	Quantity
Beer	300 (ml)
RO water	500 (ml)
L-Ascorbic acid	6 (g)
Methyl 4-hydroxybenzoate	3 (g)
Caster sugar	Until the solution is saturated

顧合理存活率之考量下，作者認為，23~26°C為較佳之儲運環境。後續人為釋放頻度及進階田間應用則有待後續研究。此外，現今美洲以淹沒式釋放卵寄生蜂作為鱗翅目害蟲最主要之天敵昆蟲防治方式，與卵寄生蜂大量飼養技術較為成熟有關。但因秋行軍蟲卵粒相互遮蔽且覆有鱗毛，造成卵寄生蜂防治效果受侷限 (Cave, 2000; Prasanna *et al.*, 2018; Tefera *et al.*, 2019)。希望藉由馬尼拉小繭蜂加入防治管理，能有效延緩秋行軍蟲抗藥性之快速產生，並輔助綜合防治之落實，降低化學藥劑過度使用造成之環境污染，促進生態平衡及農業永續經營。

引用文獻

- Ashley T, Wiseman B, Davis F, Andrews K.** 1989. The fall armyworm: a bibliography. Fla Entomol 72: 152-202.
- Bai TQ, Yang SY, Gu XH, Ji SG, Zhang HR,** **Zhang LM.** 2017. Mating behavior of *Aphidius gifuensis*. J South Agri 48: 1605-1610. (in Chinese)
- Brodeur J, Geervliet JB, Vet LE.** 1996. The role of host species, age and defensive behaviour on ovipositional decisions in a solitary specialist and gregarious generalist parasitoid (*Cotesia* species). Entomol Exp Appl 81: 125-132.
- Buntin GD.** 1986. A review of plant response to fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith), injury in selected field and forage crops. Fla Entomol 69: 549-559.
- Cave RD.** 2000. Biology, ecology and use in pest management of *Telenomus remus* Biocontrol News and Information, 21: 21-26.
- Chang Y, Tang CK, Lin YH, Tsai CH, Lu YH, Wu YL.** 2020. *Snellenius manilae* bracovirus

- suppresses the host immune system by regulating extracellular adenosine levels in *Spodoptera litura*. *Sci Rep* 10: 1-11.
- Charnov EL, Los-den Hartogh R, Jones W, Van den Assem J.** 1981. Sex ratio evolution in a variable environment. *Nature* 289: 27-33.
- Chen SP, Wang CL, Chen CN.** 2009. A List of Natural Enemies of Insect Pests in Taiwan. Taiwan: Taiwan Agricultural Research Institute (TARI). 466 pp. (in Chinese)
- Chen W, Li BP, Meng L.** 2011. Host selection and offspring developmental performances of *Meteorus pulchricornis* on *Spodoptera litura* larval instars. *Chinese J Ecol* 30: 1317-1321. (in Chinese)
- Chiu SC, Chou LY.** 1976. Hymenopterous parasitoids of *Spodoptera litura* Fab.. *J Agri Res China* 25: 227-241. (in Chinese)
- Chiu SC, Chien CC, Chou LY.** 1977. A braconid parasitoid of *Spodoptera litura* -*Snellenius manilae*. *Sci Develop* 5: 24-30. (in Chinese)
- DeBach P, Rosen D.** 1991. Biological control by natural enemies, 2nd edn. UK: Cambridge University Press Archive. 456 pp.
- Dushay MS, Beckage NE.** 1993. Dose-dependent separation of *Cotesia congregata*-associated polydnavirus effects on *Manduca sexta* larval development and immunity. *J Insect Physiol* 39: 1029-1040.
- Godfray HCJ, Godfray H.** 1994. Parasitoids: behavioral and evolutionary ecology. USA: Princeton University Press. 473 pp.
- Ikawa T, Okabe H.** 1985. Regulation of egg number per host to maximize the reproductive success in the gregarious parasitoid, *Apanteles glomeratus* L. (Hymenoptera: Braconidae). *Appl Entomol Zool* 20: 331-339.
- Ishenhour DJ.** 1985. *Campoletis sonorensis* [Hym.: Ichneumonidae] as a parasitoid of *Spodoptera frugiperda* [Lep.: Noctuidae]: Host stage preference and functional response. *Entomophaga* 30: 31-36.
- Jarošík V, Honek A.** 2007. Sexual differences in insect development time in relation to sexual size dimorphism. pp 205-211. In: Fairbairn DJ, Blanckenhorn WU, Székely T (eds) *Sex, Size and Gender Roles: Evolutionary Studies of Sexual Size Dimorphism*. Oxford University Press, Oxford, United Kingdom.
- Javier AMV, Ceballo FA.** 2018. Life history and biological control potential of *Snellenius manilae* Ashmead (Hymenoptera: Braconidae), a parasitoid of *Spodoptera litura* Fabricius (Lepidoptera: Noctuidae). *Philipp Agric Sci* 101: 148-157.
- Kao SS.** 1995. Mass rearing of insects. *Bulletin of Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substances Research Institute (TACTRI)* 37: 1-8. (in Chinese)
- King BH.** 1987. Offspring sex ratios in parasitoid wasps. *Q Rev Biol* 62: 367-396.
- Li J, Coudron TA, Pan W, Liu X, Lu Z, Zhang Q.** 2006. Host age preference of *Microplitis mediator* (Hymenoptera: Braconidae), an endoparasitoid of *Mythimna separata* (Lepidoptera: Noctuidae). *Biol Control* 39: 257-261.
- Luginbill P.** 1928. The Fall Army Worm. US Dept of Agriculture. 92 pp.
- Luo K, Trumble JT, Pang Y.** 2007. Development of *Microplitis bicoloratus* on *Spodoptera litura* and implications for biological control. *BioControl* 52: 309-321.
- Mitchell E, McNeil J, Westbrook JK, Silvain J-F, Lalanne-Cassou B, Chalfant R, Pair S, Waddill V, Sotomayor-Rios A, Proshold F.** 1991. Seasonal periodicity of fall armyworm, (Lepidoptera: Noctuidae) in the Caribbean basin and northward to Canada. *J Entomol Sci* 26: 39-50.
- Montezano DG, Specht A, Sosa-Gómez DR, Roque-Specht VF, Sousa-Silva JC, Paula-Moraes SD, Peterson JA, Hunt T.** 2018. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *Afr Entomol* 26: 286-300.
- Murillo H, Hunt DW, VanLaerhoven SL.** 2013. Host suitability and fitness-related

- parameters of *Campoletis sonorensis* (Hymenoptera: Ichneumonidae) as a parasitoid of the cabbage looper, *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae). *Biol Control* 64: 10-15.
- Noldus LPJJ.** 1989. Chemical espionage by parasitic wasps: how *Trichogramma* species exploit moth sex pheromone systems. [Dissertation]. Netherlands: Wageningen University & Research. 254 pp.
- Omoto C, Bernardi O, Salmeron E, Sorgatto RJ, Dourado PM, Crivellari A, Carvalho RA, Willse A, Martinelli S, Head GP.** 2016. Field-evolved resistance to Cry1Ab maize by *Spodoptera frugiperda* in Brazil. *Pest Manag Sci* 72: 1727-1736.
- Ou-Yang SC, Chu YI.** 1988. The comparison of the development of the tobacco cutworm (*Spodoptera litura* (F.)) reared with natural and artificial diets. *Chinese J Entomol* 8: 143-150. (in Chinese)
- Prasanna BM, Huesing JE, Eddy R, Peschke VM.** 2018. Fall Armyworm in Africa: A Guide for Integrated Pest Management. Mexico: Cimmyt. 109 pp.
- Qiu B, Zhou Z, Xu Z.** 2013. Age preference and fitness of *Microplitis manilae* (Hymenoptera: Braconidae) reared on *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Fla Entomol* 96: 602-609.
- Qiu B, Zhou ZS, Luo SP, Xu ZF.** 2012. Effect of temperature on development, survival, and fecundity of *Microplitis manilae* (Hymenoptera: Braconidae). *Environ Entomol* 41:433-730.
- Rajapakse RH, Ashley TR, Waddill VH.** 1985. Biology and host acceptance of *Microplitis manilae* (Hymenoptera: Braconidae) raised on fall armyworm larvae *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Fla Entomol* 68: 653-657.
- Schmidt GT.** 1974. Host-acceptance behavior of *Campoletis sonorensis* toward *Heliothis zea*. *Ann Entomol Soc Am* 67: 835-844.
- Storer NP, Kubiszak ME, King JE, Thompson GD, Santos AC.** 2012. Status of resistance to Bt maize in *Spodoptera frugiperda*: lessons from Puerto Rico. *J Invertebr Pathol* 110: 294-300.
- Storer NP, Babcock JM, Schlenz M, Meade T, Thompson GD, Bing JW, Huckaba RM.** 2010. Discovery and characterization of field resistance to Bt maize: *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Puerto Rico. *J Econ Entomol* 103: 1031-1038.
- Tang CK, Tsai CH, Wu CP, Lin YH, Wei SC, Lu YH, Li CH, Wu YL.** 2021. MicroRNAs from *Snellenius manilae* bracovirus regulate innate and cellular immune responses of its host *Spodoptera litura*. *Commun Biol* 4: 1-11.
- Tefera T, Gofitshu M, Ba MN, Muniappan RM.** 2019. A Guide to Biological Control of Fall Armyworm in Africa Using Egg Parasitoids. Kenya. 98 pp.
- Ting RS.** 2011. The study of utilization the parasitoid wasp, *Snellenius manilae* (Ashmead) to control *Spodoptera litura* (Fabricius). [Master Thesis]. National Chung Hsing University. Taiwan. 45 pp. (in Chinese)
- Yainna S, Nègre N, Silvie PJ, Brévault T, Tay WT, Gordon K, Dalençon E, Walsh T, Nam K.** 2021. Geographic monitoring of insecticide resistance mutations in native and invasive populations of the fall armyworm. *Insects* 12: 468.
- Yu S.** 1991. Insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith). *Pestic Biochem Physiol* 39: 84-91.
- Zhu YC, Blanco CA, Portilla M, Adamczyk J, Luttrell R, Huang F.** 2015. Evidence of multiple/cross resistance to Bt and organophosphate insecticides in Puerto Rico population of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Pestic Biochem Physiol* 122: 15-21.

Parasitic Preference and Growth Performance of *Snellenius manilae* (Hymenoptera: Braconidae) on *Spodoptera frugiperda* and *S. litura*

Yu-Ting Huang¹, Chih-Li Wang^{1,2}, Shaw-Yhi Hwang^{1,3*}

¹ Master Program for Plant Medicine and Good Agricultural Practice, National Chung Hsing University, Taichung City, Taiwan

² Department of Plant Pathology, National Chung Hsing University, Taichung City, Taiwan

³ Department of Entomology, National Chung Hsing University, Taichung City, Taiwan

* Corresponding email: oleander@dragon.nchu.edu.tw

Received: 17 January 2022

Accepted: 2 May 2022

Available online: 27 May 2022

ABSTRACT

Spodoptera frugiperda (fall armyworm) is an agricultural pest that can ravage a variety of crops, such as corn, rice, and groundnut; it has caused severe agricultural loss around the world. In June 2019, *S. frugiperda* invaded Taiwan for the first time. Due to Taiwan's warm climate, crop diversity, and uninterrupted agricultural cycle, the invasion of *S. frugiperda* was intense and difficult to control. As evident in other regions affected by invasive species, an overreliance on pesticides necessarily leads to the pests quickly developing a resistance against them. Therefore, control strategies other than the use of pesticides has become essential. Both *S. frugiperda* and *S. litura* belong to the *Spodoptera* genus of the Noctuidae family. *Snellenius manilae* (Ashmead) has the highest parasitic rate and is most commonly distributed among all parasitic enemies of *S. litura* in Taiwan. Thus, this study aimed to evaluate the efficacy of using *Snellenius manilae* to control the *S. frugiperda* population and to evaluate whether the adoption of *Snellenius manilae* is beneficial for the implementation of integrated pest management against *S. frugiperda*. In this study, the second-instar larvae of *S. frugiperda* and *S. litura* were used in choice and non-choice tests with *Snellenius manilae*. The periods required for each developmental stage and the parasitism rate, cocooning rate, emergence rate, cocoon weight, and sex ratio of *Snellenius manilae* were recorded. The results indicated that when *Snellenius manilae* parasitized *S. frugiperda*, the developmental period for the egg to larval stages was 8.51 ± 0.04 days, that for pupation was 5.49 ± 0.04 days, the number of days for full development was 13.93 ± 0.06 days, and the average cocoon weight was 2.59 ± 0.02 mg. The total developmental time for female parasitoids was 14.37 ± 0.07 days, which was significantly longer than 13.50 ± 0.08 days for male parasitoids. When *Snellenius manilae* parasitized *S. litura*, the developmental period of egg to larval stage of *Snellenius manilae* was 8.40 ± 0.05 days, and the pupation period was 5.32 ± 0.04 days. The total developmental days of *Snellenius manilae* was 13.65 ± 0.07 days, and the average cocoon weight was 2.56 ± 0.02 mg. The number of days for full development for female parasitoids was 14.06 ± 0.11 days, which was also significantly longer than the 13.34 ± 0.08 days for male parasitoids. Regardless of which colony the parental parasitoid came from and whether the host of the parent parasitoid changed, when the offspring of parasitoids developed in *S. frugiperda*, the developmental period from egg to larval stage and number of days for full development were significantly longer than those in *S. litura*. In addition, the parasitism rate of *Snellenius manilae* was significantly higher on *S. frugiperda* (62.88%) than on *S. litura* (42.06%) in the non-choice tests. In the choice tests, *Snellenius manilae* also exhibited no parasitic preference to *S. litura*, the main host of

Snellenius manilae in Taiwan. These results indicate the potential of using *Snellenius manilae* to control the *S. frugiperda* population.

Key words: *Snellenius manilae*, *Spodoptera frugiperda*, *Spodoptera litura*, parasitic preference, developmental performance