

農作物藥害發生與診斷

蔣永正

農委會農業藥物毒物試驗所 研究員

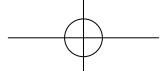
前言

臺灣農業多年來在作物品種、肥培、及病蟲草等管理技術，不斷改良與改進之經營體系下，單位面積的產量及品質均有顯著的提升。但是在高溫多濕、強風豪雨的異常季節裡，一般仍多倚賴農藥的施用，來快速有效的壓制病蟲等害物的發生密度，尤其是蔬果等高經濟作物，往往在特定生育期的用藥次數頗為頻繁，且多採用混合噴施的方式。此外為提供消費者對農產品之多樣選擇，亦普遍使用植物生長調節劑來改變作物的產期。目前國內登記之藥劑達500種左右，作為水稻、蔬菜、果樹、花卉等之害物防治及生長調節功能。一般農藥在上市前，必須通過物化規格檢驗、毒理資料審查、藥效及藥害試驗與殘留量測定等嚴格篩選，因此依循登記之作物範圍及施用方法，在非極端氣候下使用是不會有藥害發生的疑慮。但在劑量調配不精準、噴施方式不正確、或混合藥劑間物化性不相容等因素下，則有導致農藥的生物活性發生改變，引起目標或非目標作物生長受限的可能。實際上藥害的發生並非常態現象，因為大部份的案件多屬人為的疏失，若能確實了解農藥對植物的活性，掌握適當的施藥期和施用量，藥害發生的機率應可降至最低。

農藥對植物的活性

農藥進入植體後，是如何干擾細胞的正常生理生化作用，而引起植株生育異常甚至死亡呢？基本上一個外來物質(xenobiotics)必須到達細胞內的目標位置(target site)才能發生作用，而此目標位置通常也是對藥劑反應最敏感之生理生化作用進行時的所在部位；如葉綠體的膜蛋白分子，即為許多抑制光合作用型除草劑之結合位置，導致光合作用效率的降低，同時可能產生具活性的物種，引起過氧化作用，破壞膜的完整性造成細胞死亡。其他在脂質及胺基酸生合成路徑所需的特定酵素，和生長調節劑作用時的接受體(receptor)，亦為藥劑的作用位置。

除草劑因為所防治的雜草亦為植物，因此對作物的毒性要比殺蟲劑或殺菌劑強，且大部分以抑制光合作用，或植物細胞特有之生化路徑為主。而以昆蟲等動物為主的殺蟲劑、殺蟎劑，或以病原菌為主的殺菌劑，又為什麼也有可能影響作物生育呢？因為一種外來物質多多少少都會干擾到植株的正常生理系統，雖然作物對外來化合物都有代謝解毒的防禦本能，但是在不同種類、不同生育期或不同組織器官的代謝速率會有明顯差異，尤其在短時間內吸收過多的外來物質，若無法適時加以分解或排出體外，則藥害的發生機率就會增加，這也是任意提高藥劑施用濃度為藥害發生的主要原因。



一、農藥的毒性(phytotoxicity)

農藥對植物的活性為所有導致植物傷害，發生在藥劑與植物間之交互作用，包括吸收、傳導和代謝的過程。以下分別說明各種作用與藥害發生的相關關係。

(一)藥劑的吸收

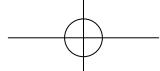
噴施型藥劑主要是由葉片吸收，而吸收的程度和藥液被植株的截留有關。藥滴本身噴出時所帶的能量、表面張力、葉表面性質及葉著生位置均會影響截留量。葉表臘質及臘質下的角質層，對外界離子和水溶性分子的進入葉肉細胞提供了阻擋措施，但對於小分子的非極性分子，不論是主成份或溶有有毒物質之親脂性物質，則可以物理作用接近角質層表面。另外在葉角質層上還有氣孔及茸毛；茸毛對農藥的吸收在某種程度上很重要，適當密度時所形成之網眼會阻止藥滴從葉表滑落，使毒物質之沉積量大於光滑的葉面。氣孔則不能提供水溶液的進入，只是某些油性物質可經由敏感的保衛細胞，而傷害到排列在氣孔邊緣之細胞。一般而言葉表構造對農藥進入細胞所形成的屏障，在藥劑主成份間沒有很大的差異，而與作物種類有明顯的相關性，如水稻、玉米等禾本科作物，因為具有包被臘質與角質層的葉表面，較之十字花科葉菜類的光滑葉表，對大部份的農藥具有較高之容忍性。

土壤施用型藥劑則和地下部之根細胞內外溶液的濃度梯度有關，藥劑會隨土壤水的流動而進入根、萌發中之種子和地下莖等。根部雖無角質層，但藥劑必須穿越防止水分外流之卡氏帶構造。地下莖、芽則因為沒有類似之角質層屏障，對藥劑的敏感程度也相對提高。

(二)藥劑在植體內的傳導

對植物具有活性之藥劑，其作用位置多在細胞內的不同胞器中，因此葉表所吸收之藥劑仍須跨過細胞壁及各類膜系才能發揮作用。有些藥劑的作用點離進入的位置僅一兩層細胞，如聯吡啶類除草劑的巴拉刈，進到含有葉綠體之細胞內即發生作用，立即殺死接觸到藥劑之細胞。但對多年生萌後施用之除草劑，需從地上部轉移到地下部的營養器官，或土壤施用之光合作用型抑制劑，則需從根部轉移到葉部才能發揮效果。

由葉片轉移到頂端分生組織或由成熟葉轉移到嫩葉的短程傳送，主要是細胞間的擴散作用，經由胞質間脈絡絲(plasmodesmata)或細胞間隙的傳導。長程的傳送則包括韌皮部和木質部的運輸系統。通常藥劑在篩管內的轉移情形是配合光合產物的流動方向作被動運輸，但是某些除草劑分子也會與細胞內之代謝物競爭攜帶者(carrier)作主動傳送。以韌皮部轉運為主的除草劑只存在積貯器官(sink)；如種子或地下根莖等繁殖器官內大量累積，而其他組織只接受到極少量的藥劑，造成除草效果的不完全。因此部份藥劑會滲漏到周圍其他組織或導管內隨同水分移動，這種韌皮部與木質部間的交換情形，主要和藥劑的膜透性、在篩管內的流速、及植株的大小有關。嘉磷塞與2,4-D處理過的植株木質部內，亦可偵測到殘留的藥劑。根部所吸收之除草劑在導管內轉移之驅動力，是土壤與大氣間的水分潛勢梯度，但在氣孔關閉時即使兩者水分潛勢差異極大，也不能提高木質部內的轉移速率，因此和植物的蒸散作用是有明顯



的相關性。

藥劑分子在細胞內傳導時的膜穿透能力與留滯程度，會影響其在植體內的分布情形。中性親脂性分子易進入細胞內，但也容易往胞外流出，弱酸性分子則會以離子捕獲方式(ion trapping)留存在細胞內。因此農藥分子製劑成酯式結構可增加進入細胞內的量，待進入細胞後再轉變成具活性的酸式結構，可兼顧藥劑在植體內分布完全及具生物活性的特質。但對抑制光合作用電子傳遞之除草劑，親脂性則有助於其在葉綠體類囊膜上的作用活性提高。藥劑對同化物的生成、膜完整性及供貯組織的破壞，也都會降低其本身的移動性；如巴拉刈引起膜系的快速破壞，會導致藥劑在植體內的分布不完全，而影響控制效果。雖然藥劑在植體內的轉移速率會隨植物生育狀況而異，但最後在細胞內作用位置所累積的臨界量(threshold)，才是決定其毒性的主要條件，使用的劑量超過細胞可解毒的範圍時，則會引起生育異常的現象。

(三) 藥劑在植體內的代謝

代謝過程中包括共軛結合(conjugation)、解毒(detoxification)及沉積(deposition)作用等。藥劑在細胞內先行分子內的原子或原子團置換，或直接經水解、氧化、還原作用，再與細胞內如糖類或胺基酸形成共軛結合物，當此共軛物在細胞或組織內移動時，一些糖類、胺基酸及脂質仍會繼續連結到此共軛物上，使其分子增大而降低移動性，最後沉積在細胞成份上失去生物活性。與糖類結合者會被區隔在液胞內，與胺基酸結合者如苯氧醋酸類除草劑，則結合在細胞壁成分上。

農藥在植物體內的代謝，不但有種間差異甚至還有種內的不同，因為在有酵素參與之解毒反應，同功酶(isozymes)會導致植體間之藥劑容忍性差異。

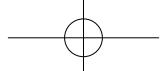
二、作物反應與藥害

植物對藥劑的反應可分為敏感、容忍及抗性三種。大部份的殺蟲劑對作物都不會有明顯的毒性，殺菌劑次之。鐵鉀砷酸銨、依得利及易胺座提高濃度時，則有可能引起水稻、番茄及甜椒幼苗、梅樹之藥害。在作物種類中則以葉菜類最為敏感，瓜果菜次之。如用於防治水稻斑飛蟲，及縞葉枯病之佈芬淨會引起南瓜藥害；防治十字花科小菜蛾之納乃得，僅適用於甘藍，施用在白菜及芥菜上會引起藥害。

作物生育期中，以苗期或生殖生長初期對藥劑最為敏感。抽穗前十天施用滅紋、殺紋寧、鐵鉀砷酸銨及普克利易引起水稻不孕；貝芬錳不宜用於西瓜苗期之蔓割病防治；待克利及三泰芬使用於已抽穗之香蕉果房，應先行套袋，且不可施用在三個月內之蕉苗；百克、賽福寧、免賴得應避免在木瓜幼苗期使用；芬瑞莫及腐絕、甲基多保淨及免賴得，均勿施用在梨、蘋果及梅之開花期。

某些水溶性強之除草劑，如嘉磷塞及巴拉刈，殘留在土壤水中之藥劑，有部份亦會被根所吸收而抑制作物正常生育。除草寧對稻、梗水稻，草殺淨對甘蔗，均有品種間敏感性差異，但大部份的除草劑都應避免噴及作物生長點。

農藥施用後對作物生育的影響，與植物吸收的藥量，藥劑在植體內的傳導與分布，及作用部位所累積的總量有關。其間牽涉到植物對此外來化合物的細胞滲



透和轉運上的限制，及代謝解毒的能力。因此藥劑施用量、劑型、添加劑的種類和作物的忍受性，都會決定藥害的發生程度和作物恢復生長之可能性。但在田間發生的藥害案件中，環境因子亦扮演著重要的角色。

環境因子與藥害

施用農藥是為達到安全有效的害物管理目的。藥害的發生主要是農藥對作物的生物活性，是否構成細胞不可恢復的傷害，導致生長及發育的異常。環境會改變藥劑物化特性的表現或植株的生長勢，影響植體對藥劑的吸收量。氣候條件、土壤性質和稀釋用水質等，不僅影響目標區作物的生育，還可能造成鄰近非目標區敏感作物的異常。

一、氣候環境

(一)光照

光照會促進光合產物自葉片向外轉移，同時降低葉片中藥劑的濃度，因而促進藥劑的吸收。但陽光中的紫外光會造成某些藥劑的光分解而影響藥效。

(二)溫度

溫度會影響植物的生育速率，熱帶植物在高溫下的生理作用旺盛，尤其在高溫強光下光合作用被促進，此時葉表面氣孔為了吸收足夠的二氧化碳而打開，因此也可能會大量吸收噴施在葉面的農藥，這也就是某些藥劑在高溫強光下容易引起藥害的原因。高溫下某些殺菌劑，如嘉賜銅可濕性粉劑會引起柑桔輕微藥害，可濕性硫礦水懸劑在30°C以上有可能引起葡萄果皮產生藥斑等異常。生長素型除草劑在高溫下也有降低用量的必要。

另外在二期作整地時，若將前作殘留之稻椿浸置田水中，於七、八月高溫下，因為有機質發酵產生之氨類等有毒物質會阻礙秧苗的生育，此時若再施用殺丹等萌前除草劑，則會加深秧苗的受損程度，在南部地區二期作插秧後半個月內施用時，藥害發生的機率高。

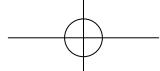
高溫下容易造成酯類之葉面噴施型除草劑的揮發，不僅降低藥效，還有可能引起鄰近敏感作物的藥害。反之溫度太低時植物生育較差，亦會降低作物對藥劑的忍受程度，丁基拉草乳劑、三覆爾粒劑、丁拉菸普粒劑及殺丹粒劑，在一期作低於15°C之水稻田施用時，須降低藥量避免藥害發生。

(三)濕度

低濕會加速藥滴之蒸發乾燥，及造成植株缺水氣孔關閉之逆境，而減少藥劑的葉面吸收。相對在高濕下有促進吸收的效果。通常濕度對藥劑吸收的影響，是經由植株生育狀況的改變所致，也有與光照及氣溫交互作用的結果。

(四)雨量

主要和噴施在植物表面的農藥，會被雨水沖刷掉有關。某些水溶性高之農藥，也會聚集在田區低窪積水處，使局部田區的藥劑濃度過高，



增加根部的藥劑吸收。水溶性的巴拉刈用於水田整地前之雜草防除時，在施藥後三日始可灌水整地插秧，否則游離在田水中之藥劑會影響植株生育。硫醯尿素類除草劑在施用後十日內，應防止田水流至附近灌溉溝渠中，避免造成敏感作物之藥害。

(五)風

風向、風速與霧氣的形成，主要會影響藥液的飄散，風速強到一定程度會將藥液粒子吹移到附近的作物田區，引起飄散性藥害的發生。而霧氣會將藥滴承接在半空中，隨氣流向某個方向移動，待陽光出現，霧氣消散後，藥液則往下沉降，此時若掉在敏感作物的表面，則有可能引起藥害。使用動力微粒噴霧機噴藥時，要在微風或無風時，噴口順著風向較為安全。

二、土壤環境

農藥在土壤中會受到土壤性質與土壤環境因子，以物理、化學、及微生物等作用方式，影響藥劑在土壤中之殘留量及殘留活性。不僅對藥劑效果造成直接影響，還可能被敏感植物所吸收而發生藥害。

(一)吸附作用

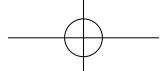
土壤吸附雖不會減少土壤中的藥劑量，但在土壤溶液中的藥劑濃度已降低。吸附為土壤組成中之有機質及粘粒，與藥劑分子產生化學鍵結的現象，通常呈離子性之藥劑和粘粒的吸附力較強，非離子性之藥劑分子則易與有機質粒子吸附。土壤水分會將部分已被粘粒吸附之藥劑置換出來，所以乾土之吸附較濕土為強，土壤pH也會影響吸附的程度。有時藥劑分子只是微弱的被土表吸附，有可能再行脫附至土壤溶液中，被植物根所吸收。水溶性除草劑如巴拉刈等，因為帶有正電荷可與具負電荷之土壤粘粒以離子鍵相結合，成為不具生物活性的型式，但當巴拉刈量多且超過土壤吸附值時，則會有游離的巴拉刈存在土壤溶液中，或改變土壤的pH值也有助於巴拉刈的脫附，兩者均會造成植物根的吸收而抑制植株正常生育。

(二)揮發及淋洗作用

揮發性強的藥劑如2,4-D酯類劑型，噴施後易飄散至非目標區，引起敏感作物的藥害。施用具有揮發性之上壤施用型農藥，可以混拌方式或粒劑劑型予以降低。土壤水會帶動藥劑分子在土壤中移動，溶解度大且移動性強(土壤吸附性弱)的藥劑，易隨土壤水作不同方向的移動，如鹵化脂肪酸系除草劑(得拉本)，即具高溶解度及低吸附性，較尿素系(如達有龍、理有龍)及三氮苯系(如草殺淨、草脫淨)的淋洗程度為高。若藥劑移動至敏感作物，或大量累積至耐性作物生長的區域，都有可能發生藥害。土壤性質及藥劑溶解度為造成淋洗的主要因素。

(三)分解作用

農藥在土壤中的另一種消失途徑為分解，包括光分解、化學水解及微生物分解，分解作用進行的速率和土壤組成、pH、水分含量、氣溫、空氣濕度、紫外光，及土壤微生物相均有密切相關。殘留在土壤中未被分解的農藥，可能被植物的根等地下組織所吸收，夾雜在育苗土中的植物殘質上若殘留有除草劑，也有可能引起秧苗或幼嫩植株的藥害。



三、稀釋用水質

噴藥時作為稀釋用之水質，其酸鹼度、電導度、鎂鈣等離子含量，會影響農藥主成份的物化性質，形成不可溶之鹽類沉澱。水質中若殘留有生物活性強之農藥，不論做為灌溉或農藥稀釋用水均不適當，因此殘留農藥的清理亦為田區管理不可輕忽的項目之一。

農藥對作物的毒性是由藥劑本身的特性來決定，但毒性表現的程度則和噴施時的環境因子有關。

農藥劑型與藥害

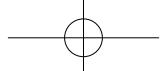
不同種類農藥的物化特性會有所差別，要將少量的藥劑成份均勻施用在大面積田區，達到安全有效且與環境相容的施用目的，必須配合作物與害物發生的實際情形，針對藥劑特性選擇適當種類與比例的溶劑或增效劑，製劑(formulation)成適合的劑型，以提供噴施時器械的方便操作，及對目標害物達到均勻覆蓋增強毒性的效果。理想的劑型必須是安全且易於田間使用，同時在儲存及運輸期間物化性穩定，降低不良環境所引起的劣質化影響，避免藥效減低或藥害發生的現象。劑型的組成會影響農藥的生物活性，一般在製劑過程中即配合藥劑特性將增效劑內含(built in)在劑型中，但因為實際施用時的加水稀釋及環境的變化(如雨量)，需要於噴施液中另行加入界面活性劑，以增加農藥在葉表之滯留和滲透性。

一、劑型的種類與選擇

農藥劑型可大分為兩類，一為施用時須用水稀釋者，另一種是直接施用不必稀釋之成品。前者包括溶液(soluble concentrate; SL)，水懸劑(suspension concentrate; SC)，可濕性粉劑(wettable powder; WP)，水分散性粒劑(water dispersible granule; WG)，水溶性粒劑(water soluble granule; SG)，膠囊懸著液(capsule suspension; CS)，及乳劑(emulsifiable concentrate; EC)等，後者主要為粒劑(granule; GR)及片劑(tablet; TB)。化學藥劑本身或其鹽類溶於水可形成所謂的溶液，液態藥劑原體與水不互容者則製劑為乳劑，固態不溶性藥劑製成為可濕性粉劑。固態原體溶解度低，但在水中化性穩定者可製成水懸劑，水懸劑能以極微細的粒子分散在噴液中。水分散性粒劑因為會降低施用時可能引起的揮飛和粉塵，較可濕性粉劑安全且易操作。粒劑則是用在土壤中需維持一段時間藥效的劑型，若為揮發性藥劑應混拌在土壤中較為安全。

二、劑型與藥害

選擇適當劑型的決定因子是農藥原體本身的性質，劑型會影響生物活性表現的程度及田間實際操作的方便性。農藥在施用時葉表組織為最先接觸到藥劑的部位。表面臘質為一層親脂性構造，會減少細胞水分的散失和限制水溶性物質的進出，其與下層的角質層混合散生在一起，角質層內之角質為羥基和羧基交錯結合的聚合物，愈近葉表面的聚合程度愈高，故透水性亦愈弱。因此包括液態農藥、溶劑及乳化劑，其親脂性溶劑易於穿透葉片，生物活性高較易引起藥害。相對於另一種液態農藥，但在水中化性穩定，製成的水基乳劑(EW)較不易引起藥害且皮



膚毒性低。可濕性粉劑是將農藥原體混合填充劑、分散劑及濕潤劑以乾式研磨而成，粒徑微細易被葉片吸收，但使用時須不斷的充分攪拌，否則其懸浮液易沉澱引起田區發生局部性藥害。水分散性粒劑和可濕性粉劑相類似，粒徑很小在噴液中會均勻分散，但不會引起飄散性藥害和吸入粉塵之毒害。水懸劑適於溶解度低且化性穩定之農藥原體，與分散劑混合研磨成的微細顆粒，在噴液中不易聚集形成緊密之沉澱，活性較可濕性粉劑高。粒劑是將藥劑有效成份注入或包覆於粒狀載體上，經擠壓及凝聚後形成，可直接用在土壤、水田及水域中，殘效期較其他劑型為長。微膠囊劑(micro-capsules)則是將藥劑包埋於微膠囊中，可控制有效成份釋放的機制與速率，對作物安全性高。

三、展著劑特性

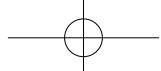
農藥製劑過程中所添加之展著劑分子，實際上為一種同時含有親水性基(hydrophilic group)及親脂團(lipophilic group)之化學物，會改變兩種液體，或一種液體與一種氣體或固體間的界面物理特性，故又稱作界面活性劑。展著劑具有促進農藥有效成份的乳化、分散、濕潤、展佈、固著及滲透等作用，在施用時能促使藥液均勻撒佈在目標植物的表面，或被葉片充分吸收發揮最大的藥效。一般添加劑會增加農藥的生物活性，分為加入製劑中的內含式及加入噴液中的外加式兩種；常用的界面活性劑有濕潤劑(wetting agents)、油劑(oils)及固著劑(sticking agents)等。濕潤劑似清潔劑會促進藥劑在葉面的滯留、分佈及吸收，通常為內含式。油劑則通常為外加式亦有類似的促進效應。固著劑會增加藥劑的持續性，但也可能因為將藥劑鎖在其形成之藥膜中而降低農藥的生物活性。

通常在成品農藥中會添加不只一種的展著劑，而一種展著劑也有可能同時具有上述數種作用之特性，只是分子的構造排列往往會影響主要功能的表現，例如在陰離子型展著劑中，親水基位置愈近於由碳氫鍵所組成之親脂團中間者，則愈適合做濕潤劑，若愈接近末端時則較適合用為清潔劑。

四、展著劑與藥害

植物葉表的親脂性臘質透水性低，但在角質層下方含有纖維素與果膠質之初生和次生細胞壁，則均具透水性。因此葉表皮層實為一兼具親水和親脂特性的系統，對外界離子和水溶性分子的進入細胞，提供了完整的保護措施，但對於非極性分子，不論是主成份或溶有有毒物質之親脂性物質，均可以接近角質層表面。相對於角質層對外來物質的巨觀屏障，植物細胞的膜系構造，則為另一個顯著的微觀關卡。細胞膜為流動的膜脂上，鑲嵌有不同型式的膜蛋白，對中性的脂溶性物質的移動為直接傳送，而以膜兩邊的濃度梯度為驅動力。對脂溶性弱酸或弱鹼分子的移動，是經過質子化或去質子化作用，所造成的跨膜質子梯度，推動分子累積在膜的鹼性或酸性的一邊。對極性分子的傳導，主要藉由細胞內的傳導系統而移動，成為膜選擇性的基礎。因此對大部分的農藥主成份而言，要能夠滯留在葉表面甚至進入細胞內，展著劑扮演了重要角色，因其具有極性的親水基和非極性的親脂基，改變了葉表皮層及細胞膜的微細構造，降低藥液在葉片上的表面張力，及增加葉表濕潤程度，促使藥液進入細胞，衝破了植物為防止外來物質進入細胞之防禦系統。

一般展著劑不論是在製劑或噴施過程中加入，應該都不會造成農藥主成份對植物的毒害作用，但是當兩種展著劑產生交互作用時，則有可能產生毒害作用，例如陰離子型展著劑易與其他離子作用，陽離子型展著劑會和硬水中之鈣、鎂、



鐵等離子形成不溶性的鹽類沉澱等，在這種情況下的藥液對作物生育的影響，則不是單純由農藥有效成份即可推斷的。

其實展著劑本身對植物亦具有某種程度之生物活性，其在細胞內的主要作用機制；一為改變細胞膜的差異通透性，另外則是造成細胞內蛋白質的變性，失去酵素的功能。濃度低時可能影響到生物膜上的重要物質的分配與傳導，高濃度時則有可能溶解葉表皮層的臘質或膜上的脂質組成。展著劑本身所帶的電荷會和蛋白質作用，引起多勝鏈結構的改變，進而影響蛋白質的三次元構造。

總體而言，展著劑對植物的毒害，是和其化學構造及細胞內濃度有密切相關。在非離子型展著劑中之親水性環氧乙烷(ethylene oxide)鏈愈短其毒性愈高。而微胞形成之臨界濃度(critical micelle concentration)，則為決定展著劑是否會抑制植物生育之判斷基礎。劑量過高時，在展開葉上會引起藥斑，對尚未完全展開之葉片，會導致葉肉縮及葉形縮小的異常現象，但未直接接觸到展著劑之新生葉則沒有影響。展著劑的添加會促進藥劑進入細胞，當超過細胞的解毒能力，使毒物質持續累積時，則容易發生藥害。

製劑的目的為延長農藥的貨架壽命，以確保使用時的品質，如粉末不能結成餅塊，仍舊保持濕潤和分散性；懸浮液不會形成堅硬密實的沉澱，在噴液中容易被再懸浮；水分散性粒劑和粒劑仍保持不會揮飛及形成粉塵的特性。藥劑在施用前應先以軟硬水分別測試劑型的適用性，對於可濕性粉劑和懸浮劑不能很快形成沉澱和乳膏，否則噴施時影響噴液中藥劑濃度的均勻。展著劑不論是添加在製劑或噴施液中，都有可能因為來源或使用狀況的不同，對植物表面組織的影響有所差異，改變植物對藥劑的反應。因此除了顧及節省藥量及維護環境安全外，也應慎選展著劑類別及施用濃度，避免對植株造成負面的影響。

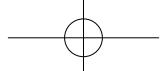
混合農藥之安全使用

一般田間慣行的管理措施，不論是施肥、病蟲草防治，或作物生育的調控，通常都具有延續性及重疊性。往往同一時間內針對不同的目的，需要使用數種功能不一的化學藥劑，基於省工及掌握控制時效的原則，混合施用農藥遂成為現代化，尤其是大面積農場經營之用藥趨勢。農用藥劑除包括殺蟲劑、殺菌劑、除草劑，及殺蟎劑等防治害物之藥劑外，還有調節作物生育的植物生長調節劑，不同類別之藥劑在物化性及生物活性上的表現有明顯差異。

廣義的混合農藥包括(1)製劑時即混合在一起的混合劑(premixed)，(2)噴施時的田間立即混合(tank mixture)，及(3)不同藥劑的單獨連續施用(applied sequentially)。混合農藥為符合田間實際需求的一種用藥方式，但是兩種以上化學藥劑混合後的交互作用，會導致原有成份在物化及生物特性上的改變，除藥效表現上會有某種程度的影響外，對特定作物還可能潛藏有發生藥害的危機，所以使用前必須審慎考量及判斷。

一、混合農藥之植物毒性

一般製劑型混合劑在上市前如同單劑，大都進行過室內及田間的生物活性測試，有關敏感作物的種類與生育時期，也有部分記錄可供依循及參考。不同藥劑的單獨連續施用，造成作物的生育抑制，則多為間接的；如某些殺菌劑施用後，可能造成土壤微生物相的改變，因而影響後續土壤施用型除草劑的分解速率及殘留活性，增加後作發生藥害的機率，但實際發生的案例則不多見。田間立即混合



作物診斷與農藥安全使用手冊

的噴藥方式，則為任意的藥劑組合在一起，有可能在藥液中、植體表面、組織或細胞中、甚至土壤內，藥劑彼此間發生物化或生物性的交互作用，直接或間接影響藥劑生物活性的整體表現。由於牽涉到的因子多且複雜，在超出預期的反應結果時，即可能引起藥害。因此混合農藥引起藥害的主要原因，可從物化性及生物性兩方面探討。

(一) 物化性不相容

當不同藥劑混合後，在溶液中會產生絮聚、沉澱、結晶、分層及濃濁的現象，即為物化的不相容性。主要和藥劑間的溶解度、離子電荷性及錯化合物的形成有關。物化上的不相容會導致藥液的噴施不均勻，不易精確掌控噴施的藥量，及藥液在細胞表面吸附及滲透的作用。

(二) 生物性不相容

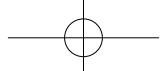
混合藥劑對生物活性的影響方式，包括(1)改變吸收位置的滲透性，(2)各單一成份分別作用在代謝反應的初級及次級路徑上，及(3)競爭相同的作用位置。一旦作物在短時間內吸收之農藥，大量轉變成具活性的毒物質，且超過本身所能代謝解毒的劑量範圍，則會造成植株生育的明顯傷害。通常兩種或兩種以上農藥混合施用時，理論上可能發生之效應包括(1)協力效應(synergistic effect)，即混施效果大於各單劑使用之加成效果，藥劑間發生藥效促進的現象；(2)加成效應(additive effect)，即混施效果等於各單劑使用效果之總和，藥劑混合後並不影響個別藥效的表現；(3)拮抗效應(antagonistic effect)，即混施效果小於各單劑使用之加成效果，藥劑間發生藥效降低的現象。

通常協力效應多與植體對藥劑的吸收量增加有關。除草劑與細胞分裂型生長調節劑混合施用時，因為吸收和傳導的促進，導致藥劑的生物活性提高。有些協力效應則發生在作物特定的生育期。有機磷及氨基甲酸鹽類殺蟲劑，在細胞內會干擾醯胺類除草劑(如除草寧)之解毒作用，導致稻株發生藥害。不同防治對象之除草劑(禾草或闊葉草)混合施用，因為殺草的範圍擴大，可達到全面除草之加成效果。具類似防治效果之藥劑混用，對藥效佳之高價位藥劑有降低用量的作用，達到節省成本之經濟效益，可說是混合藥劑的一大利用。

三、農藥混合施用應注意事項

(一) 遵循正確的藥劑混合順序及判斷準則

農藥田間立即混合施用引起作物發生藥害的首要原因，為藥劑間物化性的不相容，造成噴施不均勻的結果。一般依劑型混合加入的順序為肥料溶液、可濕性粉劑、水懸劑、溶液、展著劑、乳劑，但各單一成份仍以先加水稀釋再行混合為宜。尤其是可濕性粉劑在混合前，應先以少量水徹底溶解，以免溶解不完全造成田區局部位置的施藥量過高。乳劑及可濕性粉劑混合後，若靜置過久，則會發生藥劑與水分離的現象，即使在連續噴施過程中，亦須防止藥液分離，以免造成田區局部作物的藥害。部分混合劑在連續攪動下才可維持互容的情形，表示田間噴施應維持在持續攪拌的狀態。此外混合時應避免藥液中含太多空氣所形成之氣泡，因為氣泡亦會造成噴施不均勻的現象。



(二)確實了解各單一成份之生物活性

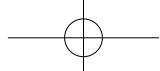
成品農藥混合使用，不論是主成份或添加劑，在物化及生物活性間的交互作用，都會影響到原有單劑的活性。此外施藥時日照及溫度等氣候環境，也會改變作物對藥劑的吸收、傳導及代謝等作用。混合農藥要達到擴大害物防治範圍，且不會引起作物藥害，除物化相容性外，尚須注意作物生育期、藥劑作用機制、劑型中不同添加劑對混合農藥生物活性的影響。成品殺蟲劑的乳劑或分散劑中，所含的油劑、有機溶劑、乳化劑和濕著劑，會促進植物對除草劑的吸收，因此兩者混合噴施會減少除草劑的選擇性，提高藥害發生的可能性，因此一般除草劑應避免與他種農藥混合使用。

不同作用機制之除草劑混合，則須注意作物對藥劑間的反應差異，如光合作用抑制型除草劑(草殺淨及達有龍等)，與二硝基苯胺系藥劑(施得圃等)混合時，因為後者會抑制細胞分裂與生長，影響到根系的發展，而減少前者在植物體的吸收與移動，因此混合劑的殺草活性降低。但光合作用抑制型藥劑若與氨基甲酸鹽類混合時，則因為後者會抑制脂質合成，特別是堆積在葉表面的臘質，因而增加植株之蒸散速率，而促進混合劑的吸收與移動，加強其生物活性。此外聯苯醚系除草劑混合植物生長調節素型藥劑後，會影響前者在植體內的共軛結合作用，而改變其在細胞內的解毒速率。混合的劑量及施用方法，均為藥效及藥害表現程度之決定因子。

(三)精確掌握噴藥量

一般殺蟲劑和殺菌劑等目標害物非為植物，因此要達到引起藥害的劑量，通常要高出推薦劑量數倍，或在作物敏感生育期施用，才有可能引起作物生育的顯著異常。但在除草劑的利用上，主要是根據其對作物與雜草間選擇性的差異，因此劑量的掌握十分重要。除草劑的選擇性通常是以選擇指數(selectivity index; S)為標準，選擇指數為抑制作物生長達10%之劑量(ID_{10})，與達到90%雜草防治劑量(ED_{90})之比值；即 $S=ID_{10}(\text{作物})/ED_{90}(\text{雜草})$ (作物生長抑制率及雜草防治率，在不同作物與藥劑種類，容許某種程度的變異範圍)。選擇指數值愈大時，除草劑對作物與雜草間的選擇性差異愈大，除草效果愈佳，引起藥害的可能性則愈小。在實際田間應用上，是針對特定作物及其田區所發生的主要雜草種類，測定植物對藥劑的劑量反應關係並計算選擇指數，再參考環境因子的影響程度加以修正，決定出藥害發生可能性最低，藥效發揮最大的田間適用劑量。這也是藥劑變換新劑型或增加登記作物之範圍，仍須重新申請進行有關藥效及藥害田間試驗的原因。因此標示於各單劑之田間施藥量，應精確換算成實際噴施面積之用量，並徹底清除藥桶及器械內殘留之藥劑，依照正確混合與稀釋方式配置，再將藥液均勻噴施於田區。

農藥混合噴施有其經濟及環境上的需求；如減少田間管理的操作次數，避免作物及土壤受到過多的機械傷害，延長噴藥器械的壽命，甚至不同類型的農藥混合施用，還具有預防田間害物相發生明顯變化的生態意義。但混合藥劑間物化的不相容性，會降低噴液的品質，引起局部田



區因藥液濃度過高，或分散不均勻的現象。因此在計劃農藥混合噴施作業之前，應先確立防治的標的害物，並針對作物生育特性，選擇有效且劑型適合之農藥，除藥劑間物化相容性的測試外，並依循正確的混合步驟，配合氣候等環境因子做適量的噴施。隨意改變農藥登記施用的方法或任意混合噴施，都是造成浪費藥劑、污染環境、甚至引起作物藥害的主因。

農藥藥害的診斷

藥害的發生通常是突發而不易預測的，一方面因為使用者在施用劑量上的計算不夠精確，以及習慣混合噴施等原因，另方面則與藥劑飄散、污染灌溉水、或土壤殘效過長，造成非目標作物的藥害有關。但是大部份的藥害仍然是可以小心避免的。

藥害徵狀與病蟲感染、空氣污染、營養元素不平衡、及氣候環境因素等，所造成植物生育的異常現象，往往因為不易掌握診斷的關鍵時刻，而無法明確的分辨。因此現場勘察成為搜集各類樣品反應的重要過程，由分析及比較不同植物表現的特徵，較易獲得普遍而一致的結論。此外用藥方式與作物管理之背景資訊提供，對藥害發生原因的研判也具有十分重要的參考價值。一般受害徵狀仍為最直接的診斷依據，但徵狀會隨時日而消失，或進展至更嚴重的褐化死亡，甚至因為感染了植物病原菌，而改變原有之典型特徵。若再加上徵狀在高低劑量上的表現差異，更會增加藥害診斷的複雜性與困難度。因此為避免誤導診斷的正確方向，徵狀愈早確認愈易找出真實的原因。

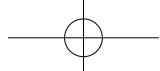
一、藥害診斷

正確的藥害診斷是逐步排除不可能的原因，並提出輔助性的直接證據。但一般受限於時間及技術的無法完全配合，因此並非所有案例都能達到全然理解的最終結果。目前以現場勘察、徵狀記錄及土壤或植體殘留分析，為藥害診斷的重要項目。

(一)現場勘察

藥害發生後現場所須觀察記錄的事項，包括田區內植株受害的徵狀及發生位置的規律性。如藥害區呈條狀分布時，則進一步確認是否與噴幅的寬度有關；其次周邊植株之受害徵狀與分布的距離關係；甚至田區位置、灌排水方向、土壤型態、有機質含量、及鄰近作物的種類等，都應列入調查的對象。

此外目標田區之整地、施肥、作物品種、使用的藥劑種類，及其他與種植作物有關之栽培管理，亦應盡可能的詳盡記錄。尤其施藥方面的資訊搜集，包括經常使用的藥劑種類、稀釋倍數、混合藥劑的種類、施藥的方式(撒施或帶狀噴施)、噴藥日期、噴藥時的作物生育狀態、作物發生異常生育之日期、噴藥前後之氣候狀況，植物病史及肥料施用情形等。從現場受害株分布的型式與徵狀，再根據包括超量使用、混合藥劑的不相容、噴桶污染、土壤殘留及藥液飄散、灌溉水污染等引起藥害的可能原因的分析，較容易歸納出藥害的原因。



(二)徵狀記錄

受害徵狀的觀察為藥害診斷最直接而快速的方法，但是類似徵狀會發生在同一類型的藥劑中，作用機制相似的不同種類農藥中，或因為曝藥量、吸收量的差異，甚至非農藥因子引起之異常現象中。

許多病徵會與藥害徵狀相似，但病原菌大部份有專一寄主，同時可以在受害組織分離到病原微生物。但藥害組織也會發生微生物的二次感染而顯示綜合的病徵。如土壤病害出現莖基軟腐的病徵類似萌前除草劑，毒素病引起的葉變形縮或葉脈黃化，則類似生長調節劑與光合作用抑制劑。寄生性線蟲會抑制根生長，幼苗嚴重矮化與二硝基苯胺系藥劑的作用結果相似，但後者不會引起葉褐化的現象。

蟲害如稻細蟻會引起稻葉捲曲，莖稈乾枯斷裂，與除草劑伏寄普的徵狀類似，但前者稻稈剝開後，莖節處會發現蟲卵或糞便可加以區分。土壤或植體內營養成份過高或過低，均會影響植物正常生育，缺錳會造成脈間黃化類似三氮苯系除草劑。土壤中含氮及鉀過高，會引起植株黃化、矮化、葉緣或全葉褐化、萎凋或幼株死亡，但營養元素的缺乏或過多，可由土壤檢測來確定。種植後施用肥料不當所引起之葉片灼傷及褐化等肥害，與葉面接觸型藥劑的作用類似。其他如空氣污染也會引起脈間黃化、葉緣黃褐化、及葉形扭曲等受害徵狀；低溫則會造成葉片黃化萎凋等現象。

除草劑在植物細胞內有特定的作用機制，表現出選擇與非選擇性之植物毒性。依據藥劑間不同之作用機制分類藥害徵狀，可作為特定藥劑辨識的參考。

1.光合作用抑制型

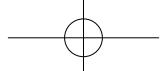
主要的變化徵狀是葉片黃化及褐化，但三氮苯系除草劑是從葉緣開始的脈間黃化，尿素系除草劑則為葉脈黃化。土壤施用由根吸收之藥劑，會隨蒸散流往地上部移動，故徵狀多發生在成熟老葉上。

2.生長調節素型

植株莖葉捲曲、產生不定根是為主要徵狀，但影響程度與植物種類、生育期、曝藥量及曝藥時間有關。2,4-D被葉片吸收後，徵狀出現極為快速，低劑量下，葉面皺縮且產生多條平行如鳥羽狀葉脈，莖節處會脆裂變形，因為會累積在分生組織內，花果嫩芽也會變形；高劑量下則會引起上偏的捲曲，此點與同類型之三氯比所表現的下偏捲曲，形成類似眼鏡蛇頭部的杯狀葉片是不同的。嘉磷塞的作用機制雖非生長調節素型，但對植株形態的影響也有類似的徵狀，會引起葡萄枝梢幼嫩葉片的羽狀變形，形成狹長葉、黃化、萎縮及枝端枯死。另外如伏寄普、環殺草、西殺草等禾草類藥劑，作用在分生組織，會引起嫩葉捲曲黃化，但通常在葉色上還會有花青素累積之紫化現象。

3.細胞分裂型

典型徵狀如施得圃引起之胚芽或根系粗短，抑制側根發生及植株矮化等現象，對玉米等禾本科作物，導致鞘葉無法捲成正常的筒狀。拔敵草則會促使高麗菜葉表不會形成光滑的臘質，易受外來物質的傷害。另外如拉草會引起玉米葉尖與中央部份相連而不能正常展開。硫醯尿素類



作物診斷與農藥安全使用手冊



藥劑的生物活性極強，除了抑制莖頂生長外，還會引起葉片皺縮、黃化及花青素累積的紫化現象。

4.細胞膜破壞型

作用快速及在植體內轉移受限為本類型藥劑的特性。大部份屬於接觸型非選擇性如巴拉刈及復氯芬，會引起組織脫水褐化。某些展著劑連續施用後，也會因為影響膜透性造成葉片皺縮，葉面積縮小的現象。

徵狀的確認可輔助藥害的正確診斷，只是在不可預知的狀況下，常常無法適時的觀察，而喪失洞悉真相的先機。

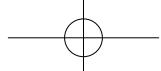
(三)土壤或植體分析

以生物分析方法，檢測土壤內所含生長抑制物質的活性，可以評估受害田區的再利用性。檢測土壤pH、EC值、有機質含量等特性，排除掉栽培介質的不適合性，再以對大部分農藥(除草劑除外)具不同反應等級之藥害測試作物3~5種；包括耐性之玉米，中感之胡瓜，及感性之甘藍等，播種在混拌有不同比例正常土之測試土壤內，調查種子胚根伸長及幼苗生長勢，並依據不同藥劑感受性作物之50%抑制劑量值，作為判斷土壤安全範圍之參考。除草劑則針對作用機制，選擇適合之測試作物，亦可以胚根伸長及幼苗生長反應作為判斷指標。

植體內的農藥殘留分析，則為提供藥劑被植物吸收的直接證據，但較適合除草劑之藥害診斷。因為殺蟲劑或殺菌劑為了防治植株上之病蟲危害，會針對目標作物大量噴施，藥劑也多多少少會殘存在植體內，因此殘留量分析結果與藥害發生的相關性不高。但是除草劑因為對大部分作物都具有明顯毒性，一般會盡量避免噴及作物，因此在正常狀況下植體內被偵測到的可能性不高。

此外在特定除草劑引起之藥害徵狀不易區分之情況下，殘留分析確為相當直接的證據。只是藥劑經過植體的代謝，通常在細胞內的濃度已降至極低，因此所採用之檢測方法通常須具備極高之靈敏度。目前針對某些常用除草劑，如2,4-D、巴拉刈、草脫淨等，已有商品化之免疫分析測試藥劑組上市，不僅提供高達ppb或ppt之靈敏度，同時分析步驟簡單易操作，可取代一般層析儀所需之萃取與純化等繁複處理，利用在藥害診斷上確可達某種程度之輔助功能，只是免疫分析測試藥劑之種類不多且價格偏高，在小面積零星發生之藥害案件診斷上較少使用。

藥害診斷一方面希望得到明確的發生原因，另方面則期望找到解決的辦法，包括作物產量及品質的損害評估，田區再利用的風險，及賠償的歸屬責任問題。單純的藥害案例可從田區現場的勘察，及植株外觀典型受害徵狀的比對，歸納出可能的原因。但複雜而混亂的徵狀與分佈情形，尚需借助組織微細構造的鏡檢觀察；特殊情況下之土壤或植體殘留測定，則為提供特定藥劑的佐證。一般因為藥害的發生十分突然，且當栽培者意識到作物生育異常時，植株外觀及組織變化徵狀的進展歷程，大部份已進入了褐化萎凋的嚴重時期，造成診斷上的干擾。但不論是否能得到周全的診斷結果，作物的損害終究造成，任何的補救措施也似難達到完滿的境地。



非目標作物藥害

臺灣地區耕地狹小，大部分農戶耕作之單位面積零星，同時因為土地利用率高，作物相複雜，導致農藥的施用十分頻繁。因此非目標區作物藥害的發生，成為藥害案件中的常見的現象，由於多為不易預知的偶發性意外，往往造成損害的面積也非常可觀。

一、農藥飄散引起之作物藥害

噴施農藥是以均勻撒佈下，使用最少量的藥液為原則。為達到藥液的完全密佈，及減少噴施水量的目的，藥滴粒子往往會小到某種程度，因此在大部份的液體噴施時，免不了會發生藥液飄散(drifting)的情形，造成目標區內害物的防治效果降低，甚至引起鄰近非目標區內敏感作物的藥害，及污染環境等不利的後果。

飄散是在農藥噴施期間或噴施後，藥液粒子經由氣流的帶動，移至噴施區以外的一種現象。藥滴從噴嘴噴出後，以兩種方式沉降在物體表面，一是靠重力降沉，另一是經由噴嘴緊壓後的慣性噴出，隨著氣流向任意方向的表面沉降。當有障礙物如圍籬等存在時，較大的藥滴會撞擊在障礙物上而往下掉落，較小者則會隨氣流繞過障礙物繼續往前飛行。一般這種所謂的由空氣帶動的飄散(air-borne drift)，其距離不會超過15公尺，在順風狀況下總飄散量的一半以上，則是掉落在前8公尺內，隨距離愈遠飄散量愈低。但小的藥液粒子因為表面積與體積的比例較大，所攜帶的水分子易於蒸發，則原有的藥滴會再分散成更小的粒子，因而在掉落前可以再飛行好幾千公尺。而類似植物莖、草毛及昆蟲腳等狹形錐狀的構造，則易於捕捉很小的藥液粒子。

飄散也會在噴施後一段時間才發生，即所謂的揮發飄散(vapour drift)，和農藥本身的揮發性有關。在特定的氣候狀況下會呈氣態形式，從目標區持續向四周移動。雖然飄散的問題在噴施農藥時無法完全消除，但利用正確的噴藥方式和周詳的判斷，仍可將問題降至最低程度。

二、影響農藥飄散距離與造成藥害之因子

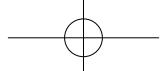
飄散的距離及造成藥害的程度受到許多因子的影響，主要可分為四大類：噴施狀況、農藥性質、氣候變化、及噴施區特性。

(一) 噴施狀況

1. 藥滴大小

為影響飄散最重要的因子，對農業上常用的液壓噴霧器而言，噴施時所有產生的液滴大小範圍分佈很廣，從小於 $10\mu\text{m}$ 到大於 $1000\mu\text{m}$ 的粒子都有。一般以VMD(volume median diameter)數值來描述噴施後產生的所有液滴大小分佈的型式，VMD為中間值，即其中有一半的藥滴體積會比VMD小，其餘則比VMD大。通常小於 $150\mu\text{m}$ 的液滴，較具長距離飄散的潛力。對於超過 $200\mu\text{m}$ 者，噴施時需在鄰近敏感作物區附近，預留一安全緩衝區，即可減少飄散引起之藥害程度，但實際的飄散情形，尚受到噴施時風速的影響。

小於 $50\mu\text{m}$ 的粒子大都會一直懸浮在空氣中，直到液滴中水分子不



斷蒸發而消散，所以一般土壤混拌型或系統型除草劑，不適合使用會產生小霧粒藥滴之噴嘴。但對殺蟲劑及殺菌劑而言，因為目標害物很小，小的霧粒可穿透植冠提供較佳之覆蓋性，故在施用時應在噴嘴處加裝擋板，避免飛向樹冠以外的地區。一般推薦的藥滴大小為：殺菌劑 $150\text{-}200\mu\text{m}$ ，殺蟲劑 $200\text{-}300\mu\text{m}$ ，除草劑 $250\text{-}400\mu\text{m}$ ，實際噴施時選擇適當噴嘴的依據，則由減少飄散所需使用的大型粒子，和達到均勻覆蓋所要使用的小型粒子間的平衡點來決定。

2. 噴嘴型式、噴桿高度與噴施壓力

扇型寬幅的錐型噴嘴會降低飄散程度，出水量較大的噴嘴，噴出的藥液粒子較大也會減少飄散，只是噴藥時用水量多會增加噴施時的負擔。小霧粒藥滴所具有的能量較低，因為噴桿離地面愈遠，上方的風速愈大則愈易造成飄散，但噴桿太低又易引起重覆曝藥的危險。利用液壓式噴霧器提供的壓力會將水柱分散成水滴，壓力愈大液滴愈小，也愈有飄散的可能，但壓力不夠則會影響藥液分佈不均勻。

(二) 農藥性質

1. 劑型

揮發性強的劑型在噴施時易於飄散，如2,4-D及mecoprop酯類劑型較胺鹽的揮發性強，容易受到氣候因子的影響引起藥害。

2. 植物毒性

飄散引起作物藥害的關鍵，在於藥劑對敏感作物的毒性程度。一般由於飄散降落在非目標區的藥液粒子，大到 $150\text{-}200\mu\text{m}$ 者，大都在噴施區附近，對敏感作物而言，應注意噴施時的氣候與安全距離。小到 $150\mu\text{m}$ 以下者，因為液滴不斷的蒸發分散成更小的粒子，持續飛行一段距離後，掉落在大面積之非目標區，藥量已減低至極微量，是否會發生藥害則由作物的敏感性決定。

(三) 氣候變化

1. 風速與風向

風速對飄散的發生為重要的決定因子，尤其對小於 $150\mu\text{m}$ 的藥液粒子影響最大。飄散的總體積百分比，會隨風速增加成直線或平方關係的提高。風向則主要是對位於順風下方之敏感作物影響較大。

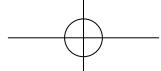
2. 溫度及相對濕度

兩者會同時影響藥滴的蒸發速率，而改變其體積與重量，使其停留在空氣中的時間更長也飄散的更遠。溫度還會加速藥劑的揮發，引起揮發性的飄散。另外溫度也會影響氣流及大氣的穩定情形，清晨太陽初昇，照到陽光的上層空氣較為暖和，下層溫度較低的空氣會形成支撐網籃，此時噴藥會使懸浮在冷空氣層的藥液粒子，只能向旁邊移動至遠處，當遇到下降氣流時即向下沉降，此時若掉在敏感作物表面則有可能引起藥害。

(四) 噴施區特性

1. 噴施區位置

空曠或有圍籬之田區，氣流行進的方向及不同粒徑藥滴沉降的比例



會有差別，所可能引起的飄散性危害潛力因而不同。

2. 噴施區作物的高度及密度

會改變植冠上方風速和氣流的分佈，因而影響藥液粒子掉落及穿透的程度。

噴施農藥在減少藥液飄散問題時，應注意噴嘴、噴桿高度、噴施壓力的適當選擇，噴施時藥劑揮發性及氣候適宜性的判斷，並針對非目標敏感作物區保持安全緩衝區。實際上除了藥害問題，殺蟲劑與殺菌劑因為噴施時，有使用較小藥液粒子的需求及對作物較安全之特性，噴施時往往對於目標區附近的其他生物，甚至人畜等安全造成危機。因此不論施用任何類型農藥，均應對飄散現象加以防範，減少對生態環境的負擔。

三、灌溉水污染引起之作物藥害

硫醯尿素類化合物於1970年代中期，被發現具有極高之殺草活性，田間施用量低至 $2\sim75\text{ g a.i. ha}^{-1}$ ，仍能有效防除穀類作物田之大部份雜草，較傳統除草劑減少用量約10-100倍，為頗具潛力之雜草防治藥劑。目前登記在水稻田使用之硫醯尿素類除草劑有免速隆(bensulfuron)、百速隆(pyrazosulfuron)、依速隆(imazosulfuron)、西速隆(cinosulfuron)、和亞速隆(ethoxysulfuron)等，推薦在移植後3至15天使用，可有效防治水田內大部分多年生闊葉草和莎草科草，對水稻的生育安全。因具有用量少、適用期長及對人畜毒性低的特質，在目前農村勞力難求不易配合下，頗為農民所接受使用。

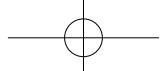
為臺灣地區單位耕作面積小、作物相複雜為栽培的特色。北部水稻田與設施蔬菜鄰近之地區，即曾發生以施用過硫醯尿素類除草劑之田水，噴灌設施蔬菜引起植株生育異常，甚至死亡的藥害糾紛。南部地區之水芋田亦曾發生類似情形，於積水數日後，造成芋株軟化死亡等案例。

(一)作用機制與藥害徵狀

硫醯尿素類除草劑施用後，會由植物的根與葉吸收，再經輸導組織轉移到植株各部份，在細胞內之主要作用位置為ALS(acetolactate synthase)酵素，會影響纈氨酸(valine)、白胺酸(leucine)及異白胺酸(isoleucine)等必需胺基酸之生合成，而抑制細胞的分裂。其他生理作用尚包括促進乙烯產生，二次代謝物和花青素的形成及纖維酵素(cellulase)活性的提高。一般直接噴施在植株上的藥劑，在施藥後一星期左右，對幼嫩的分生組織如莖頂枝梢及新生葉，會引起明顯的生育抑制。施用在根部之藥劑，因為吸收及轉移的過程，藥害發生可能延至施藥後十天以上。典型藥害徵狀包括葉脈紅褐化、葉肉黃化、嫩葉及芽體扭曲簇生，嚴重時發生葉片脫落和根莖停止生長的現象。在耐性植體內因為藥劑被快速的代謝解毒，或轉移的路徑受限制，構成不同種類作物間的選擇性差異。

(二)土壤及田水中之分解

硫醯尿素類除草劑在土壤或水中之分解途徑，主要是經由化學水解作用及微生物分解。一般酸性土壤(pH5)中的分解速率較鹼性土壤(pH8)為快，因此土壤pH在藥劑殘留活性的表現上扮演決定性角色。在田水中



之分解速率則受土質、微生物活性及溫度等氣候因子的交互作用而有差異。藥劑本身的水溶性高、移動性強，易淋洗至土壤深層，影響到田水中藥劑的消退情形，因此改變對植物的毒性程度。由於此類型藥劑具有較高的植物毒性，即使殘留在田水中之微量藥劑，經由灌溉水流入鄰近非目標區，也可能引起敏感作物的藥害。一般硫醯尿素類除草劑在田間消退的半衰期達1~6星期，並隨土壤組成、土壤環境及化合物種類而增減。在臺灣兩期稻作間因為溫度差異大，藥劑在田水中的消退速率亦有顯著的不同。

(三)田水中藥劑之消退及殘留活性

硫醯尿素類除草劑施用後，在田水中的消退情形，二期作高溫下的分解速率較一期作低溫為快，後者對作物種子萌芽的抑制率也較為明顯而持久。二期作田水中之藥劑殘留活性，會持續到施藥後十日左右，一期作則超過兩個星期。針對田水中硫醯尿素類除草劑對十字花科、豆科、瓜科、茄科、莧科及禾本科等作物的殘留活性試驗的結果：若以施藥後不同天數所採的水樣，噴施在不同種類作物上，所引起植株藥害發生之典型徵狀，會隨作物種類而有差異。一般對禾本科之玉米和高粱沒有明顯影響；大豆和綠豆等豆科作物，在接近維管束組織之葉基部與葉脈處會發生黃化現象；對十字花科等葉菜類，除了黃化外還會引起葉片的縮縮；瓜果類的葉片縮縮亦十分明顯；西瓜葉片會出現高達50%以上的縮小異常。另外在十字花科的莖頂初生葉，還呈現出簇生聚集之縮縮現象，導致受害株之節間縮短。根據試驗結果，田水中含有硫醯尿素類除草劑之濃度在40~55ppb間，對大部份葉菜類都會引起明顯之藥害。

硫醯尿素類除草劑引起作物發生藥害的徵狀，多出現在分生組織附近的器官，低劑量時會促使葉片黃化、捲曲；高劑量下則導致葉片縮縮、簇生等現象。不同作物對藥劑的敏感程度有明顯差異，短期蔬菜因為生育期短，收穫前不易恢復正常，瓜果類蔬菜若在生育早期受到藥劑污染，都會在藥害發生後一、二星期內恢復正常，至於玉米等禾本科作物則具有相當高之容忍性。至於在土壤中因為具有高移動性、半生期短之特性，一般田水中殘留之藥劑會快速被分解，但是因為其生物活性強，在殘留量低至 $0.01\sim0.17\text{ ng g}^{-1}$ soil濃度之土壤中仍會影響敏感作物之生育。

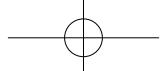
不同作物的藥害發生與避免

一、水稻

歷年來有關水稻品種改良及栽培技術改進等的研究十分卓著，稻作生產管理系統亦較之其他作物成熟而完備。但在稻米產值不高及農村人口老化的趨勢下，農民多以農藥混合施用之省工方式防治病蟲害，因而提高藥害發生的風險。

(一)水稻生育與農藥使用

水稻自發芽至成熟所需的時間長短，會隨品種和種植的環境而異。臺灣一、二期稻作全生育期約為四個月，包括營養生長期、抽穗期及成熟期，實際或潛在影響水稻產量的時期是在抽穗期之前，即有效分蘖



數的多寡。最終產量則與抽穗後的穗數、每穗粒數、稔實率和千粒重有關。因此生育期間的肥料供給和病蟲草的防治效果，均會顯著影響稻株的生育及產量。水稻產量的各個構成因素為單位面積穗數、每穗粒數、稔實率及千粒重，各性狀在全生育期之決定期，分別為最高分蘖期後的十日左右、支梗及穎花的分化時期、和抽穗前後及成熟初期，其中千粒重則為較穩定的品種特性。因此從劍葉抽出至抽穗期約二十日及乳熟期的這一段時間，為最易遭受藥劑影響導致產量明顯降低的敏感生育期。依據現行水稻主要病蟲草害的防治曆，從播種前之稻種消毒至收穫前，用於防治發生在秧田及本田期間的立枯病、稻熱病、紋枯病、螟蟲、褐飛蟲和雜草危害之農藥種類超過數十種，尤其在二期作歷經豪雨等異常氣候，在病蟲猖獗及稻株飽受摧殘之際，農民更加倚賴農藥做為防治或保護的工具。

(二)水稻栽培與藥害

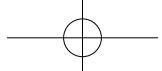
目前在水稻田發生藥害之可能途徑，包括秧田使用之育苗土污染或營養劑施用不當，發生根活性降低引起苗株生育不良。一般水稻在機械插秧育苗的過程中，首先要選擇無污染之適合土壤，曬乾粉碎混合肥料後裝箱，並準備消毒過的稻種，將苗土澆水吸濕後播種，再噴施殺菌劑後覆土堆積，待幼苗經過伸長、綠化及硬化期，本葉數達到2.5~3.5葉時移植至本田插秧。在這段過程中最有可能引起秧苗藥害的部份是育苗土來源的問題，育苗土中如果殘留有植物毒性強之除草劑如依滅草等，施藥後兩、三個月之土壤內，仍殘留有抑制秧苗發育甚至死亡之藥量；尤其在乾旱和低溫的氣候下，殘效長的藥劑在土壤中的分解更慢，對敏感作物造成藥害的可能性提高。有關育苗土取得不易及作業過程的繁複，行政院農委會農業試驗所研發以瓦楞紙為材料之臺農一號水稻育苗板，創立無土的新水稻育苗作業，可以紓解由育苗土衍生之部分藥害問題。

另外農民在育苗過程中為了強化秧苗的生長勢，往往使用未經測試之營養劑，結果卻引起秧苗發育不良，生長異常或死亡的反效果。使用營養劑促進作物的生育，並非全然為不適的管理措施，只是未經過週延的藥效與藥害試驗評估，貿然在特定生育期施用，則需要有承擔藥害風險的心理準備。

稻株進入幼穗分化等生殖生長期，對藥劑的敏感程度增加。根據植物保護手冊之登錄，滅紋乳劑、殺紋寧溶液、鐵鉀砷酸銨及普克利乳劑，在水稻抽穗前10日或抽穗期使用，易引起稻株不孕。克枯爛混合鐵鉀砷酸銨、賓克隆、三賽唑或陶斯松任一種農藥，或同時混合賓克隆及歐殺松兩種農藥，均有可能發生藥害。

也有因為農藥罐上的標籤保存不佳，當藥劑劑型與顏色十分相近時，誤將除草劑當作殺菌劑或其他農藥噴施，更是會造成水稻的嚴重損害。水田灌溉水被除草劑污染時，則有可能引起所謂的非目標作物藥害。

由於水稻的栽培面積廣闊，特定種類之農藥使用量很多，一旦藥害發生除影響實際收量外，對農民用藥、藥商賣藥的衝擊必然亦極為顯著。同時對於一個已建立完備栽培體系的作物而言，若因為不可預防的



藥害發生，而減少農民的收益實屬遺憾，因此有關水稻田藥害的發生與避免，仍是臺灣大部份農民所關注的課題。

二、蔬菜

蔬菜的醣含量低且富含維生素與纖維素，成為國人近年來飲食上的主要農產品，在品質與產量上的要求也就日益提昇。蔬菜雖非主食，但對消費者卻提供了持續而多樣化的選擇，同時間同一地區之農田，往往栽培許多不同種類的蔬菜，有時短期葉菜類在一年內重覆種植達十次左右，形成臺灣蔬菜田高複作指數及小面積集約管理的特色。因為作物相的複雜，在生育期長短及栽培管理均有差異的耕作制度下，農田上病蟲草等害物出現的種類與頻度激增，防治策略的訂定不似他種大面積作物(如水稻和果樹)來的單純而有效，因此要達到快速壓制害物族群密度，且不致影響蔬菜生育的目標，農藥的選擇及施用成為不可忽視之管理因子。

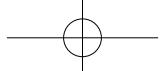
(一) 蔬菜生育與農藥使用

蔬菜作物以食用部份可分為根菜類、莖菜類、葉菜類、花菜類及果菜類，在臺灣種植的蔬菜種類超過100種以上，其中以生育期較短之葉菜類栽培面積最多。臺灣夏季因為高溫多雨及受到颱風的肆虐，不僅病蟲危害之嚴重性增加，且蔬菜大多生育不佳，僅能種植耐熱性較強如莧菜、空心菜等。大部份的蔬菜產期集中在秋冬及春季，但在高冷地區仍有夏季甘藍和菠菜等葉菜類的栽植。因為蔬菜栽培的種類繁多，生育期長短差異大，有短至20~25日之短期葉菜類，或生育期長達3個多月之瓜果及結球菜類，因此在專業區內未與其他作物輪作的情形下，而有不同生育期之蔬菜持續存在，導致病、蟲的週年發生。同時在類似的栽培管理下，田區內耐性雜草不易有效防除，得以順利完成其生活史產生種子，種子一旦落入土中，增加土壤種子庫內的雜草種子量，更將提高田區害物管理的困難度。

露地栽培及設施土耕或水耕營養液栽培，為目前蔬菜的栽培方式，設施內因為微氣候的改變引起生物相的變化，與露地栽培顯現的病蟲害問題不盡相同，尤其在設施內之土耕栽培，較易發生連作障礙引起生理性病害。綜合臺灣地區的氣候條件、農民在蔬菜作物上的耕作習性，及國民偏好綠色葉菜類的飲食習慣，本省蔬菜栽培所遭受的病蟲草危害，對田間管理造成不小衝擊。此外在十字花科葉菜類發生嚴重之小菜蛾，容易對殺蟲劑產生抗藥性；某些蔬菜田雜草對經常施用之除草劑也有耐性增加的現象。害物與藥劑關係發生改變，不但降低藥效而且還會增加田間的實際用藥量。根據植物保護手冊所登錄的將近200種之單劑與混合劑農藥，推薦在多種蔬菜作物的病蟲草害防治，反應出農民為了能夠及時供應符合市場需求的菜蔬，在小小的耕地上絞盡腦汁的改進栽培管理技術，期望周年提供消費者高品質且多樣化的蔬菜產品。

(二) 蔬菜栽培與藥害

蔬菜作物因為生育期的長短及可食部份的差異，受農藥影響的程度有明顯的不同。一般十字花科短期葉菜類最為敏感，瓜果類次之。品種間也有差別，如佈芬淨會引起南瓜藥害；適用於蔥韭之菲克利，不得用於韭黃及韭菜花；納乃得及撲馬松僅適用於甘藍菜，施用在白菜及芥菜



上會發生藥害。此外苗期蔬菜對農藥亦十分敏感，番茄及甜椒幼苗在依得利提高施用濃度時容易發生藥害；貝芬錳亦不宜用於西瓜幼苗。短期葉菜類容易受到農藥的影響，造成品質或產量上的損害，部份原因來自生育期短，無法在收穫前恢復正常，因此較之甘藍及芥藍等生育期較長之蔬菜敏感。

除草劑因為主要是抑制植物的生理生化作用，使用時必須特別注意其選擇性，除了作物種類外、施藥時期及方法都有可能影響植物的生長。此外市售的一些營養劑，大部份都含有具植物生長調節作用的成份，因為未列入農藥管理體系內，在標示不明及未經試驗的情況下，無法完全掌握施用方法而易發生藥害。展著劑的添加不當也會抑制植株的正常生長，尤其是新生葉的纏縮捲曲及葉面積縮小，除導致葉菜類在採收前不易恢復正常外，還會影響包葉菜類如結球白菜的發育。大體而言蔬菜類對農藥的反應是比水稻及果樹為敏感。

三、果樹

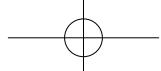
台灣氣候適宜，果樹生產技術不斷改進，周年均可生產適時的水果。目前在臺灣栽培的果樹種類，高達55科245種以上，為提高水果品質及單位面積產量，農民及各試驗改良場所研究人員，也都投入大量的時間與精神，營造各類果樹生育所需之最適環境條件，及病蟲草等害物之經濟有效防治策略。同時致力於催芽、催花等研究，以達到隨市場需求調節產期的目的。因為果樹為高產值作物，農民不惜投注許多金錢與精力，維持樹勢及果實發育的水準，化學藥劑的使用也因成為長期有效管理所不可或缺的方法之一。因此果樹在不同生育期連續施用數種效果不一的藥劑，往往是栽培上普遍存在的現象。

(一)果樹生育與農藥使用

果樹的生育與結果多受氣候的支配，同時果實的品質及色澤也受到溫度、濕度及風速等氣象因子的影響。一般高溫多濕下，果樹生育旺盛，但結果力不佳且易落果。濕度低時花芽易分化，但樹形不易伸展，若養分又不能充足供應，樹命也會縮短。風的影響主要是在營養期的落葉，及開花成熟期阻礙授粉及受精。果樹為多年生作物，落葉果樹由萌芽至落葉，每年的生育期頗長，病蟲危害多集中於特定生育期；常綠果樹周年不斷的營養生長，全生育期的病蟲危害都極多。雖然目前已針對抗病蟲品種及砧木的選擇加以預防，但適當的果園管理，配合氣候環境的變化，予以正確的施用農藥，則可遏止突發性病蟲的蔓延與危害的擴大。

植物保護手冊登錄使用在果樹病蟲草害防治，及植物生長調節的各種藥劑，約200種單劑及70種混合劑，分別施用在不同種類、生育期及器官、組織上。由於藥劑表現的毒性程度，與作物種類及施用的方法有關，尤其是植物生長調節劑，生長期及器官組織間敏感度的差異更是顯著。另外氣候環境的交互影響，導致超出預期且無法掌控的結果，此點可由果樹藥害案件發生的頻度，較之其他作物高出許多得以證實。

實際上為了促進果實發育及成熟，預防枝梢生長延緩、及落花、落果等生理障礙的發生，以及催芽、催花、打破休眠，達到產期調節的目的，農民也會定期施用不同效果的藥劑，成為果樹栽培、開花結果、及



產期調節的管理作業之一。如鳳梨以NAA及乙烯催花；荔枝使用益收防止隔年結果，或施用稀釋10~20萬倍之2,4-D，促進果實發育及減少落果；蓮霧以化學藥劑做催花處理；芒果除在中果期增加日照外，也有施用藥劑促進果實的轉色，或多或少都有提高商品價值的功效。

(二) 果樹管理與藥害

臺灣為高溫多濕的熱帶及亞熱帶氣候，不僅病蟲發生多影響植株的正常生育，雜草也快速蔓延競爭作物所需養分，因此用於壓制果樹害物族群之藥劑種類繁多，施藥的次數亦極為頻繁。果樹因為生育期長，不同時期防治病蟲草害，或調節產期所使用之藥劑，對植物各器官發育的影響會有差異。一般開花期及幼果發育期較為敏感，因此使用待克利防治抽穗蕉株之黑星病前，果房應先行套袋；開花期不可施用芬瑞莫及腐絕防治梨輪紋病，甲基多保淨及免賴得防治蘋果黑星病。此外苗期植株對藥劑亦十分敏感，三泰芬會引起蕉苗藥害。品種間藥劑反應也有明顯差異；平克座、百蟠克、賽福寧、免賴得及硼酸提高施用濃度時，會導致木瓜藥害；易胺座濃度提高亦會引起梅樹藥害。不同器官對藥劑的反應亦應注意，平克座防治木瓜白粉病會造成新葉藥害；福木松、馬拉松、大滅松及滅大松防治木瓜赤圓殼蟲，若噴及葉片亦會發生藥害；鳳梨心部組織則對二硫松較為敏感。氣候因子會影響藥劑生物活性的表現程度，如高溫下嘉賜銅易引起柑桔藥害；貝芬錳會引起檬果藥害；可濕性硫黃會引起葡萄藥害。其他與果樹生長勢有關，如施用普硫松防治番石榴粉介殼蟲時，須依樹勢及樹齡調整用藥量。展著劑的添加不當，也會抑制植株的正常生長，使用邁克尼防治印度棗白粉病時，即不可隨意添加展著劑。

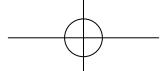
植物生長調節劑施用時應注意福芬素用於促進洋香瓜著果時，勿噴及花器其他部位及不得與其他化學藥劑混用，避免發生藥害。勃激素用於梨催熟時，勿塗及果實及過量使用，以免發生藥害。益收生長素用於梨催熟時，勿使用過量以免發生葉片黃化、提早落葉或樹勢變弱。巴克素用於抑制檬果及蓮霧新梢生長、促進提早開花時，須於植株生長勢強盛，連續大量抽梢時方可使用，且每年限用一次，以免藥害發生。

四、觀賞植物

觀賞植物包括一、二年生之草本花卉、宿根性草花、木本花卉、及庭園觀賞樹木等，在政府大力推展環境綠化下，觀賞植物的栽培種類及面積都大幅增加。觀賞植物包含之種類複雜，不論在生育環境或生育期等特性上，都有明顯的差別，為滿足市場的多樣化需求，不僅要供應具有視覺美之植株造型，同時還要有隨時提供產品之生產能力，因此除了病蟲草等影響生長之害物防治外，快速繁殖及調節花期，亦為栽植上的主要訴求，化學藥劑的使用成為管理上頗為倚重的方法之一。

(一) 觀賞植物的生育與農藥使用

觀賞植物涵蓋的種類很廣，除一般草本、宿根性花卉外，還包括木本的花卉及樹木。一般市面上常見的花卉有百餘種，分屬數十科，不僅在生育環境及生育期的長短上有極大的差別，甚至繁殖的方式亦不完



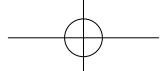
全相同，因而在栽培管理技術上大異其區。植物保護手冊登錄使用在觀賞植物之化學藥劑，大部分是防治病蟲草害，少部分為植物生長調節劑，單劑及混合劑的種類繁多。由於藥劑在不同種類植物，或器官組織間的毒性程度不全然相同，如玫瑰花對藥劑的敏感度，甚至呈現品種間的明顯變異。扦插為切花及盆栽植物常用的繁殖方式，通常也會塗抹或浸泡NAA或IBA等發根劑；如菊花、玫瑰、康乃馨及滿天星等，除促進發根外，同時促使發根整齊，其他如多年生木本的貓柳，用為扦插之苗木也以發根劑，及抑制菌類微生物蔓延之殺菌劑處理，達到縮短生育年限的繁殖目的。此外如杜鵑為了調節花期、增加花苞數目、調整樹型，常使用PP333, CCC等矮化生長調節劑，改善盆栽緊密度；或以GA處理洋桔梗，促進莖的伸長，提升切花品質。因此觀賞植物除一般植物保護用藥外，植物生長調節劑的使用也頗頻繁。

(二) 觀賞植物的管理與藥害

觀賞植物的經濟價值取決於植株外觀的視覺效果，不論是觀花或觀葉，在生育過程中會儘量減少環境變化帶來的影響，包括病菌危害形成的病斑，昆蟲在植體上群聚、與齧食造成的傷口，以及雜草蔓延競爭作物養分等，都需要化學藥劑做為保護及預防的工具，同時因為沒有農藥殘留的顧慮，因此藥劑的使用是頗為頻繁的。觀賞植物中用為切花、切枝、切葉植物，及盆花、花壇等室內及庭園造景植物，許多是屬於一年生草本植物，通常對藥劑比較敏感。尤其是進入花芽分化期，藥劑施用不當不僅影響正常花期，甚至會改變花的外觀形態。一些品種繁多之花木，品種間的藥劑敏感度差異亦極為明顯；如某些殺蟎劑會改變特定品種之玫瑰花花色。根據委託試驗結果；用於防治菊花白銹病之嘉保信，提高施用濃度時會發生藥害；以浸漬方式使用依得利防治出瓶蘭苗之疫病時，容易發生藥害；施用保米黴素防治觀賞花卉之白粉病時，提高濃度亦有發生藥害之慮。至於植物生長調節劑的使用，不論是作為促進生長繁殖，或調節株型與花期，因為生物活性極高，在施用濃度與時期上更應特別注意。

結語

農藥的生物活性與植物對藥劑的代謝程度，為造成藥害的主要原因，環境異常或施藥時的不當措施，則會導致藥害的發生。噴藥時藥液的飄散、灌溉水的污染或土壤中殘留的藥劑，則為非目標作物發生藥害的主要途徑。因此多加考量作物(目標與非目標植物)、藥劑(不純物、添加劑、劑型及安定性)及噴施時環境(氣候、土壤及稀釋水質等)等因子之相互作用，為避免藥害發生的重要原則。此外農藥混合使用，或與營養劑等其他成份之化學物質共同施用時，應確實掌握各類藥劑之生物活性；噴藥管路應確實清洗，使用除草劑之噴桶及噴桿，應與其他農藥加以區分；在作物敏感生育期，及極端異常氣候下避免用藥。若要預防因藥劑飄散、揮發或土壤殘效所造成的藥害，則須注意施藥時的氣候環境；尤其是溫度與風向，以及鄰近作物或輪作作物的忍受性，都須列入安全用藥之考量中。



作物診斷與農藥安全使用手冊



圖一、營養劑誤用引起甜柿嚴重落果(左圖)及甘藍產生異常側芽無法結球(右圖)



圖二、除草劑2,4-D誤用引起菱角之浮水囊無法正常膨大(左圖)及蕃茄產生畸形果與落果(右圖)



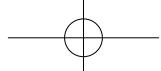
圖五、噴施含巴拉刈之灌溉水引起苦瓜葉片產生褐斑及乾枯

圖三、克枯爛誤用引起水稻葉緣及葉尖黃化、產生黑穗



圖四、鋅錳乃浦誤用造成玫瑰花花形異常(上圖)及歐殺蟎誤用導致花瓣褪色及花形異常(下圖)

圖七、除草劑氟氯比噴及楊桃引起葉片黃化



圖六、巴拉刈噴及蘭花造成葉片褐化斷裂(左圖)及產生褐斑(右圖)



圖八、除草劑固殺草噴及梨樹葉片引起葉肉褐化壞疽



圖九、除草劑嘉磷塞噴及蕃茄造成葉片自葉脈附近開始黃化



圖十、除草劑依滅草噴及葉菜類作物引起莖頂叢生、新葉皺縮之異常



圖十二、硫醯尿素類除草劑誤用引起玉米新葉黃化(左圖)及造成空心菜之葉片呈線形細長(右圖)



圖十五、展著劑誤用引起玉米葉片皺縮斷裂



圖十一、除草劑草殺淨噴及胡瓜引起葉脈黃化



圖十四、展著劑誤用引起甜瓜莖頂斷裂(上圖)
及梨樹葉片捲縮與褐化(下圖)



圖十三、除草劑巴拉刈飄散引起水稻藥害