因應農藥減量政策之果實蠅防治策略

陳健忠[1]

[1.] 農業試驗所應用動物組。台中市霧峰區。臺灣。

摘　　要

東方果實蠅 (*Bactrocera dorsalis*) 及瓜實蠅 (*Zeugodacus cucurbitae*) 是臺灣最常見的兩種果實蠅，前者為害許多重要經濟果樹，後者則為瓜類作物的重要害蟲。兩者的生活史、行為及環境適應性相似，防治方法亦相同，包括噴施藥劑、毒餌誘殺、大量滅雄、釋放不孕性雄蟲、生物防治、使用產卵忌避劑、果實套袋、網室栽培、田間衛生等。這些防治法中，噴施藥劑、餌劑誘殺及滅雄法都須使用農藥，其中又以經常性全園噴施的農藥用量最多。監測田間族群密度與抗藥性的發生情形，掌握防治時機並進行抗藥性管理，以提升農藥的防治效率，進而降低農藥使用量，是化學防治的重要課題。果實蠅的活動性高且具有強大的飛行能力，施用餌劑加以誘殺通常為較有效率的防治方法，且農藥用量少並可避免傷及天敵。加強非農藥防治技術的研究，以及應用害蟲綜合管理策略，可以提升整體防治效果，同時減少農藥的使用，達到農藥減量的目標。

關鍵詞：果實蠅、害蟲綜合防治、農藥減量

緒　　言

農藥可以防治病蟲害，減少作物損失，提升農產品產量與品質，為作物生產不可或缺的工具，預估至2020年全球農藥用量會增加到350萬噸(55)。施用農藥常亦導致害蟲產生抗藥性，傷害非標的生物如蜜蜂、天敵、野生動物、土壤微生物等，污染空氣、水源、土壤並進入食物鏈，破壞整體生態環境，乃至威脅吾人的健康(41)，因此在害蟲綜合管理體系中，減少農藥的使用已是全球趨勢。果實蠅產卵於果實內，孵化的幼蟲在果實內取食為害，使其失去商品價值。針對被害果施以藥劑防

治已無經濟效益，並且可能會引發果實的農藥殘留問題，因此一般並不採行這種防治措施[38]。幼蟲發育成熟後會離開果實進入土中化蛹，羽化出的成蟲成為防治的主要對象。果實蠅飛行力強，為了取食、交尾、產卵常在不同棲所間遷移活動，一般採用毒餌誘殺、滅雄或釋放不孕性蠅的方式防治，使用的農藥量相對於全株噴施的用藥方式為少。在果實蠅密度經常維持較高或結果期被害風險高時，噴施農藥可以快速防止成蟲產卵擴大損害，因此也是必要的選擇[13,37]，目前政府也推薦8種農藥用於瓜、果園中噴施或添加於誘餌中防治東方果實蠅及瓜實蠅[10]。

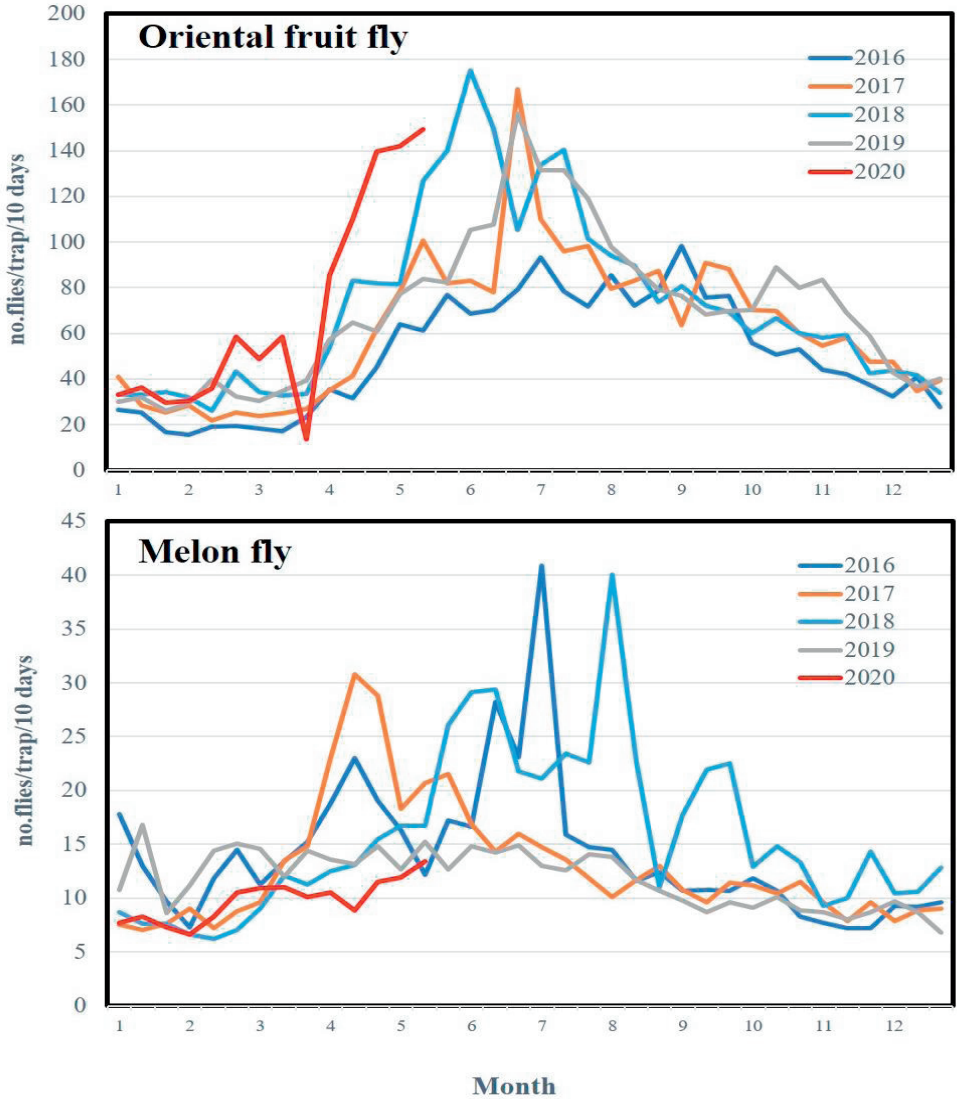
果實蠅為世界各國關切的重要害蟲，雖然每個地區發生的種類不同，使用的防治方法包括藥劑直接噴施、毒餌誘殺、大量滅雄、不孕性雄蟲技術、生物防治、產卵忌避、果實套袋與網室栽培、田間衛生等，單獨運用或數種方法搭配進行綜合防治。其中有些方法使用農藥做為防治資材，若以農藥減量為考量，篩選更安全有效的農藥並提升非農藥防治法的效能，才能達到減少農藥用量又能發揮植物保護作用的目標。

果實蠅族群密度監測

臺灣發生的果實蠅最常見的種類為東方果實蠅 (*Bactrocera dorsalis*) 及瓜實蠅 (*Zeugodacus cucurbitae*)，此外南瓜實蠅 (*B. tau*) 也常在部份地區出現。監測果實蠅族群密度最主要的目的為：1. 果實蠅於特定地區開始出現的時間與數量，2. 界定其擴散或遷移情形，3. 決定有效的防治方法，4. 依族群變動消長情形訂定防治策略[29]。彙整農業試驗所近五年來監測臺灣地區蔬果害蟲東方果實蠅及瓜實蠅發生旬報[11]，顯示兩者終年發生，每年的族群變動情形大致類似，每年都有一些高峰出現，只是出現的時間略有不同，一年中發生密度較高的時期主要分布在氣溫高的月份 (圖一)。調查資料也顯示每旬高峰發生的地區也會變動，通常會與季節性水果產量有關聯[4]。低點常出現在氣溫較低的月分，但對冬季生產的水果如柑桔、蓮霧、釋迦、蜜棗、甜柿、洋香瓜等仍然造成很大的威脅。低溫、高雨量或連續降雨是壓低果實蠅密度的因子[9]。

全世界東方果實蠅分布於73個國家，其中包括臺灣的17國被列為廣泛分布 (widespread)；瓜實蠅分布於59個國家，臺灣為5個列為廣泛分布的國家之一[14,15]。廣泛分布的狀態，通常也代表果實蠅的發生頻度高與疫情相對較嚴重。分析臺灣果實蠅猖獗的原因，顯示瓜果種類多、果樹育種趨勢 (高產、果大、皮薄、高糖

度等)、新興果樹栽培使寄主更趨多元、氣候暖化、產期調節等外在環境均利於果實蠅繁衍[6]，有助於維持田間高密度的族群。政府以誘引距離遠的雄蟲誘引劑監測大區域果實蠅的發生趨勢，農民果園的面積小，園內果實蠅的密度常受鄰田或附近環境影響，必須注重雌蟲的調查。同一鄉鎮不同瓜園的瓜實蠅密度差異可達數十倍 (陳健忠等，未發表資料)，因此各項防治措施均應依照田間密度掌握防治時機，選用適當的方法，配合作物的生長期調整防治策略，才能發揮綜合防治效果，減少農藥的施用。



圖一、近五年全國東方果實蠅及瓜實蠅田間族群密度變化。
Fig. 1. Population dynamics of the oriental fruit fly and the melon fly in the recent five years.

防治策略與資材應用

果實蠅具有寄主眾多，繁殖迅速，分散力強等生物特性[20,53,54]，加上適合的氣候條件，已持續嚴重威脅臺灣蔬果生產數十年。一般防治果實蠅的方法有：1. 噴施農藥化學防治，2. 點噴食物誘餌誘殺雌蟲，3. 以雄性誘引劑大量滅雄，4. 果實套袋或網室隔離，5. 利用寄生蜂生物防治，6. 大量釋放不孕性雄蟲技術，7. 保持田間衛生降低蟲源。實務上常同時併用2種以上的防治方法，進行害蟲綜合管理(IPM)[34]，通常不建議單獨使用農藥來防治果實蠅[38]。這些防治方法依其防治機制及使用情形歸納如下：

(一) 是否使用農藥

前述第1-3項防治法使用的資材為農藥或含有農藥，第4-7項為非農藥防治法。

(二) 農藥的使用量

噴施農藥防治東方果實蠅時，藥液需充分覆蓋植株，通常視果實種類在6或8分熟時，或在果實套袋前開始噴藥，每週施藥1次[10]。點噴含毒蛋白質食物誘餌時，藥液點狀施用於果園內外植株或固定設施，每7天1次。全株全園噴施的防治方式農藥使用量多，點噴則用量相對較少。施用含毒甲基丁香油或克蠅誘殺雄蟲時，多以載體吸附並搭配誘蟲器使用，前者每公頃4-6個陷阱，後者每公頃10-20個，單位面積農藥的使用量也不多。

(三) 使用成效與田間果實蠅密度高低之關聯

第1項的化學防治與第4項的物理阻隔防蟲的方法如果執行確實，其防治效果與果實蠅發生密度之關聯性較低，換言之，防治效果穩定可靠，在果實蠅密度高的環境適合使用。其餘各項防治法通常隨果實蠅密度升高而效果遞減，需投入更多的防治成本才能收效，在果實蠅密度低時較適用。因此，施用與果實蠅密度有關的防治方法需依地區、作物種類、栽培模式、防治時機、成本等項目，妥善評估後選用，才能達到預期的效果。

(四) 各防治法的相容性

當一種害蟲同時施以多種防治法時，需檢視其相容性以避免產生干擾降低防治效果。例如第1項化學防治與2、3、5、6項明顯不相容，不宜同時使用；第2、3項含毒誘餌內的誘引成分可能會吸引寄生蜂或草蛉等天敵取食而中毒；第6項中釋放的雄蟲可能會被第2項的雄蟲誘引劑誘殺。

(五) 防治對象

果實蠅通常在果實開始轉熟時為害，瓜實蠅則在謝花後之幼果即可產卵為害。兩者在應用第1項直接噴施農藥時，需分別考慮安全採收期或授粉期對蜜蜂之毒害；在應用第3項滅雄時，需了解誘殺東方果實蠅雄蟲的甲基丁香油誘殺範圍比克蠅誘殺瓜實蠅大，價格也便宜很多，因此需要考量目標區的大小與防治成本。日本撲滅沖繩地區東方果實蠅就是採用甲基丁香油滅雄，而撲滅全境瓜實蠅則選用第6項的不孕性雄蟲技術[1]。第4項的果實套袋與網室阻絕果實蠅，也需依照作物栽培環境及果實生長期的需求施用。

(六) 區域性施用

第3、5、6項以雄性誘引劑大量滅雄時，其處理範圍必需涵蓋果園外的公共區域或廢棄果園等；釋放寄生蜂及不孕性雄蟲涉及區域性害蟲的管理，執行過程中的天敵與害蟲大量飼養、目標區規劃、施用時機與策略等均需政府單位及相關組織共同輔導。

綜上所述，各種防治法的適用時機與相互搭配需要縝密規劃，才能發揮最大的綜合效果，降低區域內果實蠅的密度並維持在可接受的蟲數之下。提升非農藥防治功效，可避免使用直接噴施農藥的防治方式或減少施藥次數，是大幅減少農藥使用量的關鍵。茲將提升各種防治方法的效能，達到個別或協同農藥減量之可行性與作法，分述如後。

化學防治-直接噴施與蛋白質誘餌

東方果實蠅及瓜實蠅主要分布在印度、巴基斯坦、東南亞及太平洋地區，近年往西擴散至非洲地區數十個國家，目前以東南亞各國及臺灣發生最為嚴重[14,15]。當田間存在高密度的果實蠅時，全株噴施農藥可以迅速明顯的防止成蟲產卵為害果實，但是殘留效果短暫，必須經常施用才能維持保護果實的效力。畢竟果實蠅的活動性強，直接接觸農藥的機會與時間不多，通常不會產生很高的致死率。選用的農藥需為有效的產品，噴施的藥液需均勻涵蓋全株，在其為害前掌握適當的噴藥時機，另外也需搭配其他防治法如餌劑的應用或保持田間衛生等，才能確保施藥的效果。這種處理方法有以下缺點：1. 殺死園中的天敵，2. 不是每種推薦藥劑都具有良好的殘效，3. 施藥後要過安全採收期才能採收，4. 外銷供果園

要符合進口國用藥規定，5. 果實蠅產生抗藥性的問題等，因此僅限於果實蠅密度已達無法忍受的情況下使用[13,37]。當施藥後的藥效逐漸消退後，或果實在成熟後期對果實蠅更具吸引力，果實蠅會嘗試產卵，無論是否在果實上產卵，穿刺造成的產卵孔已對果實產生傷害。

目前臺灣已登記用於直接噴施與添加於誘餌防治果實蠅的藥劑有芬化利、芬殺松、第滅寧、賽扶寧、馬拉松、撲滅松、三氯松及賜諾殺濃餌劑，都是使用數十年的藥劑[10]。在1997-1998的調查顯示馬拉松、撲滅松、三氯松在推薦的濃度下對東方果實蠅已無防治效果[24]。更多的田間抗藥性監測及室內抗藥性篩選，均顯示東方果實蠅對除蟲菊類 (pyrethroids) 的藥劑如推薦藥劑第滅寧、賽扶寧、芬化利，或是其他如賽滅寧、抗生素類的阿巴汀[25,26,32]已經產生抗性。除了用於直接噴施的殺蟲劑外，近年用於取代蛋白質水解物毒餌中有機磷劑的天然殺蟲劑賜諾殺 (spinosad) 也在夏威夷及臺灣果實蠅與瓜實蠅族群出現抗藥性的問題[25,27]。應用餌劑誘殺果實蠅一直是全世界普遍推廣用來防治果實蠅的方法，因其使用的農藥相對較少，且對非標的生物及環境負面影響小。田間瓜實蠅族群對賜諾殺的抗性有增加的情形[27]，但由室內的抗性篩選試驗顯示，尚無與餌劑中常添加的馬拉松、三氯松、芬殺松等有機磷劑出現交互抗性的現象[25]。賜諾殺對於人及哺乳類動物、益蟲毒性低，但對許多農業害蟲具毒性，為具有選擇性的藥劑，應用極為廣泛，為夏威夷自2000年以來果實蠅區域防治主要使用的資材[18,35]。賜諾殺濃餌劑在臺灣亦推薦用於防治東方果實蠅及瓜實蠅，其抗藥性的產生可能影響誘殺果實蠅的效果，需要持續追蹤。賜諾殺的作用機制不同於常用的傳統有機磷、除蟲菊類等藥劑，有必要進行抗藥性管理，以保持其藥效。

面對田間經常存在的高密度果實蠅，施用農藥無法避免，適時適用發揮化學防治的效果，避免例行性的施藥是農藥減量是否成功的關鍵途徑。

滅雄技術

利用誘引劑大量誘殺果實蠅雄蟲，降低田間雌蟲的交尾機會，抑制族群繁衍，為果實蠅防治上行之有年的防治方法，也稱為滅雄技術，例如甲基丁香油誘殺東方果實蠅，克蠅誘殺瓜實蠅等。以東方果實蠅為例，雄蟲在羽化後10天即可交尾[12]，並且可以多次交尾，室內試驗顯示一生平均交尾達50次以上 (黃毓斌等，未發表資料)。雌蟲一生則大部分交尾1或2次，少數達3次，多次交尾的雌蟲產卵數

也較多[42]。針對少量雄蟲就可與多數的雌蟲交尾，以及雌蟲只要交尾一次就可持續讓成熟的卵逐一受精的生物特性，滅雄措施需在短時間內誘殺區域內至少90%以上的雄蟲才能達到降低雌蟲受精產卵繁殖的目的。滅雄目前仍是政府推廣防治果實蠅的主要方法之一，在區域性防治計畫中處理的範圍涵蓋瓜果園、非經濟寄主、廢園及公共區域，技術上著重全面性及持續性[8,51]。根據報告進入果園中的東方果實蠅大部分都是已交尾的雌蠅，主要是為了產卵[17]，因此個別果園使用甲基丁香油大量誘殺雄蟲不一定具有降低雌蟲交尾率的效用，其效益值得進一步評估。本項防治法使用的農藥只用於添加在誘劑成為毒餌，且以陷阱方式施用，一般用量不多。進行區域性防治時，需準確調查田間的族群密度，評估其所能發揮的效果，並且搭配其他防治法，才能適度減少農藥的用量。

果實套袋或網室隔離

果實套袋防止果實蠅為害在臺灣已行之多年，且已推廣應用於大多數的果樹，如番石榴、芒果、蓮霧、楊桃、番荔枝、水蜜桃、梨等。近年隨著栽培技術的改進，網室栽培如木瓜、印度棗、百香果、玉荷包荔枝、瓜類等也日漸普遍。這些物理防治法的應用可以減少農藥的使用，對於提高果品品質也有很大助益，尤其在連續採收的作物及果實蠅密度高的環境，最能發揮綜合效果。

田間衛生

果實蠅產卵在果實內，孵化的幼蟲取食其中並於完成發育後離開果實，約有8-15天的時間存活在果內。被害果如果在幼蟲尚未離開果實前移除可以減少蟲源，因此維護田間衛生是害蟲綜合管理的一環。實際執行時首重時效，也就是愈快將被害果移除愈好，最好能在巡園時就從植株上摘除可以兼得疏果效益。清除地上的落果的效果會隨老熟幼蟲陸續離開而遞減，因此需經常揀拾。幼蟲一般不會在腐熟的落果中化蛹，果內尚未發育完成的幼蟲最終也會死亡，錯過處理時機就已失去清除被害果降低蟲源的目的了。

除了減少果園內的孳生源外，瓜果園鄰近的非經濟寄主植物也與果實蠅的發生有密切關係，事實上園中的果實蠅大部分是由園外侵入，因此田間衛生的範圍

必須擴及這些果實蠅的繁殖或棲息處所，才能發揮最大的效果[5]。田間衛生是從事農耕最基本也是需要經常維持的工作，只是在欠缺勞力的情況下會被忽略。落果嚴重的情形最常發生在管理不善的果園，加強初期的防治工作減少被害果才是解決後續處理落果問題的根本之道。

生物防治

Stibick (2004) 列出東方果實蠅及瓜實蠅的寄生蜂共有75種[45]，其中幼蟲寄生蜂*Diachasmimorpha longicaudatus*、*Psyttalia fletcheri*及卵寄生蜂*Fopius arisanus*曾經引入夏威夷，經繁殖後釋放至田間成功防治果實蠅[19,39,48,52]，成為果實蠅綜合防治中重要的一環[47,49,50]，後來引至其他許多國家都有不錯的成效。這三種寄生蜂都會寄生東方果實蠅及瓜實蠅[45]，在臺灣均有分布[2]，田間也很常見。調查各種寄主作物的被害果，顯示東方果實蠅及瓜實蠅的被寄生情形很普遍，寄生率變異雖然大 (陳健忠等，未發表資料)，但是可以確定田間的寄生蜂對於果實蠅族群具有一定的抑制效能。探討寄生蜂對果實蠅與瓜實蠅的偏好，以及瞭解田間環境影響寄生蜂生物防治效能的因子，將有助於提升這些天敵的應用價值。

這3種寄生蜂在臺灣也有飼養、繁殖及進行研究，但仍缺乏實務上的應用，主要的原因可能是與生產成本高，不容易評估其防治效果，以及果園瓜園經常施藥的環境無法相容等因素有關。大量繁殖寄生蜂然後釋放至田間的防治的模式，在目前看來並不容易被農民接受，但是保育及利用田間的寄生蜂，仍是協助降低農藥使用的策略之一。改變傳統收集被害果挖坑掩埋或裝入黑色塑膠袋曝曬殺死果實蠅幼蟲的作法，而將被害果集中在坑中或堆放在大型箱桶內，罩上網格大小可以阻止羽化的果實蠅飛出，但是容許寄生蜂趨光離開的紗網或鐵網或許是值得一試的方法。

不孕性雄蟲釋放技術

不孕性昆蟲技術 (sterile insect technique, SIT) 是藉由大量釋放人工飼養的不孕雄蟲至田間，與野生雌蟲發生無效的交尾，降低雌蟲的生殖潛能，使其族群快速逐代降低，達到防治或撲滅的目的。臺灣在1975-1984年曾以SIT防治東方果實蠅，後因防治效果不佳、經費不足及相關配套研究不夠等因素而終止[3]。日本則在沖繩縣施以SIT，歷經16年終於1993年撲滅全境的瓜實蠅[1]，但從撲滅到現在時常發現瓜實蠅再入侵，因此小規模的撲滅行動持續進行，以防功虧一簣。由於部分島嶼鄰近臺灣東北角，沖繩縣病害蟲防除技術中心的研究人員認為入侵的瓜實蠅也有可能來自臺灣 (陳健忠，個人通訊)。日方如果能夠利用現有工廠多餘的不孕性瓜實蠅產能，生產不孕雄蠅在宜蘭釋放，一方面可以協助防治宜蘭地區的瓜實蠅，另方面也可建立緩衝區減低日方的疑慮與風險，就如同美國在墨西哥邊境設置的果實蠅緩衝區一樣，或許是台琉双方可以思考的合作議題。

產卵忌避劑

印度楝 (*Azadirachta indica*) 的葉片、種子和樹皮等的萃取物對許多害蟲具有取食、干擾變態、影響生殖和產卵行為的作用[22,30,40,46]，第一個被分離並證實具有忌食效果的成分為印楝素 (azadirachtin)[30]，目前已有以印楝素為主成分的殺蟲劑商品。其他成分如nimbin, salanin, toosendanin等也證實對蘋果果實蠅有產卵忌避效果[7]。印楝素可以抑制土中的東方果實蠅或瓜實蠅羽化[44]，印楝油萃取物對東方果實蠅及瓜實蠅亦有產卵忌避作用[16,43]。最近的報告顯示，黑胡椒 (*Piper nigrum*) 的丙酮萃取物的對東方果實蠅的忌避效果優於印度楝[31]。

作物害蟲的忌避劑只能驅蟲無法直接殺蟲，當忌避效果隨時間而減弱時又會遭致蟲害，尤其當害蟲密度高時，無法成為防止果實被害的防治方法，實際應用會有困難。室內試驗證實果實蠅的忌避物質與誘引物合用可以同時提高兩者之作用而獲得加乘效果[16]。在田間果實蠅的管理上常使用一些食物誘餌誘殺雌蟲，但園中若存有果實時仍會吸引果實蠅產卵為害，降低誘效與防治效果。目前很少有人在園內同時施用誘引劑與植株局部施用忌避劑，但兩者構成的推-拉效應 (push-pull effect) 或許是值得一試的作法。

防止外來檢疫果實蠅入侵

國際農產品貿易及入境旅客在新冠肺炎趨緩後可能會暴增，關口檢疫面臨巨大壓力，外來檢疫果實蠅入侵的風險會增加。以近年東方果實蠅入侵非洲為例[21,23,28,33]，已吸引不少研究人員投入相關研究。Pieterse *et al.* (2020) 報告東方果實蠅入侵南非後未來將對該國的落葉果樹桃、李、梨、蘋果等造成威脅，並與目前產區內的地中海果實蠅比較兩者的族群增長介量，結果顯示東方果實蠅壽命長、淨生殖率 (net reproductive rate) 較高，但是地中海果實蠅的世代短、內在增殖率 (intrinsic rate of increase) 高過東方果實蠅[36]。臺灣沒有地中海果實蠅，這些案例提醒我們要持續重視外來檢疫害蟲的防堵，一旦入侵可能會增加農藥使用量，違背農藥減量的目標。

結論與展望

果實蠅為了取食、交尾、產卵等經常在不同棲所間遷移，這些棲所包括經濟及非經濟寄主，甚至非寄主植物。每天活動頻繁，飛行力強，其生態習性與一般瓜果園內固著生活的害蟲差別甚大，族群管理策略一般著重降低區域內的蟲源數量，再配合餌劑誘殺防止為害，達到防治的目的。這種管理方式所耗用的農藥相對較少，在果實蠅密度低的地區，廣為各國農民所採納。當果實蠅周年發生且常維持在較高密度時，對果實造成損害嚴重常超出所能忍受的範圍，只能定期頻繁的噴佈施藥或採用阻絕方式來因應，降低農藥使用產生的防疫缺口需仰賴提升其他非農藥防治法的成效來填補。

果實蠅靠果實繁殖，其族群增長和變動與田間存在的寄主果實量有很大的關係，也受氣溫的影響。果實高產高糖度的育種取向，新興種類寄主果樹加入，產期調節與全年化栽培，氣候暖化加速害蟲繁殖，產銷失衡價格滑落，都是有利果實蠅猖獗的因素。期望更多研究人員投入相關研究，改善農業生產環境，建立更有效率的果實蠅綜合管理體系，最終達到減少施用農藥的目標。

謝　　辭

承蒙農業試驗所應用動物組黃毓斌博士提供全國果實蠅族群變動資料，謹致謝忱。

引用文獻

1. 未具名。1994。沖繩縣果實蠅根絕紀念誌。沖繩縣農林水產部。349頁。
2. 未具名。2020。臺灣物種名錄。http://taibnet.sinica.edu.tw
3. 石正人、朱耀沂、陳秋男、吳文哲、楊恩誠、許如君、鄭允、陳健忠、高靜華。2009。利用不孕性昆蟲技術防治東方果實蠅可行性評估報告。臺灣昆蟲學會。42頁。
4. 陳秋男、鄭允、黃毓斌、高靜華、蘇文瀛。1996。東方果實蠅族群變動與寄主水果產量之關係。植物保護學會會刊 38: 149-166。
5. 陳健忠。2001。農業防治。應用昆蟲學。國立臺灣大學昆蟲學系出版。p. 165-190。
6. 陳健忠。1996。東方果實蠅猖獗原因分析。農業世界 152: 12-15。
7. 陳健忠、董耀仁、Jang, E. B.、Stark, J. D。1999。數種楝樹成分對蘋果果實蠅之產卵忌避效果。植保會刊 41: 293-300。
8. 黃毓斌、周桃美、江明耀、謝雨蒔、洪裕堂、陳保良、張瑞璋。2013。東方果實蠅整合性管理與防治策略。農業試驗所特刊第172號。112頁。
9. 張桃興、李文蓉。1985。內湖區東方果實蠅族群變動之初步研究。中華昆蟲 5: 89-94。
10. 農業藥物毒物試驗所 2020 植物保護資訊系統。https://otserv2.tactri.gov.tw/PPM/。
11. 農業試驗所。2020。蔬果重要害蟲防疫旬報。https://www.tari.gov.tw/df_ufiles/g/bulletin。
12. Arakaki, N., Kuba, H., and Soemori, H. 1984. Mating behavior of the oriental fruit fly, *Dacus dorsalis* Hendel (Diptera: Tephritidae). Appl. Ent. Zool. 19: 42-51.
13. Broughton, S., and Mccarthy, A. 2018. Controlling Mediterranean fruit fly: cover sprays. https://www.agric.wa.gov.au/medfly/controlling-mediterranean-fruit-fly-cover-sprays.
14. CABI. 2020. *Bactrocera cucurbitae* (Melon fly). http://www.cabi.org/isc/datasgeet/17683.
15. CABI. 2020. *Bactrocera dorsalis* (Oriental fruit fly). http://www.cabi.org/isc/datasgeet/17685.
16. Chen, C. C., Dong, Y. J., Cheng, L. L., and Hou, R. F. 1996. Deterrent effect of neem seed kernel extract on oviposition of the oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae) in guava. J. Econ. Entomol. 89: 462-466.
17. Chen, C. C., Dong, Y. J., Li, C. T., Liu, K. Y., and Cheng, L. L. 2006. Movement of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae), in a guava orchard with special reference to its population changes. Formosan Entomol. 26: 143-159.

18. Chou, M. Y., Haymer, D. S., Feng, H. T., Mau, R.F. L., and Hsu, J. C. 2010. Potential for insecticide resistance in populations of *Bactrocera dorsalis* in Hawaii: spinosad susceptibility and molecular characterization of a gene associated with organophosphate resistance. Entomol. Exp. Appl. 134: 296-303.
19. Duan, J. J., and Messing, R. H. 1997. Effect of two Opiine parasitoids (Hymenoptera: Braconidae) introduced for fruit fly control on a native Hawaiian tephritid, *Trupanea dubautiae* (Diptera: Tephritida). Biol. Control. 8: 177-184.
20. Froerer, K. M., Peck, S. L., Maquate, G. T., Vargas, R. I., Jang, E. B., and Mcinnis, D. O. 2010. Long-distance movement of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) in Puna, Hawaii: how far can they go? Amer. Entomol. 56: 88-95.
21. Goergen, G., Vayssieres, J. F., Gnanvossou, D., and Tindo, M. 2011. *Bactrocera invadens* (Diptera: Tephritidae), a new invasive fruit fly pest for the Afrotropical region: host plant range and distribution in West and Central Africa. Environ. Entomol. 40: 844-854.
22. Grainge, M., and Ahmed, S. 1988. Handbook of plants with pest-control properties. John Wiley & Sons, Inc., New York.
23. Grove, T., De Jager, K., and De Beer, M.S. 2017. Indigenous hosts of economically important fruit fly species (Diptera: Tephritidae) in South Africa. L. J. Appl. Entomol. 141: 817-824.
24. Hsu, J. C., and Feng, H. T. 2000. Insecticide susceptibility of the oriental fruit fly (*Bactrocera dorsalis* (Hendel)) (Diptera: Tephritidae) in Taiwan. Chinese J. Entomol. 20: 109-118.
25. Hsu, J. C., and Feng, H. T. 2006. Development of resistance to spinosad in oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae) in laboratory selection and cross-resistance. J. Econ. Entomol. 99: 931-936.
26. Hsu, J. C., Feng, H. T., and Wu, W. J. 2004. Resistance and synergistic effects of insecticides in *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) in Taiwan. J. Econ. Entomol. 97: 1682-1688.
27. Hsu, J. C., Haymer, D. S., Chou, M. Y., Feng, H. T., Chen, H. H., Huang, Y. B., and Mau, R. F. L. 2012. Monitoring resistance to spinosad in the melon fly (*Bactrocera cucurbitae*) in Hawaii and Taiwan. Sci. World J. doi:10.1100/2012/750576.
28. Hussain, M. A., Haile, A., and Ahmad, T. 2015. Infestation of two tephritid fruit flies, *Bactrocera dorsalis* (syn. *B. invadens*) and *Ceratitis capitata*, in guava fruits from selected regions of Eritrea. Afr. Entomol. 23: 510-513.
29. IAEA. 2013. Trapping Guildelines for Area-Wide Fruit Fly Programmes. IAEA, Vienna, Austria.
30. Jacobson, M. 1989. Focus on phytochemical pesticides. Vol. I, the neem tree. CRC Press, Inc., Boca Raton.

31. Jaleel, W., Wang, D., Lei, Y., Qi, G., Chen, T., Rizvi, S. A. H., Sethuraman, V., He, Y., and Lu, L. 2020. Evaluating the repellent effect of four botanicals against two *Bactrocera* species on mangoes. PeerJ 8: e8537. https://doi.org/10.7717/peerj.8537
32. Jin, T., Zeng, L., Lin, Y., Lu, Y., and Liang, G. 2011. Insecticide resistance of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) (Diptera: Tephritidae) in mainland China. Pest Manag. Sci. 67: 370-376.
33. Lux, S. A., Copeland, R. S., White, I. M., Manrakhan, A., and Billah, M.K. 2003. A new invasive fruit fly species from the *Bactrocera dorsalis* (Hendel) group detected in East Agrica. Insect Sci. Appl. 23: 355-361.
34. Manrakhan, A. 2020. Pre-harvest management of the oriental fruit fly. CAB Rev. 15, No. 003.
35. Pinero, J. C., Mau, R. F. L., and Vargas, R. I. 2009. Managing Oriental fruit fly (Diptera: Tephritidae), with spinosad-based protein bait sprays and sanitation in papaya orchards in Hawaii. J. Econ. Entomol. 102: 1123-1132.
36. Pieterse, W., Manrakhan, A., Terblanche, J. S., and Addison, P. 2020. Comparative demography of *Bactrocera dorsalis* (Hendel) and *Ceratitis capitata* (Wiedemann) (Diptera: Tephritidae) on deciduous fruit. Bull. Entomol. Res. 110: 185-194.
37. Plant Health Australia. 2019. Cover spraying- prevent fruit fly. Department of Agriculture and Food WA. https://preventfruitfly.com.au/cover-spraying/
38. Roessler, Y. 1989. Insecticidal bait and cover sprays. In: Robinson, A. S., Hooper, G., editors. World Crop Pests. Fruit Flies: their Biology, Natural Enemies and Control. Elsevier. p. 329-335.
39. Rousse, P., Harris, E. J., and Quilici, S. 2005. *Fopius arisanus*, an egg-pupal parasitoid of Tephritidae.Overview. Biocontrol News & Info. 26: 59N-69N.
40. Schmutterer, H. 1990. Properties and potential of natural pesticides from the neem tree, *Azadirachta indica*. Annu. Rew. Entomol. 35: 271-297.
41. Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Tanveer, M., Sidhu, G. P. S., Handa, N., Kohli, S. K., Yadav, P., Bali, A., Parihar, R., Dar, O. I., Singh, K., Jasrotia, S., Bakshi, P., Raakrishnan, M., Kumar S., Brardwaj, R., and Thukral, A. K. 2019. Worldwide pesticides usage and its impacts on ecosystem. SN Appl. Sci. 1:1446. https://doi.org/10.1007/s42452-019-1485-1.
42. Shelly, T. 2000. Fecundity of female oriental fruit flies (Diptera: Tephritidae): effects of methyl eugenol-fed and multiple mates. Ann. Entomol. Soc. Am. 93: 559-564.
43. Singh, S., and Singh, R. P. 1998. Neem (*Azadirachta indica*) seed kernel extracts and azadirachtin as oviposition deterrents against the melon fly (*Bactrocera cucurbitae*) and the oriental fruit fly (*Bactrocera dorsalis*). Phytoparasitica. 26: 191-197.
44. Stark, J. D., Vargas, R. I., and Thalman, R. K. 1990. Azadirachtin: effects on metamorphosis, longevity, and reproduction of three tephritid fruit fly species (Diptera: Tephritidae). J. Econ. Entomol. 83: 2168-2174.

45. Stibick, J. N. L. (2004). Natural Enemies of True Fruit Flies (Tephritidae): Classical Biological Control. United States Department of Agriculture, APHIS, Plant Protection and Quarantine. https://www.aphis.usda.gov/import_export/plants/manuals/domestic/downloads/natural_e nemies_fruit_fly.pdf.
46. Subrahmanyam, B. 1990. Azadirachtin- a naturally occurring insect growth regulator. Proc. Indian Acad. Sci. 99: 277-288.
47. Vargas, R. I., Pinero, J. C., and Leblanc, L. 2015. An overview of pest species of *Bactrocera* fruit flies (Diptera: Tephritidae) and the integration of biopesticides with other biological approaches for their management with a focus on the Pacific region. Insects 6: 297-318.
48. Vargas, R. I., Leblanc, L., Putoa, R., and Eitam, A. 2007. Impact of introduction of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) and classical biological control releases of *Fopius arisanus* (Hymenoptera: Braconidae) on economically important fruit flies in French Polynesia. J. Econ. Entomol. 100: 670-679.
49. Vargas, R. L., Leblanc, L., Harris, E. J., and Manoukis, N. C. 2012. Regional suppression of *Bactrocera* fruit flies (Diptera: Tephritidae) in the Pacific through biological control and prospects for future introductions into other areas of the world. Insects 3: 727-742.
50. Vargas, R. I., Mau, R. F. L., Jang, E. B., Faust, R. M., and Wong, L. 2008. The Hawaii fruit fly areawide pest management programme. pp. 300-325. In: Koul, O., Cuperus, G., Elliot, N. (eds) Areawide Pest Management: Theory and Implementation. CABI, UK.
51. Vargas, R. I., Stark, J. D., Kido, M. H., Ketter, H. M., and Whitehand, L. C. 2000. Methyl eugenol and cue-lure traps for suppression of male oriental fruit flies and melon flies (Diptera: Tephritidae) in Hawaii: Effects of lure mixtures and weathering. J. Econ. Entomol. 93: 81-87.
52. Vargas, R. I., Long, J., Miller, N. W., Delate, K., Jackson, C. G., Uchida G. K., Bautista, R. C., and Harris, E. J. 2004. Releases of *Psyttalia fletcheri* (Hymenoptera: Braconidae) and sterile flies to suppress melon fly (Diptera: Tephritidae) in Hawaii. J. Econ. Entomol. 97: 1531-1539.
53. White, I. M., and Elson-Harris, M. M. 1992. Fruit Flies of Economic Significance; their Identification and Bionomics. CAB International, Wallingford, UK, pp. 601.
54. Yang, P., Carey, J. R., and Dowell, R. V. 1994. Temperature influences on the development and demography of *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) in China. Environ. Entomol. 23: 971-974.
55. Zhang, W. 2018. Global pesticide use: profile, trend, cost/benefit and more. Proc. Int. Acad. Ecol. Environ. Sci. 8: 1-27.

ABSTRACT

Fruit Fly Control Strategies Responding to The Insecticide Reduction Policy

Chen, C. C.[1]

[1.] Applied Zoology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung, Taiwan, R.O.C.

The oriental fruit fly (*Bactrocera dorsalis*) and the melon fly (*Zeugodacus cucurbitae*) are the two most common fruit fly species in Taiwan. The former mainly attacks a wide range of economically important fruit trees, and the latter is a very serious pest of cucurbit crops. This two fruit fly species have the similar life cycle, behaviors, and environmental adaptations, therefore same control measures were applied for their controls. The control methods include cover spray of insecticides, bait attract-and-kill, male annihilation, sterile insect technique, biological control, oviposition deterrents, fruit bagging, screenhouse cultivation, field sanitation, etc. Among these methods, cover spray of insecticides, food baits, and male annihilation all involve using of insecticides, while cover spray on the whole tree takes the largest amount of chemicals. To improve the effectiveness of the chemical control thus reducing the amounts of insecticide use, the fruit fly population monitoring as well as managing the insecticide resistance are critical. The fruit flies are very active with strong flying capability, that toxic baits are usually the more efficient means for their control, and which has the advantages of only little amount of insecticides being needed, and nondetrimental to the natural enemies. Furthermore, enhancing the study of non-chemical control techniques and integrating all available control measures to increase the control efficacies will be necessary for reaching the goal of insecticide reduction.

Key words: Fruit fly, Integrated pest management, Insecticide reduction.