



馬尼拉小繭蜂 *Snellenius manilae* (Hymenoptera: Braconidae) 防治秋行軍蟲 *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) 潛力評估之初探

劉蕙如¹、許奕婷^{1,2}、黃紹毅^{1,3*}

¹ 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 中興大學農藝學系 402 台中市南區興大路 145 號

³ 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 6 月 15 日 接受日期：2022 年 12 月 9 日 線上刊登日期：2023 年 2 月 3 日

摘要

原產於美洲的秋行軍蟲 (*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797)) 屬於鱗翅目 (Lepidoptera) 夜蛾科 (Noctuidae) 之多食性 (polyphagous) 害蟲，繁殖能力與遷徙能力強。此蟲於 2019 年 6 月入侵臺灣，國內已知受害作物包括玉米、高粱、落花生、水稻等 9 種。馬尼拉小繭蜂 (*Snellenius manilae* (Ashmead, 1904)) (Hymenoptera: Braconidae) 為單元性幼蟲內寄生蜂 (solitary larval endoparasitoid)，以夜蛾科幼蟲為寄主，可寄生於秋行軍蟲之幼蟲。本研究目的為評估馬尼拉小繭蜂對秋行軍蟲之防治潛力，首先探討寄主齡期對馬尼拉小繭蜂寄生及發育表現之影響。結果顯示，一齡至三齡末的秋行軍蟲皆可被馬尼拉小繭蜂寄生，以二齡具有顯著較高之寄生率 ($76.64 \pm 4.74\%$)，一齡、三齡初及三齡末之寄生率分別為 $42.05 \pm 5.42\%$ 、 $55.95 \pm 3.76\%$ 及 $52.08 \pm 3.85\%$ 。馬尼拉小繭蜂在一齡秋行軍蟲幼蟲上的未成熟期發育時間為 15.6 ± 0.1 日，顯著長於二齡 (14.9 ± 0.1 日)、三齡初 (14.8 ± 0.1 日) 及三齡末 (15.0 ± 0.1 日)；繭重則隨著秋行軍蟲齡期的增大而顯著增加，依序為三齡末 (2.784 ± 0.024 mg)、三齡初 (2.663 ± 0.021 mg)、二齡 (2.536 ± 0.019 mg) 及一齡 (2.507 ± 0.022 mg)。再根據以上結果，選用二齡秋行軍蟲幼蟲進行盆栽試驗，以了解馬尼拉小繭蜂防治寄主植物上之秋行軍蟲的效果。結果顯示，寄生率在人工飼料 ($61.01 \pm 8.47\%$) 上與玉米 ($38.58 \pm 3.43\%$) 及花生 ($37.01 \pm 4.71\%$) 植株上無顯著差異；化繭率於人工飼料為 $93.86 \pm 1.68\%$ ，於玉米 ($100.00 \pm 0.00\%$) 及花生 ($99.43 \pm 0.57\%$) 植株之處理組顯著較高。除此之外，馬尼拉小繭蜂於取食玉米植株之秋行軍蟲之未成熟期發育時間為 13.8 ± 0.1 日，顯著短於取食人工飼料 (14.6 ± 0.1 日) 與花生植株 (15.3 ± 0.2 日)。綜上所述，馬尼拉小繭蜂對秋行軍蟲具有防治潛力，對於寄主植物上之秋行軍蟲仍有寄生效果，且二齡幼蟲為最佳寄生齡期。

關鍵詞：馬尼拉小繭蜂、秋行軍蟲、寄主齡期、寄生率、發育表現、生物防治潛力。

前 言

秋行軍蟲 (*Spodoptera frugiperda*; fall armyworm, FAW) 屬鱗翅目夜蛾科 (Lepidoptera: Noctuidae) 之多食性 (polyphagous) 害蟲, 寄主範圍廣, 已紀錄之寄主植物多達 76 科 353 種, 對玉米、水稻、高粱等多種作物具有經濟危害性 (Abrahams *et al.*, 2017; Montezano *et al.*, 2018)。秋行軍蟲原產於美洲熱帶與亞熱帶地區 (Day *et al.*, 2017), 其繁殖率高、遷移能力強 (Johnson, 1987), 成蟲可透過季風進行長距離季節性遷飛至合適的氣候環境下建立族群 (Westbrook *et al.*, 2016)。2016 年首次發現秋行軍蟲入侵非洲 (Goergen *et al.*, 2016; Sisay *et al.*, 2018), 隨後迅速蔓延至亞洲各地與澳大利亞 (CABI, 2018; Piggott *et al.*, 2021; Sun *et al.*, 2021), 目前已從美洲擴展至 70 多個國家 (FAO, 2021)。秋行軍蟲快速的入侵危害已影響全球作物生產 (Day *et al.*, 2017; Sisay *et al.*, 2019; De Groote *et al.*, 2020), 並對糧食安全構成潛在威脅, 因而被聯合國糧食及農業組織 (Food and Agriculture Organization, FAO) 列為全球預警之重要農業害蟲。

我國於 2019 年 6 月 8 日首次發現秋行軍蟲入侵臺灣 (BAPHIQ, 2019; Wang and Wu, 2019), 三個月內秋行軍蟲已現蹤於金門、馬祖、澎湖及本島各縣市, 目前紀錄之寄主有玉米、高粱、百慕達草、薏苡、小米、狼尾草、薑、花生及水稻等共 9 種, 主要危害仍以玉米及高粱為主 (Huang *et al.*, 2022), 據防檢局統計 109 年受害面積已達 19,066 公頃。台灣氣候溫暖適合秋行軍蟲之世代繁殖, 防檢局監測資料顯示全年皆有成蟲活動, 至今國內族群已不可能完全撲滅, 且秋行軍蟲遷移能力強, 可能多次從鄰近國家遷飛移入, 迫切需要發展有效的管理策略。

在原產地美洲熱帶與亞熱帶地區對秋行軍蟲的防治主要是依靠合成殺蟲劑與蘇力菌毒蛋白基因轉殖作物 (*Bacillus thuringiensis* (Bt) crops) 來控制其族群 (Day *et al.*, 2017)。而遭受秋行軍蟲入侵危害的國家則亦普遍選擇合成殺蟲劑做為防治手段 (Makale *et al.*, 2022)。儘管國外報導已有許多天敵與病原微生物具防治潛力, 但台灣目前仍仰賴合成殺蟲劑進行防治。然而, 過度使用合成殺蟲劑除了對環境及人體造成危害外, 亦會增加害蟲的抗藥性風險, 至今全球已發現秋行軍蟲對 7 種不同作用機制、42 種藥劑有效成分之抗藥性記錄 (Gutiérrez-Moreno *et al.*, 2019; MSU, 2021)。

面對此食性廣泛、繁殖率高、世代短及擴散能力強之入侵害蟲 (Johnson, 1987), 化學防治並非長久之計; 結合多種防治措施的有害生物整合性管理 (Integrated Pest Management, IPM) 是有效並可持續性管理秋行軍蟲的最佳策略 (Van den Berg *et al.*, 2021)。生物防治是 IPM 策略中不可或缺的一環, 其中寄生性天敵具有專一性高、具搜尋寄主能力、主動擴散能力強等特點。秋行軍蟲已知的寄生性天敵超過 150 種, 絕大部分為寄生蜂 (FAO, 2018; Hruska, 2019)。美洲常見的秋行軍蟲寄生蜂有 *Chelonus insularis* Cresson (Hymenoptera: Braconidae)、*Telenomus remus* Nixon (Hymenoptera: Platygasteridae) 及 *Trichogramma* spp. (Hymenoptera: Trichogrammatidae) 等, 可以對秋行軍蟲族群產生強烈影響, 是生物防治計畫的良好選擇 (FAO, 2018)。

馬尼拉小繭蜂 (*Snellenius manilae*) 屬膜翅目小繭蜂科 (Hymenoptera: Braconidae), 廣泛分佈於菲律賓、泰國、中國、台灣及日本等亞洲熱帶和亞熱帶區域 (Ando *et al.*, 2006)。馬尼拉小繭蜂為單元性幼蟲內寄生蜂 (solitary larval endoparasitoid), 單一寄主僅供單隻寄生蜂發育, 雌蜂將產卵管插入寄主體內產卵, 孵化之幼蟲於寄主體內取食體液, 老熟幼蟲自寄主體表鑽出化繭。其寄主專一性高, 以鱗翅目夜蛾科幼蟲為寄主 (Chen and Hwang, 2015), 包括斜紋夜蛾 (*Spodoptera litura*)、甜菜夜蛾 (*Spodoptera exigua*)、番茄夜蛾 (*Helicoverpa armigera*) 及秋行軍蟲等重要害蟲 (Rajapakse *et al.*, 1985; Cacayorin *et al.*, 1993; Qiu *et al.*, 2012; Javier and Ceballo, 2018), 是相當具有潛力之生物防治材料。

Chiu and Chou (1976) 的調查指出, 馬尼拉小繭蜂普遍分佈於臺灣各地, 是斜紋夜蛾之優勢寄生蜂 (佔比 91.33%), 田間寄生率可達 43.9%。研究指出馬尼拉小繭蜂的產卵高峰集中在雌蜂羽化後之前四日 (Ting, 2011), 可在短時間內繁殖下一代, 減少環境因素或遭遇天敵導致的死亡風險, 具較高的生物防治潛力 (Luo *et al.*, 2007), 且其繁殖力高, 單一雌蜂產卵量可達 200~300 粒 (Ando *et al.*, 2006; Qiu *et al.*, 2013)。Huang *et al.* (2022) 研究指出, 採集自田間斜紋夜蛾之馬尼拉小繭蜂可寄生於秋行軍蟲, 且於非選擇情況下, 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%); 而於可選擇情況下, 對斜紋夜蛾與秋行軍蟲無顯著寄生偏好。

本研究的目的為了解本土寄生蜂—馬尼拉小繭蜂對入侵秋行軍蟲之寄主齡期適應性，探討其對於秋行軍蟲之寄生偏好與發育影響，並初步評估其寄生於不同寄主植物上之秋行軍蟲之防治效果。期望未來能透過本土天敵資源來參與抑制秋行軍蟲族群，輔助田間秋行軍蟲綜合管理。

材料與方法

一、秋行軍蟲之飼養

自雲林縣東勢鄉及褒忠鄉之玉米田採集秋行軍蟲幼蟲，攜回實驗室以人工飼料（修改自 Kao, 1995）飼養於布丁杯（直徑 9 cm × 高 5.5 cm）中，並置於溫度 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相對溼度 $65 \pm 5\%$ 、光週期 14L:10D 之精密恆溫恆濕昆蟲飼育箱 (HSIN CHIEN XIANG GTR-820HI) 內。待幼蟲發育至四齡時，將其移至 30 孔之透明塑膠孔盤中，以人工飼料單隻飼育直至化蛹。將蛹移入內側鋪有擦手紙之產卵筒（直徑 15 cm × 高 21 cm）中，並置入吸飽特製糖水（修改自 Kao, 1995）的棉花供羽化成蟲取食，成蟲於常溫下交配產卵。每 3 日更換產卵筒，將擦手紙上之卵塊剪下置於布丁杯中，待其孵化後以人工飼料飼養，以此大量飼養蟲源。選擇一齡至三齡之秋行軍蟲幼蟲供作試驗所需，並將三齡幼蟲分為三齡初期與三齡末期 (Chen *et al.*, 2017)。

二、馬尼拉小繭蜂之飼養

自苗栗縣公館鄉之芋頭田採集一至三齡之斜紋夜蛾幼蟲，攜回實驗室以人工飼料飼養於布丁杯中，並置於溫度 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相對溼度 $65 \pm 5\%$ 、光週期 14L:10D 之精密恆溫恆濕昆蟲飼育箱內。待馬尼拉小繭蜂幼蟲鑽出斜紋夜蛾幼蟲體外化繭後，將寄生蜂的繭收集至指形瓶（直徑 1 cm × 高 5 cm）內，待其羽化後移至以布丁杯改造之寄生杯中，以吸飽特製糖水（修改自 Kao, 1995）的棉花供寄生蜂成蟲取食。

將人工飼料與約 30 隻秋行軍蟲二齡幼蟲置於寄生杯內，再放入數隻馬尼拉小繭蜂，於昆蟲飼育箱內進行寄生，期間以特製吸飽糖水的棉花供寄生蜂成蟲取食。2 日後更換下一批秋行軍蟲二齡幼蟲，並將被寄生之秋行軍蟲移至布丁杯中以人工飼料飼育，直至馬尼拉小繭蜂幼蟲鑽出幼蟲體外化繭，以此維持寄生蜂族群。根據 Ting (2011) 研究，馬尼拉小繭蜂之產卵高峰為雌蜂羽化後之前四日，故選擇以 2~3 日齡之雌蜂作為本試驗供試寄生蜂。

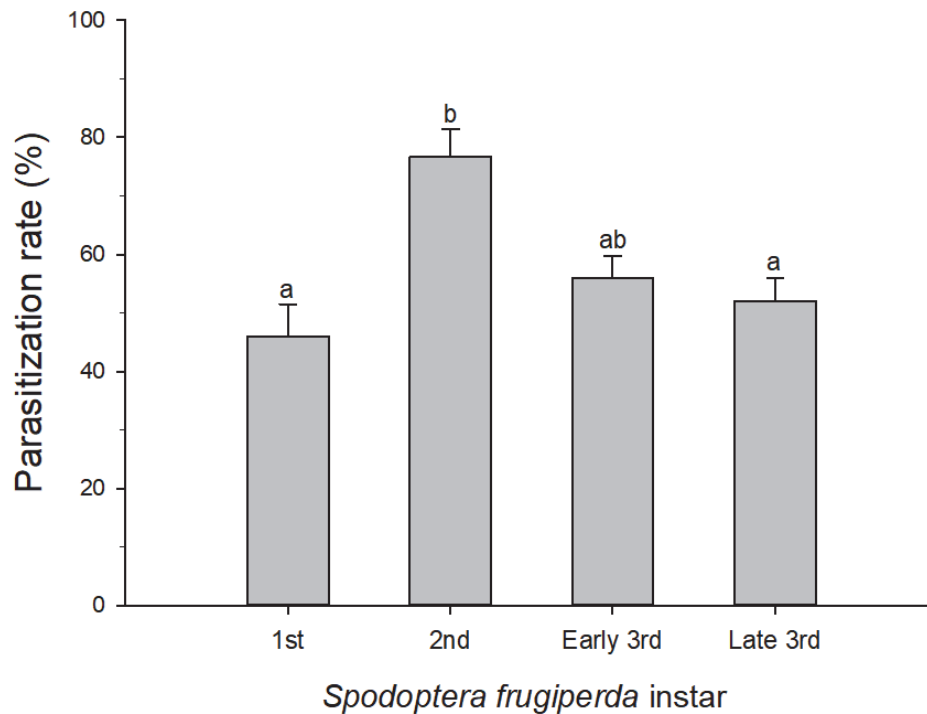
三、馬尼拉小繭蜂對不同齡期秋行軍蟲之寄生偏好及發育影響

試驗使用 2~3 日齡已交尾（與雄蜂共處 24 小時即視為已交尾 (Ikawa and Okabe, 1985)）尚未產卵的馬尼拉小繭蜂雌成蜂，分別寄生於一齡、二齡、三齡初及三齡末之秋行軍蟲。將 30 隻秋行軍蟲幼蟲與 1 隻雌成蜂置於寄生杯中，並放置人工飼料與糖水供秋行軍蟲與馬尼拉小繭蜂取食，於溫度 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相對溼度 $65 \pm 10\%$ 、光週期 14L:10D 之恆溫恆濕昆蟲飼育箱任其寄生 6 小時，再移至 30 孔塑膠孔盤內以人工飼料單隻飼育直至秋行軍蟲化蛹或寄生蜂鑽出蟲體化繭。紀錄馬尼拉小繭蜂之卵至幼蟲期、蛹期、繭重、寄生率、及化繭率，比較馬尼拉小繭蜂在不同寄主齡期間之寄生及發育表現差異。每處理 10 重複，每重複 30 隻秋行軍蟲幼蟲。

四、馬尼拉小繭蜂寄生於不同寄主植物上之秋行軍蟲之效果評估

由前部分試驗結果得知，馬尼拉小繭蜂偏好寄生於秋行軍蟲二齡幼蟲，故選擇二齡秋行軍蟲進行後續試驗。為了解秋行軍蟲於不同寄主植物上取食時，馬尼拉小繭蜂對秋行軍蟲之寄生效果，將試驗分為三處理，玉米組 (corn plant, CP)、花生組 (peanut plant, PP) 及人工飼料組 (artificial diet, AD)。試驗前分別以新鮮玉米葉、花生葉及人工飼料供初孵化秋行軍蟲幼蟲取食，待秋行軍蟲幼蟲成長至二齡時進行試驗。於 $60 \times 60 \times 60 \text{ cm}^3$ 頂部覆蓋尼龍紗網之壓克力箱內分別放入 5 盆玉米植株 (V4 stage)、落花生植株或人工飼料 (5 皿, 9 cm 培養皿中放置 6 塊 $1 \times 1 \times 1.5 \text{ cm}^3$ 人工飼料)，並移入 50 隻秋行軍蟲二齡幼蟲，放置過夜任其自然取食擴散後，再釋放 3 隻 2~3 日齡已交尾尚未產卵之馬尼拉小繭蜂雌成蜂，於室溫下寄生 6 小時後移出，再將已接過蜂之秋行軍蟲二齡幼蟲移至 30 孔塑膠孔盤中，於溫度 $26 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相對溼度 $65 \pm 10\%$ 、光週期 14L:10D 之恆溫恆濕昆蟲飼育箱內單隻飼育，期間分別以新鮮玉米葉、落花生葉或人工飼料供秋行軍蟲幼蟲取食，直至秋行軍蟲化蛹或寄生蜂鑽出蟲體化繭。紀錄馬尼拉小繭蜂之卵至幼蟲期、蛹期、繭重、寄生率、及化繭率，比較馬尼拉小繭蜂對玉米、落花生及人工飼料上秋行軍蟲之寄生及發育表現差異。每處理 10 重複，每重複 50 隻秋行軍蟲二齡幼蟲。紀錄之各項參數說明如下：

1. 卵至幼蟲期及寄生率：每日提供人工飼料或新鮮食草給予單隻飼育之秋行軍蟲幼蟲，以馬尼拉小



圖一 馬尼拉小繭蜂於不同齡期秋行軍蟲之寄生率。

Fig. 1. Mean \pm standard error of *Snellenius manilae* in different instars of *Spodoptera frugiperda*. Different letters above the bars represent significant differences between host instars (Kruskal-Wallis test, Dunn's post hoc test, $p < 0.05$).

繭蜂幼蟲鑽出秋行軍蟲體表造成之孔洞為判斷依據 (Lou *et al.*, 2007)，當秋行軍蟲體表有孔洞即視為成功寄生，以雌成蜂產卵至馬尼拉小繭蜂幼蟲鑽出之日數計算其卵至幼蟲期發育所需時間。

寄生率 (%) = 鑽出寄主體表之寄生蜂幼蟲數 / 回收之供試寄主數

- 繭重及化繭率：當馬尼拉小繭蜂幼蟲鑽出秋行軍蟲體表並造繭完成即視為成功化繭，若無法造繭包覆或途中遭秋行軍蟲攻擊致死則視為化繭失敗。另以微量天秤 (Sartorius-M2P) 個別測量三日齡繭之重量 (Ting, 2011)。

化繭率 (%) = 成功化繭數 / 總寄生數

- 蛹期：將馬尼拉小繭蜂之繭個別裝於透明膠囊 (硬膠囊 0 號) 中，當馬尼拉小繭蜂鑽出繭殼即視為成功羽化，以化繭至羽化之日數計算其蛹期 (含前蛹期) 發育所需時間。

五、統計分析

本試驗所有數據皆以 IBM SPSS Statistics 20.0 軟體進行分析，依據試驗結果計算各處理之平均值 (Mean) 與標準誤差 (Standard Error, SE)，並進行克-瓦二氏單因子等級變異數分析 (Kruskal-

Wallis Test)，當 $p < 0.05$ 具有顯著差異時，再利用 Dunn's 事後多重比較檢定 (Dunn's post hoc test) 分析各處理間之顯著性。

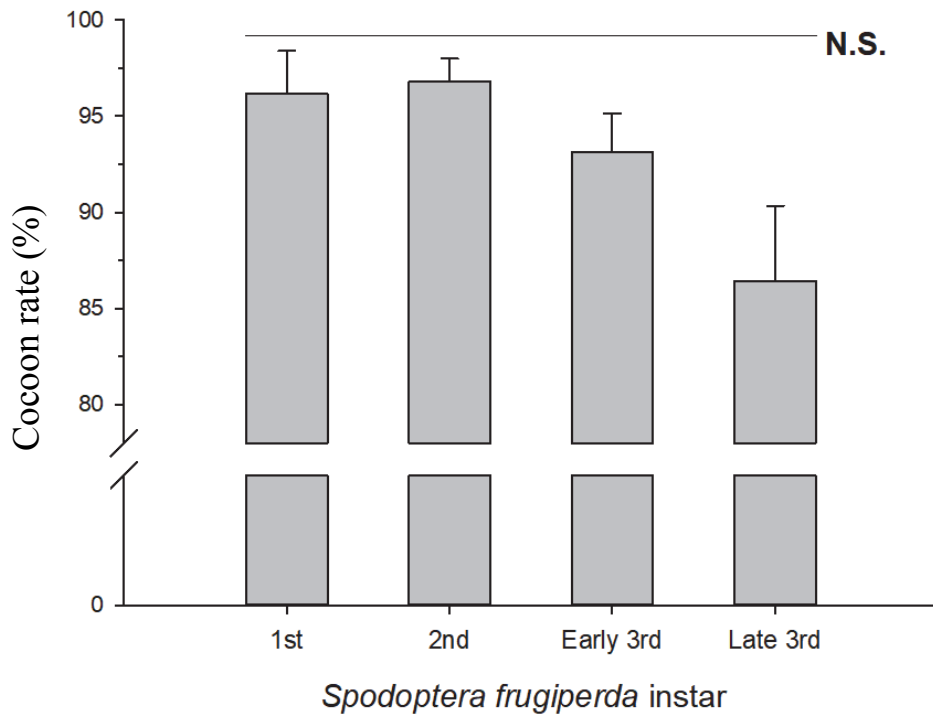
結 果

一、馬尼拉小繭蜂對不同齡期秋行軍蟲之寄生偏好

試驗結果顯示一齡至三齡末之秋行軍蟲皆可被馬尼拉小繭蜂寄生，寄生率分別為一齡 $42.05 \pm 5.42\%$ 、二齡 $76.64 \pm 4.74\%$ 、三齡初 $55.95 \pm 3.76\%$ 及三齡末 $52.08 \pm 3.85\%$ 。寄生率在不同寄主齡期之間存在顯著之差異 ($p = 0.002$)，二齡有最高的寄生率 (圖一)。化繭率分別為一齡 $96.16 \pm 2.22\%$ 、二齡 $96.79 \pm 1.19\%$ 、三齡初 $93.12 \pm 1.99\%$ 及三齡末 $86.44 \pm 3.90\%$ ，不同寄主齡期間無顯著差異 ($p = 0.056$) (圖二)。

二、馬尼拉小繭蜂寄生於不同齡期秋行軍蟲之發育影響

馬尼拉小繭蜂之卵至幼蟲期分別於一齡秋行軍蟲為 9.7 ± 0.1 日、二齡 8.9 ± 0.1 日、三齡初 9.0 ± 0.1 日及三齡末 9.0 ± 0.1 日；蛹期分別於一齡秋行軍蟲為 5.9 ± 0.0 日、二齡 6.0 ± 0.0 日、三齡初 5.9



圖二 馬尼拉小繭蜂於不同齡期秋行軍蟲之化繭率。

Fig. 2. Cocoon rates (mean \pm standard error) of *Snellenius manilae* in different instars of *Spodoptera frugiperda*. N.S. indicates no significant differences between host instars (Kruskal-Wallis test, Dunn's post hoc test, $p > 0.05$).

表一 馬尼拉小繭蜂寄生於不同齡期秋行軍蟲上之發育所需時間

Table 1. Developmental time of *Snellenius manilae* in different instars of *Spodoptera frugiperda*

Host instars	Developmental duration (days) ¹ (Mean \pm SE)		
	Egg - Larvae	Prepupa - Pupa	Whole immature stages ²
1 st instar	9.7 \pm 0.1 b	5.9 \pm 0.0 ab	15.6 \pm 0.1 b
2 nd instar	8.9 \pm 0.1 a	6.0 \pm 0.0 bc	14.9 \pm 0.1 a
Early 3 rd instar	9.0 \pm 0.1 a	5.9 \pm 0.0 ab	14.8 \pm 0.1 a
Late 3 rd instar	9.0 \pm 0.1 a	6.1 \pm 0.0 c	15.0 \pm 0.1 a

¹ Values within the same column followed by the different letters are significantly different ($\alpha = 0.05$) according to the results of a Kruskal-Wallis test and Dunn's post hoc test.

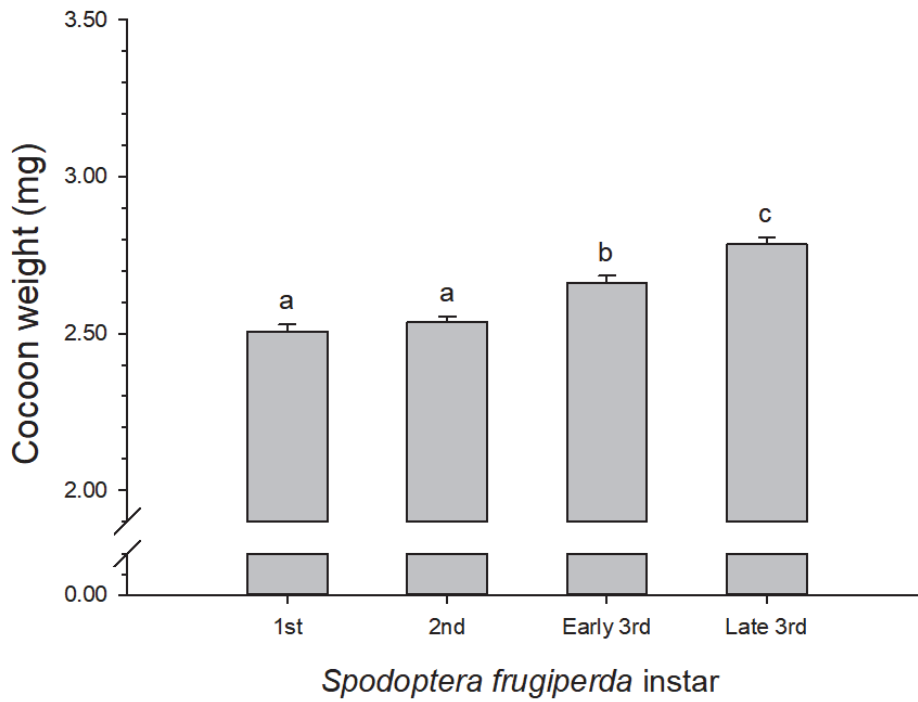
² All immature stages refer to the developmental period of *S. manilae* from egg until adult emergence.

± 0.0 日及三齡末 6.1 ± 0.0 日；總未成熟期分別於一齡秋行軍蟲為 15.6 ± 0.1 日、二齡 14.9 ± 0.1 日、三齡初 14.8 ± 0.1 日及三齡末 15.0 ± 0.1 日。試驗結果顯示馬尼拉小繭蜂之卵至幼蟲期 ($p < 0.001$)、蛹期 ($p < 0.001$) 及未成熟期 ($p \leq 0.001$) 發育時間在不同寄主齡期間存在顯著差異 (表一)。馬尼拉小繭蜂之繭重分別於一齡為 2.507 ± 0.022 mg、二齡 2.536 ± 0.019 mg、三齡初 2.663 ± 0.021 mg 及三齡末 2.784 ± 0.024 mg，顯示寄主之齡期顯著影響馬尼拉小繭蜂之繭重 ($p < 0.001$) (圖三)。

三、馬尼拉小繭蜂寄生於不同寄主植物上秋行軍蟲之效果評估

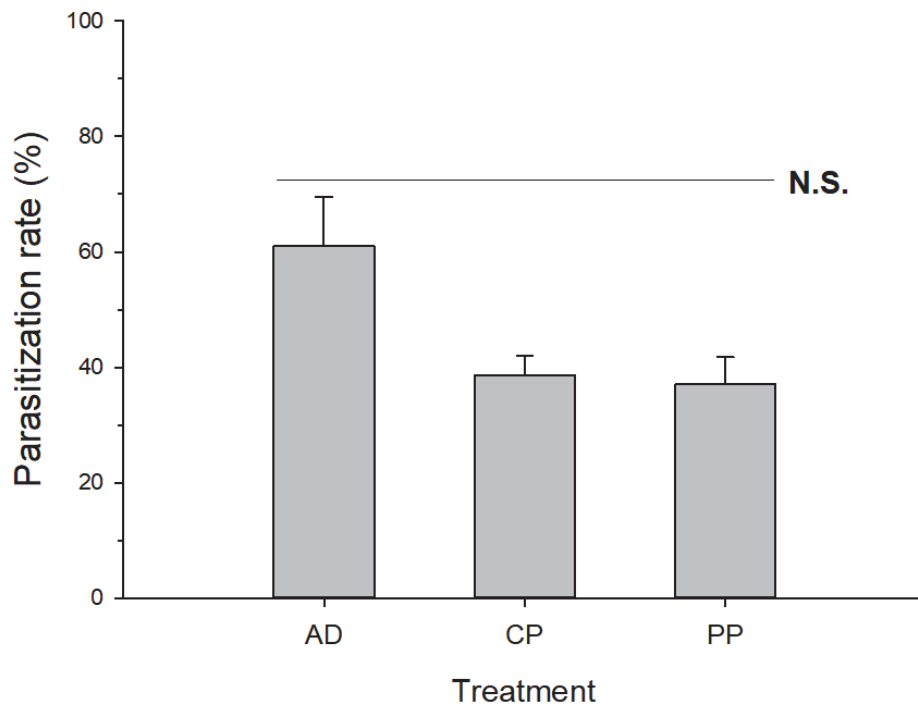
(一) 寄生表現

馬尼拉小繭蜂於不同寄主植物上秋行軍蟲之寄生率分別為玉米植株 $38.58 \pm 3.43\%$ 、花生植株 $37.01 \pm 4.71\%$ 及人工飼料 $61.01 \pm 8.47\%$ ，結果顯示寄生率在人工飼料與兩種寄主植物上無顯著差異 ($p = 0.099$) (圖四)。化繭率分別為玉米植株 $100.00 \pm 0.00\%$ 、花生植株 $99.43 \pm 0.57\%$ 及人工飼料 $93.86 \pm 1.68\%$ ，結果顯示化繭率在不同處理間存在顯著差異 ($p = 0.002$) (圖五)。



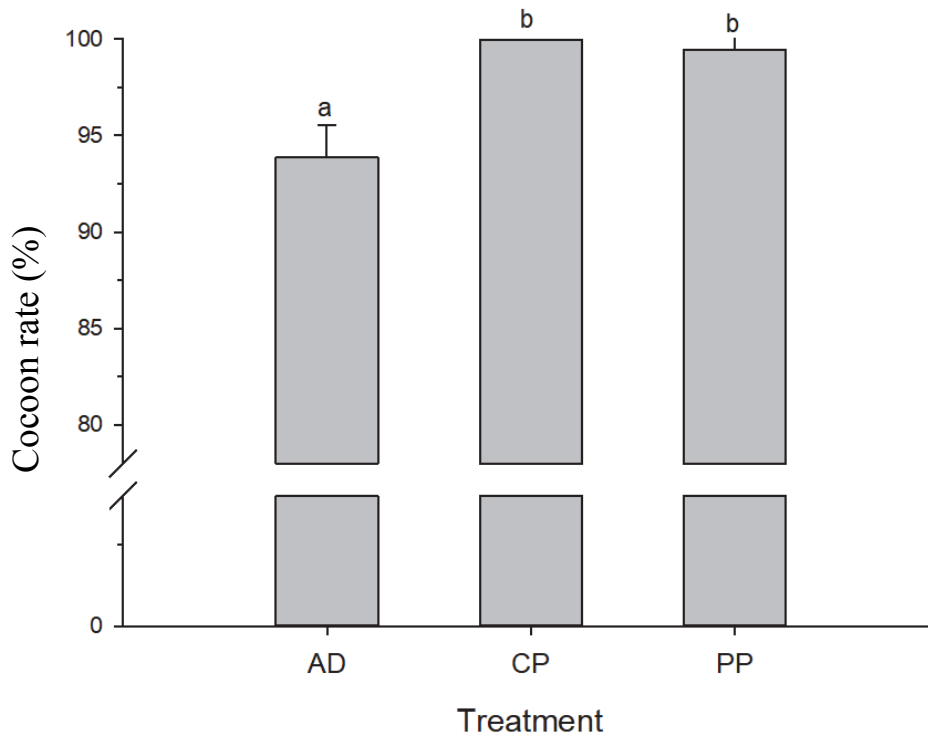
圖三 馬尼拉小繭蜂於不同齡期秋行軍蟲內發育之繭重。

Fig. 3. The cocoon weight (mean \pm standard error) of *Snellenius manilae* that developed on different instars of *Spodoptera frugiperda*. Different letters above the bars represent significant differences between host instars (Kruskal-Wallis test, Dunn's post hoc test, $p < 0.05$).



圖四 馬尼拉小繭蜂於人工飼料與兩種寄主植物上秋行軍蟲之寄生率。

Fig. 4. Parasitization rates (mean \pm standard error) of *Snellenius manilae* on *Spodoptera frugiperda* larvae fed with an artificial diet, corn host plants, and peanut host plants. N.S. indicates no significant differences between treatments (Kruskal-Wallis test, Dunn's post hoc test, $p > 0.05$).



圖五 馬尼拉小繭蜂於人工飼料與兩種寄主植物上秋行軍蟲之化繭率。

Fig. 5. Cocoon rates (mean ± standard error) of *Snellenius manilae* on *Spodoptera frugiperda* larvae fed on an artificial diet, corn host plants, and peanut host plants. AD = artificial diet, CP = corn plants, and PP = peanut plants. Different letters above the bars represent significant differences between treatments (Kruskal-Wallis test, Dunn's post hoc test, $p < 0.05$).

表二 馬尼拉小繭蜂寄生於取食人工飼料或寄主植物上之秋行軍蟲的發育所需時間

Table 2. Developmental time of *Snellenius manilae* on *Spodoptera frugiperda* larvae fed an artificial diet, corn host plants, or peanut host plants

Host instars	Developmental duration (days) ¹ (Mean ± SE)		
	Egg - Larvae	Prepupa - Pupa	Whole immature stages ²
Artificial Diet	8.8 ± 0.1 b	5.9 ± 0.0 b	14.6 ± 0.1 b
Corn Plant	8.1 ± 0.1 a	5.7 ± 0.1 a	13.8 ± 0.1 a
Peanut Plant	9.4 ± 0.1 c	6.0 ± 0.1 b	15.3 ± 0.2 c

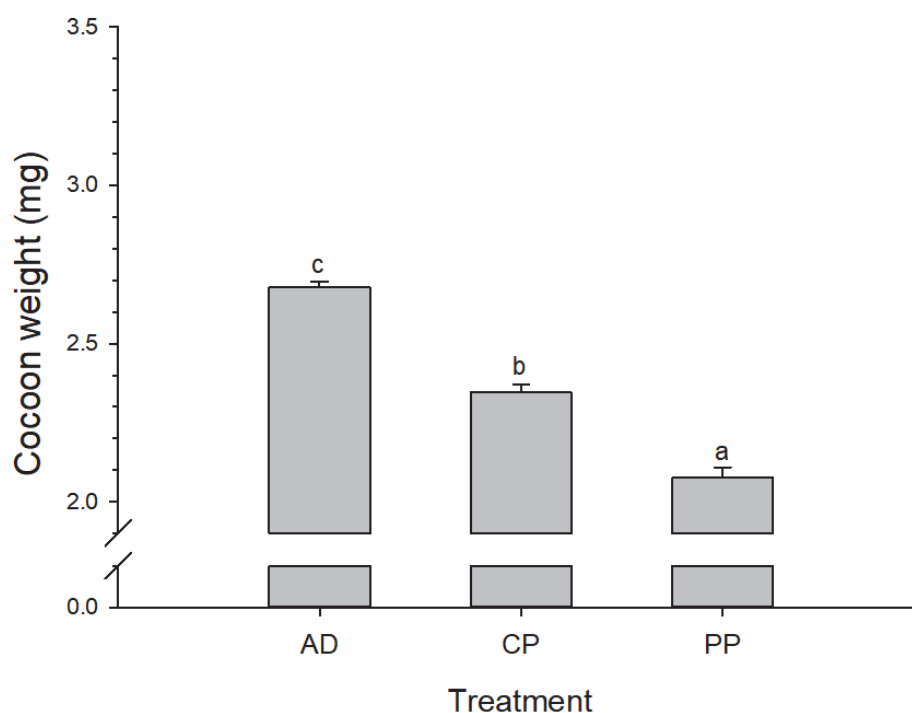
¹ Values within the same column followed by different letters are significantly different ($\alpha = 0.05$) according to the results from a Kruskal-Wallis test and Dunn's post hoc test.

² All immature stages refer to the developmental period of *S. manilae* from egg until adult emergence.

(二) 發育表現

馬尼拉小繭蜂於不同寄主植物上秋行軍蟲之卵至幼蟲期分別為玉米植株 8.1 ± 0.1 日、花生植株 9.4 ± 0.1 日及人工飼料 8.8 ± 0.1 日；蛹期分別為玉米植株 5.7 ± 0.1 日、花生植株 6.0 ± 0.1 日及人工飼料 5.9 ± 0.0 日；未成熟期分別為玉米植株 13.8 ± 0.1 日、花生植株 15.3 ± 0.2 日及人工飼料 14.6 ± 0.1 日。結果顯示馬尼拉小繭蜂之卵至幼蟲期 ($p < 0.001$)、蛹期 ($p < 0.001$) 及未成熟期 ($p < 0.001$) 發育時間在不同寄主植物與人工飼料間存在顯著差

異 (表二)，馬尼拉小繭蜂之發育時間於取食玉米植株之秋行軍蟲顯著較短。馬尼拉小繭蜂於不同寄主植物上秋行軍蟲之繭重分別為玉米植株 2.345 ± 0.026 mg、花生植株 2.075 ± 0.033 mg 及人工飼料 2.677 ± 0.019 mg，顯示秋行軍蟲取食不同寄主植物或人工飼料會顯著影響馬尼拉小繭蜂之繭重 ($p < 0.001$) (圖六)。



圖六 馬尼拉小繭蜂於人工飼料與兩種寄主植物上秋行軍蟲內發育之繭重。

Fig. 6. The cocoon weight (mean \pm standard error) of *Snellenius manilae* that developed from *Spodoptera frugiperda* larvae fed an artificial diet, corn host plants, and peanut host plants. AD = artificial diet, CP = corn plants, and PP = peanut plants. Different letters above the bars represent significant differences between treatments (Kruskal-Wallis test, Dunn's post hoc test, $p < 0.05$).

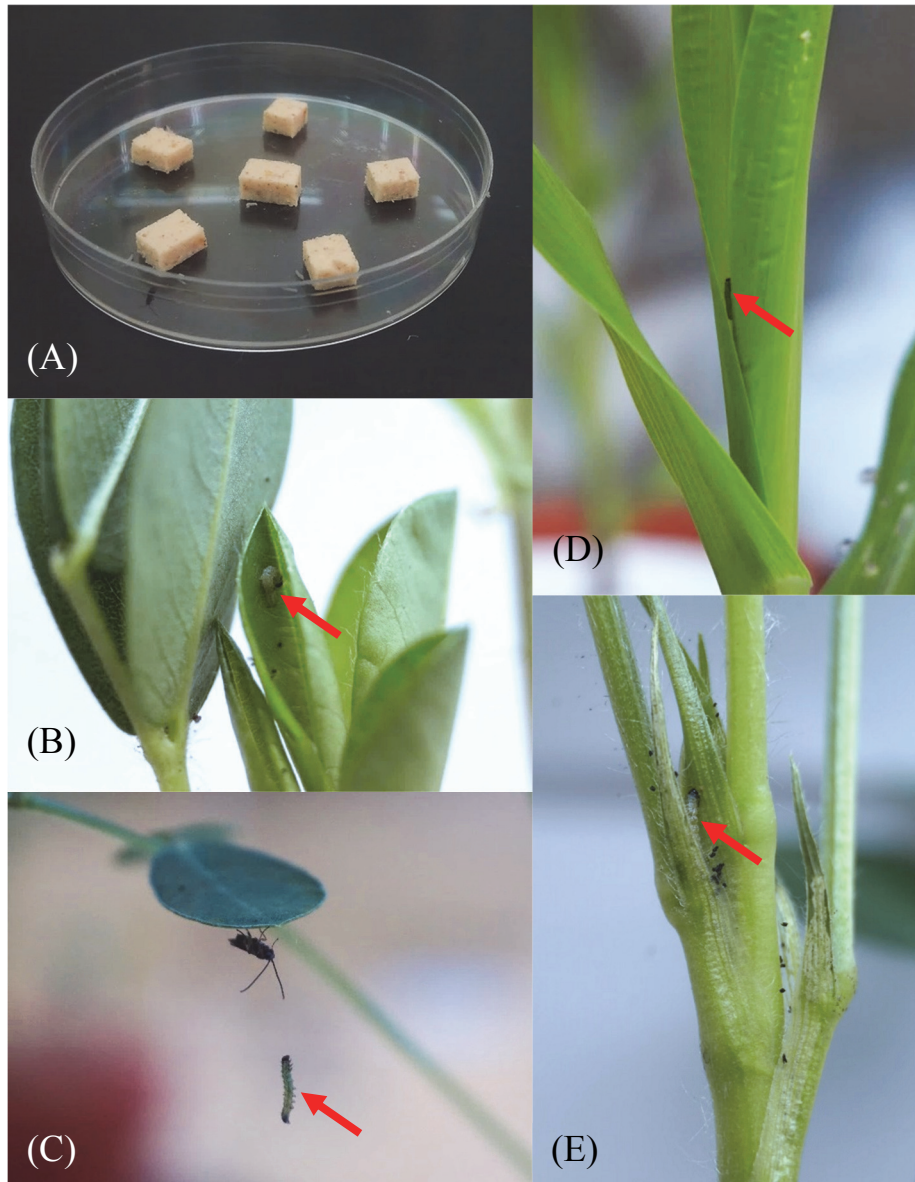
討 論

本研究發現在非選擇情況下，馬尼拉小繭蜂傾向於寄生二齡及三齡初期之秋行軍蟲幼蟲，且寄生率在二齡為最高。除了初齡（一齡）幼蟲外，寄生率隨著寄主齡期的增大而降低。許多研究具有相似的結果，Rajapakse *et al.* (1985) 指出馬尼拉小繭蜂偏好寄生於 49~72 小時的秋行軍蟲幼蟲，但不接受超過 130 小時的幼蟲。Qiu *et al.* (2013) 的結果顯示馬尼拉小繭蜂在二齡及三齡的甜菜夜蛾有較高的寄生率。Ting (2011) 的研究指出馬尼拉小繭蜂在斜紋夜蛾二齡幼蟲有最高的化繭率與羽化率。同樣針對斜紋夜蛾的研究結果顯示，當寄主齡期增大至四齡時，馬尼拉小繭蜂的寄生率顯著降低 (Ando *et al.*, 2006)。

本研究結果在初齡幼蟲存在較低的寄生率，可能是由於初齡幼蟲對寄生的抵抗能力較低，寄生蜂產卵時穿刺體表和注入毒液可能對其造成致命傷害，導致被寄生的寄主提早死亡而無法產生寄生蜂後代 (Li *et al.*, 2006; Murillo *et al.*, 2013; Wei *et al.*, 2014)。亦有可能是初齡幼蟲所含的養分不足以供應寄生蜂後代發育所致 (Harvey and Strand,

2002; Colinet *et al.*, 2005)。另一方面，二齡之後寄生率的下降，可能是由於較大齡期的寄主有較強烈的抵抗行為與防禦反應 (Noble and Graham, 1966; Murillo *et al.*, 2013)。在本研究中觀察到三齡末之秋行軍蟲幼蟲會透過激烈擺動頭胸部、吐反芻液以及使用大顎攻擊等行為來抵抗寄生蜂，除了能干擾或中斷寄生行為外，甚至可能導致寄生蜂受傷或死亡 (Chen *et al.*, 2017)，進而降低成功寄生率。此現象與前人之研究一致，Rajapakse *et al.* (1985) 觀察到當馬尼拉小繭蜂試圖在四齡幼蟲上產卵時，幼蟲會出現激烈擺動頭胸部的行為，並且嘗試以大顎攻擊寄生蜂。同時，寄主形態上的抗性（如表皮厚度）也會隨著齡期增加，而使寄生蜂對寄主的處理時間增長 (Gross, 1993)。

儘管馬尼拉小繭蜂在二齡秋行軍蟲幼蟲具最高的寄生率，並有相對較短的未成熟期發育時間，但並不具有較高的繭重。較短的發育時間可以降低寄生蜂幼蟲在野外的死亡風險，例如昆蟲病原、捕食者及超寄生，但隨之而來的代價可能是產生體型較小的後代 (Harvey and Strand, 2002)。前人研究指出，較大的寄主有較高的營養價值，能產生具有較大體型的寄生蜂後代，且與寄生蜂之產卵數、繁殖力及壽



圖七 秋行軍蟲於人工飼料與寄主植物之取食情形。(A) 秋行軍蟲幼蟲於人工飼料上無躲藏空間 (B) 秋行軍蟲幼蟲躲藏於落花生未展開葉內取食 (C) 秋行軍蟲幼蟲藉吐絲掉落來逃避馬尼拉小繭蜂之寄生 (D) 秋行軍蟲幼蟲躲藏於玉米之未抽出葉內取食 (E) 秋行軍蟲幼蟲躲藏於落花生托葉與腋芽內取食。

Fig. 7. *Spodoptera frugiperda* fed an artificial diet or host plants. (A) *Spodoptera frugiperda* larvae have no hiding space on an artificial diet. (B) *Spodoptera frugiperda* larvae feed and hide in unexpanded peanut leaves. (C) *Spodoptera frugiperda* larvae escape the parasitism of *Snellenius manilae* by spinning and dropping. (D) *Spodoptera frugiperda* larvae feed and hide in the whorl of corn. (E) *Spodoptera frugiperda* larvae feed and hide in the stipules and axillary buds of peanut.

命相關 (Bellows, 1985; Ellers *et al.*, 1998; Zaviezo and Mills, 2000; Bezemer *et al.*, 2005; Stockermans and Hardy, 2013)。Ting (2011) 利用馬尼拉小繭蜂防治斜紋夜蛾的研究發現，寄生蜂的繭重隨著寄主齡期的增大而顯著增加。Chen *et al.* (2017) 亦指出，在較大齡期的斜紋夜蛾幼蟲中發育之斯氏側溝繭蜂 (*Microplitis similis*)，具有顯著較大的體型。本研究結果與其相符，即於較大齡期寄主中發育之寄生蜂，具有顯著較高之繭重。

發育時間與體型大小為衡量適應性之重要參數，但兩者之間經常存在衝突 (Godfray, 1994)。Harvey and Strand (2002) 指出寄主取食生態學 (feeding ecology)、死亡風險等因素可能影響寄生蜂的發育策略，而在後代發育時間和體型大小間做出抉擇或權衡。根據本研究結果推測，對寄生於秋行軍蟲之馬尼拉小繭蜂而言，發育時間可能比後代大小更為重要。故認為，兼具最高的寄生率與相對較短的發育時間之秋行軍蟲二齡幼蟲，為最適合馬尼拉小

繭蜂寄生之寄主齡期。

寄主植物的結構複雜性 (structural complexity) 會影響寄生蜂的寄主搜尋效率，相較於結構複雜的植物，寄生蜂在結構簡單的植物上能更迅速地找到寄主，而產生較高的寄生率 (Andow and Prokrym, 1990; Gingras *et al.*, 2002)。本研究中馬尼拉小繭蜂在人工飼料上有較高的平均寄生率，可能是由於人工飼料之結構簡單，且無可供秋行軍蟲幼蟲躲藏之空間 (圖七)。相較之下，兩種寄主植物之結構較為複雜，試驗中可見花生植株上之秋行軍蟲幼蟲常躲藏於托葉、腋芽及未展開葉內取食，而玉米植株上則聚集於未抽出葉內取食，可能因此增加寄生蜂的搜尋難度。再者，Greeney *et al.* (2012) 指出鱗翅目幼蟲可以透過從寄主植物上掉落來有效防禦寄生蜂。本研究中也觀察到暴露於外的秋行軍蟲幼蟲，在遭遇到寄生蜂時會以吐絲掉落的方式來逃避寄生蜂。

另一方面，當植食性昆蟲取食植物時，會誘導植物向環境釋放揮發性物質，這些揮發性物質稱為植食性昆蟲誘導植物揮發物 (herbivore-induced plant volatiles, HIPVs)，為一種間接植物防禦 (Turlings and Tumlinson, 1992; Paré and Tumlinson, 1999)。前人的研究指出，玉米植株受甜菜夜蛾或棉花夜蛾 (*Spodoptera littoralis*) 取食後會釋放 HIPVs，且對寄生性天敵—緣腹絨繭蜂 (*Cotesia marginiventris*) 具有強烈的吸引力 (Turlings *et al.*, 1991; D'Alessandro *et al.*, 2009)。推測植物釋放的 HIPVs 在本研究中具有一定程度的正面影響，使寄生蜂在寄主植物結構複雜性與秋行軍蟲逃避行為下，仍能在兩種寄主植物上保持與人工飼料無顯著差異之寄生率。

不同植物所含的營養物質與次級代謝物組成不同，會直接影響植食性昆蟲的生長、存活及繁殖，也可能間接影響寄生蜂的發育表現 (Price *et al.*, 1980; Eben *et al.*, 2000; Awmack and Leather, 2002)。於本研究中，馬尼拉小繭蜂於取食玉米植株之秋行軍蟲具顯著較短的發育時間，代表其能更快進入繁殖階段，有利於族群發展，並可持續提供防治效果。然而，相較於兩種寄主植物，馬尼拉小繭蜂在取食人工飼料之秋行軍蟲上具顯著較高之繭重，推測為人工飼料中含有較高的營養物質與較低的次級代謝物所致。Chen (2015) 之研究亦指出，相較於小葶蘆和蘿蔔，馬尼拉小繭蜂於取食甘藍之斜紋夜蛾幼蟲上有顯著較佳的生長表現，是由於甘藍具較高的營養物質與較低的防禦物質含量。

本研究首次證實秋行軍蟲齡期對馬尼拉小繭蜂寄生與發育表現的影響，並探討馬尼拉小繭蜂對於植株上取食之秋行軍蟲的防治效果。秋行軍蟲二齡幼蟲為馬尼拉小繭蜂大量飼養和田間防治的最佳齡期，且馬尼拉小繭蜂對寄主植物上的秋行軍蟲仍具有防治效果。綜上所述，馬尼拉小繭蜂對秋行軍蟲具有防治潛力，但考量作物生長階段、害蟲密度、溫溼度等氣候因子皆可能對寄生效果產生影響，最適條件仍有待進一步研究，以利於制定馬尼拉小繭蜂防治秋行軍蟲的方法，提高田間應用之防治效果。期望能透過馬尼拉小繭蜂抑制秋行軍蟲族群，為整合性管理提供新的生物防治選擇。

引用文獻

- Abrahams P, Beale T, Cock M, Corniani N, Day R, Godwin J, Gomez J, Murphy G, Richards G, Vos J. 2017. Fall armyworm status. Impacts and control options in Africa: Preliminary evidence note (April 2017), CABI. 18 pp.
- Ando K, Inoue R, Maeto K, Too S. 2006. Effects of temperature on the life history traits of endoparasitoid, *Microplitis manilae* Ashmead (Hymenoptera: Braconidae), parasitizing the larvae of the common cutworm, *Spodoptera litura* Fabricius (Lepidoptera: Noctuidae). *Jpn J Appl Entomol Zool* 50: 201-210.
- Andow DA, Prokrym DR. 1990. Plant structural complexity and host-finding by a parasitoid. *Oecologia* 82: 162-165.
- Awmack CS, Leather SR. 2002. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annu Rev Entomol* 47: 817-844.
- BAPHIQ (Bureau of Animal and Plant Health Inspection and Quarantine of Taiwan Province). 2019. Bureau confirmed the fall armyworm. News release on 10 June 2019. Retrieved from: https://www.baphiq.gov.tw/theme_data.php?theme=NewInfoListWS&id=16266
- Bellows TS. 1985. Effects of host age and host availability on developmental period, adult size, sex ratio, longevity and fecundity in

- Lariophagus distinguendus* Förster (Hymenoptera: Pteromalidae). Res Popul Ecol 27: 55-64.
- Bezemer TM, Harvey JA, Mills NJ.** 2005. Influence of adult nutrition on the relationship between body size and reproductive parameters in a parasitoid wasp. Ecol Entomol 30: 571-580.
- CABI (Centre for Agriculture and Bioscience International).** 2018. CABI warns of rapid spread of crop-devastating fall armyworm across Asia. Retrieved from: <https://www.cabi.org/news-and-media/2018/cabi-warns-of-rapid-spread-of-crop-devastating-fall-armyworm-across-asia/>.
- Cacayorin ND, Solsoloy AD, Damo MC, Solsoloy TS.** 1993. Beneficial arthropods regulating population of insect pest on cotton. Cotton Res J 6: 1-8.
- Chen SE.** 2015. Effect of host plant species on growth performance and preference of *Spodoptera litura* and its parasitoid *Snellenius manila*. [Master Thesis]. National Chung Hsing University. Taiwan. 55 pp. (in Chinese)
- Chen WT, Hwang SY.** 2015. Interspecific competition between *Snellenius manila* and *Meteorus pulchricornis*, larval parasitoids of *Spodoptera litura*. Bull Entomol Res 105:583-588.
- Chen XY, Hopkins RJ, Zhao YP, Huang GH.** 2017. A place to grow? Host choice and larval performance of *Microplitis similis* (Hymenoptera: Braconidae) in the host *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae). Environ Entomol 46: 642-648.
- Chiu SC, Chou LY.** 1976. Hymenopterous parasitoids of *Spodoptera litura* Fab. J Agric Res China 25: 227-241. (in Chinese)
- Colinet H, Salin C, Boivin G, Hance TH.** 2005. Host age and fitness-related traits in a koinobiont aphid parasitoid. Ecol Entomol 30: 473-479.
- D'Alessandro M, Brunner V, von Mérey G, Turlings TC.** 2009. Strong attraction of the parasitoid *Cotesia marginiventris* towards minor volatile compounds of maize. J Chem Ecol 35: 999-1008.
- Day R, Abrahams P, Bateman M, Beale T, Clotey V, Cock M, Gomez J.** 2017. Fall armyworm: Impacts and implications for Africa. Outlooks Pest Manag 28: 196-201. doi: 10.1564/v28_oct_02
- De Groote H, Kimenju SC, Munyua B, Palmas S, Kassie M, Bruce A.** 2020. Spread and impact of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) in maize production areas of Kenya. Agric Ecosys Environ 292: 106-804.
- Eben A, Benrey B, Sivinski J, Aluja M.** 2000. Host species and host plant effects on preference and performance of *Diachasmimorpha longicaudata* (Hymenoptera: Braconidae). Environ Entomol 29: 87-94.
- Ellers J, Van Alphen JJ, Sevenster JG.** 1998. A field study of size–fitness relationships in the parasitoid *Asobara tabida*. J Anim Ecol 67: 318-324.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations).** 2018. Integrated management of the Fall Armyworm on maize: a guide for farmer field schools in Africa. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Retrieved from <http://www.fao.org/3/i8665en/i8665en.pdf>
- FAO.** 2021. FAW map | Global action for fall armyworm control. Retrieved from: <http://www.fao.org/fall-armyworm/monitoring-tools/faw-map/en/> (accessed on 4 May 2021)
- Gingras D, Dutilleul P, Boivin G.** 2002. Modeling the impact of plant structure on host-finding behavior of parasitoids. Oecologia 130: 396-402.
- Godfray HCJ.** 1994. Parasitoids: Behavioral and Evolutionary Ecology (Vol. 67). New Jersey, USA: Princeton University Press. 484 pp.
- Goergen G, Kumar PL, Sankung SB, Togola A, Tamò M.** 2016. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in West and Central

- Africa. PloS One 11: e0165632. doi: 10.1371/journal.pone.0165632
- Greeney HF, Dyer LA, Smilanich AM.** 2012. Feeding by lepidopteran larvae is dangerous: a review of caterpillars' chemical, physiological, morphological, and behavioral defenses against natural enemies. *Invertebr Surviv J* 9: 7-34.
- Gross P.** 1993. Insect behavioral and morphological defenses against parasitoids. *Annu Rev Entomol* 38: 251-273.
- Gutiérrez-Moreno R, Mota-Sanchez D, Blanco CA, Whalon ME, Terán-Santofimio H, Rodríguez-Maciel JC, DiFonzo C.** 2019. Field-evolved resistance of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) to synthetic insecticides in Puerto Rico and Mexico. *J Econ Entomol* 112: 792-802.
- Harvey JA, Strand MR.** 2002. The developmental strategies of endoparasitoid wasps vary with host feeding ecology. *Ecology* 83: 2439-2451.
- Hruska AJ.** 2019. Fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) management by smallholders. *CAB Reviews* 14: 1-11.
- Huang YT, Wang CL, Hwang SY.** 2022. Parasitic preference and growth performance of *Snellenius manilae* (Hymenoptera: Braconidae) on *Spodoptera frugiperda* and *S. litura*. *Formosan Entomol* 42: 11-24. (in Chinese)
- 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.
- 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.
- Johnson SJ.** 1987. Migration and the life history strategy of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in the Western Hemisphere. *Int J Trop Insect Sci* 8: 543-549.
- Kao SS.** 1995. Mass rearing of insects. *Bulletin of Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substances Research Institute (TACTRI)* 37: 1-8. (in Chinese)
- 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.
- Luo K, Trumble JT, Pang Y.** 2007. Development of *Microplitis bicoloratus* on *Spodoptera litura* and implications for biological control. *BioControl* 52: 309-321.
- Makale F, Mugambi I, Kansiime MK, Yuka I, Abang M, Lechina B, Rampeba M, Rwomushana I.** 2022. Fall armyworm in Botswana: Impacts, farmer management practices and implications for sustainable pest management. *Pest Manag Sci* 78: 1060-1070. doi: 10.1002/ps.6717.
- MSU (Michigan State University).** 2021. Arthropod Pesticide Resistance Database. Available online: <https://www.pesticideresistance.org/display.php?page=species &arId=200> (accessed on 6 Dec 2021).
- Montezano DG, Sosa-Gómez DR, Specht A, Roque-Specht VF, Sousa-Silva JC, Paula-Moraes SV, Peterson JA, Hunt TE.** 2018. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *Afr Entomol* 26: 286-301.
- 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.
- Noble LW, Graham HM.** 1966. Behavior of *Campoletis perdistinctus* (Viereck) as a parasite of the tobacco budworm. *J Econ Entomol* 59: 1118-1120.
- Paré PW, Tumlinson JH.** 1999. Plant volatiles as a defense against insect herbivores. *Plant*

- Physiol 121: 325-332.
- Piggott MP, Tadle FPJ, Patel S, Cardenas Gomez K, Thistleton B.** 2021. Corn-strain or rice-strain? Detection of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), in northern Australia. Int J Trop Insect Sci doi:10.1007/s42690-021-00441-7
- Price PW, Bouton CE, Gross P, McPheron BA, Thompson JN, Weis AE.** 1980. Interactions among three trophic levels: influence of plants on interactions between insect herbivores and natural enemies. Annu Rev Ecol Syst 11: 41-65.
- 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.
- 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.
- Sisay B, Simiyu J, Malusi P, Likhayo P, Ayalew G, Mohamed S, Tefera T.** 2019. Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* infestations in east Africa: Assessment of damage and parasitism. Insects 10: 195.
- Sisay B, Simiyu J, Malusi P, Likhayo P, Mendesil E, Elibariki N, Wakgari M, Ayalew G, Tefera T.** 2018. First report of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), natural enemies from Africa. J Appl Entomol 142: 800-804.
- Stockermans BC, Hardy IC.** 2013. Subjective and objective components of resource value additively increase aggression in parasitoid contests. Biol Lett 9: 20130391.
- Sun XX, Hu CX, Jia HR, Wu QL, Shen XJ, Zhao SY, Jiang YY, Wu KM.** 2021. Case study on the first immigration of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* invading into China. J Integr Agric 20: 664-672.
- 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)
- Turlings TC, Tumlinson JH.** 1992. Systemic release of chemical signals by herbivore-injured corn. Proc Natl Acad Sci USA 89: 8399-8402.
- Turlings TC, Tumlinson JH, Heath RR, Proveaux AT, Doolittle RE.** 1991. Isolation and identification of allelochemicals that attract the larval parasitoid, *Cotesia marginiventris* (Cresson), to the microhabitat of one of its hosts. J Chem Ecol 17: 2235-2251.
- Van den Berg J, Prasanna BM, Midega CA, Ronald PC, Carrière Y, Tabashnik BE.** 2021. Managing fall armyworm in Africa: Can Bt maize sustainably improve control? J Econ Entomol 114: 1934-1949.
- Wang F, Wu HY.** 2019. More sightings of fall armyworm in Taiwan: COA. Focus Taiwan (CNA English News) Retrieved from: <https://focustaiwan.tw/society/201906160008> (accessed on 5 Dec 2021)
- Wei K, Tang YL, Wang XY, Cao LM, Yang ZQ.** 2014. The developmental strategies and related profitability of an idiobiont ectoparasitoid *Sclerodermus pupariae* vary with host size. Ecol Entomol 39: 101-108.
- Westbrook JK, Nagoshi RN, Meagher RL, Fleischer SJ, Jairam S.** 2016. Modeling long seasonal migration of fall armyworm moths. Int J Biometeorol 60: 255-267.
- Zaviezo T, Mills N.** 2000. Factors influencing the evolution of clutch size in a gregarious insect parasitoid. J Anim Ecol 69: 1047-1057.

Preliminary evaluation of the biocontrol potential of *Snellenius manilae* (Hymenoptera: Braconidae) against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)

Hui-Ru Liu¹, Yi-Ting Hsu^{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 Agronomy, 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: 15 June 2022

Accepted: 9 December 2022

Available online: 3 February 2023

ABSTRACT

The fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), is a lepidopteran insect of the family Noctuidae native to the Americas. It is a highly polyphagous insect with a high reproductive rate and good migratory capacity. In June 2019, the larvae of *S. frugiperda* was first observed in Taiwan. So far, *S. frugiperda* has caused damage to nine plant species in Taiwan, including corn, sorghum, rice, peanut, and other crops. Known as a solitary larval endoparasitoid of the Noctuidae family, *Snellenius manilae* (Hymenoptera: Braconidae) can parasitize the larvae of *S. frugiperda*. To evaluate the biocontrol potential of *S. manilae* against *S. frugiperda*, this study first investigated the effect of host larval instar on the parasitism and performance of *S. manilae*. The results revealed that *S. manilae* could parasitize *S. frugiperda* larvae from the first instar to late third instar. The parasitization rate on second instar larvae was significantly higher than on the other instars, which were $42.05\% \pm 5.42\%$, $55.95\% \pm 3.76\%$, and $52.08\% \pm 3.85\%$ on the first, early third, and late third instars, respectively. The immature developmental time of *S. manilae* on the first instar larvae (15.6 ± 0.1 days) was significantly longer than that on the second instar (14.9 ± 0.1 days), early third instar (14.8 ± 0.1 days), and late third instar (15.0 ± 0.1 days). The cocoon weight increased significantly with host instar stage. The cocoon weight on the first, second, early third, and late third instars were 2.507 ± 0.022 , 2.536 ± 0.019 , 2.663 ± 0.021 , and 2.784 ± 0.024 mg, respectively. On the basis of the results, second instar larvae were assigned to the subsequent pot experiments to understand the control efficacy of *S. manilae* against *S. frugiperda* on host plants. No significant differences were observed in the parasitization rates of *S. manilae* on *S. frugiperda* larvae fed with an artificial diet ($61.01\% \pm 8.47\%$), corn host plants ($38.58\% \pm 3.43\%$), or peanut ($37.01\% \pm 4.71\%$) host plants. The cocoon rate of *S. manilae* was significantly higher on *S. frugiperda* larvae fed with corn ($100.00\% \pm 0.00\%$) or peanut ($99.43\% \pm 0.57\%$) host plants. Additionally, the immature developmental time of *S. manilae* was significantly shorter on *S. frugiperda* larvae fed with corn host plants than those fed an artificial diet (14.6 ± 0.1 days) or peanut (15.3 ± 0.2 days) host plants. In conclusion, *S. manilae* demonstrated biocontrol potential against *S. frugiperda* and retained a parasitic effect against *S. frugiperda* when feeding on host plants. The second instar was the most suitable host stage for *S. frugiperda* biological control when using *S. manilae*.

Key words: *Snellenius manilae*, *Spodoptera frugiperda*, host instar, parasitization rate, developmental performance, biocontrol potential