

農藥對非目標生物之影響

植物藥害

蔣 永 正

農業藥物毒物試驗所 公害防治組

- 一、前言
- 二、藥害發生的原因
- 三、藥害案件的剖析
- 四、藥害的診斷技術
- 五、藥害的診斷程序
- 六、結論

一、前言

台灣地區的農業生產體系，多年來在作物品種及肥培、病蟲草管理技術不斷改良及改進，以及農產品採收前後的完備處理作業下，單位面積的產量及品質均有顯著的提昇；同時由於國民生活水準的提高，飲食習性趨向精緻化，對蔬果類的多樣化需求也大幅增加，產期調節遂成為栽培過程中的重要措施；此外農地狹小及高溫多濕、夏季颱風頻繁的環境，導致田區害物發生的種類與頻度激增；為要達到短期內能夠快速壓制害物族群的密度，農藥的使用量頗為可觀，尤其是蔬果類等高經濟作物，往往在特定生育期的用藥次數極為頻繁與集中，且多採用混合藥劑的噴施方式。

目前「植物保護手冊」登錄約 200 種單劑及 170 種混合劑，涵蓋水稻、蔬菜、果樹、花卉等作物之病蟲草害防治及植物生長調節；一般依照登記的作物範圍及方法使用大都是相當安全的，即施藥時遇到異常的氣候環境，亦不致有藥害方面的疑慮，但是實際用藥時，因為增添了劑量過高，混合藥劑的物化相容性，及生物活性改變等變數，造成作物受損的藥害案件頻頻傳出；其實藥害的發生並非是一種普遍的現象，因為大部份的案件多屬人為的疏失，若能精準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。

二、藥害發生的原因

藥害的發生主要和藥劑的主成份，製劑時添加之其他配方成分，及溫度、土壤水份等環境因子變化有關；一般主成份對作物的影響，有品種選擇性的差異，如硫醯尿素類闊葉型除草劑，及 ACCase 抑制型禾草藥劑；添加劑則會引起急性的接觸型藥害，如不同品牌之同種藥劑，有可能引起植物器官表面褐化皺縮等局部徵狀；至於極端異常之環境因子，如低溫、豪雨或砂質土壤等，都會影響藥劑生物活性的表現程度。

田區藥害發生的實際情形，依據接觸藥劑的途徑；可分為目標區與非目標區，兩者最大差異在於藥液吸收量的多寡；若依徵狀出現及發展時間的快慢，分為急性接觸型及慢性系統型傷害，前者引起之藥害多為無持續性之局部黃褐化，或快速枯死；後者則多影響生育較旺盛之分生組織，有時還會抑制尚未長出之新芽的正常萌發。整體而言，農藥本身性質(包含主成份和添加劑)，及噴藥系統(涵蓋噴藥時的壓力、噴嘴所噴出藥液粒子的大小及噴施時的用水量)為引起藥害的直接因素，但也會受到環境因子(溫度、風向、水質及土質)的影響，在敏感的作物種類、生育期或組織器官上發生不同程度的生長抑制。

(一)藥劑性質

成品農藥在登記上市前，都經過委託試驗，針對目標作物進行劑量、及安全使用方法的測試；因此品質合格的農藥，配合推薦方法施用是不會引起作物發生藥害的，但是任意擴大作物範圍或提高施用劑量，則要有承擔藥害風險的心理準備。

目前的委託試驗設計，並未針對非目標作物的測試，某些藥劑因為劑型或殘效的特性，施用時有可能引起鄰近或後期敏感作物發生藥害；引起非目標作物發生藥害的途徑包括；使用具農藥殘留活性之土壤或田水種植及澆灌作物，及噴施易於飄散之藥劑。一般在乾旱和低溫的氣候環境下，殘效長的藥劑分解較慢，容易造成敏感作物的藥害。水稻田內施用硫醯尿素類除草劑如免速隆、百速隆及依速隆等，若使用施藥後十天內之田水澆灌蔬菜、花卉等敏感作物，容易引起新葉黃化、綳縮等生育異常現象；北部地區鄰近水田之設施蔬菜，及南部地區之芋頭植株，都曾發生類似的藥害案件。

至於噴藥時添加之展著劑，會改變作物對藥液的吸收量，而影響農藥毒性的表現程度；實際上展著劑本身在連續施用下，也有造成展開葉黃白化、未展開幼葉皺縮及葉面積縮小等藥害之可能。

(二)噴藥系統

噴藥時流量的控制及噴桶壓力的控制，會影響田間實際噴出

的藥量，噴嘴口徑的型式與數目、噴桿的高度及噴藥時的行走速度，都會造成植株曝藥量的差異；一般稀釋水量固定時，藥液粒子愈小，藥劑被植物吸收及抑制生育的程度愈高；且系統性藥劑較接觸型藥劑的表現更顯著。對葉構造呈垂直之單子葉植物而言，藥液粒子太小會影響噴施效果；但在比較光滑的葉面反而有助於葉面的濕潤。

其他如噴桶內藥液未攪拌混合均勻時，則對如可濕性粉劑之劑型，易造成局部田區植物的受藥量過高。混合農藥使用時，若藥劑間形成沉澱或凝聚成膠體，則噴施時也容易發生藥害。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)。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。

(三)環境因子

溫度會影響農藥在植體內的作用情形；通常高溫會促進吸收和反應的程度；低溫會破壞植物細胞膜的構造，使植物對藥劑比較敏感。某些除草劑如 2,4-D 的藥害發生就和溫度有關。噴藥時用為稀釋之水質；包括酸鹼度、電導度、鎂、鈣等無機離子含量，因為會影響藥液中農藥主成份物化性質的表現，形成不可溶之鹽類沉澱，影響植物的吸收與傳導。

風向與風速會影響小粒子藥液，隨氣流飛越之距離，造成藥液飄散所引起的藥害；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，一是靠重力沉降，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。噴施狀況、農藥性質、氣候變化、及噴施區特性等因子，會影響農藥飄散距離與藥害的程度。

對土壤施用型除草劑而言，土壤質地會影響藥劑在土中的殘效性；土壤中的粘粒會吸附如巴拉刈等離子型農藥，降低藥劑在土中的移動速率；尿素系除草劑在土壤中容易被淋洗至下層，影響作物種子萌芽。某些農藥則會被土壤中微生物所分解，降低其殘留活性。

(四)作物反應

農藥在植物體內的作用活性，會有種間或種內的差異，甚至在不同生育期，對藥劑的反應亦有不同；全生育期內的敏感時期，大部份在幼苗期和進入殖生長初期(如開花期、幼果期、水稻的幼穗分化期)。滅紋、殺紋寧及鐵鉀磷酸銨在水稻抽穗前 10 日使用，易引起稻株不孕。另外也有組織和器官上敏感程度的差異，一般繁殖器官(如花粉和柱頭)要比營養器官(如葉片)對農藥較為敏感。

藥劑的生物活性，與植物對藥劑的代謝程度，為造成藥害的主要原因，環境或施藥時的措施不當，則會誘導藥害的發生。噴藥時的飄散、灌溉水的污染或土壤中藥劑的殘留，則為非目標作物發生藥害的主要途徑。因此施藥時為避免藥害的發生，則需在作物(目標與非目標植物)、農藥(不純物、添加劑、劑型及安定性)

及噴施時之環境狀況(氣候、土壤及稀釋水質等)等變化因子上多加注意；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，應加以區分；在作物敏感生育期，及極端異常氣候下須避免用藥。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。

三、藥害案件的剖析

農業藥物毒物試驗所自民國80年底迄今，所接觸及承辦之藥害案件逾300件，平均每年處理約30件左右；大都集中在中部地區，南部及東部次之，北部地區較少；發生的面積小至單一農戶的一、兩分地，大到涵蓋鄰近數十甲地區，但大部分案件仍為零星發生的個案，所牽涉的複雜性與不確定度頗高，往往影響診斷結果的明確性及快速性，這也是藥害案件不易研判的特質。但10餘年來歷經農業政策及社會環境轉變對農業經營的衝擊，不論在發生藥害的作物及藥劑種類上，甚至引起藥害的途徑，似乎也呈現出明顯的改變趨勢，此對藥害案件處理的技術及程序，亦有不同程度的影響。

(一)作物種類

早期水稻、蔬菜、果樹案件的分布比例相當，分別為30%左右，但近幾年來，大部分的案件幾乎都集中在果樹(1998-2002統計約佔48%)，尤其是甜柿、梨、桃等件數明顯增加，柑桔、葡萄、木瓜、番石榴、釋迦，亦為發生藥害之主要作物，此可能與高經濟作物為提高品質及利潤，而頻繁用藥有關。果樹發生藥害的案件增加，顯現出受害面積擴大，甚至對多年生作物的生育有持續性影響的結果，在藥害案件處理上，除了發生原因的確認外，也牽涉到損害評估的研判。

水稻從80年間平均每年發生5-6件，如今逐年降至1-2件，尤其是育苗場的大片秧苗在一夕間急速黃化枯死，導致上百萬元損失的景象亦不復見；蔬果類以西瓜、番茄及茄子等瓜果類件數較多，甘藍菜亦常發生藥害；其他如蘭花等花卉、水生作物如菱角等，平均每年也有3-5件。

(二)藥劑種類

大多數農友對除草劑的使用都會十分注意，因此早期發生在水稻的藥害案件，與殺蟲劑、殺菌劑等的施用時期或混合使用不當有關；隨後在蔬菜園包葉菜類發現，添加展著劑之藥液連續噴施數週，有導致葉面積停止增加影響結球之可能性，在短期葉菜類亦曾出現葉片皺縮、黃褐化之接觸性傷害。

近2、3年來在果菜類及果樹上，「營養劑」的問題成為藥害案件診斷上的一大難題。這些成份

標示不明，又多少具有植物生長調節劑作用的化學藥劑，幾乎都與農藥混合施用，每次用量不高但使用頻繁，有如健康食品卻不清楚在植體內的真正角色，更遑論與其他藥劑的作用結果，但已儼然成為目前藥害案件發生的主因。除草劑誤用引起之藥害亦極為普遍，因為並非刻意噴在作物上，大部分作物僅微量接觸到藥劑，所呈現之藥害徵狀與病徵發展歷程，往往隨藥劑生物活性及受害植株大小會有明顯差異。

(三)發生途徑

主要分為目標區與非目標區2大類，前者多為噴施區內作物直接接觸到較高劑量之農藥，後者則經由噴施時飄散、灌溉水的污染、及土壤中殘效過長引起之微量接觸；目標區藥害大都以營養劑的施用為主，非目標區藥害則因為鄰近地區噴施非選擇性除草劑，由於氣候因子造成藥液飄散，所引起敏感植株之藥害。

藥害案件的受理大都由農友主動提出，但一般栽培者察覺植株生育異常時，往往距離植株接觸藥劑已有相當時日，藥害進展之歷程也進入末期；接觸劑量過高時，植株受害部位枯萎或脫落；劑量低時，外觀的典型徵狀，會隨著植株的長大，或病原蟲等的感染，而變得不明顯，增加了徵狀診斷在實際利用上的困難度，因此分析案件性質並作適當歸類，有助於處理經驗的累積，提供研判時的參考。

四、藥害的診斷技術

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，另一方面則與藥劑飄散、污染灌溉水、或土壤殘效過長，造成非目標作物的藥害有關。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。此外由使用者提供之用藥與作物生育之背景資料，對藥害發生的推斷也是十分有用的。

一般而言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差異，可想而知藥害診斷的複雜性與困難度。因此為避免干擾診斷的正確性，徵狀愈早發現愈易找出發生的原因；綜合田區受害植物分佈的型式，樣品外部形態，及內部構造顯現徵狀的考量下，應可提出最為接近事實的研判。

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，為藥害診斷的逐一步驟。

(一)現場勘察

藥害發生後現場所需觀察記錄的事項，包括田區內植株受害的徵狀，及所在位置的規律性，如呈條狀分布時，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，目標作物田整地、施肥、作物的品種、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一般性原因，較容易分析歸納藥害案例的可能因素。

(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生育異常。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 2 次感染而顯示綜合的病徵。

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綳縮或葉脈黃化，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。蟲害如稻細蟬會引起稻葉捲曲，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加以辨識。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，會表現特定之辨識徵狀。

1. 光合作用抑制型：主要的變化徵狀是葉片黃化及褐化，但三氯吡啶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的葉脈，有如鳥羽狀，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吡啶所表現的下偏捲曲，後者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，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。

(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，感性之甘藍及萵苣，播種在與不同量正常土混拌後之測試土壤內，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，所呈現之 50% 抑制劑量值，做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，調查胚根伸長及幼苗生長反應。

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。但在特定除草劑引起之藥害徵狀，不易區分之下，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，可取代一般層析儀器，所需之繁複的萃取與純化前處理，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。

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。

五、藥害的診斷程序

一般農友向政府機構要求藥害案件診斷時，除了希望明確找出發生的原因外，同時也期望提供可作為解決途徑的依據；包括

作物產量及品質的損害評估，田區及作物再利用的風險，及賠償的歸屬責任問題。前者除了可利用前述之診斷技術做綜合研判外，尚需倚賴作物生育異常的完整變化過程，及栽培者在田間管理執行內容的資訊配合，同時針對受害植物不同程度的徵狀檢視，較能提供接近事實真象的診斷結果。後者牽涉的層面極其複雜，尤其是責任的歸屬對象，大致分為農藥販賣業者、他人有意或無意誤噴、自行用藥不當三類，屬於前兩項之狀況，有時會因為賠償金額而無法順利和解，終至訴諸法律走向興訟的地步，藥害案件因而演變為藥害糾紛。

目前藥害案件的處理程序，大都經由縣市政府或鄉鎮公所等公證單位，於案件受理後會同地區改良場及農藥所，提供現場會勘、公開採樣及樣品檢測等技術資料，再由農藥所綜合研判做出診斷結果。如此的處理流程卻囿於人力資源的限制，無法由實地的探詢得到與案件相關之完整資訊，因而大多利用各項試驗結果，間接推論藥害的因果關係是否成立，模擬噴施即最常被利用為取得直接證據的方法之一，只是要提供類似環境及植材卻成為噴施試驗進行的最大限制因子。或許應先思考以目前的人員編制及可利用資源，到底能幫助農友解決何種藥害紛爭，以及可能的解決途徑，如此在案件處理時農友亦可自行衡量得失，採取較積極有利的方式。

六、結論

藥害的發生是一種偶發性的事件，在農友需要用藥，廠商樂於提供的相互依存關係中，大部份均屬無意的過失，廠商也經常順從民意給予補償。實際上藥害的發生，使用者確要負擔絕大部份的責任，因為廠商的推銷僅能當作參考，農政單位每年不斷的針對農藥的安全使用，提出符合時宜的辦法與宣導，農友必須確

實遵循植保手冊登錄藥劑之推薦使用方法，對於未曾使用過的藥劑則應先做小面積測試，勿完全倚賴販賣業者的推薦，否則多日的辛苦極有可能毀於一旦；此外在用藥的同時，應謹慎小心勿影響到非目標區作物的生育，此點並未涵蓋在藥劑委託試驗中而容易被忽略。總之，以事前的宣導替代事後的診斷，應為消弭藥害糾紛的最佳選擇。

