



推動農藥減量與 農藥風險管理新思維 研討會 專刊

張瑞璋. 陳子偉. 洪挺軒. 顏瑞泓 著者
謝廷芳. 姜至剛. 黃振文

宋孟真. 謝奉家. 蔡韋任. 徐慈鴻 主編

行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所 編印
中華民國111年11月 發行



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

農委會主委陳吉仲序

自 2016 年以來，農委會積極落實蔡英文總統食安五環的改革政見，加強宣導各種認、驗證農產品，鼓勵營養午餐採用三章一 Q 食材，從源頭輔導農民安全用藥並增加抽驗次數，把關校園營養午餐之食材安全。為達成環境永續且落實 10 年化學農藥減半的政策目標，並讓消費者方便選購安全溯源的國產農產品，本會積極推動「農藥購買實名制」與「植物醫師制度」，並持續推動減少化學農藥使用，擴大推動使用質譜快檢加強自主管理及可溯源農產品制度，以落實農產品生產安全管理，創造消費者、農友、業者和環境全贏，更透過保障植物健康與農產品安全，推動臺灣農業對消費者安全保障重要的里程碑。

2022 年，本會投入大量心力，結合學術界進行臺灣首度的農藥對環境影響調查，評估使用農藥對農友、消費者、環境水質的影響，也宣布 IPM（作物有害生物管理）將轉為產銷履歷 Plus，並訂定農藥風險管理指數，將農藥風險分級。為降低臺灣每年每公頃農藥的使用量，本會於今年參酌歐盟綠色政綱的精神，將農藥依風險分級管理，並訂定指數，採取農藥風險指數減輕之措施。農藥使用減量與食農教育議題攸關著全民健康、環境永續與農業發展，蔡總統於 2022 年 5 月公布通過《食農教育法》，賦予推動食農教育的法源依據，有助於公私

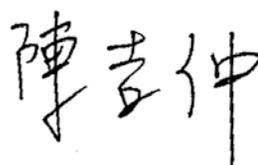
部門及全國民眾共同推動和響應食農教育，也期許農藥減量在食農教育法的推動下，達成下一階段之目標。

藥毒所對臺灣農藥合理使用及農產品安全品質付出不遺餘力，在研究與服務等表現都相當優秀，本研討會適逢張瑞璋所長榮退之際，謹代表農委會感謝藥毒所對臺灣農業的貢獻，也期待藉由本次研討會舉辦，讓大眾更瞭解政府推動農藥減量與農藥風險管理新思維的用心與努力。

最後，敬祝大會圓滿成功。

行政院農業委員會

主任委員



謹識

中華民國 111 年 11 月



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

杜文珍局長序

我國地處亞熱帶氣候溫暖多濕，農作物受有害生物影響甚鉅，使用化學農藥進行有害生物管理仍是有效且低成本的因應方式。然而隨著各國食品安全及環境永續意識的崛起，行政院農業委員會為維護我國糧食及農產品安全，於 2017 年 9 月宣示農藥十年減半政策，並將此 10 年規劃成 3 個階段，各階段分別擬定行動方案及配套措施，據以推動並適時滾動檢討。透過推廣作物有害生物綜合管理 (IPM) 及鼓勵友善農業，並加強開發與引進生物防治資材及完備供應鏈，提升生物性資材及非化學防治技術之研發量能；另推動高危害風險化學農藥退場，依據新科學證據及使用變化，重新評估其對人體及環境風險，進行必要的管制措施；推動植物醫師制度，指導生產者正確、合理、精準使用農藥，以降低化學農藥的使用。

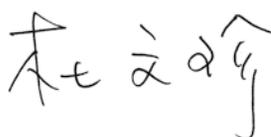
本次研討會聚焦農藥減量及風險管理議題，包括政策面針對化學農藥十年減半及植物醫師制度的現況與展望；技術面針對農藥環境流佈及對非目標生物影響、天然植物保護資材於 IPM 的應用，以及針對防治困難的土壤傳播病害綜合管理策略；加上社會面包括農藥施用談食品安全與風險溝通等議題，豐富的議程及具有深度的研究成果，期

能透過各方共同交流及討論，逐步達成我國在推動化學農藥減量及提升食品安全的目標。

本研討會適逢張瑞璋所長榮退之際，感念多年來在植物保護領域的盡心盡力與無私奉獻，期望能藉由本次研討會之舉辦，表達誠摯的感謝及敬意。

最後，謹感謝本研討會受邀專家的傾囊相授經驗分享，也感謝各位先進熱烈參與，敬祝研討會圓滿成功。

行政院農業委員會動植物防疫檢疫局

局長  謹識

中華民國 111 年 11 月



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

張瑞璋所長序

因氣候變遷地球逐漸暖化，影響全球糧食生產及供應的穩定性，尤其作物病蟲草害之更迭、突發或遷移入侵等，導致農業經濟嚴重損失，凸顯作物保護措施的需求，也增加對化學農藥的依賴性。為達成農業的永續經營，減少農業生態環境遭受破壞，行政院農業委員會於 2017 年 9 月宣示化學農藥十年減半政策，並於 2018 年開始推動，訂定 3 大管理策略包括：一、強化綜合管理、鼓勵友善農業；二、汰除高風險農藥、強化分級管理；三、制定配套措施、逐步達成減半等，計有 12 項措施，期達成推動化學農藥十年減半的目標。

從 2018 年開始推動化學農藥十年減半政策至今已即將邁入第 5 年，由於氣候變遷使得新興有害生物崛起，導致化學農藥在使用量上無法達到預期的目標。若僅從使用的量化值來評估，地處亞熱帶地區的臺灣，為了因應作物有害生物不斷的肆虐，從農民實際防治病蟲草害的需求，恐怕不易達成政策目標。有鑑於此，特參考聯合國糧農組織及歐盟對化學農藥減半政策的作為，除了減少使用量外，也著重在減輕化學農藥所造成的危害風險。因此，本所與行政院農業委員會動植物防疫檢疫局共同主辦「推動農藥減量與農藥風險管理新思維」研討會，除了回顧檢討過往化學農藥十年減半推動之成果，也期盼能透過本研討會與會專家、學者共同研商，思考在「化學農藥十年減半政策」上是否還有那些新的作法，供調整未來執行減量的各項措施，以達到化學農藥十年減半的政策目標。

本研討會分為「藥毒所於農藥減量與風險管理之創新與成效」、「化學農藥十年減半推動現況與展望」、「植物醫師制度的推動與前瞻」、「農藥環境流佈與對非目標生物的影響」、「天然植保資材於IPM中的應用」、「從農藥的施用談食品的安全與風險溝通」、「作物土媒病害綜合管理策略」等7個議題，涵蓋3大管理策略的措施，例如：有害生物綜合管理的推廣與應用、植物醫師制度的推動、配合農藥殘留檢驗的農民輔導以推動友善農業與綜合管理、從農藥的危害風險提出風險管理策略的建議、農藥對生態環境的影響作為風險管理的參考資料，也針對農藥的使用對食品安全的疑慮，及如何進行風險溝通提出分享與建議，最後介紹化學農藥十年減半推動現況及未來的展望。透過7大議題的報告與討論，相信可對化學農藥十年減半行動方案提出具體的建議，滾動檢討執行方向，調整行動方案與作為。也讓化學農藥十年減半的政策，持續與國際接軌，逐步達成化學農藥減半的政策目標。

行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所

所長 張瑞璋 謹識

中華民國 111 年 11 月



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

推動農藥減量與農藥風險管理新思維研討會

時間：111 年 11 月 23 日星期三 上午 09 時 30 分 16 時 50 分

地點：國立自然科學博物館 第三演講(藍)廳 (臺中市北區館前路 1 號 立體劇場地下樓)

主辦單位：行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所

行政院農業委員會動植物防疫檢疫局

協辦單位：中華農藥協會、中華植物保護學會、中華植物病理學會

	議程	主講人
09:30~10:00	報到	
10:00~10:15	開幕式：來賓致詞	農委會陳主委吉仲等貴賓
10:15~10:40	拍照及茶敘	
主持人：防檢局 杜文珍 局長		
10:40~11:30	藥毒所於農藥減量與風險管理之創新與成效	農業藥物毒物試驗所 張瑞璋 所長
11:30~12:00	化學農藥十年減半推動現況與展望	動植物防檢局植物防疫組 陳子偉 組長
12:00~13:30	午餐	
主持人：中興大學 詹富智 院長		
13:30~14:00	植物醫師制度的推動與前瞻	台灣大學植物病理與微生物學系 洪挺軒 教授
14:00~14:30	農藥環境流佈與對非目標生物的影響	台灣大學農業化學系 顏瑞泓 教授
14:30~15:00	天然植保資材於 IPM 中的應用	農業試驗所植物病理組 謝廷芳 組長
15:00~15:20	茶敘	
主持人：台灣大學 顏瑞泓 教授		
15:20~15:50	從農藥的施用談食品的安全與風險溝通	台灣大學毒理學研究所 姜至剛 教授
15:50~16:20	作物土媒病害綜合管理策略	中興大學植物病理學系 黃振文 教授
主持人：主講人與貴賓		
16:20~16:50	綜合討論	
18:00~20:30	會議晚宴*	

*會議晚宴 地點：金典酒店 13 樓金典廳、地址：403 台中市健行路 1049 號、電話：04-2328-8000

推動農藥減量與農藥風險管理新思維研討會

目錄

藥毒所於農藥減量與風險管理之創新與成效	
農業藥物毒物試驗所 張瑞璋 所長	1
化學農藥十年減半推動現況與展望	
動植物防檢局植物防疫組 陳子偉 組長	37
植物醫師制度的推動與前瞻	
台灣大學植物病理與微生物學系 洪挺軒 教授	51
農藥環境流佈與對非目標生物的影響	
台灣大學農業化學系 顏瑞泓 教授	55
天然植保資材於 IPM 中的應用	
農業試驗所植物病理組 謝廷芳 組長	67
從農藥的施用談食品的安全與風險溝通	
台灣大學毒理學研究所 姜至剛 教授	89
作物土媒病害綜合管理策略	
中興大學植物病理學系 黃振文 教授	101



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

藥毒所於農藥減量與風險管理之創新與成效

張瑞璋^{1*}

摘要

為配合行政院農業委員會(農委會)化學農藥 10 年減半政策的推動，農委會農業藥物毒物試驗所(藥毒所)透過跨領域專家及跨機關合作模式，以技術精進提供創新作為，來支援農藥減量行動方案的 3 大管理策略與 12 項措施的逐步落實；本文將呈現具體成效包括：(1) 研發核多角體病毒的水分散性粒劑 (WG) 劑型、微生物的種子種衣劑及利用發光桿菌作為微生物殺蟎劑之技術，並提供快捷的生物農藥查詢平台，推動產業應用及環境友善資材的擴散；(2) 結合質譜快檢技術的農民用藥輔導模式，將安全用藥技術輔導的資源精準投注到需關切的作物產區及農友；(3) 導入聯合國糧農組織/世界衛生組織 (FAO/WHO)、農藥殘留專家聯合會議 (JMPR)、國際癌症研究機構 (IARC) 等國際組織的評估指引或準則，對農藥風險進行滾動式的再評估，包括：建立高危害農藥辨識原則、農藥每日可接受攝食量 (ADI) 和急性參考劑量 (ARfD) 訂定原則、建立階層式農藥施用者的暴露評估原則等，做為農藥分級管理及汰除高風險農藥的科學依據；(4) 在兼顧動物福祉與科學評估需求考量下，根據經濟合作暨發展組織(OECD)指引逐步建立我國的實驗動物 3R「替代 (Replacement)、減量 (Reduction)、精緻化 (Refinement)」新穎試驗技術於農藥毒理的評估運用；(5) 環境安全影響的部分，參採 OECD、歐盟及美國等國際規範建立我國的農藥田間消散性試驗模式，篩選具環境影響風險潛勢的藥劑進行實際施用後的消散性評估，作為後續對農藥地下水污染潛勢、非目標生物影響及輪作作物影響的評估依據，完備農藥對環境安全的本土背景資料；(6) 對生態指標生物的影響部分，新增水生藻類、土壤蚯蚓及底泥搖蚊等非目標生物毒性評估方法的建立，精進農藥對水域、陸域其他重要非目標指標生物的風險評估技術，建

* 通訊作者。E-mail: raychang@tactri.gov.tw

¹ 農業藥物毒物試驗所 所長



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

立蜜蜂半田間試驗的農藥暴露評估流程，精進農藥對非目標生物的階層式評估方法；(7) 透過涉偽農藥的鑑定技術提升及化學物質質譜資料庫擴增，協助主管機關對涉偽農藥的查緝效率；(8) 透過農藥代噴訓練課程，與農委會動植物防疫檢疫局 (防檢局)、大專院校合作辦理無人機的課程，近 3 年已培訓 1,500 人取得雙證照，建立無人機精準施藥技術，舒緩農業勞動力缺口。藥毒所的相關研究成果除技術支援化學農藥減量的各項措施外，也透過技術擴散提供農委會內部單位、學研界和產業界在管理面及產品開發的需求，未來藥毒所也將秉持對推動安全農業之使命與願景，持續精進創新，提供專業服務確保農藥之合理使用及農產品之安全品質，進一步保護農業環境之安全。

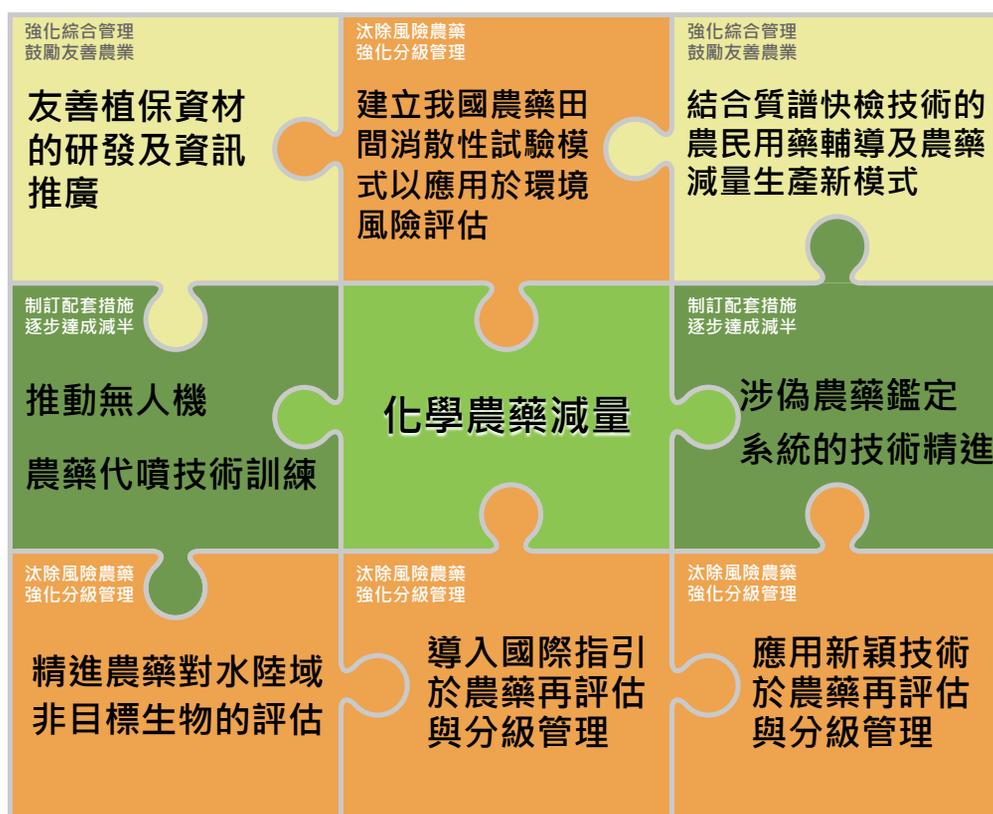
關鍵詞：製劑 Formulation；環境友善 Environmental - friendly；生物農藥查詢平台 Biopesticide Enquiry Platform；質譜快檢技術 Rapid Screening Mass Spectrometry Technique；田間消散性試驗 Field Dissipation Study；高危害性農藥 Highly Hazardous Pesticides (HHP)；每日可接受攝食量 Acceptable Daily Intake (ADI)；急性參考劑量 Acute Reference Dose (ARfD)；每日可接受操作暴露劑量 Acceptable Operator Exposure Level (AOEL)；取代與減量及精緻化 Replacement, Reduction, Refinement；無人飛行載具 Unmanned Aerial Vehicle (UAV)；有害生物綜合管理 Integrated Pest Management (IPM)；涉偽農藥 Counterfeit Pesticides

前言

行政院農業委員 (農委會) 於 2017 年 9 月宣示化學農藥減半政策，同年 10 月透過化學農藥 10 年減半會議研定減半行動方案，包括「強化綜合管理、鼓勵友善農業」、「汰除高風險農藥、強化分級管理」、「制定配套措施、逐步達成減半」3 大管理策略及 12 項措施行動方案⁽⁵⁾，與聯合國 2015 年通過的永續發展方針中有關「負責任的生產消費循環」目標接軌，在符合國際降低農藥風險趨勢下，兼顧糧食安全、環境永續、生態保育及

農產品安全，並期透過化學農藥減半的政策推動過程，精進農藥風險評估技術及涵蓋面向，研修農藥管理相關法規以完備風險管理措施，有利於農民健康維護及農業生態環境永續，也能符合消費者對農產品安全的期待，並順暢我國優質農產品的國際貿易。

農業藥物毒物試驗所(藥毒所)配合農委會農藥減量的行動方案 12 項措施的推動，包括「擴大有害生物綜合管理示範推廣」、「加強開發與引進生物防治資材及完備供應鏈」、「推動高危害風險化學農藥退場」、「強化農藥安全監控機制」、「依農藥安全性建立分級管理」、「持續推動農藥代噴制度」、「加強推動植物醫師制度」、「強化農藥使用安全教育訓練」等 8 項措施，以跨技術領域或跨機關合作的模式提出創新作為，相關執行成效呼應行動方案之 3 大策略(圖一)，本文將從策略及對應措施介紹藥毒所近幾年在農藥減量及風險評估的作為及成效。



圖一、藥毒所配合農委會農藥減量的行動方案



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

農藥減量與風險管理之創新及成效

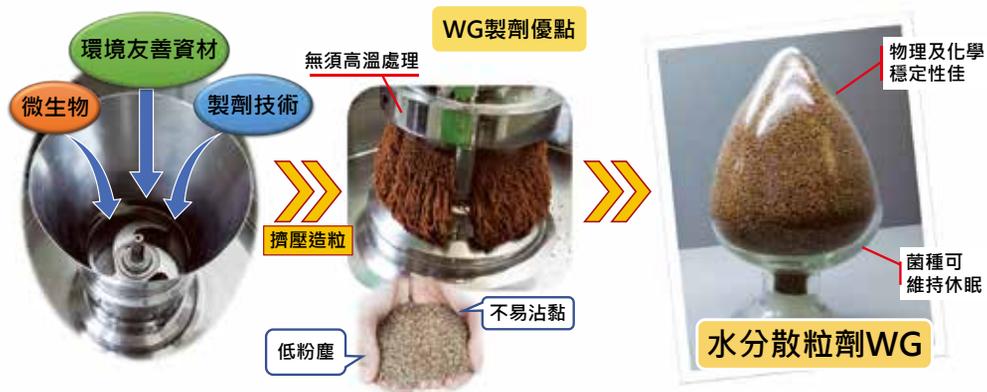
友善植保資材的研發及資訊推廣

一、核多角體病毒製劑、微生物種子種衣劑及發光光桿菌微生物殺蟎劑之研發應用

微生物製劑之有效成分為微生物或其代謝物⁽¹⁸⁾，在未經製劑加工前之液態產物，多不耐貯存及不易運送，透過製劑加工技術製作成固體劑型，可降低因水分影響導致微生物穩定性不佳之問題，並經由適當助劑的添加以提升製劑產品的儲架壽命。

(一) 本土核多角體病毒水分散粒劑 (WG) 產品研發

藥毒所過去開發環境友善之配方，改良 WG 之生產製程技術，經測試可適用於會產生內生孢子 (endospore) 之微生物⁽²⁰⁾，如：蘇力菌⁽³¹⁾、液化澱粉芽孢桿菌或枯草桿菌等芽孢桿菌屬細菌，經改良後的 WG 製劑可達到良好的分散性，並具有以下優點：(1) 原料為環境友善資材；(2) 低粉塵量，方便取用且不易沾黏；(3) 穩定性佳，菌種易維持休眠狀態；(4) 降低製程損耗並提高生產率。透過製劑技術改良可提升微生物農藥品質，產出穩定性更佳且使用簡便的農藥製劑 (圖二)，近 3 年本所應用此技術於昆蟲核多角體病毒的製劑產品研發。

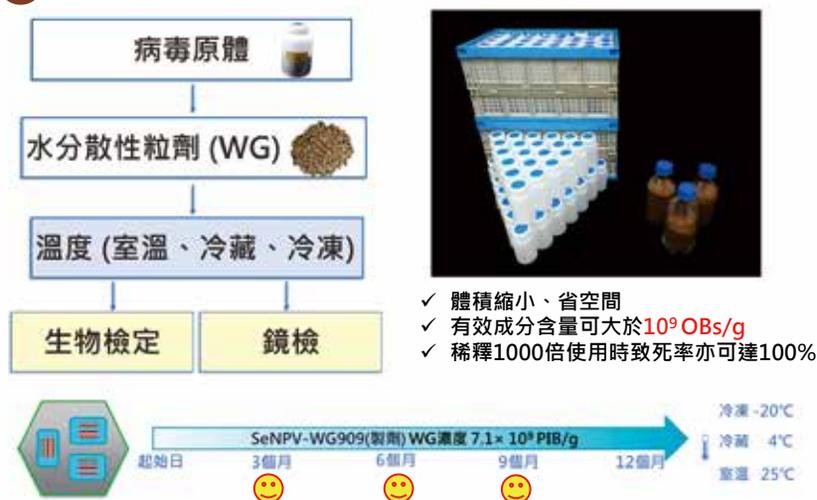


圖二、環境友善 WG 製劑技術之成品優點

昆蟲核多角體病毒與不同昆蟲寄主中腸接受器之辨識具有專一性⁽³²⁾，因此僅會造成特定寄主死亡，不會感染其他非寄主之生物，亦不會影響環境，屬於高安全性植保資材。本所完成本土甜菜夜蛾核多角體病毒 (SeMNPV) 之分離活化，並建立病毒的分子鑑定技術，本土甜菜夜蛾病蟲體內分離之核多角體病毒，外形為不規則且大小不一的多角體，在每一病毒包含顆粒體粒子中含有 1 至 6 個長桿狀之核蛋白鞘，其中以含 2-4 個最常見，經具有專一性 nt313 或 nt524 作為定序引子⁽¹⁹⁾，進行核酸定序及 BlastN 資料庫比對確認本所的核多角體病毒為 SeMNPV，進一步透過室內生物檢定試驗，經活化之 SeMNPV 以有效成分含量 10^6 OBs/mL 施用時，供試害蟲致死率可達 100%；且 SeMNPV 原體已完成毒理試驗，證實為安全的微生物農藥。

SeMNPV 原體經製劑製程為 SeMNPV 之 WG 製劑，有效成分含量可提高達 10^9 OBs/g 以上，此外，SeMNPV 之 WG 製劑有效改善甜菜夜蛾核多角體病毒之貯存條件及時間，貯存試驗結果顯示病毒 WG 製劑可於室溫儲存達到至少 9 個月，突破市面已登記病毒商品需冷凍的儲存設備限制，大幅提升產品的商品化價值 (圖三)。SeMNPV 之 WG 製劑於三星地區進行之田間初步藥效評估，結果顯示稀釋 300 及 3,000 倍之 SeMNPV WG 防

✓ 本土甜菜夜蛾核多角體病毒製劑改良



圖三、本土甜菜夜蛾核多角體病毒製劑改良



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

治率均可達約 90%，亦與多位農業先進同仁在田區現場討論與交流意見，在場人士皆肯定田間測試結果並表示相當期待本所能早日辦理技術移轉讓農友之防治資材可多一項選擇。(圖四)



圖四、張所長介紹本所研發之 SeMNPV WG，並與多位農業先進在田區現場討論與交流意見

(二) 有益微生物的種子種衣劑研發應用

利用含有黏著劑的農藥包覆在種子外層，使種子外層形成一定功能和包覆強度的保護層，以形成種子種衣劑⁽²⁷⁾，利用不同的造粒技術，配合不同種衣包覆目的，包括添加殺菌劑以進行抗病、添加殺蟲劑以利殺蟲、或是添加肥料或微生物等來促進作物生長或提供肥效等，將有效成分與副料穩定的包覆在種子外側，可達到播種時節省施藥、施肥或促進種子生長的目的⁽¹⁷⁾；本所研發有益微生物 *Bacillus siamensis* CB36 之種子種衣劑技

術，配合適當的副料，使有效成分與副料穩定的混合。*B. siamensis* CB36 種子種衣劑包覆的小黃瓜種子 (處理組) 與對照組種子 (包裹空白載體)，經強勢接種 *Pythium aphanidermatum* 病原菌比較其發病率，結果 *B. siamensis* CB36 包覆之小黃瓜種子發病率為 30%，對照組未經包覆之種子發病率達 75%，顯示應用 *B. siamensis* CB36 種衣劑包覆種子，不會影響種子發芽率，且能展現良好的抗病能力 (圖五)。

藥毒所致力於提升國內微生物農藥生產技術，促進安全植物保護資材的應用及推廣，透過製劑加工技術降低儲架穩定性不佳之問題，應用種子種衣劑技術提供良好的病害防治效果，並持續開發具有病蟲害防治潛力之微生物，提高使用微生物製劑之穩定性及便利性，提升微生物製劑耐貯存性及方便產品運輸，拓展安全植保防治資材的應用，有利於有害生物綜合管理技術 (IPM) 及友善農業的推動。



圖五、小黃瓜種子經 *B. siamensis* CB36 種子種衣劑處理後之生長表現

(三) 發光光桿菌在微生物殺蟎劑的開發應用

發光光桿菌屬於革蘭氏陰性桿菌，為昆蟲病原線蟲-異小桿線蟲 (Heterorhabditis) 的共生細菌，藥毒所研發團隊於 2005 年首度從臺南白河篩獲與分離，可在暗室觀察到細菌的菌落具發光現象，類似螢火蟲的發光，由於發出的光並不產生熱量，故這種光又被稱為「冷光」。發光光桿菌不會產生內生孢子，在商品化過程遇到不少技術瓶頸，藥毒所經過多年持續研究與不放棄之精神，開發培養條件、發酵配方、指標成分與分析方法等關鍵技術，並於 2016-2017 年執行產學合作計畫，在 2020 年專屬授權「生物農藥用光桿菌 0805-P2R 菌株及其發酵量產與應用技術」予國內上市農藥業者，由於防治葉蟎類的田間測試結果優良 (表一)，技術承接業者已送件申請發光光桿菌登記在木瓜葉蟎類的防治，並在 2022 年獲得「2022 傑出生技產業獎」產品類之「年度產業創新獎」，許多參與田間藥效試驗之農友皆非常期待本項微生物殺蟎劑能夠儘快取得農藥許可證，並上市販售。藥毒所成功開發具高活性、環境友善與無抗藥性等特點的發光光桿菌微生物殺蟎劑農藥，是國內生物農藥發展的新里程碑。

表一、發光光桿菌 0805-P2R 40G/L 水懸劑防治木瓜葉蟎 3 場次各處理之防治率

藥劑處理	稀釋倍數	防治率 (%)								
		南投縣竹山鎮			南投縣國姓鄉			嘉義縣番路鄉		
		03DAA4	07DAA4	14DAA4	03DAA4	07DAA4	14DAA4	03DAA4	07DAA4	14DAA4
光桿菌 0805-P2R 40G/L SC	500	51.9	74.8	91.0	98.9	94.6	98.6	88.7	87.2	83.5
光桿菌 0805-P2R 40G/L SC	250	<u>77.0</u>	<u>85.4</u>	<u>99.2</u>	<u>98.1</u>	<u>99.2</u>	<u>98.0</u>	<u>91.7</u>	<u>94.4</u>	<u>94.3</u>
光桿菌 0805-P2R 40G/L SC	125	80.6	87.3	99.7	99.5	99.6	99.8	95.8	96.8	95.6
10%得芬瑞 WP2000		52.9	50.6	86.8	95.9	97.3	98.3	85.9	86.6	83.8

二、結合 Google 地圖建構快捷的生物農藥查詢平台

為推動擴大普及非化學防治技術，加速友善生物植保資材的流通應用及非化學防治管理技術等措施，藥毒所建構「生物農藥查詢平台」(<https://ipm.tactri.gov.tw/biol/>)⁽²⁹⁾，並邀請生物農藥廠商於本平台設定全台販售通路並可上傳產品廣告文宣(圖六)。「生物農藥查詢平台」依據農民需求特別規劃地點、作物、病蟲害、生物農藥等 4 大視覺化主題查詢專區，並結合 Google 地圖搜尋，方便農民就近購買取得生物農藥及查詢病蟲



圖六、生物農藥查詢平台 (<https://ipm.tactri.gov.tw/biol/>) 之建構流程



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

害防治資訊(圖七)。生物農藥查詢平台目前已建立全台 1,245 個販售通路，販售點分布臺灣北部 (199 個)、中部 (522 個)、南部 (430 個)、東部 (93 個) 及外島 (1 個)，如加上生物農藥產品則計 4,397 個資料可供民眾查詢。使用者可進入地點專區，再點選臺灣地圖之縣市，即可查詢各縣市之生物農藥販售通路，方便農民就近購買取得生物農藥。本平台在作物專區納入同義字及作物群組化查詢規則，提供農民智慧檢索查詢方式，可快速找到耕種作物可使用之生物農藥。生物農藥依據使用目的可分為蟲害防治、病害防治及植物生長調節，農民可利用本平台病蟲害專區查詢各害物之生物農藥來進行防治。本平台完整收錄政府公告之生物農藥及使用方法，農民可利用本平台之生物農藥專區，查詢到生物農藥產品標示及廣告文宣，以及購買取得生物農藥之販售地點。本平台於 2022 年 5 月於藥毒所網站上線及對外開放民眾查詢，於本 (2022) 年 6 月及 8 月更納入農民學院實習操作課程，廣受好評。生物農藥查詢平台未來將持續優化及擴充相關功能，期增加農民使用生物農藥的頻率，減低化學用藥量，達友善農業環境。



圖七、農民可依地點、作物、病蟲害、生物農藥查詢產品、販售通路及防治資訊

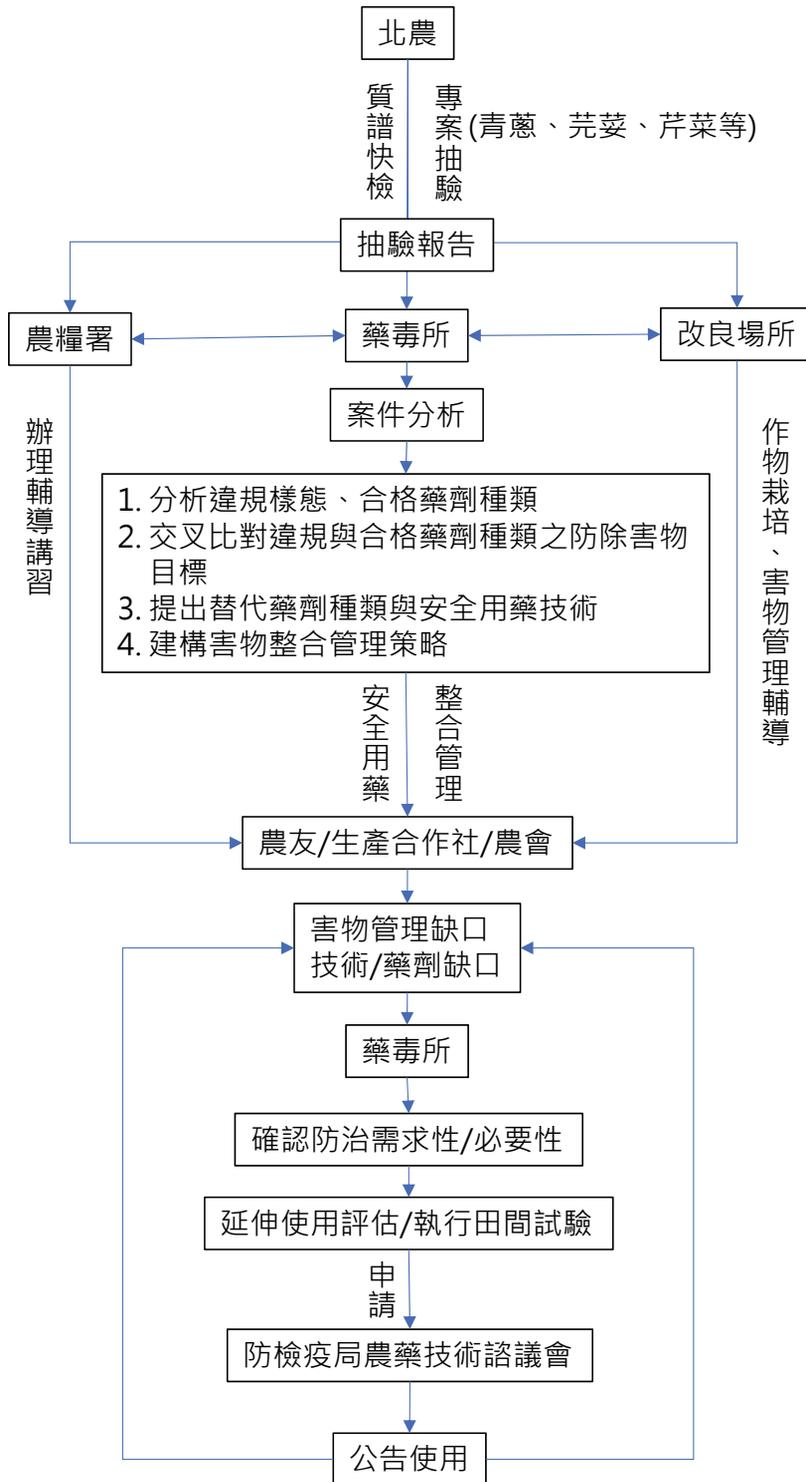
結合質譜快檢技術的農民用藥輔導及農藥減量生產新模式

一、質譜快檢技術於農民用藥輔導新模式

台北農產運銷公司(北農)於2018年起建立質譜快檢實驗室，引進本所研發的農藥殘留質譜快檢技術於農產品拍賣上市前的把關，並結合拍賣實名制，除確保農產品的安全品質外，也掌握農藥殘留違規農產品的源頭產區。北農針對藥殘風險高的作物進一步成立專案檢驗，並將如：青蔥、芫荽、芹菜等專案抽驗結果，提供農委會農糧署與本所進行溯源輔導與管理，其中青蔥、芫荽、芹菜等初期抽驗結果之合格情形不佳，故農糧署聯合本所與農委會所屬各試驗改良場所，就違規情形進行輔導。本所同仁在接獲檢驗結果後，進行違規樣態分析，尋找違規用藥原因，比對合格案件之用藥種類，提出替代藥劑與安全用藥技術，建構有害生物管理策略，就違規農友進行多場次輔導講習(圖八)，提升農友自主管理作為，並針對農友反應之技術與藥劑缺口，確認防治需求與必要性後，旋即辦理延伸使用評估，倘無法延伸時，進行田間試驗，就藥劑缺口向防檢局提出申請，經防檢局農藥技術諮議會審議通過後，公告藥劑使用方法，以解決農友田間有害生物管理之用藥缺口問題，相關單位分工如圖九；將質譜快檢結果及拍賣實名制導入農民安全用藥的輔導模式，除能將安全用藥技術輔導的資源更精準投注到需關切違規風險的作物產區及栽種農友，也能確實發現有害生物防治的用藥缺口，進行合理的使用評估。



圖八、張所長於青蔥安全用藥輔導講習中，仔細詢問農友青蔥用藥問題，並詳細回覆提問



圖九、結合質譜快檢的跨單位檢、醫、藥農民安全用藥輔導模式

具體成效包括完成芫荽除草劑「理有龍」的田間藥效試驗，補足繖形花科作物之除草劑缺口。在青蔥部份，針對新興害物二點葉蟥之用藥缺口，經確認害物種類與田間為害情形後(圖十)，2020年透過延伸評估使用完成「密滅汀」、「阿巴汀」及「氟芬隆」於防治青蔥二點葉蟥的防治方法公告，快速解決青蔥葉蟥用藥缺口之部份需求，後續透過7種殺蟥劑室內生物檢定，篩選出4種殺蟥劑並於2020-2022年陸續進行藥效及殘留田間試驗，進一步提供使用方法及殘留標準，提供農民輪替用藥，降低抗藥性產生的風險。



圖十、二點葉蟥危害之青蔥田(左)。顯微鏡觀察葱管上二點葉蟥成蟲及卵(右)

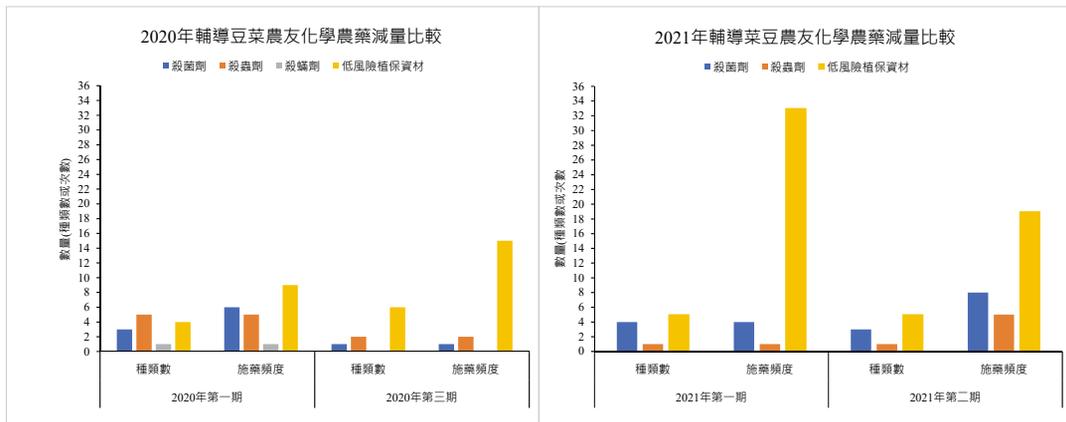
二、有害生物綜合管理 (IPM) 輔導與質譜快檢技術之應用

菜豆、長豇豆為連續性採收作物，易受病蟲害危害，傳統上農友為了維持品質與產量，以化學農藥為主要防治措施，常有農藥殘留不合格的情況。本所進行病蟲害管理輔導，除指導病蟲害監測記錄外，並建立微生物、天然物等安全友善植物保護資材之最適使用時機及方式，例如苗期以枯草桿菌與二氧化矽混合後澆灌土壤 2-3 次，預防或抑制土壤傳播性病害的發生或蔓延，亦可促進植株的生長；開花期至採收期以蘇力菌為主，防治豆莢螟；利用礦物油防治小型害蟲如薊馬及粉蝨與葉部病害如銹病及白粉病等；若病蟲害發生率增加時，再搭配化學農藥控制。輔導期間也導入質譜快檢的自主管理，瞭解農民用藥情形及其防治與病蟲害發生的關聯性，若有違規用藥，可以立即予以矯正，若有超量時，則建議延後採收，並進一步瞭解其藥劑配製與施藥方式，是否與超量使用有關。經輔導後已



逐漸改變農友完全依賴化學合成農藥的病蟲害管理習慣，2020 年第一期化學藥劑使用種類與次數較第二期多，低風險植保資材使用次數明顯增加；2021 年前半年乾旱，7-9 月降雨頻度突增，化學藥劑使用量較 2020 年增加，然而，低風險植保資材使用量也相對增加 (圖十一)。

透過 IPM 輔導及質譜快檢的自主管理，掌握農民用藥情形，針對問題加強輔導合理用藥的觀念，採收前進行質譜快檢，合格者提供標籤貼紙 (圖十二)，提高優先拍賣的機會，讓農產品符合農藥殘留合格標準後上市，造就生產者與消費者雙贏的局面。



圖十一、2020-2021 年輔導信義菜豆農友化學農藥減量情形



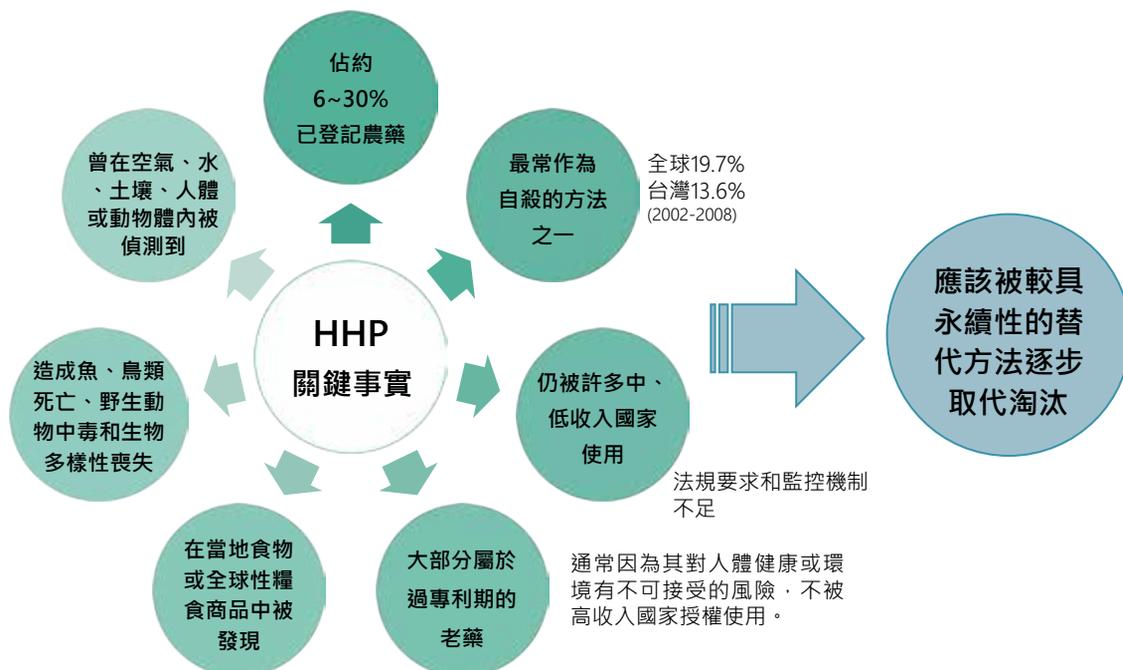
圖十二、菜豆 (敏豆) 質譜快檢合格提供標籤貼紙

導入國際指引及應用新穎技術於農藥再評估與分級管理

一、建立高危害性農藥之辨識原則及跨領域評估團隊

本所於 2020 年參考世界衛生組織 (WHO) 及聯合國糧農組織 (FAO) 於 2016 年所發行之高危害性農藥指引 (Guidelines on Highly Hazardous Pesticides, HHPs) ^(9,14)，建立高危害性農藥辨識原則、評估高危害性農藥風險及其需求，最後依其風險特性訂出減輕風險方案。

高危害性農藥是指根據 WHO 或化學品全球調和制度 (Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals, GHS) 之國際認可分類系統，或是國際協議或公約中列出公認對健康或環境會造成嚴重急性或慢性危害的農藥。此外，根據一個國家實際使用條件下，對健康或環境造成嚴重或不可逆性傷害的農藥，也歸於 HHP 範疇 (圖十三)。



圖十三、高危害性農藥 (HHP) 關鍵事實 (Adopted from the FAO/WHO, 2019. Detoxifying agriculture and health from highly hazardous pesticides: A call for action ⁽¹⁵⁾)

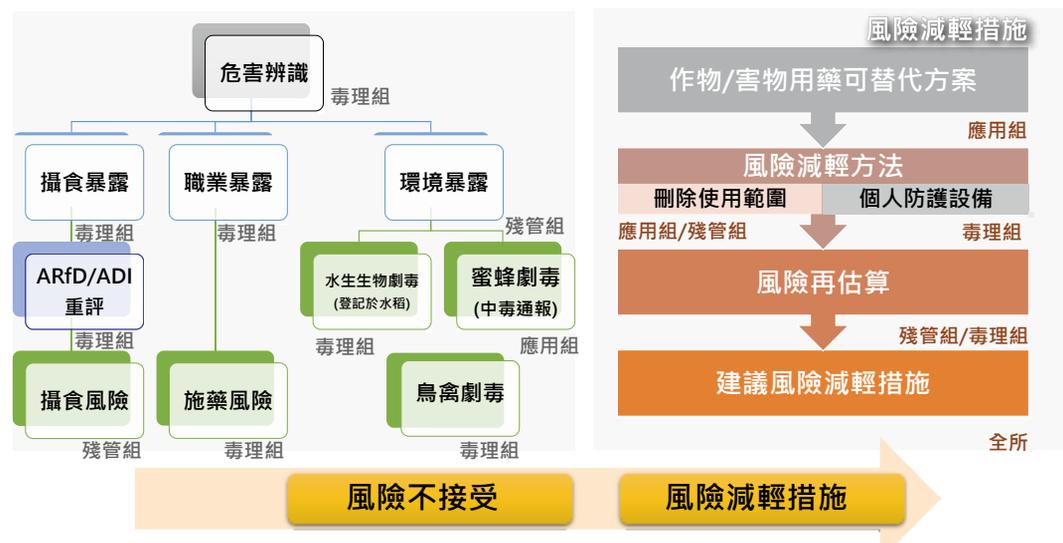


HHP 的辨識條件共計 8 項，其各辨識條件如表二，只要符合其一者，即暫先歸類為高危害性農藥，要強調的是 HHP 原則僅為危害辨識的結果，列入 HHP 清單者尚須透過攝食暴露、施藥者暴露、環境持續性影響、對非目標生物影響等完整之風險評估流程檢視藥劑的整體風險後，進一步評估藥劑的可替代性、風險減輕措施管控及提供主管機關風險管理作為 (圖十四)，

表二、高危害性農藥辨識依據

高危害性農藥辨識依據	
1	成品農藥的急毒性歸屬在 WHO 農藥危害分級的 Ia 和 Ib
2	農藥有效成分或其加工成品在 GHS 分級為致癌性 1A 或 1B 級
3	農藥有效成分或其加工成品在 GHS 分級為生殖細胞致變異性 1A 或 1B 級
4	農藥有效成分或其加工成品在 GHS 分級為生殖毒性 1A 或 1B 級
5	在《斯德哥爾摩公約》附錄 A 和附錄 B 清單上或是符合公約附錄 D 第 1 段中所有標準之農藥有效成分
6	《鹿特丹公約》附錄三清單中列出的農藥有效成分和其加工成品
7	《蒙特婁議定書》中所列農藥有效成分
8	農藥有效成分或其加工成品對人體健康或環境經常造成嚴重或不可逆性之危害者

評估流程和團隊分工

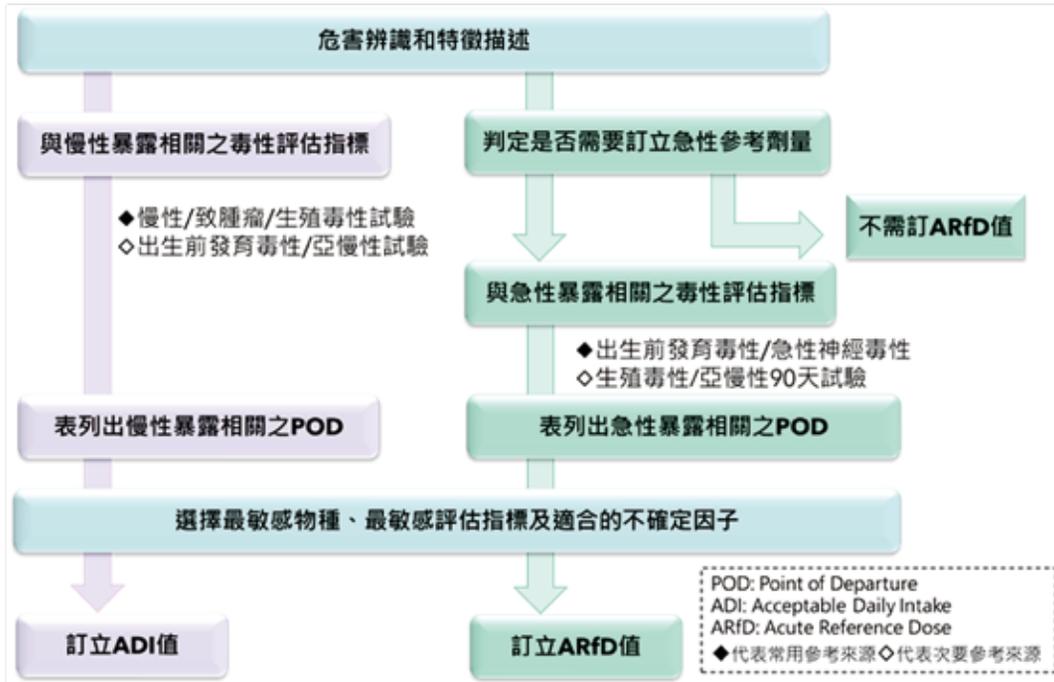


圖十四、高危害性農藥風險評估、風險減輕措施評估流程和跨團隊分工

因此，列入 HHP 者係為需風險再評估的藥劑清單^(7, 9)，並非農藥退場藥劑清單。目前本所評估團隊已完成 200 項農藥有效成分和 584 項成品農藥之高危害性農藥辨識、並完成 6 項被歸類為高危害性農藥之完整風險評估和風險減輕措施，前述資料將交給主管機關(防檢局)作為「汰除高風險農藥，強化分級管理」之科學佐證。

二、農藥每日可接受攝食量和急性參考劑量訂定原則透明化

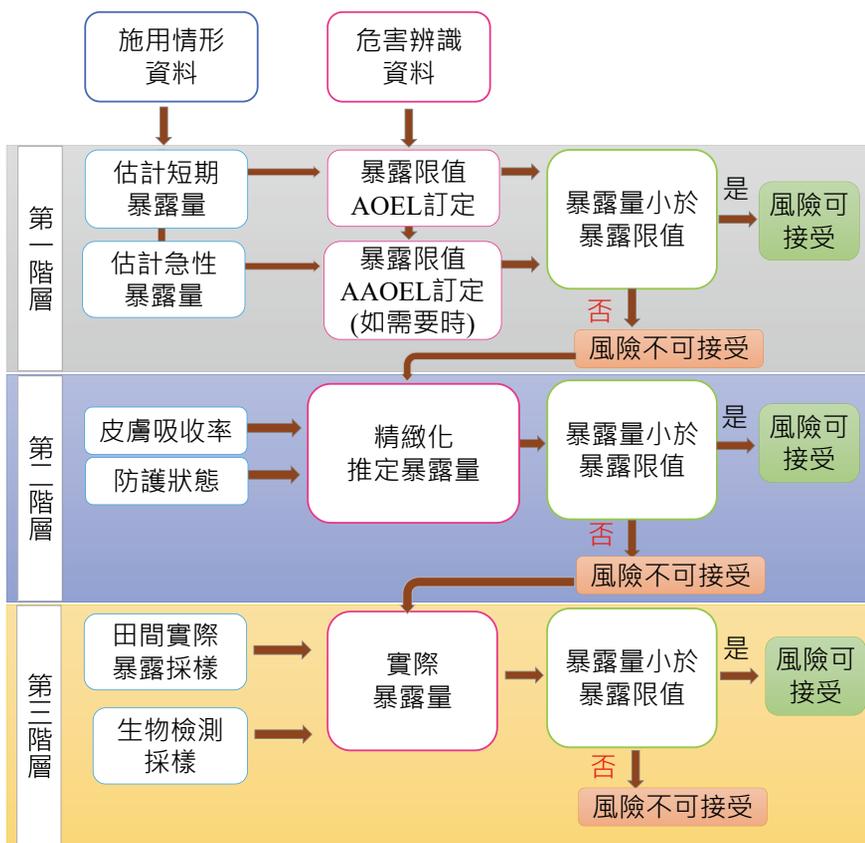
我國農藥毒理評估機制為遵循國際風險評估原則，先進行危害辨識 (hazard identification) 及危害特徵描述 (hazard characterization)，其中危害特徵描述流程中主要鎖定於如何進行農藥之劑量效應 (dose response) 及參考劑量 (reference dose) 評估⁽³³⁾。以經由攝食食物殘留農藥途徑之風險評估而言，主要須訂定包括每日可接受攝食量 (acceptable daily intake, ADI) 和急性參考劑量 (acute reference dose, ARfD) 等參考劑量，以用來估算一般人於長期或短期暴露農藥而沒有產生明顯有害影響的數值基準，相關數值對於後續評估農藥的取食風險是重要的依據，並影響農藥的殘留容許量 (maximum residue limits, MRL) 制定。國際主要農藥風險評估機構如聯合國化學品安全規劃署 (International Programme on Chemical Safety, IPCS) 和美國環保署 (USEPA) 等組織皆有公開農藥參考劑量訂立原則及評估數據結果之機制，本所根據國際相關參考劑量評估指引及目前國內的評估流程，於 2020 年發表「農藥每日可接受攝食量和急性參考劑量訂定原則」手冊⁽⁸⁾ (圖十五)，闡述訂定參考劑量時需考量的毒理試驗項目，以及基礎訂定原則及評估流程，包括如何選擇適當的無可見毒害劑量 (No Observed Adverse Effect Level, NOAEL) 或是不確定因子 (uncertainly factor, UF) 等，除 ADI 以外，該文件並特別強化國際近年來較新發展之 ARfD 評估意義及研定說明。透過參考劑量研定原則的資訊公開，強化農藥風險評估的科學性，釐清各界的疑慮，達到資訊透明及風險溝通之目的。



圖十五、農藥每日可接受攝食量和急性參考劑量訂定原則

三、建立階層式農藥施用者暴露評估原則

國際上階層式之暴露評估約於 1990 年與當時暴露監測相關規範調和概念同時提出，目前如歐盟及日本⁽¹¹⁾，便採用此方法，階層式農藥施用者暴露評估原則概念如圖十六，共分 3 階層，評估時各階層皆進行將暴露量與暴露限值進行比較，當暴露量高於暴露限值，則風險不可接受，需進行下一階層評估，第一階層主要是基於一般性資料，進而推定暴露量，此階層推定暴露量為較高之保守方式，而第二階層則採用實際試驗數據，目前聚焦以皮膚吸收率之實際數據及防護狀態，進行暴露量推定，第三階層主要多針對缺乏一般性資料的情形下，採用具一致性原則之試驗方法，進行數據收集，可採用的方法包括田間實際暴露量採樣及生物檢測採樣。為節省資源及時效，各國多於第 1、2 階層以估計模型進行暴露量估算，並發展出多種模型，由於影響暴露量之主要因素，歸納主要有 4 點，包括：皮膚吸收率、單位暴露量、單位面積用藥量及單位面積等。因此經我國農藥施用



圖十六、階層式農藥施用者暴露評估概念圖

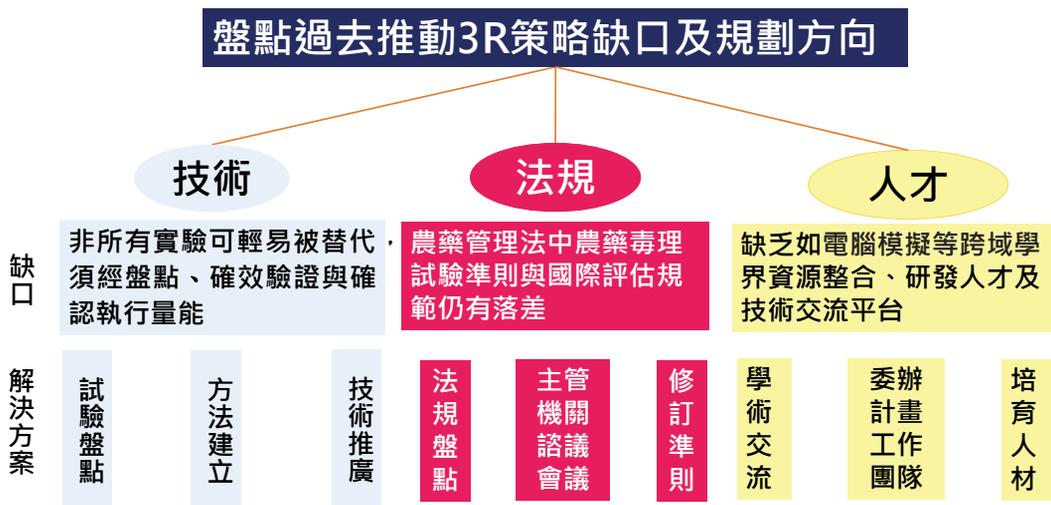
特性比對，建議採用與我國氣候、施用方式、及作物類型較為接近的估計模型，如日本的「農藥使用者暴露計算シート」⁽¹⁾。過去我國採用的模式為以每小時毒性物質百分比 (PTDPH, Percentage of Toxic Dose Per Hour) 及慢性暴露量評估 (Margin of Safety, MOS)，分別評估急性及慢性暴露風險⁽⁶⁾，為接軌國際農藥施用者風險評估趨勢，近期乃導入上述階層式農藥施用者暴露風險評估原則，其中根據農藥之危害辨識，訂定每日可接受操作暴露劑量 (Acceptable Operator Exposure Level, AOEL) 及急性可接受操作暴露劑量 (Acute Acceptable Operator Exposure Level, AAOEL)，確立暴露限值後，便可進行暴露量估計，完成後即可進入實質階層式農藥使用者暴露風險評估。施藥者暴露風險評估技術的建立，除評估農民或施藥者於噴藥過程的暴露風險外，也提供噴施不同藥劑時所需採取的防護配備等級及保護措施，對於農民及施藥者的健康至為重要。



四、動物 3R 新穎技術於農藥毒理評估之應用

農藥安全性評估過程中需要使用大量的實驗動物，包括原體及衍生成品在申請過程中可能須使用 2,000 隻以上的實驗動物，自 1959 年英國科學家 William Russell 提出「替代 (Replacement)、減量 (Reduction) 及精緻化 (Refinement)」的「3R」觀念後⁽²⁸⁾，至今已成為全球執行動物實驗科學界的基礎精神，為使國內農藥毒理測試技術與國際接軌，藥毒所在 2020 年起啟動「建立國際認可農藥毒理評估之 3R 新穎技術平台及管理策略」之政策額度計畫，將新穎技術及管理策略，導入及規劃未來逐漸修訂國內現行毒理試驗測試準則，以減少實驗動物使用為核心方向，並同時符合管理上對於風險評估的要求，期望透過整合跨域資源及建立技術交流平台等方式，以補齊過去包括技術面、法規面及人才面等缺口 (圖十七)。

以過敏性動物替代評估平台為案例，藥毒所與國家衛生研究院生技與藥物研究所及台灣大學獸醫學系合作組成研發團隊 (圖十八)，建立新穎人工智慧演算平台，可提供農藥產品之皮膚過敏性評估，團隊本次建立新穎之農藥皮膚過敏性評估平台，此為台灣首例也是世界少數針對農藥產品皮膚過敏性評估之電腦模擬技術研究，相關技術可再整合其他替代試驗作為有效的綜合測試與評估策略 (Integrated Approaches to Testing and Assessment, IATA)⁽²²⁾，

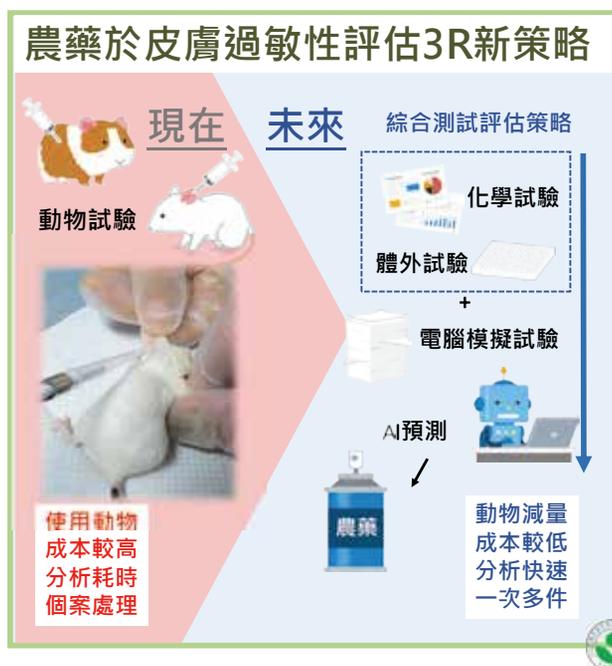


圖十七、盤點過去推動 3R 策略缺口及規劃解決方案之方向

並期望將導入未來本國農藥管理法「理化毒理試驗準則」等法規規範項修訂策略之一，使用新穎替代評估策略，相較傳統執行動物試驗具有之優點包括：(1) 動物減量、(2) 較低執行成本及 (3) 低耗時等優勢 (圖十九)^(1,6)，未來藥毒所會持續整合相關資源投入動物替代研究，達到協助相關生醫產業發展及農藥使用之實驗動物減量的效益，以及有效推廣 3R 技術並宣傳我國政府對於動物保護理念的目的。



圖十八、農藥於皮膚過敏性評估新 3R 策略跨機關研發團隊



圖十九、農藥於皮膚過敏性評估 3R 新策略，可減少實驗動物犧牲並減少試驗成本

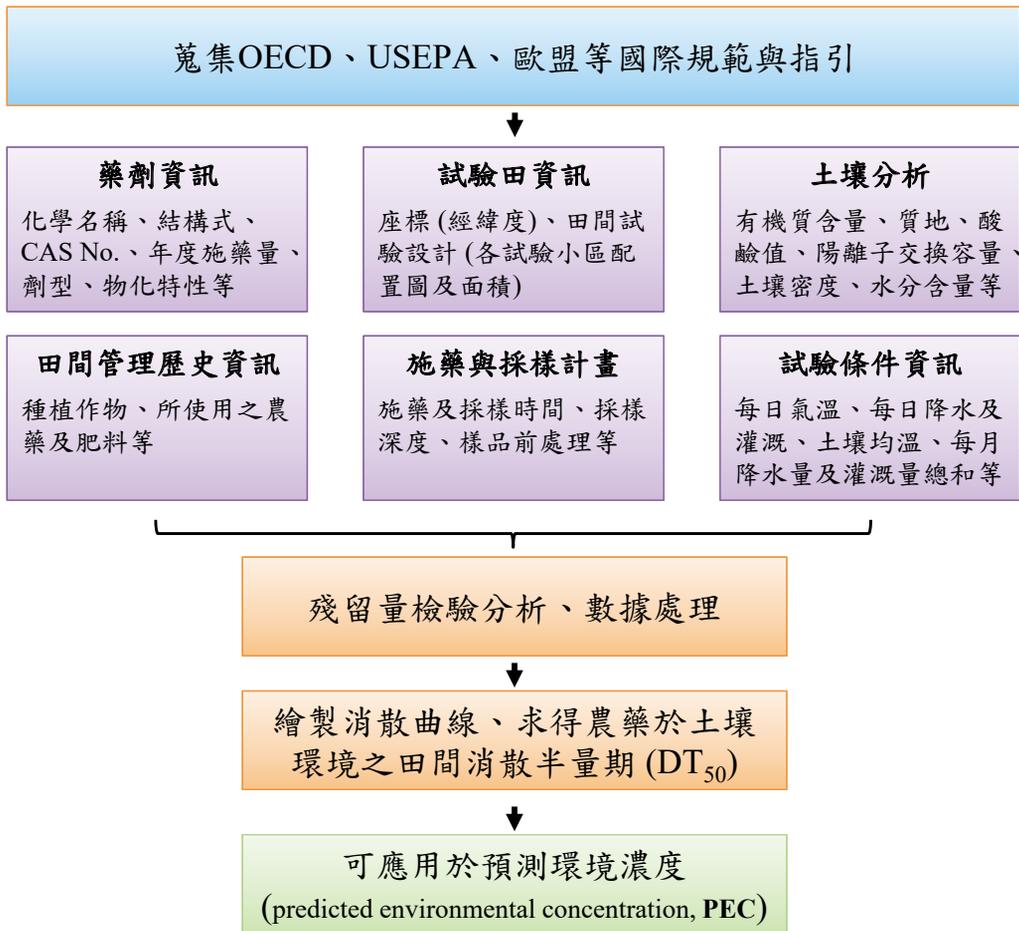


2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

建立我國農藥田間消散性試驗模式以應用於環境風險評估

農藥的使用可以防治病蟲草害，但也可能對環境生態造成影響，因此須進行農藥環境風險評估，以瞭解農藥在田間土壤環境的持續性 (persistence) 及移動性 (mobility)，確保環境品質與安全。為瞭解農藥在臺灣環境的宿命及與相關國際上消散資料的差異，本所參考 OECD、USEPA 及歐盟等國際相關規範與指引^(2, 16, 23, 30)，建立本土的「農藥田間消散性試驗準則」(圖二十) 並進行小規模的本土消散性試驗，以釐清農藥使用後在臺灣田間的消散情形，有助於未來對農藥在土壤、地下水及地表水的暴露做更進一步的研究。

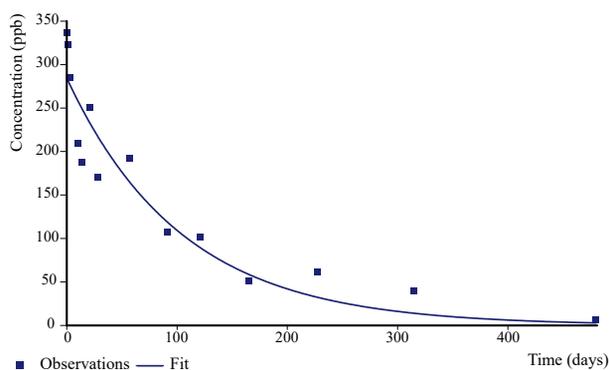


圖二十、本所建立之「農藥田間消散性試驗準則」流程圖

農藥在土壤環境的持續性資料仰賴田間消散性試驗 (field dissipation study) 以獲得相關資訊，然而目前國內農藥田間消散資料多參照國外試驗場域所建立者，無法充分反映農藥在臺灣多變的氣候條件與多樣的土壤特性下的消散情形；此外，我國早期已登記農藥缺乏相關本土環境的田間消散資料，其結果可能造成後續以環境影響模式模擬我國環境預測濃度時失準。藥毒所於 2020 年依據本所建立之農藥田間消散性試驗準則進行小規模田間消散性試驗，包括：田間試驗設計、地點選擇、試驗區大小規劃及管理措施、試驗物施用作業 (圖二十一) 與施藥量、土壤採樣方法與深度、採樣時間與數量、土壤樣品前處理方式、農藥殘留量分析及數據處理等執行田間消散性試驗，藉此瞭解農藥在本地環境中的消散情形。將試驗物依推薦使用方法施用於裸土田區後，定期採集土壤並分析農藥殘留量，得到試驗物在田間土壤中的消散曲線 (圖二十二)，並擬合得出試驗物之田間消散半衰期 (time required for 50% field dissipation of the initial concentration, $DT_{50 \text{ field}}$)，可釐清農藥使用後在臺灣田間的實際消散情形，相關參數有助於未來農藥在我國本地條件下之土壤、地下水及地表水預測模式的應用，進行農藥環境風險評估研究。



圖二十一、農藥田間消散性試驗施藥作業



圖二十二、農藥於田間消散擬合曲線結果示意圖



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

精進農藥對水、陸域非目標生物的評估

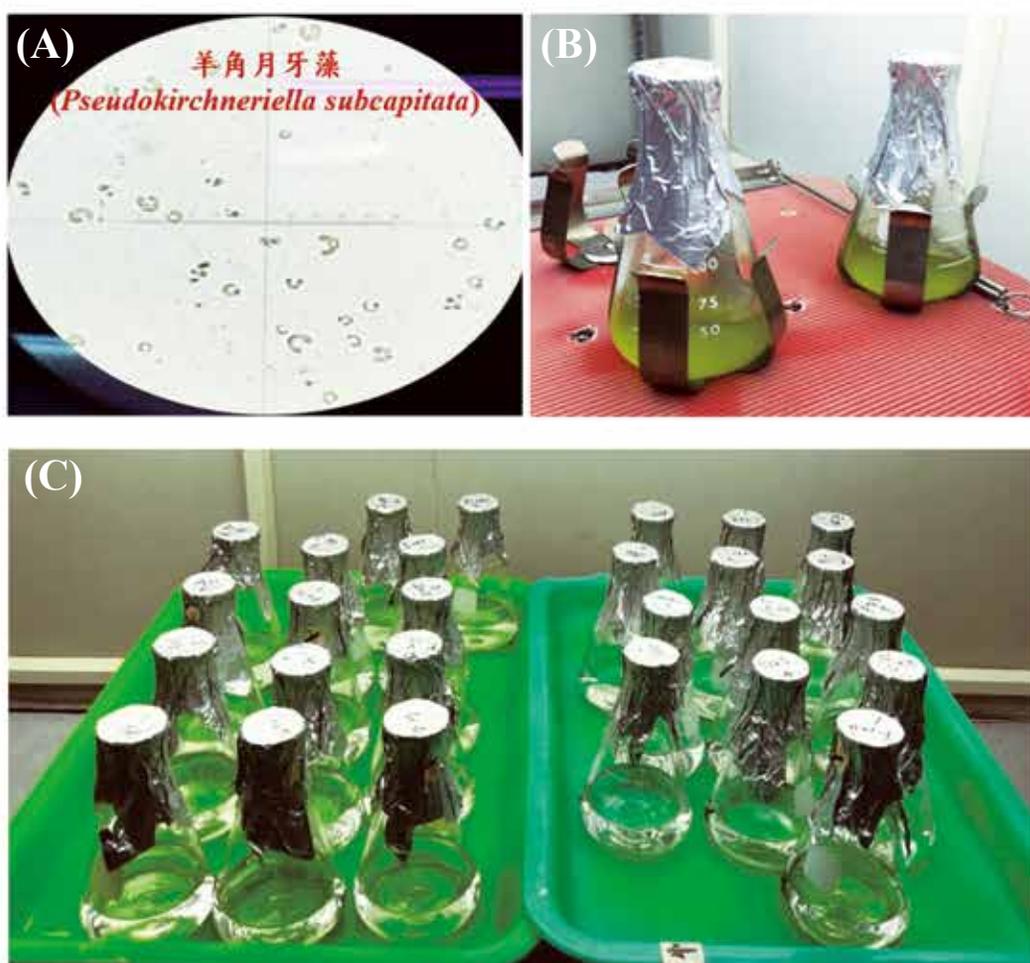
一、建立農藥對非目標水生植物-藻類、水生底泥-搖蚊及陸域指標生物-蚯蚓的毒性評估流程

OECD 為調和不同區域間對農藥管理登記需求試驗項目的差異，在 1980 年代後陸續提供一系列水、陸域非目標生物的毒性試驗指引 (Test Guidelines) 包括：藻類、蚤類、魚類、有益昆蟲 (如蜜蜂)、蚯蚓、鳥禽類 (如鸕鶿) 及兩棲類 (如青蛙) 等，讓農藥對環境中非目標生物影響的評估有一致性的作法及並能進行試驗結果的評估比較，以及後續的管理措施。藥毒所已建立水生脊椎動物 (魚類) 及無脊椎動物 (水蚤) 的農藥評估流程，並逐步建立相關的階層式評估方式 (圖二十三)，近幾年本所根據 OECD TG201⁽²⁴⁾ 建立水生指標植物藻類的急毒性試驗 (圖二十四)，透過代表水域初級生產

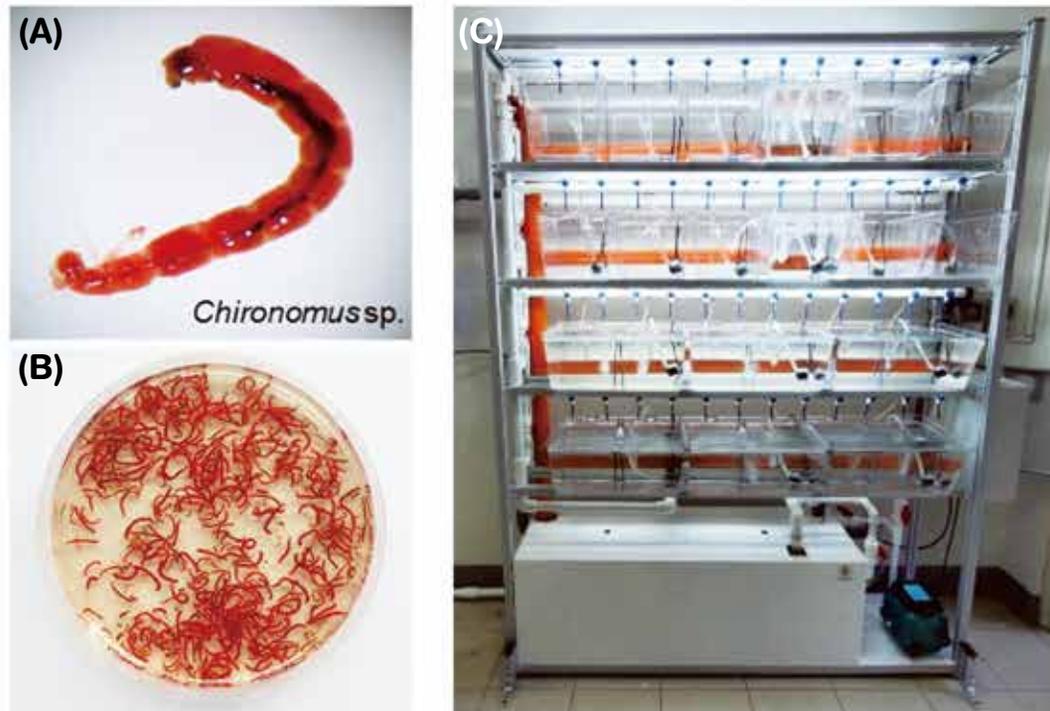


圖二十三、環境非目標生物階層式毒性評估之示意圖

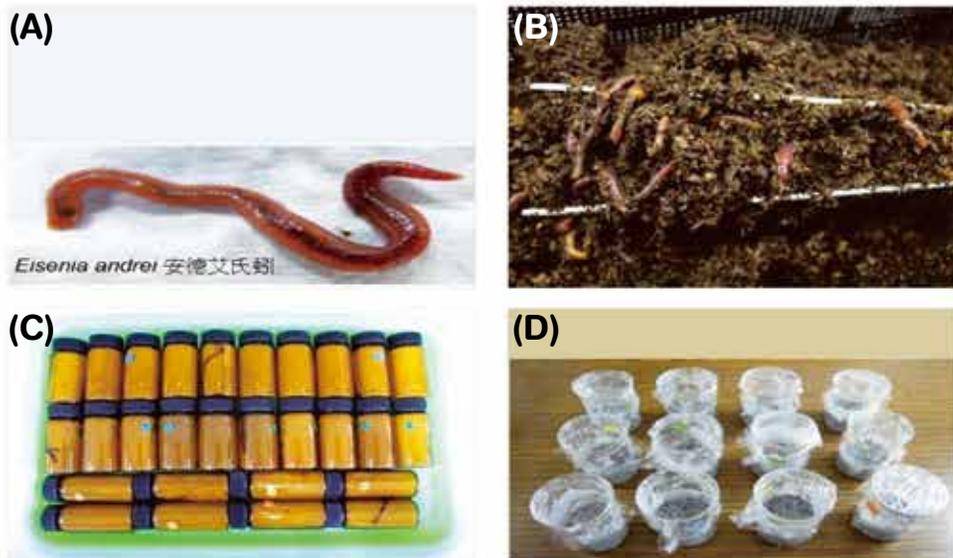
者的藻類進一步完備農藥對水域生態中三個層級非目標生物（水生植物/水生無脊椎動物/水生脊椎動物）的影響評估。另與台灣大學農業化學系農藥暨環境毒物研究團隊技術交流，建立水生底泥指標生物搖蚊急性活動抑制試驗(OECD TG235)⁽²⁵⁾(圖二十五)，以利進行農藥對底泥生物毒性的影響評估；此外，本所也根據 OECD TG207⁽²⁶⁾ 指引建立蚯蚓的急毒性試驗 (圖二十六) 流程，蚯蚓是土壤生態環境的重要指標生物，對於化學品如農藥⁽²¹⁾ 也相當敏感，應用蚯蚓毒性試驗以評估農藥對陸域非目標生物的影響。



圖二十四、(A) 植物藻類試驗品種—羊角月牙藻；(B) 植物藻類羊角月牙藻三角瓶培養；(C) 植物藻類毒性 OECD TG201 藻類生長抑制 72 小時試驗



圖二十五、(A) 水生底泥搖蚊試驗品種—*Chironomus sp.*；(B) 底泥搖蚊於培養皿；(C) 底泥搖蚊培養設施



圖二十六、(A) 蚯蚓試驗品種—安德艾氏蚓；(B) 蚯蚓養殖箱培養—蚯蚓急毒性 OECD TG207；(C) 濾紙接觸法 48 小時試驗；(D) 人工土壤法 14 天試驗

二、農藥對蜜蜂階層式毒性評估進展

本所為國內唯一執行農藥的蜜蜂毒性評估 GLP 認可實驗室，至今已協助業界及學研界執行包括：化學農藥、天然資材及生物製劑等登記農藥之蜜蜂接觸毒及口服急毒性評估 I 階試驗，依據 USEPA OCSP 850.3030 指引⁽¹⁰⁾，農藥對蜜蜂急性毒性試驗結果顯示藥劑的半致死劑量 $LD_{50} \leq 11 \mu\text{g a.i./bee}$ 且 RQ (Risk Quotient) > 50 時，則需要執行半田間的蜜蜂毒性評估 (II 階) 試驗，近幾年本所建立依 USEPA 指引「葉片殘留農藥對蜜蜂毒性試驗 (Honey bee toxicity of residues on foliage)」流程，執行蜜蜂的 II 階毒性評估 (圖二十七)，試驗結果以 RT_{25} 值 (Residual time to 25% bee mortality) 來表示田間藥劑殘留在葉片對蜜蜂影響的時間長度，依 RT_{25} 值藥劑應用建議以降低蜜蜂訪花之風險 (詳表三)，目前已完成 38 種殺蟲劑的評估，農藥對蜜蜂階層式毒性評估所建立之技術及資料庫，未來亦可應用於設施作物栽培與蜂農移動蜂群之參考，以利蜜蜂友善環境的推動，同時對於初階急毒性之警語「避免於開花期施藥」可以有其他施藥時機之建議與選擇。



圖二十七、農藥對蜜蜂階層式毒性評估流程圖



2022

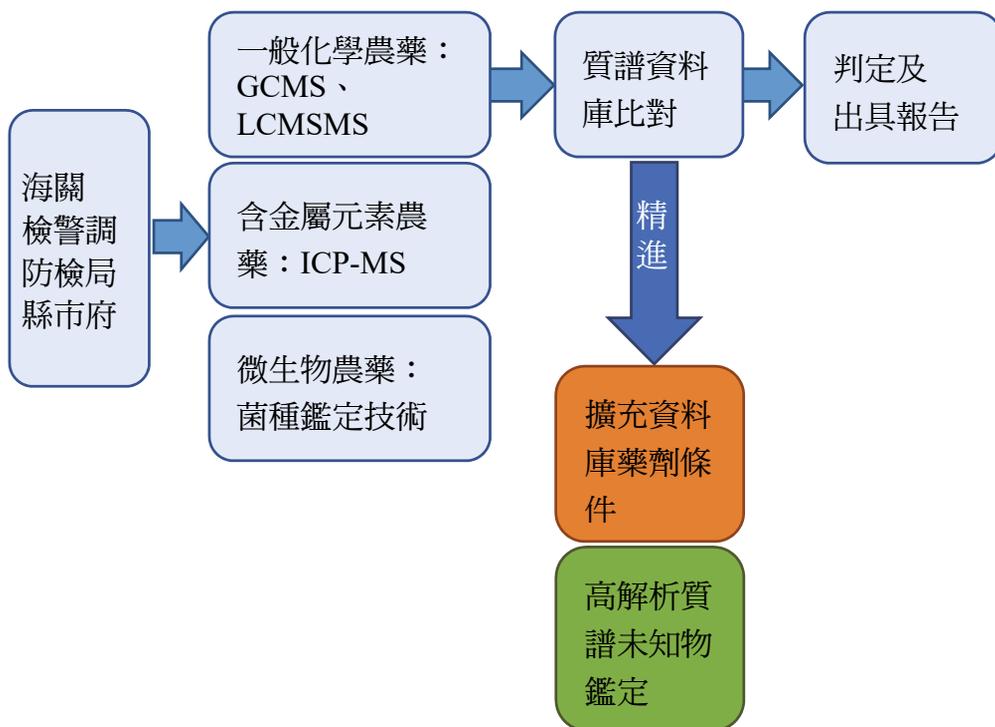
推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊表三、殘留農藥對蜜蜂不同 RT_{25} 值於開花時期之應用建議

RT_{25} (單位：小時)	應用建議
≤ 3	蜜/粉源植物開花期，在「黎明時」用藥
$3 < RT_{25} \leq 8$	蜜/粉源植物開花期，在「晚上」用藥
$8 < RT_{25} \leq 24$	蜜/粉源植物開花期，在「下午 3 點以後」用藥
> 24	避免在開花期施藥

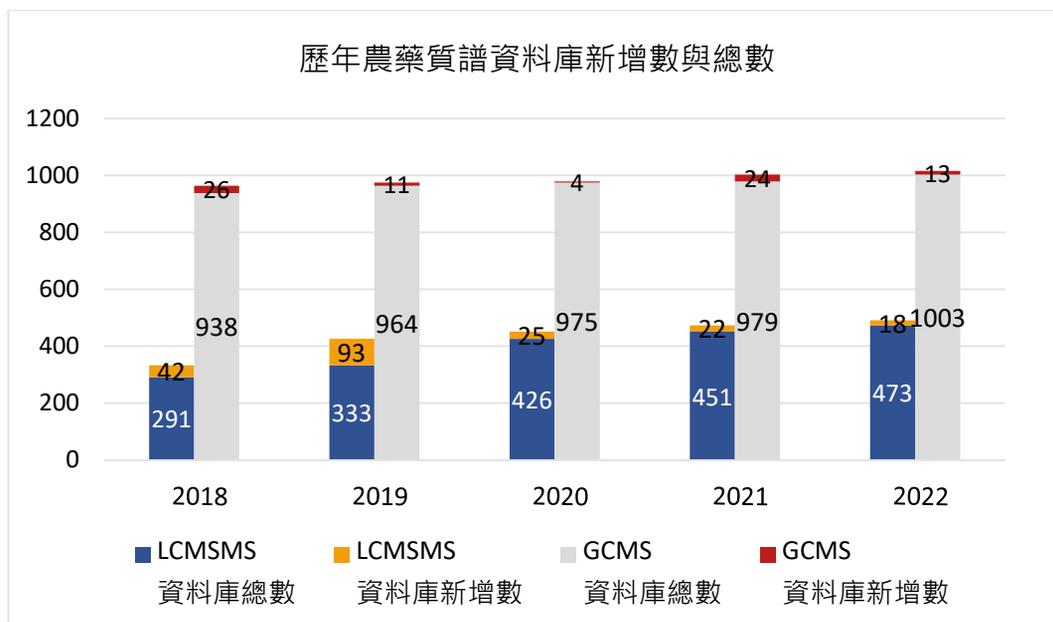
涉偽農藥鑑定系統的技術精進

本所配合防檢局、海關、檢警調單位及縣市政府，進行鑑定及檢驗未經核准製造、走私或於網路平台販售之疑似農藥產品、禁用農藥及國內未登記之農藥，上述這些涉偽農藥的常態鑑定，主要採氣相層析質譜及液相層析串聯質譜分析技術，農藥樣品若疑似為含金屬元素有效成分如銅劑等，則會以感應偶合電漿質譜儀進行分析，少部分疑似含微生物農藥者則以相關菌種鑑定技術，如基因定序等鑑定，相關儀器分析結果並與本所長期建立的農藥質譜資料庫進行分析圖譜比對及判定(圖二十八)，本所建立之農藥質譜資料庫涵蓋國內已登記及歷年禁用之農藥成分。

近年由於新興農藥持續被開發出來，包含新農藥有效成分、農藥衍生物等，若僅針對國內已知成分進行鑑定恐有不足。針對涉偽農藥的鑑定，本所從 2 個部分進行精進，包括：(1) 持續更新累積農藥質譜鑑定資料庫，將鑑定範疇擴充至國內未登記的農藥有效成分，透過文獻之搜尋比對，蒐集新開發農藥有效成分資料，並購買其標準品，持續建立新農藥成分分析條件至質譜儀資料庫，近 5 年資料庫中新增的農藥質譜分析條件，LC-MSMS 可鑑定者從 291 項(2018 年)增加為 491 項，GC-MS 可鑑定者從 938 項(2018 年)增加為 1016 項(圖二十九)；(2) 導入高解析質譜如四極柱飛行時間質譜儀，應用於未知成分之鑑定分析，其中又以農藥衍生物最受關注，由於農藥衍生物結構可能與現行國內登記農藥有效成分類似，可能僅



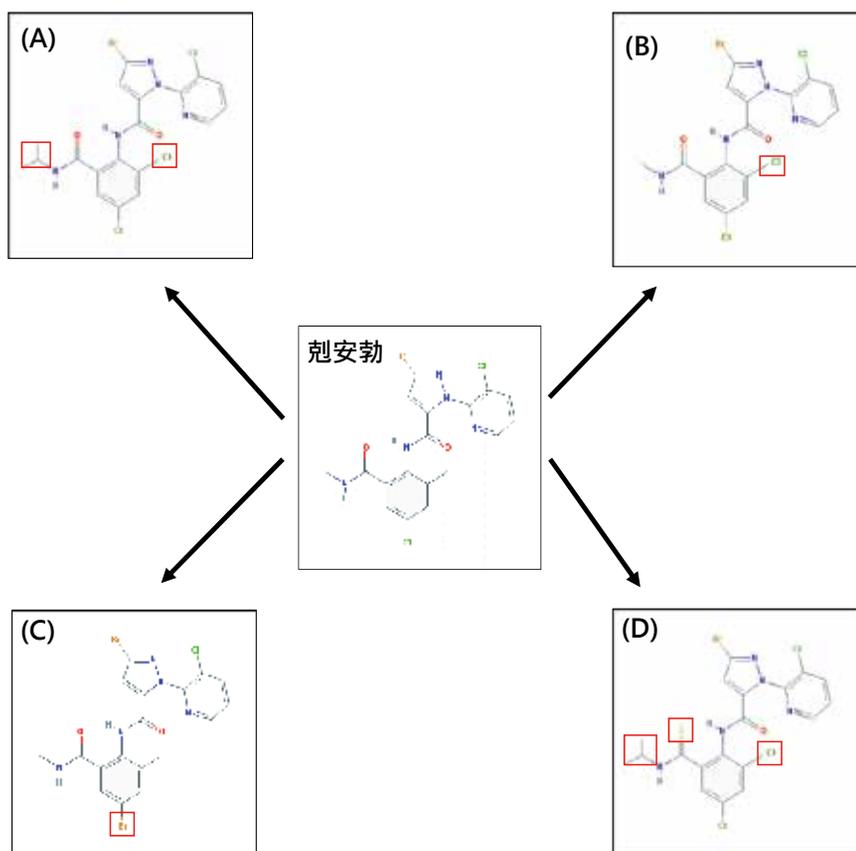
圖二十八、涉偽農藥檢驗流程及精進



圖二十九、歷年農藥質譜資料庫藥劑分析條件總數與新增數



在某個官能基上有差異，因此常具有相似的農藥效果，但因國內尚無儀器檢驗分析條件而無法被檢測出，可能成為漏網之魚而流入市面。透過高解析質譜質量解析能力，利用該未知物質譜圖之同位素訊號強度比例，推導其可能的化學元素組成及個數，並參考其分子離子訊號推斷分子量，預測可能的分子式及結構，進而搜尋並購置標準品或再以其他分析儀器加以確認，成分經確認後即將分析條件建置例行分析儀器中，以確保未來再遇有該成分時可即時檢測出來，類似檢驗案例如：阿巴汀之類似物、因滅汀之衍生物、剋安勃之衍生物等 (圖三十)。涉偽農藥鑑定技術的精進，能協助主管機關提升非法農藥的查緝效率，避免不法產品流入市面，影響農民合法用藥的權益，並能維護農產品安全及環境永續。



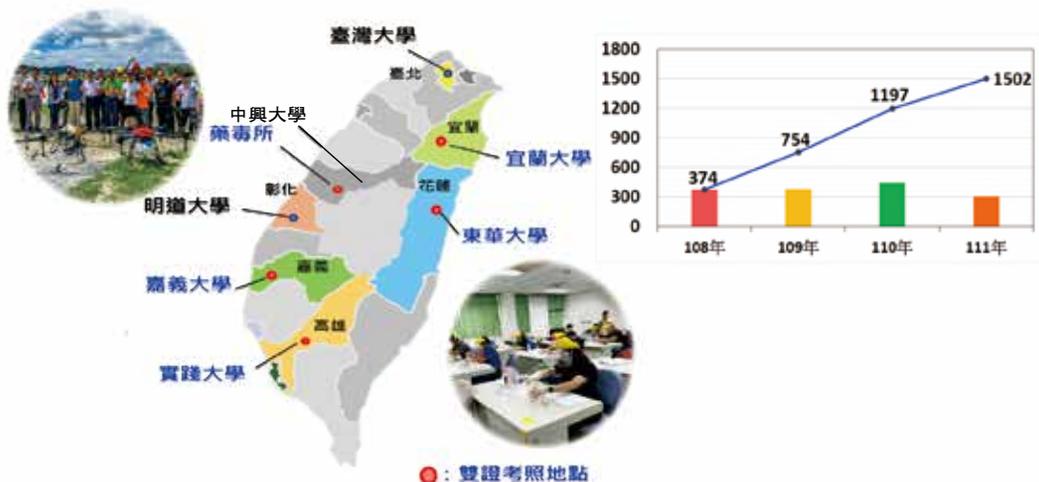
圖三十、涉偽農藥剋安勃衍生物結構：(A) E2Y50；(B) E2Y51；(C) E2Y87；
(D) V8D79

推動無人機農藥代噴技術訓練

目前農業面臨勞動力人口老化與缺工等因素，為因應農事勞動力需求改變⁽³⁾，利用無人機施藥具有省工、省時、省水之優勢。與防檢局攜手辦理無人機代噴人員專業訓練，訓練內容包含：熟悉無人機性能、藥劑施用量計算、精準路徑規劃等相關技能，透過訓練使人員更加具備專業技能，才能達到精準且安全的施藥作業。

為推動化學農藥十年減半政策，2019 年修正「農藥代噴技術人員訓練辦法」⁽⁴⁾，藥毒所 2 年多來依此訓練辦法持續與臺灣大學、嘉義大學、東華大學、明道大學、宜蘭大學、高雄實踐大學及中興大學等 7 所大學共同合作，於全國北、中、南、東各區域共 7 個地點辦理無人機代噴專業訓練，協助有志以無人機施藥者考取「農藥代噴技術人員證書」，並建立無人機精準施藥技術。

目前全國取得無人機農藥代噴訓練合格者已達到 1,502 人 (圖三十一，統計 2019 年起至 2022 年 9 月底)，總合格率为 95.5%。每年參訓者皆超過 3 百餘人，顯示以無人機施藥解決農事勞動力之需求為主流趨勢，鑒此藥毒所對於培訓課程亦持續精進，更於 2021 年新增「無人機安全施藥製劑調配」操作實習與測驗，確保參訓者皆能安全及正確調配無人機用藥，避免混藥時所產生之拮抗、結晶、沉澱導致機器耗損等問題，透過專業培訓期能幫助各地農友善用新科技並促進返鄉務農以創造更優質的新農業環境。



圖三十一、「無人機代噴專業訓練」全台辦理地點與訓練量能



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

結語

近年本所建立的相關技術，除支援農藥主管機關的管理，相關技術也擴散應用到其他層面，例如動物毒理試驗技術已應用於協助農政單位針對非傳統食源的新興農產品如咖啡葉、茗葉、印加果等進行安全性評估，提供作為衛生福利部食品藥物管理署評估允准為食品的依據；而質譜快檢技術除已被地方政府所轄之中大型批發果菜市場作為農產品拍賣前的農藥殘留檢驗例行把關外，也被食品業及檢驗業應用於進貨把關或提供檢驗服務等，技轉的公私立單位機構已達 17 家，自 2020 年起也被應用於外銷供果園採收前果品的農藥殘留第一道篩檢流程，強化果品出口新興市場的品質安全把關；此外，本所研發的數據自動演算判讀技術透過與茶葉改良場的合作，應用於茶葉產地鑑別技術分析結果的數據自動判讀，縮短鑑定檢驗的時程；並將自動演算技術延伸應用於農水畜產品的超微量戴奧辛化合物的定量分析步驟，大幅減少分析的時程及人力負荷；另本所亦提供小菜蛾、甜菜夜蛾、斜紋夜蛾等試驗昆蟲之蟲源，已供應包含其他試驗改良場所、農藥公司、中央研究院與大專院校等單位進行研究試驗或教學，提升及加速產業創新研發並促進教育推廣。而在跨領域的研究上，開發增強型拉曼光譜 (SERS) 用於特定農藥、防腐劑及水產組織胺的快速篩檢，經由技術移轉推廣作為農產品及初級加工品的品質安全自主把關；此外，質譜快檢技術除已應用於田間採收前與批發市場拍賣前，建構雙重把關機制外，將質譜快檢原理加以改進，現已成功開發水產品及畜禽產品中動物用藥檢驗，如可同時檢驗 136 種藥劑的 7 合 1 多重動物用藥檢驗方法，亦可同時檢測 47 種藥劑的 2 合 1 高極性動物用藥檢驗方法，批次檢驗效率可由 7-10 天縮減至 2.5-4 小時內完成，顯示未來可應用於動物源性產品的即時檢驗，守護民眾的食安。

農委會自 2017 年啟動化學農藥 10 年減量的政策符合聯合國的永續發展目標，而歐盟也於 2019 年頒布施行歐洲綠色政綱，在農藥的永續使用方面，為達到「降低農藥使用對人類健康和環境的風險」⁽¹²⁾，歐盟進一步提出風險調和指標 (Harmonized Risk Indicator)⁽¹³⁾，從農藥的危害等級，並加

以權重量化計算其整體風險的變化情形，從優先汰除高危害性農藥的角度，務實審視農藥減量的效益，此與我國「汰除高風險農藥、強化分級管理」之管理策略互相呼應，持續透過對人體健康及環境安全的監測調查、累積本土試驗資料與科學數據、精進風險評估技術及建立評估模型等，根據科學佐證進行農藥危害分級，朝向訂立我國的風險指標，加速新藥引進與高風險舊藥的汰除，是藥毒所提供專業評估技術的努力方向，期依時程達成化學農藥減量的政策目標，並能協助主管機關量化農藥減量政策的效益。

引用文獻

1. 日本農林水產省。2019。申請農藥登記需提交之文件。
2. 中華人民共和國農業部。2018。化學農藥早田田間消散試驗準則。
3. 行政院農業委員會動植物防疫檢疫局。2022。化學農藥十年減半行動方案。第 40-43 頁。
4. 全國法規資料庫。2019。農藥代噴技術人員訓練辦法。檢自 <https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=M0140032> (Oct.19, 2022)。
5. 防檢局。2022。化學農藥十年減半行動方案手冊。行政院農業委員會動植物防疫檢疫局。
6. 李悅怡、林良怡、蔡韋任。2021。農藥施用者暴露量估計之國際模型簡介及探討。臺灣農藥科學 11：29-45。
7. 馮海東。2016。預防及緩解農藥危害的管理措施。農業世界 400：14-23。
8. 廖俊麟、盧欣怡、蔡韋任。2020。農藥每日可接受攝食量 (ADI) 與急性參考劑量 (ARfD) 訂定原則 (手冊)，pp.1-21。
9. 盧欣怡、田奕葶、李彥芸、林良怡、楊予霈、蔡韋任。2020。高危害農藥辨識原則介紹。臺灣農藥科學 (Taiwan Pesticide Science) 9：1-22 (2020) DOI: 10.6671/TPS.202012/PP.01



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

10. EPA. 2012. Ecological Effects Test Guidelines: Honey Bee Toxicity of Residues on Foliage. Ocspp 850.3030.
11. European Union. 2006. Draft guidance for the setting and application of acceptable operator exposure levels (AOELs). SANCO 7531-rev. 10.
12. European Union. 2019. Directive 2009/128/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for Community action to achieve the sustainable use of pesticides. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2009/128/2009-11-25> (Oct. 21, 2022)
13. European Union. 2021. Methodology for calculating harmonized risk indicators for pesticides under Directive 2009/128/EC. Retrieved from <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-manuals-and-guidelines/-/ks-gq-21-008> (Oct. 4, 2022).
14. FAO/WHO. 2016. Guidelines on Highly Hazardous Pesticides. Retrieved from <https://www.who.int/publications/i/item/9789241510417> (Oct. 4, 2022)
15. FAO/WHO. 2019. Detoxifying agriculture and health from highly hazardous pesticides: A call for action. Retrieved from <https://apps.who.int/iris/handle/10665/330659> (Oct. 4, 2022)
16. FOCUS. 2014. Generic guidance for Estimating Persistence and Degradation Kinetics from Environmental Fate Studies on Pesticides in EU Registration.
17. Javed, T., I. Afzal, R. Shabbir, K. Ikram, M. S. Zaheer, M. Faheem, H. H. Ali, and J. Iqbal. 2022. Seed coating technology: An innovative and sustainable approach for improving seed quality and crop performance. J. Saudi Soc. Agric. Sci. (In Press)
18. Kumar, J., A. Ramlal, D. Mallick, and V. Mishra. 2021. An Overview of some biopesticides and their importance in plant protection for commercial acceptance. *Plants*. 10: 1185.
19. Laarif, A., E. Salhi, S. Fattouch, and M. H. B. Hammouda. 2011. Molecular detection and biological characterization of a nucleopolyhedrovirus isolate

- (Tun-SINPV) from *Spodoptera littoralis* in Tunisian tomato greenhouses. *Ann. Biol. Res.* 2(4):180–191.
20. McKenney, P., A. Driks, and P. Eichenberger. 2013. The *Bacillus subtilis* endospore: assembly and functions of the multilayered coat. *Nat. Rev. Microbiol.* 11: 33-44.
 21. Miglani, R., and Bisht, S. S. 2019. World of earthworms with pesticides and insecticides. *Interdisciplinary Toxicology.* 12(2):71-82.
 22. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). 2021. Guideline no. 497: Defined approaches on skin sensitisation, OECD guidelines for testing of chemicals, section 4, OECD, Paris, France. 54 pp.
 23. OECD. 2016. Guidance Document for Conducting Pesticide Terrestrial Field Dissipation Studies.
 24. OECD. 2011. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals. Freshwater Alga and Cyanobacteria, Growth Inhibition Test 201.
 25. OECD. 2011. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals. Chironomus sp., Acute Immobilisation Test 235.
 26. OECD. 1984. OECD Guidelines for the Testing of Chemicals. Earthworm, Acute Toxicity Test 207.
 27. Rocha, I., Y. Ma, P. Souza-Alonso, M. Vosátka, H. Freitas, and R. S. Oliveira. 2019. Seed Coating: A Tool for Delivering Beneficial Microbes to Agricultural Crops. *Front. Plant Sci.* 10:1357
 28. Russell, William Moy Stratton, and Rex Leonard Burch. *The principles of humane experimental technique.* Methuen, 1959.
 29. Shen M. N., Chen T. F., Chen F. H., Wu J. D.1, Kuo J. W., Chen M. F. Establishing the integrated pest management (IPM) and pesticide reduction information system and their applications in Taiwan. 2022. 10th international IPM symposium ◦
 30. USEPA. 2008. Fate, Transport and Transformation Test Guidelines OPPTS 835.6100 Terrestrial Field Dissipation.
 31. Vimala Devi, P. S., P. Duraimurugan, K. Chandrika, and V. Vineela. 2021.



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

Development of a water dispersible granule (WDG) formulation of *Bacillus thuringiensis* for the management of *Spodoptera litura* (Fab.). *Biocontrol Sci Technol.* 31:850-864.

32. Williams, T., C. Virto, R. Murillo, and P. Caballero. 2017. Covert Infection of Insects by Baculoviruses. *Front. Microbiol.* 8:1337.
33. World Health Organization. International Programme on Chemical Safety (IPCS). 2020. Principles for modelling dose-response for the risk assessment of chemicals (first publication in 2009 and updated in 2020).

化學農藥十年減半推動現況與展望

曾獻嫻^{1*}、林俊耀¹、李昆龍¹、洪裕堂¹、歐陽瑋¹、顏辰鳳¹、陳子偉¹

摘要

隨著國際上持續關注永續農業發展，以及減少農藥對人體健康與環境危害與農藥減量等議題，我國於 2017 年由行政院農業委員會 (簡稱農委會) 宣示「化學農業十年減半」之政策目標，於 2018 年起正式施行，建構以「強化綜合管理，鼓勵友善農業」、「汰除高風險農藥，強化分級管理」及「制訂配套措施，逐步達成減半」為核心的 3 大管理策略與相應措施，分三階段逐步推動農藥減量之行動方案。目前在推動高危害風險農藥禁限用措施之下，劇毒農藥的使用量與基期年相比已減少近 7 成的用量，未來將持續推動相關精進作為，持續降低化學農藥使用風險與用量。

關鍵詞：化學農藥十年減半、有害生物綜合管理、高危害風險農藥

緒言

近年來，聯合國為因應全球氣候變遷與環境惡化，於 2015 年宣布了「永續發展目標」(Sustainable Development Goals, SDGs)，希望各會員國承諾減少人為活動及化學品對人類健康和環境的不良影響，透過安全使用化學品及健全環境管理、廢棄物減量與回收和有效利用水與能源等方式，在 2030 年達成 17 項目標及 169 項具體目標⁽⁵⁾。

各國依據永續發展目標的指引，也將農藥減量與永續農業生產等納入重要政策中，使農藥減量為國際趨勢。為達到永續發展，歐盟制定了諸多有關農藥安全和永續農業的立法基礎⁽⁴⁾，目標是減少對農藥的依賴，降低農藥對人體及環境的影響。透過增加使用低風險農藥與非化學農藥，並發展和推廣其他替代化學農藥的作物有害生物綜合管理(Integrated Pest

* 通訊作者。E-mail: hsien@mail.baphiq.gov.tw

¹ 臺北市 行政院農業委員會動植物防疫檢疫局



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

Management, IPM)防治技術，以減少對化學農藥的依賴。歐盟訂定的綠色政綱 (European Green Deal) 於 2020 年 5 月 20 日將「從農場到餐桌策略 (Farm to Fork Strategy)」⁽⁶⁾ 列為核心政策之一，訂定至 2030 年將化學農藥的使用和風險減少 50%，以及較具危害性農藥使用量減少 50% 二項目標。藉此推動減少糧食體系碳足跡、保護公民健康與確保永續農業等，兼顧達成聯合國之永續發展目標。

日本自 90 年代起陸續實施「積極推展環境保全型農業的新政策」⁽²⁾、「食料(糧)農業農村基本法」等政策，2000 年時農藥使用約 8 萬噸，至 2003 年下降到 5.1 萬噸，即減少 35%⁽¹⁾。日本於 2021 年 5 月公布「綠色糧食戰略」⁽⁸⁾，透過 IPM 方式，開發替代化學農藥之防治技術，以及應用智能防治技術等，預定於 2050 年降低 50% 化學農藥使用量 (以風險值換算)。2022 年 6 月 21 日公布於 2030 年之中期目標為化學農藥使用量降低 10%。

有鑑於國際上降低化學農藥風險及減量使用已成趨勢，我國雖未加入聯合國等國際組織，但身為地球村的一份子，在兼顧我國糧食與農產品安全下，於 2017 年 9 月宣示農藥減半政策，朝在 2027 年達成化學農藥減半的目標。

化學農藥十年減半政策推動現況

化學農藥十年減半行動方案於 2018 年起開始推行⁽³⁾，農委會建構以「強化綜合管理，鼓勵友善農業」、「汰除高風險農藥，強化分級管理」及「制訂配套措施，逐步達成減半」為核心的 3 大管理策略，與其所延伸之 12 項相應措施，分三階段逐步推動，每 3 年檢視及修正行動方案，並隨時進行滾動式檢討，於 2027 年進行政策成果總體檢視與說明。在第一階段完成後，農委會於 2020 年 12 月邀集農業生產、農藥產銷與消費者保護等團體及衛福部、環保署等機關，研議規劃採行第 2 階段 (2021-2023 年) 精進措施，同時加強我國各產業及團體對於化學農藥減半政策的共識與決心。

推動內容與成果

一、強化綜合管理，鼓勵友善農業

在第二階段本項管理策略為：(1) 擴大有害生物綜合管理示範推廣；(2) 加強開發與引進生物防治資材及完備供應鏈；(3) 辦理有害生物綜合管理獎勵與友善資材補助；(4) 配合生態補助措施持續推動有機友善生產體系等四項精進措施。

(一) 擴大有害生物綜合管理示範推廣

針對目前農藥殘留風險較高的作物 (包括豇豆、菜豆、蘿蔔、甜椒、青蔥、百香果、木瓜等 13 項作物) 推動 IPM 示範推廣及建立操作指引。輔導農民依據指引加強運用 IPM 之「預防、監測、防治」等技術，優先使用非屬化學農藥的防治資材，推動正確合理使用化學農藥，減少不必要的藥劑施用種類及次數，減低對化學農藥的依賴。推動迄今累計示範推廣面積達 3,000 公頃，示範區內化學農藥使用量平均減少約 36%。目前農委會正研議在臺灣良好農業規範產銷履歷 (TGAP) 中將 IPM 導入為產銷履歷升級版 (TGAP PLUS)，2022 年針對草莓、番茄、青蔥、木瓜及鳳梨等 5 種作物辦理獎勵措施，透過差異化產銷履歷補貼鼓勵農民升級耕作模式。另針對施行 IPM 內容完成度提供差異化獎勵，經評定施行 IPM 完成度等級分為 60%、80%，獎勵分別為每公頃 10,000 元及 15,000 元。

為擴大全民參與實施 IPM，防檢局於 2019 年起即辦理永續善農獎 (IPM Award) 選拔表揚計畫，分別以農民、投入綜合防治技術研究以及從事綜合防治技術或產品行銷推廣之個人與團體為對象，自第二屆起分為「現場操作組」、「技術創新組」及「行銷推廣組」三組進行選拔，透過多元典範，鼓勵更多農民、業者與研究人員投入 IPM 研發、推廣及應用。防檢局亦藉由辦理 IPM 成果發表會，針對試驗改良場所推廣輔導草莓、青蔥、百香果、豆類等 17 項重要作物運用 IPM 技術管理病蟲害之成果，邀請永續善農獎之得獎者擔任推廣大使分享執行 IPM 之經驗，以期產生雁陣效應讓其他農民有標竿學習的對象，擴大推廣效應。



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

(二) 加強開發與引進生物防治資材及完備供應鏈

為增加生物防治資材的多樣性及供應給農民施行 IPM，農委會整合我國學術單位及各試驗改良場所資源及技術，開發具有害生物防治潛力之安全性保護資材，增加生物農藥及免登記植物保護資材數量，並組成研究團隊產學合作加速商品化與產業化，同時搭配其他防治管理技術，建立田間合理有效施作模式。自 2018 至 2021 年已完成 7 件生物農藥登記上市，另至 2022 年 8 月免登記植物保護資材累計登錄計 666 項，較 2018 年增加約 3.3 倍。2022 年持續投入甜菜夜蛾核多角體病毒、座殼菌、放線菌、淡紫菌等微生物農藥研發。

在天敵昆蟲生產技術研發，除進行褐蛉、赤眼卵寄生蜂、東方蚜小蜂、槳黑卵蜂等 4 種天敵昆蟲應用技術研發，也開發外米綴蛾飼養與成蛾收集機，並設計新式蜂片及蜂片自動化生產機械，有助於增進赤眼卵寄生蜂生產效率及量能。此外，為便利農民取得對於生物防治資材運用技術及相關資訊，強化作物病蟲草害生物防治資材資訊平台 (<http://www.bioctrl.pps.org.tw/>) 功能，藉由媒合天敵昆蟲生產業者與農民之供給與需求，以利業者進行計畫性生產，適時供應天敵予農民使用，以穩定天敵產業供應鏈。

(三) 辦理有害生物綜合管理獎勵與友善資材補助

為鼓勵農民採用環境友善資材及低風險性防治資材防治有害生物，提高農民使用意願，透過補助措施，依作物種植面積定額補助商品化的生物農藥、免登記植物保護資材與生物防治天敵，以引導農民採用生物性防治資材，使農民逐步降低對化學農藥的依賴，並促進環境友善資材之推廣應用。自 2018 年 6 月 1 日起辦理商品化的生物農藥補助措施，2018 至 2019 年補助 4,569 公頃，自 2020 年起補助標準提高至每公頃 10,000 元，至 2021 年累計補助 18,676 公頃。進一步分析生物農藥使用量變化，2021 年生物農藥使用量較 2018 年增加逾 61%，顯示農民依賴化學農藥防治病蟲害之觀念已逐漸改變。此外，自 2020 年 7 月起增加免登記植物保護資材補助，每公頃最高補助 5,000 元，2021 年補助面積為 8,249 公頃。2022 年針對基徵草

蛉、小黑花椿、平腹小蜂及赤眼卵寄生蜂等天敵新增生物防治天敵補助，補助購買金額 5 成，每公頃最高補助 1 萬元。

(四) 配合生態補助措施持續推動有機友善生產體系

農委會為推動有機農業，制訂有機農業促進法，並於 2019 年 5 月 30 日起施行。至 2022 年 8 月已認證之有機農產品驗證機構計 16 家，有機及友善耕作面積達 18,223 公頃，占國內耕地面積比 2.2%。進一步分析，自 2018 年至今有機及友善農產品驗證審認面積已增加逾 46%，有助於增進有機農產品品質，以維護國民健康與兼顧生產者及消費者權益，並達到環境有機生態、農民有機生產及消費者有機生活之目標。

配合林務局於 2021 年起執行「瀕危物種及重要棲地生態服務給付計畫」，目前核定補助新北市、苗栗縣、臺中市、南投縣、臺南市、高雄市、宜蘭縣、花蓮縣、金門縣及屏東縣等 10 縣市政府執行，已受理逾 600 件友善農地申請案，受理面積逾 500 公頃。2017 年起水保局亦於農村導入里山倡議概念，鼓勵以友善環境耕作、永續使用自然資源與環境保育，至 2021 年已有新北共榮社區、花蓮新社復興部落、臺東尚德社區、臺中公老坪社區及南投一新社區等 5 個案例登入聯合國「里山倡議國際夥伴關係 (IPSI)」成為典範⁽³⁾。

二、汰除高風險農藥 強化分級管理

(一) 推動高危害風險化學農藥退場

針對已核准登記之農藥，依據科學證據重新評估其對人體及環境風險，並進行採取刪除或限制其新增使用範圍或公告禁用等管制措施，以降低化學農藥使用之風險。本項主要工作內容包括：(1) 建立高風險、高用量農藥評估原則，並據此擬定禁限用清單及禁限用時程；(2) 登記屆滿 15 年之農藥之毒理試驗資料有效成分重新評估，淘汰欠缺毒理資料之老舊農藥；(3) 修正農藥標準規格及研訂農藥原體規格及有害不純物限量及高風險農藥流向管理及檢查，提升品質管理。



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

2020 年召開「研商高風險農藥清單評估原則會議」，決議參採 FAO/WHO 之降低高危害性農藥 (Highly Hazardous Pesticides, HHPs) 風險指引，建立高風險農藥評估原則。優先針對高用量之農藥進行暴露評估及研議風險減輕措施(Risk mitigation measures)。在禁限用農藥方面，自 2017 年起已陸續禁用包含普硫松、巴拉刈等 15 種農藥，限用部分則包含陶斯松、毆殺松等 42 種農藥。其中陶斯松依據行政院 2022 年 4 月 15 日行政院食品安全會報指示研議縮短陶斯松退場期程，於 2022 年 7 月 7 日預告修正陶斯松禁用期程，自 2024 年 4 月 1 日起禁止輸出、販賣及使用，將嗣完成配套措施後公告實施。

為強化農藥毒理的評估，參考 FAO 及美國環境保護署等規定，增列農藥管理法第 16 條第 3 項規定，明定登記時間超過 15 年之農藥許可證，自 2019 年 12 月 26 日起於申請展延時，須依據農藥理化性及毒理試驗準則規定，補充過去與現行毒理資料落差，俾評估確認其安全性，以逐步淘汰欠缺毒理試驗資料之農藥，提升我國農藥使用安全。並於 2021 年 10 月 28 日公告修正「農藥理化性及毒理試驗準則」第 3 條附件 1、附件 2，已核准登記屆滿 15 年之農藥有效成分，農藥生產業者申請登記新劑型或含量、新增使用範圍，或申請核發相同有效成分、劑型、含量及使用範圍之許可證時，應比照核准登記屆滿 15 年之農藥有效成分申請許可證展延之規定，繳交相同毒理試驗資料，重新評估其安全性，並確保農藥登記之毒理資料完整性。至 2022 年 8 月已完成 114 種登記屆滿 15 年之農藥有效成分審查作業，其中包括三得芬、保粒黴素、溴克座、加福松、福賜米松、比加普等 6 項農藥因未能提供所需之毒理資料，無法展延其許可證。同時，針對包含歐硫素、必克蝨、甲氧基護谷、亞芬松、依殺松及三地芬等 6 種國內已登記但國際上已淘汰不生產農藥，將刪除其使用方法範圍及相關容許量。

為維護農藥品質，依 FAO 規範研訂農藥原體規格及有害不純物限量，目前盤點之 48 種高用量農藥中高危害性農藥，其中 16 種高用量農藥高危害性農藥已完成關注性不純物的化學結構資訊及其存在於原體中的原因蒐集，經評估約有 13 個不純物已具可行的農藥不純物檢驗方法。並於 2022 年 9 月 2 日公告修正「農藥標準規格準則」第 3 條附表 4 成品農藥理化檢

驗標準規格，落實市售成品農藥品質管理。此外也強化農藥工廠檢查，提升農藥品質管理，定期公布市售成品農藥抽檢結果，對於抽檢不合格者，持續追蹤管制及輔導改進。

(二) 強化農藥安全監控機制

為提升農藥登記試驗品質，提升農藥登記之安全評估資料，自 2018 年 7 月 1 日起由自我宣告方式改為優良實驗室操作(Good Laboratory Practice, GLP)登錄新制，並透過經濟合作發展組織(OECD) GLP 及數據相互接受(Mutual Acceptance of Data, MAD) 體系方式接軌國際，至 2022 年已有 31 家農藥公司取得 GLP 登錄，確保試驗報告真實性及完整性，以避免審核過程之誤判風險，有效提升國內農藥安全性評估試驗數據品質及有效性，健全我國農藥產品登記之安全評估管理體系。2021 年結合農委會、環保署、衛福部等機關資料，已辦理農藥對於人體健康評估研究計畫及開始執行農業區農藥環境流布相關監測，持續建立人體及環境流布之本土研究資料庫。

(三) 依農藥安全性建立分級管理

農委會參考聯合國於 2002 年完成制定「化學品分類及標示全球調和制度 (Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals, GHS)」，與 WHO、FAO 陸續於 2010 年、2015 年公布相關規範之調和公告及 GHS 調和之農藥優良標示實務指引，推動相關修法與配套措施，加強高風險農藥之銷售管理。為降低施藥者暴露風險及使用風險，2019 年 8 月 5 日修正農藥標示管理辦法，以強化農藥標示管理，揭露農藥產品之個別特性與危害性差異，加強農藥業者企業責任，於修法後 3 年內完成農藥產品之標示變更。截至 2022 年 8 月已有 99.9% 農藥產品申請轉換為符合 GHS 制度之農藥標示，有利於完整揭露農藥安全性資料。

為進一步依據農藥安全性建立分級管理制度，未來將研議修正農藥管理法，增訂農藥級別定義及其管理機制。另外針對較低風險之費洛蒙農藥，加速產品上市及登記所需文件，2019 年 11 月 7 日公告修正「農藥田間



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

試驗準則」第 5 條，簡化費洛蒙農藥登記文件要求、田間試驗場次與規模等規定，2021 年 3 月 10 日公告修正「農藥許可證申請及核發辦法」，簡化進口費洛蒙原體登記所需文件，降低國外進口費洛蒙原體之門檻，增進費洛蒙農藥於國內之應用與推廣。此外，為強化農藥對非目標生物危害之管理，於「農藥標示管理辦法」此次修正中新增農藥對蜜蜂急性毒性分類之附表，透過農藥標示提醒使用農藥者注意，降低對蜜蜂等非目標生物的危害，促進農業友善生產環境。

(四) 持續推動非農業用地禁用除草劑

為落實除草劑農用政策，執行非屬核准登記使用範圍不得使用除草劑的規定。另外，2019 年由環保署召開記者會宣導「非農地勿使用除草劑」，並函請各縣市政府於訂定非農地環境雜草管理自治條例時納入檢舉獎勵措施，目前臺北市、高雄市、花蓮縣及宜蘭縣等 4 縣市已完成制定。另外，藉由建置「非農地環境雜草管理」專區，並於防檢局農藥資訊服務網等網址建立連結，提供相關目的事業主管機關參酌運用其他友善方式除草。農糧署亦規劃持續辦理農地除草機補助，鼓勵以機械割草代替除草劑的使用，2021 年補助 1 萬 2 千餘臺。此外，防檢局亦透過農藥銷售管理系統檢核除草劑購買異常情形，並協助地方政府處理非農地使用除草劑案件。

三、制訂配套措施 逐步達成減半

(一) 強化農藥購買及銷售管理

農藥販賣業者在第一線與農民直接接觸，依據標示與使用範圍銷售並向農民說明農藥使用方法，為提升農藥管理人員素質，2019 年修正「農藥管理人員訓練及管理辦法」將報名參訓之學歷資格提高為專科以上學校畢業，同時也將農藥管理人員資格訓練時數由 80 小時調整為 120 小時，另在職訓練之總時數由 5 年 40 小時提高為 60 小時以上，提升其植物保護專業與安全用藥知識，使農藥得以合理正確的使用。此外，亦落實汰除違規管

理人員及公布違規業者資訊，截至 2021 年累計公布違規販售偽禁農藥販賣業者計 14 家、廢止農藥管理人員證書計 16 件。

在農藥銷售管理上，推動農藥購買實名制作業，補助鼓勵農藥販賣業者使用 POS 系統陳報，加強農藥管理人員 POS 系統訓練。公告修正「農藥管理法第三十五條第二項所定農藥生產業或販賣業者應定期陳報資料之格式內容頻率及方式」，新增農藥販賣業者零售成品農藥應陳報購買人國民身分證統一編號或居留證統一編號，自 2022 年 1 月 1 日起新申請核發農藥販賣業執照之零售業者，應以 POS 系統或以網路服務介接方式陳報，2022 年 7 月 1 日起上傳檔案方式陳報，改以線上表單方式陳報。配合農民與農藥販賣業者宣導等措施，至 2022 年 1 月，農藥販賣業者陳報 ID 率已達 100%；另至 2022 年 8 月，農藥零售業者以 POS 系統或採介接方式陳報已達到 94%。

另為打擊非法農藥，維護合法農藥銷售者之權益，加強劇毒農藥管理檢查及偽、禁用農藥查緝工作。自 2021 年 4 月 1 日啟動「非法農藥查緝專案計畫」，擬定「非法農藥查緝標準作業流程圖」及「網路販售非法農藥檢舉案件標準作業程序」供各執行單位依循辦理。持續偵蒐網路電商平臺販賣偽農藥，報請電商平台下架違規品項，截至 2022 年 8 月底臉書 18,510 案，蝦皮平臺 10,545 案均已下架，有具體事證者均已移送法辦。邊境偽農藥查緝部分業於 2021 年 3 月函文海關及海巡署加強查緝，2021 年於邊境查獲 47 件偽農藥，計 1,527.78 公斤。2022 年亦配合檢警等司法機關大規模執行非法農藥查緝工作，查獲氯化三苯錫、四氯丹等非法農藥逾 46 公噸，有效防堵非法農藥流入市面。

(二) 持續推動農藥代噴制度

因應農事勞動力需求，考量特殊用藥需專業技術、設備，及強化農藥使用者安全防護等因素，並參考美國等國家之作法規劃農藥代噴制度，推動經過專業訓練的農藥代噴技術人員始得代噴農藥，並鼓勵訓練合格人員登記為業，以有效管控高風險藥劑之使用。至 2021 年已有 2,837 人完成訓練，有 764 人 (約 27%) 登記為業。為提供農民病蟲害機動且更高效率防治



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

作業需求，並結合了代噴及無人飛行載具專業施藥技術人員制度，公告修正「農藥使用及農產品農藥殘留抽驗辦法」，規範以無人飛行載具施藥作業應由代噴農藥之業者為之，操作人員須取得空中施作(無人飛行載具)類別之農藥代噴技術人員證書。另交通部民用航空局採納農委會建議，於2021年7月14日公告修正遙控無人機管理規則，經農政機關登記合格法人，其農噴飛航活動許可期可由3個月延長至6個月。至2021年已取得無人機農藥代噴技術人員證書共444人，已登記為無人機代噴業計76家(264人)。2021年輔導253名具雙證農藥代噴技術人員完成代噴業登記，補助農民僱用合法登記代噴業者進行施藥防治作業，推廣面積約6千公頃。

為進一步加強推廣應用無人機之施藥，目前正積極研議相關輔導管理方式，包括：(1) 建置即時動態定位 (Real Time Kinematic, RTK) 基準站及統一監管平台，輔助無人機精準施藥、蒐集無人機用藥資訊。目前已完成35處RTK基準站建置(平地站18站、高山站17站)及RTK核心模組開發，將配合發展智慧農業精準定位農機應用等需求，擴大推廣使用者端使用精密定位服務APP，輔助無人機精準施藥；(2) 因應不同用藥需求及施作方式，擬定不同作物建議施藥方法，加強輔導國內無人噴藥機製造廠商及法人單位使用農委會布建的GNSS-RTK精準定位網絡，落實執行監督查核。

(三) 加強推動植物醫師制度

推動制定「植物醫師法」，透過國家認證的植物醫師執行植物健康診療服務，提供正確診斷與專業的防治意見，指導生產者善用防治資材及正確精準使用農藥，以降低化學農藥使用。行政院於2022年4月19日完成該法案審查，將持續推動後續立法工作。

在擴大儲備植醫服務場域方面，2019年度媒合11處農會、6家農企業與農業合作社、19個地方政府提供田間第一線服務場域，正確診斷鑑定有害生物，提供生產者客製化防治管理建議479件。2021年擴大服務場域，增聘46位儲備植物醫師至基層農會、鄉(鎮、市、區)公所及農委會試驗改良場所，協力推動IPM，共計提供病蟲害防治管理建議4,444件，輔導件

數較 2020 年增加逾 4 倍，為持續擴大輔導農民量能，2022 年再增聘 46 位儲備植物醫師。

為增加社會大眾對植物醫師之認識與認同，2019 年起持續透過實體活動、大眾傳播與社群媒體進行儲備植物醫師廣宣活動，2021 年舉辦 1 場次「植物保護量能暨農藥管理再提升」記者會，宣示推動植物醫師制度之政策決心；另請財團法人主婦聯盟環境保護基金會與植物教學醫院合作，於北、中、南區辦理 4 場次推動植物醫師制度溝通座談會，強化理念溝通；2022 年也辦理儲備植物醫師成果發表會，展現近年來儲備植物醫師輔導農民的成果。此外，為強化專業人才培訓工作，訂定儲備植物醫師職前培訓課綱，及建立結合農委會試驗改良場所及植物教學醫院量能之在職培訓模式，持續提升儲備植物醫師的專業素養。

(四) 強化農藥使用安全教育訓練

為提升農藥施用安全，建置農藥施用安全防護實務指引予施藥人員參考運用，並依內容設計宣傳圖卡，提供各單位作為施藥安全廣宣運用。2021 年參考日本推動之「農藥危害防止運動」⁽⁹⁾，促進農藥安全正確使用，預防使用過程中發生危害，檢視修訂農藥施用安全防護實務指引，以標示危害認知、個人防護裝備 (Personal Protection Equipment) 使用、施用排除區 (Application Exclusion Zone) 及限制進入期 (Restriction Entry Interval) 等 4 大防護為重點主題，持續推動施藥安全防護種子師資培訓，期透過種子師資教育農民，提升施藥者自身安全防護認知以及後續推廣教育。

未來展望

2022 年 6 月 15 日歐盟發布了 2011-2020 年「從農場到餐桌策略」的最新進展⁽⁷⁾，顯示在歐盟整體化學農藥的使用和風險持續降低，且顯著減少高危農藥的使用，但仍需要更多措施來減少化學農藥的使用和風險。面對糧食安全與氣候變遷等全球性問題，使用化學農藥防治病蟲害的需求可能



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

因此增加，因此兼顧防治與化學農藥減量為一嚴峻挑戰。至於在降低化學農藥風險方面，農委會將持續推動汰除高危害風險化學農藥退場，依據評估結果採取適當之管理措施，以降低對人體與環境風險。未來亦持續檢視化學農藥十年減半行動方案推行及落實情形，滾動式調整相關措施，維護我國農業生產環境安全，分階段達到農藥風險與農業永續生產的目標。

引用文獻

1. 李宜映、簡志丞、毛怡文。2019。淺談國際農藥減量政策與策略。農業科技視野: 11-17
2. 林文傑。2017。簡介日本環境保全型農業政策。農政與農情 302:70-71
3. 鄒慧娟、陳子偉、顏辰鳳、陳保良、李昆龍、洪裕堂、歐陽瑋、杜文珍。2022。化學農藥十年減半行動方案。臺北。1-48 頁。
4. European commission.2020. Report from the commission to the European parliament and the council, Brussels, Belgium. 1pp.
5. United Nations. 2022. Do you know all 17 SDGs? Retrieved from <https://sdgs.un.org/>
6. European Commission. 2022. Farm to Fork strategy. Retrieved from https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en
7. European Commission. 2022. EU: Trends in the use and risk of chemical pesticides and the use of more hazardous pesticides. Retrieved from https://food.ec.europa.eu/plants/pesticides/sustainable-use-pesticides/farm-fork-targets-progress/eu-trends_en
8. Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF) Vision Statement. 2021. Strategy for Sustainable Food Systems, MeaDRI. Retrieved from <https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/index.html>
9. Ministry of Health, Labour and Welfare, 令和第3年“農藥危害防止運動”將於6月1日起實施。2021. Retrieved from https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_18307.html

The Current Situation and Prospect of Half Use of Chemical Pesticides in Ten Years

Hsien-Hsien Tseng^{1*}, Jiunn-Yaw Lin¹, Kun-Lung Lee¹, Yu-Tang Hung¹,
Wei Ou-Yang¹, Chern-Feng Yen¹, Tse-Wei Chen¹

Abstract

As the international community continues to focus on promoting the development of sustainable agriculture, as well as reducing pesticide hazards to human health and the environment and pesticide reduction, in 2017, the Council of Agriculture, Executive Yuan (COA) announced the policy goal of "halving chemical agriculture in 10 years", which was officially implemented in 2018, and is based on three major management strategies and corresponding measures: "Strengthening integrated management and encouraging friendly agriculture," "Eliminating high-risk pesticides and strengthening and "Formulating supporting measures to gradually achieve a 50% reduction", will gradually promote the action plan of pesticide reduction in three phases. At present, under the promotion of high-risk pesticide ban and restriction measures, the use of highly toxic pesticides has been reduced by nearly 70% compared to the base years, and will continue to promote relevant refinements to continue to reduce the risk and use of chemical pesticides.

Key words: half use of chemical pesticides in ten years, integrated pest management, highly hazardous pesticides

* Corresponding author, E-mail: hsien@mail.baphiq.gov.tw

¹ Bureau of Animal and Health Plant Health Inspection and Quarantine, Council of Agriculture, Taipei



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

植物醫師制度的推動與前瞻

洪挺軒^{1*}

人若生病，有醫師可以診療，臺灣的醫療品質為世界所稱道，一般認為與我國醫師網羅了頂尖人才有絕對的關係；動物生病，也有獸醫師可以把關，臺灣獸醫的醫術水準也是領先於國際。其實植物也是一樣的，受到週遭生物與環境因子的衝擊，植物也會生病，尤其在面對氣候變遷、全球暖化的現在，更應需要有「植物醫師」為其健康做把關。農作物之栽培，過去因長期缺乏植物醫師的協助，導致農民及農企業大多只能自行診斷、選藥及防治，加上農藥販售業者也大多缺乏科班而專業的訓練，「嘗試錯誤」的情況普遍，乃使國內經常發生農藥錯用、濫用或過量殘留的事件，對農民與消費者的健康都有巨大的負面影響。國際間對農產品的食安問題，也越來越重視，任何農產品輸出國只要被檢驗出有超量的農藥殘毒，或夾帶任何有害生物，立即會遭到其他國家的抵制與退運，這除了造成業者與農民無以彌補的鉅額損失外，更可能影響就業或妨礙經濟成長，故目前世界各國無不卯足全力確保農林漁牧產品之優質與安全，並嚴格執行進出口產品之檢驗與檢疫，拒絕農藥殘留過量的農產品進口，並杜絕境外疫病蟲害之入侵。另一方面，為達成優質農產品之生產與外銷，也為了植物防檢疫能力的提升，植物醫學相關科技之研發與植醫人才之培養自是萬分迫切。

然而，培育植物醫師卻又是相當不易的一件事。相較於人醫與獸醫，植醫所要面對的病患相對複雜而多樣化，每種植物不同的病蟲害相，涉及的知識學門非常廣泛。更困難的是植物病蟲害的診斷，由於植物不像人或動物生病時有較明顯的病痛反應，人醫的「問診」以及獸醫的「行為觀察」等診斷方式在植醫都無法派上用場，簡單的說，植醫必需如同法醫或

* 通訊作者。E-mail: thhung@ntu.edu.tw

¹ 國立臺灣大學 植物病理與微生物學系 教授
國立臺灣大學 植物教學醫院 院長



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

是偵探一般，主動尋找微物跡證，經過科學性的檢驗，抽絲剝繭，找出病因。也因此，植物醫學是一門必需整合各種傳統與現代科技的科學，也是相當注重經驗與應用的專業領域。但是長期以來，植醫這個領域並未受到應有的重視，人才的培育也缺乏詳細的規劃，加上農業科學分門已久而缺乏整合，使田間農作物病蟲害的防治尚無法走向全面專業化。縱使國內農業試驗研究單位擁有不少植物保護專家，但本身公務繁忙，可輔導的農民人數仍然有限。所以，真實的情況是許多農民憑藉著沒有學理支撐的經驗法則，或經由非植醫專業的農藥商販建議就草草擬訂用藥處方籤，導致農藥違規混用、濫用或錯用的情況一再發生，食安的陰影因而揮之不去。缺乏植醫的專業也容易導致農作物病蟲害的蔓延與猖獗，新浮現的病蟲害常因此延誤防治時機且造成極大的經濟損失，而一些原來經常發生的重大病蟲害更因為長期依賴農藥、但又缺乏專業的抗藥性管理，防治效率不斷下降。為了維護我國農業的長遠發展、增進農民的收益、並落實國家「安全農業」政策，植醫的推動實在刻不容緩。

為了推動植醫的培育工作，臺大生農學院早在 2006 年即成立「植物醫學研究中心」，做為植醫推動的濫觴。此中心旨在整合院內相關的農業科技建立跨系所的研究團隊，同時著手規劃「植醫碩士學位學程」以培訓植醫人才，於 2010 年 6 月獲得教育部通過，自 2011 年 8 月起開始招生，每年招收 12 名的研究生，訓練學生成為可以實際解決田間作物栽培與病蟲害問題的全方位農業專家，使大學教育可以和產業無縫接軌，迄今已進入第 12 屆，培育的人才逐漸開枝散葉，絕大多數從事植醫(植保)相關行業。此外，嘉義大學於 2012 年成立「植物醫學系」，中興大學於 2014 年成立「植物醫學暨安全農業碩士學位學程」，再加上屏東科技大學於 2008 年就已將原有「植物保護學系」更名為「植物醫學系」，國內四所大學攜手共同培育未來的植物醫師，將原來的農業「植保」領域進一步提升至「植醫」專門職業，此乃我國農業非常大幅的進步。

農委會防檢局為了協助四所大學培育植醫人才，於 2018 年支援四校分別成立「植物教學醫院」，一方面提供植醫學生實習的場所，一方面建置「植物診療中心」對外提供專業服務平台。以臺大為例，2018 年分別在臺

大校總區設立「植物教學醫院」、以及在臺大雲林分校鋤禾館設立「植物教學醫院雲林分院」，且籌組跨領域專家團隊，成員涵蓋植病、昆蟲、農化、園藝與農藝等系多位教師，自 2018 年 5 月起開始在雲林地區展開對農民的服務，2018 年 7 月起宜蘭、雙北、桃竹苗也列入服務範圍，迄今累積輔導的專業農民人次為 2272 人，涵蓋之輔導農作物種植面積為 696.69 公頃，且協同各地區農會舉辦共 71 場「農業技術諮詢講習會」（參加總人數為 4489 人），為農民強化農業競爭力，導入學術專業新知，提升農產的品質並增進農民的收益。植物教學醫院也為植醫學程師生提供臨場實習的機會，與課程緊密結合，由授課老師帶領學生進行實際田間診斷每年都有 12 次以上，可快速累積學生們的實務經驗。

目前亟待配合的是「植物醫師法」的立法與制度之落實，讓「植醫」這項專門職業受到法律的保障。在防檢局帶頭領導、加上產官學各方同仁共同努力下，「植物醫師法草案」已在行政院內部完成溝通、討論與條文草擬，進一步送交立法院，將正式邁入立法的各項程序，期待「植物醫師法」早日誕生，這將會是我們植物保護領域走向新紀元的里程碑。未來期盼朝向完整的教育、考試、任用一體的規劃，使植醫在我國能真正發揮其提升農業產值且創造就業機會的最佳效益。我們植醫人才的訓練除了落實本土化之外，也應有國際化的前瞻。世界各國的植醫專家普遍缺乏，大多數國家更無專門針對植醫的培育規劃，這有可能是我們成立國際植醫培育基地以及人才輸出的一個機會，也希望藉此將臺灣優質農業技術推向世界。

植醫仍有漫漫長路需要一步步踏實前行，立法的加速完成、教育的通盤規劃與就業的長遠發展，都會面臨層層的考驗，產官學必須攜手一起克服。我們先從教育做起，植物醫師的訓練將從「跨領域學習」做起，打破傳統各個專業領域如植病、昆蟲、土壤肥料、農藥與農園藝的藩籬，設計出一組真正可以連結田間實務的「通才式」課程套餐，才能夠比較全面性的解決植物病蟲害問題。將來植物醫師應該主動協助農民或農企業，率先提供農作物適地適種的評估與計畫，規劃營造健康的生長環境，擬妥水分、營養與肥料之管理策略，確實做好田間衛生工作，使植物處於不容易



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

被病蟲害入侵的狀態；既使遭遇病蟲害襲擊，也應以維護農民收益、輔以生態友善做通盤考量，採取 IPM (整合式病蟲害防治) 策略，力求減少化學農藥的使用，使臺灣的農業得以永續發展。

農藥環境流佈與對非目標生物的影響

王詠平¹、劉濬豪¹、顏瑞泓^{1*}

摘要

農藥使用的目的為保護作物免於病、蟲、草害的影響，以確保農業生產的質與量。但是，一般的農藥在使用後僅有少量是遞送到目標生物(害物)上發揮其效果，其餘的部份就開始了在環境中流佈的命運。而這些流佈的農藥，會存在空氣、土壤及水體環境中，在上述環境中生存的生物就成了意外暴露在農藥下的非目標生物了。早期的農藥重視藥效，輕忽了對環境的影響與衝擊，但隨著對生態環境的關心與了解，現今農藥的登記已要求需要提出完整的環境及非目標生物影響的資料。而化學農藥使用後具有隨著時間推移而降解的特色，殘留在作物上的農藥在施用後殘留量最高，隨著作物的繼續生長而殘留量漸漸下降；殘留在環境中的農藥，則在暴露於陽光、空氣中或在水體及土壤中的微生物作用下，亦逐步的降解。即使如此，對於極微量殘留農藥在環境中的流佈及對非目標生物造成的影響仍然倍受關注。本文中將呈現農藥在環境流佈樣態、對非目標生物可能造成的影響，以及因環境流佈或具有對非目標生物影響的疑慮而在使用上受到限制及管理的例子。

關鍵詞：農藥、環境、非目標生物

緒言

依農藥管理法⁽²⁾，農藥 (pesticide) 是指用於防除農林作物或其產物之有害生物者或調節農林作物生長或影響其生理作用者。如同藥事法⁽³⁾中所稱的藥品 (drug) 用於診斷、治療、減輕或預防人類疾病之藥品及其他足以影響人類身體結構及生理機能者。雖都以藥為名，但兩者間有著巨大的差異，最大的不同在於農藥的使用對象是農林作物，藥品的使用對象是人

* 通訊作者。E-mail: sonny@ntu.edu.tw

¹ 國立臺灣大學農業化學系



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

類。而農藥在防除有害生物時，大部份是以殺滅的方式來達到目的，也讓人們有了農藥即是毒藥的印象，再加上農林作物生長在自然環境中，農藥的使用勢必無法避免在環境中流佈，伴隨著農藥具有的殺生效果，更令人對其是否造成生態環境衝擊產生疑慮。因此，農藥在使用上除了效果發揮的考量之外，其在環境中的命運，包括流佈與對非目標生物的影響也需要加以審視與評估。而核可農藥的使用需要提供環境相關的資料成了農藥管理上最大的特色⁽⁵⁾。

由農藥在環境的命運，會經過降解、吸附、揮發、沈降、淋洗、吸收、代謝等作用方式，流佈到土壤、地下水、地表水、底泥、及被植物吸收⁽⁷⁾，而最終是期待其完全礦化成二氧化碳等無機形態化合物。因此評估農藥對環境的衝擊就需要了解其環境流佈的情形，及對流佈過程中會接觸的生物所造成的影響。所以農藥登記除了對人安全性相關的急毒性 (acute toxicity testing) (口服急毒性、皮膚急毒性、呼吸急毒性、眼刺激性、皮膚刺激性、皮膚過敏性、神經毒性)；亞慢毒性 (subchronic toxicity testing) (九十日餵食毒性、二十一日皮膚毒性、九十日呼吸毒性、九十日神經毒性)；慢毒性 (chronic feeding toxicity) (長期餵食毒性、致腫瘤性、生殖毒性、出生前發育毒性)；致變異性 (mutagenicity testing) (細菌基因逆向變異試驗、哺乳動物細胞染色體體外試驗、哺乳動物細胞遺傳學體內試驗)；生物代謝 (metabolism studies) (動物體代謝、植物體代謝) 需提供完整的研究資料外，更需要有環境影響試驗 (environmental fate studies) (水解、光分解、土壤代謝、水域代謝、移動性、生物累積性) 及非目標生物毒性試驗 (nontarget organism toxicity test) (水生生物毒性、水生物生活週期性試驗、鳥類毒性、蜜蜂成蟲口服急性毒性試驗、蜜蜂成蟲接觸急性毒性試驗、蜜蜂幼蟲口服急性毒性試驗、對土壤微生物影響試驗、蚯蚓毒性、捕食及寄生天敵毒性) (表一)⁽⁵⁾。每一個試驗都代表著一個門檻，農藥即需在通過這些層層關卡後方能取得核可使用，因此，農藥的使用不能只關心農產品上的殘留是否影響消費者健康，更應該重視其對環境是否友善，會不會影響生態的永續。

本文中將以幾個例子呈現農藥對環境及對非目標生物的毒性而影響使用的情形。

表一、農藥資料需求要件⁽⁵⁾

生物代謝試驗	環境影響試驗	非目標生物毒性試驗
動物體代謝	水解	水生生物毒性
植物體代謝	光分解	水生物生活週期性試驗
	土壤代謝	鳥類毒性
	水域代謝	蜜蜂成蟲口服急性毒性試驗
	移動性	蜜蜂成蟲接觸急性毒性試驗
	消散性	對蜜蜂幼蟲口服急性毒性試驗
	生物累積性	對蜜蜂毒性之成品田間試驗報告
		殘留農藥對蜜蜂毒性試驗
		對土壤微生物影響試驗
		蚯蚓毒性
		捕食及寄生天敵毒性

農藥與環境

一、有機氯殺蟲劑—環境流佈—生物累積性

農藥使用後即開始在環境中流佈，如果降解速度慢，就容易經由生物的累積作用及食物鏈的生物放大等作用，逐漸在生物體中增加濃度，並逐漸造成傷害，其中生物濃縮因子 (bioconcentration factor, BCF) 最常用來評估一個化學物在生物體中發生累積的風險高低，以水生生物濃度測試為例，通常以魚進行試驗，BCF 值即是魚或其特定組織中的化學物質濃度 (mg kg^{-1}) 除以周圍介質中化學物質的濃度 (mg L^{-1})。BCF 亦可以生物對某化學物質的吸收速率常數與排出的速率常數比值。以農藥為例 $\text{BCF} = \text{農藥在生物體內濃度} / \text{農藥在水中濃度}$ ，BCF 值高表示此農藥生物濃縮性很高，對於 BCF 值高低判斷 (表二)，在美國，化學物質的 BCF 小於 1,000，認為該物質沒有生物累積性；BCF 介於 1,000-5,000 之間，則認為該物質具有生物累積性；如果 BCF 大於 5,000，則認為該物質具有很高的生物累積性。歐盟《化學品註冊、評估、許可和限制法案》(Registration, Evaluation,



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

Authorization, and Restriction of Chemicals, REACH), 若 $BCF > 2,000$ 的物質被視為具有生物累積性。 $BCF > 5000$ 的物質將被視為具有很強的生物累積性⁽¹⁵⁾。

人們對於這些不易分解並具有高度生物累積性的物質，對其造成環境衝擊最先產生警覺性，於是在聯合國的呼籲下針對持久性有機污染物（存在於或堆積於動植物體內的、在自然環境中長期循環的對人類有害的化學品物質，persistent organic pollutant, POPs），研議了斯德哥爾摩公約，禁用了多項的持久性有機污染物，其中即包括了大部份的有機氯殺蟲劑，例如滴滴涕 (DDT)、阿特靈 (aldrin) 和蟲必死 (BHC) 等多種早年在農業的病蟲害及公共衛生的病媒防治上廣泛使用的藥劑，而我國針對具長效性環境污染特性農藥的禁用時間表如表三。

表二、生物濃縮因子數值對應表⁽¹⁵⁾

USA BCF	Substance	EU	
		BCF	Substance
<1,000	Not bioaccumulative	>2,000	Bioaccumulative
1,000~5,000	Bioaccumulative	>5,000	Very bioaccumulative
>5,000	Very bioaccumulative		

表三、我國針對具長效性環境污染特性農藥自 1975 即啟動禁用等管理措施 (部分)

農藥名	英文名	禁用原因	禁止製造 輸入	禁止加工	禁止販賣 使用
安特靈	Endrin	長效性環境污染	1971/1/1	1971/1/1	1972/1/1
滴滴涕	DDT	長效性環境污染	1973/7/1	1973/7/1	1974/7/1
蟲必死	BHC	長效性環境污染	1975/1/1	1975/1/1	1975/10/1
地特靈	Dieldrin	長效性環境污染	1975/1/1		1975/10/1
阿特靈	Aldrin	長效性環境污染	1975/1/1		1975/10/1
飛佈達	Heptachlor	長效性環境污染	1975/1/1		1975/10/1
安殺番	Endosulfan	持久性有機污染物	2012/1/1		2014/1/1
大克蟎	Dicofol	持久性有機污染物	2018/8/1	2018/8/1	2018/8/1

其中的 DDT 是最廣為人知的藥劑，不論在病蟲害的防治確保糧食的生產或是在環境衛生上減少了病媒傳播疾病的發生，都為拯救生命做出了巨大的貢獻，根據世界衛生組織估計，DDT 的使用前後大概拯救了大約 2500 萬人的生命。即使如此，其對環境的危害使其難逃被禁用的命運。

二、新菸鹼類殺蟲劑—對非目標生物具危害性—授粉昆蟲蜜蜂

新菸鹼類殺蟲劑為較新類型的殺蟲劑，由於具有系統性，經由植物吸收後，對以刺吸方式吸食植物汁液的害蟲具有良好的防治效果⁽²⁰⁾，有別於有機磷劑或氨基甲酸鹽類著重於觸殺型的殺蟲劑有不同的防治成效，因此在殺蟲劑的應用範圍快速增加，再加上其作用位置在昆蟲與哺乳動物間的結合力差異極大，因此對於哺乳動物比天然尼古丁有更高的安全性，而對昆蟲則有更高的有效性。

可是就在新菸鹼類殺蟲劑大量於田間應用時，在 2006 年發生了蜜蜂神秘失蹤事件，這就是知名的「蜂群衰竭症候群」(colony collapse disorder, CCD)，由於蜜蜂對於某些農作物而言就如同水和陽光一樣的重要，少了蜜蜂，農作物的收成即刻減少一半，「沒有蜜蜂，就沒有收成」，因此此一事件引起了全世界的重視。雖然，蜜蜂失蹤的原因眾說紛紜，包括氣候異常、農藥中毒、電磁波干擾蜜蜂的導航系統等，但是，由於新菸鹼類殺蟲劑的上市與大量使用與歐美國家發生蜂群大規模死亡的時間吻合，而被懷疑其為造成蜂群大量減少的主要原因。於是開始了許多針對此類藥劑對授粉昆蟲影響的研究以及成果發表。其中有文獻指出益達胺的施用會汙染花蜜及花粉，而使其對蜜蜂造成危害，亦有研究發現益達胺會影響蜜蜂之覓食行為、覓食頻率及壽命等^(8,9)。

於是，2013 年 5 月歐盟禁止在對授粉昆蟲具有吸引力的開花作物和穀物上使用幾種新菸鹼類藥物—益達胺 (imidacloprid)、賽速安 (thiamethoxam)、可尼丁 (clothianidin)、亞滅培 (acetamiprid) 及賽果培 (thiacloprid)；美國則禁止在作物開花期和蜜蜂授粉期使用新菸鹼類殺蟲劑 (包括益達胺)，以降低對蜜蜂族群之影響。我國亦禁止新菸鹼類殺蟲劑在作物開花期及蜜源植物上使用。



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

除此之外，益達胺也有相關文獻指出對於水生無脊椎動物具危害性，如其會影響搖蚊羽化率 (emergence rate) 及雌雄比 (sex ratio)，而使得搖蚊物種族群下降⁽¹⁾。而根據臺灣河川的農藥殘留調查，部分河川中之益達胺濃度可能會對水中無脊椎動物造成不良效應，因此此類藥劑的使用應謹慎評估其對於環境中較為敏感之無脊椎動物之風險。

三、人工合成除蟲菊—對非目標生物具危害性—水生物

除蟲菊精 pyrethrin 是從菊屬 (*Chrysanthemum*) 植物中發現具有殺蟲效果的天然殺蟲劑，由於殺蟲效果迅速、對哺乳動物低毒性、昆蟲無抗性產生、殺蟲對象廣泛、低殘留性、具忌避性，而被應用於田間的蟲害防治及居家環境的病媒防治。但因為容易分解，殘效性較低，因此藉由化學結構調整而由人工方式合成的除蟲菊精類殺蟲劑，解決了過易分解的問題，但仍維持了其低哺乳動物毒低而有高殺蟲效果的特性，擴大了應用領域。雖然除蟲菊殺蟲劑對哺乳類和鳥類具低毒性，對人體危害也較低，即使意外中毒也可以藉由緊急救治而完全康復⁽¹⁶⁾，因此成了居家室內最常使用的環境衛生用藥。

然而，人工合成除蟲菊精對水生生物的毒性較高，如賽滅寧 (cypermethrin) 對魚類 *Oncorhynchus mykiss*、水蚤 *Daphnia magna*、搖蚊 *Chironomus decorus* 之急毒性 LC_{50} 分別為 1.51, 0.21 及 $1.8 \mu\text{g L}^{-1}$ ⁽¹³⁾，芬化利 (fenvalerate) 則對魚類 *Oncorhynchus mykiss*、水蚤 *Daphnia magna*、甲殼動物 *Americamysis bahia* 之急毒性 LC_{50} 分別為 3.6, 1.0 及 $0.005 \mu\text{g L}^{-1}$ ⁽¹³⁾，賽洛寧 (lambda-cyhalothrin) 對魚類 *Lepomis macrochirus* 和水蚤 *Daphnia magna* 之急毒性 LC_{50} 分別為 0.46 及 $0.38 \mu\text{g L}^{-1}$ ⁽¹³⁾，三種藥劑對於淡水指標生物的毒性皆為劇毒。因此，為了降低對水生生物之風險，世界各國對於人工合成除蟲菊精類藥劑的使用進行各種限制，以賽滅寧為例，於美國使用賽滅寧時，需要設立 10 英尺的植被緩衝帶，以避免農藥飄散。而國內則須於藥劑包裝上標示禁止於水田或農田周圍水域施用。然而，仍有相關文獻指出除蟲菊精類藥劑芬化利於臺灣河川水體中濃度為 $0.38 \mu\text{g L}^{-1}$ ，該濃度已超過端足蟲 (*Hyalella azteca*) 之半致死劑量，已對該物種自然生存會有

衝擊，但由於臺灣淡水水域並無相似物種，仍不可排除芬化利對環境中其他易感物種造成衝擊的可能⁽⁶⁾，因此，於使用上應加強管理，避免汙染水域環境，以免對水生生物造成危害。

四、除草劑草脫淨—環境流佈—地下水

除草劑的應用為田間雜草管理高度仰賴之手段之一，其降低人力成本及生產成本的特性使得除草劑在全球的使用量逐漸提升。其中草脫淨 (atrazine) 是美國農業上常使用於旱田雜草管理的一種三氮雜苯系除草劑，尤其是在美國中西部的玉米田中。而我國亦在甘蔗田中推薦使用此類型的除草劑進行闊葉雜草的防治⁽⁴⁾。

草脫淨之理化性質，包括，水溶解度 35 mg L^{-1} ， $\log K_{ow}$ 2.7、土壤半衰期 (實驗室) DT_{50} 75 天、土壤半衰期 (田間) DT_{50} 29 天、 K_{oc} 100⁽¹⁸⁾ 等皆未呈現其具有明顯的環境污染或殘留的風險。但由於美國在許多地區之地下水及地表水體的監測中皆驗出此藥劑的殘留，推論其在田間大量使用的情形下，經由表面逕流或是淋洗的方式將其自土壤中帶到地表水或是地下水中。因此，近年來美國環保署 (US EPA) 開始重新檢視草脫淨，經過評估後，US EPA 提出使用草脫淨的注意事項：(1) 當土壤飽和或者達到田間含水量時禁止使用；(2) 禁止在下雨天及預計在施用後 48 小時內發生可能產生逕流的大雨時使用；(3) 禁止所有的劑型應用於空中撒佈；(4) 對於高粱、飼料玉米和甜玉米田的施用，將活性成分的年施用量限制在每英畝每年 2 磅或更少⁽¹⁹⁾。草脫淨為經由田間監控結果對使用上加以限制以降低環境流佈的一個例子。

五、二醯胺殺蟲劑氟大滅—對非目標生物具危害性—底泥生物搖蚊幼蟲

一個對環境中的生物生存造成威脅而被高強度管理的農藥案例是氟大滅 (flubendiamide)，氟大滅為近年來新發展的二醯胺類 (diamide) 殺蟲劑，作用於魚尼丁受體 (ryanodine receptors)，可刺激昆蟲神經系統，而使害蟲僵直死亡。也因為二醯胺類殺蟲劑的作用機制 (IRAC 28) 與目前較廣泛使



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

用的人工合成除蟲菊精類 (IRAC 3A) 和新菸鹼類 (IRAC 4A) 藥劑作用位點不同，基於避免害蟲產生抗藥性的管理需求，此類藥劑可以配合其他藥劑使用，以減少田間害蟲抗藥性的發生。

然而，美國於 2016 年發布消息，氟大滅即使於植被緩衝帶要求的田間管理條件下，仍會造成水域汙染，且該汙染濃度可能會危害搖蚊 (chironomids) 羽化能力，使得野外的搖蚊族群數量減少，而搖蚊為低階消費者的代表生物物種，幼蟲時期生長於水域環境中的底泥表層，成蟲則羽化後於陸域環境中生長，不論在水體或是陸域環境中，其族群數量皆具有指標性的意義，因而為美國所公告之指標生物，其族群數量的下降將導致食物鏈缺口，嚴重影響生態，因此氟大滅即基於其對搖蚊此指標生物之影響而被美國所禁用⁽¹⁰⁾。目前氟大滅於國內登記於防治十字花科、蔥上之害蟲，有研究指出氟大滅對於臺灣本土物種的搖蚊亦有抑制幼蟲羽化為成蟲的情形。在臺灣環境中搖蚊亦是常見昆蟲，雖然搖蚊並非法規中的環境指標生物，且臺灣河川農藥殘留調查中亦未曾檢驗出氟大滅殘留，但仍需持續關注氟大滅對水生生物造成危害的可能，並要求標示對水生生物毒性大，且不可於水源附近使用。此外，近年亦有文獻指出氟大滅於田間施用濃度時，會干擾蜜蜂訊號傳遞，且造成部分蜜蜂死亡^(11, 17)，也應盡量避免於開花植物上使用。

六、天然來源苦茶粕—對非目標生物具危害性—土壤生物蚯蚓

近年來政府推動國內化學農藥使用量減半的政策，開發許多農藥替代性生物資材與非化學防治管理技術，因此免登記植物保護資材的品項大量增加，其中苦茶粕是天然的苦茶籽榨油副產物，其價格低，容易取得而成為被普遍使用的天然資材，由於苦茶粕中的皂素 (saponin) 含量豐富，其界面活性特性，除了可作為清潔劑使用外，亦對軟體動物具有較高毒性⁽¹⁴⁾，而成為有效的軟體動物防治用藥 (molluscicidal)。因此，於田間管理上可以利用苦茶粕來防治水田的福壽螺或者使用其浸出液來防治病蟲害。然而，利用苦茶粕在水田防治福壽螺時須特別注意用量及用法，因為其亦具有魚毒性 (prosapogenin 對於斑馬魚胚胎於 96 小時的 EC_{50} 為 82.7 mg L^{-1})⁽¹²⁾。

而應用苦茶粕於旱田的害物管理時，其對土壤中重要的大型環節動物蚯蚓的危害性使其受到極大的關注。蚯蚓為土壤健康程度的指標之一，是土壤中的有益生物，能促進土壤有機質和植物殘體的礦化，其在土壤中鑽洞也能改善土壤的排水及通氣，提升土壤的物理性質。以環境友善的角度為出發點鼓勵天然資材的應用，但卻可能對環境中扮演角色的生物造成危害，則其利用的安全性更需謹慎。由於天然物來源資材低毒甚至無毒的想法深植人心，但生態環境中的生物物種具有高度的歧異性，某些性質即可能對於特定非目標生物具有潛在的風險，而苦茶粕對蚯蚓的毒性，即為天然物亦具有生態風險的例子，因此在推動天然生物資材做為植物保護資材時仍需審慎評估對於整體生態的影響。

結論

農藥的使用可以保護農作物免於病蟲害的威脅，但難以避免的會在環境中流佈，雖然農藥對環境的影響在核准其使用前即經過評估，但由於生態環境的多樣與複雜，即使安全的天然物質仍可能對生態具有威脅，因此農藥使用的安全議題除了農產品上的殘留對消費者的安全需要關注外，其使用後對生態影響的評估也是重要的環節。

引用文獻

1. 田晨光。2019。益達胺、陶斯松和亞托敏對兩種環境底棲指標生物(端足蟲和搖蚊)之影響。國立臺灣大學農業化學研究所碩士論文。臺北。68頁。
2. 全國法規資料庫。2018。農藥管理法。檢自 <https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=M0140012> (Sep. 15, 2022)
3. 全國法規資料庫。2018。藥事法。檢自 <https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=L0030001&kw=%e>



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

- 8%97%a5%e4%ba%8b%e6%b3%95 (Sep. 15, 2022)
4. 行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所。2022。植物保護資訊系統。檢自 <https://otserv2.tactri.gov.tw/ppm/> (Sep. 15, 2022)
 5. 行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所。2020。農藥登記審查流程及審查標準。檢自 <https://www.tactri.gov.tw/Item/Detail/%E8%BE%B2%E8%97%A5%E7%99%BB%E8%A8%98%E5%AF%A9%E6%9F%A5%E6%B5%81%E7%A8%8B%E5%8F%8A%E5%AF%A9%E6%9F%A5%E6%A8%99%E6%BA%A%96> (Sep. 15, 2022)
 6. 趙怡婷。2016。除蟲菊精類殺蟲劑芬化利與其他四種殺菌劑對端足蟲 (*Hyalella azteca*) 之混合毒性效應。國立臺灣大學農業化學研究所碩士論文。臺北。72 頁。
 7. Chowdhury, A., S. Pradhan, M. Saha, and N. Sanyal. 2008. Impact of pesticides on soil microbiological parameters and possible bioremediation strategies. *Indian J. Microbiol.* 48: 114-127.
 8. Chen, Y.-R., D.T. Tzeng, C. Ting, P.-S. Hsu, T.-H. Wu, S. Zhong, and E.-C. Yang. 2021. Missing Nurse Bees-Early Transcriptomic Switch From Nurse Bee to Forager Induced by Sublethal Imidacloprid. *Frontiers in Genetics*, 12: 665927
 9. de Assis, J.C., R. Tadei, V.B. Menezes-Oliveira, and E.C. Silva-Zacarin. 2022. Are native bees in Brazil at risk from the exposure to the neonicotinoid imidacloprid? *Environmental Research*. 212: 113127.
 10. Erickson, B. 2016. EPA to ban flubendiamide insecticide. *C&EN*. 94: 18-18.
 11. Kadala, A., M. Charreton, and C. Collet. 2020. Flubendiamide, the first phthalic acid diamide insecticide, impairs neuronal calcium signalling in the honey bee's antennae. *J. Insect Physiol.* 125: 104086.
 12. Jiang, X., Y. Cao, L. von Gersdorff Jørgensen, B.W. Strobel, H.C.B. Hansen, and N. Cedergreen. 2018. Where does the toxicity come from in saponin extract? *Chemosphere*. 204: 243-250.

13. Lewis, K.A., Tzilivakis, J., Warner, D. and Green, A. 2016. An international database for pesticide risk assessments and management. *Hum Ecol Risk Assess.* 22: 1050-1064.
14. Marston, A., M. Maillard, and K. Hostettmann. 1993. Search for antifungal, molluscicidal and larvicidal compounds from African medicinal plants. *J. Ethnopharmacol.* 38: 209-214.
15. OECD. 2012. Test No. 305: Bioaccumulation in Fish: Aqueous and Dietary Exposure. Retrieved from https://www.oecd-ilibrary.org/environment/test-no-305-bioaccumulation-in-fish-aqueous-and-dietary-exposure_9789264185296-en (Sep. 15, 2022)
16. Shilpakar, O. and B. Karki. 2021. Cypermethrin poisoning manifesting with prolonged bradycardia: A case report. *Toxicol. Rep.* 8: 10-12.
17. Stanley, J., K. Sah, S.K. Jain, J.C. Bhatt, and S.N. Sushil. 2015. Evaluation of pesticide toxicity at their field recommended doses to honeybees, *Apis cerana* and *A.mellifera* through laboratory, semi-field and field studies. *Chemosphere.* 119: 668-674.
18. University of Hertfordshire. 2022. PPDB: Pesticide Properties DataBase. Retrieved from <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/index.htm> (Sep.15, 2022)
19. United States Environmental Protection Agency. 2002. Retrieved from <https://www.epa.gov/ingredients-used-pesticide-products/atrazine> (Sep.15, 2022)
20. Zhang, A., H. Kaiser, P. Maienfisch, and J.E. Casida. 2000. Insect nicotinic acetylcholine receptor: Conserved neonicotinoid specificity of [3H] imidacloprid binding site: Conserved neonicotinoid specificity of [3H] imidacloprid binding site. *J. Neurochem.* 75: 1294-1303.



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

Environmental Distribution of Pesticides and their Effects on Non-target Organisms

Yung-Ping Wang¹, Jun-Hao Liu¹, Jui-Hung Yen^{1*}

Abstract

The purpose of pesticide use is to protect crops from diseases, insects, and weeds so as to ensure the quality and quantity of agricultural production. However, in general pesticides, only a small amount is delivered to the target organism (pest) to exert its effect after use, and the rest begins to spread in the environment. These circulating pesticides will exist in the air, soil, and water environments, and organisms living in the above environments become non-target organisms accidentally exposed to pesticides. In the early days, pesticides paid attention to efficacy and neglected the impact and impact on the environment. However, with the concern and understanding of the ecological environment, the registration of pesticides now requires complete information on the impact on the environment and non-target organisms. However, chemical pesticides have the characteristics of degradation over time after use. The pesticide residues on crops have the highest residues after application, and the residues gradually decrease with the continued growth of the works; pesticides remain in the environment. It is also gradually degraded under the action of sunlight, air, or microorganisms in water and soil. Even so, the distribution of pesticide residues in the environment and the impact on non-target organisms are still of great concern. This article will present examples of pesticides' distribution in the environment, possible impacts on non-target organisms, and restrictions and management on their use due to environmental distribution or concerns about impacts on non-target organisms.

Key words: pesticide, environment, non-target organism

* Corresponding author, E-mail: sonny@ntu.edu.tw

¹ Department of Agricultural Chemistry, National Taiwan University, Taipei

天然植保資材於 IPM 中的應用

謝廷芳^{1*}、蔡志濃¹、余志儒²

摘要

開發天然植保資材以作為友善農耕中防除病蟲害的利器，是目前方興未艾的研究課題，而本文所稱之天然植保資材包括微生物農藥與天然素材。我國已公告登記之微生物農藥計有 15 項，並公告 19 項資材與原料屬法定安全食品者均可作為免登記植物保護資材，可部份取代化學農藥，融入作物病蟲害綜合管理 (Integrated Pest Management, 簡稱 IPM) 體系之中，以降低有害生物對作物生產所造成的損害。惟如何將上述該等天然植物保護資材合宜地融入整體 IPM 體系之中，尚無一套標準的作業流程可供依循，而必須依當地的栽培環境、栽培作物種類及可能發生的病蟲害項而調整。在瞭解各項天然植保資材或產品對作物病蟲害的防治對象與效果後，可由營造健康的作物栽培環境、促進作物健康及降低有害生物危害等面向導入天然植保資材，研擬一套從預防到治療的 IPM 策略，並確實施行，才能達到化學農藥減量的效果。

關鍵詞：天然植保資材、免登植保資材、病蟲害綜合管理、應用實例

緒言

政府推行「化學農藥十年減半」政策下，科研單位積極整合植物保護技術研發團隊，開發非農藥防治技術與資材，搭配害蟲與病原監測與檢測技術，導入作物病蟲害綜合管理 (Integrated Pest Management, 簡稱 IPM) 體系之中，並實際應用於多種作物之病蟲害防治措施之中，期能成功達到農藥減量或完全不使用農藥之目的，以符合安全及永續農業生產之需求。截

* 通訊作者。E-mail: tfhsieh@tari.gov.tw

¹行政院農業委員會農業試驗所 植物病理組

²行政院農業委員會農業試驗所 應用動物組



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

至目前為止，農委會動植物防疫檢疫局已公告 19 個資材與原料屬食品安全衛生管理法第三條第一款所定食品均可作為免登記植物保護資材，以及 112 種可添加於免登資材之其他成分清單，供業界製備商品化產品，至今之產品登記數量已達 977 項。另外，業已公告登記之微生物農藥計有 15 項，又依據 2019 年 6 月 5 日農委會公布「有機農產品有機轉型期農產品驗證基準與其生產加工分裝流通及販賣過程可使用之物質」，得使用於有機栽培病蟲害防治之合成化學物質計有甲殼素等 16 項，以及各種天然物資(除毒魚藤和對人體有害之植物性萃取物與礦物性材料的天然物質)，均可作為部份取代化學農藥，融入作物病蟲害綜合管理體系之中，以降低有害生物對作物生產所造成的損害。惟如何將上述該等天然植物保護資材合宜地融入整體 IPM 體系之中，則有待吾輩共同努力。本文試圖分享本所非農藥研究團隊開發天然植保資材與實際田間運用之經驗，以供農業從業人員在從事 IPM 時之借鏡或參考。

作物病蟲害綜合管理 (Integrated Pest Management)

一、定義與內涵

依據聯合國糧食及農業組織 (FAO) 定義作物病蟲害綜合管理 (integrated pest management, IPM) 為考慮所有可用的病蟲害防治技術，整合適當的措施以阻止病蟲害族群的發展，並將化學農藥投入和其他干預措施保持在經濟合理的水平，以最大限度地減少對人類健康和環境的風險。而美國加州大學農業與自然資源學院定義 IPM 是一種基於生態系統的策略，聚焦於通過結合生物防治、棲息地調節、栽培模式改變和使用抗性品種等技術來長期預防作物病蟲害發生或所造成的損害。僅在監測病蟲害相超過即定準則時才使用農藥，並且進行處理的目的主要是去除目標生物。病蟲害防治資材的選擇和應用方式應盡量減少對人類健康、有益非目標生物以及環境的風險 (UC ANR Statewide IPM Program)。我國農委會農業藥

物毒物試驗所楊秀珠博士等人定義 IPM 為在農業經營體系之下，利用多元化之防治方法控制病蟲害族群，使其低於經濟危害水平 (economical injury level) 之下，以維持生態平衡與減少作物損失，配合正確使用農藥而達到生產高品質農產品之目的，同時兼顧大眾健康、保護環境及有益生物之作物管理方法稱之 (楊等，2021)。其內涵包括三項基本原則：(1) 將病蟲害之族群維持於經濟危害水平之下，而非趕盡殺絕；(2) 儘量採用非化學製劑之防治方法；(3) 當化學農藥之應用已無可避免時，宜慎選藥劑，將影響有益生物、人類及環境之風險降至最低 (楊等，2021)。

二、由 IPM 至 ICM 再至 IEM-以病害三角關係之視角切入

以作物病害為例，談到病害的管理策略，必須瞭解病害發生的三個主要組成元素－寄主、病原及環境的基本知識，即對病害的種類、病害發生原因、病原菌生態、環境因子對作物生長及病原菌生長、繁殖及侵染等方面有相當的認知，才能知己知彼，針對各種病原生態資料提出整體有用的防治策略。因此，在作物病害的管理策略中，都是由改變栽培環境、增強寄主植物抗病性、削弱病原菌的致病力等方面進行思維，進而研發出有效的防病措施。例如，在改變栽培環境方面，營造良好通風環境，施用腐熟有機以增強植物健康程度，利用設施栽培以避免病原菌的傳播與危害；在增強植物抗病性方面，可栽植抗病品種和施用誘導抗病物質；在削弱病原菌致病力方面，可採種子消毒、健康種苗、生物農藥、化學農藥、拔除病株、田間衛生等方式。最終目的即在於切斷寄主、病原菌、環境等三者原有之三角關係或削弱其相互間之強度，以阻止或降低病害的發生。

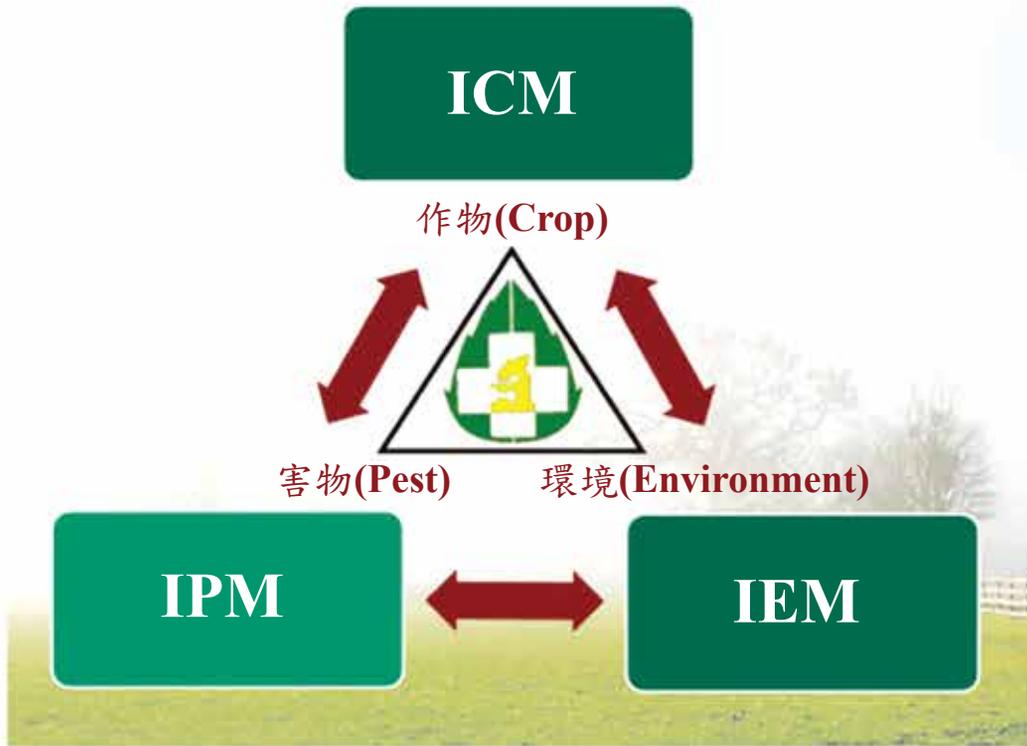
以往在作物病蟲害防治上所採取的作法是以病蟲害或有害生物 (pests) 為對象進行思維，整合各項可用的防治技術或資材，導入病蟲害管理體系之中，得出 IPM 的作為，眾所周知。目前則以作物 (crops) 為對象進行思維，著眼於所謂作物整合管理 (Integrated Crop Management，簡稱 ICM)，以生產高品質、高價位之農產品為主要訴求，以獲取最高利益，且達永續經營之境界 (楊，2018)。筆者認為未來應以栽培環境(environment)為對象進行思維，由調控栽培環境並導入符合生態學原理之植物病蟲害管理策



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

略，並由環境面思索如何打破病蟲害三角關係著手，融入各項低生態衝擊之防治技術與資材，即所謂的環境綜合管理 (Integrated Environment Management, 簡稱 IEM)，以全盤解決作物生產所面臨的病蟲害問題，才是合理可行的作法 (圖一)。



圖一、IPM、ICM 及 IEM 之內涵與關係

Fig. 1. The relationship of IPM (integrated pest management), ICM (integrated crop management) and IEM (integrated environment management)

天然植保資材的種類

根據美國環境保護署之定義，生物性農藥包括「微生物農藥」、「基因導入之植物保護製劑」(plant-incorporated protectants, 簡稱 PIPs) 及「生

化農藥」等，我國因不能使用基轉產品，故將「基因導入之植物保護製劑」以「天然素材」取代。本文所指的天然植保資材即包括微生物農藥與天然素材，相較於化學農藥，天然植保資材對人畜較無毒害，不易危及非標的生物，對生態環境頗為友善，除可防治作物病蟲害之外，尚能裨益於作物生長與提升抗病能力，並維護環境生態和諧。

如前述本文所稱之天然植保資材包括微生物農藥與天然素材。在微生物農藥方面，我國已登記之微生物農藥用於病害防治計有液化澱粉芽孢桿菌 (*Bacillus amyloliquefaciens*) 6 項、枯草桿菌 (*B. subtilis*) 3 項、貝萊斯芽孢桿菌 (*B. velezensis*) 2 項、以及蕈狀芽孢桿菌 (*B. mycoides*)、純白鏈黴菌素 (*Streptomyces candidus*)、蓋棘木黴菌 (*Tricoderma gamsii*) 和綠木黴菌 (*T. virens*) 各 1 項共計 15 項；而用於害蟲防治計有庫斯蘇力菌 6 項、鮎澤蘇力菌 4 項、白殭菌和甜菜夜蛾核多角體病毒各 1 項等 12 項 (表一) (<https://otserv2.tactri.gov.tw/ppm/>)。在天然素材方面，除 6% 苦參鹼溶液 (防治竹、草莓及蔬菜蚜蟲、蔬菜鱗翅目害蟲)、4.5% 印棟素乳劑 (防治十字花科小菜蛾、夜蛾類、紋白蝶、植食性瓢蟲類、螟蛾類及觀賞花卉粉蝨類)、3.5% 魚藤精乳劑 (防治十字花科蔬菜蚜蟲類、茶毒蛾類及茶蠶) 之外，以農委會公告之免登記植物保護資材 19 個品項為主 (表二)，另依據 2019 年 6 月 5 日農委會發布之「有機農產品有機轉型期農產品驗證基準與其生產加工分裝流通及販賣過程可使用之物質」，可應用於作物病蟲害防治之資材有：(1) 甲殼素、(2) 化工醋類、(3) 含氯物質 (次氯酸鹽類、氯酸鹽類、二氧化氯等)、(4) 含銅物質 (硫酸銅、氫氧化銅、氧化亞銅、鹼性氯氧化銅、三元硫酸銅等)、(5) 波爾多液、(6) 中性化亞磷酸、(7) 碳酸氫鉀和碳酸氫鈉、(8) 碳酸鈣、(9) 石灰、硫磺及石灰硫磺合劑、(10) 氫氧化鉀、(11) 含矽物質 (矽酸鹽類、二氧化矽)、(12) 礦物油、(13) 昆蟲誘引或忌避物質 (費洛蒙、甲基丁香油、蛋白質水解物、克蠅等)、(14) 脂肪酸鹽類 (皂鹽類)、不含殺菌劑之天然油脂皂化資材、(15) 硼砂 (硼酸) 及 (16) 含毒甲基丁香油等 16 項 (表三)。另外，在 2019 出版的「環境友善之植醫保健秘籍」一書中，集結目前我國植保領域研究人員研發的各項微生物源、植物源、生化及礦物源等植保資材與產品，具有很高的參考價值 (黃等，2019)。



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

表一、我國已登記之微生物農藥與防治對象

Table 1. The registered biological pesticides and its control targets

微生物名稱	菌株代號	防治對象
液化澱粉芽孢桿菌 <i>B. amyloliquefaciens</i>	Ba-BPD1	多種作物灰黴病
	CL3	多種作物灰黴病
	PMB01	多種作物青枯病及萎凋病
	QST713	萵苣露菌病
	Tcba05	菜豆萎凋病
	YCMA1	作物黑斑病、葉斑病、葉枯病、早疫病及桃穿孔病
	AGB01	水稻紋枯病及蘭花黃葉病
蕈狀芽孢桿菌 <i>B. mycooides</i>		
枯草桿菌 <i>B. subtilis</i>	KHY8	稻熱病、芒果炭疽病及細菌性黑斑病
	Y1336	甘藍根瘤病、水稻紋枯病、豆科白粉病、瓜類露菌病
	WG6-14	水稻秧苗徒長病
貝萊斯芽孢桿菌 <i>B. velezensis strain</i>	BF	多種作物灰黴病、細菌性葉斑病、炭疽病、黑腐病及水稻白葉枯病
	YBAC	番茄細菌性斑點病
純白鏈黴菌素 <i>Streptomyces candidus</i>	Y21007-2	多種果樹疫病
蓋棘木黴菌 <i>T. gamsii</i>	ICC 080/012	中草藥及蔬菜疫病
綠木黴菌 <i>T. virens</i>	R42	蔬菜苗立枯病
白僵菌	A1	十字花科蔬菜小菜蛾
甜菜夜蛾核多角體病毒		蔥及豌豆甜菜夜蛾
庫斯蘇力菌	ABTS-351	玉米玉米螟、十字花科大菜螟、小菜蛾、紋白蝶、菜心螟、擬尺蠖、茶茶蠶、茶和蔬菜鱗翅目害蟲、茄科作物番茄潛旋蛾
	E-911	十字花科大菜螟、小菜蛾、夜蛾類、毒蛾類紋白蝶、菜心螟、螟蛾類
	SA-11	玉米和薑玉米螟、小米和小麥鱗翅目害蟲、玉米、高粱及竹鱗翅目害蟲、茼蒿、薑及蘆筍夜蛾類
	SA-12	玉米玉米螟、十字花科大菜螟、小菜蛾、紋白蝶、菜心螟、擬尺蠖、茶茶蠶、檳榔椰子綴蛾
	EG-2371	玉米玉米螟、十字花科小菜蛾
	EG-7841	甘藍小菜蛾
	NB-200	十字花科、豆科、茄科及山茶科作物鱗翅目害蟲、水稻、小米、玉米、高粱、落花生、薑、薏苡、番石榴、狼尾草及百慕達草秋行軍蟲、番茄夜蛾類、茄科番茄潛旋蛾
	701	玉米玉米螟、甘藍小菜蛾、夜蛾類夜蛾類、水稻、小米、玉米、高粱、落花生、薏苡秋行軍蟲
鮎澤蘇力菌	GC-91	玉米玉米螟、甘藍小菜蛾
	ABTS-1857	甘藍小菜蛾、夜蛾類、豆科、茄科、茶鱗翅目害蟲、蔥、草莓、胡蘿蔔、菊、野薑花、蓮夜蛾類、茄科番茄潛旋蛾、番石榴秋行軍蟲

(整理自行政院農委會藥物毒物試驗所 植物保護資訊系統)

表二、已公告之免登記植物保護資材品項及產品登記數目 (至 2022 年 8 月 10 日)
Table 2. Items of plant protection materials that have been announced to be exempt from registration and the number of products (until August 10, 2022)

公告品項	使用範圍			登記項數		
	防除農林作物或其產物之有害生物				調節農林作物之生長	調節有益昆蟲生長
	害蟲	病菌	其他			
甲殼素、甲殼素鹽酸鹽	V	V			146	
大型褐藻萃取物				V	114	
苦楝油	V				101	
矽藻土	V				38	
次氯酸鹽類		V			7	
碳酸氫鈉		V			20	
苦茶粕皂素	V		V		75	
無患子皂素	V				15	
脂肪酸鹽類、皂鹽類	V				42	
二氧化矽		V			30	
碳酸鈣	V	V			34	
高嶺石	V				10	
中性化亞磷酸		V			39	
矽酸鉀		V			31	
柑桔精油、D 檸檬烯	V	V			54	
木醋液、竹醋液及其他植物源乾餾醋液	V	V			85	
壬酸			V	V	45	
幾丁質			V		-	
磷酸鐵			V		1	
屬食品安全衛生管理法第三條第一款所定食品	V	V			90	



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

表三、可使用於有機作物生產之病蟲草害管理的物質

Table 3. Materials that can be used for pest management in organic crop production

項次	得使用之合成化學物質	防病	防有害生物
1	甲殼素	+	
2	化工醋類	+	
3	含氯物質：次氯酸鹽類、氯酸鹽類、二氧化氯等	+	
4	含銅物質：硫酸銅、氫氧化銅、氧化亞銅、鹼性氯氧化銅、三元硫酸銅等	+	
5	波爾多液(硫酸銅+生石灰)	+	
6	中性化亞磷酸	+	
7	碳酸氫鉀、碳酸氫鈉(小蘇打)	+	
8	碳酸鈣	+	
9	石灰、硫磺、石灰硫磺合劑	+	
10	氫氧化鉀	+	
11	含矽物質:矽酸鹽類、二氧化矽	+	
12	礦物油	+	+
13	昆蟲誘引或忌避物質(費洛蒙、甲基丁香油、蛋白質水解物、克蠅等)		+
14	脂肪酸鹽類(皂鹽類)、不含殺菌劑之天然油脂皂化資材	+	+
15	硼砂(硼酸)		+
16	含毒甲基丁香油		+
17	天然物質，除 1. 毒魚藤 2. 對人體有害之植物性萃取物與礦物性材料	+	+

天然植保資材之防治對象

天然植保資材之中除取得農藥藥證的微生物農藥及少數天然素材之外，免登記植保資材並未嚴格規範其有害生物的防治對象，以致於產品標示的防治對象及範圍非常多樣，讓一般農民無所適從。針對 19 項免登植保資材的防治對象，已明確發表於國內的推廣或學術文章中者，進行整理如下供參考：

1. 幾丁質 (chitin)、甲殼素 (chitosan) 又稱幾丁聚糖：兩者均可誘導植物產生防禦反應，進而抑制病原菌入侵，其中的幾丁質可促進土壤中放線菌族群，藉放線菌產生多量的幾丁質分解酵素與其他物質，以分解線蟲卵並降低線蟲密度，進而防治作物根瘤線蟲的危害，LTM 添加物的防線蟲原理即在於此 (李，2005)。臺中農改場研發出利用天然微生物發酵的「甲殼素合劑」，對瓜果類白粉病具有防治的效果 (陳，2015)。
2. 大型褐藻萃取物：褐藻中富含生長素 (auxins)、細胞分裂素 (cytokinins) 和激勃素 (gibberellin) 等植物賀爾蒙，作為植物生長調節劑 (plant growth regulator)。褐藻細胞壁含海藻酸，可提高土壤微生物活性，可促進植物根部生長，以達到抗環境壓力和促進作物養分吸收的功效 (蔡等，2019)。鍾氏 (2017) 測試三種褐藻萃取物對草莓產量之影響，發現施用後對白粉病未有顯著防治效果，但其中的 0.4% Semaport/Bioguard 可增加草莓果實產量。
3. 苦楝油：油劑防蟲機制有包覆窒息 (氣孔、卵表面)、干擾或忌避產卵和取食行為，可防治許多害蟲，包括介殼蟲、薊馬、粉蟲、蚜蟲及蟎類等 (王等，2010)。
4. 矽藻土：一般礦物質微粒因顆粒細小，施用時其粒子可刮傷昆蟲外骨骼或堵塞氣孔，使害蟲改變行為，或使蟲體脫水造成死亡 (王等，2010)。矽藻土為矽藻細胞壁沉積而成的生物沉積岩，主成分為二氧化矽 (SiO_2)，其礦物上之刺突狀構造，可刺破昆蟲表皮以吸收體液，蟲體因脫水死亡，可防治積穀害蟲如穀蠹、麥蛾及米象等 (姚和羅，1999)。
5. 次氯酸鹽類：次氯酸鈣 (calcium hypochlorite)、次氯酸鈉 (sodium



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

- hypochlorite) 可作為種子消毒劑，利用 1~2%次氯酸鈣拌種消毒可預防甘藍黑腐病及瓜類細菌性果斑病，以 2% 次氯酸鈉溶液消毒水稻種子可防種子傳播性病害 (蔡等，2021)。
6. 碳酸氫鈉：主要用於防治作物白粉病，以 0.5% (w/v) 碳酸氫鈉、碳酸氫鉀噴施於作物葉片上可有效降低番茄、豌豆及玫瑰白粉病的發生 (謝等，2005)。
 7. 苦茶粕皂素、無患子皂素：茶皂素 (tea saponin) 和無患子皂素對於植物病原菌具有殺菌或抑菌的作用，亦可作為作物害蟲的廣效殺蟲或驅蟲劑 (王等，2010)，作用機制包括胃毒、忌避、破壞蟲體的解毒代謝酵素活性，使某些昆蟲產生拒食和影響其生長發育的作用；更可抑制福壽螺的卵孵化，且對福壽螺幼螺半數致死濃度為 1.8 mg/L/24h，對福壽螺具有良好的殺螺效果 (蔡等，2015)。
 8. 脂肪酸鹽類、皂鹽類：脂肪酸鉀鹽可防治多種小型害蟲，包括溫室粉蝨 (*Trialeurodes vaporariorum*)、棉蚜 (*Aphis gossypii*)、柑橘粉介殼蟲 (*Planococcus citri*)、二點葉蟬 (*Tetranychus urticae*) 等害蟲 (Miller & Uetz, 1998)，對荔枝椿象一齡若蟲亦具良好防治效果，但對玉荷包之花器會造成嚴重藥害徵狀，使用時要小心 (蔡和許，2019)。
 9. 二氧化矽、矽酸鉀 (potassium silicate)：土壤矽可增強水稻對病蟲害的防禦能力，施用矽可降低飛蝨 (*Nilaparvata lugens*) 在水稻上的產卵率，並減少稻熱病和白葉枯病的發生 (Vu et al., 2022)。矽酸鉀對單子葉植物的水稻品質無不良影響，且具有防治稻熱病的潛力 (陳等，2016)；對雙子葉植物的白粉病及由腐黴菌 *Pythium* 引起之病害亦具防治效果，如水耕液中添加 100 ppm 矽可降低胡瓜根腐病 (*Pythium aphanidermatum*) 和白粉病的發生，而葉片噴施 1,000 ppm 的矽可降低葡萄白粉病的發生 (劉，1998)。
 10. 碳酸鈣、高嶺石：碳酸鈣 (如苦土石灰) 加入土壤可調節土壤 pH 值，增加 Ca 離子濃度至 1,210ppm 以上，可有效防治十字花科蔬菜根瘤病 (楊和謝，1985)。以 19.5% 碳酸鈣微粒 (約 100 奈米等級) 在防治桃蚜 (*Myzus persicae*) 上具有效果，LC₅₀ 為 2,685 ppm，但對二點葉蟬不具防

治效果 (劉等, 2014ab)。另外, 以高嶺石為主成分可阻隔害蟲取食及果實防曬之長效型礦物資材的 TK99, 噴施於柑橘植體表面, 除可降低果實表面被刺吸式小型害蟲取食之外, 尚可降低果實日燒或寒害凍傷之機率 (石等, 2017)。

11. 中性化亞磷酸：防治病害的機制是誘導作物產生系統性抗病，除疫病外，對露菌病菌、露疫病菌、腐霉菌、白銹病菌等卵菌所引起之病害均有增強植物抗病性的作用，可以有效預防病害的發生 (Ann et al., 2009)。
12. 柑桔精油 (D-檸檬烯)：柑桔精油用於防治跳蚤，結合肥皂水可成為觸殺型的防蟲資材，可防治蚜蟲和蟎類害蟲 (陳和曾, 2014) 及番茄斑潛蠅 (Campolo et al., 2017)。柑桔精油對家蠅 (*Musca domestica* L.) 及德國蜚蠊 (*Blattella germanica* L.) 成蟲具擊昏、毒殺及忌避效果 (廖, 1999)。
13. 木醋液、竹醋液及其他植物源乾餾醋液：可作為土壤改良、植物生長促進劑 (李和莊, 2009; Mu et al. 2003)、驅蟲防蟻劑 (Yatagai et al. 2002)、減少病蟲草害發生 (盧等, 2007; Sulaiman et al. 2005)。以稀釋 10,000 倍孟宗竹醋液可增加土耕的青梗白菜鮮重與乾重，並降低植物體硝酸態氮含量 (陳等, 2007)；可有效抑制番茄青枯病菌、水稻白葉枯病菌、十字花科黑腐病菌、楊桃細菌性斑點病菌和瓜類細菌性果斑病菌的生長 (盧等, 2007)。而綠竹醋液對小白菜蟲害防治效果不顯著，但可增加產量 (李和莊, 2009)。
14. 壬酸 (nonanoic acid 或 pelargonic acid)：為一種含 9 碳的脂肪酸，屬接觸型除草劑，作為除草劑巴拉刈的替代性用藥，防除雜草。其作用速度很快，一年生闊葉型雜草幼苗在噴施後 1~2 小時，表皮細胞的結構遭破壞，在強光下即開始脫水乾枯 (袁, 2016)。
15. 磷酸鐵：可作為殺螺劑或誘餌使用，對螺、蝸牛、蛞蝓等軟體動物具毒殺作用。
16. 屬食品安全衛生管理法第三條第一款所定食品：如食用植物油，葵無露即是由葵花油經適度乳化而成的乳劑，以水稀釋 200~500 倍徹底噴施



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

植株，每周噴施一次可防治如蚜蟲、粉蝨、木蝨、薊馬、葉蟬、細蟬等小型害蟲，以及有效防治如白粉病、銹病、露菌病等葉部病害 (Ko et al. 2003)。

天然植保資材導入 IPM 體系中

所謂的天然植保資材或產品以上述所提為主，但不局限於此，而導入 IPM 體系之中的方式，可由營造栽培環境健康、促進植物健康及降低有害生物危害等三個構面達成。

一、營造土壤環境健康構面

首先由營造健康土壤下手，應用土壤添加物改善土壤物理、化學及微生物性質。一般言之，當有機質加入土壤時，即可誘生土壤微生物以分解有機質，釋出營養分供植物生長所需，未被微生物完全分解的有機質及所分泌的代謝產物可增加土壤團粒結構，可一併改善土壤理化及微生物性。而抑病土壤添加物具防治土壤傳播性病害的功效，乃在於其組成份中的氮肥經硝化作用後，產生有毒的氣體，直接殺滅土壤中的病原菌為主；此外，以有機質提供土壤微生物之營養源，大量誘生有益微生物競生，或分解後產生毒害物質以降低土壤中病原菌之族群數量，並強化作物的抗病性。因此，在種植作物之前，可先以土壤添加物處理耕作土壤，除改善土壤理化及微生物性之外，尚可達到降低土壤中病原菌的族群密度，

可用於改善土壤健康程度的抑菌土壤添加物計有下列項：

1. S-H 混合物：係由農業及工業副產物，再加三種肥料混合而成，其組成份包含甘蔗渣 4.40%、稻穀 8.40%、蚵殼粉 4.25%、尿素 8.25%、硝酸鉀 1.04%、過磷酸鈣 13.16% 及礦灰 (矽酸爐渣) 60.5%。將甘蔗渣、稻穀，蚵粉、礦灰磨成細粉，再加入尿素、過磷酸鈣及硝酸鉀均勻混合，即是 S-H 混合物 (孫和黃, 1983)。經田間試驗證明對十字花科蔬菜如蘿蔔、芥菜之黃葉病，青江白菜、芥菜根瘤病，西瓜蔓割病，扁蒲嫁接西瓜的苗期猝倒病，芹菜黃葉病，菜豆立枯病，甜椒白絹病與薑軟腐病等作物

土壤病害具有防治和增產的效果，同時尚可促進草莓、小白菜、甘藍菜及菊花的生長。

2. AR3-2 系列混合物：係由牛糞堆肥、米糠、蝦蟹殼粉、尿素、過磷酸鈣和礦灰為主，依據各類作物之施肥推薦量調製而成，用於防治各種作物白絹病。如以 AR-3-2 防治球根花卉作物白絹病，以 AR-3-2-S 防治菜豆白絹病，以 AR-3-2-C 防治胡蘿蔔白絹病 (謝和杜，1995; 謝等，1999)。
3. SSC-06 混合物：係由腐熟香菇太空包堆肥、炭化稻穀、蝦蟹殼粉及血粉調製而成，具有抑制甘藍立枯病 (*R. solani* AG-4) 及抑制 *Pythium myriotylum* 為害番茄與甜椒幼苗的功效 (黃，1993)。
4. FBN-5A 生物增長素：係由香菇太空包廢棄基質、魚粉、骨粉、血粉、菜籽粕、硝酸氨與丙烯醇組合而成，具有防治甘藍立枯病 (*R. solani* AG-4)、蔬菜菌核病 (*Sclerotinia sclerotiorum*) 或降低蘿蔔黃葉病 (*F. oxysporum* f. sp. *raphani*) 及萵苣萎凋病 (*F. oxysporum* f. sp. *lactucum*) 的發生率；另外，1% FBN-5A 尚可完全抑制田間雜草如馬齒莧、龍葵、鱧腸、尖瓣花等種子的發芽 (黃，1993)。
5. LT-M 有機添加物：係由 40% 蝦蟹殼粉、5% 糖蜜、40% 蓖麻粕、10% 海草粉、5% 黃豆粉組合而成，應用於防治葡萄根瘤線蟲、柑桔類根瘤線蟲、柑桔線蟲及螺旋線蟲與西瓜根瘤線蟲等，效果相當顯著。使用量為每分地 100-200 公斤均勻施於土壤中。

另外，依天然植保資材的防治對象，土壤中可預先拌入幾丁質、二氧化矽、碳酸鈣等以預防可能的病蟲害族群在土壤中增殖。

二、促進植物健康構面

天然植保資材處理作物時，可增加作物本身的抗病性或保護植體表面，免於遭受病蟲危害。在自然界中有些化合物或微生物可誘發植物產生後天防禦系統，產生抗生物質 (anti-pathogen substances)，以對抗入侵的病原菌，稱為植物誘導抗性 (induced resistance)。目前可用的化合物有磷酸鹽類 (如亞磷酸、磷酸氫二鉀)、幾丁聚糖 (chitosan)、寡聚糖 (殼寡糖)、水楊酸和抗菌蛋白 (harpin) 等。磷酸氫二鉀施用於胡瓜葉片上，可誘導胡瓜產生



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

系統性抗炭疽病菌 (*Colletotrichum lagenarium*)；亞磷酸對疫病菌、露菌病菌等卵菌綱菌類所引起的植物病害如酪梨根腐病、柑橘疫病、蘭花疫病、番椒疫病、葡萄露菌病、萵苣及十字花科露菌病有很好的預防效果；幾丁聚糖可誘發植物產生結構性屏障來阻礙病原菌之侵染，尤其對镰孢菌的入侵效果顯著；寡聚糖可誘發茄科作物對抗病毒的為害，水楊酸可降低灰黴病的為害，而抗菌蛋白又稱為抗菌肽 (Antimicrobial Peptides, AMPs)，可抑制包括革蘭氏陽性菌、革蘭氏陰性菌、黴菌、原蟲、寄生蟲及含有外套膜的病毒 (彭，2006)。在免登植保資材之中，列明幾丁聚糖、褐藻萃取物、中性化亞磷酸等均是用於誘導植物產生抗病性的資材，適當地處理植株，可預防目標病原菌的危害。

根圈螢光細菌能刺激植物生長，被稱為 Plant Growth Promotion Rhizobacteria (PGPR) 和菌根真菌 (mycorrhizal fungi)，可誘導植物產生系統性防禦反應，對抗多種植物病原菌 (劉等，2008)，甚至草食性昆蟲。而拮抗微生物中，如木黴菌 (*Trichoderma* spp.) 或膠狀青黴菌 (*Glucadium* spp.) 除了能直接對抗病原菌外，亦有增強植物防病的功效。因此，在作物栽培初期或於種苗上處理這類微生物，則可促進植物的生長與發育，並誘導其抗病系統，達到預防病害發生的效果。

三、降低有害生物危害構面

要將可用的天然植保資材或產品納入整個作物病蟲害綜合管理體系之中，必須有步驟與方法。首要是瞭解標的作物可能發生的病蟲害種類，可依據病蟲害防治曆掌握以往作物生長期各階段可能發生之病蟲害，並採取預防性的措施；其次是配合病蟲害相的監測，當達到危害水平之上時，立即依病蟲害種類與施用時機採行必要的防治作為。最後是明瞭作物病蟲害的生態弱點，有目的地導入適當的防治資材，即掌握各種病蟲害發生生態，採用依防治對象可用的各種天然植保資材或產品，針對其生態弱點而攻之，必可達事半功倍之效。

大多數天然植保資材或產品對病蟲害的防治效果，不若化學農藥來得立即且有效，若未能針對病蟲害的生態弱點而使用時，施用的頻度會高於

化學農藥。因此，使用天然植保資材或產品之前，必須掌握「預防」重於「治療」的概念，知悉各種天然植保資材的病蟲害防治對象，以及使用時機與方法，在目標病蟲害可能發生之前，即採取預防性的施用，可以降低資材的使用頻率。

應用實務案例

農業試驗所研發之天然植保資材或產品計有亞磷酸、乳化葵花油製劑、中草藥複方、香茅油製劑、五倍子製劑、肉桂油乳劑及石灰硫磺合劑等資材，經研究具有抑制植物病原菌或誘導植物產生抗病性，對作物白粉病、炭疽病、瘡痂病、黑星病、根瘤線蟲等均具有良好的防治效果；而植物油混方製劑產品對葉蟎、蚜蟲、粉蝨效果佳，礦物資材 (TK99) 阻隔害蟲取食及果實防曬功效卓著，應用這些新穎性植保資材或製劑，可部份替代化學農藥的使用。結合上述天然植保資材、天敵及監測技術等，已完成建立番茄、甜椒、甜瓜、花胡瓜、蘆筍、木瓜、草莓、百香果等連續採收型作物之 IPM 應用模式，作為農藥減量之病蟲害防治備選方案。以下以木瓜與草莓為例，說明天然植保資材如何導入 IPM 體系之中 (謝等，2021)。

一、以木瓜 IPM 為例

瞭解木瓜的栽培管理及病蟲害發生之生態特性，適時將天然植保資材導入木瓜病蟲害整合性管理策略。首先以網室栽培木瓜，設立強固之網室，避免颱風摧毀，及媒介昆蟲入侵。選擇排水良好的土壤，作高畦並覆蓋防草蓆。栽植健康木瓜種苗，慎選無病毒與病害之健康種苗；移植於本田之前的苗期，可施用預防性之處理，利用浸泡 4-4 式波爾多液或植物油混方進行種苗消毒，避免任何病原帶入本田。栽培期間需注重清園，種植前需淨空 2 星期以上；清除園區內、外圍四週的雜草，園內不可留有殘枝、葉、花及果等讓病蟲原生長繁衍或存活的條件，老葉及葉柄更須隨時清除於園區外。定植後每週確實監測與調查病蟲害發生之種類與嚴重情形，以掌握適當的防治方法與時機。特別要注意木瓜苗期可能發生的白粉



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

病、疫病及根腐病，開花與結果期的疫病、炭疽病、蒂腐病及褐斑病，以及木瓜秀粉介殼蟲及害蟎，害蟎在台灣地區木瓜上以神澤氏葉蟎與二點葉蟎最為普遍。透過確實的害蟎發生密度監測，適時實施適當的防治資材。

天然植保資材之導入時機，應配合定期之病蟲害監測，於病蟲害未發生前或發生初期即以天然植保資材進行抑制。防治資材包括：植物油混方、石灰硫磺合劑、乳化葵花油、中和亞磷酸及 4-4 式波爾多液。木瓜種植期間於雨季來臨前每週施用一次亞磷酸，連續至少使用三次，以防治疫病之發生；白粉病發病初期以乳化葵花油 200-500 倍施用；定期使用石灰硫磺合劑或肉桂油製劑預防炭疽病及蟎類危害；如害蟎密度達平均每葉 10 隻以上時，加強噴施植物油混方將密度壓低。

二、以草莓 IPM 為例

瞭解草莓的栽培管理及病蟲害發生之生態特性，適時將天然植保資材導入草莓病蟲害整合性管理策略。首先建議以防雨設施進行育苗，設立防雨之育苗場後，慎選健康之母本苗進行育苗，避免苗期炭疽病及萎凋病之發生。慎選無病害之健康種苗，移植於本田之前的苗期，可施用預防性之處理，種植前利用浸泡 4-4 式波爾多液或植物油混方進行種苗消毒，避免任何病原帶入本田。注意清園工作，種植草莓之園區最好與水田輪作，或於種植前浸水 1 個月；高架離地栽培則需進行介質消毒。園區內、外圍四週的雜草須清除乾淨，園內不可留有殘枝、葉、花及果等，讓病蟲原有可能生長繁衍或存活的場所，老葉及走蔓須隨時清除於園區外。定植後每週確實進行病蟲害監測工作，調查病蟲害發生之種類與嚴重情形，以掌握適當的防治方法與時機。特別要注意草莓苗期可能發生的炭疽病及萎凋病，本田生長期的炭疽病、萎凋病、白粉病、灰黴病、果腐病、葉枯病及角斑病等，蟲害主要為害蟎、蚜蟲及薊馬。

導入天然植保資材之關鍵點，應配合定期之病害監測，於病蟲害未發生前或發生初期即以天然植保資材進行預防或抑制。使用之資材包括植物油混方、石灰硫磺合劑、乳化葵花油、中和亞磷酸、及 4-4 式波爾多液等。草莓種植期間於雨季來臨前每週施用一次亞磷酸，連續至少使用三

次，以防治疫病 (果腐病) 之發生；白粉病發病初期施用 200-500 倍乳化葵花油或石灰硫磺合劑；定期使用石灰硫磺合劑或肉桂油製劑預防炭疽病與蟻類危害；若害蟻、蚜蟲及薊馬密度高時，加強噴施植物油混方將密度壓低。

結語

開發免登或生物性植保資材以作為部份替代化學農藥使用之資材，是友善農耕中防除病蟲害的利器，有助於政府推動以 IPM 達成「化學農藥十年減半」政策，並兼顧農業生產及維護生態環境之政策目標。惟如何將這些天然植保資材或產品導入整個 IPM 體系之中，並無一套標準的作業程序可供依循，而必須依當地的栽培環境、栽培作物種類及可能發生的病蟲害項而調整。在瞭解各項天然植保資材或產品對作物病蟲害的防治對象與效果後，可由營造健康的作物栽培環境、促進作物健康及降低有害生物危害等面向，研擬一套從預防到治療的 IPM 策略。當天然植保資材與產品在 IPM 體系中有效地施行，並可適度地取代化學農藥的使用時，才能達到實際化學農藥減量的效果。

引用文獻

- 王清玲、余志儒、盧秋通、林鳳琪、石憲宗。2010。作物蟲害非農藥防治資材。行政院農業委員會農業試驗所出版。台中。183 頁。
- 石憲宗、李啓陽、何明勳、楊舜臣、姚銘輝、黃維廷、陳祈男、周桃美、高靜華、林宗俊。2017。阻隔害蟲取食及果實防曬之長效型礦物資材實務應用-以柑橘為例。第 37-40 頁。農業害蟲管理暨食安把關研發成果研討會專刊。農業試驗所特刊第 201 號。行政院農業委員會農業試驗所出版。台中。
- 李宗翰、莊浚釗。2009。綠竹園廢棄物資源利用研究。桃園區農業改良場研究彙報 66：21-30。
- 李豐在。2005。應用幾丁質防治植物病害之原理與實例。花蓮區農業專訊



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

- 54:14-15。
- 姚美吉、羅幹成。1999。數種礦物性殺蟲劑防治積穀害蟲之效果評估。臺灣昆蟲 19:365-376。
- 袁秋英。2016。植物相剋化合於雜草管理之應用。藥毒所專題報導 259: 1-20。
- 孫守恭、黃振文。1983。土壤添加物防治西瓜蔓割病之研究。植保會刊 25: 127-137。
- 陳以錚、王玉瑤、周浩平、曾敏南、黃德昌。2016。評估非農藥資材於田間防治水稻稻熱病之效果。104 年度高雄區農業改良場年報 59-60。
- 陳明吟、曾敏男。2014。植物源殺蟲劑在葉蟬防治上的應用。高雄區農業改良場研究彙報 25: 19-34。
- 陳俊位。2015。甲殼素合劑在防治洋香瓜白粉病上之應用。第 91-100 頁。103 年度臺中區農業改良場科技計畫研究成果發表會論文輯。臺中區農業改良場編印。彰化。
- 陳莉鵬、盧崑宗、劉正字。2007。竹醋液對青梗白菜生長之促進作用。台灣林業科學 22(2):149-57。
- 黃振文。1993。開發有機添加劑防治作物病害的系列研究。永續農業研討會專集第 227-237 頁。台中區農改場出版。
- 黃振文、謝廷芳、謝奉家、羅朝村。2019。環境友善之植醫保健秘籍。五南出版社。台北。494 頁。
- 彭及忠。2006。抗菌蛋白在生物科技上的應用。植病會刊 15(2): 69-75。
- 靳子蓉、高穗生、陳澄如、吳宗遠。2007。甜菜夜蛾核多角體病毒噴霧感染甜菜夜蛾之效果評估。台灣昆蟲 27(3):183-193。
- 楊秀珠。2001。作物生產整合管理。農政與農情 110: 76-79。
- 楊秀珠。2007。陸、有害生物整合管理。第 143-155 頁。植物保護圖鑑系列 17-梨樹保護，行政院農業委員會動植物防疫檢疫局出版。
- 楊秀珠。2018。「傷害降到最低」的農業整合管理指南-從 IPM 到 ICM，打造永續農業之路。豐年 68(3): 62-66。
- 楊秀珠、黃莉欣、許如君、陳秋男。2021，害物整合管理原理。五南出版社出版。台北。244 頁。
- 楊慶鴻、謝文瑞。1985。土壤添加物對十字花科蔬菜根瘤病之防治效果。

- 植保會刊 27:225-231。
- 廖信昌。1999。柑桔果皮精油對家蠅和德國蜚蠊之致死及忌避效應。臺灣昆蟲 19: 153-160。
- 劉孜勤、王祥全、華國勛、許如君。2014。不同粒徑之碳酸鈣粒子對桃蚜 (*Myzus persicae*) 的防治效果評估。臺灣昆蟲 34 : 49-54。
- 劉孜勤、王祥全、華國勛、許如君。2014。不同粒徑之碳酸鈣粒子對二點葉蟥 (*Tetranychus urticae*) 的防治效果評估。臺灣昆蟲 34 : 145-150。
- 劉益宏、黃健瑞、林玉儒、陳昭瑩。2008。利用植物免疫力防治病害的現況與展望。第 193-202 頁。節能減碳與作物病害管理研討會專刊。行政院農業委員會農業試驗所編印。台中。
- 劉興隆。1998。可溶性矽在雙子葉植物病害防治上的應用。臺中區農業專訊 25: 18-20。
- 蔡尚諺、許如君。2019。脂肪酸鉀鹽對荔枝椿象與平腹小蜂之毒性差異及其於寄主植物的藥害分析。臺灣昆蟲 39(3): 115-124。
- 蔡依真、翁崧夏、謝文棟。2015。茶皂素在植物保護方面之應用。花蓮區農業專訊 91: 10-12。
- 盧崑宗、郭嘉雯、劉正字。2007。不同炭化溫度範圍收集竹醋液之基本性質及其抗植物病原細菌活性。中華林學季刊 40(1): 97-112。
- 謝廷芳、安寶貞、林筑蘋。2021。作物病害非農藥防治實務專書。行政院農委會農業試驗所編印。台中。238 頁。
- 謝廷芳、杜金池。1995。影響土壤添加物 AR 3 防治百合白絹病之因子。中華農業研究 44:456-463。
- 謝廷芳、郭章信、王貴美。1999。利用土壤添加物 AR3-2S 防治菜豆白絹病。植病會刊 8:125-132。
- 謝廷芳、黃晉興、謝麗娟。2005。利用碳酸氫鉀與聚電解質防治作物白粉病。植病會刊 14: 125-132。
- 蔡志濃、謝廷芳、安寶貞、林筑蘋。2021。環境友善之病害防治資材應用。第 29-42 頁。董耀仁、張淑貞、李啟陽、陳淑佩編。符合環境永續之作物友善管理研討會專刊。行政院農業委員會農業試驗所出版。台中。97 頁。
- 蔡濼安、翁崧夏、謝佳珉、邱智迦。2019。生物刺激素－提升植物免疫力



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

- 的新素材。花蓮區農業專訊 107:1-6。
- 鍾珮哲。2017。褐藻萃取物對防治草莓白粉病及產量之影響。苗栗區農業改良場研究彙報 6:26-35。
- 顏志恒、陳殿義、鍾文全、蔡東纂、謝廷芳 2008 天然植物保護製劑防治植物線蟲病害之效果評估 植病會刊 17: 169-176。
- Ann, P. J., Tsai, J. N., Hsieh, T. F., and Lin, C. Y. 2009. A simple technique, concentration and application schedule for using neutralized phosphorous acid to control *Phytophthora* diseases. *Plant Pathol. Bull.* 18(3): 155-165.
- Campolo, O., Cherif, A., Ricupero, M. et al. 2017. Citrus peel essential oil nanoformulations to control the tomato borer, *Tuta absoluta*: chemical properties and biological activity. *Sci Rep* 7, 13036. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13413-0>
- Ko, W. H., Wang, S. Y., Hsieh, T. F. & Ann, P. J. 2003. Effects of sunflower oil on tomato powdery mildew caused by *Oidium neolycopersici*. *J. Phytopathol.* 151(3): 144-148.
- Miller, F., and Uetz, S. 1998. Evaluating biorational pesticides for controlling arthropod pests and their phytotoxic effects on greenhouse crops. *Horttechnology* 8: 185-192.
- Mu, J., Uehara, T., and Furuno, T. 2003. Effect of bamboo vinegar on regulation of germination and radicle growth of seed plants. *J. Wood Sci.* 49:262-79.
- Sulaiman, O., Murphy, R. J., Hashim, R., and Gritsch, C. S. 2005. The inhibition of microbial growth by bamboo vinegar. *J. Bamboo Rattan.* 4(1):71-80.
- UC ANR Statewide IPM Program. What Is Integrated Pest Management (IPM)? <https://www2.ipm.ucanr.edu/What-is-IPM/>
- Vu, Q., Dossa G. S., Mundaca, E. A., Settele, J., Crisol-Martínez, E., and Horgan, F. G. 2022. Combined effects of soil silicon and host plant resistance on planthoppers, blast and bacterial blight in tropical rice. *Insects* 13, 604. <https://doi.org/10.3390/insects13070604>
- Yatagai, M., Nishimoto, M., and Hori, K. 2002. Termiticidal activity of wood vinegar, its components and their homologues. *J. Wood Sci.* 48:338-42.

Application of Nature Plant Protection Materials in Integrated Pest Management System

Ting-Fang Hsieh^{1*}, Jyh-Nong Tsai¹, and Jih-Zu Yu²

Abstract

The development of natural plant protection materials as a tool to prevent pests and diseases in friendly farming is currently an emerging research topic. The natural plant protection materials referred to in this article include microbial pesticides and natural materials. There are 15 microbial pesticides that have been announced and registered in Taiwan, and 19 materials and raw materials that are legally safe food can be used as registration-exempt plant protection materials. Those materials can be used partly to replace the chemical pesticides and integrated into the Integrated Pest Management (IPM) system to reduce the product losses caused by pests. However, how to properly integrate the above-mentioned natural plant protection materials into the overall IPM system, there is no set of standard operating procedures to follow. Therefore, it must be adjusted according to the local cultivation environment, cultivated crops and possible pests and diseases in crop cultivation system. After understanding the targets and their effects of various natural plant protection materials or products on control of crop pests and diseases, the natural plant protection materials can be properly introduced into IPM from the perspectives of creating a healthy environment for crop cultivation, promoting crop health and reducing the harm of diseases and pests, and develop a set of IPM tactic from prevention to treatment. In order to achieve the effect of reducing the use of

* Corresponding author, E-mail: tfsieh@tari.gov.tw

¹ Plant Pathology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, COA

² Applied Zoology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, COA



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

chemical pesticides, it should be continuously carried out the suitable IPM strategy.

Key words: Nature plant protection material, Registration-exempt plant protection material, Integrated pest management, Application case

從農藥的施用談食品的安全與風險溝通

姜至剛^{1*}

摘要

因氣候變遷所致極端氣候及病蟲害，嚴重威脅全球糧食安全，為提高農作物產量，農藥施用有其必要。但因國人對農藥施用有風險認知的落差，從而引發無謂的恐懼心理，政府應積極以風險分析模式為手段，進行毒理學有關「劑量」效應的風險溝通。如此才能科學、理性、客觀地探討農藥施用的相關議題，制定國人得以接受、符合食品安全理念的農藥管理規範。

關鍵詞：農藥安全評估、食品安全、風險分析、MRLs、ADI、NOAEL

緒言—令人聞之色變的「農藥」

2017年3月底，農委會防檢局召開「農藥施用及殘留容許量研商會議」，研擬制定氟派瑞、達滅芬等農藥的殘留標準，詎料擬於茶樹訂定之氟派瑞殘留標準6 ppm，卻引起軒然大波。可見談到農藥，一般民眾多有「劇毒」、「危害健康」的印象，進而對農藥施用深惡痛絕。這從近幾年消費者追求無農藥農產品，甚至認為有機農產品就是無農藥農產品，致使有機農產品的蓬勃發展可見一斑。如果農藥真的那麼可怕，我們為什麼還要施用？對於農藥，民眾是否存在什麼必須破除的迷思？

農「藥」的本質：毒藥？必要之惡？

欲釐清農藥的本質，首先應明白農藥的定義。所謂農藥，係指用於防除農林作物或其產物之病蟲鼠害、雜草，或調節其生長或影響其生理作用

* 通訊作者。E-mail: ckchiang@ntu.edu.tw

¹ 國立台灣大學醫學院毒理學研究所教授



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

者，或用於調節有益昆蟲生長的化學藥品或生物製劑²；因此，農藥就是保護農林作物免受病蟲、草、鼠及其他生物危害的一種「藥品」。但是也有意見認為，既然農藥是針對各種危害農林作物生長的疾病而製造，目的在殺死為害的病、蟲、草、野鼠等生物，亦可能對人類產生相當影響而較其他化學物質毒性為高；尤其，農藥對生物的毒性因種類不同而有所異，例如滅鼠劑因防治對象是哺乳動物的老鼠，其血緣關係較接近於高等動物，所以對人的毒性也較高³。此種見解，並非精確。

那麼，農藥真的是百害而無一利的「毒藥」嗎？事實上，國際間並未嚴格禁止農藥施用，相反的，制定嚴格法規管理農藥的施用；可見農藥雖然被一般民眾討厭、甚至排斥，但依然有其存在之必要⁴。人生病了必須吃藥，農作物亦然，大家都知道「是藥三分毒」，何況是用來除草、除蟲的化學藥劑。農藥施用是為了替農作物治病或驅趕蟲害，保障農作物的健康進而確保農作物的生產；因此，農藥的既然農藥施用是現代農業的必要之惡，無法摒棄不用，我們應將關注焦點置於如何管制農藥的施用、提升農民用藥的專業知能，強化民眾對農藥施用的風險溝通，才是正視農藥本質的理性態度。

農藥與食品安全的關連

因農藥施用減少病蟲害與農損，進一步也保障了「食品安全」，此並非危言聳聽，而是食品安全的範圍，其實遠較一般人所認知的要廣泛。探討所謂食品「安全」，至少包括三種意涵，亦即「數量安全」、「品質安全」及「可持續安全」等三種。

² 楊秀珠編著，「農藥之合理與安全施用技術」，行政院農業委員會動植物防疫檢疫局、行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所編印，P.2，2012年12月。

³ 張玉鈴，「農藥與你有關係」（原文刊載於主婦聯盟 247 期會訊，2011.10.01），網址：<https://www.huf.org.tw/essay/content/513>，最後瀏覽：2022.09.18。

⁴ 食力廣編企劃，「農藥人人討厭為何還要使用？」，食力新聞 2019.6.28，網址：<https://www.foodnext.net/science/technology/paper/5852336045>，最後瀏覽：2022.09.18。

「食品數量安全」所定義的是，一個國家或地區得生產其基本生存所需膳食需要，係從數量上反映食品消費需求能力與保障供給水準，也可稱為「糧食安全」。食品數量安全問題在任何時候皆為世界各國、特別是發展中國家所須解決之首要問題，目前國內外對食品數量安全之研究多為糧食之安全供給問題，其他問題之研究相對較少。

「食品品質安全」係指，所提供之食品在營養、衛生方面滿足與保障人群之健康需要。食品品質安全涉及食物是否遭受污染、是否有毒、添加物是否違規超標、標示是否符合規範等問題，須於食物受到污染界限之前採取措施，預防食品遭受污染或主要危害因素侵襲。目前台灣所關注的食品安全事件，多屬此一層次的議題。

「食品可持續安全」則是指，在合理利用與保護自然資源之基礎上，確定技術與管理方式，確保在任何時候皆得持續、穩定地獲取食品，使食品供給既能滿足現代人之需要，又能滿足人類後代的需要。在不損害自然的生產能力、生物系統的完整性或環境品質的情況下，達到所有人隨時能獲得保持健康生命所需要的食品，其以合理利用食品資源、保證食品生產可持續發展為特徵。在食品的生產與消費過程中，食品安全的可持續性發展不僅僅是生態問題，同時也是國家、地區乃至世界的經濟問題，甚至亦屬政治問題，應該受到世界各國人民與政府的高度重視。

伴隨現代文明及農業科技的高度發展，對於為充飢而形成的「食品數量安全」問題，已經不再重點討論；然而近幾年來，因為氣候變遷所致天災（如暴雨、乾旱等極端氣候）或病蟲害侵襲，已在全球各地造成巨大農損。世界氣象組織報告指出，2015至2019年是有記錄以來最熱的5年，2019年是史上第二熱的年份；而2020年除已有多國受到蝗災影響，造成難以估計之農損，且亞洲水患頻傳，民眾生命財產受到威脅及農損慘重，亦使全球糧食生產、收成等面臨前所未有之挑戰⁵。「糧荒議題」於是再度回到人類視野，「糧食生產」逐漸受到世界各國重視。

⁵ 陳淑敏，「氣候變遷對農業生產影響之研析」（2021.09.11），立法院法制局議題研析，網址：<https://www.ly.gov.tw/Pages/Detail.aspx?nodeid=6590&pid=211301>，最後瀏覽：2022.09.18。



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

台灣情形也不樂觀，2021 年 8 月上旬受西南氣流豪雨衝擊，估計農損總金額為新臺幣 5.7 億元，以嘉義縣損失 1 億 2,532 萬元為最多，高雄及南投損失也超過 1 億元，農產以木瓜損失最重。屏東的紅豆受到薊馬蟲害⁶，洋蔥也發生黃萎病、炭疽病等病害⁷，皆造成程度不一的農損；有鑑於氣候變遷所致農損可能成為常態，行政院於 2020 年 5 月通過農業保險法，將極端氣候天災、病蟲害所致損失列入天然災害，安定農民收入，保障農民權益。

顯見，我們正在面臨全球人口暴增對安全食物的需求供給可持續問題，面臨農業科技進步雙面刃的效應影響問題、面臨氣候變遷的糧食供應問題等。尤其自俄烏戰爭爆發以來，「食品可持續安全」更是受到嚴峻的挑戰，全球小麥、玉米、大麥出口大戶的俄烏受戰事之累難以供應，各國所仰賴的俄國肥料出口也受阻，世界糧食危機隱然成形⁸。

毒理學觀點下的農藥

為解決上述食品數量安全、食品可持續安全等問題，確保糧食生產及供應，我們不得不正視農藥施用的相關議題。首先，我們必須先破除「農藥 = 毒物 = 有害」此一錯誤觀念，就好比施打疫苗可能導致血栓甚至致命、服用藥品也可能產生副作用，但我們不會因噎廢食，拒絕藥物治療；農藥之施用，亦然。

毒理學之父 Paracelsus 曾說：所有的物質都是毒物，沒有一種不是毒物；只要劑量正確，就可以把毒物變成仙丹。易言之，任何物質在高濃度

⁶ 潘欣中，「屏東紅豆遇天熱加蟲害 農委會公告符合天災救助」，聯合報屏東即時新聞 2021.12.21，網址：<https://udn.com/news/story/7327/5978509>，最後瀏覽：2022.09.18。

⁷ 李卉婷，「氣候劇烈變動恆春洋蔥遭病蟲害 農委會納天災救助」，中央通訊社 2021.02.07，網址：<https://www.cna.com.tw/news/aoloc/202202070254.aspx>，最後瀏覽：2022.09.18。

⁸ 中央通訊社紐約綜合外電報導，「俄烏戰爭衝擊肥料穀類出口 全球糧荒隱現」，中央通訊社 2022.03.21，網址：<https://www.cna.com.tw/news/aopl/202203210214.aspx>，最後瀏覽：2022.09.18。

時都有毒，反之低濃度時不會造成急性中毒，這是毒理學的基礎。以含咖啡因的咖啡及食鹽為例，帶入「半致死劑量⁹」(LD50, lethal dose 50%) 概念加以說明：一個 60 公斤的成人，短時間內喝下 60 杯咖啡，或是吃下 180 公克食鹽，是會導致死亡的(咖啡因 LD50: 192 mg/kg, 食鹽 LD50: 3 g/kg)；甚至無庸 60 杯咖啡或 180 公克食鹽，稍高劑量下就有急性中毒的風險。而我們每天喝咖啡、吃鹽巴，僅接受微量咖啡因及少量食鹽，故不會急性中毒。因此，無論是天然物質或合成物，只要濃度高，就可能造成急性中毒；但低濃度時，不會造成急性中毒。同理可證，整瓶未稀釋的農藥有毒，但是微量的農藥殘留並無急性毒性。

這種「劑量」觀念的提出始於 1493 年，此一 15、16 世紀已經確定的知識，21 世紀的我們卻未能以劑量觀點探討農藥施用、食品安全等議題，這種只講「毒性」、不講「劑量」的論述或報導，是不負責任的，容易引起大眾恐慌，顯見我們的風險溝通仍有精進空間。因此，以毒理學觀點探討農藥施用的議題，必須切記「風險」為其核心命題，所謂「風險」是由「物質的毒性」乘上「暴露的劑量」，重點是什麼？量！量！量！

應以風險分析探討食安問題

過去曾有彰化基督教醫院南基醫院醫師召開記者會，表示過去 30 年間台灣青壯年族群罹癌率增加近 1 倍，農藥使用量大增是一大主因；他也引述 2005 年的統計資料指出，台灣農藥使用量比全球平均用量高出 4 倍，而 2010 年的資料表明，台灣平均每人 1 年要喝下 1 罐可樂鋁罐的農藥量^(9,10)。

上述論述至少存在三點謬誤：其一、「使用量」並不等於「有害量」，雖然台灣的農藥施用比世界平均值高出近 4 倍，但是其品項及毒性為何，無法在這樣的數據中客觀呈現；也就是說，可能農藥施用量較多，但卻是毒性較低之品項。其二、「施藥量」並不等於「暴露量」，農藥施

⁹ 在一定時間內能夠使得 50% 實驗動物死亡時的劑量。

¹⁰ 張茗喧，「青壯族罹癌率倍增 醫：農藥過量是主因」，中央通訊社 2018.05.25，網址：<https://www.cna.com.tw/news/ahel/201805250122.aspx>，最後瀏覽：2022.09.18。

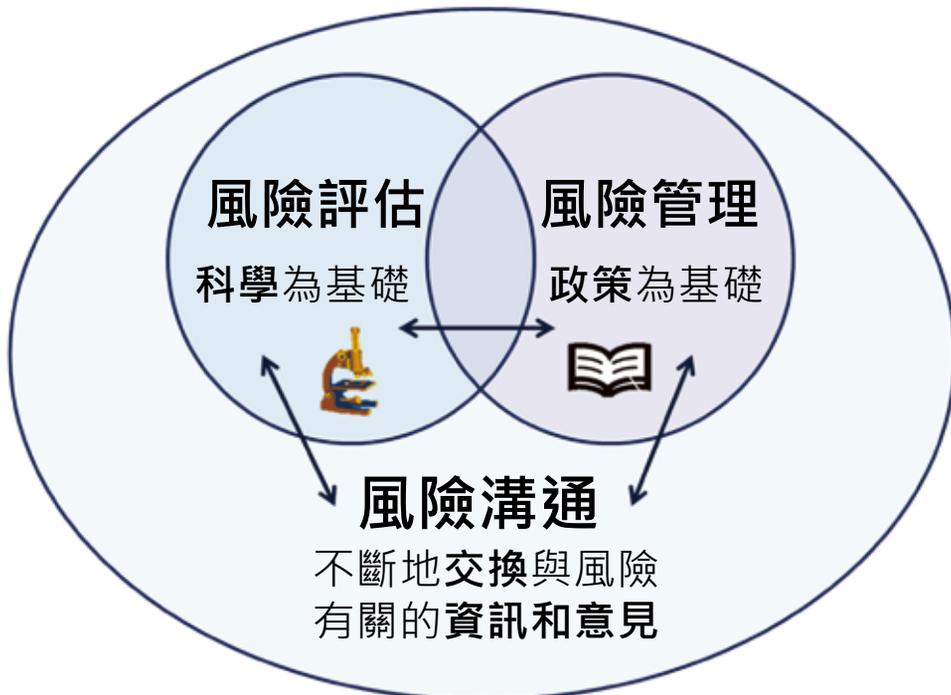


2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

用於蔬果後，會經過植物體代謝及環境中各項因子之分解¹¹，因此「施藥量」已不等於「殘留量」，更何況竟以農藥「施藥量」與人口總數推估人體「暴露量」，此種計算顯然過度簡化。其三、癌症的成因所在多有，目前尚未提出定論。僅以個案之醫師個人飲食均衡、作息規律，卻還是罹患癌症，就認為是源於大量使用農藥，邏輯上似乎過度跳躍，在統計上不具意義。

專業的醫師尚且存在這種錯誤認知，遑論一般民眾，筆者認為，如能以「風險分析」(圖一)模式探討此一議題，應不至於發生如此離譜的錯誤推斷。所謂風險分析，包括「風險評估」、「風險管理」及「風險溝通」¹²，以下分別簡要說明。



圖一、風險分析模式

¹¹ Fenner et al. Science. 2013 Aug 16;341(6147):752-8.

¹² Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food safety risk analysis: A guide for national food safety authorities. 2006.

所謂「風險評估」，係指各種危害(化學的、生物的、物理的)對人體所產生已知或潛在不良健康作用之可能性之科學評估，係一單純之科學技術過程，不受其他因素影響，其任務為得出各種危害對健康不良作用之性質與最大安全暴露量。如何對風險評估有一完整評估結果，在毒理學裡有四個步驟：一、危害辨識；二、危害特性化；三、暴露評估；四、風險特性化。

所謂「風險管理」，係指以權衡政策選項、諮商所有利害關係人、斟酌風險評估與保護消費者健康與促進公平貿易之相關因素、並於必要時選擇適當防止與管控方案之流程。進一步言之，風險管理係指於所有規範選擇中，加以評價並作出最後選擇，此係結合風險評估之結果及政治學、社會學、經濟學乃至於工程學之相關資訊，並衡量風險之適當性及控制成本之合理性，以作為選擇適當規範之依據；故風險管理與政治決定有關，科學專業意見以外之因素亦應一併考量。

所謂「風險溝通」，係指在風險分析之下，風險評估者、風險管理者、消費者、農民及農藥業者、科學家或其他利益社群，就危險、風險、風險相關因素與風險感知，互動式交換資訊與意見，包含風險評估結果之說明及風險管理決定之基礎；其主要目的在於使消費者能獲得風險資訊，特別是風險評估之專業意見或報告。將風險溝通納入風險管理模式，乃風險分析制度具體內涵之一，由於風險之不確定性特徵，主管機關無法在進行決策時即為準確之事實認定或調查，故其正當性除來自於風險評估結果中科學數據之背書，亦立基於消費者、業者等利害關係人對決策者之專業信賴，進而肯定、接受國家據此所採取面對風險之管制措施。在此種複雜決策背景下，應儘量透過透明化資訊與程序之設計，取代重視實質內涵或監督之決策作成，藉由詳細之資訊提供，例如將風險評估之依據與分析結果公告大眾，並進行公開之意見交換，使相關利害關係人皆得表示意見，有此溝通後消費者即得為某種程度之知情後選擇，可強化消費者對政府之信任與其決策之信心。

風險溝通可分為三種類型，包括：(1) 照護溝通。對於要預防的危害進行溝通，以農藥殘餘量為例，應讓民眾了解何謂超標及最大殘留安全容許



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

量 (MRLs, Maximum Residue Limits) 等概念；(2) 共識溝通。為達到特定議題所進行的一切互動，例如：農藥施用是為了降低農作物之病蟲害，保障農作物產量。(3) 危機溝通。通常發生在比較緊急的狀況，須由具代表性的主體與民眾進行溝通。

農藥殘留標準與風險評估

風險分析模式中，無論風險管理或風險溝通，皆立基於以科學為基礎的風險評估，風險評估包括幾個重要的數值或標準，茲說明如下。

合成有機農藥自 1940 年代開始被施用後，已被廣泛用於防治農產品的病蟲草害及提高產量。農藥施用後對食品之安全性，以農藥安全容許量 (Tolerance) 作為評估準則，其定義為農藥在符合農藥施用原則下所殘留在食品或農產品中之最高殘留限量 (MRLs)，在此限量內，國人長期接觸對其健康不會造成任何影響。訂定農藥最高殘留限量 MRLs，應具備三項基本資料數值加以評估得之：

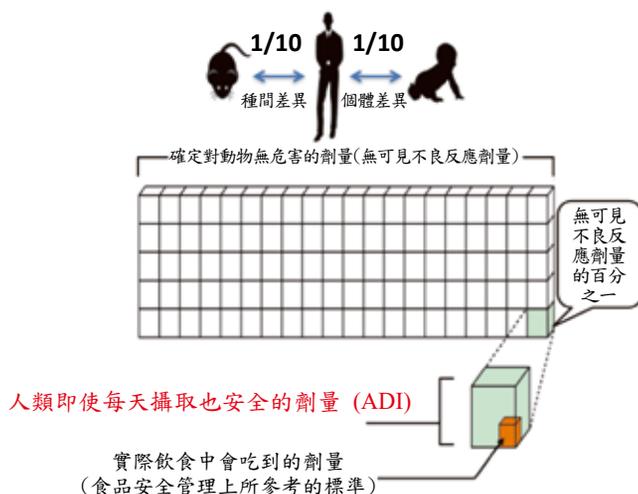
一、每人每日容許攝入量值 (Acceptable Daily Intake, 簡稱 ADI 值)

NOAEL (No observed adverse effect level) 為無毒害劑量值，是以動物為試驗對象，經農藥長期餵食後不會產生任何病變之劑量。詳細來說，就是以農藥對試驗動物進行 2 年餵食慢毒試驗、致變異性試驗、致腫瘤性試驗、致畸胎性試驗等，其結果均可以無毒害的劑量值。但人與動物畢竟是有所差異，因此轉換應用在人的時候，會考慮一個安全係數——一般為 100，其中 10 代表動物與人之差異，另外一個 10 為人與人之間之差異；如安全係數拉到 1000，則代表此為易感受的類別 (高風險)，故需要以更嚴謹的安全係數處理。當 NOAEL 值除以安全係數，則可得到每人每日容許攝入量值 (ADI 值，圖二)，其單位為 mg/kg body weight/day，即每公斤體重的人終身暴露而不會有任何病變的劑量¹³。

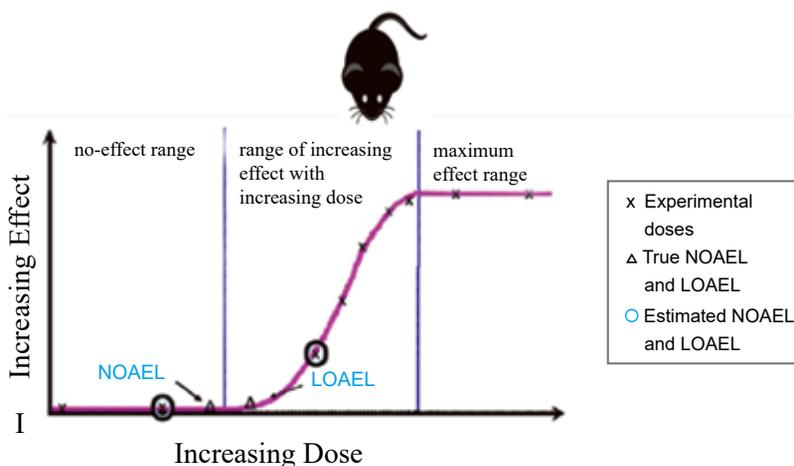
¹³ Curtis D. Klaassen. Casarett & Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons, 9th Edition. 2018.

另外，因動物毒性試驗有其標準實驗室操作準則，故求得之 NOAEL 及 ADI 值國際間可通用 (圖三)。如聯合國國際食品法典委員會 (Codex Alimentarius Commission, CAC) 及美國環保署 (USEPA) 所製備之 ADI 值即常為各國所引用。而在各國自由貿易下，CAC 下設農藥殘留標準委員會 (CCPR) 亦制訂各種農藥在農產品中之最高殘留限量，要求各國參考。

人體每日可接受攝取量 (ADI)



圖二、人體每日可接受攝取量 (ADI)



圖三

※資料來源：<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168160507003935>



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

二、農藥在作物中之實際殘留量

本數據由國內農藥登記時所進行之作物殘留量消退資料所得，即依農藥推薦施用方法施用於作物上，不同時間採樣進行殘留量分析，在接近安全採收期時得到之殘留量值。

三、每類作物之國民平均取食量

將台灣常見農作物，如米類、雜糧類、包葉菜類、根菜類…等，根據國人平均每人每日對各類作物的消耗量，計算出國民平均取食量。

利用上述資料，計算出 (2) × (3) 為總暴露量，此值需小於 (1) 才算安全；而 MRLs 最主要是參考 (2) 所訂定。

再從這個劑量經過農藥殘留及飲食中到底吃了什麼東西，轉換成最大容許劑量—MRL，所謂「超標」就是超過最大容許劑量，但此一標準僅為行政管制之用，超標僅代表違反農藥管理標準，絕不能與中毒劃上等號！每逢驗出超標，新聞就會大肆報導，引起讀者恐慌；平心而論，新聞報導內容應該要有教育意涵，如此才有正面意義。

超標與風險溝通

人類的血液中含有超過 4,000 種化學物質，其中包含政府列管的毒性化學物質：甲醛，而生活周遭同樣也充斥著各式各樣的化學物質，甚至背景輻射也與人類共同生存。為了確保民眾健康安全，政府會將危害物質訂定標準，以農藥為例，在上市提供農民合法施用前，會有一系列完整的毒性試驗找出對動物、人體產生不良影響的濃度，計算出每日攝取容許量 (ADI)，再依據攝食資料庫中國人的飲食習慣，在各項產品中訂定遠低於 ADI 的殘留標準；也就是說，如果產品某項化學物質些微超過標準，也僅是違反法律規定，但並不一定就會產生人體健康危害。

台灣的食品安全風險管理在這 10 幾年來，已有長足進步，但是民眾對農藥施用、食品安全仍有很大疑慮，問題在於風險溝通的不足，導致民眾

與政府間的風險認知存在差異。進一步而言，政府及媒體應讓民眾知道，衛福部食藥署訂定食品中「農藥殘留容許量標準」，這是屬於行政上的管制點，並不是會造成健康危害的臨界點。雖然這些容許量數值離急性中毒還很遙遠，但對其慢性暴露的危害仍然不可小覷；因此應進一步與民眾溝通使其能看懂數據，並宣導注重攝取多樣性的食物，俾利降低長時間累積在身體所造成的影響，尤其是要降低對代謝性器官的影響。

以氟派瑞事件為例，凸顯台灣政府施政風險溝通仍有精進空間，農藥施用在台灣乃眾所矚目的議題，政府如能及早讓利害關係人(stakeholder)：愛喝茶者、茶商或農民乃至全體國人知曉，目前施用在茶葉的農藥屬較高毒性，而氟派瑞則是相對較低毒性的新農藥，則本案應不致成為各說各話的衝突點，也不致成為有心人士操弄的假議題。

結論

食品安全體系的建構，須以風險分析為基礎，台灣政府應及早將風險分析模式納入食品安全體系且深植全體國人，使每人都有食安思辨能力，如此才能真正捍衛國人健康，讓民眾安全又安心。台灣在農藥檢測的風險評估能力——風險分析中重要的風險評估步驟，不但與國際標準同步，且居世界一流地位。這種科學檢驗的程序、標準，不會因為換了國家，實驗結果就會不同，政府應強化風險評估結果的風險溝通，讓民眾願意相信相關數據。

最迫切需要與民眾溝通的議題，應該是綜合考量「劑量」與「暴露量」的「真議題」，而非動輒宣稱具有毒性危害的「假議題」。舉例而言，每當有食品安全事件發生時，我們往往在新聞報導中只能看到：某食品驗出某種農藥殘留量超標，依據研究該農藥可能致癌或引起人體其他危害。現代社會中，各種電子傳播媒體的速度迅速又廣泛，如果消費者一時不察信以為真，容易引發社會高度恐慌。事實上，驗出超標物質的所謂「黑心食品」中，如果納入「劑量」與「暴露量」的因素予以計算，絕大多數對人體造成的危害都是微乎其微，也就是這些「黑心食品」幾乎是假



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

議題，來自不肖業者一己私利所導致。因此，如何破解食品安全議題的迷思，「正視真議題，拒絕假議題」，才是正本溯源之道。

作物土媒病害之綜合管理策略

黃振文^{1,2*}、林秋琍³、蔡健浩¹

摘要

農作物的土媒病害是由多種難以防治的植物病原菌所引起。一般言之，土壤化學燻蒸消毒劑和殺菌劑常被採用於防治作物的土媒病害，但卻經常伴隨著環境污染及誘發抗藥性菌系等問題；因此尋找替代化學防治的方法已成為當前努力的目標。在作物栽培耕作體系下，為作物生產流程制定一個友善環境且符合經濟效益的土媒病害管理策略尤顯得重要。本文主要目的在於介紹防治不同作物土媒病害的各種方法，包括使用土壤添加物、離土栽培法及水耕栽培法、抗病或耐病品種、嫁接抗病與耐病根砧、土壤太陽能消毒法、熱蒸氣消毒法、生物防治及執行輪作栽培等，進而開發作物病害綜合管理 (IDM) 策略，藉以達到有效防治作物土媒病害的目標。欲成功採用 IDM 策略管理作物土媒病害，首先需要徹底了解每個耕作系統中，作物、病原菌及其拮抗微生物的生理與生態特性以及其與周圍環境的交互作用，才能獲得經濟與環境安全的實質效益。

關鍵詞：土媒植物病原菌、土壤添加物、土壤太陽能消毒法、生物防治、植物病害綜合管理

緒言

在台灣常發生的重要作物土媒病害，大多是由土棲性植物病原菌所引起，其主要種類有類真菌的十字花科蔬菜根瘤病菌 (*Plasmodiophora brassicae*)、疫病菌 (*Phytophthora* spp.)、腐黴菌 (*Pythium* spp.)，子囊菌類

* 通訊作者。E-mail: jwhuang@nchu.edu.tw

¹ 國立中興大學循環經濟研究學院 植物保健學程

² 國立中興大學植物病理學系

³ 正瀚生技股份有限公司



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

的镰孢菌 (*Fusarium* spp.) 與菌核病菌 (*Sclerotinia* spp.)、擔子菌類的立枯絲核菌 (*Rhizoctonia* spp.)、白絹病菌 (*Sclerotium rolfsii*)⁽¹⁾ 及褐根病菌 (*Phellinus* spp.)，細菌類的青枯病菌 (*Ralstonia solanacearum*) 及線蟲類的根瘤線蟲 (*Meloidogyne* spp.) 和根腐線蟲 (*Pratylenchus* spp.)⁽⁴⁾ 等等。這類有害微生物的生活史，有一個階段存活於土壤中，故將它們引起的作物病害視為土媒病害。土媒病原菌引起農作物的病徵包括：根腐、根部黑化、葉片黃化、植株矮化、維管束褐化、苗期猝倒及萎凋；在樹木方面則是造成根腐、基腐、萎凋，進而引起樹皮的龜裂和枝枯死亡。土棲性病原菌不易防治，故常造起農作物產量鉅大損失。土媒病原菌難以防治的原因，關鍵在於它們會在惡劣環境與土壤中形成厚壁的構造，例如：小菌核、菌核、厚膜孢子、休眠孢子和卵孢子等等，可以抵抗惡劣環境和藥劑的傷毒害及其他微生物的攻擊。

在過去，作物土媒病害的防治方法主要以化學藥劑，如溴化甲烷、邁隆等進行土壤燻蒸，然而施用此類化學藥劑常會伴隨著危害人體健康，污染環境及破壞臭氧層等不良效應。因此，植物保護工作者嘗試開發各種化學農藥替代品用以防治土媒病害的方法。本文主要目的在於介紹台灣農耕栽培過程，常被推薦用於防治作物土媒病害的方法，例如應用土壤添加物^(2, 3, 31)、土壤太陽能消毒法⁽²⁰⁾、離土栽培法及水耕栽培法、採用抗病品種或抗病根砧、生物防治法及輪作栽培法等等，進而建議農友採行作物病害綜合管理策略⁽¹⁹⁾，藉以減少土媒病害引起的農業經濟損失。

土媒病害的防治管理

設計植物病害防治處方的首要步驟就是要有正確的病害診斷與鑑定工作，仔細剖析病因與病原種類，追溯病原菌的根源、存活處所、傳播途徑及其致病的相關環境因子等。例如十字花科蔬菜根瘤病菌以大量休眠孢子存活土中，主要發生於酸性土壤；尖镰孢菌引起的番茄萎凋病以厚膜孢子存活於土中，可經由土壤與種子兩個途徑傳播；胡瓜疫病菌以卵孢子或厚膜孢子存活於病果、病株及土壤中，其游走子可經由灌溉水或雨水飛濺傳

播感染；樹木褐根病菌則可由根與根接觸感染，或以罹病殘根存活於土中感染新種植的植株。顯然，作物土媒病害的防治管理方式，必須依病原菌的生理、生態特性及傳播途徑進行規劃設計，才能有效控制病害的發生。茲從土壤、作物栽培及益生菌管理的角度，簡介作物土媒病害的防治方法如后。

一、土壤添加物^(15, 17)

土壤添加物影響作物病害發生的現象，大致可分為三類，即 (1) 減少病害發生；(2) 促進病害發生；(3) 不影響病害發生。理論上，作物殘餘物與土壤有機添加物可減少土媒病害發生的原因可以歸納如下，即添加物可以(1) 改變病菌的腐生生活習性；(2) 產生抑制物質，進而降低接種源密度；(3) 提供營養物質，平衡土壤之碳氮比；(4) 改變土壤微生物相，增強土壤之靜菌作用；(5) 改變土壤理化性質，促進作物的生育。此外，添加物亦可影響作物葉部病害的發生。顏氏⁽⁵⁾等指出水稻施用穀殼後，可增加土壤或水稻葉片之矽、鉀含量，因而增強水稻抵抗穗頸稻熱病發生的百分率。

土壤添加物防治病害的功效，常受制於農田的生態環境因子，土壤質地與肥力，作物特性，病原菌的對象，接種源密度及栽培作物的序列等，因此要成功的利用添加物以防治作物病害，必須深入研究土壤添加物的特性與防病機制，同時也得清楚的掌握土壤的各種環境因子⁽¹⁵⁾。Irving 氏給「綜合防治(Integrated control)」下一個定義，就是巧妙、諧和的應用各種防治策略以減少環境污染傷及人畜，進而達成作物病害防治的經濟效益⁽¹⁹⁾。往昔，有許多殺菌劑可直接抑制植物病原菌外，又可誘使土壤微生物的拮抗作用增強，以達到防治病害的效果，這種現象亦被視為一種間接結合生物防治的「綜合防治法」。過去筆者與其他學者研發的合成土壤添加物 S-H、AR-3、LT 及 FBN-5A 等混合物^(4, 17, 18, 31) (表一)的防病機制，主要是結合生物與非生物因子有效防治多種土媒病害 (表二)，也是一種「綜合防治」理念的實現。事實上，筆者研發合成土壤添加物的調配模式是以考慮農業生態體系內生物間的平衡為著眼點，除注意作物生長的營養外，亦



考慮有益微生物的繁殖與存活，因此，要成功研發有效防治作物土媒病害的合成土壤添加物 (formulated soil amendment)，其組成成分必須可以提高作物生長勢與削弱植物病原菌的生命活力外，尚且要能促進拮抗微生物發揮其攻擊潛能⁽³³⁾。

表一、防治土媒植物病原的合成土壤添加物組成配方

Table 1. Ingredients of formulated soil amendments for control of soilborne plant pathogens

Designation	Ingredients
S-H mixture ⁽³¹⁾	Bagasse, rice husks, oyster shell powder, urea, potassium nitrate, calcium superphosphate, mineral ash.
AR-3 mixture ⁽¹⁾	Cattle manure, chaff, crab shell meal, urea, calcium superphosphate, potassium chloride, mineral ash.
LT mixture ⁽⁴⁾	Shrimp/crab shell meal, castor pomace, marine algae powder, soybean meal, molasses.
FBN-5A mixture ⁽³⁾	Fish meal, spent forest mushroom compost, blood waste, lime, ally alcohol

表二、在田間土壤添加 S-H 混合物防治蔬菜病害的效果⁽²⁾

Table 2. Control of soil-borne vegetable crop diseases by amendment of soil with S-H mixture in fields

Crops	Disease name (Pathogen)	Disease incidence (%)	
		Amended	Nonamended
Chinese cabbage	Clubroot (<i>Plasmodiophora brassicae</i>)	1.6 b *	46.0 a
Cucumber	Damping-off (<i>Pythium aphanidermatum</i>)	13.0 b	89.0 a
Watermelon	Wilt (<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>niveum</i>)	32.1 b	81.5 a
Radish	Wilt, yellow (<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>raphani</i>)	20.0 b	58.3 a
Garden pea	Wilt (<i>F. oxysporum</i> f. sp. <i>pisi</i>)	46.0 b	76.0 a
Pepper	Southern blight (<i>Sclerotium rolfsii</i>)	0.6 b	11.7 a
Bean	Rhizoctonia blight (<i>Rhizoctonia solani</i>)	1.2 b	14.5 a

* Means followed by different letters for each crop disease between amended and nonamended treatment are significantly different ($p < 0.05$). (Student's t-test)

二、土壤太陽能消毒法^(13, 30)

土壤太陽能消毒法是在夏季利用透明塑膠布(厚度 0.025 mm) 覆蓋於濕潤的土壤表面，透過太陽能與紫外線提高土溫大約 10-12°C，可加速土中有機物分解外，尚可誘發耐高溫拮抗微生物（如枯草桿菌與放線菌）族群增殖，進而達到抑制土媒病原菌的功效。十九世紀末葉在美國加州曾有植病學者利用覆蓋透明塑膠布成功防治萵苣萎凋病，草莓疫病外，亦可促使土中線蟲密度顯著下降。筆者於西元 1976 年 7 月份曾在屏東鹽埔農友種苗公司實驗農場測試土壤太陽能消毒法防治西瓜蔓割病的功效，結果證明土中西瓜蔓割病菌菌量大幅下降外，尚可促進西瓜植株發育。

三、抗病品種與嫁接抗病根砧⁽²⁸⁾

抗病品種的育成是有效防治土媒與維管束病害的最佳方法，然而要育成具有優良品質兼具可防治土媒病害特性的品種相當的不容易，而且也需要耗費很漫長的時程，因此以耐病或抗病的(野生)品種當作嫁接的根砧，亦是當前常用於防治土媒病害的有效方法。往昔農委會種苗改良繁殖場曾育出番茄「種苗一號」品種，有效防治夏季番茄青枯病的發生。近年來世界蔬菜中心及台南區農改場等試驗單位以茄子當根砧嫁接番茄，成功防治青枯病與萎凋病；中興大學林益昇教授⁽²²⁾以苦瓜穗嫁接於絲瓜根砧，有效防治苦瓜萎凋病。此外，他們也及應用南瓜根砧防治洋香瓜黑點根腐病等等案例，均佐證抗病與耐病根砧亦是防治土媒病原菌的最佳手段。園藝相關學術期刊報導應用嫁接技術也具有增強植株生長勢，提高作物產品風味與產量，調整產期，增強植株對於高低溫的耐受性等功效。

四、離土栽培法及水耕栽培法⁽²⁹⁾

作物土媒病原菌於土壤中的族群量會隨著單一作物連續耕作次數增加而逐年遞增，且也會使作物生長勢逐年下滑，尤其是葫蘆科及薑科植物，連作一、兩年後，它們的植株極易遭受土媒病原菌如鐮孢菌、腐黴菌及疫病菌的為害，導致作物產量鉅減。因此農友們常利用泥炭土、蛭石、椰



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

織、樹皮堆肥及熱蒸氣消毒過之腐殖土壤等調製成栽培介質，進行離土栽培番茄、甜椒、洋香瓜、胡瓜、草莓及薑等等，藉以逃避土媒病原菌的為害。此外，也利用水耕法栽培萵苣、白菜或風信子等各種蔬菜或花卉。為了確保作物健康生育，若施行離土及水耕栽培時，應避免栽培介質及水源被病原菌污染，同時也需要採用健康種苗、種子、種球及塊根，於種植時不允許它們攜帶有植物病原菌。

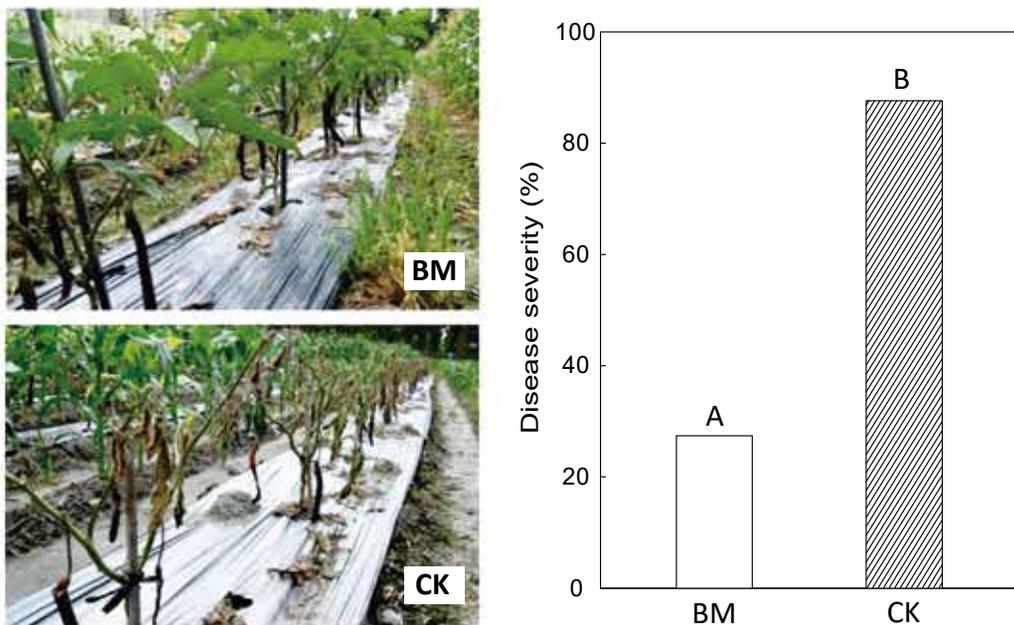
五、生物防治法^(7, 8, 10)

利用有益微生物或其代謝物研製低毒性、殘效短、且又少有環境汙染的生物農藥或稱微生物源植物保護製劑^(21, 23, 24, 25, 26, 27)，是現今世界各國對農作物病害綜合管理及有機農業之技術發展上大力應用與推廣的生物防治方向，其主要目的就是盡量減少化學肥料與化學農藥對生態環境產生的破壞，祈能儘早實現農業永續經營之目標。生物防治即是運用自然界存在的拮抗微生物，以其二次代謝物的抑菌活性及對於攝取營養的競爭能力，促使病原菌數目或致病能力降低，或是植株經由微生物本身及其代謝物質誘導產生抗病作用，以減緩病害的發生率，進而達到病害防治的效果。

Bacillus 為革蘭氏陽性細菌，普遍存在於環境、土壤與植物體表面，為一相當常見的環境微生物，並且已有許多研究指出此屬細菌可以用來作為植物病害的生物防治菌⁽⁶⁾，其防治病害的機制包括有拮抗作用(antibiosis)、競爭作用(competition)、誘導抗病(induced resistance)及促進生長(growth promotion)⁽³²⁾等。迄今已被發表用於病害防治的菌種有 *Brevibacillus brevis* Migula、*B. megaterium* de Bary、*B. mycoides* Flugge、*B. penetrans* Mankau、*B. pumilus* Meyer et Gottheil 及 *B. subtilis* Cohn^(11, 12)等等。由於 *Bacillus* 屬細菌可形成內生孢子，對於不良的惡劣環境具有強耐受性，同時可抵抗輻射、紫外線、乾旱、滲透壓、高溫及化學藥劑；若在適合環境下，內生孢子又可再發芽增殖，因此極適合研發成為生物防治之製劑。文獻記載 *Bacillus* spp. 可防治木瓜炭疽病菌 *Colletotrichum gloeosporioides*⁽²¹⁾、康乃馨萎凋病菌 *Fusarium oxysporum* f. sp. *dianthi*、甜菜猝倒病菌 *Pythium* sp.、楓樹萎凋病菌 *Verticillium* sp.、桃褐腐病菌

Monilinia fructicola 及芒果細菌性黑斑病菌 *Xanthomonas campestris* pv. *mangiferaeindicae*⁽²⁶⁾ 等真菌與細菌引起的病害。

筆者自 2006 年開始陸續由台灣各地農田收集土壤與植物樣本進行分離鑑定，總共獲得 147 株 *Bacillus* sp.、65 株 *Pseudomonas* sp. 及 135 株內生細菌。在實驗室、溫室及田間進行系列測試分析，結果篩選出具有促進作物生長與防治作物病害雙重功效之優良本土益生菌菌株，共計有 *Bacillus mycoides*、*B. subtilis*、*B. licheniformis* 及 *B. amyloliquefaciens* 等 12 菌株，其中以 *B. mycoides*136-24-01(BM01)、136-24-02(BM02)、BM103 及 NP02 等菌株的功效最佳，且皆屬於蕈狀芽孢桿菌，為本土農田分離所得之植體內生菌 (endophytic bacteria)，經試驗證明它們除了可促進番茄、油菜、萵苣、甘藍及長豇豆等幼苗生長外，尚可有效防治番茄萎凋病與白粉病、茄子青枯病 (圖一)、甘藍猝倒病、水稻紋枯病及胡瓜炭疽病與白粉病等⁽¹⁶⁾。蕈狀芽孢桿菌促進作物生長與防治病害的主要機轉是：它 (1) 可纏據於作



圖一、在屏東農田利用 *B. mycoides* BM02 防治茄子青枯病 (*Ralstonia solanacearum*)

Fig. 1. Effect of *Bacillus mycoides* BM02 on controlling eggplant bacterial wilt caused by *Ralstonia solanacearum* in the Pintung field



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

物根系及植體內部，誘導農作物產生抗病反應；(2) 可分泌植物生長激素 (IAA)，促進作物根系發展；(3) 可釋放二硫二甲基及生物表面素異構物，破壞植物病原菌的細胞膜⁽¹⁶⁾。

六、輪作栽培法⁽²⁹⁾

農作物栽培過程，若能有系統的實施輪作制度，會有助於提高農田土壤的水含量、避免有機質的快速流失，並可促進土壤微生物的活力與多樣性，進而維護土地的生產力。一般言之，植物病原菌的致病毒力大多有寄主專一性，因此以不同種類的作物品種進行輪栽，可以有效防治作物病害的發生。例如十字花科蔬菜根瘤病菌 (*Plasmodiophora brassicae*) 只有為害十字花科植物，設若一個農場曾發生過嚴重的十字花科根蔬菜根瘤病的問題，只要改種其他蔬菜或花卉，即可有效控制這種病害的發生。筆者認為要成功採行輪作栽培，達到防治土媒病害的功效前，必須考量下列因素，即 (1) 土媒病原菌的寄主範圍不宜太廣，越單一或越狹窄越好；(2) 依土媒病原菌的病原性決定種植作物的種類及栽植的序列；(3) 要注意田間衛生管理，不可廢棄罹病植株於田裡；(4) 評估土媒病原菌存活於土中的時間長短與族群密度的高低，決定輪作的期限與方式，必要時可以採取水旱田交替耕作的方式；(5) 種植健康種苗、種球、種子，避免攜帶種媒病原菌。

結論

隨著時代的變遷與科技日新月異，人類的生活環境與品質已產生重大的改變；此外，許多農作物的種類，栽培方式與經營管理策略也大多異於往昔。因此，植物保護的研究方向與政策實有必要重新作通盤的檢討與調整。筆者認為今後作物土媒病害的保護工作與研究方向應朝「病(蟲)害綜合管理」的目標推進。植物保護工作者應學習自然與順應自然的法則，考量農業生態的平衡與經濟利益，謹慎追求用藥安全與合理化，並能妥適搭配應用適當的土壤與作物多元化管理法，相信必可維持與保護作物的健康及避免農業生態體系的失衡，進而推動農業的永續發展⁽³⁴⁾。針對作物土媒

病害的綜合管理策略規劃模式，筆者建議可以採行合理化施用化學藥劑外，同時也要一併考量配合應用土壤管理方法如整地種植前施用土壤添加物、進行土壤熱蒸汽消毒或土壤太陽能消毒；採納作物管理方法如使用無帶菌種子、抗病品種、抗病根砧或生物防治，以及施行輪作或離土的栽培方式。當然若要成功有效執行作物土媒病害綜合管理，先決條件在於農田經營者必須要能完整掌握作物、土媒病原菌及拮抗微生物的生理、生態特性和栽培農田環境的理化性質，才能成功控制病害的發生。

引用文獻

1. 杜金池、謝廷芳、蔡武雄。1992。利用合成土壤添加物防治百合白絹病之研究。中華農業研究 41：280-294。
2. 孫守恭。1989。土壤添加物在病害防治上之應用。有機農業研討會專集。141-155。台中區農改場編印。
3. 黃振文。1996。農業廢棄物防治作物病害的展望。植物保護新科技研討會專刊 57: 151-157。
4. 顏志恒、吳信郁、蔡淑珍、陳殿義、蔡東纂。2008。LT-M 有機添加物對白柚柑桔線蟲族群，白柚產量及品質之影響。植物保護學會會刊 50: 31-36。
5. 顏吉甫、陳昇明、楊策群。1983。穀殼利用之研究：水稻田施用穀殼的效益及抵抗病害之研究。中華農學會報 124：19-30。
6. Aldrich, J., and Baker, R. 1970. Biological control of *Fusarium roseum* f. sp.*dianthi* by *Bacillus subtilis*. Plant Disease Reporter 54(5): 446-448.
7. Baker, K. F. and Cook, R. J. 1974. Biological Control of Plant Pathogens. W. H. Freeman Co., San Francisco, 433pp.
8. Braun-Kiewnick, A., Jacobsen, B. J., and Sands, D. C. 2000. Biological control of *Pseudomonas syringae* pv. *syringae*, the causal agent of basal kernel blight of barley, by antagonistic *Pantoea agglomerans*. Phytophthology 90(4): 368-375.



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

9. Cawoy, H. M., Bettiol, Wagner, Fickers, Patrick, and Ongena, Marc mailto.2011. *Bacillus*-based biological control of plant diseases. In M. Stoytcheva(Ed.), Pesticide in the Modern World- Pesticides Use and Management City: Rijeka, Country: Croatia. InTech.
10. Cook, R. J., and Baker, K. F. 1983. The Nature and Practice of Biological Control of Plant Pathogens: American Phytopathological Society, St. Paul. MN.
11. Dunleavy, J. 1955. Control of damping-off of sugar beet by *Bacillus subtilis*. *Phytopathology* 45(3): 252-258.
12. Gardener, B. B. M., and Driks, D. 2004. Overview of the nature and application of biocontrol microbes: *Bacillus subtilis*. *Phytopathology* 94(11):1244.
13. Ghorbani, R., Wilcockson, S., Koocheki, A., and Leifert, C. 2009. Soil management for sustainable crop disease control: a review. *Environmental Chemistry Letters* 6: 149-162.
14. Hall, T. J. 1986. Effect of xylem-colonizing *Bacillus* spp. on Verticillium wilt in maples. *Plant Disease* 70(6):521-524.
15. Huang, H.C., and Huang, J. W. 1993. Prospects for control of soilborne plant pathogens by soil amendment. *Current Topics in Botanical Research* 1: 223-235.
16. Huang, J. S., Peng, Y. H. Chung, K. R., and Huang, J. W. 2018. Suppressive efficacy of volatile compounds produced by *Bacillus mycoides* on damping-off pathogens of cabbage seedlings. *Journal of Agricultural Science* 156:795-809.
17. Huang, J. W. 1991. Control of soilborne crop diseases by soil amendments. *Plant Protection Bulletin* 33(1) 113-123.
18. Huang, J. W., and Kuhlman, E. 1991. Formulation of a soil amendment to control damping-off of slash pine seedlings. *Phytopathology* 81(2): 163-170.
19. Irving, G. 1970. Agricultural pest control and the environment. *Science* 168:1419-1424.
20. Katan, J. 1991. Soil solarization. pp 77-105 in: *Innovative Approaches to Plant*

Disease Control. I. Chet (Ed) Wiley, New York.

21. Lin, W. G. 1987. Studies on the pathogenesis-related physiological and biological characteristics of *Colletotrichum gloeosporioides* on papaya. Master thesis, Department of Plant Pathology, National Chung-Hsing University, 63pp.
22. Lin, Y. S., Hwang, C. H., & Soong, S. C. 1998. Resistance of bitter melon-grafted loofah grafts to *Fusarium oxysporum* f. sp. *momordicae* and their yield. Plant Protection Bulletin 40: 121-132.
23. Liu, L., Kloepper, J. W., and Tuzun, S. 1995. Induction systemic resistance in cucumber against bacterial angular leaf spot by plant growth-promoting rhizobacteria. Phytopathology 85(8):843-847.
24. Lo, C.-T. 1998. General mechanisms of action of microbial biocontrol agents. Plant Protection Bulletin 7(4), 155-166.
25. Pimentel, D. 1991. Diversification of biological control strategies in agriculture. Crop Protection 10(4): 243-253.
26. Pruvost, O., and Luisetti, J. 1991. Attempts to develop a biological control of bacterial black spot of mangoes. Acta horticulturae 291:324-337.
27. Regnault-Roger, C. 2012. Trends for Commercialization of Biocontrol Agent (Biopesticide) Products. pp.139-160 In J. M. Merillon, & K. G. Ramawat (Eds.), Plant Defence: Biological Control. Dordrecht: Springer Netherlands.
28. Scott, J. W., Wang, J. F., and Hanson, P. 2004. Breeding tomatoes for resistance to bacterial wilt, a global view. Paper presented at the I International Symposium on Tomato Diseases 695(695): 161-172
29. Singh, V. K., and Chawla, S. 2012. Cultural Practices: An Ecofriendly Innovative Approach in Plant Disease Management. pp.1-20 in book: Ecofriendly Innovative Approaches in Plant Disease Management. Publisher: International Book Distributors and Publisher, New Delhi.
30. Stapleton, J. J. 2000. Soil solarization in various agricultural production systems. Crop Protection 19(8-10): 837-841.
31. Sun, S. K. and Huang, J. W. 1985. Formulated soil amendment for controlling *Fusarium* wilt and other soilborne diseases. Plant Disease 69: 917-920.



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

32. Tabassum, B., Khan, A., Tariq, M., Ramzan, M., Iqbal, Khan, M. S., Shahid, N., and Aaliya, K. 2017. Bottlenecks in commercialisation and future prospects of PGPR. *Applied Soil Ecology* 121: 102-117.
33. Whipps, J. M. 2001. Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany* 52: 487-511.
34. Wood, R. 1996. Sustainable agriculture: The role of plant pathology. *Canadian journal of plant pathology* 18(2): 141-144.

Strategies for Integrated Management of Soilborne Crop Diseases

Jenn-Wen Huang^{1,2*}, Chiu-Li Lin³, Chien Hao Chai¹

Abstract

Soilborne diseases of crops are caused by a diverse group of plant pathogens that are destructive and often difficult to control. Soil disinfectants and fungicides are used to control soilborne diseases affecting crop cultivation. The reliance on chemical control is no longer a good option as it is frequently associated with environmental pollution and development of pesticide resistance in plant pathogens. An extensive use of fungicides has also increased concerns about food safety. Development of effective and economically and environmentally disease management strategies becomes extremely important in crop productions under both conventional and organic farming systems. The objectives of this topic are to discuss the current research achievements on soilborne disease control using different methods, including soil amendments, hydroponics and soilless growing systems, disease resistant or tolerant cultivars, soil solarization, grafting, biological control and crop rotation. An integrated disease management (IDM) approach is the most effective method to control soilborne crop diseases. The approach combines different methods synergistically. To successfully manage soilborne crop diseases using IDM, it requires a thorough understanding of the ecology of each cropping system, including the crop, the pathogens, and their antagonists, and the surrounding environment.

* Corresponding author, E-mail: jwhuang@nchu.edu.tw

¹ Academy of Circular Economy, Program of Plant Health Care, National Chung Hsing University, Nanton, Taiwan

² Department of plant pathology, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan

³ CH Biotech R&D Co., LTD



2022

推動農藥減量與
農藥風險管理新思維
研討會 專刊

Key words: Disease-resistant cultivars, Biocontrol, Plant disease management,
Soil amendment, Soilborne plant pathogen, Soil solarization

推動農藥減量與農藥風險管理新思維研討會專刊/張瑞璋, 陳子偉, 洪挺軒, 顏瑞泓, 謝廷芳, 姜至剛, 黃振文著 ; 宋孟真, 謝奉家, 蔡韃任, 徐慈鴻主編. -- 初版. -- 臺中市 : 行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所, 民 111.11

面 ; 19*26 公分

ISBN 978-626-7110-26-3(平裝)

1.CST: 農藥 2.CST: 風險管理 3.CST: 文集

433.7307

111018077

書 名 : 推動農藥減量與農藥風險管理新思維研討會專刊

發行人 : 張瑞璋

著 者 : 張瑞璋、陳子偉、洪挺軒、顏瑞泓、謝廷芳、姜至剛、黃振文

編 輯 : 宋孟真、謝奉家、蔡韃任、徐慈鴻

工作團隊 : 江致民、梁瑩如、粘志遠、沈盟倪、高士寰、李敏郎、黃莉欣、
林韶凱、曾昭銘、盧欣怡、李悅怡、廖俊麟、江珮瑜、初建、
謝再添、謝玉貞、許廷豪、陳妙帆、呂水淵、蘇秋竹、黃鎮華

發行機關 : 行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所

地址 : 臺中市霧峰區舊正里光明路 11 號

網址 : <http://www.tactri.gov.tw>

電話 : (04)23302101

展售書局 :

1. 國家書店松江門市/臺北市松江路 209 號 1 樓 (02)25180207

網路書店/ <http://www.govbooks.com.tw>

2. 五南文化廣場/臺中市西區台灣大道二段 85 號 (04)22260330

網路書店/<http://www.wuanbooks.com.tw>

承印者 : 學安文化事業有限公司

地 址 : 臺中市南區國光里仁和二街 78 號 1 樓

電 話 : (04)22861600

出版日期 : 中華民國 111 年 11 月初版

版 次 : 初版

定 價 : 新台幣 600 元 (平裝)

GPN : 1011101823

ISBN : 978-626-7110-26-3 (平裝)

著作財產權人 行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所

欲利用本書全部或部份內容者, 須徵求著作財產權人同意。

