

# 秋行軍蟲在三種不同人工飼料之 發育及蘇力菌防治效果測試<sup>1</sup>

林 立<sup>2</sup>、陳怡樺<sup>3</sup>

## 摘 要

秋行軍蟲 (*Spodoptera frugiperda*) 為 2019 年新入侵台灣之鱗翅目害蟲，為建立實驗室內大量飼養之方式以及逐步建立有機防治技術，本研究針對秋行軍蟲之人工飼養配方，以生物農藥及免登資材的混合防治效益進行測試，願作為日後延伸防治試驗用之基礎參考資料。本試驗餵食秋行軍蟲三種不同配方之人工飼料，並以新鮮玉米葉作為對照組，觀察其生長表現。人工飼料試驗以挑選甫孵化之幼蟲進行測試，結果顯示在 28°C 的環境下，自行調整之配方 (DC)，幼蟲的整體生長發育最佳，生長天數平均為 20.4±0.9 d 最短，平均蛹重最重 220.7±2.7 mg，蛹期最短 9.0±0.2 d，其次為斜紋夜盜飼料配方 (DA)，這兩種飼料可應用於室內大量飼養秋行軍蟲。而在生物農藥及免登資材的試驗上，使用蘇力菌 (*Bacillus thuringiensis*) 混合苦楝油 (Neem Oil) 浸泡玉米葉的處理，餵食秋行軍蟲三齡幼蟲 7 d 後死亡率最高可達 98.9±1.1%，明顯比單獨施用蘇力菌死亡率 30.6±3.6 - 45.9±12.9% 及苦楝油 47.6±5.9% 具有顯著較高的死亡率，表示兩種資材混合使用具有顯著的加乘效果。然而在田間施用時，以每 7 d 施用蘇力菌混和苦楝油的處理頻度，與室內試驗每天施用的頻度相比，並無法達到良好的防治效果，推測需要調整施用頻度並搭配其他防治方式綜合管理，才能提升防治效果。

關鍵字：秋行軍蟲、人工飼料、生長表現、蘇力菌、苦楝油

---

1. 行政院農業委員會花蓮區農業改良場研究報告第 303 號。

2. 行政院農業委員會花蓮區農業改良場作物環境課助理研究員。

3. 行政院農業委員會花蓮區農業改良場作物環境課研究助理。

## 前 言

秋行軍蟲 (*Spodoptera frugiperda*) 屬鱗翅目夜蛾科 (Lepidoptera: Noctuidae)，原生於熱帶與亞熱帶的美洲地區，嚴重危害美國、巴西、墨西哥與阿根廷等地的糧食作物 (Clark *et al.*, 2007; Casmuz *et al.*, 2010)。秋行軍蟲食性多元複雜、且食量龐大，主要危害禾本科的玉米與高粱，其次為大豆及棉花，全世界紀錄到之寄主植物高達 76 科，超過 353 種 (Pogue 2002; Nagoshi 2009; Casmuz *et al.*, 2010; Bueno *et al.*, 2011; Goergen *et al.*, 2016; Montezano *et al.*, 2018)。在美洲地區秋行軍蟲每年至少降低雜糧作物 55% 的收穫量，全年約造成 4 億美元的農損 (Carvalho *et al.*, 2010)。秋行軍蟲自 2016 年遷移至非洲後，迅速擴散至非洲共 12 個國家，並造成這些國家每年平均 21-53% 玉米產量的損失 (Goergen *et al.*, 2016; Day *et al.*, 2017)。亞洲地區在 2018 年於印度發現後，陸續於中國、緬甸、泰國及菲律賓發現危害。2019 年 6 月秋行軍蟲首度在台灣被發現，立即造成全台玉米作物遭受危害。玉米為全球重要的雜糧作物，除了供人類食用、畜牧業飼料用外，還可作為乙醇燃料供生物科技產業與化工業使用，具有很高的商業價值。根據農糧署 107 年資料統計，國內硬質玉米與食用玉米之產量為 174,765 t，若未即時控制秋行軍蟲在國內的疫情，將造成嚴重的農業損失。

孵化後的秋行軍蟲幼蟲會鑽入玉米心葉取食，躲藏於生長點，目前防治秋行軍蟲的方法目前以化學藥劑施用為主。(Kasten-Jr. *et al.*, 1978; Silveira *et al.*, 1997; Vendramim and Fancelli, 1988)。但化學藥劑的過度使用容易產生環境污染或傷害到非目標生物，也會造成農藥殘留的風險，甚至產生抗藥性，而使秋行軍蟲更難以防治 (Cunha *et al.*, 2008; Negrisoli Jr *et al.*, 2010)。除了化學藥劑之外，蘇力菌 (*Bacillus thuringiensis*) 亦可作為有機資材防治秋行軍蟲，蘇力菌是一種昆蟲病原細菌，經昆蟲攝食後會產生具有專一性殺蟲效果的結晶毒蛋白，對目標昆蟲以外的生物無副作用，是對於環境衝擊較小的安全植物保護資材 (Höfte and Whiteley, 1989; Schnepf *et al.*, 1998)。且蘇力菌成品具可促進作物生長、增長植物根系、協助肥料利用、耐鹽以及降低病原菌危害等效用，能提升作物健康、品質及產量 (胡等 2016)，在綜合防治管理上扮演重要角色。然而研究顯示由於 Bt 基改作物的廣泛使用，已造成巴西、阿根廷、美國等多個國家的秋行軍蟲對蘇力菌的抗性產生 (Huang, 2021)。而苦楝油 (Neem Oil) 所含之印楝素 (Azadirachtin) 也經常使用於昆蟲防治 (余 2004; 林和楊 2008; Brahmachari, 2004; Campos *et al.*, 2016)。本試驗針對這兩種免登資材進行測試，以提供藥劑交替使用的另一種選擇，減少抗藥性的產生，另外亦測試並建立室內穩定供試蟲源飼養之飼料配方，以提供研究試驗之參考。

## 材料方法

### 一、試驗材料與蟲源

#### (一) 供試昆蟲飼育

本試驗之秋行軍蟲採集於花蓮縣內之食用玉米田，於實驗室內繼代繁殖後作為供試昆蟲，並定期於田間採集新蟲源進行雜交，避免族群衰弱。蟲體飼養於  $28^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、光週期為 12L:12D、濕度為  $70\%\pm 10\%$  RH 之恆定生長箱內。一至二齡幼蟲飼養於長寬各 20 cm、高 6 cm 之方形塑膠容器中，每天餵食與更換新鮮玉米葉或人工飼料，至三齡後幼蟲因具自相殘殺特性，則分開獨立飼養於 30 孔盤中直至化蛹。成蟲則置於直徑 12 cm、高 12 cm 之透明塑膠筒中，內襯擦手紙巾，並放置蜂蜜水（稀釋 10 倍）供成蟲吸食，每三天更換擦手紙並收集卵塊以供族群繼代用。

#### (二) 供試植株

本試驗供試植株為食用玉米（華珍），食用玉米選用輪生中期（播種後約 25 至 40 d）之植株，取其靠近心葉之葉片餵食供試蟲體。

### 二、試驗方法

#### (一) 取食不同配方人工飼料之生長表現

本試驗測試秋行軍蟲幼蟲取食三種不同配方的人工飼料生長情形，供試飼料配方共三種，分別為：

DA 組：斜紋夜蛾飼料配方（歐陽與朱 1988）

DB 組：秋行軍蟲飼料配方（Nalin, 1991）

DC 組：依 DB 配方 Bean powder 換成 Corn flour

其餘比例皆與 DB 相同，上述配方如表一所示，其中 Vitamin solution 的配方如下：Niacinamide 4.0 mg, Calcium pantothenate 4.0 mg, Thiamine HCl 1.0 mg, Riboflavin 2.0 mg, Pyridoxine HCl 1.0 mg, Folic acid 1.0 mg, Biotin 0.08 mg, Vitamin B12 0.008 mg, Distilled water 400 ml。其餘化學品來源：Ascorbic acid (Honeywell  $\geq 99.0\%$ )、Sorbic acid (Sigma,  $\geq 99.0\%$ )、Methyl parahydroxybenzoate (Sigma)、Formaldehyde (Smart-Chemie, 40%)。

三種飼料製作完畢後皆保存於  $4^{\circ}\text{C}$  之冷藏室中，試驗時先將適當飼料量取出置於室溫下回溫，15 min 後再餵食秋行軍蟲。另設置一組餵食新鮮玉米葉做為對照組（DD）。

試驗時挑選甫孵化之秋行軍蟲幼蟲，每處理各三重複，每重複 30 隻幼蟲，自孵化開始餵食上述三種不同飼料配方，直至化蛹。蟲體飼養於長寬各 20 cm、高 6 cm 之方形塑膠容器中，直至三齡後分開獨立飼養於 30 孔盤中，避免相殘。試驗過程置於  $28^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、光週期為 12L:12D、濕度為  $70\%\pm 10\%$  RH 之定溫生長箱內。過程中記錄幼蟲存活天數、幼蟲存活率、蛹重、蛹期、及羽化率。另設置一對照組 DD 組，於全齡期餵食新鮮玉米葉片。

表一 三種供試人工飼料配方組成成分

Table 1. Composition of different artificial diets for *Spodoptera frugiperda*.

Composition	DA	DB	DC
Bean powder	140 g	240 g	-
Corn flour	-	-	240 g
Wheat germ	140 g	120 g	120 g
Yeast powder	57 g	-	-
Brewer's yeast	-	72 g	72 g
Ascorbic acid	6 g	7.3 g	7.3 g
Sorbic acid	0.6 g	2.4 g	2.4 g
Methyl parahydroxybenzoate	4 g	4.4 g	4.4 g
Vitamin solution	-	10 ml	10 ml
Formaldehyde (40%)	5 ml	6 ml	6 ml
Agar	17 g	20 g	20 g
Distilled water	1,000 ml	1,000 ml	1,000 ml

## (二) 有機資材混合防治測試

本試驗測試新鮮玉米葉浸泡不同的資材後，餵食剛脫皮的三齡秋行軍蟲幼蟲，評估各資材處理是否對於幼蟲的致死效果。試驗處理共 5 組：48.1% *Bacillus thuringiensis subsp. aizawai* strain ABTS-1857(台灣住友化學股份有限公司, 1,000 倍), 54% *Bacillus thuringiensis subsp. aizawai* strain NB-200 (台灣住友化學股份有限公司, 1,000 倍), 95% Neem oil (良農現代化農業科技股份有限公司, 300 倍), 48.1% *Bacillus thuringiensis subsp. aizawai* strain ABTS-1857 (1,000 倍)+95% Neem oil (300 倍), 54% *Bacillus thuringiensis subsp. aizawai* strain NB-200 (1,000 倍)+95% Neem oil (300 倍), 另設置一純水對照組 CK, 每組各三重複, 每重複 10 隻蟲。各處理組將新鮮玉米葉完全浸泡於資材 10 s 後取出, 待自然風乾後餵食齡幼蟲。各處理皆浸泡 7 d 份之新鮮玉米葉, 並將備用葉片保存於 4°C±1°C 之冰箱內, 每天補充葉片供蟲體食用。蟲體皆獨立飼養於 30 孔盤中, 置於 28°C±2°C、光週期為 12L:12D、濕度為 70%±10% RH 之定溫生長箱內, 每日補充處理過之玉米葉片並記錄幼蟲死亡率。

## (三) 田間試驗

於壽豐鄉一塊 0.3 ha 玉米田進行試驗, 試驗採用完全隨機設計 CRD, 共進行兩次。第一次試驗期間為 2021 年 3 月至 5 月, 第二次試驗期間為 2021 年 6 月至 8 月, 供試玉米品種為雙發水果玉米。定植後 2 w 開始進行資材處理, 處理分別為施用 48.1% *Bacillus thuringiensis subsp. aizawai* strain ABTS-1857 (1,000 倍)、48.1% *Bacillus thuringiensis subsp. aizawai* strain ABTS-1857 (1,000 倍)+95% Neem oil (300 倍)、不處理對照組。依各資材固定倍數稀釋後以背負式動力噴霧機將藥液充分施用於玉米心葉處(大約 20 ml/株), 試驗期間從玉米定植後第 2 w (第一次施用資材前) 開始調查秋行軍蟲危害率, 每週調查一次, 直至玉米吐絲期停止調查, 直至採收期進行最後一次果穗危害率調查, 調查時每個處理區域隨機取 3 排作為三重複, 每排玉米植株數需大於 100 株, 逐一檢視每棵玉米心葉是否有被危害, 果穗調查則需剝開每個果穗頂端苞葉檢視是否有秋行軍蟲蟲體, 並將結果以下列公式計算: 被害率(%) = (被危害植株數/一排總植株數) × 100%。

### 三、統計分析

上述所得數據以 SAS System version 9.0 進行統計分析，以單因子變方分析 (one-way analysis of variance; one-way ANOVA)，並以 Tukey's HSD test 進行成對處理間比較。

## 結果與討論

### 一、取食不同配方人工飼料之生長表現

試驗結果顯示如表二，幼蟲生長天數以取食新鮮玉米葉片 (DD 組) 和自行調整配方之人工飼料 (DC 組) 天數最短，分別為 20.2 d 和 20.4 d，接續為取食斜紋夜蛾飼料配方 (DA 組) 為 24.6 d，而取食 Nalin (1991) 之秋行軍蟲飼料 (DB 組) 幼蟲期天數最長，為 26.3 d，但幼蟲存活率 (一齡蟲至成功化蛹的比例) 在餵食四種食源之間並無顯著差異，存活率平均介於 60.5 - 67.8% 之間。蟲蛹重量部分則以 DC 組 220.7mg 最重、其次為 DA 組的 210.2 mg 和 DB 組 208.0 mg，而取食新鮮玉米葉片之蛹重為 135.7 mg 最輕，顯著低於三種人工飼料餵食處理。性比的部分於三種人工飼料餵食處理皆為 0.4，餵食玉米葉處理之性比為 0.6，雖然統計上並無顯著差異，但餵食人工飼料的處理組雌性比例較餵食玉米葉高。而蛹期天數以餵食玉米葉 DD 組和自行調整配方之人工飼料 DC 組皆為 9.0 d 最短、DA 組 9.41 d 次之，DB 組 9.54 d 最長。而羽化率於各處理間無顯著差異，介於 94.4 - 96.1% 之間。

試驗過程中，每個處理組都可順利將秋行軍蟲飼養至成蟲羽化，其中 Nalin (1991) 飼料配方 (DB) 為秋行軍蟲食用，在前人研究中顯示秋行軍蟲生長表現良好 (Pinto *et al.*, 2019; Truzi *et al.* 2021)，然而在本試驗測試結果中，餵食此配方的秋行軍蟲幼蟲生長期和蛹期天數皆較另兩組人工飼料配方長，相較之下並非最佳的人工飼料配方。而另外以 Nalin 配方作為基礎，將配方成分裡的 Bean powder 改用玉米粉 (Corn flour) 取代 (DC 組)，結果顯示幼蟲之生長天數和蛹期天數皆最短，蛹重也最重，蛹的重量整體表現為四處理組中最佳，推測可能與飼料中玉米粉中的碳水化合物 (如半乳糖、氨基葡萄糖、葡萄糖等) 含量較多有關 (Morales-Ramos, *et al.*, 2016)。DA 組則為台灣常用於飼養斜紋夜盜的飼料配方，其幼蟲和蛹期的各項生長表現程度介於 DC 組和 DB 組之間。

蛹重量與雌蟲的繁殖力成正比，蛹重愈重則羽化後的雌成蟲產卵數也愈多，在 Pinto 等人 2019 年的研究中，飼料配方中的小麥胚芽為影響蛹重的重要因素，該文獻指出未加小麥胚芽的飼料配方秋行軍蟲蛹重比有添加小麥胚芽的蛹重減少 38%。而在本試驗過程中三種飼料配方都有添加小麥胚芽，小麥胚芽中含有豐富的蛋白質、脂質、碳水化合物和礦物質及維生素，因此蛹重的表現就比餵食玉米葉片 DD 組明顯高。然而在蛹重最高的 DC 組中，卻在試驗過程中觀察到在終齡幼蟲化蛹失敗的比例較其他處理組高 (結果並未顯示)，推測與該配方少了 bean powder 成分而減少化蛹前脫皮激素形成所需的膽固醇有關 (Igarashi *et al.*, 2018; Schoor *et al.*, 2020)。

在此試驗中，整體秋行軍蟲生長表現雖然以 DC 為最佳，但其中 Vitamine solution 的成分在配製過程中較耗時，因此建議實驗室若要大量飼養秋行軍蟲時可直接購買 Vitamine complex 配製，或是亦可選擇以斜紋夜盜飼料配方 (DA) 飼養，此配方也較另外兩種飼料配方減少 Brewer's yeast (啤酒酵母) 的成分，有利於減少成本和配製時間，且即使減少該成分對於秋行軍蟲的生長情形並無明顯影響。

表二、秋行軍蟲取食不同人工飼料配方之生長表現

Table 2. Growth characteristics of *Spodoptera frugiperda* feed with different artificial diets.

Formula	Characteristics <sup>z</sup>					
	Larval period (days)	Larval survival rate (%)	Pupal weight (mg)	Sex ratio	Pupal period (days)	Emergence rate (%)
DA	24.6±0.8b <sup>y</sup>	61.1± 9.6a	210.2±9.2b	0.4±0.1a	9.4±0.1ab	96.1±3.5a
DB	26.4±0.7a	60.5±14.5a	208.0±2.7b	0.4±0.1a	9.5±0.2a	93.2±8.1a
DC	20.4±0.9c	67.8±19.5a	220.7±2.7a	0.4±0.2a	9.0±0.2bc	94.4±9.6a
DD	20.2±0.4c	66.7±15.3a	135.7±1.4c	0.6±0.1a	9.0±0.2c	94.4±5.3a
<i>P</i> -value	<0.001	0.9049	<0.001	0.3026	0.0119	0.9662

<sup>z</sup>Data showed by mean±SE.<sup>y</sup>Means within each column followed by the same letters are not significantly different at 5% level by Tukey test.

表三、不同資材處理三齡秋行軍蟲之死亡率 (%)

Table 3. Cumulative mortality rate (%) after treated 3rd instar *Spodoptera frugiperda* larva with different materials.

Treatments	Mortality (%) <sup>z</sup>						
	1 Day	2 Day	3 Day	4 Day	5 Day	6 Day	7 Day
48.1% <i>B. t</i> ABTS-1857	2.5±2.5ab <sup>y</sup>	6.0±3.2b	25.9±3.1bc	38.8±9.4bc	43.5±10.6ab	43.5±10.6b	45.9±12.9b
54% <i>B. t</i> NB-200	1.1±1.1b	7.9±1.0ab	16.2±1.2c	23.8±3.3cd	28.3±3.9b	29.5± 2.8bc	30.6± 3.6bc
95% Neem oil	2.3±1.2ab	3.5±0.0b	5.9±2.4d	12.0±3.1d	20.4±5.1bc	32.9± 0.4bc	47.6± 5.9b
48.1% <i>B. t</i> ABTS-1857 + 95% Neem oil	5.6±1.0a	16.1±5.3a	37.6±2.8a	71.9±12.6a	89.8±6.9a	90.9± 5.9a	93.2± 3.9a
54% <i>B. t</i> NB-200 + 95% Neem oil	4.5±1.1ab	10.2±0.2ab	34.1±5.8ab	57.9±1.0ab	97.7±1.2a	97.7± 1.1a	98.9± 1.1a
C. K.	0 c	2.2±2.2b	3.3±1.9d	3.3±1.9d	3.3±1.9c	4.4± 5.1c	4.4± 5.1c
<i>P</i> -value	0.0978	0.0366	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

<sup>z</sup>Data showed by mean±SE.<sup>y</sup>Means within each column followed by the same letters are not significantly different at 5% level by LSD test.

## 二、生物農藥及免登資材混合防治測試

生物農藥及免登資材室內測試結果顯示如表三，餵食浸泡蘇力菌 48.1% *B. t* ABTS-1857 玉米葉處理組的幼蟲死亡率在第 7 d 時為 45.9%，其中第 2 d 到第 4 d 為死亡率主要明顯提升時間，之後在第 5 到第 6 d 死亡率提升情形趨緩。而蘇力菌 54% *B. t* NB-200 處理組在餵食秋行軍蟲後第 7 d 死亡率為 30.6%，死亡率同樣在第 2 d 到第 4 d 明顯提升，顯示蘇力菌作用於腸道並造成秋行軍蟲死亡的時間主要落在 48 h 到 96 h 之間。而取食浸泡苦楝油 95% *Neem oil* (300 倍) 玉米葉的幼蟲在試驗第 7 d 死亡率為 47.6%，期間死亡率明顯增加時間主要落於 3 d 到 7 d 之間。若將上述兩種蘇力菌分別混合苦楝油處理，則死亡率在第 7 d 時分別為 93.2% 和 98.9%，皆較單獨使用蘇力菌時明顯提升，幼蟲死亡現象集中在取食後第 2 到第 5 d，第 5 d 秋行軍蟲幼蟲死亡率在混合蘇力菌和苦楝油的處理組達到 89.8 和 97.7%，明顯較其他處理組高出許多，表示蘇力菌和苦楝油混合施用時對於秋行軍蟲防治具有增效之協力作用。

蘇力菌是一種昆蟲病原細菌，會產生具有專一性殺蟲效果的結晶毒蛋白，對目標昆蟲以外的生物完全無副作用，是一種既安全無殘毒又環保的植物保護劑 (Höfte and Whiteley 1989 Polanczyk *et al.*, 2000; Schnepf *et al.*, 1998)。Polanczyk 等人於 2000 年曾測試五種不同菌株的蘇力菌效力，試驗結果發現將其中一種品系的蘇力菌 *Bt aizawai* HD 68 以  $3 \times 10^8$  cells/ml 濃度加入人工飼料中，二齡秋行軍蟲 7 d 內死亡率可高達 100%，其次為 *Bt thuringiensis* 4412 品系死亡率為 80%，但其他三種品系致死率皆低於 20%。胡等 (2018) 曾以蘇力菌搭配二十幾種化學藥劑減半使用，進行斜紋夜蛾致死率測試評估，試驗結果顯示蘇力菌與大多數化學藥劑混合使用並無太大的加乘效果，蘇力菌單獨使用即可有效達到防治效果。

苦楝油經常被使用於昆蟲防治上，成分中具有 100 多種活性化合物，其中的萜類化合物-印楝素，毒性作用為使蟲體產生拒食反應、阻斷對吞噬刺激有反應的感受器作用，最終導致蟲體因無法進食而死亡 (Mordue (Luntz) and Blackwell 1993; Mordue (Luntz) and Nisbet 2000; War *et al.*, 2014; Campos *et al.*, 2016)。Roel (2010) 等人把不同濃度之苦楝油混入人工飼料中餵食秋行軍蟲，並解剖不同處理組蟲體的中腸組織，研究顯示有加入苦楝油的處理組蟲體死亡率皆提高，於濃度最高的處理組蟲體甚至無法順利脫皮；Duarte (2019) 等人亦發現秋行軍蟲取食苦楝油浸液飼料後，幼蟲的齡期和蛹期會延長並降低存活率，而羽化出畸形的成蟲比例也提升。War (2014) 等人測試苦楝油與安殺番 (Endosulfan) 混合劑處理葉片使番茄夜蛾取食 72 h 後，發現拒食現象明顯高於單獨使用安殺番，且其腸道消化酶如絲氨酸蛋白酶活性和酯酶之活性皆明顯較單獨使用安殺番低，顯示添加苦楝油對殺蟲劑有增效之功能。而在本試驗中亦顯示苦楝油混合蘇力菌使用時，可較兩者單獨使用時明顯提升對於秋行軍蟲的致死效果。

表四、蘇力菌和混合苦楝油田間防治秋行軍蟲試驗

Table 4. Field trial on controlling *Spodoptera frugiperda* with non-chemical materials treatment.

## A. 2021 March-May

Treatments	Average damage rate (%) <sup>z</sup>						
	Weeks after corn sowing						
	2	3	4	5	6	7	corncob
48.1% <i>B. t</i> ABTS-1857	0a <sup>y</sup>	20.9±1.1a	17±3.6a	26±1.2b	34.4±1.2b	30.7±2.9b	29.7±1.8a
48.1% <i>B. t</i> ABTS-1857+ 95% Neem oil	0a	23.2±2.2a	9.3±0.5a	32.1±2.7ab	39.3±2.0b	34.3±3.7b	26.8±6.3a
C. K.	0.6±0.6a	24.9±0.9a	11.9±4.5a	34.1±1.2a	66.8±2.4a	76.9±2.7a	34.6±6.5a
<i>P</i> -value	0.4219	0.2604	0.3194	0.0482	<0.001	<0.001	0.5995

<sup>z</sup>Data showed by mean±SE.<sup>y</sup>Means within each column followed by the same letters are not significantly different at 5% level by LSD test.

## B. 2021 June-Aug

Treatments	Average damage rate (%) <sup>z</sup>						
	Weeks after corn sowing						
	2	3	4	5	6	7	corncob
48.1% <i>B. t</i> ABTS-1857	58.8±4.3a <sup>y</sup>	32.7±6.1b	20.7±1.6b	54.5±8.0a	77.9±2.0a	59.3±2.8b	19.2±2.4a
48.1% <i>B. t</i> ABTS-1857+ 95% Neem oil	44.4±3.8a	29.2±3.2b	19.8±3.1b	47.4±1.6a	61.3±3.2ab	64.1±2.7b	20.5±3.6a
C. K.	65.1±9.2a	62.1±5.5a	40.6±6.5a	53.8±3.0a	84.8±4.3a	83.0±2.1a	26.0±3.1a
<i>P</i> -value	0.1440	0.0068	0.0238	0.5714	0.0137	<0.001	0.3234

<sup>z</sup>Data showed by mean±SE<sup>y</sup>Means within each column followed by the same letters are not significantly different at 5% level by LSD test.



### 三、田間試驗

田間試驗的結果顯示如表四 A 和 B，表 A 為 2021 年 3 月至 5 月的調查情形，第 2 w 到第 4 w 的調查結果顯示三個處理之間並無顯著差異，而第 5 w 到第 7 w 不處理對照組危害率明顯提升，第 7 w 的危害率甚至高達 76.9%，而施用蘇力菌和蘇力菌+苦楝油的處理組危害率分別為 30.7 和 34.3%，雖然明顯低於對照組的 83% 一半以下，但危害率仍高於 20%，並未有效達到防治秋行軍蟲效果。而在果穗秋行軍蟲危害率的部分，蘇力菌和蘇力菌混和苦楝油的處理雖然危害率略低於對照組，但並無顯著差異。

重覆第二次進行的田間試驗 6 月至 8 月的結果如表四 B，其結果和第一次試驗結果相似，在第 3、4、7 w 時蘇力菌和蘇力菌+苦楝油的處理有明顯低於對照組危害率的情形，但這兩組資材處理之間的危害率則無顯著差異。且兩次田間試驗結果皆顯示，即使在吐絲期前最後一次調查的結果（第 7 w），兩個施用資材處理組的危害率皆較對照組顯著降低，但對於玉米果穗的危害率而言，處理資材組和對照組之間皆無明顯差異，雖然在抽雄花後，老化的玉米葉片上較少發現到被秋行軍蟲啃食危害，但此時有一部分幼蟲仍會藏匿於雄花和雌花絲狀花柱上取食，並在雌花授粉果穗開始生長時，吸引秋行軍蟲幼蟲鑽食果穗危害。

田間試驗的處理結果與室內測試結果不同，在蘇力菌和蘇力菌+苦楝油的處理組之間危害率並無顯著差異，甚至這兩種資材處理與對照組亦無顯著差異，推測其原因與資材處理頻度有關。在室內試驗當中，玉米葉在經過資材浸泡後除了被用來直接餵食秋行軍蟲，剩餘的葉片則儲放於黑暗環境下的冷藏設備中，並且每天取出更新葉片，因此在這種每天餵食帶有藥液的葉片頻度下，累積至第 7d 時蘇力菌+苦楝油處理組的秋行軍蟲死亡率可高達 93% 以上。然而在田間試驗中，每週施用一次資材的頻度下，危害率皆除了在第一次田間試驗中的第 3 w 較低之外，其餘時間皆高於 20% 以上，顯然以此方式防治秋行軍蟲的效果較差，推測由於在每次施用資材後，蘇力菌會隨著紫外線照射而迅速分解而失去藥效，研究指出蘇力菌在玉米葉上半衰期大約為施用後的 16.5 h (Haddad *et al.*, 2005)，因此在每次施用資材的間隔時間當中，皆會有秋行軍蟲於玉米葉上不斷產卵及孵化，因此在蘇力菌毒效持續下降的狀況下較難有效控制族群密度，尤其在夏天溫度高，秋行軍蟲世代交替速度快的情況下更為明顯，因此有機資材在田間試驗的效果無法如室內試驗之效果如此明顯。

另外蘇力菌的品系也是影響防治秋行軍蟲的關鍵，文獻指出各種蘇力菌的品系並非皆對秋行軍蟲有良好毒殺效果，只有一些篩選過的品系具有顯著致死效力。(Polanczyk *et al.*, 2000)。綜上，在田間若要達到有效的有機方式管理秋行軍蟲，需依照季節調整資材施用的頻度，以及搭配輪作、周遭植物相的搭配和天敵的釋放，如赤眼卵蜂 (*Trichogramma* spp.) 或漿黑卵蜂 (*Telenomus remus*) (Dequech *et al.*, 2013; Sisay *et al.*, 2019) 等方式，才能以綜合管理 (IPM) 有效防治秋行軍蟲。

## 結 論

本研究於人工飼料配方試驗結果顯示，以自行調整過的秋行軍蟲飼料 (DC) 或是斜紋夜蛾飼料配方 (DA)，皆可用於實驗室中大量飼養繼代所需的供試秋行軍蟲。而在生物農藥及免登資材防治秋行軍蟲的部分，混合蘇力菌和苦楝油可較單獨使用上述資材更具明顯的毒殺效果，然而將同樣方式應用於田間防治的效果並不理想。未來仍需進一步探討提高施用頻度是否可加強防治效果，並且應同時搭配其他非農藥防治方式如輪作和天敵釋放等，以提供有機農民在防治上的技術參考。

## 致 謝

本試驗承蒙行政院農業委員會科技計畫經費的支持，試驗過程中感謝陳志剛先生、牛秀梅小姐和潘光琦小姐協助調查，合作農友陳柏觀先生協助田間試驗。文成後復蒙中興大學昆蟲學系唐立正教授（已退休）和台灣大學昆蟲學系許如君教授悉心斧正，謹此致謝。

## 參考文獻

1. 余志儒 2004 植物抽取液防治蟲害研究現況 農業試驗所特刊優質安全農產品生產策略研討會專刊 115:129-139。
2. 林立、楊大吉 2008 生物農藥及免登資材防治棉蚜及蔥薊馬之研究 花蓮區農業改良場研究彙報 26:17-28。
3. 胡斐婷、郭雪、蔡米皓、曾經洲 2016 增益植物健康之多功能蘇力菌研究 台灣農藥科學 4:21-36。
4. 胡斐婷、郭雪、曾經洲 2018 蘇力菌與其他農藥混合對小菜蛾及斜紋夜蛾的生物活性影響評估 台灣農藥科學 1:50-69。
5. 歐陽盛芝、朱耀沂 1988 以天然與人工飼料累代飼育斜紋夜蛾 (*Spodoptera litura* (F.)) 生長之比較 台灣昆蟲 8:143-150。
6. Brahmachari, G. 2004. Neem- an omnipotent plant: a retrospection. Chem Bio- Chem 5:408-421.
7. Bueno, R.C.O., A.F. Bueno, F. Moscardi, J.R.P. Parra, and C.B. Hoffmanncampo. 2011. Lepidopteran larva consumption of soybean foliage: basis for developing multiple-species economic thresholds for pest management decisions. Pest Manag. Sci. 67:170-174.
8. Campos, E.V.R., J.L. Oliveira, M. Pascoli, R. Lima, and L.F. Fraceto. 2016. Neem oil and crop protection: From Now to the Future. Front. Plant Sci. 7:1-8.
9. Carvalho, E.V., A.H. Goncalves, F.S. Afferi, M.A. Dott, and J.M. Peluzio. 2010. Influência da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith), sobre híbridos de milho, no sul do Tocantins. Revista Verde. 5:152-157.
10. Casmuz, A., M.L. Juárez, M.G. Socías, M. G. Murúa, S. Prieto, S. Medina, E. Willink, and G. Gastaminza. 2010. Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Rev. Soc. Entomol. Argent. 69:209-231.
11. Clark, P.L., J. Molina-Ochoa, S. Martinelli, S.R. Skoda, D.J. Isenhour, D.J. Lee, J.T. Krumm, and J.E. Foster. 2007. Population variation of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in the Western Hemisphere. J. Insect Sc. 7:1-10.
12. Cunha, U.S., J.F.S. Martins, M.P. Porto, M.S. Garcia, O. Bernardi, C.O. Trecha, D. Bernardi, E.O. Jardim, E.C.U. Back. 2008. Resistência de genótipos de milho para cultivo em várzeas subtropicais à lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda*. Cienc. Rural. 38(4):1121-1128.
13. Day, R., P. Abrahams, M. Bateman, T. Beale, V. Clottey, M. Cock, Y. Colmenarez, N. Corniani, R. Early, J. Godwin, J. Gomez, P.G. Moreno, P., Murphy, S.T. Merphy, B. Oppong-Mensah, N. Phiri, C. Pratt, S. Silvestri and A. Witt. 2017. Fall armyworm: impacts and implications for Africa. Outlooks Pest Manag. 28(5):196-201.

14. Dequech, S.T.B., C. Camera, V.S. Sturza, L. do P. Ribeiro, R.B. Querino, and S. Poncio. 2013. Population fluctuation of *Spodoptera frugiperda* eggs and natural parasitism by *Trichogramma* in maize. *Acta. Sci-Agron.* 35(3):295-300.
15. Duarte, J.P., L.R. Redaelli, S.M. Jahnke and S. Trapp. 2019. Effect of *Azadirachta indica* (Sapindales: Meliaceae) oil on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae and adults. *Fla. Entomol.* 102(2):408-412.
16. Goergen, G., P.L.Kumar, S.B. Sankung, A. Togola, M. Tamò. 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(10):1-9.
17. Haddad, M.L., R.A. Polanczy, S.B. Alves, and M.O. Garcia. 2005. Field persistence of *Bacillus thuringiensis* on maize leaves (*Zea may L.*). *Braz. J. Microbiol.* 36:309-314.
18. Höfte, H. and H.R. Whiteley. 1989. Insecticidal crystal proteins of *Bacillus thuringiensis*. *Microbiol. Rev.* 53:242-255.
19. Huang, F. 2021. Resistance of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, to transgenic *Bacillus thuringiensis* Cry1F corn in the Americas: lessons and implications for Bt corn IRM in China. *Insect Sci.* 28:574-589.
20. Igarashi, F., M. H Oghihara, M. Iga, H. Kataoka. 2018. Cholesterol internalization and metabolism in insect prothoracic gland, a steroidogenic organ, via lipoproteins. *Steroids* 134:110-116.
21. Kasten-Jr. P., A.A.C.M. Precetti, and J.R.P. Parra. 1978. Dados biológicos comparativos de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) em duas dietas artificiais e substrato natural. *Rev. Agric.* 53:69-78.
22. Montezano, D.G, A. Specht , D.R. Sosa-Gómez, V.F. Roque-Specht, J.C. Sousa-Silva, S.V. Paula-Moraes, J.A. Peterson, and T.E. Hunt. 2018. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *Afr Entomol.* 26(2):286-300.
23. Morales-Ramos, J. A., M. G. Rojas, K. S. Shelby and T. A. Coudron. 2016. Nutritional Value of Pupae Versus Larvae of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) as Food for Rearing *Podisus maculiventris* (Heteroptera: Pentatomidae). *J. Econ. Entomol.* 109(2): 564-571.
24. Mordue (Luntz), A.J. and A. Blackwell. 1993. Azadirachtin: an update. *J. Insect Physiol.* 39:903-924.
25. Mordue (Luntz), A.J. and A. J. Nisbet. 2000. Azadirachtin from the neem tree *Azadirachta indica*: its action against insects. *An. Soc. Entomol. Bras.* 29:615-632.
26. Nagoshi, R.N. 2009. Can the amount of corn acreage predict fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) infestation levels in nearby cotton? *J. Econ. Entomol.* 102:210-218.
27. Nalin, D.N. 1991. Biologia, nutrição quantitativa e controle de qualidade de populações de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera:Noctuidae) em duas dietas artificiais. Ph.D dissertation, Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
28. Negrisolli, A.S.Jr., M.S. Garcia, C.R.C.B. Negrisolli. 2010. Compatibility of entomopathogenic nematodes (Nematoda: Rhabditida) with registered insecticides for *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) under laboratory conditions. *Crop Prot.* 29:1-5.
29. Pinto, J.R.L., A.F. Torres, C.C. Truzi, N.F. Vieira, A.M. Vacari, and S.A. Bortoli. 2019. Artificial corn-based diet for rearing *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Insect Sci.* 19:1-8.
30. Pogue, G.M. 2002. A world revision of the genus *Spodoptera Guenee* (Lepidoptera: Noctuidae). *Mem. Am. Entomol. Soc.* 43:117-124.

31. Polanczyk, R.A., R.F.P. Silva<sup>1</sup>, and L.M. Fiuza. 2000. Effectiveness of *Bacillus thuringiensis* strains against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Braz. J. Microbiol. 31:165-167.
32. Roel, A.R., D.M. Dourado, R. Matias, K.R.A. Porto, A.V. Bednaski, and R.B. Costa. 2010. The effect of sub-lethal doses of *Azadirachta indica* (Meliaceae) oil on the midgut of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera, Noctuidae). Rev. Bras. Entomol. 54(3):505-510.
33. Schnepf, E., N. Crickmore, J. Van Rie, D. Lereclus, J. Baum, J. Feitelson, D.R. Zeigler and D.H. Dean. 1998. *Bacillus thuringiensis* and its pesticidal crystal proteins. Microbiol. Mol. Biol. Rev. 62:775-806.
34. Schoor, T. van, E.T. Kelly, N. Tam, and G.M. Attardo. 2020. Impacts of dietary nutritional composition on larval development and adult body composition in the yellow fever mosquito (*Aedes aegypti*). Insects. 11(535):1-15.
35. Silveira, L.C.P., J.D. Vendramim and C.J. Rosseto. 1997, Efeito de genótipos e milho no desenvolvimento de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). An. Soc. Ent. Bras. 26(2):291-298.
36. Sisay., B., J. Simiyu, E. Mendesil, P. Likhayo, G. Ayalew, S. Mohamed, S. Subramanian and T. Tefera. 2019. Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* infestations in east Africa: assessment of damage and parasitism. Insects. 10(7):1-10.
37. Truzzi, C.C., N.F. Vieira, J.M. Souza, and S.A. Bortoli. 2021. Artificial diets with different protein levels for rearing *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). J. Insect Sci. 21(4):1-7.
38. Vendramim, J.D. and M. Fancelli. 1988. Efeito de genótipos de milho na biologia de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae). An. Soc. Ent. Bras. 17 (supl.):141-150.
39. War, A.R., M.G. Paulraj, B. Hussain, T. Ahmad, M.Y. War and S. Ignacimuthu. 2014. Efficacy of a Combined Treatment of Neem Oil Formulation and Endosulfan Against *Helicoverpa armigera* (Hub.) (Lepidoptera: Noctuidae). Int. J. Insect Sci. 6:1-7.