

合理有效使用殺蟲劑

謝再添 蘇文瀛*

台中縣霧峰鄉 行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所農藥應用組

摘要

謝再添、蘇文瀛 2004 合理有效使用殺蟲劑 植物保護學會特刊 新 6(植物保護新策略研討會專刊)：193-205

本文內容主要整理有關殺蟲劑之使用應兼顧有效、合法及合理，合法部分非技術研究之範疇，但如何讓殺蟲劑有效地使用且合理，吾人認為首重對殺蟲劑化學特性及目標生物特性之了解掌握，演繹出殺蟲劑與目標生物之間交互作用之關係如殺蟲劑在生物體內之被吸收、分佈、接收、貯存鍵結及代謝排出等關係，其次就是評估殺蟲劑對目標生物之毒性，毒性之評估必須包含室內之毒效及田間藥效評估兩項，同時謹慎地利用殺蟲劑對害蟲生理或生態上之選擇以毒殺之，至於合理地使用殺蟲劑必須顧慮到對環境眾生物之衝擊、不良之副作用，盡量避免殺蟲劑之使用對環境造成不可回復之衝擊影響，同時兼顧對生物天敵及其他非標的生物之保護，另外為使用者安全及環境之永續經營，對於具安全劑型之殺蟲劑及生物農藥應善加利用。

(關鍵詞：殺蟲劑、藥效、合理使用)

緒言

從 1940 年 DDT 被引入並廣泛使用以後，化學防治迄今仍在植物保護實務上扮演一主要的角色，乃因為其速效、使用簡便，操作方法容易及花費不高。廣效性殺蟲劑之能大行其道，主要有兩個原因：一、單一殺蟲劑施用就可以消滅掉作物上多種的害蟲，十分符合耕作勞力支出之經濟原則，二、使用此種藥劑殘效長，致使昆蟲經由接觸及餵毒兩種方式獲毒者，幾乎無法再行危害，故當初使用者的感覺就是快速有效；但是因為廣效性藥劑施用並未顧及其對環境是否合理，包括對一些有益昆蟲如捕食者，瓢蟲、草蛉；寄生性天敵如卵寄生蜂或傳授花粉熊蜂、蜜蜂等之消滅。

殺蟲劑顧名思義即指一群可用來殺死昆蟲的化學品的總稱，而其殺蟲的機制可依毒殺的特性分為：接觸毒殺、系統性及胃食毒性殺蟲等三大類。當然經由一些重要害蟲對作物造成經濟上或社會上之損害是十分明顯的，針對這些重要害蟲，近 50 年來，人類不停發展高效之殺蟲劑來壓制這些害蟲族群，但隨著這些重要害蟲對殺蟲劑陸續產生抗藥性及伴隨一些殺蟲劑對環境造成衝擊損傷被發現後，人類更需要繼續研發更有潛力、對害蟲更具專一選擇毒性、對環境衝擊性及哺乳動物毒性低之殺蟲劑問世。故如何將殺蟲劑有效地應用於目標生物且又合理地保護其他非標的生物，乃本文闡述之重點，下面就如何有效及合理使用殺蟲劑，提供一些個人之淺見供參考。

如何有效地應用殺蟲劑應掌握下列一些原則：

壹、殺蟲劑的理化特性之掌握了解

在使用殺蟲劑前，如果能對該有效主成份的理化特性諸如：在水中之分解情形，在酸鹼不同環境下之分解狀況，對光之敏感性(光分解性)，對高低溫之安定分佈及對目標生物之生理毒效機制等有關資料如能掌握愈多，愈有助於使用者發揮此殺蟲劑之功效。下面以合成除蟲菊殺蟲劑為例作簡單說明：

合成除蟲菊主要源自除蟲菊素(Pyrethrins)：一種由天然菊花(*Janacetum cinerariae-folium*)萃取而來之殺蟲主成份。第一個商品化之合成除蟲菊出現於 1978 年之芬化利(Fenvalerate)，而今這一族(group)內已有 42 種不同主要有效成份上市使用，有部分還是同分異構物，同樣的分子式(量)只是官能基之立體結構之位置不同罷了(如芬化利、益化利是芬化利之同份異構物之一種)。此類化合物大部分屬高極性物質，其 $\log P$ (辛醇/水分配係數)值介於 4.68-6.97 之間，具低揮發性之特性，容易受到紫外線光之影響而分解，少部分化合物具高分解特性也有較佳之揮發性之合成除蟲菊被利用於家居害蟲之防治。

對害蟲之生化作用機轉：合成除蟲菊酯屬接觸及胃毒作用之非系統性殺蟲劑，部分主成份具有使害蟲拒食或厭食之作用，如畢芬寧(Bifenthrin)及第滅寧

(Deltamethrin)，此類藥劑在植物表面具有良好殘效力，其在低劑量可使對象害蟲中毒，主要是由於此類化合物作用於昆蟲中央或周圍神經膜系統，特別是對神經膜中正價鈉離子(Na^+)之控制，如模擬神經膜開啟或關閉正電荷鈉離子之門戶，可能導致使神經突觸去電荷→去極性→最後導致昆蟲神經膜管道累積太多鈉而死亡。

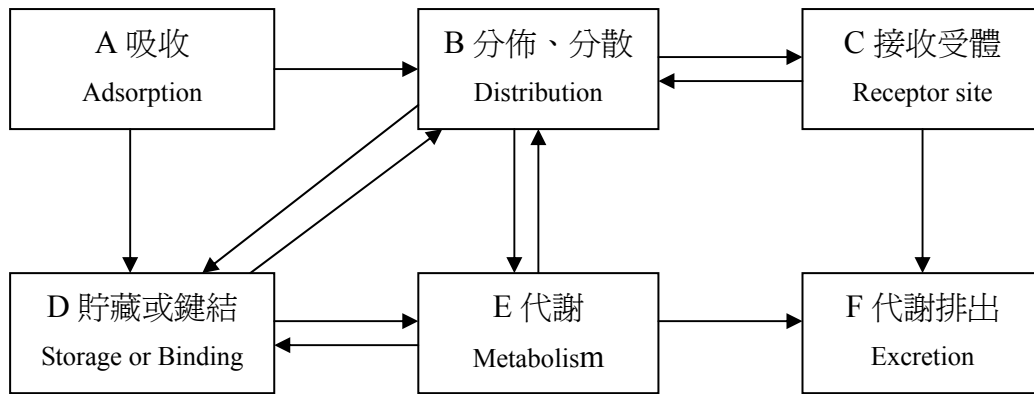
合成除蟲菊類殺蟲劑依據化學結構官能群可分成兩類：

第一類含酯基之合成除蟲菊：此類殺蟲劑約佔所有上市之合成除蟲菊八成以上，主要代表有芬化利、賽扶寧、賽滅寧、百滅寧、畢芬寧、第滅寧及賽洛寧等藥劑，此類化學藥劑之 Log P 均高(平均在 4.2-6.9 之間)脂溶性高，水溶性低之 A.I.，對於光線之安定性不甚穩定，對掌異構物多，如賽滅寧就有 8 個對掌異構物；在鹼性環境不安定，在微酸環境較安定。

第二類含醚基之合成除蟲菊類，此類為新屬之化合物，代表之殺蟲劑有：依芬寧(Etofenprox)、合芬寧(Halfenprox)及矽護芬(Silafluofen)，由於此系列化合物係以醚基替代酯類官能基，故對酸、鹼或光度均較不敏感，也較不易被生化物質分解(如：水解)，故昆蟲要代謝分解它僅侷限於氧化過程分解(如單一氧化酶或多功能氧化酶去分解)。例如依芬寧(Etofenprox)在酸鹼介質中 80°C 可以保持超過 100 日之安定；對光之安定性，譬如同樣情況下亞烈寧(Allethrin)對光之半衰期約 0.5 小時，則依芬寧對光之半衰期約為亞烈寧 6 倍之多。如能適切地掌握殺蟲劑之化學特性再行殺蟲，應可達事半功倍之藥效發揮。

對目標生物特性及其與殺蟲劑間之交互作用關係之掌握了解

不同種類之昆蟲為害農作物之方式亦不同，常見的鱗翅目害蟲(常見者有斜紋夜盜、玉米螟、水稻瘤野螟等)，以咀嚼方式為害作物，同翅目害蟲(如蚜蟲、介殼蟲或粉蝨)則以刺吸方式為害作物，另有繭翅目害蟲(如南黃薊馬、小黃薊馬等)則以銼吸式為害作物，殺蟲劑必須針對其為害特性作成不同的型態如噴灑用途之乳劑、溶液、水懸劑、可濕性粉劑、可溶性粉劑及水分散性粒劑，水基性乳劑與供直接使用之粒劑、膏劑等。例如防治土壤性害蟲，可以考慮將藥劑製備成粒劑或高濃度液劑，但以粒劑使用之效果較佳且方便；又如蚜蟲、椿象等具刺吸式為害之昆蟲，可考慮選擇具有系統性之殺蟲劑製備具高滲入性之劑型防治介殼蟲木蝨或粉蝨等類害蟲，由於其擅於分泌蠟質保護，此時殺蟲劑可以考慮將主成份製備成具高滲性之乳劑，藥效較佳。再如玉米螟之為害習性為成蛾將卵產於玉米葉上孵化之幼蟲直接由花穗或心葉處鑽入為害，故防治此害蟲必須在此生物之幼期發生前，將殺蟲劑直接施用於其為害入口處，如此配合害蟲危害行為施用殺蟲劑，實為增加殺蟲劑使用要藥效之一利器。



圖一、殺蟲劑與目標生物間交互作用之關係圖(引自李⁽¹⁾)

Fig.1. The interaction diagram between insecticide and target organism

圖一主要敘述殺蟲劑作用於目標生物後，他們之間可能產生之交互作用反應，包括以下幾項：

- A 吸收途徑 (1)由氣孔、氣管體壁接觸獲得
 (2)由口取食獲得
 (3)由刺吸汁液中獲得

A→B 隨著開放式循環系統或呼吸系統將殺蟲劑攜帶至體腔內部。

B→C 運送至殺蟲劑目標作用區

C→B 未找到適合之目標作用區(殺蟲致死)

B→D 運送至體腔內貯存或鍵結於組織中

D→B 無法貯存或鍵結該化合物

B→F 代謝排出(解毒或避毒)

B→E 運送至相關部位作代謝反應

D→E 貯藏或鍵結後進入代謝作用

E→D 無法代謝作用之物質又回復貯存或鍵結狀態

C→F 接收受體不反應直接代謝排出

E→F 代謝解毒排出

貳、建立殺蟲劑對害蟲毒性評估系統

殺蟲劑對目標害蟲之毒效評估乃建立在使用量(如劑量、濃度)與害蟲死亡率之關係上，固然同一使用量對同一害蟲之不同個體之反應不盡一樣，這是因為生物本身有其個體上之差異，但測試中有兩種使用量必須盡量避開：一是完全無效的全數存活或與空白對照之存活率相當之情形，二是滅絕式的全數死亡之施用濃度；前者會造成使用殺蟲劑失去意義，後者會導致用藥的浪費產生。因此殺蟲劑對害蟲之毒效評估系統必須謹慎且需重複測試以達其施用劑量(或濃度)與目標害蟲之反應(致死率)有其代表性存在。一般毒性評估可概分兩種，分述於后：

一、室內毒性評估

殺蟲劑對目標生物之毒性基本資料主要係建立在室內毒性評估，其評估方

式乃是依據供試藥劑不同濃度(或劑量)之藥液造成供試昆蟲之反應關係所得之觀測值代入對機數分析(Probit analysis)之數學模式中，經由數學模式分析獲得一線性方程式如 $y = ax + b$ 其中 y 代表供試生物群對供試藥劑之反應，一般以死亡率作代表， x 代表供試藥劑之劑量(或濃度)；至於 a 、 b 分別代表此線性方程式之介量，其中 a 為斜率，可顯示該迴歸直線坡度是平緩抑或陡峭之程度， b 為截距，當 $b=0$ 時表示不施藥對照區之自然死亡率為零，相反地若 b 不等於零時表示不施藥對照區仍有自然死亡率存在；當不同濃度之供試藥液造成供試生物不同之反應時，吾人首要在於檢視死亡率與濃度(或劑量)之間的線性關係是如何的，一般以相關係數 R 作為檢視之標準，由於生物個體間差異明顯，一般 R 值 ≥ 0.85 即可被接受是一具線性之模式反應。依據此模式吾人可推算要造成供試生物百分之五、百分之五十或百分之九十五致死率所需殺蟲劑之濃度(或劑量)之計算值，另外依據此模式之斜率值吾人亦可判估供試害蟲族群對於該殺蟲劑之反應是屬於敏感級抑或鈍化級，且田間用藥濃度之初步估算亦可從此模式演繹而得。

二、田間藥效評估

田間藥效評估除了執行對目標生物之藥效外，更重要的是評估該藥劑對施用作物是否會造成傷害？一般言，田間藥效因涉及較多變數包括非生物因子之下雨、日照、水質(硬度或酸鹼度)、溫度及生物因子如分泌物之掩蔽或作物上其他生物之交互作用等，故所得之藥效不一定會與室內毒性評估一樣，基本上助力大於阻力藥效就變強，阻力大於助力藥效就變差。

殺蟲劑透過室內毒性與田間藥效評估後，吾人對其使用藥效之發揮可能之優缺點方可列出清單加以比較，如此對藥效之發揮才有實質之助益。

叁、謹慎地利用殺蟲劑之選擇性

選擇最佳的殺蟲劑作為植物保護資材是害蟲管理非常重要的一項決定，藥劑對標的害蟲之毒效愈專一，對於天敵等非目標生物之不良影響就愈小。在歐洲地區有些研究機構如比利時之 Biobest Comp. 及英國之 Koppert Comp. 等公司於幾年前就開始於室內或田間嘗試建立一系列殺蟲劑對目標害蟲之生物天敵之相對毒性資料；任何可能時間，殺蟲劑被使用之前提是對哺乳類動物之毒性要低，因此對哺乳類動物具高毒性之有機氯劑或有機磷劑等使用中之殺蟲劑將會逐步被淘汰。殺蟲劑最常透過差異毒性殺蟲表現其選擇性⁽²¹⁾，而其選擇性殺蟲可以經由下列幾種方式達到：

生理上之選擇殺蟲

利用殺蟲劑化學構造中某些殺蟲官能基對目標害蟲之特異性(specific)，而達其選擇殺蟲，如：派滅淨(pymetrozine)對同翅目(Homoptera)昆蟲具有較專一之毒性可能係該化合物對只存於同翅目昆蟲之某些酵素或激素具抑制生合成作用之故；如合賽多、克芬瑞及依殺瑞等藥劑對葉瑞類生物之卵具專一毒效，對葉瑞其他時期及捕食天敵之成蟲則無毒；又如昆蟲生長調節劑主要有兩類：一是幾丁質

合成抑制劑—此類以二福隆(Dimilin)為代表，其生理生化機制為當昆蟲要脫皮時該類藥劑會促使外表皮層將內皮層組織扯掉，結果讓昆蟲脫皮後新體壁無法形成其作用都發生在成長期如幼蟲或若蟲身上居多⁽¹⁴⁾。一是類青春生長激素—此類以得芬諾(Tebufenozide)為代表，屬一抗脫皮素其化學結構類似脫皮激素：20-烓基脫皮酮，其生理生化機制為：與脫皮酮受體蛋白質鍵結⁽²⁴⁾，使幼蟲出現致命性之早熟或衰老而亡。此藥劑對鞘翅目捕食性天敵成蟲及捕植瑞無毒害，Pfeiffer 等人⁽¹⁸⁾發現以此藥劑處理區之潛葉蛾被寄生蜂寄生之情形遠大於對照區。另一藥劑合芬隆(Halofenozide)亦是抗脫皮素據研究發現在濃度 3ppm 下就可毒殺日本金龜子(*Popillia japonica* Newman)之幼蟲⁽⁵⁾。

生態上之選擇性殺蟲

基本上害蟲種類從空中飛的、水上游的、路上走的等各式各樣都有其時間、空間之可利用性，例如在作物田四週噴灑殺蟲劑以殺掉外面可能入侵之其他害蟲，當然也可以在其他棲息植物或誘引植物上噴殺蟲劑以最經濟之方式降低害蟲之危害；至於時間之選擇殺蟲，如利用生物天敵或其他非標的生物尚未出現於作物田時，施用廣效性之殺蟲劑防治大部分之可能害蟲之初步危害⁽¹⁷⁾。

表一¹⁾、單獨或綜合系統性殺蟲劑與東方蚜小蜂處理對銀葉粉虱 2-3 齡若蟲羽化之影響效應

Table 1¹⁾. Single or combined effect of systemic insecticides and *Eretmocerus orientalis* on the 2-3 instar nymphs of silverleaf whitefly, *Bemisia argentifolii*.

Treatment ²	Control rate [%, (SD)]		
	No. of nymphs of 2-3 instar		
	200	300	400
A	31.8(5.6)	32.7(6.2)	35.8(4.2)
B	55.3(3.9)	62.2(4.7)	60.4(3.6)
C	28.7(5.2)	29.8(4.8)	30.5(3.9)
D	42.8(4.7)	41.8(5.0)	37.9(4.7)
E	35.8(3.8)	33.7(4.2)	28.7(4.9)
A+E	81.8(3.3)	72.4(4.2)	75.5(5.1)
B+E	88.3(4.2)	82.8(3.9)	80.8(4.6)

¹⁾: These data have not previously been published in any journal.

²⁾: A: Imidacloprid 0.5g/plant, B: Imidacloprid 1.0g/plant, C: Fipronil 0.5g/plant, D: Fipronil 1.0g/plant, E: 40 adults of *E. orientalis* in 48 hrs. of net house

表一顯示，結合系統性殺蟲劑益達胺粒劑型態與東方蚜小蜂之釋放施用於聖誕紅植株對銀葉粉蝨若蟲之防治率約 72.4%至 88.3%，高於單一系統性藥劑之防治率(28.7-62.2%)及單一寄生蜂之生物防治率(28.7-35.8%)，此亦是利用施藥技術選擇殺蟲及配合生物防治殺蟲之一實例。

合理應用殺蟲劑應注意下列事項

壹、避免殺蟲劑對環境產生衝擊

殺蟲劑基本上是一種殺生劑(biocide)，譬如有機磷類殺蟲劑對哺乳類動物之毒性範圍大，其LD₅₀可以低至 1mg/kg至相當大量之範圍均有，另一類有機氯殺蟲劑在環境中異常安定不易消退，其在環境中消退時間可能須時好幾年，但其他的殺蟲劑如胺基甲酸鹽類則其半衰期有數小時至數日之間。從國內或國際間愈來愈多的壓力在於殺蟲劑新品要登記必須提供該藥劑對人、老鼠、魚、水生蝦類、植物或其他指定生物之急毒性資料及有關該藥劑在環境之行為。不管如何，這些資料也只顯示，該藥劑對部分特定生物之可能田間毒性，對大部分殺蟲劑而言，沒有辦法針對環境中無數未測試之生物作所有一系列之毒性資料。

近年來殺蟲劑對不同生物之毒性預測模式似乎有較大的進步，主要是利用該化學品對目標生物之毒性及環境行為資料如化學品之化學結構式、水溶性、蒸氣壓、辛醇/水分佈系數等資料之建立⁽¹⁶⁾；Edwards等人⁽¹¹⁾利用小型生態系技術預測殺蟲劑在土壤中之環境效應；Metcalf⁽¹⁵⁾使用水域生態系模式預測殺蟲劑在水域環境之效應。以下就殺蟲劑對環境中特定之生物之影響分述如下：

對微生物的影響

微生物在環境中分佈是無所不在，如以不同型態存在空中、水中、土壤中，其多樣性導致要評估殺蟲劑對其影響幾乎是不可能的，更有甚者，環境中生存之微生物有一些是能夠利用許多殺蟲劑作為其食物來源，事實上微生物在環境中扮演的是殺蟲劑之分解者角色。

人類對於水域中與土壤中之微生物的生態亦所知不多，故要評估殺蟲劑對此類微生物之影響是困難的。顯然微生物可以利用許多物質作為其食物來源，除非殺蟲劑特性是殘效性長，可能會抑制微生物之發展外，一般短暫的接觸或殘效性短之殺蟲劑對微生物之影響是短暫的(其族群約 2-8 週即可恢復)。

對土棲性非脊椎生物之影響

由於生長在土壤或土表層上之非脊椎生物種類十分複雜多樣，吾人主要關注殺蟲劑對土棲性昆蟲有益生物或捕食生物之影響資料；一般而言，作用對象愈廣泛之殺蟲劑對有益生物之毒殺影響就愈大。對於土棲性非脊椎生物之生物學與生態學之資料收集相當少。

Thompson及Edwards⁽²³⁾曾將殺蟲劑對土壤中及水域中非脊椎生物之影響作

一回顧性的探討，由於非脊椎生物相非常多樣性，要概括殺蟲劑對個別種類之急毒性是十分困難。

(一)、線蟲

大部分土壤中均存有大量的線蟲，主要包括兩種：一是植食性線蟲：以植物地下部組織為食者；二是腐食性線蟲：以土壤中腐植質為食者，一般而言，線蟲對殺蟲劑不敏感，鮮少殺蟲劑對線蟲有直接的毒效，但有些報告指出殺蟲劑對蟲生線蟲等捕食寄生者有間接的毒效，可能導致受線蟲寄生之土棲性害蟲之族群數增加⁽²⁶⁾。

(二)、璫類

不管地上或地下都有大量璫類生物存在著，不同種類的璫類對殺蟲劑的感受性亦差異很大，大部分活躍的捕植璫對殺蟲劑之敏感性較遲緩活動且以腐植質為生之璫類為高，故當密集使用殺蟲劑時，將會導致植食性之葉璫(紅蜘蛛)族群之快速增長。

(三)、彈尾目昆蟲

這些昆蟲絕大部分生長在土壤中，他們對大部份殺蟲劑均敏感，但至於他們對不同殺蟲劑之敏感程度並沒有文件記錄，故十分難以評估殺蟲劑對此類生物之影響。當彈尾目昆蟲活躍程度似與他們對殺蟲劑之敏感性有強的正相關性存在。當使用有機氯及有機磷殺蟲劑時，有許多報告報載可以增長彈尾目昆蟲之族群量，可能是此類殺蟲劑抑制該昆蟲之捕食性天敵-中氣門蜘蛛形網生物之故。

(四)、蚯蚓

蚯蚓可能是土壤中分解有機質及維持土粒結構與肥力最重要生物之一，由於它們對土壤的重要性如此之高，因此研究人員常將蚯蚓列為土壤是否被污染之指標生物⁽⁹⁾；因此殺蟲劑對蚯蚓之急毒性資料被研究發表就多於其他土壤性生物⁽¹⁰⁾，殺蟲劑對蚯蚓有急毒效應者包括：巴拉松(Parathion)、福瑞松(Phorate)、得滅克(Aldicarb)、免敵克(Bendiocarb)、免賴得(Benomyl)等藥劑，研究亦發現所有胺基甲酸鹽類殺蟲劑對蚯蚓之毒性均很強。

(五)、蛞蝓

蛞蝓由於其身體可分泌黏液保護其個體故所有殺蟲劑除了滅賜克、聚乙醛外對此類生物均不具毒效，不管如何，有些親脂性之殺蟲劑如有機氯劑可藉由生物濃縮效應而沉積於蛞蝓組織中，又如胺基甲酸鹽之得滅克(Aldicarb)及有機磷劑之大利松(Diazinon)可能間接影響部分鳥類(取食蛞蝓)因此中毒。

(六)、昆蟲

土壤中之昆蟲包含植食性昆蟲、肉食性昆蟲及以有機質為食之腐食性昆蟲

三類，這些昆蟲對殺蟲劑因其棲所及食物關係表現出相當不同之敏感度；殺蟲劑一般而言對肉食昆蟲較不太愛動之腐食性昆蟲為毒，因此經常施藥區亦會導致一些植食性昆蟲族群增長。

許多殺蟲劑會毒殺空中的昆蟲，包括蜜蜂，蜜蜂是一重要有益生物，不僅可以產蜜供應人類取用，在農業上蜜蜂亦是作物間傳花授粉者，故殺蟲劑在註冊登記應用於蜜源植物時必須詳細提出其對蜜蜂之急毒性資料，以供審查是否同意其應用於不同蜜源植物上。儘管如此，仍然無法避免因現行殺蟲劑之使用而導致蜜蜂於田間可能的死亡。

對水生非脊椎生物之影響

一般而言，水生無脊椎生物對殺蟲劑之敏感性較陸棲性非脊椎生物高，特別是該殺蟲劑是水溶性。透過呼吸氣孔的吸收，水生生物對暴露於殺蟲劑使用後致死劑量之獲得實在難以避免掉。

貳、保護生物天敵及其他非目標生物

過去殺蟲劑之使用都集中於對目標生物之毒效高否？忽略該藥劑的作用範圍是否廣泛？廣效性殺蟲劑有 2 個缺點：(1)主要害蟲或次要害蟲的其他天敵被消滅掉，造成害蟲在田間生物抑制因子不存在，一旦害蟲抗藥性品系產生，將會更囂張為害作物寄主。(2)即便主要害蟲被消滅掉，次要害蟲隨之而起變成主要害蟲繼續為害作物。鑑於此，如何保護生物天敵及其他非目標生物變成合理使用殺蟲劑十分重要之課題，以下幾點需要注意事項提供參考：

- 一、施用對害蟲毒性專一的殺蟲劑：儘量施用對生物天敵無毒或微毒之殺蟲劑，但對目標害蟲之毒性專一化，如昆蟲生長調節劑之應用於害蟲發育期如幼蟲、若蟲等時期之毒性專一，但對生物天敵之成蟲則屬微毒或無毒之化學藥劑，又如蘇力菌類之內毒素殺蟲劑對咀嚼式害蟲毒性專一，對寄生蜂類之生物天敵安全等均是符合此一要求項目之殺蟲劑。
- 二、透過殺蟲劑不同處理方式(技術)避開生物天敵等有益生物之接觸：最明顯如系統性殺蟲劑以粒劑直接施用於植物根系附近，由組織直接吸收運行後經由昆蟲刺吸中毒而達防治之效。
- 三、在合併施用生物防治前應避免使用長效性(不易消退)之殺蟲劑處理噴灑寄主植物。
- 四、使用具藥效但消退速率快之殺蟲劑：雖然有些殺蟲劑對天敵生物也很毒但由於其消退快(可在一、二天內消退至對天敵屬無毒或輕毒狀態)此時較易配合人工或從鄰園引入生物天敵作生物防治。
- 五、注意殺蟲劑以水合劑狀態噴灑使用時，其藥液霧粒會漂浮到非處理區(特別是有風吹狀況)而影響非處理區內之有益生物之存活，故儘可能以點施等直接施用藥劑為宜。

參、善加利用具安全劑型之殺蟲劑

劑型是影響藥效，施用安全及使用是否便利之重要因素，安全劑型並不是指其具有絕對之安全性，而是指其相較於改良前之劑型，對於施用者及環境具有較大之安全性。殺蟲劑在國內之劑型仍然以傳統粒劑、可濕性粉劑、水懸劑、乳劑及溶液為大宗。粉劑(P)、可濕性粉劑(WP)、水溶性粉劑(SP)為固態粉狀，容易造成粉塵飛揚、飄散，在施用時易對施用者之呼吸器官造成傷害，也會因隨風飄流污染至非目標之作物或生物上；而大多數乳劑藥液較易為人畜之皮膚吸收，所使用之有機溶劑即具有毒性，容易對作物造成藥害，這附加之溶劑通常閃火點很低，具有可燃性，不論是在產品的製造、運輸、儲存及施用時，均有失火的風險；另外此劑型之藥液若因處理不當而翻溢時，容易污染土壤而難以回收，施用後也會因溶劑揮發而造成空氣污染。近年來，由於科技發達及環保意識抬頭，歐美先進國家紛紛朝對非目標低毒低環境衝擊，使用者方便操作及安全有效之劑型開發，其趨勢包括：以水取代傳統乳劑中之有機溶劑，改良易造成藥害，對眼、皮膚及呼吸之刺激及毒性較高之乳劑為溫和水基乳劑(EW)或微乳劑(ME)；以水分散性粒劑(WG)，水溶性粒劑(SG)或水分散性片劑替代易造成粉塵危害呼吸器官之可濕性粉劑(WP)，一般粉劑(P)或水溶性粉劑(SP)，再加入微膠囊包覆技術，使主要成份可緩釋或控制釋放，除了增長藥效時間，減少用量外，因此可減輕環境衝擊及非目標生物之暴露量，降低被毒害的機會。

肆、多利用生物農藥於害蟲防治體系中

廣義的生物農藥包括較大型之生物天敵、微生物殺蟲劑、天然物、化學傳訊素及抗蟲基因轉殖作物等五項，為未來殺蟲藥劑可能繼續蓬勃發展之一方向，原因是此類植物保護劑具有低污染、高專一殺蟲特性及高環境一致性等特質。

表二¹⁾、介質土壤與矽藻土四種不同比例混拌對黃條葉蚤幼蟲之影響

Table 2¹⁾. Effect of four different weight ratio mixture between culture soil and diatomaceous earth on the larvae of stripped flea beetle, *Phyllotreta striolata* (Fabricius)

Treatment	Weight ratio (W/W)		Control rate [% (SD)]
	Culture soil	Diatomaceous earth	
1	35	65	85.4(2.5)
2	50	50	74.7(3.7)
3	90	10	27.9(2.6)
4	99	1	6.5(1.2)

¹⁾: These data have not previously been published in any journal.

表二即是利用天然物矽藻土(主要結構為二氧化矽)混拌培養土防治黃條葉蚤幼蟲於土壤生長發育之試驗，結果發現矽藻土之重量百分比由 1 至 65，其對黃條葉蚤幼蟲之防治率亦由 6.5% 到 85.4% 間呈正相關比例顯示矽藻土添加於介

質土壤中或可對黃條葉蚤幼蟲之控制提供另一有利之防治思考方向。

伍、昆蟲生長調節劑在害蟲防治上不宜過度使用

過去二、三十年來，昆蟲生長調節劑在害蟲整合防治系統(IPM)中扮演一流行產品，但實際上吾人對於其相關之潛在風險仍不得而知⁽²²⁾。昆蟲生長調節劑主要是干擾害蟲之內分泌系統，促使其無法正常生長與發育⁽⁸⁾，現有之昆蟲生長調節劑依據其作用機制可分為兩大類：一者為類青春激素：即化學結構與昆蟲體內之青春激素相似，可與其競爭取代並使青春激素失效；二者為幾丁質合成抑制劑，主要抑幾丁質合成激素之產生，促使害蟲脫皮過程無法完成而死掉^(12,19)。大體上，由於昆蟲生長調節劑之毒效大部份發生在害蟲之卵期，幼蟲或若蟲期或蛹期等發育生長階段，對於害蟲天敵之成蟲期一般而言是安全的，故昆蟲生長調節劑可以與生物防治互為搭配作整合性防治，但最近研究卻也發現有一些昆蟲生長調節劑對捕食性天敵具有毒性^(2,6,7)，另外由於合成化學殺蟲劑之使用也導致某些害蟲開始對昆蟲生長調節劑產生抗性^(3,4,13,20,25)。

總而言之，未來的時間，昆蟲生長調節劑不應被過度使用，它們應被視為整個 IPM 系統中一重要調節因子即可。

結語

植物、植食性害蟲、生物天敵及殺蟲劑等四者，殺蟲劑是前三者任一項之抑制者或保護者端視此化學品之化學特性、生物藥效及選擇專一性而定；未來隨著害蟲危害作物之多樣性及人類經營作物方式的改變，殺蟲劑之使用仍可能逐年增加，但使用殺蟲劑也可能導致環境生態遭到破壞，非目標生物遭受波及毒殺；因此近年來已有愈來愈多的毒物管制對象包括：對哺乳動物之急毒性強者，或具慢毒性如致畸胎、致癌或其他生殖毒性等副作用疑慮之化學品，而這其中也包括一部分的殺蟲劑；固然殺蟲劑之使用目的主要是在於控制目標害蟲之危害作物，增進作物產量收益，但如能兼顧對環境之安全或生物天敵等有益生物之保護，這應是未來殺蟲劑研發人員都應持續努力之目標。

引用文獻

1. 李國欽。2004。化學結構與生物活性之相關關係。農藥及植物保護知能研習講義 7-1。農業藥物毒物試驗所技術服務組辦理編印。
2. Biddinger, D. J. and L. A. Hull. 1995. Effects of several types of insecticides on the mite predator, *Stethorus punctum* (Coleoptera:Coccinellidae), including insect growth regulators and abamectin. J. Econo. Entomol. 88: 358-366.
3. Brown, T. M. and A. W. A. Brown. 1974. Experimental induction of resistance to a juvenile hormone mimic. J. Econ. Entomol. 67: 799-801.
4. Cerf, D. and G. P. Georghiou. 1974. Cross-resistance to an inhibitor of chitin

- synthesis in insecticide resistant strains of the housefly. *J. of Agric. and Food Chem.* 22 : 1145-1146.
5. Cowles, R.S. and M.G. Villani. 1996. Susceptibility of Japanese beetle, oriental beetle, and European chafer (Coleoptera: Scarabaeidae) to halofenozide, an insect growth regulator. *J. Econ. Entomol.* 89: 1556-1565.
 6. Croft, B. A. 1990. *Arthropod biological control agents and pesticides.* Wiley, New York.
 7. Delbeke, F., P. Vercruyse, L. Tirry, P. DeClercg, and D. Degheele. 1997. Toxicity of diflubenzuron, pyriproxyfen, imidacloprid, and diafenthiuron to the predatory bug *Orius laevigatus*(Heteroptera:Anthocoridae) *Entomophaga* 42: 349-358.
 8. Dhadialla, T. S., G. R. Carlson, and D. P. Le. 1998. New insecticides with ecdysteroidal and juvenile hormone activity. *Ann. Rev. of Entomol.* 43: 545-569.
 9. Edwards, C.A. 1983. Agrochemicals as environmental pollutants affecting human health with particular reference to developing countries. World Health Organization Report EFP/EC/WP 83.3 22 pp.
 10. Edwards, C.A. and Bohlen, P. J. 1992. The effect of toxic chemicals on earthworms. *Rev. of Environ. Contamin. and Toxicol.* 125: 23-99.
 11. Edwards, C.A., Knacker, T.T., Pokarzhevskii, A.A., Subler, S., and Parmelee, R. 1996. The use of soil microcosms in assessing the effects of pesticides on soil ecosystems. In: *Proceedings of International Symposium on Environmental Behavior of Crop Protection Chemicals.* IAEA Vienna, 435-452.
 12. Horowitz, A. R. and I. Ishaaya. 1992. Susceptibility of the sweetpotato whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) to buprofezin during the cotton season. *J. Econ. Entomol.* 85: 318-324.
 13. Horowitz, A. R. and I. I. Ishaaya. 1994. Managing resistance to insect growth regulators in the sweetpotato whitefly (Homoptera: Aleyrodidae). *J. Econ. Entomol.* 87: 866-871.
 14. Marks, E.P., T. Leighton, and F. Leighton. 1982. Modes of action of chitin synthesis inhibitors. p.281-313. In: *Insecticide Mode of Action.* Coats, J.R. (ed.) Academic, N. Y. 470 pp.
 15. Metcalf, R. L. 1977. Model ecosystem studies of bioconcentration and biodegradation of pesticides. In: *Pesticides in Aquatic Environments.* M.A.Q. Khan, Ed., Plenum Press, 127-144.
 16. Moriarty, F. 1983. *Ecotoxicology: The Studies of Pollutants in Ecosystems.* Academic Press, London, 233 pp.
 17. Pfeiffer, D.G. 1985. Toxicity of avermectin B1 to San Jose Scale (Homoptera: Diaspididae) crawlers, and effects on orchard mites by crawler sprays versus

- full-season applications. J. Econ. Entomol. 78: 1421-1424.
18. Pfeiffer, D.G., S.B. Ahmed, J.C. Killian and M.H. Rhoades. 1996. Use of mating disruption and tebufenozide against codling moth and leafrollers. Proc. 72nd Cumberland-Shenandoah Fruit Workers' Conf., Winchester VA. Nov. 1996: 21-22.
 19. Plapp, F. W. Jr. 1991. The nature, modes of action, and toxicity of insecticides. CRC Handbook of Pest Management in Agriculture, 2nd edition, volume II, Pimentel, D. Ed. CRC Press, Boca Raton.
 20. Plapp, F.W., Jr. and S. B. Vinson. 1973. Juvenile hormone analogs: toxicity and cross-resistance in the housefly. Pesti. Bioch. and Physio. 3:131-136
 21. Ripper, W.E., R.M. Greenslade, and G.S. Hartley. 1951. Selective insecticides and biological control. J. Econ. Entomol. 44: 448-459.
 22. Staal, G. B. 1975 Insect growth regulators with juvenile hormone activity. Ann. Rev. of Entomol. 20: 417-460.
 23. Thompson, A.R. and Edwards, C.A. 1974. Effects of pesticides on non-target invertebrates in fresh water and soil. Soil Science Society of America Special Publication, No. 8, Chap. 13: 341-386.
 24. Tomlin, C. (ed.) 1994. *The Pesticide Manual*. Brit. Crop Protect. Council, Survey, U. K. 1341 pp.
 25. Wilson, T.G. and J. Fabian. 1986. A *Drosophila melanogaster* mutant resistant to a chemical analog of juvenile hormone. Dev. Biol. 118: 190-201.
 26. Yardim, E.W. and Edwards, C.A. 1998. Effects of chemical pest disease and weed management on the trophic structure of nematode populations in tomato agroecosystems. Applied Soil Ecol. 7: 137-147.

ABSTRACT

Hsieh, T. T. and Su, W. Y.* 2004. Rational and effective application of insecticides. Plant Prot.Bull. Spec. Publ. New 6 (Proceedings of the Workshop on New Strategy for Plant Protection: Technology and Management): (Division of Pesticide Application , Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substances Research Institute, Council of Agriculture, Wufeng, Taichung, Taiwan 413, ROC)

The content of this article concerned with the effective and rational application of insecticides. First of all, we have to know the chemical attributes of insecticides and biological characteristics of target organisms. Then, the second step we have to know more about the dynamic interaction between the biochemical action of insecticides and the feedback response of target ones. Then, we could set up the toxical assessment system of insecticides on the pests of laboratory and field. We might use the character of physiological and ecological selection by insecticides act on the target organisms. As to rationalize the application of insecticides, we have to reduce the impact of insecticide application on environment included biotic factor as nontarget organisms and abiotic factor as soil , water etc., We would like to suggest the use of insecticides with higher safety coefficient such as water based emulsifier or water dispersable granule formulation to replace the tradition formulation such as emulsified concentrate(EC), wettable powder (WP) and soluble powder (SP).

(Key words: Insecticides, Rational Application, Effectiveness)

* Corresponding author E-mail: swy@tactri.gov.tw