



## 臺灣各地秋行軍蟲（鱗翅目：夜蛾科）及不同齡期對現行登記用藥的感受性

謝宏騰<sup>2</sup>、許如君<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> 國立臺灣大學昆蟲學系 106 臺北市大安區羅斯福路四段 1 號

<sup>2</sup> 國立臺灣大學植物醫學碩士學位學程 106 臺北市大安區基隆路 3 段 30 巷 2 弄 2 號

\* 通訊作者 email: [juchun@ntu.edu.tw](mailto:juchun@ntu.edu.tw)

收件日期：2026 年 1 月 29 日 接受日期：2026 年 4 月 8 日 線上刊登日期：2026 年 5 月 1 日

### 摘要

秋行軍蟲 (*Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith)) 為原產於美洲的植食性害蟲，危害的作物種類眾多，對農業生產造成極大的威脅。秋行軍蟲自 2019 年入侵臺灣以來，持續之防治壓力可能會使田間族群對目前所使用之防治藥劑產生抗藥性。因此，本研究於 2022 年自彰化、雲林、嘉義、臺南和花蓮這五個臺灣主要的玉米產區採集田間秋行軍蟲幼蟲，帶回實驗室以人工飼料飼養，並以其 F2~F4 子代 3 齡幼蟲，採飼料摻入法測試其對硫敵克 (thiodicarb)、賜諾特 (spinetoram)、諾伐隆 (novaluron)、氟大滅 (flubendiamide) 和剋安勃 (chlorantraniliprole) 等五種緊急防治用藥之感受性。結果顯示，五個秋行軍蟲田間族群對賜諾特的感受性最高，而對氟大滅的感受性最低，其中彰化、嘉義、臺南地區的族群對氟大滅之 LC<sub>90</sub> 均高於田間推薦施用濃度。此外，各地區的秋行軍蟲對剋安勃的 LC<sub>50</sub> 與感性品系相比，皆呈現出較高的抗性比，顯示田間秋行軍蟲族群可能已對氟大滅及剋安勃這兩種二醯胺類藥劑產生抗性。進一步比較感受性最低之臺南地區秋行軍蟲族群 3、4 及 5 齡幼蟲對五種藥劑的感受性，發現除氟大滅外，5 齡幼蟲對其餘緊急防治藥劑的 LC<sub>90</sub> 皆未超過田間推薦藥劑濃度。本研究之結果除可作為日後抗藥性研究的基礎，亦提供不同地區及齡期秋行軍蟲對藥劑感受性差異的資訊，作為田間防治策略擬定的參考。

**關鍵詞：**秋行軍蟲、感受性、登記用藥、生物檢定、齡期。

### 前言

秋行軍蟲 (*Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797))，為原產於熱帶美洲的鱗翅目 (Lepidoptera) 夜蛾科 (Noctuidae) 夜盜蛾屬 (*Spodoptera*) 之害蟲，已知可危害的寄主植物多達 76 科 353 種，尤其對禾本科作物的偏好性高 (Montezano *et al.*, 2018)。秋行軍蟲於 2016 年入侵非洲並對當地農業造成重大的損失 (Goergen *et*

*al.*, 2016; Harrison *et al.*, 2019)；其後於 2018 年 5 月入侵印度 (Kalleshwaraswamy *et al.*, 2018)，並於 2019 年傳入中國、臺灣、韓國、日本與東南亞等國家，2020 年入侵澳洲，2022 年入侵紐西蘭 (FAO, 2023)。秋行軍蟲具有極強的遷徙能力，已被聯合國糧食及農業組織 (Food and Agriculture Organization, FAO) 列為全球預警的重要農業害蟲之一，其如何有效的防治亦成為國際間高度關注的重要議題 (FAO, 2017)。

秋行軍蟲幼蟲具有六個齡期，1 至 6 齡幼蟲頭殼寬度分為 0.35、0.45、0.75、1.3、2.0 和 2.6 mm；幼蟲體長分別 1.7、3.5、6.4、10.0、17.2 和 34.2 mm，自 1 齡到 5 齡體長可相差達 10 倍 (Sparks, 1979; Capinera, 2008)。秋行軍蟲幼蟲所造成的危害程度與其齡期呈正相關，齡期越大對作物的危害程度越大 (Linduska and Harrison, 1986)。研究指出，1 至 3 齡幼蟲的取食量占整個幼蟲取食量不到 10%，4 齡幼蟲占約 10%，5 齡蟲約 20%，而 6 齡蟲則占超過 60% (Sparks, 1979; Garner and Lynch, 1981; Ren *et al.*, 2020)。以玉米為例，幼蟲孵化後會先取食卵殼，之後取食葉肉組織，並在葉片上留下透明窗格狀的危害狀 (Hardke *et al.*, 2015)。1 齡幼蟲體色呈黃綠色，頭殼為黑色，會藉由吐絲將自己垂吊下來後隨風擴散至其他植株 (Zalucki *et al.*, 2002)。秋行軍蟲對玉米之危害以生長點為最重要。生長點受損，則無法長出正常玉米。2、3 齡幼蟲除直接取食葉片，亦會鑽進玉米葉生長點取食為害。幼蟲體色會隨著齡期的增加而逐漸變深，4 到 6 齡之幼蟲頭殼上可見一黃色倒 Y 狀紋路，腹部末節可見梯形排列的四點疣狀凸起，為其明顯的辨識特徵。此階段的幼蟲通常在田間的危害最為嚴重，受害植株僅會留下中肋和莖桿，嚴重時造成全株倒伏死亡 (Buntin, 1986)；同時，秋行軍蟲亦會危害玉米穗 (tassel) 及果穗 (Juárez *et al.*, 2012)，尤其在植株輪生期 (whorl stage) 受到危害時，對玉米產量影響最大 (Maruthadurai and Ramesh, 2020)。此外，秋行軍蟲幼蟲會有明顯的自相殘殺行為 (cannibalistic behavior)，因此在單一株玉米植株上通常只會有 1~2 隻幼蟲 (Chapman *et al.*, 1999)。

在美洲地區，長期施用各種藥劑防治秋行軍蟲，包含合成除蟲菊酯類 (pyrethroids)、有機磷類 (organophosphates)、胺基甲酸鹽類 (carbamates) 及二醯胺類 (diamides) 等藥劑，以及種植表現轉蘇力菌 (*Bacillus thuringiensis*, Bt) 毒蛋白之基因轉殖作物。然而，已有研究發現，田間秋行軍蟲族群已對部分藥劑及 Bt 毒蛋白產生抗藥性 (Pitre, 1986; Yu, 1991; Zhu *et al.*, 2015; Qinqin *et al.*, 2019)。秋行軍蟲在 2019 年入侵臺灣，雖然屬於新興害蟲，但自入侵以來，國內的八種緊急防治藥劑並未更換過，長期施用所造成之選汰壓力可能增加田間秋行軍蟲族群產生抗藥性之風險。

目前化學防治仍是防治秋行軍蟲最主要的方法，但也因此造成秋行軍蟲對多種藥劑產生抗藥性 (Pitre, 1986; Yu, 1991)。秋行軍蟲自 2019 年入侵

臺灣本島迄今已有數年，然而國內田間族群對主要防治藥劑之感受性現況仍缺乏系統性評估。為瞭解臺灣秋行軍蟲的抗藥性現狀，本研究針對彰化、雲林、嘉義、臺南和花蓮等五個重要玉米產區進行秋行軍蟲田間感受性調查。實驗方法參照 Insecticide Resistance Action Committee (IRAC) 所制定之標準測試方法 Method No: 020 (IRAC, 2009)，採用飼料滲入法 (diet-incorporated insecticide bioassays) 測定秋行軍蟲對硫敵克 (thiodicarb)、賜諾特 (spinetoram)、諾伐隆 (novaluron)、氟大滅 (flubendiamide) 和剋安勃 (chlorantraniliprole) 等五種緊急防治用藥的感受性。另為探討各齡期對藥劑反應之差異，本研究亦選定感受性最低的地區，以 3、4 及 5 齡期秋行軍蟲測試上述五種藥劑的感受性。這些研究結果可作為日後秋行軍蟲防治的參考。

## 材料與方法

### (一) 秋行軍蟲之採集和飼養

供試蟲源為 2022 年採集自彰化、雲林、嘉義、臺南及花蓮等五個臺灣主要的玉米種植縣市。每個地區採集 3 個地點，每個地點至少採集 80 隻秋行軍蟲，合計每個地區採集至少 240 隻幼蟲 (表一)。本試驗未針對各縣市之季節或時間進行重複採樣。採集後的幼蟲帶回實驗室，以含有花豆粉、小麥胚芽粉和酵母粉為主成分調製之人工飼料進行餵養。人工飼料配方參考 Greene *et al.* (1976) 及 Chao (2022) 等人的方法進行調整。先於果汁機中加入 80% 一次水，再加入花豆粉、小麥胚芽、酵母粉、綜合維他命、甲醛及丙酸充分攪拌混合均勻。另將洋菜粉 1% 量先以另 20% 一次水加熱溶解後，倒入果汁機中與其他材料混合均勻，待飼料冷卻後即完成製備 (配方詳見附錄一)。幼蟲飼養溫度為  $27 \pm 1^\circ\text{C}$ ，相對濕度  $70 \pm 10\%$ ，光/暗週期比為 14:10。1 及 2 齡之幼蟲先以 250 ml 布丁杯中飼養；為避免幼蟲自相殘殺，3 齡後幼蟲則移至 30 孔塑膠孔盤中個別飼養至化蛹。化蛹後，收集移至布丁杯內，並置於與幼蟲飼養環境相同之飼養條件等待羽化。羽化的成蟲移入以擦手紙包覆之產卵桶，並給予沾取蜂蜜水、酵母及啤酒之棉花供成蟲吸食。田間採集品系 (彰化、雲林、嘉義、台南和花蓮) 以 F2~F4 子代進行殺蟲劑感受性測試，並以實驗室飼養超過 30 代且未接觸任何殺蟲劑之秋行軍蟲 (國立嘉義大學植物醫學系林彥伯老師實驗室提供)，作為相對感性對照品系。

## (二) 藥劑配製

本研究所使用之藥劑均為行政院農業委員會動植物防疫檢疫局（現為農業部動植物防疫檢疫署）公告之防治秋行軍蟲緊急用藥，包括硫敵克（75% 可濕性粉劑，臺灣拜耳有限公司）、賜諾特（11.7% 水懸劑，臺灣道禮股份有限公司）、諾伐隆（10% W/V 水分散性乳劑，聯利農業科技股份有限公司）、氟大滅（20% 水分散性粒劑，日佳農藥股份有限公司）和剋安勃（18.4% 水懸劑，臺灣富美實有限公司）等五種殺蟲劑（附錄二）。藥劑試驗方法主要參照殺蟲劑抗藥性行動委員會（Insecticide Resistance Action Committee, IRAC）標準測試方法（Method NO: 020）（IRAC, 2009），並參考 Nascimento *et al.* (2016) 及 Okuma *et al.* (2018) 之文獻加以調整，以飼料滲入法（diet-incorporated insecticide bioassays）進行試驗。

藥劑配製時，以小數點四位數天平秤取藥劑，秤取範圍為 1.0000 g + 0.0050 g，置入 10 mL 定量瓶中。加入含 0.01% 非離子界面活性劑 Triton™X-100 (Merck, Germany) 的一次水至刻度線，作為儲備溶液（stock）。之後以水浴槽震盪 10 分鐘使其均勻，再以棕色玻璃瓶進行序列稀釋，配置成不同濃度的藥劑溶液。將花豆粉、小麥胚芽粉及酵母粉依重量比 3 : 1 : 1 均勻混合，作為飼料粉末。將藥劑溶液和飼料粉末以重量比 3 : 2 的比例加入布丁杯中混合均勻後放入夾鏈帶中，並在底部剪開一個小口，將約 0.6 g 飼料分裝至 30 孔塑膠盤各孔中。

## (三) 蟲幼蟲生物檢定

選用體長為 7 mm ± 0.5 mm 之田間採集品系 F2~F4 代 3 齡幼蟲作為供試蟲源。每種藥劑設置 5~7 個稀釋濃度進行測試，並以含有等量界面活性劑的一次水作為對照組。每一個濃度以 30 隻幼蟲進行試驗，並進行 3 重複。人工飼料配置完成後先於抽風機下晾乾 5 分鐘，隨後以軟鑷夾取秋行軍蟲，每孔移入 1 隻秋行軍蟲幼蟲。每 24 小時紀錄一次死亡率，共計觀察 72 小時。以細毛筆輕觸幼蟲後，若未觀察到明顯移動，則判定為死亡（Muraro *et al.*, 2019）。最後以 Abbott 公式（Abbott, 1925）計算藥劑對秋行軍蟲的致死率，並以 PoloPlus 軟體（LeOra software, version 2.0）估算 LC<sub>50</sub> 和 LC<sub>90</sub>。

$$\text{校正死亡率 (\%)} = \frac{\text{處理組 (藥劑) 死亡率} - \text{對照組 (水) 死亡率}}{100 - \text{對照組 水死亡率}} \times 100\%$$

## (四) 不同齡期幼蟲生物檢定

依據田間族群感受性試驗結果，選取對供試藥劑感受性最低之田間族群，並以其 3、4 及 5 齡幼蟲進行生物檢定，以評估不同齡期幼蟲對供試藥劑之感受性差異。在此試驗中，為減少體重差異對感受性造成的影響，各齡期幼蟲均選取體重相近之個體進行生物檢定，3 齡幼蟲選用體重為 4.6 ± 1 mg、4 齡幼蟲為 20.0 ± 5 mg、5 齡幼蟲為 70.0 ± 10 mg 之蟲體。

## 結 果

### (一) 田間地區秋行軍蟲對藥劑之感受性

本試驗所使用的感性品系為在實驗室內未接觸任何殺蟲劑且已連續飼養 30 代以上之秋行軍蟲作為對照組，田間蟲源則是於 2022 年採自彰化、雲林、嘉義、臺南和花蓮五個臺灣重要的玉米產區，採集資訊如表一。感性品系對硫敵克、賜諾特、諾伐隆、氟大滅和剋安勃這五種緊急防治用藥的結果如表二所示，半數致死濃度（Lethal Concentration 50%, LC<sub>50</sub>）分別為 4.60、0.14、0.35、3.34 及 0.14 mg/L，而 LC<sub>90</sub> 分別為 13.2、0.59、0.95、12.9 和 0.47 mg/L。以 LC<sub>50</sub> 來看，感性品系對硫敵克的感受性最低，對賜諾特和剋安勃的感受性最高；而 LC<sub>90</sub> 則是對剋安勃的感受性最高。在秋行軍蟲田間族群的感受性測試中，硫敵克的田間建議施用方式為餌劑，其濃度為 11.7~17.0 mg/g，但為方便比較，因此參考蔬菜類夜蛾防治之田間建議施用濃度的 187.5 mg/L，所測試的五個秋行軍蟲田間族群的 LC<sub>50</sub> 和 LC<sub>90</sub> 皆沒有超過田間建議的施用濃度。其中又以臺南地區的感受性最低，LC<sub>50</sub> 和 LC<sub>90</sub> 分別為 24.9 和 73.3 mg/L；而花蓮地區的感受性最高，LC<sub>50</sub> 和 LC<sub>90</sub> 分別為 8.00 和 20.2 mg/L。賜諾特的田間建議施用濃度為 39 mg/L，所測試的五個秋行軍蟲田間族群的 LC<sub>50</sub> 和 LC<sub>90</sub> 皆沒有超過田間建議的施用濃度。其中又嘉義地區的 LC<sub>50</sub> 最高，花蓮地區最低，LC<sub>50</sub> 分別為 0.39 和 0.14 mg/L；LC<sub>90</sub> 則是以彰化地區最高，花蓮地區最低，LC<sub>90</sub> 分別為 1.23 和 0.61 mg/L。諾伐隆的田間建議施用濃度為 66.7 mg/L，所測試的五個秋行軍蟲田間族群的 LC<sub>50</sub> 和 LC<sub>90</sub> 皆沒有超過田間建議的施用濃度。當中又以花蓮地區的 LC<sub>50</sub> 最高，臺南地區最低，分別為 1.38 和 0.75 mg/L；而 LC<sub>90</sub> 則是以彰化地區最高，臺南地區最低，分別為 7.88 和 1.34 mg/L。氟大滅的田間建議施用濃度為 66.7 mg/L，LC<sub>50</sub> 以臺南地區最高，彰化地區最低，分別

表一 2022 年田間秋行軍蟲採集資訊

Table 1. *Spodoptera frugiperda* collection information in Taiwan from 2022

Strain code	Location	Site (Latitude (N), Longitude (E))	Collection Date	Developmental stage	Collection numbers
	Huwei, Yunlin	23.42°, 120.24°	20220915	2 <sup>nd</sup> -6 <sup>th</sup> instar larva	125
Yunlin	Yuanchang, Yunlin	23.36°, 120.18°	20220915	2 <sup>nd</sup> -6 <sup>th</sup> instar larva	81
	Tuku, Yunlin	23.39°, 120.22°	20220915	2 <sup>nd</sup> -6 <sup>th</sup> instar larva	114
	Ji'an, Hualien	23.57°, 121.32°	20220917	2 <sup>nd</sup> -6 <sup>th</sup> instar larva	120
Hualien	Ji'an, Hualien	23.27°, 121.33°	20220917	2 <sup>nd</sup> -6 <sup>th</sup> instar larva	150
	Ji'an, Hualien	23.57°, 121.33°	20220917	2 <sup>nd</sup> -6 <sup>th</sup> instar larva	90
	Erlin, Changhua	23.95°, 120.43°	20220923	3 <sup>rd</sup> -6 <sup>th</sup> instar larva	83
Changhua	Erlin, Changhua	23.94°, 120.44°	20220923	2 <sup>nd</sup> -6 <sup>th</sup> instar larva	90
	Fangyuan, Changhua	23.59°, 120.22°	20220923	3 <sup>rd</sup> -6 <sup>th</sup> instar larva	150
	Yizhu, Chiayi	23.20°, 120.14°	20220925	3 <sup>rd</sup> -6 <sup>th</sup> instar larva	83
Chiayi	Yizhu, Chiayi	23.21°, 120.15°	20220925	3 <sup>rd</sup> -6 <sup>th</sup> instar larva	106
	Yizhu, Chiayi	23.23°, 120.14°	20220925	3 <sup>rd</sup> -6 <sup>th</sup> instar larva	84
	Yanshui, Tainan	23.17°, 120.14°	20221014	2 <sup>nd</sup> -5 <sup>th</sup> instar larva	120
Tainan	Yanshui, Tainan	23.29°, 120.25°	20221014	2 <sup>nd</sup> -6 <sup>th</sup> instar larva	88
	Yanshui, Tainan	23.30°, 120.23°	20221014	3 <sup>rd</sup> -6 <sup>th</sup> instar larva	87

為 18.4 和 9.97 mg/L。此外，有三個地區的 LC<sub>90</sub> 超過田間建議施用濃度，分別為彰化、雲林、台南，LC<sub>90</sub> 分別為 96.1、71.7 和 126 mg/L，其中臺南品系的感受性最低。剋安勃的田間建議施用濃度為 73.6 mg/L，所測試的五個秋行軍蟲田間族群的 LC<sub>50</sub> 和 LC<sub>90</sub> 皆沒有超過田間建議的施用濃度。其中又以臺南地區的感受性最低，LC<sub>50</sub> 和 LC<sub>90</sub> 分別為 1.54 和 15.8 mg/L，而花蓮地區的感受性最高，LC<sub>50</sub> 和 LC<sub>90</sub> 分別為 0.64 和 4.13 mg/L (表二)。

以抗性比進一步比較抗性程度，將抗性程度區分成以下五類，分別為感性 (RR < 2)、低抗性 (2 ≤ RR < 10)、中抗性 (10 ≤ RR < 30)、高抗性 (30 ≤ RR < 100) 和超高抗性 (RR ≥ 100) (Torres-Vila *et al.*, 2002)。彰化地區之秋行軍蟲對硫敵克、賜諾特為感性，對諾伐隆、氟大滅以及剋安勃三種藥劑為低抗性。雲林地區之秋行軍蟲對賜諾特為感性，而對其餘四種藥劑皆為低抗性。嘉義地區之秋行軍蟲對硫敵克為感性，對其餘四種藥劑則為低抗性。臺南地區對賜諾特為感性，對硫敵克、諾伐隆和氟大滅三種藥劑為低抗性，然而對剋安勃的抗性比為 11.1，具

有中抗性。花蓮地區對硫敵克和賜諾特為感性，對其餘三種藥劑為低抗性。總合來說，五個地區的田間秋行軍蟲族群皆對賜諾特的抗性程度最低，而臺南地區對硫敵克、氟大滅以及剋安勃這三種藥劑的抗性比皆大於 5，其中對剋安勃的抗性更是達到中抗性，相對其他地區而言抗性程度較為嚴重 (表二)。

## (二) 不同齡期秋行軍蟲幼蟲對藥劑之感受性

經過田間感受性測試後，發現臺南地區的秋行軍蟲對目前五種緊急防治藥劑的感受性相較其他地區低，因此使用臺南地區之田間族群作為供試蟲源，並在實驗室中未接觸任何殺蟲劑下飼養至 F4，再進行生物檢定。3、4 及 5 齡幼蟲對硫敵克的 LC<sub>50</sub> 分別為 19.3、38.1 和 49.8 mg/L，LC<sub>90</sub> 為 44.4、108 和 141 mg/L；對賜諾特的 LC<sub>50</sub> 分別為 0.25、0.54 和 1.07 mg/L，LC<sub>90</sub> 為 0.57、1.61 和 7.62 mg/L；對諾伐隆的 LC<sub>50</sub> 分別為 0.40、0.54 和 0.98 mg/L，LC<sub>90</sub> 為 0.92、1.44 和 3.61 mg/L；對氟大滅的 LC<sub>50</sub> 分別為 16.8、37.5 和 81.9 mg/L，LC<sub>90</sub> 為 96.9、235 和 510 mg/L；對剋安勃的 LC<sub>50</sub> 分別為 1.27、

表二 田間五個地區秋行軍蟲族群對五種緊急防治藥劑之感受性  
Table 2. Susceptibility of five wild *Spodoptera frugiperda* populations to five emergency insecticides in Taiwan

Insecticide	Population	n	Slope ± SE	X <sup>2</sup> (df) <sup>1</sup>	LC <sub>50</sub> (mg/L)	95% CI <sup>2</sup>	LC <sub>90</sub> (mg/L)	95% CI	RR <sub>50</sub> <sup>3</sup>	RR <sub>90</sub>
Thiodicarb	SS <sup>4</sup>	450	4.79 ± 0.42	18.3 (13)	4.60	3.89-5.42	13.2	10.4-18.8		
	Changhua	450	3.16 ± 0.31	42.6 (13)	8.04	5.67-11.3	39.8	23.8-113	1.75	3.01
	Yunlin	540	5.66 ± 0.46	56.5 (16)	9.55	7.53-12.1	23.3	17.4-38.7	2.08	1.76
	Chiayi	450	3.10 ± 0.30	41.9 (13)	8.81	6.25-12.5	41.0	26.4-133	1.92	3.40
	Tainan	480	2.73 ± 0.31	7.01 (14)	24.9	21.2-30.8	73.3	53.3-118	5.41	5.54
	Hualien	450	5.45 ± 0.52	11.1 (13)	8.00	7.06-8.99	20.2	17.8-25.4	1.74	1.53
Spinetoram	SS	420	3.48 ± 0.36	23.3 (12)	0.14	0.11-0.18	0.59	0.41-1.13		
	Changhua	510	3.33 ± 0.30	18.9 (15)	0.27	0.22-0.33	1.23	0.91-1.89	1.96	2.09
	Yunlin	630	3.15 ± 0.27	35.1 (19)	0.21	0.16-0.27	1.05	0.76-1.69	1.51	1.77
	Chiayi	300	4.82 ± 0.51	8.70 (8)	0.39	0.33-0.48	1.12	0.85-1.71	2.85	1.90
	Tainan	630	2.79 ± 0.27	89.7 (19)	0.23	0.14-0.32	0.67	0.48-1.30	1.69	1.14
	Hualien	630	3.46 ± 0.35	16.5 (19)	0.14	0.11-0.17	0.61	0.49-0.82	1.03	1.04
Novaluron	SS	420	5.12 ± 0.48	35.4 (12)	0.35	0.27-0.45	0.95	0.70-1.65		
	Changhua	540	2.80 ± 0.25	66.4 (16)	1.29	0.81-1.89	7.88	4.57-23.5	3.65	8.28
	Yunlin	540	2.56 ± 0.25	57.1 (16)	0.97	0.57-1.43	7.03	4.08-20.9	2.75	7.39
	Chiayi	540	3.48 ± 0.30	28.0 (16)	1.11	0.87-1.37	4.73	3.47-7.54	3.12	4.97
	Tainan	450	8.64 ± 0.92	8.92 (13)	0.75	0.68-0.82	1.34	1.19-1.60	2.11	1.41
	Hualien	540	3.40 ± 0.29	36.7 (16)	1.38	1.05-1.77	6.13	4.28-10.8	3.90	6.43
Flubendiamide	SS	450	3.75 ± 0.35	4.42 (13)	3.34	2.85-3.86	12.9	10.2-17.6		
	Changhua	450	2.23 ± 0.27	13.2 (13)	9.97	7.87-12.8	96.1	56.4-230	2.99	7.47
	Yunlin	450	2.87 ± 0.83	12.9 (13)	12.7	10.7-15.4	60.8	52.5-123	3.82	5.79
	Chiayi	450	2.83 ± 0.29	27.5 (13)	12.0	9.01-16.6	71.7	41.5-199	3.59	5.57
	Tainan	450	2.63 ± 0.31	6.82 (13)	18.4	14.8-24.5	126	76.3-276	5.52	9.81
	Hualien	630	4.12 ± 0.34	21.4 (19)	10.5	8.98-12.4	35.8	27.5-51.6	3.14	2.78
Chlorantraniliprole	SS	390	4.12 ± 0.46	11.2 (11)	0.14	0.11-0.17	0.47	0.37-0.67		
	Changhua	570	3.21 ± 0.26	28.2 (17)	0.75	0.59-0.92	3.6	2.60-5.76	5.36	7.6
	Yunlin	630	2.65 ± 0.21	62.0 (19)	1.14	0.81-1.61	7.74	4.62-18.4	8.22	16.4
	Chiayi	570	3.37 ± 0.27	23.5 (17)	0.99	0.82-1.20	4.45	3.32-6.70	7.15	9.42
	Tainan	630	1.27 ± 0.10	30.1 (19)	1.54	1.18-2.03	15.8	9.75-31.9	11.1	33.4
	Hualien	630	2.71 ± 0.22	31.1 (19)	0.64	0.49-0.80	4.13	2.89-6.91	4.58	8.73

1. df, degree of freedom.

2. 95% CI, confidence interval.

3. RR<sub>50</sub>, Resistance ratio = LC<sub>50</sub> of the field strain / LC<sub>50</sub> of the susceptible strain.

4. SS, Susceptible strain.

2.24 和 4.64 mg/L，LC<sub>90</sub> 為 5.73、36.5 和 71.5 mg/L。整體而言，隨著齡期與蟲體體重增加，對藥劑的感受性也會降低。就本次的結果來看，除賜諾特和剋安勃外，每增加一個齡期，感受性增加幅度約在 1.3~2.5 倍左右。5 齡蟲對賜諾特的 LC<sub>90</sub> 增加 4.7 倍，而 4 齡蟲對剋安勃的 LC<sub>90</sub> 則增加 6.4 倍（表三）。此外，除氟大滅以外，5 齡幼蟲對其餘的四種

緊急防治藥劑的 LC<sub>90</sub> 皆未超過目前的田間推薦施用濃度，顯示目前的藥劑對較高齡期的幼蟲仍有防治效果。

## 討 論

害蟲的抗藥性與基因遺傳有關，National

表三 三個齡期的秋行軍蟲對五支藥劑的感受性試驗

Table 3. Susceptibility of three instars of *Spodoptera frugiperda* to emergency insecticides in Taiwan

Insecticide	Instar	Slope $\pm$ SE	LC <sub>50</sub> (mg/L)	LC <sub>50</sub> fold compared with 3 <sup>rd</sup> larvae	LC <sub>50</sub> fold compared with 4 <sup>th</sup> larvae	LC <sub>90</sub> (mg/L)	LC <sub>90</sub> fold compared with 3 <sup>rd</sup> larvae	LC <sub>90</sub> fold compared with 4 <sup>th</sup> larvae
Thiodicarb	3rd	6.08 $\pm$ 0.58	19.3	-	-	44.4	-	-
	4th	4.86 $\pm$ 0.43	38.1	1.97	-	108	2.43	-
	5th	4.86 $\pm$ 0.43	49.8	2.58	1.31	141	3.18	1.31
Spinetoram	3rd	6.05 $\pm$ 0.55	0.25	-	-	0.57	-	-
	4th	4.63 $\pm$ 0.43	0.54	2.19	-	1.61	2.82	-
	5th	2.57 $\pm$ 0.28	1.07	4.31	1.97	7.62	13.4	4.73
Novaluron	3rd	6.02 $\pm$ 0.53	0.40	-	-	0.92	-	-
	4th	5.14 $\pm$ 0.46	0.54	1.36	-	1.44	1.57	-
	5th	3.88 $\pm$ 0.35	0.98	2.48	1.83	3.61	3.94	2.51
Flubendiamide	3rd	2.89 $\pm$ 0.29	16.8	-	-	96.9	-	-
	4th	2.76 $\pm$ 0.29	37.5	2.23	-	235	2.42	-
	5th	2.77 $\pm$ 0.29	81.9	4.87	2.19	510	5.26	2.17
Chlorantraniliprole	3rd	3.36 $\pm$ 0.37	1.27	-	-	5.73	-	-
	4th	1.18 $\pm$ 0.25	2.24	1.76	-	36.5	6.37	-
	5th	1.85 $\pm$ 0.25	4.64	3.65	2.07	71.5	12.5	1.96

Research Council (1986) 將抗藥性 (resistance) 一詞定義為害蟲族群對化學物質的感受性降低，且該特性具有遺傳性。根據節肢動物殺蟲劑抗性資料庫 (Arthropod Pesticide Resistance Database, APRD) 的紀錄，目前秋行軍蟲已對 44 種的殺蟲劑或蘇力菌毒蛋白產生出抗藥性，其中包含本研究所使用的硫敵克、賜諾特、氟大滅和剋安勃這四種藥劑。這些含有抗藥性對偶基因 (resistant allele) 的秋行軍蟲，可能會隨著族群的遷移而擴散到新入侵的地區 (Yainna *et al.*, 2021)。臺灣地區的秋行軍蟲極有可能是隨著氣流自亞洲向東入侵至臺灣，並將抗藥性基因帶入臺灣。

Zhang *et al.* (2020) 分析入侵中國的秋行軍蟲的基因結構，並檢測乙醯膽鹼酯酶 (acetylcholinesterase, AChE, A201S、G227A、F290V)、電壓依賴型鈉離子通道 (voltage-gated sodium channel, T929I、L932F、L1014F) 和魚尼丁受體 (ryanodine receptor, I4790M、G4946E) 等與抗性相關基因片段。上述三類基因分別與害蟲對有機磷類及胺基甲酸鹽類、合成除蟲菊酯類和二醯胺類殺蟲劑的抗藥性有關。其結果顯示，在乙醯膽鹼酯酶上發現 A201S 和 F290V 突變，而電壓依賴型鈉離子通道與魚尼丁受體上則沒有發現點突變，

此結果與 Chao (2022) 研究臺灣地區的秋行軍蟲田間族群的基因點突變結果類似。從抗藥性對偶基因及後續的感受性試驗來評估秋行軍蟲可能具有的抗藥性，Zhang *et al.* (2020) 認為入侵中國的秋行軍蟲對有機磷類及合成除蟲菊酯類的抗性非常的高，而對剋安勃的抗性則非常的低。然而本研究及果卻發現，臺灣田間秋行軍蟲族群對氟大滅的感受性最低，而對剋安勃相較其他不同作用機制的藥劑有較高的抗性比。

造成秋行軍蟲對二醯胺類藥劑的感受性下降，可能與農民的用藥習慣有關。Arias *et al.* (2019) 研究巴拉圭和巴西當地秋行軍蟲族群的基因結構指出，即使具有抗性基因族群遷移至新的地區，也並不一定會導致該地區之秋行軍蟲族群對藥劑的感受性下降，其影響程度主要取決於遷入地區的農藥使用情形。當族群遷出與遷入兩地使用相同的農藥時，族群內的抗性基因會在持續的選汰壓力下被保留，進而導致感受性下降。此外，害蟲完成一個世代的時間越短，抗藥性所產生的速度也越快。這是因接觸殺蟲劑而存活的害蟲能很快繁殖新的世代，並持續被殺蟲劑篩選 (Georghiou and Taylor, 1977)。秋行軍蟲生活史短，在 30°C 環境下約需 20~25 天 (Du Plessis *et al.*, 2020)。若以每年 10 代估算，在臺灣

自 2019 年入侵之秋行軍蟲可能已經繁衍 50 代以上。因此，抗藥性基因的傳入可能並不是影響目前田間秋行軍蟲抗藥性的主因，但也不能排除秋行軍蟲有多次入侵而將其他的抗性基因傳入的可能，故仍需持續監測，以避免抗藥性的產生。

針對臺灣秋行軍蟲的抗藥性研究，Chao (2022) 曾測試臺灣田間秋行軍蟲族群對賜諾特、諾伐隆、滅芬諾 (methoxyfenozide)、剋安勃、賽安勃 (cyantraniliprole) 及賽速安勃 (chlorantraniliprole + thiamethoxam) 的感受性。然而，除賜諾特外，其餘藥劑試驗結果皆有 LC<sub>90</sub> 跟 LC<sub>50</sub> 相比過大的問題，這可能是因為使用飼料覆蓋法 (diet covering) 導致藥劑分佈不均所造成的。Durmuşoğlu *et al.* (2015) 研究局部滴定、飼料覆蓋法和飼料混拌法三種不同的生物試驗方法對同為鱗翅目的葡萄花翅小捲蛾 (European grapevine moth, *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller)) 的感受性，發現飼料覆蓋法可能導致某些藥劑所需的劑量異常的高，而飼料混拌法則具有最小的 95% 信賴區間，因此認為飼料混拌法是比較合適的實驗方法。本實驗改用飼料混拌法使藥劑能均勻的混合在飼料中，與 Chao (2022) 的結果相比，秋行軍蟲對賜諾特、諾伐隆和剋安勃的 LC<sub>90</sub> 沒有出現過大的問題，且 95% 信賴區間亦較小。

在本藥劑試驗的結果顯示，硫敵克為胺基甲酸鹽類殺蟲劑，主要用於防治鱗翅目害蟲，具有胃毒性，施用於葉面上可維持較長的殘效，而在土中則殘留時間較短 (Sousa *et al.*, 1977)。該藥自 1980 年代開始進行商業始用，距今使用已超過 40 年。早在 1991 年，Yu (1991) 即發現田間的秋行軍蟲對硫敵克出現 26.1 倍的抗性，Chao (2022) 亦發現臺灣田間秋行軍蟲在胺基甲酸鹽與有機磷類藥劑標的受體 AChE1 上有 F290V 點突變。然而，本研究結果發現除臺南地區外，臺灣田間的秋行軍蟲對硫敵克之 LC<sub>50</sub> 與感品系相比不超過 3 倍，視為感性。而臺南地區則為低抗性，顯示目前田間秋行軍蟲對硫敵克的抗藥性並不嚴重。然而，玉米上尚有用來防治其他害蟲的胺基甲酸鹽藥劑，包含丁基加保扶 (carbosulfan)、加保利 (carbaryl) 及加保扶 (carbofuran) 等藥劑，因此仍需持續注意是否有交互抗性的產生的可能。

賜諾特為本研究中感受性最高的藥劑，在作用機制分類上為 IRAC 5，作用標的為尼古丁乙醯膽鹼受體 (nicotine acetylcholine receptors, nAChR)，可使害蟲迅速麻痹、癱瘓，最後導致死亡 (Kirst *et*

*al.*, 1992; Thompson *et al.*, 2000; Thompson and Sparks, 2002)。雖然目前臺灣田間秋行軍蟲對賜諾特為感性，但在波多黎各和中國都已經有田間抗藥性的產生 (Gutiérrez-Moreno *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2023)。根據目前的研究，秋行軍蟲對賜諾特的抗藥性遺傳模式為不完全顯性和多基因遺傳 (Okuma *et al.*, 2018; Lira *et al.*, 2020)。昆蟲的抗藥性若為多基因遺傳，抗藥性產生的速度會比較慢 (Barton and Turelli, 1987)，這可能也是目前秋行軍蟲較少出現對賜諾特有抗藥性的原因。但也必需謹慎用藥，因一旦產生抗藥性，往往需要更長的時間才能恢復感受性。以夏威夷為例，小菜蛾 (*Plutella xylostella*) 曾對賜諾特產生嚴重的抗藥性，在十字花科上禁用賜諾特兩年後，才使小菜蛾的抗性降至感性水準 (Mau and Gusukuma-Minuto, 2004)。

諾伐隆為苯甲醯脲類 (benzoylureas) 殺蟲劑，於 1998 年推出，作用機制分類為 IRAC 15 (Jeschke, 2016)。其主要作用機制為抑制幾丁質的合成，具有胃毒性和接觸毒性，會影響幼蟲蛻皮導致死亡，成蟲接觸後則會使產卵數降低且孵化率下降 (Trostanetsky and Kostyukovsky, 2008)。雖然目前尚未有田間秋行軍蟲出現抗藥性的文獻，但苯甲醯脲類殺蟲劑推出至今已超過 50 年 (Van Daalen *et al.*, 1972)，若長時間不斷的使用會使族群內抗藥性對偶基因的頻率增加，進而使藥劑的效果變差 (Ffrench-Constant, 2013)。

氟大滅和剋安勃兩者皆為二醯胺類藥劑，此類藥劑從推出至今不到 20 年，而從秋行軍蟲入侵臺灣至今亦不到五年，但卻已出現較為嚴重的抗藥性問題。氟大滅為本研究供試藥劑中感受性最低的藥劑，其中彰化和臺南這兩個地區秋行軍蟲的 LC<sub>90</sub> 已超過田間推薦藥劑濃度。雖然尚無秋行軍蟲對剋安勃的 LC<sub>90</sub> 超過田間推薦濃度，但卻有較高的抗性比，其中雲林和臺南地區秋行軍蟲的 RR<sub>90</sub> 分別為 16.4 和 33.4。這與其他文獻的結果相似，如 Gutiérrez-Moreno *et al.* (2019) 發現，氟大滅和剋安勃在波多黎各對秋行軍蟲原先具有良好的防治效果，但在使用 4 年後即有嚴重的抗藥性產生 (RR<sub>50</sub> 分別為 500 和 160 倍)。剋安勃在中國也被用於秋行軍蟲的防治，亦在 4 年發現田間出現具有中度抗性 (Chen *et al.*, 2023)。此外，Chao (2022) 也發現在金門及雲林的秋行軍蟲具有中度抗性。

劑量及死亡率迴歸直線可用來評估昆蟲族群內的抗性潛能；當其斜率越低，表示族群內的變異越大，抗性潛能越高。進一步分析秋行軍蟲對二醯胺類

## 附錄一 秋行軍蟲成蟲飼料配方

## Appendix 1. Feeding formula for fall armyworm adult

Ingredient	Usage amount (mL)	Supplier
Honey	3.75	Kirkland signature, USA
Yeast	1.5	Go Far International Co., Ltd., Taiwan
Beer	1.5	Taiwan Tobacco & Liquor Corporation, Taiwan
Water	43.25	-

The formulation was modified from Greene *et al.* (1976) and Chao (2022).

## 附錄二 本研究所使用之農藥之劑型、供應商、IRAC 作用機制和田間建議施用濃度列表

## Appendix 2. List of dosage forms, suppliers, IRAC mode of action and recommended field concentrations of the insecticides used in this experiment

Chemical	content of		IRAC mode of action (group)	field recommendation
	ingredient	supplier		
Thiodicarb	75.0% WP	Bayer Taiwan Co., Ltd.	Acetylcholinesterase inhibitors (1A)	11.7-17.0 mg/g
Spinetoram	11.7% SC	Dow AgroSciences Taiwan Ltd.	Nicotinic acetylcholine receptor allosteric modulators site I (5)	39.0 mg/L
Novaluron	100 G/L (10% W/V)	Lanlix Crop Science Co., Ltd.	Sodium channel modulators inhibitors of chitin biosynthesis affecting CHS1 (15)	66.7 mg/L
Flubendiamide	20% WG	Taiwan Nihon Nohyaku Co., Ltd.	Ryanodine receptor modulators (28)	66.7 mg/L
Chlorantraniliprole	18.4% SC	FMC Taiwan Co., Ltd.	Ryanodine receptor modulators (28)	73.6 mg/L
Piperonyl butoxide (PBO)	90%w/w	McLaughlin Gormley King Co.	-	-
1-fluoro-2,4-dinitrobenzene (DNFB)	99%+	Sigma-Aldrich Co.	-	-
triphenyl phosphate (TPP)	99%+	Sigma-Aldrich Co.	-	-

1. According to the Animal and Plant Health Inspection Agency (APHIA), Ministry of Agriculture (MOA), ROC. Accessed 26 February 2024.

2. Abbreviation of formulation: WP, Wettable powder; SC, Suspension concentrate; WG, Water dispersible granules

抗藥性，發現在所測試的五個地區中，除花蓮地區外，其餘地區的秋行軍蟲族群對氟大滅的劑量及死亡率迴歸直線皆呈現出較低的斜率。而對剋安勃的斜率則是以雲林、臺南和花蓮較小，其中又以臺南地區最小（表二）。綜合來看，臺南地區的秋行軍蟲族群對二醯胺類藥劑的抗藥性問題最為嚴重，值得優先關注。

昆蟲的防禦機制會隨著生長階段的不同而出現變化，如脂質含量的增加 (Hirano, 1963) 及代謝酵素活性的變化，如細胞色素 P450 (Krieger and Wilkinson, 1969)、穀胱甘肽 S-轉移酶 (Gould and Hodgson, 1980) 和酯酶 (Pantelouris and Downer,

1969) 等。本研究結果顯示，秋行軍蟲對供試的 5 種藥劑之感受性皆隨著齡期的增加而降低，和 Yu (1983) 發現對測試 3 到 6 齡的秋行軍蟲對納乃得 (methomyl)、大利松 (diazinon) 及百滅寧 (permethrin) 的感受性皆隨著齡期的增長而降低，且 5 齡到 6 齡抗性的增加的幅度較大的研究結果相符。

除氟大滅以外，5 齡蟲對其餘藥劑的 LC<sub>90</sub> 並沒有超過田間建議的施用濃度，顯示目前的推薦濃度對較高齡的幼蟲仍有防治效果。進一步分析可以發現 5 齡蟲對賜諾特和剋安勃這兩種藥劑的感受性與 3 齡蟲相比超過 10 倍以上，表示齡期越大藥劑效果

下降的程度較其他防治藥劑大。從劑量及死亡率迴歸斜率來看，賜諾特由 6.05 下降至 2.57，剋安勃由 3.16 下降至 1.85，顯示隨著齡期的增加，族群內的變異會越大並使抗性潛能越高。

本研究探究秋行軍蟲自 2019 年入侵臺灣以來，迄今對現行硫敵克、賜諾特、諾伐隆、氟大滅和剋安勃等 5 種緊急防治用藥的感受性。結果顯示，田間秋行軍蟲對賜諾特的感受性最高，對氟大滅的感受性最低，其中彰化、嘉義、台南地區的族群對氟大滅之  $LC_{90}$  超過田間推薦施用濃度。另外，各地區的秋行軍蟲對剋安勃有較大的抗性比，顯示目前田間有秋行軍蟲對二醯胺類藥劑出現抗性。再者，秋行軍蟲對供試的 5 種藥之感受性皆隨著齡期的增加而降低，顯示防治時要即早偵測田間的發生及進行，以達到最佳防治效果。不過，目前已為 2026 年。文中測試蟲源採集為 2022 年，各藥劑感受性的結果會受到用藥狀況影響，故本研所得結果可能與現行藥劑在田間效果有所差異，特於此說明。整體而言，本研究評估不同地區及齡期秋行軍蟲對各藥劑之感受性，除可作為田間防治的參考外，亦可作為日後各地區的抗藥性研究的基礎。

## 誌 謝

感謝花蓮區農業改良場林立助理研究員與國立嘉義大學林彥伯博士提供秋行軍蟲飼養流程及感性品系蟲源。本研究承蒙行政院農委會動植物防疫檢疫署 111 農科-5.3.1-檢-B6(2)及 112 農科-5.3.1-檢-B3(1) 計畫經費補助，特此致謝。

## 引用文獻

- Arias O, Cordeiro E, Corrêa AS, Domingues FA, Guidolin AS, Omoto C.** 2019. Population genetic structure and demographic history of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae): implications for insect resistance management programs. *Pest Manag Sci* 75: 2948-2957.
- Barton NH, Turelli M.** 1987. Adaptive landscapes, genetic distance and the evolution of quantitative characters. *Genet Res* 49: 157-173.
- 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.
- Capinera JL.** 2008. Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), pp. 1409-1412. In: Capinera JL (Ed.), *Encyclopedia of Entomology*. Springer Netherlands, Dordrecht.
- Chao HM.** 2022. The susceptibility to the insecticides and resistance mechanisms of *Spodoptera frugiperda* in Taiwan. National Taiwan University Master's Thesis: 1-83 pp. doi: 10.6342/NTU202200297.
- Chapman JW, Williams T, Escribano A, Caballero P, Cave RD, Goulson D.** 1999. Fitness consequences of cannibalism in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Behav Ecol* 10: 298-303.
- Chen HL, Hasnain A, Cheng QH, Xia LJ, Cai YH, Hu R, Gong CW, Liu XM, Pu J, Zhang L.** 2023. Resistance monitoring and mechanism in the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) for chlorantraniliprole from Sichuan Province, China. *Front Physiol* 14: 1180655. doi: 10.3389/fphys.2023.1180655.
- Du Plessis H, Schlemmer ML, Van den Berg J.** 2020. The effect of temperature on the development of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Insects* 11: 228. doi: :210.3390/insects11040228.
- Durmuşoğlu E, Hatipoğlu A, Gürkan MO, Moores G.** 2015. Comparison of different bioassay methods for determining insecticide resistance in European grapevine moth, *Lobesia botrana* (Denis & Schiffermüller) (Lepidoptera: Tortricidae). *Turkish J Entomol* 39: 271-276.
- FAO.** 2017. FAO advisory note on fall armyworm (FAW) in Africa. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/bs189e>
- FAO.** 2023. Global action for fall armyworm control. <https://www.fao.org/fall-armyworm/>

monitoring-tools/faw-map/en/.

- Ffrench-Constant RH.** 2013. The molecular genetics of insecticide resistance. *Genetics* 194: 807-815.
- Garner J, Lynch R.** 1981. Fall armyworm leaf consumption and development on Florunner peanuts. *J Econ Entomol* 74: 191-193.
- Georghiou GP, Taylor CE.** 1977. Genetic and biological influences in the evolution of insecticide resistance. *J Econ Entomol* 70: 319-323.
- Goergen G, Kumar PL, Sankung SB, Togola A, Tamò M.** 2016. First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J E Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in west and central Africa. *PLOS ONE* 11: e0165632. doi: 10.1371/journal.pone.0165632.
- Gould F, Hodgson E.** 1980. Mixed function oxidase and glutathione transferase activity in last instar *Heliothis virescens* larvae. *Pestic Biochem Physiol* 13: 34-40.
- Greene GL, Leppla NC, Dickerson WA.** 1976. Velvetbean caterpillar: A rearing procedure and artificial medium<sup>123</sup>. *J Econ Entomol* 69: 487-488.
- Gutiérrez-Moreno R, Mota-Sanchez D, Blanco CA, Whalon ME, Terán-Santofimio H, Rodriguez-Maciél 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.
- Hardke JT, Lorenz III GM, Leonard BR.** 2015. Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) ecology in Southeastern cotton. *J Integr Pest Manag* 6: 1-8. doi: 10.1093/jipm/pmv1009.
- Harrison RD, Thierfelder C, Baudron F, Chinwada P, Midega C, Schaffner U, van den Berg J.** 2019. Agro-ecological options for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) management: Providing low-cost, smallholder friendly solutions to an invasive pest. *J Environ Manag* 243: 318-330.
- Hirano C.** 1963. Effect of dietary unsaturated fatty acids on the growth of larvae of *Chilo suppressalis* Walker (Lepidoptera: Pyralidae). *Jpn J Appl Entomol Zool* 7: 59-62.
- Insecticide Resistance Action Committee (IRAC).** 2009. IRAC Susceptibility Test Methods Series, Method No: 020, Version: 3.2: Leaf-eating larvae (Armyworms and Bollworms). IRAC.
- Jeschke P.** 2016. N-Benzoyl-N'-Phenyl ureas as insecticides, acaricides, and termiticides, pp. 439-452. In: Lamberth C, Dignes J (eds). *Bioactive Carboxylic Compound Classes*. Wiley, New Jersey.
- Juárez ML, Murúa MG, García MG, Ontivero M, Vera MT, Vilardi JC, Groot AT, Castagnaro AP, Gastaminza G, Willink E.** 2012. Host association of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) corn and rice strains in Argentina, Brazil, and Paraguay. *J Econ Entomol* 105: 573-582.
- Kalleshwaraswamy C, Asokan R, Maruthi M, Pavithra H, Hegbe K, Prabhu S, Goergen GE.** 2018. First report of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith)(Lepidoptera: Noctuidae), an alien invasive pest on maize in India. *Pest Manag Hort Ecosys* 24: 23-29.
- Kirst HA, Michel KH, Mynderase JS, Chio EH, Yao RC, Nakasukasa WM, Boeck LD, Occlowitz JL, Paschal JW, Deeter JB.** 1992. Discovery, isolation, and structure elucidation of a family of structurally unique, fermentation-derived tetracyclic macrolides, pp. 214-225. in: Baker DR, Fenyes JG, Moberg WK, Cross B (Eds.), *Synthesis and Chemistry of Agrochemicals III*. ACS Publications, Washington, D.C.
- Krieger RI, Wilkinson CF.** 1969. Microsomal mixed-function oxidases in insects-I: Localization and properties of an enzyme system effecting aldrin epoxidation in larvae of the southern armyworm (*Prodenia*

- eridania*). *Biochem Pharmacol* 18: 1403-1415.
- Linduska JJ, Harrison FP.** 1986. Adult sampling as a means of predicting damage levels of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in grain corn. *Fla Entomol*: 487-491.
- Lira EC, Bolzan A, Nascimento AR, Amaral FS, Kanno RH, Kaiser IS, Omoto C.** 2020. Resistance of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to spinetoram: inheritance and cross-resistance to spinosad. *Pest Manag Sci* 76: 2674-2680.
- Maruthadurai R, Ramesh R.** 2020. Occurrence, damage pattern and biology of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE smith) (Lepidoptera: Noctuidae) on fodder crops and green amaranth in Goa, India. *Phytoparasitica* 48: 15-23.
- Mau RF, Gusukuma-Minuto L.** 2004. Diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), resistance management in Hawaii. In: Endersby NM, Ridland PM (eds). *The Management of Diamondback Moth and Other Crucifer Pests*. Proceedings of the Fourth International Workshop, Melbourne, Victoria, Australia, 2001 Nov 26-29: The Regional Institute Ltd. pp. 307-312.
- Montezano DG, Specht A, Sosa-Gomez DR, 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: 286-300.
- Muraro DS, Garlet CG, Godoy DN, Cossa GE, Rodrigues Junior GLdS, Stacke RF, Medeiros SL, Guedes JV, Bernardi O.** 2019. Laboratory and field survival of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on Bt and non-Bt maize and its susceptibility to insecticides. *Pest Manag Sci* 75: 2202-2210.
- Nascimento ARBd, Farias JR, Bernardi D, Horikoshi RJ, Omoto C.** 2016. Genetic basis of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to the chitin synthesis inhibitor lufenuron. *Pest Manag Sci* 72: 810-815.
- National Research Council.** 1986. *Pesticide Resistance: Strategies and Tactics for Management*. The National Academies Press, Washington, DC. 1-471 pp.
- Okuma DM, Bernardi D, Horikoshi RJ, Bernardi O, Silva AP, Omoto C.** 2018. Inheritance and fitness costs of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to spinosad in Brazil. *Pest Manag Sci* 74: 1441-1448.
- Pantelouris EM, Downer RGH.** 1969. Phenotypic changes of the esterase pattern in insect metamorphosis. *J Insect Physiol* 15: 2357-2362.
- Pitre HN.** 1986. Chemical control of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae): An update. *Fla Entomol* 69: 570-578.
- Qinqin W, Li C, Li W, Pei L, Huizhu Y, Changhui R.** 2019. Research progress on insecticides resistance in fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Chin J Pestic Sci* 21: 401-408.
- Ren Q, Haseeb M, Fan J, Wu P, Tian T, Zhang R.** 2020. Functional response and intraspecific competition in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Insects* 11: 806. doi: 810.3390/insects11110806.
- Sousa A, Frazee J, Weiden M, D'Silva T.** 1977. DC 51762, a new carbamate insecticide. *J Econ Entomol* 70: 803-807.
- Sparks AN.** 1979. Fall armyworm symposium: A review of the biology of the fall armyworm. *Fla Entomol* 62: 82-87.
- Thompson GD, Sparks TC.** 2002. Spinosad: a green natural product for insect control. pp. 66-73. In: Lankey RL, Anastas PT (eds). *Advancing Sustainability through Green Chemistry and Engineering*. ACS Publications, Washington, D.C.
- Thompson GD, Dutton R, Sparks TC.** 2000. Spinosad—a case study: an example from a

- natural products discovery programme. *Pest Manag Sci* 56: 696-702.
- Torres-Vila LM, Rodríguez-Molina MC, Lacasa-Plasencia A, Bielza-Lino P, Rodríguez-del-Rincón Á.** 2002. Pyrethroid resistance of *Helicoverpa armigera* in Spain: current status and agroecological perspective. *Agric Ecosyst Environ* 93: 55-66.
- Trostanetsky A, Kostyukovsky M.** 2008. Transovarial activity of the chitin synthesis inhibitor novaluron on egg hatch and subsequent development of larvae of *Tribolium castaneum*. *Phytoparasitica* 36: 38-41.
- Van Daalen JJ, Meltzer J, Mulder R, Wellinga K.** 1972. A selective insecticide with a novel mode of action. *Naturwissenschaften* 59: 312-313.
- 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. doi: 410.3390/insects12050468
- Yu SJ.** 1983. Age variation in insecticide susceptibility and detoxification capacity of fall armyworm (Lepidoptera, Noctuidae) larvae. *J Econ Entomol* 76: 219-222.
- Yu SJ.** 1991. Insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). *Pestic Biochem Physiol* 39: 84-91.
- Zalucki MP, Clarke AR, Malcolm SB.** 2002. Ecology and behavior of first instar larval Lepidoptera. *Annu Rev Entomol* 47: 361-393.
- Zhang L, Liu B, Zheng W, Liu C, Zhang D, Zhao S, Li Z, Xu P, Wilson K, Withers A, Jones CM, Smith JA, Chipabika G, Kachigamba DL, Nam K, d'Alençon E, Liu B, Liang X, Jin M, Wu C, Chakrabarty S, Yang X, Jiang Y, Liu J, Liu X, Quan W, Wang G, Fan W, Qian W, Wu K, Xiao Y.** 2020. Genetic structure and insecticide resistance characteristics of fall armyworm populations invading China. *Mol Ecol Resour* 20: 1682-1696.
- Zhu YC, Blanco CA, Portilla M, Adameczyk 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.

# Current Status of *Spodoptera frugiperda* (Noctuidae: Lepidoptera) Susceptibility to Registered Insecticides: Variation Across Five Locations and Three Larval Stages in Taiwan

Hung-Teng Hsieh<sup>2</sup> and Ju-Chun Hsu<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Entomology, National Taiwan University, No. 1. Sec. 4, Roosevelt Rd, Da'an Dist., Taipei City 106319, Taiwan

<sup>2</sup> Master's Program of Plant Medicine, National Taiwan University

\* Corresponding email: juchun@ntu.edu.tw

Received: 29 January 2026

Accepted: 8 April 2026

Available online: 1 May 2026

## ABSTRACT

The fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), is an invasive herbivorous pest originating in the United States that has caused severe damage to a wide range of crops and poses a great threat to agricultural production. Since its invasion into Taiwan in 2019, continuous control pressure has likely increased the risk of resistance development in field populations to currently used emergency insecticides. In this study, field populations were collected in 2022 from five major corn-growing regions: Changhua, Yunlin, Chiayi, Tainan, and Hualien. The diet-incorporation method was used to evaluate the susceptibility of F<sub>2</sub>–F<sub>4</sub> third-instar larvae to five insecticides used for emergency control: thiodicarb, spinetoram, novaluron, flubendiamide, and chlorantraniliprole. The results indicated that the fall armyworm population exhibited the highest susceptibility to spinetoram and the lowest susceptibility to flubendiamide. Additionally, the LC<sub>90s</sub> for flubendiamide in the Changhua, Chiayi, and Tainan populations exceeded the recommended concentrations.

Furthermore, the LC<sub>50</sub> values of the field fall armyworm population showed a higher resistance ratio to chlorantraniliprole when compared with the susceptible strain, suggesting that the resistance to both flubendiamide and chlorantraniliprole may have developed in the field population. In addition, susceptibility comparisons among the third-, fourth-, and fifth-instar larvae of the Tainan populations showed that the LC<sub>90</sub> for fifth-instar larvae did not exceed the recommended concentrations for most insecticides, except for flubendiamide. These findings provide a baseline for subsequent resistance studies and basic information for field management, particularly regarding regional variation and larval-stage-specific differences in susceptibility.

**Key words:** *Spodoptera frugiperda*, susceptibility, registered insecticide, bioassay, instar