

出國報告（出國類別：研究）

蔬菜作物之病蟲害整合性管理

服務機關：行政院農業委員會花蓮區農業改良場

姓名職稱：楊大吉 副研究員兼課長(出國人員)

蔡依真 助理研究員(計畫主持人)

派赴國家：美國

出國期間：102年10月11日-102年10月26日

報告日期：102年12月20日

摘要

本研究之研習過程針對美國當地之蔬菜作物之病蟲害整合性管理及生物防治策略進行了解，參訪加州大學戴維斯分校(UC Davis) Edwin Lewis 教授的蟲生線蟲研究以及該分校內的害蟲整合性管理(IPM)研究與推廣中心以及永續農業中心；另為了瞭解生物多樣性在害蟲管理上的應用，拜訪了加州大學柏克萊分校的 Miguel Altieri 教授，討論該構想在農田病蟲害整合性管理的應用面。蟲生線蟲除可防治作物害蟲外，以能對植物寄生性線蟲具抑制生長效果，惟必須結合線蟲的共生細菌等的協力作

用，另線蟲培養可發展利用現有有機廢棄物發酵技術，將廢棄物開發作為大量培養線蟲及微生物的基質。病蟲害整合性管理可將農田生物多樣性的概念融入，利用開花植物誘使寄生性及捕食性天敵棲息於農田，或利用與共榮植物混作的方法，達到生物防治的目的。

關鍵詞：美國、病蟲害、整合性管理

簡要行程表

日期	城市	研習行程
2013/10/11	Taipei-San Francisco	台北-舊金山
2013/10/12	San Francisco	研讀與整理相關資料
2013/10/13	San Francisco	參訪有機農民市集
2013/10/14	UC Davis	蟲生線蟲的生物學及在生物防治上的應用
2013/10/15	UC Davis	整合性管理之害蟲生物防治的應用
2013/10/16	Sacramento, CA California Safe soil, LLC	生物性肥料製劑大量生產流程及技術應用於蟲生線蟲的培養、有機農場參訪
2013/10/17	UC Davis	Davis 校內有機農場的生物防治應用
2013/10/18	UC Davis	Davis 校內有機農場的生物防治應用
2013/10/19	San Francisco	參訪有機農場
2013/10/20	San Francisco	參訪有機農民市集、國小學校有機教育農場
2013/10/21	UC Davis	微生物製劑在生物防治之應用
2013/10/22	UC Davis	微生物製劑在生物防治之應用
2013/10/23	UC Davis	永續農業機構(Agricultural Sustainability institute)的生物防治應用於有機農場
2013/10/24	UC Berkeley	生物多樣性在害蟲管理上的應用
2013/10/25	UC Berkeley	生物多樣性在害蟲管理上的應用
2013/10/26	San Francisco-Taipei	舊金山-台北

目錄

摘要	1
簡要行程表	2
第一章 緒言	4
第一節 研究目的	4
第二節 國內生物製劑發展概述	4
第二章 整合性管理內之生物防治應用	5
第一節 蟲生病原線蟲之繁殖與利用	5
第二節 整合性害蟲管理概念下的生物防治	7
第三章 生物多樣性概念結合於整合性害蟲管理	10
第一節 營造天敵棲所增加生物防治效果	10
第二節 美國加州之天敵棲所營造實例	11
第四章 心得與建議	13
參考文獻	14
致謝	16

第一章 緒言

第一節 研究目的

國內政府積極推動有機農業，以期營造對人類安全、對生態友善的環境。然而，由於臺灣位處亞熱帶，高濕環境使得栽培過程中對於病蟲害的控制更加困難，有鑑於民眾對食品安全議題日趨重視，尤其對有機蔬菜之需求大增。為生產健康安全之農作物，本計畫因應病蟲害綜合防治體系中生物製劑研發的需求潛力以及生物多樣性概念的應用，以提升臺灣植物保護用生物製劑產品之競爭力以及病蟲害整合性管理的整體概念，因此欲藉由參訪美國之產學研機關，獲取其蔬菜作物田間應用之整合性防治相關技術，作為國內研發參考，藉由同步掌握國際訊息及共享科技研發成果，以確保我國農業之競爭力及糧食安全之永續性。

第二節 國內生物製劑發展概述

本研究於出訪美國前，四月時先行參訪藥物毒物試驗所之生物藥劑組以及與其有合作關係的公司之一—沅漢生物科技股份有限公司，以了解國內產學研單位在生物製劑上之研究情形及研發需求。該次參訪包括參觀細菌及真菌之量產過程，細菌類製劑部分已可做到較理想之量產要求及規模，惟目前在真菌類製劑方面，無論是否為大量生產，均仍使用太空包之固態培養，亦作為公司販售之商品形式，推廣農民在使用時以水浸泡將孢子洗下。惟此量產方式需耗費大量時間及人力，且需要較大培養空間，故仍努力以期研發出適合量產真菌製劑的技術。然國內目前雖有具防治害蟲潛力的蟲生病原線蟲種類，但尚無商業化大量培養技術。

美國生物製劑發展：

根據國際生物防治組織(International Organization for Biological Control, IOBC)近年發表之報告，在美國及歐盟登記之微生物農藥用於抗病與殺蟲的產品種類較多，而具除草功能的產品較少。殺細菌劑產品有來自農桿菌及嗜菌體等。殺真菌劑方面多為芽孢桿菌、假單胞菌、鏈黴菌及木黴菌。在殺蟲劑部分，細菌類有各種蘇力菌產品與其他芽孢桿菌；真菌類殺蟲劑則有白殭菌、黑殭菌、蠟蚧輪枝菌、酵母菌；病毒類殺蟲劑則是各種昆蟲核多角體病毒及顆粒體病毒。本研究參訪的部分則屬於線蟲類的蟲生線蟲。

蟲生線蟲在做為生物製劑上通常具有以下優點：

1. 具有化學感應器，可感受到昆蟲所排出的 CO₂ 及尿素而朝寄主昆蟲主動趨近。
2. 寄主範圍廣。
3. 致病力強，共生菌分泌毒素能在 24-48 小時內殺死寄主昆蟲。
4. 對脊椎動物及一些無脊椎動物（如蚯蚓、蜘蛛）無害。
5. 培養容易，能採用動物產品如蛋黃、雞肝，或植物材料如大豆粉等大量繁殖。

第二章 整合性管理內之生物防治應用

第一節 蟲生病原線蟲之繁殖與利用

本次參訪首站來到加州大學戴維斯分校 Edwin Lewis 博士的研究室，該研究室主要以篩選具害蟲防治效果之蟲生線蟲及開發其應用為主。蟲生線蟲研究最多的是斯氏屬 (*Steinernema* spp.) 和異小桿屬 (*Heterohabditis* spp.) 線蟲(Denno, R. F. et. al. 2008、E. E. Lewis and B. J. Clarke, 2012、Grewal, P. S. 2012)，近年來已逐漸被利用在不同作物上各種害蟲的綜合管理，尤其對土棲害蟲，更具備其他生物製劑所沒有的自動搜尋寄主特性。*Xenorhabdus* 屬細菌與斯氏屬線蟲共生，光桿菌屬 (*Photorhabdus* spp.) 細菌則與異小桿屬線蟲共生，線蟲與共生菌共同完成殺蟲的任務；而其中光桿菌屬細菌被證明兼具殺蟲及抑菌效果，具有開發為微生物農藥的潛力。

蟲生線蟲的篩選方式主要為採取野外的土壤樣本後置於實驗室內，以蛾類昆蟲的蛹置於土壤上或淺埋於土壤內，誘使土壤內的蟲生線蟲感染昆蟲的蛹，並在蛹體內開始繁殖，通常放置 1 週後即可將此蛹取出置於培養皿內，待蟲體組織瓦解即可見大量蟲生線蟲，此期間即可將所篩選到的線蟲取樣鑑定，亦可將此線蟲利用固態培養方式繁殖，以作為實驗的材料。另外土壤中亦有蟲生病原真菌等可供做為微生物製劑的材料，利用至野外採集到的土壤樣本，同樣將昆蟲幼蟲或蛹放置於土中，亦可能篩選到具有發展微生物製劑的蟲生真菌，如白殭菌類的昆蟲病原微生物。

斯氏屬的蟲生線蟲(*S. riobrave*)不僅可以防治土棲性害蟲，若將感染線蟲的寄主施用於被寄生性線蟲-胡桃根瘤線蟲(Pecan root-knot nematode, *Meloidogyne paritityla*) 感染的胡桃植株，可減少胡桃上植株線蟲卵的數量，但在於根瘤的數量及線蟲的數量則無顯著差異。由此可探知，若要增加蟲生線蟲在根瘤線蟲的應用，則必須增加此寄生線蟲在土壤中的存活，在此研究中使用被危害的昆蟲作為載體，比直接單獨使用線蟲水懸液來得有用(Shapiro-Ilan, et. al., 2006)。



至野外採回土壤後，以蟲蛹誘釣蟲生病原線蟲



利用蟲生線蟲防治柑橘象鼻蟲

常用的蟲生線蟲之繁殖技術為利用固態培養材料如動物產品蛋黃、雞肝，或植物材料如大豆粉等作為線蟲的食物來源(蕭文鳳 2007)，此類的材料通常成本較高，且大量培養的技術亦尚需精進。此外尚可用氣曝式的液態培養液繁殖，此類的大量繁殖技術較適用於商業大量生產上(Shapiro-Ilan et al. 2012)。

然該實驗室除測試對於害蟲的防治效果外，亦嘗試與生物性肥料製劑公司(California Safe soil, LLC)合作，利用超市、商場等的次級或過期農、漁、畜產品，利用微生物處理與發酵技術，將廢棄物再生處理為生物性資材，可利用尚未完全作用完的產品，作為繁殖線蟲的基質，如此可有效降低蟲生線蟲的生產成本。該流程若不使用於生產蟲生線蟲，則可生產生物性肥料，該產品如同坊間所聲稱的生物性肥料，亦能有效促進植物生長。利用廢棄物作為生產蟲生線蟲的材料，可做為國內發展大量培養技術的產業參考。



在與 Ed. Lewis 教授討論後在實驗室合影



利用蛾類害蟲的蛹繁殖蟲生線蟲



利用蟲生線蟲防治柑橘潛葉蛾之試驗



蟲生線蟲的繁殖可利用處理有機廢棄物的大型發酵槽進行(圖中的儲存統內為已經發酵完成之產物)



使用 silicon 溶液使蟲生線蟲較容易穿透葉表而感染潛葉蛾



實驗室內進行誘使土壤中昆蟲病原菌-白殭菌感染昆蟲

第二節 整合性害蟲管理概念下的生物防治

整合性病蟲害管理(integrated pest management)包含 1.機械、物理及耕作防治 (mechanical, physical and cultural control); 2. 寄主植物抗性(host resistance); 3. 生物防治(biological control); 4. 降低繁殖之防治(autocidal control); 5. 生物源的化學防治資材 (biorational chemical agents/ biochemicals); 6. 傳統的農藥 (conventional pesticides) (Gurr, G. M. et. al. 2004)。通常需將相關的技術整合，考慮作物的生長時期以及病蟲害的田間生態，採取各時期適當的防治措施方能得到較好的防治效果。以甘藍上的蚜蟲為例(通常為桃蚜 *Myzus persicae* 或偽菜蚜 *Liparaphis erysimi*)為例，可以採取的方式為種植抗蟲品種；利用與非十字花科作物輪作，避免前一期感染源；使用黃色黏紙誘殺有翅形蚜蟲；利用蚜繭蜂科(Aphidiidae)寄生蜂、捕食性的草蛉或者瓢蟲等生物防治方法；亦或者是使用礦物油類的油劑或者植物浸出液等；通常最後手段為使用化學農藥，但若要搭配使用生物防治天敵，使用上需注意使用的時間點及種類，可使用選擇性的藥劑，避免對天敵造成傷害(Flint M. L. 2012)。



農場內種植的甘藍可見到蚜蟲為害，亦可發現蚜繭蜂的存在



整合性病蟲害管理技術除生物防治外，亦可配合防治資材的使用



可使用物理方法(利用昆蟲偏好黃色)防治害蟲



農場周圍種植開花植物可吸引天敵昆蟲

由於加州為美國西岸最重要的農業生產州，而戴維斯分校又是以農業科技研究著稱，因此學校內有一個 IPM 研究與推廣單位，屬於學校內農業與自然資源 (Agriculture & Natural Resources) 研究機構，拜訪了 Mary Louise Flint 教授，該教授主要執行加州的整合性害蟲管理計畫 (Statewide Integrated Pest Management Program)，負責將在 IPM 的研究成果應用於實際田間害蟲防治上。其一是以科學研究為基礎發展 IPM 的執行步驟，包含對於病蟲害的認識、監測與評估害蟲的數量與危害、當害蟲發生時所必須採取的管理行動、如何預妨害蟲的問題以及運用將生物防治、農業防治、物理防治及化學防治結合的防治措施。在 IPM 的執行步驟裡，最重要的是對於害蟲的長期的生態系統研究來預妨害蟲的發生。

加州是美國非常重要的農業州，因此有非常完整的整合性害蟲管理體系，在美國農部 (United States Department of Agriculture) 的支持下推動加州全區域的整合性害物管理工作 (Statewide Integrated Pest Management Program)，尤其是在加州大學裡，除了學校的教授參與研究與推廣之外，美國農部的研究人員亦緊密的與學校合作，共同研發 IPM 技術，並且藉由學校的教育推廣部門將相關技術教導農業相關廠商、農民等。由於美國對於病蟲害防治的輔導體系內建立了害物防治的顧問 (pest control

adviser)制度，分別有 7 種的顧問，包含 1.昆蟲、蟎蟬及其他無脊椎害物；2.植物病原；3.線蟲；4.脊椎動物害物；5.雜草防治；6.落葉；及 7.植物生長調節。每種顧問各司其職，最主要的工作包含撰寫害物管理的建議、害物管理的診斷專業知識以及害物的監測，亦可進行農藥試驗、協助 IPM 工作人員專業訓練及肥料使用與作物生產技術。截至目前已建立該州各種主要作物的 IPM 技術並出版手冊，如水稻、棉花、草莓，番茄、馬鈴薯、萵苣等蔬菜類，以及多種果樹如蘋果、梨等，該手冊資料內包含了 IPM 的所有步驟，便於農民閱讀及應用。

生物防治可包括保育生物防治(conservation biological control)、傳統生物防治(classical biological control)、接種式的生物防治(inoculation biological control)以及淹沒式的生物防治(inundation biological control) (Gurr, G. M. et. al. 2004、Orr, D. 2009)。對於屬於繁殖率高的害蟲(r-pest)，如蚜蟲、粉蝨、葉蟎等，應該採取淹沒式的天敵試放，但通常得多次釋放，因此成本亦較高，除非在有限的空間裡如溫室內，其效果才容易顯現，否則天敵常在害蟲密度低時往田區外擴散，無法將天敵留於田區內。若要讓生物防治效果持續，則可經由將保育生態學的概念導入，建構農田的天敵棲所，並提供天敵食物來源(通常為非作物上的害蟲)，方能讓害蟲的天敵棲息於農田裡(Altieri, M. A. and C. I. Nicholls, 2004、)。戴維斯大學除進行生物防治研究之外，校內附設了 10 公頃的有機農場及生物防治實習農場及有機及生物防治之推廣示範農場 57 公頃，除了研發技術外，亦將相關技術應用於試驗田內，並將試驗成果藉由教育推廣專案大力推廣生物防治。



實驗室內進行鏡檢，確認果蠅的雌雄



飼養於飼養瓶內的果蠅

近年來在加州的蔬果及果樹上發現重要的入侵種害蟲果蠅(*Drosophila suzukii*)，此種果蠅與一般出現在腐爛水果上的果蠅在體型上相類似，而此果蠅雄蠅有很大的特徵為翅膀末端上有一明顯黑點，最大的不同是會如同果實蠅一般對於生鮮蔬果產生危害，而不僅只限於在腐爛的蔬果上取食。該校昆蟲學者 Dr. Frank G. Zalon 已針對此果蠅的生態與防治技術進行相當多研究，現正要利用遺傳工程的技術，使雄蟲與雌蟲交配後階產生雄性後代，以此方法來防治此害蟲，而傳統的不孕性雄蟲的方法乃是利用與自然族群交尾競爭後使雌蟲無法產生後代的方法不同，此方法可以藉

由與雌蟲交尾，以產生更多經基因改造的雄蟲，取得與田間自然族群競爭母雌蟲的優勢。此外在與教授討論防治技術上，其實亦建議該教授也可以發展性費洛蒙的誘殺方式來搭配，教授表示此方式倒是一項可行的方式，若開發出來可以與現行的所有防治方式搭配使用。

第三章 生物多樣性概念結合於整合性害蟲管理

第一節 營造天敵棲所增加生物防治效果

每種天敵有不同的食物來源，因此反應其不同植物的偏好性及對於棲地組成的偏好性，此可以釋放天敵與保育天敵來解釋，特別是增加植物的多樣性。對於農地景觀有良好的設計規劃可提升生物防治的成功率。此種生物防治的方法可稱為保育式的生物防治的技術(Gurr, G. M. et. al. 2004、)。有機農業強調利用自然生態平衡，達到病蟲害防治的目的，也就是利用生物多樣性的概念，強調自然界的食物鏈與食物網的相互關係，利用自然界的捕食與被捕食或寄生與被寄生等的相互作用達到農田裡病蟲害的平衡。

生物多樣性在害蟲管理的應用上，最常見的方法為在農田裡使植物多樣性增加，例如種植開花植物香雪球(*Alyssum*)，進而吸引寄生蜂、食蚜蠅及其他捕食性天敵。例如在葡萄園的行間種植蕎麥，可吸引葡萄捲葉蛾的寄生蜂前來取食，有效降低捲葉蛾(*Epiphyas postvittana*)族群量，間接使葡萄灰黴病(*Botrytis cinerea*)的危害有效的減少。蕎麥亦可以有效吸引縷小蜂(*Anagrus* spp.)，有效避免葡萄上葉蟬(*Erythroneura elegantula*)的危害(Altieri, M. A. et.al. 2010)。國內近年亦開始研究有機農場綠籬環境的建構，使天敵能棲息於農場綠籬上，例如馬利筋、金露花或朱槿等可當作為綠籬植物(楊與林 2008、2010。林與楊 2010)。種植馬利筋綠籬可將蘿蔔上偽菜蚜的為害度降為 28%，顯著低於對照的 81.3(林與楊 2012)。

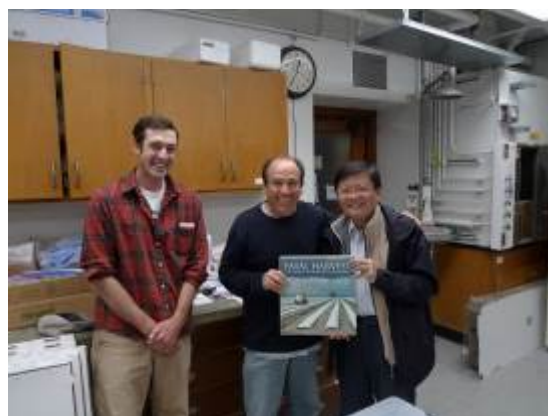


田埂上種植 *Alyssum* 可有效吸引寄生蜂、食蚜蠅等天敵昆蟲



利用豆科植物與作物混作，可提供作物所需的肥份

利用蕎麥與作物混種可有效吸引作物上蚜蟲或鱗翅目害蟲的寄生蜂



在與 Miguel A. Altieri 教授(中)及其學生討論有關環境建構研究後，教授贈予書籍

第二節 美國加州之天敵棲所營造實例

加州大學柏克萊分校的 Miguel A. Altieri 教授的研究領域主在農業生態系的生物多樣性應用於害蟲防治上，致力於將天敵或有益生物棲地營造的概念透過研究、教學與國際合作計畫，將此概念推廣於農田的害蟲防治上。目前持續投入應用植栽管理吸引天敵來防治葡萄園的害蟲。西方葡萄葉蟬(Western Grape Leafhopper, *Erythroneura elegantula*)為葡萄重要的害蟲之一，除造成葉片生長不良、落葉之外，亦會為害葡萄果實，造成果實外觀不良，影響商品品質，而該葉蟬的重要天敵-卵寄生蜂(*Anagrus* spp.)可有效抑制葉蟬的生長，若使用藥劑防治，常無法將葉蟬消除，反使其天敵消失，因此可利用在葡萄園田間種植紫草科植物 *Phacelia tanacetif*、或者繖形花科植物 *Ammi majus* 或 *Aucus carota* 等植物，此類植物於開花期皆能有效吸引寄生蜂前往取食，因此可有效的控制葉蟬的族群。但必須考慮各種植物的開花時期是否為葉蟬的發生時期。所篩選到的以上三種植物的開花期分別為紫草科植物 *Phacelia tanacetif* 開花期為 3-5 月；繖形花科植物 *Ammi majus* 與 *Aucus carota* 開花期為分別為 5-7 月以及 7-10 月，園區內若同時種植此三種植物，則從 3-10 月皆能使卵寄生蜂棲息於葡萄園區內，可有效控制葉蟬的發生。

除了在葡萄園的試驗之外，該研究室另外於校內試驗田進行的研究室則將開花植物(如蕎麥、原生野生十字花科雜草)、固氮植物與蔬菜作物混作、間作，以達到吸引天敵來防治蔬菜害蟲，同時又能藉由固氮植物提供作物所需的養分，有別於傳統的一期作物一期綠肥作物的輪作模式。此研究方向可提供國內在共榮植物應用研究方面的參考。



農田周遭種植開花植物可增加生物多樣性，尤其是增加寄生蜂種類與數量



果園內種植繖形花科植物，開花後可增加天敵寄生蜂數量



田區外種植玫瑰除了景觀效果外，亦可有效增加天敵種類與數量



公路與農田間種植大波斯菊，除具有景觀效果外，亦能增加生物多樣性



攜回之樣品以進行分類以分析各種害蟲與其天敵的種類及數量



以黃色黏紙調查田間昆蟲多樣性

第四章 心得與建議

研習心得

生物防治發展是世界潮流，世界各先進國家均在積極推動全球性生物多樣性保護、環境保護、永續發展、食物安全、及人類與自然和諧等重大議題，台灣生物防治技術已達到相當水準，今後宜朝實用性開發。若有相關會議或計畫，宜請儘量支持並指派有關人員參加，以激勵並提高研究風氣，達到理論與實用並際。除可吸收新知外，並可結識有關學者專家，提高國際學術地位，而參加會議人員亦可在能力範圍內盡量參觀訪問有關機關及交換意見，瞭解有關研究工作的最新動向。

雖然我國目前對於作物害蟲生物防治技術已有相當基礎，但在量產天敵及商品化方面仍待突破，因此，如何建立量產及商品化是首要解決的問題。臺灣耕地常為少量多樣的農作物相，除可利用天敵外，亦可利用休耕、輪作及地景改造等方式來防治害蟲，又因高溫多濕之氣候環境，一年四季害蟲均可存活，使得病蟲害防治工作變得相對棘手，雖然國外對該類害蟲的管理常利用天敵防治，且有多種生物天敵均已商品化，但在台灣則需考慮更多。目前本場研究已研究利用綠籬或蜜源植物、陷阱植物及覆蓋植物來增加天敵的棲地，但在生態調查方面仍待強化。

建議事項

1. 應重視本土性微生物資源之調查、篩選和後續商品化。
2. 為提高國內生物防治國際學術地位，有關類似會議及研習，建請儘量鼓勵有關人員參加。
3. 美國有堅強的生物防治能量，其有機訓練學院，附設 10 公頃的有機及生物防治實習農場及有機及生物防治之推廣示範農場 57 公頃，大力推廣生物防治，值得我國借鏡。
4. 利用農地景觀結構及組成，營造天敵棲地多樣性，並利用載體植物供養天敵以利生物防治，值得推廣在我國有機農業害蟲管理上。
5. 建議國內有機團體或生物防治研究人員加入國際生物防治組織(IOBC)，以利與更多國家進行更多的生物防治資訊交流。

參考文獻

- 林立 楊大吉。2010。有機農業環境建構與生態旅遊資源。東部有機樂活廊道研討會專刊。75-85 頁。行政院農業委員會花蓮區農業改良場專刊第 86 號。
- 林立 楊大吉。2012。綠籬對於三種作物害蟲防治之研究。花蓮區農業改良場研究彙報 30: 33-42。
- 楊大吉 林立。2008。有機農業環境之建構。有機生態環境營造與休閒多元化發展研討會專刊。67-73 頁。行政院農業委員會花蓮區農業改良場專刊第 48 號。
- 楊大吉 林立。2010。植物多樣性 (綠籬) 建構在有機農田害蟲生物防治之應用。農業生態系與農田生物多樣性研討會專刊。87-96 頁。行政院農業委員會林務局。
- 蕭文鳳。2007。線蟲殺蟲劑之生產與產品開發。農業生技產業季刊 12 : 28-34。
- Altieri, M. A., C. I. Nicholls, H. Wilson and A. Miles. 2010. Habitat management in vineyards, a growers manual for enhancing natural enemies of pests. Berkeley, College of Natural Resources, University of California.
- Denno, R. F., D. S. Gruner, and I. Kaplan. 2008. Potential for entomopathogenic nematodes in biological control: a meta-analytical synthesis and insights from trophic cascade theory. *Journal of Nematology* 40(2): 61-72.
- Flint, M. L. 2012. IPM in practice, principles and methods of integrated pest management. Oakland. University of California, Agriculture and Natural Resources Publication 3418.
- Gurr, G. M., S. L. Scarrat, S. D. Wratten, L. Berndt and N. Irvin. 2004. Ecological engineering, habitat manipulation and pest management. In *Ecological Engineering for Pest Management, Advances in Habitat Manipulation for Arthropods* (G. M. Gurr, S. D. Wratten and M. A. Altieri, ed.) pp. 1-12. CSIRO PUBLISHING, Collingwood VIC.
- Grewal, P. S. 2012. Entomopathogenic nematodes as tools in integrated pest management. In *Integrated Pest Management, Principles and Practice* (Abrol, D. P. and U. Shankar, ed.) pp. 162-236. Cambridge, MA. CABI.
- Lewis, E. E., and D. J. Clarke. 2012. Nematode parasites and entomopathogens. In *Insect Pathology* (F. E. Vega and H. K. Kaya, ed.) pp. 395-424. Elsevier Inc. London.
- Altieri, M. A. and C. I. Nicholls. 2004. Agroecology and pest management. In *Biodiversity and pest management in agroecosystem* (Altieri, M. A. and C. I. Nicholls ed.) pp. 17-28. New York. Food Products Press.

- Orr, D. 2009. Biological control and integrated pest management. In *Integrated pest management Volume 1: innovation-development process* (Peshin, R. and A. K. Dhawan, ed.) pp. 207-240. London. Springer.
- Gámez-Virués, S., M. Jonsson and B. Ekbom. 2012. The ecology and utility of local and landscape scale effects in pest management. In *Biodiversity and insect pests, key issues for sustainable management* (Gurr, G. M., S. D. Wratten, W. E. Snyder and D. M. Y. Read ed.) pp.106-120. West Sussex, UK. John Wiley & Sons, Ltd.
- Shapiro-Ilan, D. I., A. P. Nyczepir, and E. E. Lewis. 2006. Entomopathogenic nematodes and bacteria applications for control of the pecan root-knot nematode, *Meloidogyne partityla*, in the greenhouse. *Journal of Nematology* 38(4): 449-454.
- Shapiro-Ilan, D. I., R. Han, and C. Dolinski. 2012. *Journal of Nematology* 44(2): 206-217.

致謝

本計畫於美國加州大學戴維斯分校之相關行程承蒙線蟲學系 Edwin Lewis 教授的協助，並安排至生物製劑廠商與農場參訪，始得順利成行；Frank G. Zalon 及 Mary Louise Flint 提供整合性害物管理的概念與應用實例；此外感謝加州大學柏克萊分校 Miguel A. Altieri 教授與其研究室所有學生，提供農田生物多樣性概念及天敵棲地營造實施提供寶貴意見。感謝所有協助此次參訪所有朋友，使本次研究參訪能從理論基礎至實際應用面得到寶貴經驗，有利於未來進行國內病蟲害整合性管理及天敵棲地營造相關研究與推動之參考。