

植物病原原核生物其媒介昆蟲整合管理之研究進展

石憲宗^{1,7} 李啓陽¹ 溫育德² 蘇秋竹³ 張淑貞¹ 張宗仁^{4,5} 段淑人⁶ 馮鈞育³

¹ 行政院農業委員會農業試驗所應用動物組

² 國立彰化師範大學生物學系

³ 行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所應用化學組

⁴ 國立中興大學植物病理學系

⁵ 美國喬治亞大學植物病理系

⁶ 國立中興大學昆蟲學系

⁷ 通訊作者 e-mail: htshih@tari.gov.tw

摘要

植物病原原核生物的媒介昆蟲，主要來自葉蟬科、沫蟬總科、飛蝨總科與木蝨總科，此類媒介昆蟲的管理方式，至今仍著重在化學防治，但媒介昆蟲傳播植物病害的速度很快，即便施用化學藥劑也無法阻止病害的發生。爲了有效降低媒介昆蟲族群密度及病害傳播，發展蟲媒病害與媒介昆蟲的整合管理技術有其必要，爲此本文回顧與討論媒介昆蟲的整合管理，包括化學防治（如輪用不同殺蟲作用機制的殺蟲劑）、生物防治（如生物天敵與微生物防治）、物理防治（如油劑、高嶺土、昆蟲阻隔網、可吸收紫外光塑膠布與黃色黏蟲紙等）與耕作防治措施等。

關鍵詞：植物病原原核生物、媒介昆蟲、整合管理技術、高嶺土、微生物防治

前言

能夠感染植物，並使植物生病的原核生物，稱爲植物病原原核生物 (plant pathogenic prokaryote)，其中可藉由昆蟲傳播者，則稱之爲蟲媒植物病原原核生物，包括：(1) 棲息於寄主維管束木質部組織的侷限導管細菌 (xylem-limited bacteria, 簡稱 XLB)，如 *Xyllela fastidiosa* (Wells *et al.*, 1987; Purcell & Hopkins, 1996) 與 *Ralstonia syzygii* (*Pseudomonas syzygii* 爲其同物異名 (synonym)) (Balfas *et al.*, 1991; Denny, 2006); (2) 棲息於寄主維管束韌皮部組織的侷限篩管原核生物 (phloem-limited plant pathogenic prokaryotes)，如螺旋菌質體 (spiroplasma) (Whitcomb, 1981; Markham, 1983)、植物菌質體 (phytoplasma) (Weintraub & Beanland, 2006) 與黃龍病菌 (*Candidatus Liberibacter spp.*) (Hung *et al.*, 2004; Gottwald, 2010)。由於這些蟲媒植物病原原核生物至今仍無法使用一般培養基予以培養 (in vitro)、甚至也無法以特殊培養基予以培養，因此也稱之爲「難以培養的植物病原原核生物 (phytopathogenic fastidious prokaryotes)」。

上述這類蟲媒原核生物所引起的植物病害，至今仍無有效的化學藥劑可資防治，因此其防治重點首重媒介昆蟲的防治，其他尚有剷除罹病株與栽培健康種苗。

在媒介昆蟲的防治部份，基本上仍以化學防治為主軸，其他如抗蟲育種、設施栽培、運用捕食性或寄生性昆蟲天敵防治等方法，仍有諸多問題。事實上，擬定蟲媒病害整合防治策略的過程，需考量病原、媒介昆蟲、寄主範圍與環境等因子之間的相互關係，然後採用多管齊下的方式防治此類病蟲害，以降低經濟損失。

有鑑於此，本文回顧全球此類病原媒介昆蟲之重要研究報告，從媒介昆蟲的生物學特性（取食習性、寄主範圍、特殊行爲、飛行能力、營養條件）、地理分布、氣候因素、寄主植物栽培管理措施等層面，從中探討已被運用或未來可運用在媒介昆蟲防治管理的相關研究進展，以建立可適用於台灣的植物病原原核生物其媒介昆蟲的防治策略。除此，本文也將高嶺土 (kaolin) 與微生物防治等資材運用於葉蟬防治的潛力，予以精要說明，以作為擬定蟲媒病害媒介昆蟲防治政策或研究方向的參考依據。

蟲媒植物病原原核生物感染植物的途徑

由昆蟲所傳播之植物病原原核生物，除了可透過媒介昆蟲將其傳播至健康植株之外，其感染植物的途徑尚包括：(1) 使用已被侷限導管細菌、植物菌質體以及黃龍病菌感染的植物組織，作為嫁接或無性繁殖的材料；(2) 菟絲子 (*dodder*, *Cuscuta* spp.) 可將植物菌質體自感染植株傳至健康植株；(3) 由於植物種子未具韌皮部篩管細胞，因此學者認為植物菌質體透過種子傳播的機會微乎其微，但 Cordoval *et al.* (2003) 從 4 株已感染椰子致死性黃化病菌質體 (Lethal yellowing phytoplasmas) 的椰子樹上，採集 72 個果胚進行分子偵測，其中 13 個果胚被檢出具有病原分子序列，此結果顯示菌質體有可能透過種子傳播。

媒介昆蟲取食習性與傳播病原特性

昆蟲綱各目當中，具有傳播植物原核生物性病害潛力者，僅有植食性 (phytophagous) 的半翅目昆蟲 (hemipteran insects)，其中已被證實可傳播此類病原的媒介昆蟲 (vectors)，依其所屬分類地位，可歸納為蟬亞目 (Cicadomorpha) (如葉蟬科 (Cicadellidae)、尖胸沫蟬科 (Aphrophoridae)、鈎沫蟬科 (Clastopteridae) 與巢沫蟬科 (Machaerotidae))、蠟蟬亞目 (Fulgoromorpha) (如菱飛蝨科 (Cixiidae)、稻蝨科 (Delphacidae)、長翅飛蝨科 (Derbidae) 及羽衣飛蝨科 (Flatidae))、胸喙亞目 (Sternorrhyncha) (如木蝨科 (Psyllidae)) 與異翅亞目 (Heteroptera) (如椿象科 (Pentatomidae) 與軍配蝨科 (Tingidae)) (Severin, 1950; Purcell, 1982; Markham, 1983; Purcell & Hopkins, 1996; Redak *et al.*, 2004; Almeida *et al.*, 2005; Weintraub & Beanland, 2006; Weintraub, 2007; Janse & Obradovic, 2010; Gottwald, 2010)。上述這些媒介昆蟲及其傳播病原之相關資料，可參閱本專刊第 9-23 頁「國際重要作物原核生物性病害及其媒介昆蟲之研究回顧」之報告內容。

半翅目植食性昆蟲的取食習性，與獲取植物汁液的來源部位有關，據此可歸納吸食木質部水分、韌皮部養分與葉肉細胞養分等類型，並分別被稱之為木質部取食者 (xylem feeders)、韌皮部取食者 (phloem feeders) 與葉肉細胞取食者 (mesophyll feeders)。已知的木質部取食者，包括蟬科 (Cicadidae)、葉蟬科的大葉

蟬亞科 (Cicadellinae) 與沫蟬總科的成員;葉蟬科絕多數成員 (大葉蟬亞科與小葉蟬亞科 (Typhlocybininae) 除外)、胸喙亞目昆蟲、飛蝨亞目昆蟲 (除某些小頭飛蝨科 (Achilidae)、菱飛蝨科 (Cixiidae) 與長翅飛蝨科 (Derbidae) 的若蟲取食真菌菌絲汁液以外) (Wilson *et al.*, 1994) 與絕多數的植食性異翅目昆蟲, 則為韌皮部取食者; 葉蟬科的小葉蟬亞科則為葉肉細胞取食者。

由上可推測, 大葉蟬亞科與沫蟬總科的成員, 應具有傳播侷限導管細菌病原的潛力, 而存在於韌皮部的侷限篩管原核生物, 則需藉由韌皮部取食習性的昆蟲來傳播。作者於此列出兩點非常有趣的資料, 作為吾人研究媒介昆蟲傳病特性時, 可以思考的問題: (1) 半翅目植食性昆蟲這個唯一具有傳播植物病原原核生物性病害的分類群, 在科 (Family) 或亞科 (Subfamily) 的分類層級, 是否真的具有一致的取食習性? 例如, 為何分屬於木質部與葉肉細胞取食習性的大葉蟬與小葉蟬, 會成為植物菌質體的媒介昆蟲 (Weintraub & Beanland, 2006); (2) 以大葉蟬亞科為例, 全球約有 330 屬 2400 種 (Wilson & Turner, 2007), 其中美洲的物種佔 50% 以上, 為何僅有 39 種 (Redak *et al.*, 2004) 大葉蟬被證實為 *X. fastidiosa* 的媒介昆蟲。

除此, 上述兩種不同取食習性的媒介昆蟲, 也具有不同的傳病特性。以傳播侷限導管細菌病原的媒介昆蟲為例, 病原僅在蟲體前腸部位附著與繁殖, 並未進入體內增殖, 因此獲得病原的若蟲經過脫皮之後, 體內就不會帶有病原, 但成蟲期一旦獲得病原, 則病原將長駐於其前腸直至成蟲死亡 (Purcell, 1982); 對於可傳播侷限篩管原核生物 (植物質體體、螺旋菌體與黃龍病菌等) 之媒介昆蟲而言, 若蟲或成蟲獲得病原菌之後, 病原即在蟲體內增殖, 且亦有經卵傳播的特性 (Purcell, 1982; Weintraub & Beanland, 2006)。

媒介昆蟲整合管理技術的重要性與先決條件

蟲媒病害 (含蟲媒的植物病毒) 的防治, 屬於全球農業最具挑戰性的課題之一, 因為蟲媒病害對農作物的最終影響, 直接反應在糧食安全 (產量問題) 與食用安全 (農藥殘留問題) 兩大課題。因此, 有效的蟲媒病害及其媒介昆蟲之整合管理技術, 其前題必需是對產區與社會的經濟效益皆有助益, 所以必需考量作物生育特性、肥培管理與氣候條件, 在適當的時機 (針對病蟲害的生物學特性與發生時間、氣候條件) 運用適用的防治方法, 達到有效的經濟效益, 如此才能建立一個適地與適用、且受農友認同與接受的整合管理技術。

由於蟲媒病害的流行趨勢與媒介昆蟲有關, 在擬定有效的整合管理技術之前, 有必要邀集植物病理、昆蟲、分子鑑定技術、作物栽培育種與農業化學等不同領域的專家, 籌組跨領域的研究團隊, 就往昔同類蟲媒病害的生態與防治資料, 從中參考是否有適用於目前罹病樣區病蟲害調查與防治工作的根據。其中, 調查與鑑定病原及潛在媒介昆蟲的種類, 則為研究蟲媒病原及媒介昆蟲防治工作的首要任務, 如此才能確認真正的防治對象。其次, 針對病原及其潛在媒介昆蟲 (potential vectors) 建立長期監測資料, 如此才能掌握正確與適時的防治時機。除此, 剷除罹病園區的罹病株, 是直接降低田間病原密度的重要工作, 另透過室內

傳病驗證 (柯霍氏法則)，確認那些潛在媒介昆蟲為真正的媒介昆蟲，其後就需展開病原與媒介昆蟲族群密度的監測，並調查可能影響其密度之生物 (如病原與媒介昆蟲的寄主植物) 與非生物因子 (如溫度與雨量等氣候因子、土壤酸鹼值等) 因子，以作為各因子影響蟲媒病害與媒介昆蟲發生的評估依據。

媒介昆蟲整合管理技術

眾所周知，蟲媒植物病原原核生物性病害的防治，首重媒介昆蟲的防治。但何時才是正確的媒介昆蟲防治時機，何者才是適用的防治方法 (或資材)，是一門複雜的課題，因為同樣的病害在不同的地區，也有不同程度的發生生態，此也反應在媒介昆蟲之上，這也是為何媒介昆蟲的整合管理技術必需考量其適地、適時與適用性。

本文所提供的整合管理技術資料，包括往昔研究資料回顧與農業試驗所新近開發的資材，期望可以提供各試驗改良場所及大學相關系所發展防治資材或防治策略的參考，也藉此讓國內管理防治資材的單位，瞭解國內外對資材管理規範的差異，對於具有應用潛力的安全防蟲資材或植物保護資材的規範，可從法規適用性與農友需求面予以周延考量，如此才能使產官學界有共同的奮鬥目標，使研究成果可在農業真正應用。

(一) 法規防治與教育宣導

根據「中華民國輸入植物或植物產品檢疫規定」(2011年3月31日修正版) (<http://www.baphiq.gov.tw/public/Data/141214355471.pdf>) 的內容，屬於「甲、禁止輸入之植物或植物產品」所列之蟲媒植物病原原核生物計有 5 種，分別為非洲型柑桔黃龍病 (*Candidatus Liberibacter africanus* Garnier *et al.*)、柑桔矮化病 (*Spiroplasma citri*)、甘蔗叢藥病菌質體 (*Sugarcane grassy shoot phytoplasma*)、椰子致死性黃化病菌質體 (*Lethal yellowing phytoplasma*)、*Xylella fastidiosa*。

上述這類蟲媒病原自原產地進入一個新的地區，其病原菌能否在新地區成功存活 (立足)，需視病原、寄主植物、媒介昆蟲與環境 (溫度、濕度、雨量) 等條件是否互相支持而定。例如，在相連的陸塊 (如美洲大陸) 之上，病原或媒介昆蟲很容易隨著主動 (如媒介昆蟲的遷飛) 或被動擴散 (如罹病植株藉由交通運輸工具移動或隨媒介昆蟲移動)，從其原產地擴散到新的棲地，進而藉由遷入的媒介昆蟲或當地的本土媒介昆蟲，將病原菌傳播至健康的寄主植物。以原產於美洲大陸的 *X. fastidiosa* 為例，其不同菌系或亞種可造成葡萄皮爾斯病 (Pierce's disease of grape, PD)、柑桔斑點黃萎病 (citrus variegated chlorosis, CVC)、梨葉緣焦枯病 (pear leaf scorch, PLS) 等。作者歸納與分析此類病害媒介昆蟲之往昔研究資料，顯示不同菌系或亞種的 *X. fastidiosa* 在各原產地之媒介昆蟲種類，很少具有共通的種類，但至少都屬於葉蟬科的大葉蟬亞科昆蟲 (Redak *et al.*, 2004; Su & Shih, unpublished data)，此意味著 *X. fastidiosa* 在各地區 (如美國的 PD、巴西的 CVC、台灣的 PLS) 所引發之病害，其病原可隨著寄主枝條，透過船舶與飛機等交通運輸工具，跨越海洋與高山，抵達往昔從未發生過該病的新地區，一旦罹病

枝條透過無性繁殖 (如扦插或接穗) 之後, 該病原很有機會在新地區隨寄主植物的存活, 再透過當地的大葉蟬或沫蟬等木質部取食習性的媒介昆蟲, 進行病原的傳播。再者, 以植物菌質體為例, 同群的植物菌質體通常有數種以上的媒介昆蟲, 如 Maize bushy stunt phytoplasmas (16SrI-B) 可由 *Dalbulus elimatus* (Ball), *D. maidis* (DeLong and Wolcott) 與 *Graminella nigrifrons* (Forbes) 等三種媒介葉蟬傳播 (Kunkel, 1946; Niederhauser & Cervantes, 1950; Nault, 1980); 另有研究報告指出 *M. striifrons* Anufriev [*M. orientalis* 則為其同物異名] 與 *Euscelis incisus* (Kirschbaum)) 等葉蟬, 已被證實可傳播兩種以上的植物菌質體 (Posnette & Ellenberger, 1963; Shiomi & Sugiura, 1984; Alma *et al.*, 2001; Palermo *et al.*, 2001)。

由上可知, 各國在建立這類檢疫有害生物 (含病原及其媒介昆蟲) 清單之前, 均會從事有害生物風險分析 (PRA) 報告, 以作為擬定植物檢疫相關法規及施行檢疫措施的依據, 以達到避病 (escape) 的目的, 一旦在其國內發現外來的蟲媒植物檢疫病害時, 隨即依據法規予以進行緊急防治。

每個國家雖依其植物檢疫法規對進口農產品實施相關檢查, 但仍有可能發生外來有害生物進境的機會。各國如果無法杜絕私自引入國外種苗或無性繁殖體的走私行為, 則病原勢必在國家間或洲際間擴散。為了營造安全的農業生態環境, 國人需遵守我國的輸入植物或植物產品檢疫規定, 降低外來蟲媒原核生物性病害進境為害的機會, 並避免走私導致國家每年必需投入巨資防治外來有害生物的問題。

(二) 化學防治

雖然有學者質疑殺蟲劑防治害蟲的速度, 遠趕不上媒介昆蟲傳播病原的速度 (Weintraub *et al.*, 2008)。不過, 在許多蟲媒病害之媒介昆蟲種類尚未確認之前, 殺蟲劑絕對是緊急防治的唯一武器, 即便媒介昆蟲已經確認, 殺蟲劑仍被視為媒介昆蟲整合管理的其中一個必要方法。在正確時機 (掌握媒介昆蟲之田間族群動態)、正確地點 (掌握媒介昆蟲的田間寄主植物), 針對害蟲的生活習性與傳病特性 (如病原是否於蟲體內繁殖), 予以使用不同殺蟲作用機制的殺蟲劑, 將可有效壓制媒介昆蟲的族群密度; Baldessari *et al.* (2010) 的研究顯示不同殺蟲作用機制的殺蟲劑, 對蘋果叢生菌質體 (apple proliferation phytoplasma) 其媒介昆蟲的若蟲期與成蟲期, 具有不同程度的影響。同時, 輪用不同殺蟲作用機制的殺蟲劑, 對於防治世代短、繁殖潛能強與隱匿性高的各類植物病原媒介昆蟲 (如葉蟬、沫蟬、蚜蟲、粉蝨、木蝨與飛蝨等), 更可達到緩和抗藥性產生的效果。

本文第一與第三作者 (石及蘇) 於 2009-2010 年, 在台中市新社區從事葡萄皮爾斯病 (PD) 媒介昆蟲的全年密度監測 (以黃色黏蟲紙每兩週調查一次) 為例, 顯示白邊大葉蟬 (*Kolla paulula*) 的發生高峰為每年的 2 月初至 4 月初、7 月初至 8 月底、10 月中旬至 12 月中旬, 每次高峰維持約 2 個月, 再根據實驗室 (室溫) 全年大量飼育白邊大葉蟬的資料, 顯示卵期至羽化為成蟲的發育時間範圍約為 1.5-2 個月。據此, 建議農友在 2010 年 1 月、5-6 月及 9-10 月的時段, 於發生 PD 園區外圍的雜草叢輪流施用有機磷劑、除蟲菊類、類尼古丁系與幾丁質合成抑制物 (如布芬淨) 等 4 種不同殺蟲作用機制的殺蟲劑, 每類藥劑施

用 3 次，施用時段若遇天候因素等不可抗拒之因素，可調整施用時間。結果顯示，2010 年相較於 2009 年同期白邊大葉蟬的族群密度，平均下降達 1.6-2 倍。由此可知，只要在適時（防治時機）與適地（防治地點）施用化學藥劑，的確可以抑制媒介葉蟬族群密度。

(三) 物理防治

對於多年生果樹與收穫期較一致的作物，正確運用殺蟲劑可壓低媒介昆蟲發生密度，達到緩和病原的擴散速度；但對於短期連續採收的作物而言，一旦遭遇蟲媒病害感染，此時施用化學防治時機已晚，且具農藥殘留過量的疑慮。因此，一套完整的有害生物整合管理策略，也包括在適當時機，採用具有控制有害生物能力且安全性也高的非化學防治方法（如物理防治、生物防治與耕作防治等）。事實上，掌握媒介昆蟲的取食習性、飛行與產卵習性等行為，據此開發蟲媒原核生物媒介昆蟲的物理防治資材，將可達到事半功倍之效。

在所有的物理防治資材之中，最典型的代表就是利用顏色誘集昆蟲所設計的黏蟲紙或誘蟲燈，例如黃色黏蟲紙對葉蟬、沫蟬、木蝨與飛蝨等媒介昆蟲極具誘集效果，已是全球各國監測此類媒介昆蟲的標準資材。

本文於此僅簡介數種在國外已經商品化的物理資材，在國內未來也極具應用潛力的物理防治資材，以作為我國農業產官學界判斷國內是否適合發展與應用之參考依據。

1. 高嶺土

為了阻隔農業有害生物（昆蟲、有害動物及病原微生物等）接觸、刺吸與貫穿植物組織，危害植物的健康，人類以礦物性資材（如高嶺土、窄域油）或植物性資材（如大豆油、葵花油）施用在植物表面，以降低有害生物直接危害植物。此作用形同為植物穿上防護衣，達到保護植物的目的。

在 1990 年，美國農部所屬之 Appalachian 果樹研究站的 Micharl Glenn 博士，開始從事礦物性微細顆粒覆蓋於植物控制果樹病蟲害的研究，發現高嶺土是最適合的礦物性資材，並與美國最大的高嶺土產品製造商 Engelhard 公司合作，發展對環境有利且可控制害蟲的高嶺土產品，隨後在美國、義大利、智利等不同緯度與氣候條件的地區與國家進行測試，並於 1999 年正式推出商品 Surround Crop Protecant，同年 Glenn *et al.* (1999) 也將此專利商品的重要試驗成果予以發表，2000 年進一步推出可濕性粉劑 (WP) 的劑型。

Surround 的成份當中 95% 為高嶺土與 5% 佐劑，為安全與低毒性產品，其作用主要是將高嶺土噴覆在植物組織表面，使之成為保護膜，因此稱之為植物保護劑。美國有機材料評審協會 (OMRI) 在 2000 年初將 Surround 產品列入有機資材的使用名單。以梨樹害蟲為例，Vincent *et al.* (2003) 指出 Surround 運用在美國梨樹害蟲管理的使用量，已取代 30% 的殺蟲劑施用量。

2008 年底，第一作者研究葉蟬取食與羽化行為過程，發現葉蟬各齡期若蟲脫皮之後、或第五齡若蟲羽化為成蟲之後，在一至數小時之內，肛門會排出含有奈米或微米顆粒的微小體 (brochosome) 水滴，此時葉蟬會以後足將此些水滴塗抹全身，此行為目前已被公認為葉蟬科的獨有生物行為，也引發第一作

者擬運用外來微細顆粒噴覆（如高嶺土、矽藻土、熟石灰等）在葉蟬體表，以作為干擾葉蟬取食的目的。經過評估，同時考量顆粒大小及含矽結晶（silica crystalline）成份之後，我們選用對人體安全性高的高嶺土作為研究材料。

有鑑於此，農業試驗所應用動物組嘗試自行開發可適用於多雨高溫氣候的高嶺土劑型，目前已完成高嶺土水懸劑（代號 TK99）的開發與系列測試，並簡述其中兩點結果：(1) 針對葡萄皮爾斯病媒介葉蟬 - 白邊大葉蟬，進行室內（ $26 \pm 1^\circ\text{C}$ ）阻隔取食與產卵的試驗，結果顯示白邊大葉蟬成蟲無法在覆以高嶺土的植物上取食與產卵，而覆蓋不均勻的測試組及完全不覆蓋的對照組，成蟲可在未覆蓋之處正常取食或產卵；(2) 在農試所桃樹試驗田以 TK99 從事對桃葉蟬 (*Singapore shinshana* (Matsumura)) 阻隔取食之試驗，結果顯示在桃樹的葉片生長期，每週施用一次高嶺土的處理葉片，確實可大量降低桃葉蟬的取食機會，其效果與化學防治效果相似，未施用高嶺土或化學藥劑的對照組，其桃葉蟬發生密度大致為處理組的 8.2-9.5 倍。

以上顯示 TK99 是可達到保護作物不受葉蟬吸食，目前經過施用 TK99 觀測是否可均勻覆蓋的作物，已達 10 種以上。台灣的栽培環境高溫多濕、作物種類多，TK99 可適用於那些作物？對於葉片適用的作物，對其花器授粉作用，是否也可適用？對於各生育期皆可適用的作物，則其施用頻度為何？這些都還有一段長遠的路要努力。

作者開發 TK99 的前題，主要是提供農友有實用的植物保護非化學資材可資使用，TK99 完全沒有殺蟲的能力，只是覆蓋在植物表面的植物保護劑，與 Surround 的功能一樣。未來盼望透過各方共同合作，針對重要經濟果蔬作物進行合作測試，推進行間測試時間，並確認在台灣是否能被列為不列管農藥或是植物保護劑，這些仍有賴各方努力。

2. 吸收紫外光之塑膠布

對於溫室的花卉蔬菜作物，其內環境為小型昆蟲適合繁殖的環境，一旦這類昆蟲同時成為蟲媒病害的媒介昆蟲，此時蟲媒病害及媒介昆蟲必然成為產業的限制因子。由於在此類設施使用殺蟲劑降低媒介昆蟲數量，仍無法降低病害發生。為此，國外將可吸收紫外光的塑膠布作為溫室或網罩式的覆蓋材料，以抑制粉蝨與薊馬等小型害蟲的族群數量 (Costa *et al.*, 2002)。Weintraub *et al.* (2008) 研究可傳播藍雪科 *Limonium* 屬植物菌質體媒介葉蟬的物理防治法，發現如果將這些植物種植在可吸收紫外光塑膠布的隧道環境內，對 *Orosius orientalis* 這種媒介葉蟬進入隧道具有抑制效果，由於此種葉蟬的活動偏好高度為 0.5-1 m，依此設計遮光隧道的高度，並在隧道兩側出口覆蓋具有通風作用的網布 (25-30 孔目)，則阻隔進入隧道的效果更佳。

如果業者施用此方法所獲淨利，高於完全依賴化學防治法所獲淨利，則此法對於隧道栽培的花卉蔬菜顯然是一個安全性高的物理防治法，不過應用此法尚需考量業者操作上的方便性，且對於隧道內不同植物之生長高度及栽培密度也需事先考量。

3. 網罩

木瓜輪點病毒 (*Papaya ringspot virus*, PRSV) 是由蚜蟲所傳播，造成台灣木瓜產業的重大經濟損失。農林廳在 1985 年開始推行網室木瓜栽培，阻隔蚜蟲傳播 PRSV，防治成果極為顯著，至 1998 年網室木瓜栽培面積已佔全國木瓜栽培面積之半 (黃及張, 1998)，至今網室栽培木瓜已成為台灣木瓜產業的特色；再者，台灣的木瓜在近年來另遭遇由葉蟬傳播的木瓜 *Stolbur phytoplasmas* 菌質體危害 (Bau *et al.*, 2007)，由此可知台灣仍需以網室栽培木瓜預防上述兩種蟲媒的木瓜病害。

除此，Walsh *et al.* (2006) 研究網室栽培木瓜阻隔媒介昆蟲傳播 Australian dieback disease 之控制效果，結果顯示網室確實可有效降低病害發生，但此法僅在集約栽培木瓜的地區具有高經濟效益，對澳洲較具粗放的木瓜栽培方式及市場價值則不適用。

由上可知，網室栽培絕對有助於阻絕媒介昆蟲傳播蟲媒植物病害，對於台灣這類耕作面積小、經濟產值高的栽培方式，有其正面利益；但對於農業面積廣大且單一作物大面積栽培的國家或地區，運用此法不但硬體成本大幅增加，也需克服劇烈氣候 (豪雨、颱風、龍捲風、冰雹等) 發生前後，即需完成掀網與再覆網的動作，且掀網與再覆蓋的過程，作物仍受氣候影響，這段時間也會吸引葉蟪、夜蛾、刺吸式昆蟲與蝸牛等有害動物入侵，對生產成本都是不穩定的因素，因此很難在此類國家或地區予以運用。

(四) 生物防治

往昔研究顯示葉蟬的天敵昆蟲，以膜翅目的纓小蜂科 (*Mymaridae*) 與雙翅目的頭蠅科 (*Pipunculidae*) 為主，其他尚有撚翅目的昆蟲。其中，纓小蜂科昆蟲為葉蟬卵期的天敵，而頭蠅科與撚翅目昆蟲則為若蟲期與成蟲期的天敵。

事實上，葉蟬雌蟲之產卵習性與卵被寄生比例呈密切相關，對於可將卵完全產在植物組織內部的葉蟬種類 (例如絕多數的葉蟬科種類) 而言，卵被寄生的比例極少；對於僅將部分卵埋在植物組織者 (如檬果綠葉蟬與檬果褐葉蟬等)，卵被寄生的比例相對提高；但對於可將卵產在植物組織表面的卵 (例如部分大葉蟬亞科昆蟲)，被卵寄生蜂寄生的機會相對加大。

以褐透翅尖頭葉蟬 (GWSS) 為例，雌蟲將卵產於植物表面，並在卵的表面覆以具有殺菌作用的微小體 (brochosome) 保護卵 (Hix, 2001; Triapitsyn *et al.*, 1998; Rakitov, 2004)，但相對於那些將卵產於植物組織內部的葉蟬而言，曝露在植物組織表面的卵，易被捕食性與寄生性昆蟲天敵發現，Triapitsyn *et al.* (1998) 發現 GWSS 的卵被 *Gonatocerus ashmeadi* 與 *G. fasciatus* 這兩種纓小蜂科寄生的比率高達 50%，這當中兩種的寄生比率分別為 69% 與 31%。此數據顯示這兩種寄生蜂具有田間應用的價值。

在台灣，第一作者長年調查葉蟬的天敵，發現跳蛛科 (*Salticidae*) 種類是出現頻度最高的捕食性天敵，可捕食若蟲與成蟲；其次為頭蠅科昆蟲。由於跳蛛為廣食性與逢機捕食食餌，其食餌包括體型與其相當或較小的昆蟲及蜘蛛，因此不具室內大量繁殖的價值，而頭蠅科的寄主雖以葉蟬為主 (少數為稻蝨科) (Skevington & Marshall, 1997)，但在台灣各地採集發現的寄生比例僅為 2-3% 左

右，對於開發為有效天敵也有一段時間，此為台灣目前發展寄生捕食天敵有困難之處。

除昆蟲天敵之外，近年來學者已嘗試利用微生物防治葉蟬。Paratransgenesis 是近代發展的微生物防治方法，是將昆蟲體內的共生菌種類，利用人為的方式加以改變，達到防治的目的，這種利用共生菌防治疾病的策略，稱之為共生菌防治 (symbiotic control) 或共生菌治療 (symbiotic therapy) (Aksoy *et al.*, 2008; Favia *et al.*, 2008)。發展共生菌防治之前，首先需要鑑定病媒昆蟲體內的共生菌種類，藉由培養、修改其共生菌，達到減少病媒昆蟲子代存活數目，降低病媒昆蟲繁殖優勢的目標 (Kuzina *et al.*, 2001; Weiss *et al.*, 2006)。此外，共生菌亦可佔據病原在寄主體內的棲地，可防止病原在病媒昆蟲體內增生 (Gai *et al.*, 2009)。

Bextine *et al.* (2005) 自 GWSS 體內分離、鑑定與培養出一種共生菌 *Alcaligenes xylooxidans* subsp. *denitrificans*，透過基因轉殖技術將綠螢光蛋白嵌入 *A. xylooxidans* 的染色體上，再將基因重組後的 *A. xylooxidans* 接種至植物體內，*A. xylooxidans* 隨著 GWSS 吸食進入其體內，此結果顯示可以利用 *A. xylooxidans* 與病原競爭寄主體內的空間與資源，進而減少 GWSS 的傳病能力。另外，Bigliardi *et al.* (2006) 在葡萄帶葉蟬 (*Scaphoideus titanus*) 體內的脂肪體與唾液腺中發現 *Cardinium hertigii* 這種共生菌。由於葡萄帶葉蟬為葡萄黃化病菌質體 (Flavescence dorée, FD) 病害的媒介昆蟲，而 *C. hertigii* 與 FD 存在於相同器官內，因此 *C. hertigii* 被認為具有防治葡萄帶葉蟬傳播 FD 的潛力 (Marzorati *et al.*, 2006)。

最具有潛力的共生細菌，是一種由母體傳染的革蘭陰性內共生細菌 *Wolbachia pipientis* (Werren, 1997)。*Wolbachia* 的寄主範圍包括昆蟲、蜘蛛、甲殼類動物與絲蟲等，其傳染方式主要是經由雌性生殖腺傳遞給後代 (Werren & Windsor, 2000)。目前已知 *Wolbachia* 造成生殖異常包括：胞質不相容性 (cytoplasmic incompatibility)、孤雌生殖 (parthenogenesis)、殺雄作用 (male-killing) 與子代雌性化等 (Werren & Windsor, 2000)。Chang and Musgrave (1972) 首次報導葉蟬 *Heliochara communis* Fitch 體內有內共生菌的存在。後續的研究著重在利用 PCR 以及組織切片觀察等方式，鑑定葉蟬體內的 *Wolbachia* 品系以及探討 *Wolbachia* 對葉蟬生殖的影響。Mitsunashi *et al.* (2002) 比對 *Wolbachia* 基因序列 (16S rDNA, *ftsZ*, *wsp*)，發現發現兩種桑葉蟬 *Hishimonoides sellatiformis* 與 *Hishimonus sellatus* 的體內含有相同品系的 *Wolbachia*，作者推測當葉蟬取食植物韌皮部汁液時，唾液腺內的 *Wolbachia* 可能會先轉移到植物內，當其他種葉蟬取食相同植物時，*Wolbachia* 再轉移到這些取食者體內。Takiya *et al.* (2006) 分析 27 種葉蟬，發現有 9 種葉蟬體內含有 *Wolbachia*，並指出這些 *Wolbachia* strains 與宿主葉蟬並無親源性關聯。Negri *et al.* (2009) 指出 *Wolbachia* 可能會造成 *Zyginidia pullula* (Boheman) 葉蟬的生殖異常，此種葉蟬是歐洲中部常見的小葉蟬亞科昆蟲，體長僅約 3 mm，年發生四代，寄主植物包括玉米與禾本科雜草。在 1984 年，首次觀察到野外的處女雌蟲與實驗室長期繼代飼養的雄蟲進行交配後，產出均為雌性的後代，在 1993 年，一些不同地點採集的雌蟲也發現只有產下雌

性後代，之後，利用 PCR 偵測到 *Z. pullula* 體內有 *Wolbachia*，進而推測 *Wolbachia* 可能是造成後代均為雌性的原因 (Negri *et al.*, 2002)。進一步的研究發現，*Wolbachia* 造成 *Z. pullula* 後代均為雌性的原因是雌性化而非殺雄作用。此外，作者也證實了雌性化的雄性，仍可與未受感染的雄性交配，並產下活的後代 (Negri *et al.*, 2006)。至於雌性化的機制，作者認為 *Wolbachia* 可能藉由影響 *Z. pullula* 的性別特異基因的染色體甲基化，而使受感染的雄性後代會發育出雌性特徵 (Negri *et al.*, 2009)。

Wolbachia 在蟲害管理極具應用潛力，這種非基因改造的方式，對環境生態的衝擊較少。藉由施放攜帶人工修飾後 *Wolbachia* 的成蟲，使其與野生型的成蟲交配，再利用 *Wolbachia* 具有的造成宿主生殖異常的能力，使交配後所產的子代死亡，達到降低蟲害的目標。

(五) 耕作防治

可應用在降低媒介昆蟲或蟲媒病原發生密度的措施，包括合理化施肥以降低媒介昆蟲密度、剷除田間媒介昆蟲或蟲媒病原的非作物寄主、剷除罹病株、輪作、栽培抗蟲作物、採用健康種苗與栽培誘引作物等。目前並無報告顯示上述任何一種耕作防治措施，可以杜絕病原或媒介昆蟲的發生，但只要可以明顯降低田間感染源或媒介昆蟲的存在，就是有效的耕作防治措施。

對於本項課題，本文僅簡介農友本身可簡易處理的措施，其餘如抗蟲育種或健康種苗等措施，於本文節略。

1. 避免營造刺吸式昆蟲偏好的高氮營養環境

往昔研究顯示葉蟬與沫蟬類昆蟲，利用寄主植物的種類，與植物體內含氮多寡、固氮能力 (Thompson, 1999, 2004) 及胺基酸種類 (Brodbeck *et al.*, 1990) 有關，此可解釋取食禾本科植物的葉蟬種類繁多之因。通常農友為为了提高作物產量，常施以過多肥料，此不僅使土壤酸化，相對也營造媒介昆蟲有利的生存環境，因此合理化施肥 (適地、適用與適量的肥料) 絕非口號，其前題是瞭解田間土壤理化性質與作物特性之後，再投入適當的肥料。

2. 剷除病原及其媒介昆蟲之田間非作物寄主，並禁用罹病園區之無性繁殖體

蟲媒病害之病原及媒介昆蟲，並非完全共享相同的寄主植物。以造成葡萄皮爾斯病的 *X. fastidiosa* 及 GWSS 為例，兩者之間的寄主植物範圍 (host range) 並非完全重疊，致使田間剷除兩者的非作物寄主工作更形困難。

在罹病樣區剷除病原及其媒介昆蟲之非作物寄主，並不容易，但其效益卻可直接降低兩者之田間族群密度。因此，我們除了需要落實剷除罹病株的概念，尚需建立擴大剷除罹病園周圍健康園區的非作物寄主，配合禁用罹病園區之植物作為砧木及接穗，如此方可預防病原藉由媒介昆蟲傳播或無性繁殖的方式擴散至健康園區。

3. 剷除罹病株，確實作好田間衛生工作

雖然藉由施打抗生素可延緩黃龍病、梨樹葉緣焦枯病及葡萄皮爾斯病的發病趨勢，但也無證據顯示施打抗生素之後，可減緩媒介昆蟲的傳病趨勢，況且抗生素是否會引發病原或媒介昆蟲產生抗性至今也未明確。因此，若能確認罹

病園區的作物已受蟲媒病原感染時，此時唯有立即採取剷除罹病株，方能有效降低病原透過媒介昆蟲擴散。

結論及展望

管理植物原核生物媒介昆蟲之要點，包括正確鑑定物種、掌握田間生態與生物學特性，如此才能確認防治目標，在作物各生育期運用適時、適地與適用的各類防治方法。除此，尚需結合作物病害的防治，方能有效降低經濟損失。另外，國際上對於重要檢疫病害及其媒介昆蟲所採取的規範，主要是採用法規防治，包括禁止輸入帶病植株、並有條件檢測該病害及其媒介昆蟲的寄主植物，並針對此類病害及其媒介昆蟲進行風險評估，此時專家也有必要評估該類檢疫病害是否可透過本土昆蟲執行病原的傳播（與原產地病媒昆蟲具有同一或相近分類地位的本土昆蟲，應該列為具有傳播新病害的高危險群昆蟲），以作為新病害入侵之後，取得掌握撲滅或有效降低新病害流行危害的先機。除了需考量上述有關病原、罹病植物與病原媒介昆蟲的特性之外，尚需考量栽培管理措施所導致的有害生物組成不一致、媒介昆蟲具移動或飛行能力、媒介昆蟲與病原的寄主植物範圍、氣候因子等因素，如此才能建立有效的蟲媒病害及媒介昆蟲之整合管理體系。

誌謝

本文係作者等執行農委會「梨樹葉緣焦枯病之病原鑑定及其媒介昆蟲之生態調查與傳病效率研究（計畫編號：100 農科 - 9.3.1 - 檢 - B1 (8)）」、「新興整合-精緻農業-氣候變遷對作物有害生物之影響及防治策略因應（計畫編號：100 農科 - 9.2.2-農 - C5)」、「加入世貿組織強化植物有害生物防範措施（計畫編號：100 救助調整 - 檢 - 01)」之部份成果；在高嶺土開發的成果，係執行「熱帶果樹研究團隊 - 果樹重要植物菌質體病害媒介昆蟲診斷鑑定及田間管理策略之研究（計畫編號：100 農科 - 9.2.1 - 農 - C7 (1)）」計畫所產出；媒介葉蟬之鑑定與分類研究，則承國科會「葉蟬塗抹與梳刷行為於葉蟬科高階分類之應用（計畫編號：NSC 98-2313-B-055 -006 -MY3)」計畫經費補助。作者謹此一併表達誌謝。

引用文獻

- 黃和炎、張明聰。1988。網室木瓜。第40-47頁。作物合理化施肥（果樹篇）。黃山內、黃和炎主編。台南區農業改良場特刊第3號。台南。55 頁。
- Aksoy S., B. Weiss, and G. Attardo, 2008. Paratransgenesis applied for control of tsetse transmitted sleeping sickness. *Adv. Exp. Med. Biol.* 627: 35-48.
- Alma, A., S. Palermo, G. Boccoardo, and M. Conti. 2001. Transmission of chrysanthemum yellows, a subgroup 16SrI-B phytoplasma, to grapevine by four leafhopper species. *J. Plant Pathol.* 83: 181-187.
- Almeida, R. P. P., M. J. Blua, J. R. S. Lopes, and A. H. Purcell. 2005. Vector transmission of *Xylella fastidiosa*: Applying fundamental knowledge to generate disease management strategies. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 98: 775-786.
- Baldessari, M., F. Trona, G. Angeli, and C. Ioriatti. 2010. Effectiveness of five

- insecticides for the control of adults and young stages of *Cacopsylla melanoneura* (Förster) (Hemiptera: Psyllidae) in a semi-field trial. *Pest Manag. Sci.* 66: 308-312.
- Balfas, R., C. J. Lomer, T. L. Mardinarsih, and E. M. Adhi. 1991. Acquisition of *Pseudomonas syzygii* by *Hindola striata* (Homoptera: Machaerotidae). *Indones. J. Crop Sci.* 6: 65-72.
- Bau, H. J., Y. K. Chen, and S. C. Hung. 2007. The investigation of insect vectors of papaya phytoplasma in Taiwan, pp. 197-207 *In* F. J. Jan, C. C. Chen, Y. K. Chen, and K. C. Tzeng [eds.]. 2007 Proceeding of Symposium on the insect-borne diseases and their control. Bureau of Animal and Plant Health Inspection and Quarantine (BAPHIQ), COA, Taipei & Department of Plant Pathology, National Chun Hsing University (NCHU), Taichung. Taiwan. 278 pp (in Chinese with English summary).
- Bextine B., D. Lampe, C. Lauzon, B. Jackson, T. A. Miller, 2005. Establishment of a genetically marked insect-derived symbiont in multiple host plants. *Curr. Microbiol.* 50: 1-7.
- Bigliardi, E., L. Sacchi, M. Genchi, A. Alma, M. Pajoro, D. Daffonchio, M. Marzorati, and A. M. Avanzati, 2006. Ultrastructure of a novel *Cardinium* sp. symbiont in *Scaphoideus titanus* (Hemiptera: Cicadellidae). *Tissue and Cell* 38: 257-261.
- Brodbeck, B. V., R. F. Mizell III, W. J. French, P. C. Andersen, and J. H. Aldrich. 1990. Amino acids as determinants of host preference for the xylem feeding leafhopper, *Homalodisca coagulata* (Homoptera: Cicadellidae). *Oecologia* 83: 338-345.
- Chang, C. J., C. E. Yonce, and D. Gardner. 1987. Suppression of leaf scald symptom in plum by oxytetracycline injection. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 53: 345-353.
- Chang K. P., and A. J. Musgrave, 1972. Multiple symbiosis in a leafhopper, *Heliochara communis* Fitch (Cicadellidae: Homoptera): envelopes, nucleoids and inclusions of the symbiotes. *J. Cell Sci.* 11: 275-293.
- Cordova, I., P. Jones, N. A. Harrison, and C. Oropeza. 2003. *In situ* PCR detection of phytoplasma DNA in embryos from coconut palms with lethal yellowing disease. *Mol. Plant Pathol.* 4: 99-108.
- Costa, H. S., K. L. Robb, and C. A. Wilen. 2002. Field trials measuring the effects of ultraviolet-absorbing greenhouse plastic films on insect populations. *J. Econ. Entomol.* 95: 113-120.
- Denny, T. P. 2006. Plant pathogenic *Ralstonia* species. pp. 573-644. *In*: S. S. Gnanamanickam, ed. *Plant-Associated Bacteria*. Springer. Netherlands. 712pp.
- Favia G., I. Ricci, M. Marzorati, I. Negri, A. Alma, L. Sacchi, C. Bandi, and D. Daffonchio. 2008. Bacteria of the genus *Asaia*: a potential paratransgenic weapon against malaria. *Adv. Exp. Med. Biol.* 627: 49-59.
- Gai C. S., P. T. Lacava, M. C. Quecine, M. C. Auriac, J. R. Lopes, W. L. Araújo, T. A. Miller, and J. L. Azevedo. 2009. Transmission of *Methylobacterium mesophilicum* by *Bucephalogonia xanthophis* for paratransgenic control strategy of citrus variegated chlorosis. *J. Microbiol.* 47: 448-454.
- Glenn, D. M., G. J. Puterka, T. Vanderzwet, R. E. Byers, and C. Feldhake. 1999. Hydrophobic particle films: a new paradigm for suppression of arthropod pests

- and plant disease. *J. Econ. Entomol.* 92: 759-771.
- Gottwald, T. R. 2010. Current epidemiological understanding of citrus huanglongbing. *Annu. Rev. Phytopathol.* 48: 119-139.
- Grylls, N. E., C. J. Waterford, B. K. Filshie, and C. D. Beaton. 1974. Electron microscopy of rugose leaf curl virus in red clover, *Trifolium pretense* and in the leafhopper vector *Austroagallia torrida*. *J. Gen. Virol.* 23: 179-183.
- Hix, R. L. 2001. Egg-laying and brochosome production observed in glassy-winged sharpshooter. *Calif. Agric.* 55: 19-22.
- Hung, T. H., S. C. Hung, C. N. Chen, M. H. Hsu, and H. J. Su. 2004. Detection by PCR of Candidatus *Liberibacter asiaticus*, the bacterium causing citrus Huanglongbing in vector psyllids: application to the study of vector-pathogen relationships. *Plant Pathol.* 53: 96-102.
- Janse, J. D., and A. Obradovic. 2010. *Xylella fastidiosa*: its biology, diagnosis, control and risks. *J. Plant Pathol.* 92 (1, Supplement): S1.35-48.
- Kunkel, L. O. 1946. Leafhopper transmission of corn stunt. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 32: 246-247.
- Kuzina, L. V., J. J. Peloquin, D. C. Vacek, and T. A. Miller. 2001. Isolation and identification of bacteria associated with adult laboratory Mexican fruit flies, *Anastrepha ludens* (Diptera: Tephritidae). *Curr. Microbiol.* 42: 290-294.
- Markham, P. G. 1983. Spiroplasmas in leafhoppers: a review. *The Yale Journal of Biology and Medicine* 56: 745-751.
- Marzorati M., A. Alma, L. Sacchi, M. Pajoro, S. Palermo, L. Brusetti, N. Raddadi, A. Balloi, R. Tedeschi, E. Clementi, S. Corona, F. Quaglino, P. A. Bianco, T. Beninati, C. Bandi, and D. Daffonchio. 2006. A novel Bacteroidetes symbiont is localized in *Scaphoideus titanus*, the insect vector of “flavescence dorée” in *Vitis vinifera*. *Appl. Environ. Microbiol.* 72: 1467-1475.
- Mitsuhashi W., T. Saiki, W. Wei, H. Kawakita, and M. Sato. 2002. Two novel strains of *Wolbachia* coexisting in both species of mulberry leafhoppers. *Insect Mol. Biol.* 11: 577-584.
- Nault, L. 1980. Maize bushy stunt and corn stunt: A comparison of disease symptoms, pathogen host ranges, and vectors. *Phytopathology* 70: 659-662.
- Niederhauser, J. S., and J. Cervantes. 1950. Transmission of corn stunt in Mexico by a new insect vector, *Baldulus elimatus*. *Phytopathology* 40: 20-21.
- Negri I., M. Pellicchia, A. Patetta, and P. J. Mazzoglio. 2002. *Wolbachia pipientis* (Rickettsiales) in *Zyginidia pullula* (Homoptera Cicadellidae). In Proc. 11th Int. Auchenorrhyncha Congress, 5-9 August, Potsdam 2002 p. 87.
- Negri I., M. Pellicchia, P. J. Mazzoglio, A. Patetta, and A. Alma. 2006. Feminizing *Wolbachia* in *Zyginidia pullula* (Insecta, Hemiptera), a leafhopper with an XX/X0 sex-determination system. *Proc. Biol. Sci.* 273: 2409-2416.
- Negri I., A. Franchini, E. Gonella, D. Daffonchio, P. J. Mazzoglio, M. Mandrioli, and A. Alma. 2009. Unravelling the *Wolbachia* evolutionary role: the reprogramming of the host genomic imprinting. *Proc. Biol. Sci.* 276: 2485-2491.
- Palermo, S., A. Arzone, and D. Bosco. 2001. Vector-pathogen-host plant relationships of chrysanthemum yellows (CY) phytoplasma and the vector leafhoppers

- Macrosteles quadripunctulatus* and *Euscelidius variegatus*. Entomol. Exp. Appl. 99: 347-354.
- Posnette, A. F., and C. E. Ellenberger. 1963. Further studies of green petal and other leafhopper-transmitted viruses infecting strawberry and clover. Ann. Appl. Biol. 51:69-83.
- Purcell, A. H. 1982. Insect vectors relationships with prokaryotic plant pathogens. Annu. Rev. Phytopathol. 20: 397-417.
- Purcell, A. H., and D. L. Hopkins. 1996. Fastidious xylem-limited bacterial plant pathogens. Annu. Rev. Phytopathol. 34: 131-151.
- Rakitov, R. A. 2004. Powdering of egg nests with brochosomes and related sexual dimorphism in leafhoppers (Hemiptera: Cicadellidae). Zool. J. Linn. Soc. 140: 353-381.
- Redak, R. A., A. H. Purcell, J. R. S. Lopes, M. J. Blua, R. F. Mizell III, and P. C. Andersen. 2004. The biology of xylem fluid-feeding insect vectors of *Xylella fastidiosa* and their relation to disease epidemiology. Annu. Rev. Entomol. 49: 243-270.
- Roberts, S. J., S. J. Eden-Green, P. Jones, and D. J. Ambler. 1990. *Pseudomonas syzygii* sp. nov., the cause of Sumatra disease of cloves. Systematic and Applied Microbiol. 13: 34-43.
- Severin, H. H. P. 1950. Spittle-insect vectors of Pierce's disease virus. II. Life history and virus transmission. Hilgardia 19: 357-382.
- Shiomi, T., and M. Sugiura. 1984. Differences among *Macrosteles orientalis* - transmitted MLO, potato purple-top wilt MLO in Japan and aster yellows MLO from USA. Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 50: 455-460.
- Skevington, J., and S. A. Marshall. 1997. First records of big-headed fly, *Eudorylas alternatus* (Cresson) (Diptera: Pipunculidae), reared from the subfamily Cicadellinae (Homoptera: Cicadellidae), with an overview of pipunculid-host associations in the Nearctic region. The Canadian Entomologist 129: 387-398.
- Takiya, D. M., S. H. McKamey, and R. R. Cavichioli. 2006. Validity of *Homalodisca* and of *H. vitripennis* as the name for glassy-winged sharpshooter (Hemiptera: Cicadellidae: Cicadellinae). Ann. Entomol. Soc. Am. 99: 648-655.
- Takiya D. M., P. L. Tran, C. H. Dietrich, and N. A. Moran. 2006. Co-cladogenesis spanning three phyla: leafhoppers (Insecta: Hemiptera: Cicadellidae) and their dual bacterial symbionts. Mol. Ecol. 15: 4175-4191.
- Thompson, V. 1999. Spittlebugs associated with actinorrhizal host plants. Can. J. Bot. 77(9): 1387- 1390.
- Thompson, V. 2004. Associative nitrogen fixation, C4 photosynthesis, and the evolution of spittlebugs (Hemiptera: Cercopidae) as major pests of neotropical sugarcane and forage grasses. Bull. Entomol. Res. 94: 189-200.
- Todd, J. L., P. L. Phelan, and L. R. Nault. 1990. Interaction between visual and olfactory stimuli during host-finding by leafhopper, *Dalbulus maidis* (Homoptera: Cicadellidae). J. Chem. Ecol. 16: 2121-2133.
- Triapitsyn, S. V., R. F. Mizell, J. L. Bossart, C. E. Carlton. 1998. Egg parasitoids of *Homalodisca coagulata* (Homoptera: Cicadellidae). Fla. Entomol. 81: 241-243.

- Vincent, C., G. Hallman, B. Panneton, and F. Fleurat-Lessard. 2003. Management of agricultural insects with physical control methods. *Annu. Rev. Entomol.* 48: 261-281.
- Walsh, K. B., J. N. Guthrie, and D. T. White. 2006. Control of phytoplasma diseases of papaya in Australia using netting. *Australas. Plant Pathol.* 25: 49-54.
- Weintraub, P. G. 2007. Insect vectors of phytoplasmas and their control - an update. *Bull. Insectol.* 60: 169-173.
- Weintraub, P. G., and L. Beanland. 2006. Insect vectors of phytoplasmas. *Ann. Rev. Entomol.* 51: 91-111.
- Weintraub, P. G., S. Pivonia, and A. Gera. 2008. Physical control of leafhoppers. *J. Econ. Entomol.* 101: 1337-1340.
- Weiss B. L., R. Mouchotte, R. V. Rio, Y. N. Wu, Z. Wu, A. Heddi, and S. Aksoy. 2006. Interspecific transfer of bacterial endosymbionts between tsetse fly species: infection establishment and effect on host fitness. *Appl. Environ. Microbiol.* 72: 7013-7021.
- Wells, J. M., B. C. Raju, H. Y. Hung, W. G. Weisburg, L. Mandelco-Paul, and D. J. Brenner. 1987. *Xylella fastidiosa* gen. nov., sp. nov.: Gram-negative xylem-limited, fastidious plant bacteria related to *Xanthomonas* spp. *Int. J. Syst. Bacteriol.* 36:136-143.
- Werren, J. H. 1997. Biology of *Wolbachia*. *Annu. Rev. Entomol.* 42: 587-609.
- Werren, J. H., and D. M. Windsor. 2000. *Wolbachia* infection frequencies in insects: Evidence of a global equilibrium? *Proc. Biol. Sci.* 267: 1277-1285.
- Wilson, M. R., and J. A. Turner. 2007. Progress in the study of sharpshooter leafhoppers (Hemiptera: Auchenorrhyncha: Cicadellidae) over 150 years: monographs, museums and individuals. *Tijdschr. Entomol.* 150 : 289-303.
- Wilson, S. W., R. F. Denno, C. Mitter, and M. R. Wilson. 1994. Evolutionary patterns of host plant use by delphacid planthoppers and their relatives. In: R. F. Denno & T. J. Perfect (eds.), *Planthoppers: Their Ecology and Management*, (pp. 7-113). Chapman and Hall, New York.

Advance and application prospect in an integrated management of the vectors of plant pathogenic prokaryotes

Hsien-Tzung Shih^{1,7}, Chi-Yang Lee¹, Yu-Der Wen², Chiou-Chu Su³,
Shu-Chen Chang¹, Chung-Jan Chang^{4,5}, Shu-Jen Tuan⁶, Chun-Yu Feng³

¹ Applied Zoology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Taichung, Taiwan, ROC

² Department of Biology, National Changhua University of Education, Changhua, Taiwan, ROC

³ Taiwan Agricultural Chemicals And Toxic Substance Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan, Wu-feng, Taichung 413, Taiwan, ROC

⁴ Department of Plant Pathology, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC

⁵ Department of Plant Pathology, University of Georgia, Griffin, GA, USA

⁶ Department of Entomology, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC

⁷ Corresponding author, e-mail: htshih@tari.gov.tw

Abstract

The major vectors of prokaryotic plant pathogen are found within the Cicadellidae, Cercopoidea, Fulgoroidea, and Psylloidea. To date among all known methods for managing plant diseases caused by plant pathogenic prokaryotes have focused on controlling the vectors with insecticides. In general, vectors disseminate the disease pathogens quicker than the insecticides can act on the vectors. Researchers are turning to develop an integrated management technology to minimize the vector populations and hence lessen the disease incidence. The technology scheme is reviewed and discussed herein, including chemical controls by using insecticides of different chemical groups in rotation, biological controls by the usage of natural enemies and symbiont control, physical controls by the application of oils, kaolin, insect-proof screening, UV-absorbing plastics, or yellow sticky traps, and the tillage control measure.

Key words: plant pathogenic prokaryotes, insect vectors, integrated management technology, kaolin, symbiont control.