



害物整合管理(IPM) 在農藥減量上扮演的角色

黃莉欣

行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所 農藥應用組

前言

合成化學農藥長期大量的使用，不僅造成有害生物抗藥性問題，農藥殘留對人體健康與環境均造成衝擊。為了農地永續的經營，友善或有機栽培逐漸受到重視，微生物農藥及免登植物保護資材等低風險植保資材也陸續被導入病蟲害綜合防治體系。為使農業的永續經營及配合農藥減量的目標，研究人員及推廣人員正積極推播害物整合管理(Integrated Pest Management, IPM)的觀念，期望透過合作模式讓農友瞭解IPM的觀念，是有別於綜合防治觀念。本文將簡單說明IPM的精神，期能由此紮根作起，落實IPM的運用，讓臺灣的農業永續的經營，造福我們的子孫與生態環境的保育。



害物整合管理(IPM)的演變

廿世紀40年代有機氯劑如DDT、BHC、有機磷劑如巴拉松、胺基甲酸鹽類如加保扶等化學殺蟲劑相繼問世後，由於其廣效、速效、成本低廉、使用簡單等優點，大獲農民的青睞，認為化學殺蟲劑是解決害蟲問題主要的方法，傳統防治方法自此被忽略應用，甚至摒棄之。直至60年代，因長期連續不合理使用化學殺蟲劑，引起害蟲對農藥產生抗藥性，害蟲天敵及授粉昆蟲被大量毒殺，促使害蟲再猖獗，次要害蟲崛起的後果，同時毒效持久的農藥也因殘毒的累積，造成環境污染等一系列不良的副作用後，才體認到單獨依賴藥劑防治是不可以的，於是生態學的理论再度受到關心並應用。因此，以生態學原理為基礎，經濟利益為目標，統合應用各種防治技術來管理害蟲族群，抑制或調節主要害蟲族群於一經濟容許的限度(Economic injury level, EIL)下。不僅考慮經濟利益，也降低對環境的影響，蟲害整合管理(Integrated Pest Management, IPM)的觀念

因此被提出來，1972年之後更成為害蟲防治重要的操作模式。後續植物病害防治也參考蟲害整合管理的觀念提升為植物病害整合管理 (Integrated Disease Management, IDM)，將狹義的蟲害整合管理提升為害物整合管理。可見，IPM 不是被發明的新理念，而是長期作物保護策略漸進演變的一個階段。

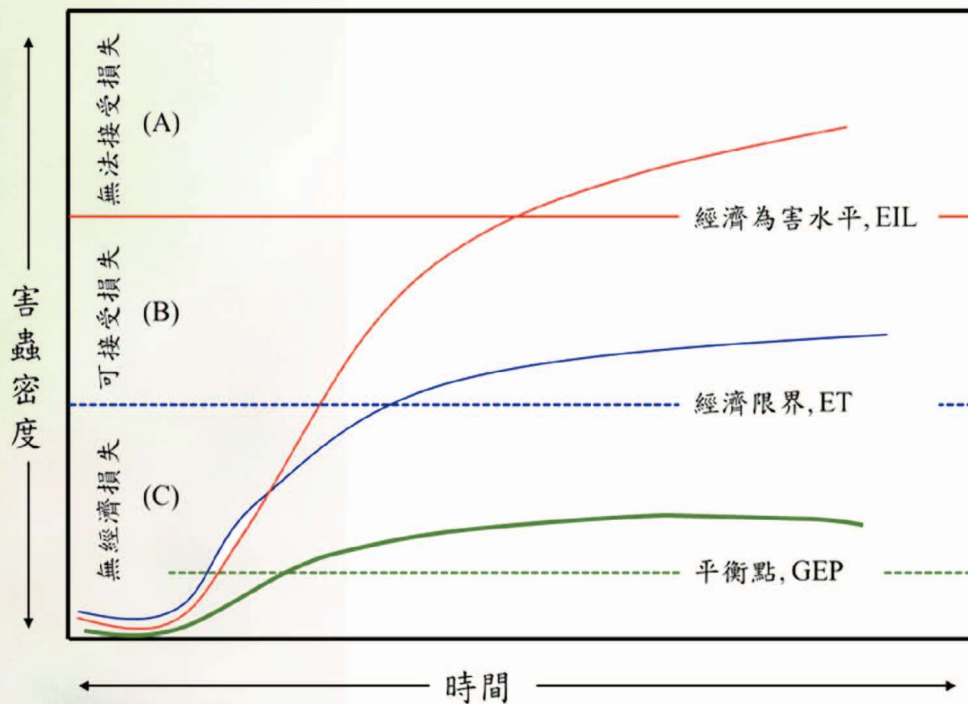
害物整合管理(IPM)的策略

IPM是作物保護過程中的一個決策支援系統，將生產者、社會、環境的利益和影響考慮在內，適時選擇合理的有害生物防治技術，控制病蟲害所造成的經濟損失在可接受的範圍內，而不是趕盡殺絕。

IPM的策略架構包括「預防」、「監測與評估」及「干預」等3項。「預防」顧名思義即指防範於未來的措施，例如依種植環境選擇最適合的作物種類、品種或抗性品種、健康種子或種苗，採用輪作、休耕、土壤及介質處理等耕作防治技術、田間衛生等。「監測與評估」檢視與診斷可造成作物經濟損失的病蟲草害種類及其危害程度，評估是否要介入干預的防治手段，並評估防治效果，以調整防治力道的強弱。「干預」即指採取防治手段，控制病蟲害發生率，降低作物受害率等的防治技術，包括化學農藥、微生物農藥、免登植物保護資材等的運用。

國外執行IPM計畫有一句話「If you're not monitoring, you're not performing IPM」意思是「若沒有做監測，就不是在執行IPM」，可見「監測」是執行IPM的核心工作。監測除了掌握作物上的病蟲害發生種類及危害情形外，最重要是做採取防治措施的時機的決策，此決策取決於一個臨界值或稱閾值，在理論IPM上稱為經濟限界或經濟閾值(Economic threshold, ET)，此閾值是可接受損失的密度或受害程度(圖一)，但ET不是一個恆值，會受制於市場價格的波動，因此，ET只是執行IPM時做決策的理論參考值，是病蟲害防治過程導入IPM的重要觀念之一。為使IPM可實際執行且簡單易行，行動基準(Action threshold, ACT)或防治基準(Control threshold, CT)可作為ET的代名詞，此基準由農場管理人員來決定，取決於生產期間對作物經濟損失的忍受程度。

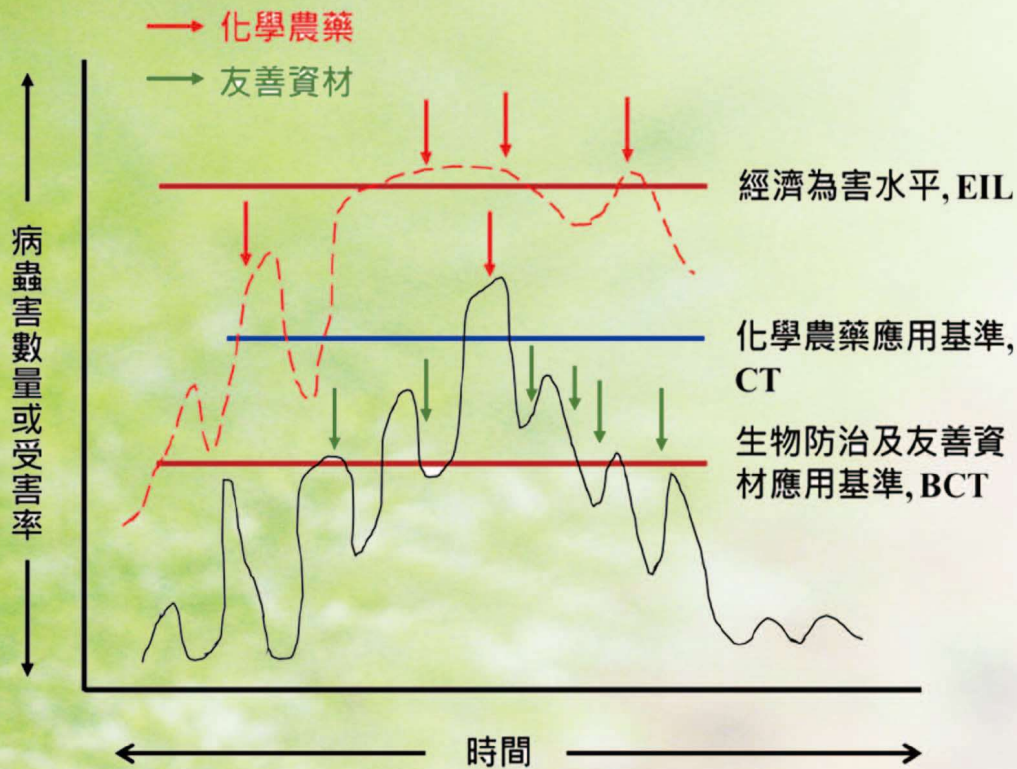
「If you're not monitoring, you're not performing IPM」
「若沒有做監測，就不是在執行IPM」



圖一、害蟲族群密度、作物受害情形及其與經濟限界之關係

IPM基本理論與觀念是當害蟲族群數量或病害罹病率到達ET值時，再採取使用農藥的防治措施，抑制病蟲害到ET值以下；田間若有某些病蟲害的發生，但尚未到達ET值時，通常建議不用採取任何防治措施，繼續監測即可。此觀念與決策的決定，是從化學農藥的角度為出發點。這也就是為什麼IPM可以減少化學農藥使用的理由之一，因為透過ET值可以在對的時間使用化學農藥，才不會盲目地一直使用化學農藥防治作物病蟲害，不僅增加成本，對環境生態也造成衝擊，加速抗藥性的發生，縮短化學農藥的使用壽命。

為了農業的永續性，農委會提出農藥十年減半的政策目標，鼓勵微生物農藥、費洛蒙的研發，並加速其登記的作業；另外，為了提高植物萃取物或可作為防治資材的化學品等友善防治資材的能見度與運用性，農委會防檢局另闢「免登植物保護資材」登錄審核系統及產品專區，提供多元化的友善植保資訊給農友選用。這類資材的防治效果大部分都無法與化學農藥的速效相媲美，也是應用面的缺點。為使這類友善防治資材能夠發揮其防治效益，筆者認為ACT或CT的應用應該分為二部分，(1) 決定病蟲害管理措施方法的選擇，(2) 化學農藥施用的時機，亦即在執行IPM時，應該至少要有二條防治基準(圖二)，一為生物性植保資材運用的閾值(Biological control threshold, BCT)，另一為化學農藥運用的閾值(Control threshold, CT)。第一條(BCT)用以決定採取生物防治、友善資材的使用時機，第二條是化學農藥的使用時機。因此，筆者對IPM的「預防」、「監測與評估」及「干預」等3項架構的意涵做了些微的調整，如圖三所示。



圖二、IPM二階段防治基準概念圖

預防 Prevention

- 加強檢疫。
- 對低度發生的作物病蟲害，以柔性防治手段（採用友善資材）為主，竭盡所能防止或減少害物發生率，以避免啟動干預的防治手段。

監測和評估 Monitoring and Evaluation

- 有系統地查驗作物及其周圍是否有病蟲害的發生，並提出最適當的干預決策。
- 監測為了預測或預警，以作決策之用。
- 監測與紀錄的保持是IPM計畫不可或缺的資料。

干預 Intervention

- 強烈防治手段為主，以顯著降低病蟲害的發生率，保護農產品一定的生產量或產值。
- 依據監測資料指出已達防治行動門檻時所採取的防治手段。

圖三、IPM策略架構與意涵

IPM之應用技術

(一) IPM之原則

執行IPM原則上有6個步驟，「監視」、「診斷與鑑定」、「監測」、「選擇適當的防治方法」、「防治效果評估」、「教育訓練」，其意涵請見圖四之說



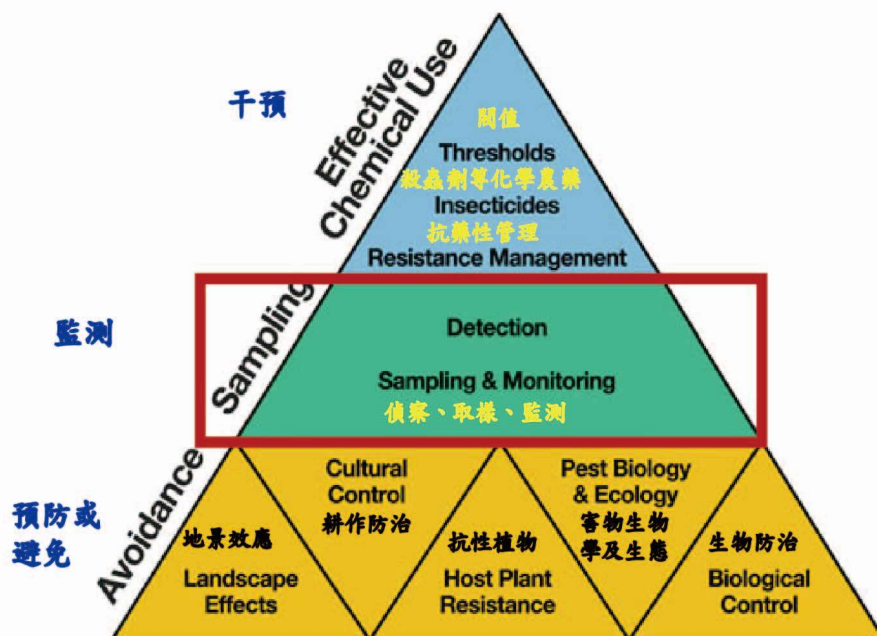
圖四、執行IPM計畫的6個步驟

(二) 防治技術

病蟲害防治技術大致上可分為下列7項。

- 1.耕作防治：抗病或抗蟲品種、輪作作物種類與土傳性病害之關係、田間衛生如清園、種植前施肥種類、種植期間施肥調整(施肥不當可能會加速病害的發生或生理病害)、修枝去葉通風好，可減少小型昆蟲蟎的密度，尤其葉蟎類。灌水或淹水(如淹水3-7天後可降低黃條葉蚤的密度)。
- 2.物理防治：土壤蒸氣消毒、燈光誘捕、黃色或藍色黏紙之懸掛(監測及防治小型昆蟲)、套袋(保護果實減少瓜果實蠅的為害)、隔離網罩(減少小型昆蟲的入侵的機會)。
- 3.生物防治：捕食性天敵如瓢蟲、草蛉、小黑花椿象等(建議先瞭解防治害蟲蟎的

- 數量，通常釋放量至少為害蟲蟻密度2-3倍)。寄生性天敵如小繭蜂防治小菜蛾幼蟲、赤眼卵寄生蜂防治玉米螟幼蟲、平腹小蜂防治荔枝椿象卵等。
- 4.微生物防治：應用微生物製劑產品如蘇力菌、核多角體病毒、白殭菌、枯草桿菌、液化澱粉芽孢桿菌、木黴菌等。
 - 5.費洛蒙及誘引劑的應用：費洛蒙如斜紋夜蛾、甜菜夜蛾、小菜蛾等性費洛蒙，建議作物定植於本田時即懸掛，監測與防治並行。性誘引劑之應用，甲基丁香油誘捕東方果實蠅，克蠅香誘捕瓜實蠅與東方果實蠅。食物誘餌之應用，瓜實蠅及東方果實蠅成蟲對蛋白質的需求高，故利用蛋白質水解物來誘引害蟲趨前取食，將這類化合物與殺蟲劑調配成毒餌如賜諾殺濃餌劑；無含毒之酵母抽出物產品如酵母錠也可作為防治資材。
 - 6.天然素材如免登記植物保護資材：天然素材是由天然環境中如植物、礦物、蝦蟹等而來的植物保護資材，不以化學方法精製或再加以合成的農藥，如菸草水、大蒜精、辣椒水、柑桔精油、苦楝油、脂肪酸鹽、皂素、亞磷酸、二氧化矽、高嶺土、壬酸等。
 - 7.化學防治：亦稱藥劑防治，就是利用化學農藥來達到降低害物危害的程度。化學防治是所有防治技術中使用率最普遍、最能被廣為接受的方法，但也是常造成食安、環境生態的問題。選擇化學農藥時，應依作物別及其防治對象之使用方法選用與配製施用，以免違規或超量使用化學農藥。請至農藥資訊服務網或植物保護資訊系統網站查詢登記農藥種類及防治對象。為了延緩抗藥性的產生，應選用不同作用機制之農藥輪替使用。
- 利用金字塔方式呈現IPM架構與其防治技術應用之關聯性，使讀者可一目了然瞭解IPM觀念的應用(圖五)。

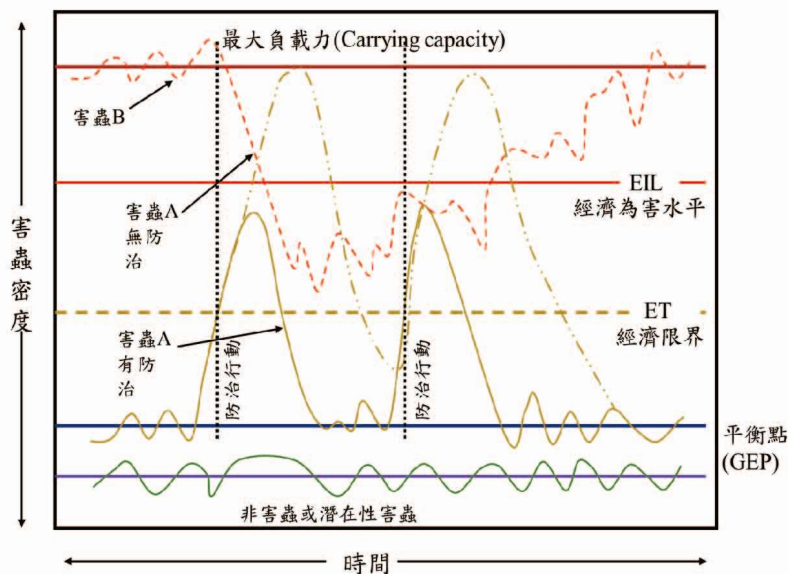


圖五、IPM計畫架構與其防治技術之關聯圖(Naranjo, 2011 from Fleischer et al., 2014)

(三) IPM二階段防治基準之應用

1.防治基準1-BCT：一般而言，微生物農藥及免登植物保護資材在防治病蟲害時的防治效果往往不如化學農藥的快又明顯，也是慣行農法的農民不偏愛選用的原因，如果改變選用時機，或許有機會表現出防治效果。例如假設皂素或脂肪酸鹽對蚜蟲的防治率為40%，當蚜蟲數量為100隻/葉時使用皂素或脂肪酸鹽，存活蚜蟲數為60隻/葉；當蚜蟲數為30隻/葉時使用，蚜蟲存活數為18隻/葉；假設蚜蟲族群增長速率(r)為0.2/天，以 $N_t=N_0e^{rt}$ 公式計算下一個時間蚜蟲族群數量。7天後，存活60隻/葉者會增加為243隻/葉，存活18隻/葉者為73隻/葉，造成前者防治效果不彰，後者則有防治效果的結論。因此，建議在低密度或低發生時期可考慮使用這類的防治資材，使其發揮最大的使用效率。一般防治概念在考量農藥殘留問題下，通常在作物生長期使用化學農藥控制病蟲害的發生率，採收期才選用這類的低風險植保資材，如果病蟲害沒有控制得宜，後期選用這類植保資材，常常造成防治效果不彰，轉向化學農藥，賭上違規用藥的風險。

2.防治基準2-CT：以害蟲為例，害蟲族群密度在自然制衡因素控制下會維持一定密度上下波動，當害蟲密度到達一臨界值時，所投入的防治成本已無法減輕作物的損失，亦即無利潤可言，該臨界密度被定義為經濟為害水平(Economic injury level, EIL)。為了避免害蟲族群密度增加至經濟為害水平而必須採取防治措施的族群密度臨界值，稱之為經濟限界或經濟閾值 (Economic threshold, ET)(圖六)。害蟲族群密度在ET以下時，表示該密度下所造成作物的經濟損失是我們可以接受或忍受的範圍，故可以不必採取殺蟲劑噴施等較強烈的防治措施，藉由自然制衡的力量予以控制即可或使用其他可以調節害蟲族群密度的措施，例如性費洛蒙、黃色黏紙、生物天敵、微生物農藥、免登植保資材等。



圖六、害蟲族群變動與害蟲防治時機之概念

3. BCT與CT交互應用：何時機選用微生物農藥及免登植物保護資材進行防治？何時機適合選用化學農藥？如果沒有習慣做病蟲害發生的監測紀錄及用藥紀錄，就無法取得相關資料，加以分析及評估用藥時機與防治效果，稍不注意，可能錯過最佳防治時機，導致防治效果不佳。因此，建議在巡田時觀察作物受害情形，並且給予量化，例如有蚜蟲的葉片佔10%或30%，或蚜蟲數量等級(1: 10隻/葉以下, 2: 10-30隻/葉, 3: 30-50隻, 4: 大於50隻)等。假設有蚜蟲的葉片比例佔12%，使用皂素後蚜蟲數量減為5%；如果有蚜蟲的葉片比例佔40%，使用化學農藥防治後，蚜蟲數量減為15%，為了控制族群數量的增長，建議再施用皂素或脂肪酸鹽等資材，使蚜蟲數量維持在10%以下，或釋放瓢蟲或草蛉等天敵控制蚜蟲的數量。亦即在害物危害率較低(BCT)時施用微生物農藥及免登植物保護資材，一旦對作物生產量有明顯威脅時，則採取化學農藥防治，先降低害物的發生率，再運用天敵或微生物農藥及免登植保資材抑制害物在可忍受的範圍內波動。此為筆者參考國外運用生物防治的防治基準觀念，提出IPM二階段防治基準的建議，期能讓微生物農藥及免登植保資材與天敵的應用更有發揮的空間，以減少化學農藥使用的頻度，朝農藥減量目標邁進。輪替使用不同作用機制的化學藥劑可減緩抗藥性的產生，未來應也可以考慮與友善植保材輪替使用，更有助於抗藥性的延遲發展。殺蟲劑抗藥性行動委員會(Insecticide Resistance Action Committee, IRAC)於2020年新增不同殺蟲劑的作用機制(表一)提供輪替用藥參考。

表一、殺蟲劑及殺蟎劑之作用機制(IRAC)分類表

IRAC	作用機制(化學分類)	有效成分(藥劑普通名)
1A	乙醯膽鹼酯酶抑制劑(胺基甲酸鹽類)	丁基加保扶、加保扶、納乃得、加保利、硫敵克、滅賜克、毆殺滅、覆滅蟎、免扶克等
1B	乙醯膽鹼酯酶抑制劑(有機磷劑)	馬拉松、巴拉松、陶斯松、大滅松、佈飛松、三落松等
2B	γ -胺基丁酸氯離子通道拮抗劑(苯吡唑類)	芬普尼、益斯普
3A	鈉離子通道調節劑(合成除蟲菊)	百滅寧、第滅寧、亞烈寧、賽滅寧、福化利、芬化利、賽扶寧、護賽寧、賽洛寧、畢芬寧等
4A	尼古丁乙醯膽鹼受器競爭性調節劑(新尼古丁類)	可尼丁、益達胺、亞滅培、達特南、賽速安、賽果培

5	尼古丁乙醯膽鹼受體異位調節劑(放射菌類的衍生物 (spinosyns))	賜諾殺、賜諾特
6	谷氨酸門控氯離子通道異位調節劑(放射菌類的衍生物 (avermectins))	因滅汀、阿巴汀、密滅汀
7A	青春激素模擬(青春激素類似物)	美賜平
7B	青春激素模擬	芬諾克
7C		百利普芬
8A	雜類非專一或多重作用部位抑制	溴化甲烷(禁用)
8B		氯化苦(禁用)
8C		硫醯氟(未登記)
8D		硼砂(未登記)
8E		吐酒石(未登記)
8F	雜類非專一或多重作用部位抑制(異硫氰酸甲酯產生劑)	邁隆
9B	弦音器調節劑	派滅淨
10A	蟎類生長抑制劑	合賽多、克芬蟎
10B		依殺蟎
11A	蘇力菌	庫斯蘇力菌、鮎澤蘇力菌
11B	球型桿菌	<i>Bacillus sphaericus</i> (未登記)
12A	粒線體 ATP 合成酶抑制劑	汰芬隆
12B	粒線體 ATP 合成酶抑制劑 (有機錫類殺蟎劑)	芬佈賜
12C	粒線體 ATP 合成酶抑制劑	毆蟎多
13	干擾質子梯度分解氧化磷酸化反應	克凡派
14	尼古丁乙醯膽鹼受體通道阻	免速達、培丹、硫賜安

15	幾丁質合成抑制劑第 0 類 (苯甲醯尿素類)	二福隆、克福隆、氟芬隆、得福隆、祿芬隆、諾伐隆
16	幾丁質合成抑制劑第 I 類	布芬淨
17	雙翅類脫皮干擾劑	賽滅淨
18	脫皮激素結合劑(二醯基聯氨類)	可芬諾、得芬諾、滅芬諾
19	章魚胺受體結合劑	三亞蟎
20B	粒線體複合物 III 電子傳遞抑制劑	亞醯蟎
21A	粒線體複合物 I 電子傳遞抑制劑	芬殺蟎、芬普蟎、得芬瑞、畢汰芬、畢達本、脫芬瑞
21B		魚藤精
22A	神經傳導電壓相關鈉離子通道阻斷劑	因得克
22B		美氟綜
23	乙醯輔酶 A 羧化酶脂肪合成抑制劑	賜派芬、賜派滅、賜滅芬
24A	粒線體複合物 IV 電子傳遞抑制劑	好達勝
25A	粒線體複合物 II 電子傳遞抑制劑	賽芬蟎
28	魚尼丁受器調節劑	剋安勃、氟大滅、賽安勃
29	弦音器調節-未定義作用標的	氟尼胺
30	γ -胺基丁酸氯離子通道異位調節劑	Broflanilide(未登記)、Fluxametamide(未登記)
31	桿狀病毒	核角多體病毒、顆粒體病毒
32	尼古丁乙醯膽鹼受體異位調節劑 II	尚未登記
Un	未知或不明確作用機制	印棟素、苯甲酸鹽、新殺蟎、蟎離丹、必芬蟎、大克蟎、硫黃、石灰磺黃
UNB	細菌類(非蘇力菌類)	未登記
UNE	植物萃取或精油類	脂肪酸鹽、苦楝油
UNF	蟲生真菌	白殭菌、黑殭菌、擬青黴菌

資料來源：許如君, 2018；IRAC, 2020



結語

維護農業生態系的穩定是農業永續經營的策略，而生物多樣性是維持生態系穩定的因子之一。害物整合管理雖以生態學為基礎，但經濟的考量是防治時機最重要的考量點。害物防治策略是為了除去或減緩已存在或具潛在危險的病蟲害所制定的防治計畫，該策略內涵包括病蟲害與作物的生命系統，亦即減少害物存在的狀態，提升作物生產量。

過去作物病蟲害防治多習慣以單一害物為考量，例如水稻褐飛蝨、稻熱病；甘藍小菜蛾、茄子南黃薊馬等，若從作物角度出發，則應從共同防治技術應用之整合管理為首要管理模式。所以，現代化的害物整合管理，不再完全依賴習慣及經驗，必須以科學方法來決定管理策略和防治技術的實施。在面對不同作物，不同害物的防治時，應考慮其各別可運用的防治方法，再採取聯合防治措施，應避免盲目投「藥」的行為。否則，不但無法解決眼前的問題，對農業永續的經營是毫無助益的。大自然生態平衡系統是因人類自己的需要而被破壞，也只有用人類自己的力量去創造適合我們自己需要的平衡系統，才是真正的解決之道。

參考文獻

Fleischer S.J., Hutchison W.D., Naranjo S.E. 2014. Sustainable Management of Insect-Resistant Crops. In: Ricroch A., Chopra S., Fleischer S. (eds) Plant Biotechnology. Springer, Cham