



利用性費洛蒙大量誘殺綜合管理花椰菜小菜蛾 (菜蛾科：鱗翅目) 效果評估

洪巧珍*、王文龍、吳昭儀、張志弘、張慕瑋

行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所生物藥劑組 41358 台中市霧峰區光明路 11 號

* 通訊作者 email: hccjane@tactri.gov.tw

收件日期：2017 年 1 月 19 日 接受日期：2017 年 9 月 10 日 線上刊登日期：2017 年 10 月 16 日

摘 要

於 2004 至 2007 年分別於台中市霧峰區、彰化縣埔鹽鄉、田尾鄉等花椰菜田，探討小菜蛾 (*Plutella xylostella*) 性費洛蒙誘蟲有效距離，以及評估利用性費洛蒙大量誘殺防治小菜蛾之效果。結果顯示性費洛蒙誘蟲器設置於非寄主作物鳳梨田，距花椰菜田 5 m 處以上，其誘蟲數較設置於花椰菜田邊者顯著下降。每公頃花椰菜田設置 40、80 與 120 個等不同數量性費洛蒙誘蟲盒誘捕小菜蛾均顯著降低小菜蛾族群密度；以每公頃設置 120 個之處理，小菜蛾族群密度降低的幅度較大。2007 年在彰化縣田尾鄉花椰菜田，每 8 m 設置一個性費洛蒙誘蟲器，大量誘殺小菜蛾之綜合防治效果評估顯示，於採收的花椰菜葉、花的危害率，於大量誘殺區危害率分別為 3.7 與 20.6%，均低於慣行防治之對照區 6.1 與 29.3%，顯示大量誘殺處理降低小菜蛾對花椰菜的危害率。

關鍵詞：小菜蛾、大量誘殺、性費洛蒙、花椰菜。

前 言

小菜蛾 (*Plutella xylostella* (Linnaeus)) 屬鱗翅目、菜蛾科 (Lepidoptera: Plutellidae)。其主要寄主為十字花科 (Brassicaceae) 作物，如甘藍、花椰菜、芥菜、水田芥、白蘿蔔、包心白菜、小白菜、芥藍菜等作物；次要的寄主為山柑科 (Capparidaceae) 植物如成功白花菜 (*Cleome rutidosperma*)、*C. invisia* 等作物。廣分布於歐洲、亞洲、非洲、西半球、美洲與大洋洲等地區，為世界性十字花科蔬菜重要害蟲，估計全球每年防治費用約 40~50 億美元左右 (Zalucki *et al.*, 2012)。防治小菜蛾，一般以化學殺蟲劑為主；惟因其生活史短，且繁殖速度快，常有抗藥性發生 (Tabashnik *et al.*, 1990; Shelton *et al.*, 1993; Zhao and You,

2001; Zhao *et al.*, 2002)，導致藥劑防治效果不佳、且有農藥殘留之虞慮。因此，本研究擬建立利用性費洛蒙防治小菜蛾技術，提供除化學殺蟲劑以外另類的防治方法。

小菜蛾性費洛蒙的相關研究，Tamaki *et al.* (1977) 鑑定小菜蛾性費洛蒙組成成分順-11-十六碳烯醛 ((Z)-11-hexadecenal, Z11-16:Ald) 及順-11-十六碳烯酯 ((Z)-11-hexadecenyl acetate, Z11-16:Ac) 等兩種成分。其混合比例在 8:2 至 4:6 在田間對小菜蛾雄蟲具誘引效果 (Koshihara *et al.*, 1978; Ando *et al.*, 1979; Chisholm *et al.*, 1979)；台灣以 1:1 至 1:3 的混合比例為對小菜蛾誘引較佳 (Chow *et al.*, 1977)。添加少量的順-11-十六碳烯醇 ((Z)-11-hexadecenol, Z11-16:OH) 與順-9-十四碳烯酯 ((Z)-9-tetradecenyl acetate, Z9-14:Ac) 可改

進對小菜蛾雄蟲之性費洛蒙活性 (Koshihara and Yamada, 1980; Chisholm *et al.*, 1983; Deng and Du, 2002)。由文獻顯示，合成的小菜蛾性費洛蒙可用來監測 (Baker *et al.*, 1982; Shirai and Nakamura, 1995; Ronald, 1997; Reddy and Guerrero, 2001; Nofemela, 2010; Miluch *et al.*, 2013)、大量誘殺 (Chisholm *et al.*, 1979; Reddy and Urs, 1997; Reddy and Guerrero, 2000; Wang *et al.*, 2004a,b) 及交配干擾防治小菜蛾 (Fujiyoshi *et al.*, 1979; Mclaughlin *et al.*, 1994; Wang and Zhang, 2008)。

在台灣，小菜蛾一年發生 19~21 世代，世代短且有重疊現象。其幼蟲食量小，取食時啃食葉片下表皮及葉肉，僅留上表皮。危害心葉時，使心芽生長受阻，嚴重影響蔬菜品質與產量 (Lu and Lee, 1984)。小菜蛾性費洛蒙配方因地區之不同，其最適混合比亦有不同 (Maa *et al.*, 1984)。農委會農業藥物毒物試驗所 (藥毒所) 於 2011 年已開發小菜蛾性費洛蒙誘餌，對小菜蛾具有優異的誘引效果 (Hung *et al.*, 2011)。為建立利用性費洛蒙綜合防治小菜蛾技術，於 2004 年至 2007 年分別於台中市霧峰區、彰化縣田尾鄉及埔鹽鄉等地區之蔬菜田，探討小菜蛾性費洛蒙誘引劑有效距離、大量誘殺單位面積性費洛蒙誘蟲器設置數量，以及在花椰菜田評估大量誘殺防治小菜蛾效果，期望能建立小菜蛾性費洛蒙的田間應用技術供農政單位與農民使用。

材料與方法

供試害蟲性費洛蒙誘餌來源與田間害蟲誘蟲試驗

供試小菜蛾性費洛蒙誘餌為藥毒所化學傳訊素實驗室所開發配製。試驗時，將小菜蛾性費洛蒙誘餌以透明膠帶，黏貼於翼型黏膠式誘蟲盒之上蓋。本研究使用之翼型黏膠式誘蟲盒，早期為厚紙板材質 (甲富企業股份有限公司)，於田間懸掛，遇到下雨即變形，嚴重影響試驗。於 2005 年 3 月起，改用具防水功能的翼型黏膠式誘蟲盒 (振詠興業有限公司)。進行田間設置時，將竹竿分別插立於花椰菜田中，再將誘蟲盒固定於竹竿上，懸掛高度為位於花椰菜生長點上方 30~50 cm 處，依試驗規畫，定期記錄誘捕蟲數。

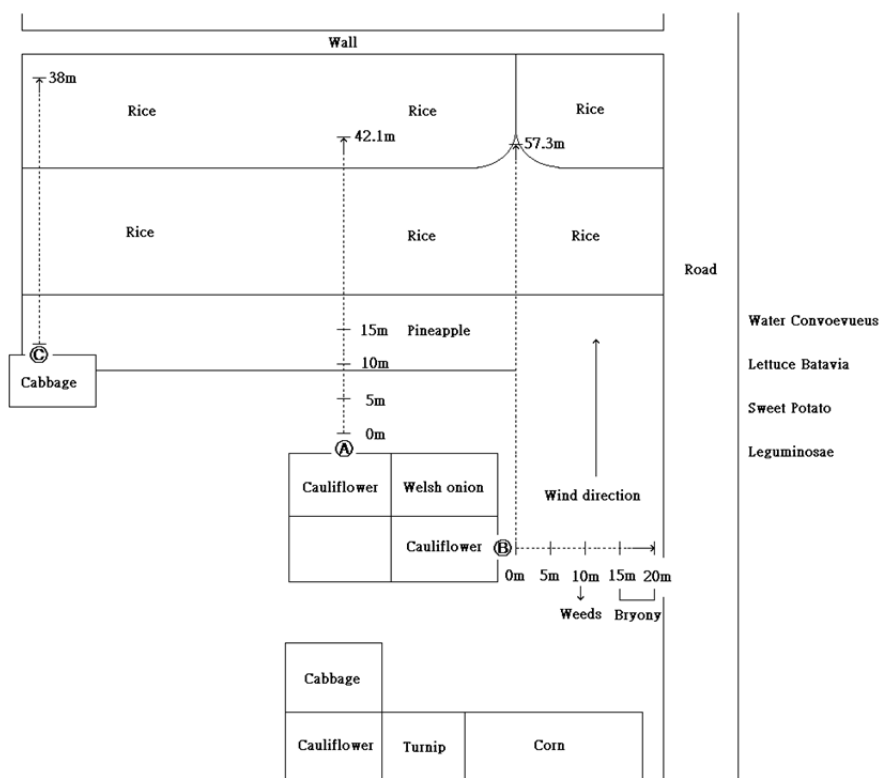
性費洛蒙對小菜蛾之誘引距離探討

於 2004 年 3 月 9 日至 2004 年 4 月 13 日，在臺中市霧峰區一塊種有花椰菜、甘藍菜、水稻、鳳

梨的田區 (如圖一)，探討性費洛蒙對小菜蛾之誘引距離。經巡視在水稻、鳳梨的田區內及田埂上，均無十字花科蔬菜與十字花科雜草。試驗時，於小菜蛾發生嚴重兩區花椰菜種植區 (A、B) 及甘藍菜一區 (C) 當作起點，於不同距離設置小菜蛾性費洛蒙翼型黏膠式誘蟲盒，比較誘蟲盒距花椰菜、甘藍菜不同距離對小菜蛾之誘蟲數。本試驗使用 0.1 mg/microtube 小菜蛾性費洛蒙誘餌，翼型黏膠式誘蟲盒分別設置於距離花椰菜田 A 區 0、5、10、15 與 42.1 m；花椰菜田 B 區 0、5、10、15、20 與 57.3 m；甘藍菜 C 區 38 m 的水稻田埂上。本試驗每 3~7 日觀察紀錄一次，連續觀察 9 次。9 次調查所得資料：處理 0、5、10 與 15 m 等有 A、B 兩區，其誘蟲數經變方分析具顯著差異時，再依 Fisher's LSD test 比較處理間差異性。

單位面積設置不同數量誘蟲盒誘捕小菜蛾對其族群密度之影響

於 2004 年 12 月 27 日至 2005 年 2 月 15 日，在彰化縣埔鹽鄉四區花椰菜田，分別設置 40、80、120 與 120 traps/ha 等不同數量誘蟲盒誘殺小菜蛾，比較性費洛蒙誘蟲盒設置不同密度對小菜蛾族群密度之影響。本試驗使用小菜蛾性費洛蒙誘餌 0.1 mg/septum，誘殺處理的四區花椰菜田距離約 5~10 km。第一區面積約 0.25 ha，每公頃設置 40 個性費洛蒙誘蟲盒 (處理 40)，於田間約每 16 m 設置一個性費洛蒙誘蟲盒。第二區面積約 0.2 ha，每公頃設置 80 個性費洛蒙誘蟲盒 (處理 80)，於田間約每 11 m 設置一個性費洛蒙誘蟲盒。第三、四區面積分別約 0.1 與 0.2 ha，每公頃設置 120 個性費洛蒙誘蟲盒 (處理 120A 與 120B)，於田間約每 9 m 設置一個性費洛蒙誘蟲盒。本試驗於各誘殺區之附近選一區約 0.1~0.2 ha 之花椰菜田當作對照區 (CK)，其管理及花椰菜生長情形與誘殺處理區相當。監測時，於誘殺處理區與對照區各設置 1 個性費洛蒙誘蟲盒監測小菜蛾的族群密度。本試驗每 7 日調查一次，每次更新誘殺處理區與監測用的翼型黏膠式誘蟲盒，性費洛蒙誘餌則持續使用；收回之翼型黏膠式誘蟲盒，分別記錄小菜蛾監測蟲數與誘殺處理區之誘捕蟲數。本試驗設置 40、80、120 與 120 traps/ha 等不同數量誘蟲盒誘捕小菜蛾，分別調查 5、4、5 與 6 次，監測所得誘殺處理區與對照區誘蟲數，以 paired-sample *t*-test 比較其差異性。



圖一 2004 年於台中市霧峰區小菜蛾性費洛蒙翼型黏膠式誘蟲器距花椰菜或甘藍菜田不同距離對小菜蛾之誘蟲試驗田區示意圖。

Fig. 1. Schematic of the different setting distances of the wing sticky traps baited with DBM sex pheromone in the cauliflower and cabbage fields of Wufeng, Taichung County, Taiwan, in 2004.

花椰菜田利用性費洛蒙大量誘殺綜合防治小菜蛾評估試驗

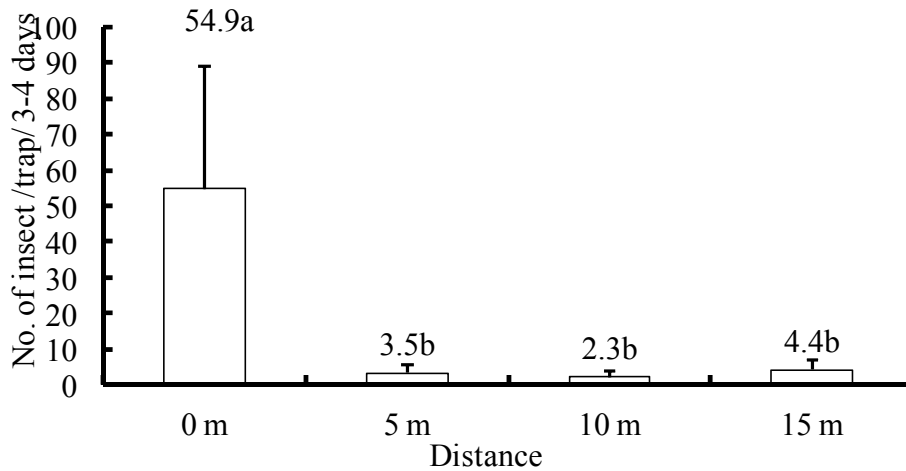
於 2007 年 11 月 14 日至 2008 年 1 月 17 日，在彰化縣田尾鄉選三區慣行施藥防治的花椰菜田，面積分別約為 0.17、0.26 與 0.17 ha，進行利用性費洛蒙大量誘殺小菜蛾評估綜合防治成效。此三區花椰菜田，約每 6~7 日施藥一次，施用賽洛寧 (Cyhalothrin)、賽滅寧 (Cypermethrin)、納乃得 (Methomyl)、加保扶 (Carbofuran)、芬化利 (Fenvalerate) 與達滅芬 (Dimethomoph) 等藥劑，防治病蟲害。從 2007 年 11 月 18 日開始施藥，至年底 12 月 31 日為止，共施 7 次。本試驗使用內含小菜蛾性費洛蒙誘餌 (0.5 mg/septum) 之翼型黏膠式誘蟲盒。試驗時，每區花椰菜田分成兩區：大量誘殺區及對照區。大量誘殺區依據 Lee *et al.* (1995) 報導小菜蛾性費洛蒙有效距離為 4 m，所以，自花椰菜栽植日 (2007 年 11 月 14 日) 起每 8 m 設置一個性費洛蒙誘蟲盒誘捕小菜蛾，直至開始採收為止；第一、二區大量誘殺誘蟲盒懸掛至 2008 年 1 月 3 日，第三區至 2007 年 12 月 28 日。第一區花椰菜田與茄子間作，大量誘殺區的小菜蛾性費洛蒙

誘蟲盒設置 24 個；第二區花椰菜田，小菜蛾性費洛蒙誘蟲盒設置 36 個；第三區花椰菜田與敏豆間作，小菜蛾性費洛蒙誘蟲盒設置 24 個。另於大量誘殺區、對照區各設置 4 個性費洛蒙誘蟲盒，於花椰菜栽植日 2007 年 11 月 14 日起至 2008 年 1 月 17 日採收完畢為止，每週調查小菜蛾族群密度；同時記錄每區施藥的情形。於採收時，每區花椰菜田隨機採樣 30~50 朵花椰菜，觀察記錄其葉與花上的蟲數，若有發現小菜蛾的卵、幼蟲、蛹、或成蟲，即表示危害。調查所得之危害數據轉換為危害率，經 $\sin^{-1}\sqrt{x}$ 轉值後進行 *t*-test 檢定。

結 果

性費洛蒙對小菜蛾之誘引距離探討

誘蟲盒距花椰菜 0、5、10 與 15 m 等不同距離對小菜蛾之誘蟲情形如圖二。於花椰菜田邊的誘蟲盒 (0 m) 其誘蟲數最高 54.9 ± 34.1 ，顯著高於距花椰菜田邊 5、10 與 15 m 處理。5、10 與 15 m 處理之誘蟲數下降，分別為 3.5 ± 2.2 、 2.3 ± 1.8 與 4.4 ± 2.9 ，三者無顯著性差異 ($F_{3, 32} = 20.34475$, $p <$



圖二 2004 年台中市霧峰區小菜蛾性費洛蒙翼型黏膠式誘蟲器距花椰菜或甘藍菜田不同距離對小菜蛾之誘蟲效果。
 Fig. 2. Number of DBMs caught by sex pheromone traps placed at different distances from the cauliflower fields of Wufeng County, Taichung, Taiwan, in 2004. Error bars represent the standard errors of the means. Means with different letters are significantly different as determined by the Fisher least significant difference test ($p < 0.01$).

0.01)。

其它距離花椰菜田邊 20、38、42.7、45 與 57.3 m 等不同距離處之誘蟲盒，其誘蟲數分別為 10.9 ± 10.7 、 23.2 ± 16.0 、 7 ± 4.8 、 4.2 ± 3.8 與 15.2 ± 17.3 。

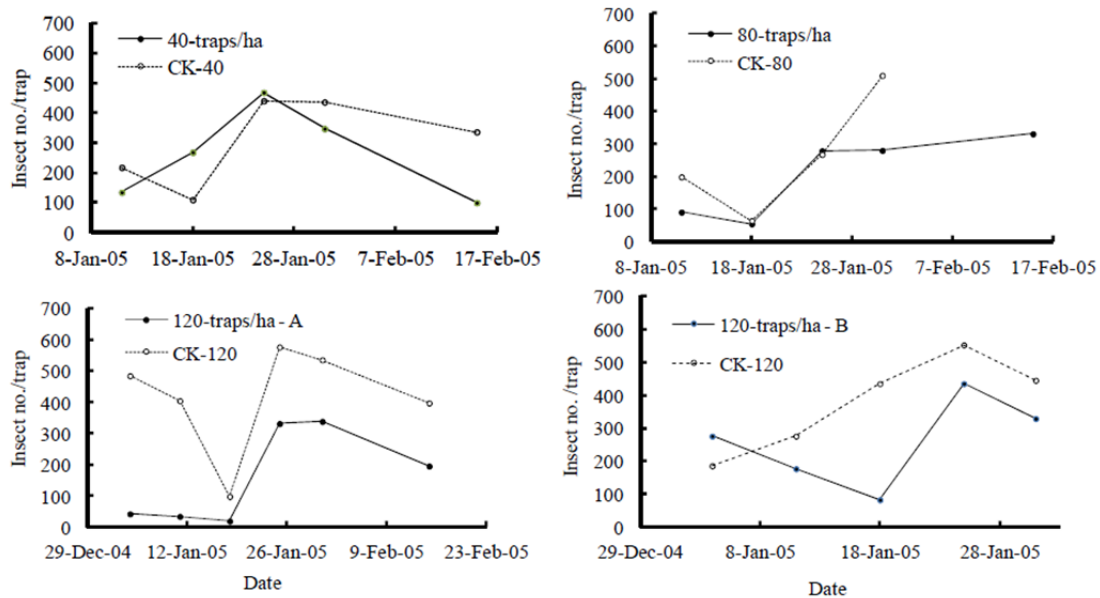
單位面積設置不同數量誘蟲盒誘捕小菜蛾對其族群密度之影響

每公頃花椰菜田設置 40、80 與 120 個等不同數量性費洛蒙誘蟲盒誘捕小菜蛾對其族群密度之影響，如圖三。結果顯示四區花椰菜田分別設置 40、80 及 120 個兩區等不同數量性費洛蒙誘蟲盒誘捕小菜蛾，分別經 5、5、6 與 3 周總誘捕蟲數分別為 20230、26634、25460 與 14706 隻小菜蛾雄成蟲，經換算 0.1 ha 每周平均總誘捕蟲數分別約為 1618、2663、4243 與 2451 隻。經以性費洛蒙誘蟲盒分別監測其小菜蛾發生情形，處理 40、80、120A 與 120B 等之小菜蛾族群密度，分別均顯著低於其對照區小菜蛾的族群密度 (40: $t_9 = -4.14$, $p < 0.01$; 80: $t_8 = -2.64$, $p < 0.05$; 120A: $t_{11} = -3.20$, $p < 0.01$; 120B: $t_9 = -4.72$, $p < 0.01$)。處理 40 與其對照區小菜蛾的族群密度，分別為 99~468 insects/trap 與 109~440 insects/trap；處理 80 與其對照區小菜蛾的族群密度，分別為 54~330 insects/trap 與 64~509 insects/trap。處理 120A、120B 之小菜蛾的族群密度均低於其對照區，分別為 120A: 19~338 insects/trap 低於其對照區 98~576 insects/trap；120B: 83~435

insects/trap 低於其對照區 186~552 insects/trap (圖三)。由統計分析顯示處理 40、80、120A 與 120B 等之小菜蛾族群密度分別顯著低於其對照區，由圖三監測趨勢線顯示各處理之對照區小菜蛾族群密度與處理 40、80、120A 與 120B 之差異，分別達 44.4 ± 147.6 、 84.25 ± 110.1 、 255.8 ± 130.7 、 171 ± 120.9 ；以處理 120A 與 120B 的監測趨勢線與對照區者分得較開。

花椰菜田利用性費洛蒙大量誘殺綜合防治小菜蛾之效果評估

2007 年彰化縣田尾鄉花椰菜田，利用性費洛蒙大量誘殺綜合防治小菜蛾評估結果如圖四、五。大量誘殺區、對照區之小菜蛾族群密度如圖四。從種植至花椰菜開始採收，第一區大量誘殺區、對照區之小菜蛾族群密度，分別為 0.8~12.5 insects/trap 與 1.3~7.5 insects/trap；第二區大量誘殺區、對照區之小菜蛾族群密度，分別為 3.3~10.3 insects/trap 與 24~69.8 insects/trap；第三區大量誘殺區、對照區之小菜蛾族群密度，分別為 3~35.3 insects/trap 與 21.8~55 insects/trap，顯示大量誘殺區小菜蛾族群密度較低於對照區。而開始採收時，即挪走大量誘殺誘蟲盒，於第一、二、三區分別經 7、14、14 日，大量誘殺處理區之小菜蛾族群密度分別升高與對照區者，第一區：相當 (9 與 8.8 insects /trap)；第二區：較高 (108.5 與 60 insects /trap)；第三區：較高 (34 與 15.5 insects /trap)。



圖三 2004 年在彰化縣埔鹽鄉每公頃花椰菜田設置不同數量性費洛蒙誘蟲器誘殺小菜蛾對其族群密度之影響。
Fig. 3. Influence of number of traps per hectare on DBM population density in the cauliflower fields of Puyan, Changhua County, Taiwan, in 2004.

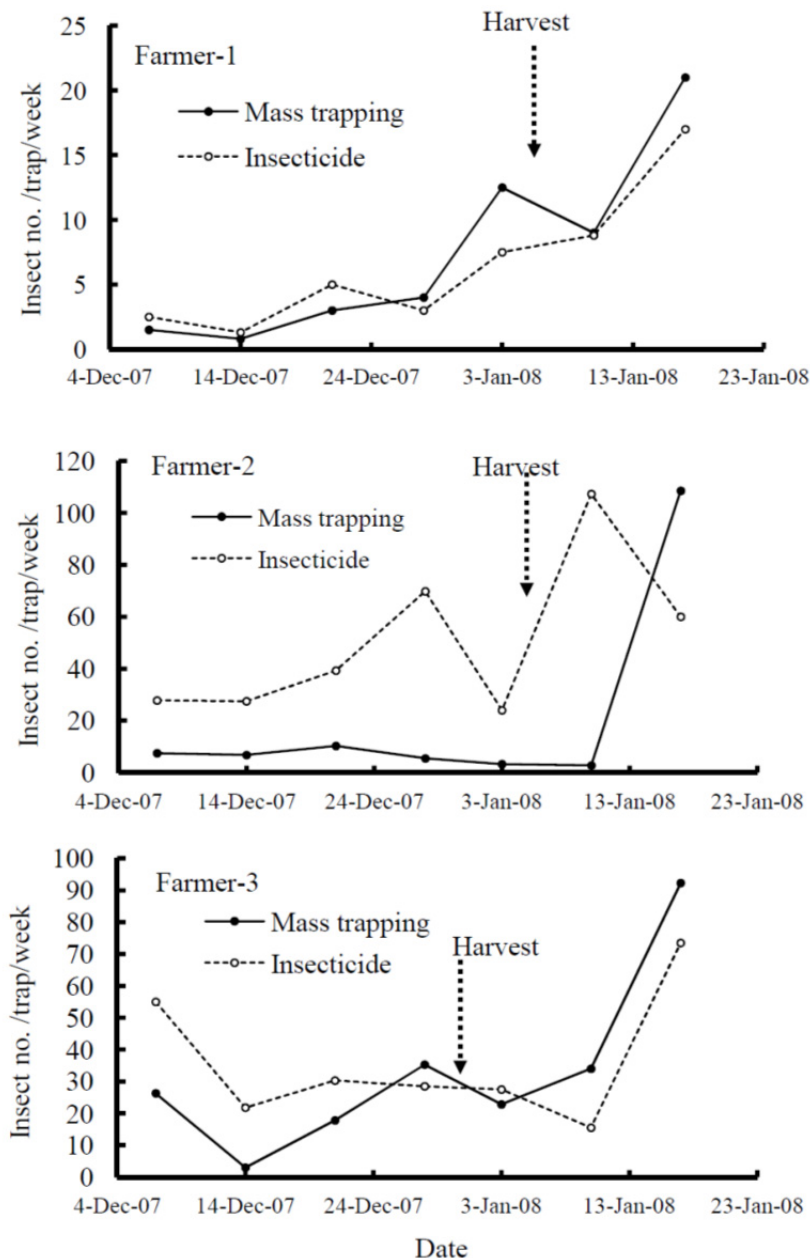
至於其防治效果，於採收時調查小菜蛾的危害情形如圖五。三區大量誘殺區花椰菜葉的危害率均低於其對照區，經統計分析顯示僅第三區具有顯著性差異；而第一區與第二區之大量誘殺處理區與對照區之花椰菜葉危害率不具顯著性差異。大量誘殺區與對照區之花椰菜葉危害率，第一區分別為 2.4 ± 4.5 與 $2.8 \pm 3.8\%$ ($t_{51} = -0.6138, p > 0.05$)。第二區分別為 5.5 ± 6.0 與 $6.7 \pm 7.9\%$ ($t_{57} = -0.2891, p > 0.05$)。第三區分別為 3.2 ± 3.8 與 $8.9 \pm 9.4\%$ ($t_{69} = -2.8636, p < 0.01$)。三區的花椰菜葉危害率平均，於大量誘殺區為 $3.7 \pm 1.7\%$ ，顯著低於對照區 $6.1 \pm 3.1\%$ ($t_5 = 471.5370, p < 0.01$)。於大量誘殺區之三區試驗田花椰菜葉的危害率分別為 6.7、31 與 24%，均較對照區之三區試驗田為 13、36.7 與 38.1% 為低；於大量誘殺區平均危害率 $20.6 \pm 12.5\%$ ，顯著低於對照區 $29.3 \pm 14.1\%$ ($t_5 = 478.2698, p < 0.01$)。由此顯示每 8 m 設置一個性費洛蒙誘蟲器大量誘殺小菜蛾，可降低小菜蛾對花椰菜的危害。

討 論

本研究先探討小菜蛾性費洛蒙誘引距離、單位面積設置不同數量誘蟲器對小菜蛾族群密度的影響，進而評估在花椰菜田大量誘殺小菜蛾的防治效果。結果顯示在花椰菜田邊的性費洛蒙誘蟲器其誘捕蟲數 54.9 隻，顯著高於設置於距花椰菜田邊 5~15 m

者 2.3~4.4 隻，此顯示小菜蛾性費洛蒙誘餌的有效距離應小於 5 m。而性費洛蒙誘蟲器在距花椰菜田、甘藍菜田 20~57.3 m 處，亦誘捕到小菜蛾其蟲數稍高於處理 5~15 m 者；處理 20 m 靠路邊、處理 38 m 靠牆邊，處理 42.1 與 57.3 m 在水稻田中，惟較靠近牆邊。因此，可能係由牆外或臨路的小菜蛾飛進來，或小菜蛾跳飛及棲息於水稻植株上，值得探討。單位面積設置不同數量誘蟲器對小菜蛾之族群密度影響，顯示每公頃設置 40、80 與 120 個性費洛蒙誘蟲器誘捕小菜蛾，顯著降低小菜蛾的族群密度。其中以每公頃設置 120 個性費洛蒙誘蟲器處理者，即約 9 m 設置一個性費洛蒙誘蟲器，小菜蛾的族群密度降的幅度較大。Lee *et al.* (1995) 以標示雄蟲進行性費洛蒙有效距離試驗，顯示小菜蛾性費洛蒙誘餌的有效距離為 4 m。Wang *et al.* (2004a) 於甘藍田或大頭菜田使用濕式誘蟲器大量誘殺小菜蛾，每 10 m 設置一個性費洛蒙誘蟲器，有效降低田間小菜蛾幼蟲的密度。

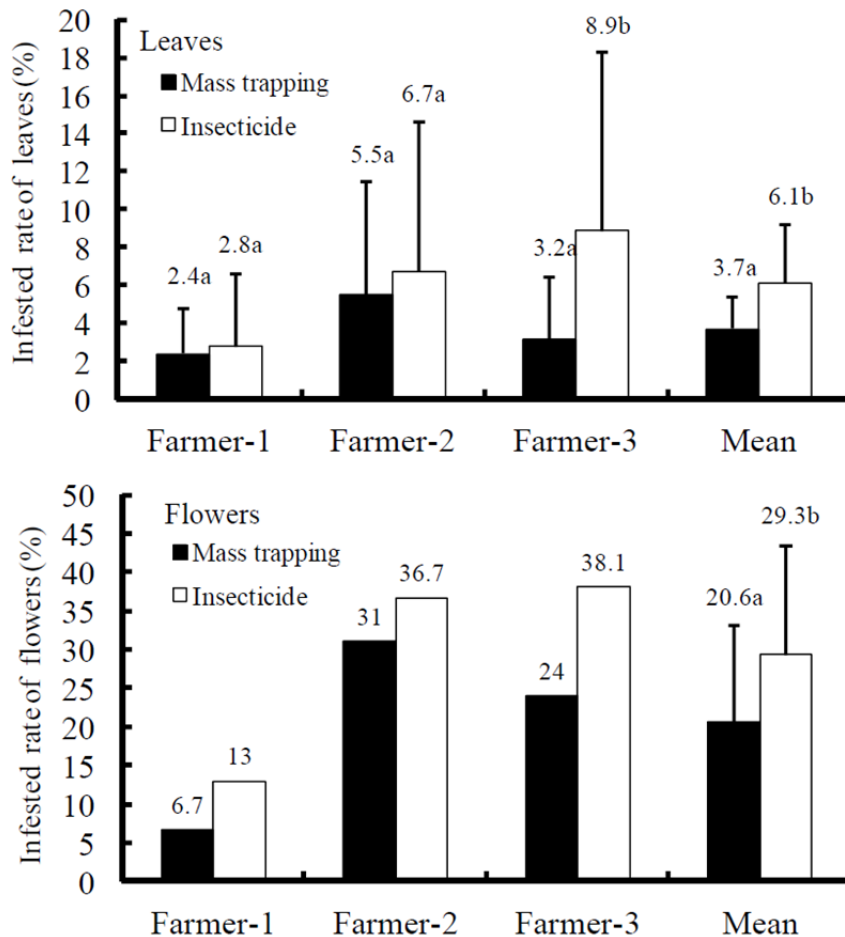
利用性費洛蒙大量誘殺綜合防治花椰菜田小菜蛾，2007 年於彰化縣田尾鄉花椰菜田進行試驗，參考 Lee *et al.* (1995) 小菜蛾性費洛蒙有效距離，每 8 m 設置一個性費洛蒙誘蟲器，可降低小菜蛾的族群密度。檢視採收期的花椰菜上的花與葉子上小菜蛾之危害率，三區大量誘殺區之花椰菜葉之小菜蛾危害率，均低於對照區（圖五）。三區大量誘殺區與對照區之花椰菜葉之危害率，分別為 6.7 與 13%、



圖四 2007 年彰化縣田尾鄉花椰菜田利用性費洛蒙大量誘殺小菜蛾族群密度發生情形。
 Fig. 4. Population dynamics of DBM in cauliflower fields treated with the mass trapping of DBM baited with sex pheromone at Tianwei, Changhua County, Taiwan, in 2007.

31 與 36.7%、24 與 38.1%，大量誘殺區花椰菜花之危害率均低於對照區。由此，於花椰菜慣行藥劑防治區導入利用性費洛蒙大量誘殺小菜蛾，可降低其危害，並提升花椰菜品質約達 8.7%。另若施放面積再增加，當可再降低小菜蛾的族群密度，達農藥減量的目標。Reddy and Urs (1997) 於 1989 年 4 至 6 月於三區甘藍菜田進行大量誘殺試驗。試驗時，將含有小菜蛾性費洛蒙誘餌之 δ 黏膠式誘蟲器，懸掛於甘藍菜生長點上方約 30 cm 處，其高度隨作物生長而調整，約每 10 m 設置一個誘蟲器，結果顯

示費洛蒙處理區 60 株蟲孔數少於對照區，其產量顯著較對照區者為高。Wang *et al.* (2004b) 在湖北高海拔地區甘藍田，使用小菜蛾性費洛蒙誘餌進行大量誘殺法綜合防治小菜蛾，每 10 m 設置一個性費洛蒙濕式誘蟲器，結果顯示甘藍田的農藥使用可減少 3~5 次，並降低下一代小菜蛾的幼蟲密度。由本研究結果及國外文獻，小菜蛾性費洛蒙的有效距離一般在 4~5 m。因此，田間約每 8~10 m 設置一個性費洛蒙誘蟲器，大量誘殺小菜蛾，可降低小菜蛾成蟲的族群密度，進而降低小菜蛾下一代的幼蟲密度，



圖五 2007 年彰化縣田尾鄉利用性費洛蒙大量誘殺綜合防治花椰菜小菜蛾之效果評估。

Fig. 5. Effects of mass trapping of DBM baited with sex pheromone in the cauliflower fields of Tianwei, Changhua County, Taiwan, in 2007. Error bars represent the standard errors of the means. Means within the same group marked with the same letter are not significantly different, as determined by t test ($p < 0.01$).

降低小菜蛾的為害率，提升產量，及減少農藥施用的次數。

誌 謝

本研究承本所科技計畫 98 農科-9.2.3-藥-P1、99 農科-9.2.2-藥-P1 經費補助。試驗期間承彰化縣田尾鄉農會協助租田事宜。彰化縣埔鹽鄉農民昌龍川、田尾鄉林昭偉先生協助誘蟲試驗，本所李慧玉及洪玉枝小姐協助誘蟲器製作及田間試驗等，英文摘要承嘉義大學蕭文鳳教授斧正，謹此誌謝忱。

引用文獻

Ando T, Koshihara T, Yamada H, Vu MH, Takahashi N, Tamaki Y. 1979. Electroantennogram activities of sex

pheromone analogues and their synergistic effect on diamondback moth in the field attraction. *Appl Entomol Zool* 14: 362-364.

Baker PB, Shelton AM, Andale JT. 1982. Monitoring of diamondback moth (*Lepidoptera: Plutellidae*) in cabbage with pheromones. *J Econ Entomol* 75: 1025-1028.

Chisholm MD, Underhill EW, Steck WF. 1979. Field trapping of the diamondback moth (*Lepidoptera: Plutellidae*) using synthetic sex attractants. *Environ Entomol* 8: 516-518.

Chisholm MD, Steck WF, Underhill EW, Palaniswamy P. 1983. Field trapping of diamondback moth *Plutella xylostella* using an improved four-component sex attractant

blend. *J Chem Ecol* 9: 113-119.

- Chow YS, Lin YM, Hsu CL.** 1977. Sex pheromone of the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Bull Inst Zool Acad Sin* 16: 99-105.
- Deng JY, Du JW.** 2002. Studies on *Plutella xylostella* sex pheromone formulation. In *The Collection of the Fourth Chemical Ecology Proseminar in China*. Kunming Technology Publishing House, Kunming, pp. 20-30. (in Chinese)
- Fujiyoshi N, Miyashita K, Kawasaki K.** 1979. Mating inhibition in the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), (Lepidoptera: Plutellidae) with its synthetic sex pheromone. *Jap J Appl Entomol Zool* 23: 235-239 (in Japanese with English summary).
- Hung CC, Wang WL, Wu CY, Chang CH.** 2011. Sex pheromone lure of diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) and its field application. Abstracts of Biological Control Conference of Both Sides of the Straits, p. 166-167, edited by Taiwan Institute of Economic Research, Taipei. (in Chinese)
- Koshihara T, Yamada H.** 1980. Attractant activity of the female sex pheromone of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), and analogues. *Jap J Appl Entomol Zool* 24: 6-12. (in Japanese with English summary)
- Koshihara T, Yamada H, Tamaki Y, Ando T.** 1978. Field attraction of the synthetic sex pheromone of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.). *Appl Entomol Zool* 13: 138-141.
- Lee ST, Chu YI, Talekar NS.** 1995. The mating behavior of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Chinese J Entomol* 15: 81-89.
- Lu FM, Lee HS.** 1984. Observations of the life history and diamondback moth *Plutella xylostella* (L.) in whole year. *J Agric Res China* 33: 424-430. (in Chinese)
- Maa CJW, Lin YM, Chow YS.** 1984. Population variations in male response to female sex pheromone of *Plutella xylostella* (L.) in northern Taiwan. *Plant Prot Bull Taiwan* 26: 249-255.
- Mclaughlin JR, Mitchell ER, Kirsch PA.** 1994. Mating disruption of DBM in cabbage: reduction of mating and suppression of larval populations. *J Econ Entomol* 97: 1198-1204.
- Miluch CE, Dossall LM, Evenden ML.** 2013. The potential for pheromone-based monitoring to predict larval populations of diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), in canola (*Brassica napus* L.). *Crop Prot* 45: 89-97.
- Nofemela RS.** 2010. The ability of synthetic sex pheromone traps to forecast *Plutella xylostella* infestations depends on survival of immature stages. *Entomol Exp Appl* 136: 281-289.
- Reddy GVP, Guerrero A.** 2000. Pheromone based integrated pest management to control the diamondback moth *Plutella xylostella* in cabbage fields. *Pest Manag Sci* 56: 882-888.
- Reddy GVP, Guerrero A.** 2001. Optimum timing of insecticide applications against diamondback moth *Plutella xylostella* in cole crops using threshold catches in sex pheromone traps. *Pest Manag Sci* 57: 90-94.
- Reddy GVP, Urs KCD.** 1997. Mass trapping of diamondback moth *Plutella xylostella* in cabbage fields using synthetic sex pheromone. *Int Pest Cont* 39: 125-126.
- Ronald T.** 1997. Relationship between the number of males captured by sex pheromone traps and wild population density in the field. *J Entomol Sci* 22: 120-137.
- Shelton AM, Wyman JA, Cushing NL, Apfelbeck K, Dennehy TJ, Mahr SER, Eigenbrode SD.** 1993. Insecticide resistance of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) in North America. *J Econ Entomol* 86: 11-19.

- Shirai Y, Nakamura A.** 1995. Relationship between the numbers of wild males captured by sex pheromone trap and the population density estimated from a mark-recapture study in the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). *Appl Entomol Zool* 30: 543-549.
- Tabashnik BE, Cushing NL, Johnson MW.** 1990. Field development of resistance to *Bacillus thuringiensis* in diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *J Econ Entomol* 83: 1671-1676.
- Tamaki Y, Kawasaki K, Yamada H, Koshihara T, Osaki N, Ando T, Yoshida S, Kakinohana H.** 1977. (Z)-11-hexadecenal and (Z)-11-hexadecenyl acetates: sex-pheromone components of the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). *Appl Entomol Zool* 12: 208-210.
- Wang XP, Zhang ZN.** 2008. Control effect on diamondback moth, *Plutella xylostella*, with sex pheromone by mating disruption in cabbage field at high mountain. *Plant Protection* 34: 110-113.
- Wang XP, Le VT, Fang YL, Zhang ZN.** 2004a. Trap effect on the capture of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) with sex pheromone lures in cabbage fields in Vietnam. *Appl Entomol Zool* 39: 303-309.
- Wang XP, Zhang ZN, Lei CL, Zhao YC, Wu DX.** 2004b. Mass trapping and control efficacy on the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) with synthetic sex pheromone lures at high altitudes in Hubei. *Acta Entomol Sinica* 47: 135-140.
- Zalucki MP, Shabbir A, Silva R, Adamson D, Liu SS, Furlong MJ.** 2012. Estimating the economic cost of one of the world's major insect pests, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae): just how long is a piece of string? *J Econ Entomol* 105: 1115-1129.
- Zhao HL, You MS.** 2001. Advances in research on the insecticide resistance of diamondback moth *Plutella xylostella* (L.) and its management. *Entomol J East China* 10: 82-88. (in Chinese with English summary)
- Zhao JZ, Li YX, Collins HL, Gusukuma-Minuto L, Mau RF, Thompson GD, Shelto AM.** 2002. Monitoring and characterization of diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae) resistance to spinosad. *J Econ Entomol* 95: 430-436.

Evaluation of Integrated Management with Sex Pheromone for Mass Trapping of the Diamondback Moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae), in the Cauliflower Fields of Taiwan

Chau-Chin Hung*, Wen-Lung Wang, Cho-Yi Wu, Chih-Hung Chang, and Mu-Wei Chang

Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substances Research Institute, COA, EY, Taichung, Taiwan

* Corresponding email: hccjane@tactri.gov.tw

Received: 19 January 2017

Accepted: 10 September 2017

Available online: 16 October 2017

ABSTRACT

The present study was conducted to investigate the setting distance of *Plutella xylostella* (diamondback moth, DBM) sex pheromone traps in fields and its control effect on DBM mass trapping in the cauliflower and cabbage fields of Wufeng, Taichung County, and Puyan and Tianwei, Changhua County, Taiwan, from 2004 to 2007. The results indicated that the number of DBM caught in traps decreased significantly when the traps were set in the non-host pineapple field, 5 m away from the cauliflower field. When the number of wing sticky traps baited with DBM sex pheromone was set as 40, 80, and 120 traps/ha in the cauliflower fields, the population densities of DBM decreased significantly, particularly for the 120-traps/ha treatment. In the 2007 field trial, the leaf and flower infestation rates of the harvested cauliflowers in the field set at 8-m intervals for DBM mass trapping were 3.7% and 20.6%, respectively. These rates were significantly lower than those in the regular insecticide application plots (considered as reference; 6.1% and 29.3%, respectively).

Key words: Diamondback moth, *Plutella xylostella*, mass trapping, sex pheromone, cauliflower