

# 休閒農牧及運動草地之除草劑安全使用

蔣永正、蔣慕琰

行政院農委會農業藥物毒物試驗所 公害防治組

## 前 言

台灣草坪常見的本草有百慕達草(*Cynodon dactylon*)，假儉草(*Eremochloa ophuroides*)、地毯草(*Axonopus compressus*)及韓國草(*Zoysia tenuifolia*)，調查顯示發生在草坪中之雜草種類超過 30 科 130 種以上。草坪雜草多屬旱生植物，但草坪於種植後多不再行耕犁、整地，雜草發生的種類與數量，與蔬菜及果樹等作物田有相當程度之差異。各地草坪雜草之相對覆蓋率以禾本科最高，莎草科和豆科雜草次之。常見的禾本科雜草主要有牛筋草、早熟禾、鯽魚草、毛穎雀稗、匍地黍、竹節草等；莎草科雜草如香附子、水蜈蚣；闊葉類雜草主要有飛揚草、紅乳草、山地豆、蠅翼草、酢漿草、雷公根和天胡荽等。草坪中之雜草會影響景觀、安全、衛生及草坪品質。草坪內夾雜著株形高矮參差、葉片寬窄不齊、及色澤深淺不一的雜草植株，使草坪的綠化及美化效果大為降低。一般生長快速、具匍匐性走莖、可藉種子及營養器官繁殖之多年生雜草，危害嚴重也最難防治。秋、冬季及初春發生之雜草以闊葉草為主，禾本科雜草次之。夏、秋高溫季節則多為禾本科草，由於生長旺盛且難以有效防除，成為一年中危害最為嚴重之時期。此外除草劑的經常性使用，會造成草坪中雜草相的明顯改變，早期的優勢草種危害逐年降低，次要雜草的發生數量則相對提升，有可能轉變為主要草種。

## 草坪雜草管理

常見之草坪雜草防除方式有人工拔除、機械剪草及化學藥劑防治。一般公園及機關、工廠、社區等綠地屬於粗放型草坪，大部份以機械剪草為主。高溫多雨之夏季平均每個月 1~2 次；冬季大約每兩個月一次。庭園、苗圃、高爾夫球場屬於精緻型綠地，對於草坪的品質要求較高，需以剪草配合人工

除草及化學藥劑防治，才能有效的防除雜草。精緻草坪剪草之頻率較高，雜草生長旺季需要每週進行。有些球場在草坪種植前，會將苗圃及果嶺區之表土，先以土壤燻蒸劑處理再行植草或播種。燻蒸劑處理後之土壤相當潔淨，在草坪形成期間可免受雜草危害。

大部份闊葉雜草及莎草科雜草，可藉著選擇性藥劑予以控制。對於多年生禾本科雜草，尚無較安全有效之藥劑可使用，而且亦無法以剪草方式防治，因此在發生的初期，即應以人工加以清除。除草劑對百慕達草、假儉草、韓國草、地毯草之生育，可能會有不同程度的影響，使用前必須確定所用之藥劑是否會引起目標草種之藥害。

目前台灣登記在草坪使用之除草劑，包括 75%合速隆水分散性粒劑、10%依速隆水懸劑、10%伏速隆可濕性粉劑、50%滅落脫水分散性粒劑、45%甲基砷酸鈉溶液、32%汰硫草乳劑、10%百速隆可濕性粉劑及 50%快克草可濕性粉劑(表一)。近幾十年來除草劑快速發展，從早期用為非選擇性雜草防除的無機化合物，目前已開發超過上百種具不同功效的合成物質，化學防治盛行於世界各地。採用化學除草也是台灣近代農業生產上的重要特色，大幅降低雜草管理過程中對人力的倚靠及生產的成本。但是利用除草劑防治雜草，須對藥劑有適當的認識，才可發揮效果及避免藥害發生，不致因為超過實際的防治需求而危及環境。

## 除草劑的生物活性

除草劑對植物的毒性，與植株對藥劑的吸收、轉移和代謝等作用有關。藥劑的化學結構、作用機制、施用方式、及植物種類與生育期，在殺草及藥害反應過程中，均扮演著重要的角色。

### 一、除草劑的吸收

噴施型農藥不論是以何種劑型施用，通常莖葉為最先接觸到藥劑的部位。一般葉表被覆之臘質及臘質上之角質層，會阻隔外界離子和水溶性分子的進入

表一、草皮雜草已登記之除草劑類別及防除對象

藥劑名稱/化學類別	市售劑型	防除之雜草類別與注意事項
合速隆 (Halosulfuronmethyl)/ 硫醯尿素類 (Sulfonylureas)	75%合速隆 水分散性粒劑	可防除短葉水蜈蚣、扁碎莎草、香附子、蒼香薊、白花蒼香薊、通泉草、藍豬草。 1.適用於百慕達草及地毯草草皮。 2.對鐵莧菜等大戟科雜草及繖花龍吐珠效果較差。
伏速隆 Flazasulfuron/ 硫醯尿素類 (Sulfonylureas)	10%可濕性粉劑 25%水分散性粒劑	飛揚草、紅乳草、水蜈蚣、節花路蓼。 1.限於百慕達草皮施用。
依速隆 Imazosulfuron/ 硫醯尿素類 (Sulfonylureas)	10%水懸劑	香附子、水蜈蚣、天胡荽、野塘蒿、通泉草、山芥菜、一枝香、酢醬草。 1.限用於百慕達草草皮。 2.限用於草皮闊葉及莎草科雜草。
百速隆 pyrazosulfuron-ethyl/ 硫醯尿素類 (Sulfonylureas)	10%片劑 10%可濕性粉劑	水蜈蚣、香附子、長柄菊。 1.限於百慕達草皮施用。
汰硫草 Dithiopyr/ 吡啶 (Pyridines)	32%乳劑	牛筋草、馬唐、紅毛草、兔兒菜、假吐金菊、山芥菜。 1.適用於百慕達草皮。
滅落脫 Napropamide/ Acetanilides	50%水分散性粒劑	牛筋草、馬唐草、酢醬草、昭和草、紫背草、毛穎雀稗。 1.限於百慕達草皮施用。
甲基砷酸鈉 monosodium methanear-sonate (MSMA)/ Organoarsenicals	35.2%溶液 45%溶液	牛筋草、馬唐、紅毛草、兔兒菜、假吐金菊、山芥菜。 1.限於百慕達草皮施用。
快克草 Quinclorac/ Quinoline carboxylic acids	50%可濕性粉劑	毛穎雀稗。 1.適用於百慕達草皮。 2.水蜈蚣發生多時應混合44.1%本達隆溶液8L/ha。 3.施藥時應添加強透力4000倍。

細胞，但小分子親脂性物質，則可以物理作用接近角質層表面。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，在適當密度時會形成網眼，阻止藥滴從葉表滑落，使藥劑分子大量沉積於葉表。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。

一般而言不同類型之藥劑對葉表構造沒有明顯的選擇性差異，主要與作物種類有關，如水稻、玉米等禾本科作物的葉表面，因為包被有明顯之臘質與角質層，較之十字花科葉菜類等光滑之葉面，對大部份農藥均具較高之容忍性。

土壤施用型藥劑主要由根部吸收，藥劑會隨土壤水的流動而進入根、種子和地下莖等組織。土壤環境會影響植株生長勢與根的活性，地下部細胞內外溶液的藥劑濃度差異，亦與吸收量有密切相關。

## 二、除草劑的傳導

大部份除草劑的作用位置是在細胞質、細胞核或葉綠體等胞器內，藥劑需要跨過細胞壁及層層疊疊之膜系，才能發生反應。有些藥劑的作用點離進入的位置僅一、兩層細胞，如巴拉刈進到含有葉綠體之細胞內即發生作用，會立即殺死所接觸到藥劑之細胞。但對萌後噴施防治多年生雜草之藥劑，需從地上部轉移到地下部的營養繁殖器官；或施用於土壤之光合作用型抑制劑，需從根部轉移到葉部才能發揮效果。

藥劑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，主要經由胞質間脈絡絲(plasmodesmata)或細胞間隙的擴散轉移。長程的傳送則靠韌皮部和木質部等運輸系統；通常藥劑配合光合產物的流動方向在篩管內作被動運輸，只是一些活性強之除草劑分子，也會與細胞內之代謝物質競爭攜帶者作主動傳送。

若以韌皮部轉運為主的除草劑在積貯器官，如種子或地下根莖等營養繁殖器官內會大量累積，部份藥劑亦會滲漏到周圍其他組織或導管內隨同水分

子移動。這種韌皮部與木質部間的交換情形，主要和藥劑的膜滲透性、在篩管內的流速及植株的大小有關；2,4-D 與嘉磷塞處理過的植株，在木質部內亦可偵測到顯著的藥劑量。根部所吸收之除草劑主要在導管內轉移，土壤與大氣間水分潛勢的梯度為向上移動之驅動力，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關係的。

藥劑分子在傳導細胞內的膜穿透能力與留滯程度，會影響其在植體內的分佈情形，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佈均勻及增強生物活性的特質。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。

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佈不完全，而影響防治效果。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，才是決定其毒性的主要條件，使用的劑量超過細胞可代謝解毒的範圍時，則會引起生育異常的現象。

### 三、除草劑的代謝

植物體對除草劑的代謝解毒速率，為構成作物與雜草間選擇性的重要機制，亦為除草劑可供安全使用的主要特性。耐性作物和雜草會將細胞吸收的藥劑分解，避免累積到足以致毒的濃度。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，與細胞內成分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，最後沉積在細胞不同部位而失去生物活性；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。

有些除草劑則需要經過生物活化作用(bioactivation)才具有植物毒性；如巴拉刈在光照下促使葉綠體膜產生自由基；2,4-D 和 MCPA 的酯式結構，在感性品系內經氧化作用後，會轉變成具有生物活性的酸式結構；一些禾本科除草劑(如伏寄普、快伏草及甲基合氯氟等)也需經水解、氧化、還原或具可逆性的共軛作用，使藥劑產生生物活性後才具有殺草作用。共軛及解毒作用非為不可逆的途徑，部份會再進入細胞質內發揮活性，但經沉積作用形成不可溶出之殘質，則對植物毒性會顯著降低。

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，植體間同功酵素(isozymes)的差異，導致對藥劑的容忍程度不同；此外植物在不同生育期對藥劑的反應亦有差別，全生育期內的敏感時期；大部份在幼苗期和進入生殖生長之初期(如水稻的幼穗分化期)。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。

## 除草劑的作用原理

除草劑主要是根據其對作物與雜草間作用的差異情形所造成的選擇性方能安全有效的使用，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)來表示，選擇指數為抑制作物生長達 10%之劑量( $ID_{10}$ )，與達到 90%雜草防治率之劑量( $ED_{90}$ )比值；即  $S = ID_{10(作物)} / ED_{90(雜草)}$ (作物生長抑制率與雜草防治率，在不同作物與藥劑種類間，容許某種程度的變異範圍)，因此選擇指數值愈大時，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。而在實際田間應用上，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，而決定出藥害發生風險最低，及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範圍時，仍需重新申請進行有關藥效及藥害田間試驗的原因。

除草劑分子在植體內，可隨著輸送水分之木質部或光合產物之韌皮部，從根部移向芽體及葉尖，或從供源移向積儲器官，有的藥劑甚至具有導管及

有些除草劑則需要經過生物活化作用(bioactivation)才具有植物毒性；如巴拉刈在光照下促使葉綠體膜產生自由基；2,4-D 和 MCPA 的酯式結構，在感性品系內經氧化作用後，會轉變成具有生物活性的酸式結構；一些禾本科除草劑(如伏寄普、快伏草及甲基合氣氟等)也需經水解、氧化、還原或具可逆性的共軛作用，使藥劑產生生物活性後才具有殺草作用。共軛及解毒作用非為不可逆的途徑，部份會再進入細胞質內發揮活性，但經沉積作用形成不可溶出之殘質，則對植物毒性會顯著降低。

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，植體間同功酵素(isozymes)的差異，導致對藥劑的容忍程度不同；此外植物在不同生育期對藥劑的反應亦有差別，全生育期內的敏感時期；大部份在幼苗期和進入生殖生長之初期(如水稻的幼穗分化期)。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。

## 除草劑的作用原理

除草劑主要是根據其對作物與雜草間作用的差異情形所造成的選擇性方能安全有效的使用，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)來表示，選擇指數為抑制作物生長達 10%之劑量( $ID_{10}$ )，與達到 90%雜草防治率之劑量( $ED_{90}$ )比值；即  $S = ID_{10}(\text{作物}) / ED_{90}(\text{雜草})$  (作物生長抑制率與雜草防治率，在不同作物與藥劑種類間，容許某種程度的變異範圍)，因此選擇指數值愈大時，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。而在實際田間應用上，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，而決定出藥害發生風險最低，及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範圍時，仍需重新申請進行有關藥效及藥害田間試驗的原因。

除草劑分子在植體內，可隨著輸送水分之木質部或光合產物之韌皮部，從根部移向芽體及葉尖，或從供源移向積儲器官，有的藥劑甚至具有導管及

篩管雙向傳導之性質。除草劑在植體內之移動距離為決定噴施方式的主要因子，一般接觸型藥劑之移動有限，受害徵狀侷限於藥劑接觸到的部位；系統型藥劑之受害徵狀則會出現在藥劑轉移及積聚之非接觸部位。除草劑引起之受害徵狀與藥劑作用機制密切相關，矮化、節間縮短、根生長抑制、開花異常、種子不稔；葉片狹長扭曲呈上偏性、葉脈平行及葉尖內捲；組織黃化、壞疽；細胞增生累積成團塊等均為常見之異常徵狀。

除草劑的作用機制是指藥劑被植物吸收後，在植體內傳導、作用及導致死亡之過程；如嘉磷塞抑制苯丙氨酸(phenylalanine)、酪氨酸(tyrosine)及色氨酸(tryptophan)三種芳香族氨基酸之產生，影響蛋白質之生合成；EPSP synthase 則為嘉磷塞引起植株生長異常之細胞特定作用位置。矮化、節間縮短、根生長抑制、開花異常、種子不稔；葉形狹長呈上偏性(epinasty)扭曲、葉脈平行及葉尖內捲；組織黃化(chlorosis)、壞疽(necrosis)；細胞增生累積成團塊(callus)等均為常見之異常徵狀。

依據除草劑作用機制，分為生長調節劑型除草劑、胺基酸合成抑制劑、脂質合成抑制劑、幼苗生長抑制劑、光合作用抑制劑、細胞膜破壞劑、色素抑制劑及其他類別等，各類型藥劑之主要特性將分別描述如下，其中殘留於土壤中之殺草有效期限，概分為少於一個月內之短期、一~四個月(作物生長季)之中期、及超過四個月以上之長期。代表性藥劑則依據施用之普遍性及是否容易取得之順序排列。

### 一、生長調節劑型除草劑(Synthetic auxins; Action like indole acetic acid)

類似荷爾蒙(如 auxins 類)之人工合成生長調節劑。干擾細胞內荷爾蒙平衡及蛋白質合成之調控，抑制細胞伸長及分裂等。其中快克草(quinclorac)會影響禾本科植物之細胞壁合成，增加乙烯及氰化物之產生。作用位置不明確，可能涉及多重作用點。藥劑可由根及葉吸收，之後經由韌皮部或木質部作雙向系統性轉移，累積至細胞分裂旺盛之生長點。但在禾本科植物，由葉面噴施之藥劑傳導有限。

施用方式為莖葉萌後噴施，主要防除闊葉雜草。某些藥劑或特殊劑型對多年生闊葉草及矮灌木有明顯效果。受害徵狀大都發生在新生組織，造成闊葉植物之莖及葉柄扭曲及上偏(向下扭曲)，葉片畸形(平行脈、縐縮呈杯狀)，根生長受阻。禾本科植物則出現葉鞘基部肥大成鱗片狀，莖節膨大傾斜易脆，根系粗短互相連合之異常現象。施用後 12~24 小時內植株出現明顯之異常。土壤殘效屬短~長期。

代表藥劑為二、四一地(2, 4-D)、氟氣比(fluroxypyr)、三氯比(triclopyr)、快克草(quinclorac)

## 二、胺基酸合成抑制劑(Amino acid synthesis inhibition)

分為支鏈胺基酸合成抑制劑(Branch chain amino acid inhibitors)及芳香族胺基酸合成抑制劑(Aromatic amino acid synthesis inhibitors)兩類。

### 1. 支鏈胺基酸合成抑制劑

抑制 ALS(AHAS)酵素活性，阻斷纈胺酸(valine)、白胺酸(leucine)、異白胺酸(isoleucine)支鏈胺基酸之合成。作用位置即為 Acetolactate synthase (ALS)(或稱為 Acetohydroxy acid synthase (AHAS))。由根或葉吸收，可在木質部及韌皮部作雙向傳導，運送至生長點之作用位置，但主要隨光合產物在韌皮部移動。

Imidazolinones 類於植前、萌前及萌後施用，用量低，主要用為非耕地之禾草及闊葉草防治。Sulfonylureas 類為土壤或莖葉早期萌後施用，用量低，可有效控制大部分莎草科及闊葉雜草。化學結構的改變造成本類型藥劑在選擇性及殘留期之明顯差別。重複使用易產生抗藥性。

處理後生長立刻停止，徵狀於 1~2 星期後出現。葉展開異常，葉脈紅化，脈間出現黃化條帶。植株矮化，上位節產生叢生現象。禾草的新生葉片會由黃轉至半透明，闊葉植物黃化或紫化，根生長抑制及呈深紫紅色。在土壤中之殘效屬中~長期，與土壤 pH 等環境狀況密切相關。

代表性藥劑為依滅草(imazapyr)、百速隆(pyrazosulfuron-ethyl)、依速隆(imazosulfuron)、免速隆(bensulfuron-methyl)、亞速隆(ethoxysulfuron)。

## 2. 芳香族胺基酸合成抑制劑

抑制苯丙氨酸、酪氨酸及色氨酸三種芳香族胺基酸之生成，影響蛋白質之生合成。作用位置為 5-enolpyruvyl-shikimate-3 phosphate synthetase 酵素(EPSPS)。移動性高，可雙向移動，葉片吸收後主要由韌皮部輸送至生長點。莖葉萌後施用，非選擇性。台灣已出現具抗性之雜草生物型。

施用後 3~5 日新葉最先出現黃化現象。受害徵狀包括生長抑制，葉褪色，褐化壞疽，至植株慢慢死亡約需 10~14 日。禾草曝露在半致死量時，輪生鞘葉呈黃色條帶。較大植株會從腋芽再生。在土壤中主由微生物分解，分解速率視土壤狀況及微生物相而定。噴施時易引起敏感作物之飄散藥害。

代表性藥劑為嘉磷塞(glyphosate)。

## 三、脂質合成抑制劑(Lipid synthesis inhibitors)

抑制脂肪酸合成之關鍵酵素 ACCase 活性，破壞細胞膜系完整性，影響禾本科植物分生組織之生長。作用位置為 Acetyl-CoA carboxylase(ACCase)。主由葉片吸收，經韌皮部轉移至生長點，小部分可由根吸收經木質部轉移。芬殺草(fenoxaprop)較不具移轉性。

莖葉萌後施用，高選擇性，防除禾本科雜草，對闊葉植物幾無活性，為典型之禾草生長抑制劑。芬殺草對多年生禾草之控制效果較差。台灣已發生具抗藥性之雜草植株。

藥劑吸收後生長即停止，徵狀於 7~14 日後出現。新葉黃化或褐化後壞疽，葉基部組織腐爛，易斷裂。植株有紫化現象。老葉徵狀不明顯。土壤中殘效屬短~中期。用量低，對環境威脅小。

代表性藥劑有伏寄普(fluzifop-P-butyl)、甲基合氣氟(haloxyfop-R-methyl)、環殺草(cycloxydim)、快伏草(quizalofop-P-ethyl)、剋草同(clethodim)、

普拔草(propaquizafop)、西殺草(sethoxyim)、丁基賽伏草(cyhalofop-butyl)、得殺草(tepraloxydim)、芬殺草(fenoxaprop-P-ethyl)。

#### 四、幼苗生長抑制劑(Seedling growth inhibitors)

分為根抑制劑(Root inhibitors)及芽抑制劑(Shoot inhibitors)兩大類。

##### 1. 根抑制劑

抑制蛋白微管(protein tubulin)之聚合，無法形成與細胞分裂有關之微管(microtubule)。阻斷細胞分裂所需之微管形成與聚集，干擾紡錘絲之形成，成為橫向擴張之多核細胞。由萌發中幼芽之根及莖吸收，在植體內轉移有限。

土壤施用防除一年生禾草及小種子闊葉草。三福林等需土壤混拌施用，避免光分解及揮發損失。控制萌發中之禾草幼芽，效果較佳。莖、根生長點之分生組織最易被影響。藥劑選擇性與植體代謝差異及在土壤中之分布有關。

受害徵狀為引起禾草之芽鞘及闊葉植物之下胚軸腫脹，萌前施用造成細胞增生，近土面處之莖基斷裂。可能形成短粗之側根，由於根系發育不佳，造成營養缺乏或缺水逆境之生長抑制現象。植株矮化，無法從土壤中正常萌發。玉米等禾本科之嫩芽短粗，呈紫或紅色。闊葉植物之新梢短粗，棒狀根。

在土壤中之殘效屬短～中期。土壤吸附隨有機質含量之增加而提高。光分解或土壤微生物分解，厭氧狀況下微生物分解較迅速，乾冷狀況下殘留較久。

代表性藥劑有施得圃(pendimethalin)、比達寧(butralin)、撻乃安(dinitramine)、倍尼芬(benefin)。

##### 2. 芽抑制劑

抑制蛋白質、脂質及勃激素(GAs)之合成，干擾細胞正常發育。其中鈉得爛(naptalam)為抑制吲哚醋酸(LAA)在植體內的轉移。作用位置為與

acetyl co-enzyme A 結合之多重位置。主要在木質部中傳導移動。土壤及葉面施用，防除一年生禾草及闊葉草。

Acetanilides 及 Chloroacetamides 類為萌前施用或淺層土壤混拌，控制一年生禾草及闊葉草，對已萌發植株之效果差。闊葉植物的吸收及作用位置主要為根，禾草吸收及作用位置主要為正萌發之幼芽。藥劑吸收後在植體內傳導速度慢，因此藥劑在土壤中之分布及殘效性影響防治效果。

Thiocarbamates 類則為土壤混拌劑，控制一年生禾草及一些闊葉草。具揮發性，施用後需立即混拌，以避免揮發損失。主要由萌發中幼芽及生長點吸收。禾本科受害徵狀為葉片捲縮於莖基中無法正常展開，幼苗無法從土中正常萌發。闊葉植物之葉片中肋縮短，葉身綳縮或產生綳褶，呈暗綠色，葉尖向內扭曲或呈心型，芽呈細線狀。莖節呈階梯狀，花芽無法正常抽出。土壤殘效屬短～中期。

代表性藥劑有丁基拉草 (butachlor)、拉草 (alachlor)、殺丹 (benthiocarb)、左旋莫多草 (s-metolachlor)、得拉本 (dalapon)、普拉草 (pretilachlor)、滅草胺 (metazachlor)、滅落脫 (napropamide)、氟丙酸 (flupropanate)。

## 五、光合作用抑制劑(Photosynthesis inhibitors)

分為可移動(mobile)及不可移動(non-mobile)兩大類。

### 1. 可移動類

與 PSII 電子傳遞系統中之 D1 protein 結合，干擾光合作用中電子傳遞及光能之轉換，產生自由基攻擊細胞膜。活性與光照有關。由根及芽吸收，經由木質部向上轉移。土壤或葉面施用，可控制灌木。

Triazines 類的選擇性主要是代謝上之差異，高粱及玉米所具有之 glutathione-S-transferase 酵素，能將藥劑代謝成無毒物質。尿素類對作物及雜草的選擇性，與除草劑在土壤中的分布位置有關，而非代謝差異。

土壤施用型藥劑於子葉或第一真葉開始行光合作用後才會出現受害徵狀。敏感闊葉植物呈脈間黃化至壞疽，成熟葉上沿葉緣開始黃化或壞疽，

逐漸向葉中心進展。敏感禾草由葉尖開始黃化及壞疽，逐漸向葉基進展，受傷葉組織最終即褐化死亡。在 pH 較高之土壤(>pH 7.2)傷害較大。葉面施用之受害徵狀，為細胞膜破壞出現類似接觸性灼傷，葉組織呈古銅色或產生斑點及壞疽。灼傷徵狀在濕熱下會快速出現。

土壤殘效屬中～長期。與某些敏感作物輪作，所需之間隔期限甚至超過 2 年。土壤吸附力隨土壤質地與有機質含量而異。由於在土壤中之殘留較長，會污染細質地土壤之地表水及粗質地土壤之淺層地下水。

代表性藥劑有草殺淨(ametryn)、草脫淨(atrazine)、克草(bromacil)、達有龍(diuron)、理有龍(linuron)、撲拿草(metobromuron)、滅必淨(metribuzin)。

## 2. 不可移動類

阻斷光合作用中電子傳遞及光能之轉換，降低光合作用效率。活性與光照有關。作用位置在 PSII 系統之 Hill reaction。為接觸型藥劑，移動有限。主要在早期萌後施用，噴施時藥液需完全覆蓋葉片，才會提升防治效果。

禾草植物通常較具耐性。接觸型藥劑之傷害侷限於葉片接觸之部位，低劑量類似傳統之光合作用抑制劑。高劑量類似細胞膜破壞劑，作物油及其他添加劑會強化受害徵狀。土壤殘效極短，土壤吸附力低，會快速與有機質結合，淋洗至耕犁層以下之機率低。

代表性藥劑為本達隆(bentazon)。

## 六、細胞膜破壞劑(Cell membrane disrupters)

包括 Bipyridyliums, Diphenyl ethers, Oxadiazoles, Phosphinic acids, Triazolinone 等化學類別。Bipyridyliums 類會與 PSI 系統中之 ferredoxin 競爭電子，形成自由基，破壞正常電子流，產生自由基。活性與光照有關，徵狀出現快速。Diphenyl ethers 及 Oxadiazoles 為 PPO 抑制劑，導致 ProtoIX 累積，產生活化氧，破壞細胞膜引起細胞質滲漏。Phosphorylated amino acids 為氮代謝抑制劑，降低 glutamine synthetase 酵素活性，減少 glutamine 的產生，增加

ammonium 的累積，引起代謝過程所需之胺基酸缺乏，及導致植物體內發生氮毒害。

本類型藥劑均為接觸型藥劑，在植體內移動有限；但 Phosphorylated amino acids 雖為接觸型，但具韌皮部及木質部之低移動性。Bipyridyliums 及 Phosphorylated amino acids 為非選擇性萌後葉面施用，控制一年生禾草及闊葉草。Diphenyl ethers 為土壤或幼苗期施用，防除一年生雜草，提供選擇性防除效果。

Bipyridyliums 在噴施後 1~2 小時即引起藥害徵狀，首先為接觸藥液之葉片呈鬆軟水浸狀之外觀，接著葉組織褐化壞疽，光照會加速徵狀之出現，藥斑最初發生在葉緣。藥液飄散引起之微量傷害為葉表出現紅褐色似灼傷之斑點。Diphenylethers 會導致葉片黃褐及死亡，噴後在葉表快速出現胡蘿蔔色斑點，未死亡之植株有矮化現象。作物油及添加劑會促進傷害。Oxadiazoles 會造成幼苗萎凋死亡，葉片黃化，於噴施後 1~2 日內死亡。土壤噴施或殘留引起之傷害為雜色之黃化壞疽。Phosphorylated amino acids 則於施用後 3~5 日內發生黃化萎凋，1~2 星期內褐化，在高濕高光照下之徵狀出現更為快速。

Bipyridyliums 在土壤殘留長，但會被土壤黏粒強力吸附，無法有效被植株吸收或微生物分解，無土壤殘效性。Diphenylethers 及 Triazolinone 之土壤殘效為短~長期，與小種子作物輪作需較長之間隔期限。由光及土壤微生物快速分解。土壤殘效為二星期~二個月。Phosphorylated amino acids 會由土壤微生物快速分解。

代表性藥劑有巴拉刈(paraquat)、固殺草(glufosinate-ammonium)、樂滅草(oxadiazon)、復祿芬(oxyfluorfen)、必芬諾(bifenox)、亞喜芬(acifluorfen)。

## 七、色素合成抑制劑(Pigment inhibitors, Bleaching herbicides)

干擾光合色素之形成及保護作用，導致葉綠素生成受限，葉片轉白，及抑制類胡蘿蔔素(carotenoid)之生合成。Isoxazolidinones 主要抑制類胡蘿蔔素之生合成。Pyridazinones 為抑制 terpenoid 路徑之 phytoene 及 phytofluene

desaturase 之酵素活性。

主要由根吸收經木質部移動。萌前處理效果佳，會造成已萌發之植株白化。藥劑最先影響光合組織，造成新葉或接觸部位之白化至半透明現象。敏感植物會萌發出白化苗，若白化程度低於 50% 通常可恢復正常。在土壤中之殘效為中～長期，主由微生物分解，部分光分解。對敏感作物會引起揮發性之飄散藥害。

代表性藥劑為可滅蹤(clomazone)。

## 八、其他

有機砷類(Organoarsenicals)為接觸型除草劑。在植體內以砷取代磷，干擾糖代謝。由木質部或韌皮部移動，但大部分隨光合產物在韌皮部轉運，移動有限。

葉面施用，防除一年生雜草。受害徵狀為葉片呈上偏性，組織黃化、壞疽。土壤殘留長，易被吸附，不具活性。

代表性藥劑為甲基砷酸鈉(monosodium methanearsonate; MSMA)。

## 除草劑使用特性

現行的雜草管理對除草劑的依賴頗高。除草劑雖有使用便捷、高效及經濟之特色及優點，但對環境之負面影響為其主要缺點。由於除草藥劑佔生產成本之比率甚低，降低用量所產生之經濟效應有限，多數之農民採取施足藥量以求保險之心態，環境因此承受過多而無實際意義之負荷，保護環境應從降低單位面積用量與減少施用面積兩方面著手。

民國五十二年，正式有除草劑之登記及推薦，目前已登記除草劑中，包含一百餘種不同之化學藥劑，以使用於水田中者最多。針對草坪等面積較大之園區雜草，經登記可合法使用之除草劑相當少，無法滿足實際之需求。很多登記藥劑，雖然列於政府所編印之植物保護手冊中，但因為市場競爭失

利及商業利潤不足，而未在市面銷售，只有主要藥劑較易自市面取得。

除草劑就實用層面，可分為葉面及土壤施用兩型。葉面施用品又包括性系統性及接觸性兩類；土壤施用品主要為抑制雜草幼株之生長。同一類藥劑常具有相近之物理、化學特性及生物活性。單一藥劑施用方法、防治對象等特性，可利用為瞭解同類其他除草劑之參考。例如，芳烴氧羧酸類除草劑，均可造成莖葉扭曲、不定根生長等異常反應；其對雙子葉雜草之活性，要比單子葉植物高。與二、四一地同類之氟氣比或三氣比，也極可能引起同一作物之藥害。

醃胺尿素類除草劑，不能有效防治已成長之雜草，因此拉草、滅落脫及同類之其他藥劑，都需在整地後短期內即施用。三氮苯類除草劑之作用機制為干擾光合作用之電子傳送；在偏酸性土壤中帶正電，以陽離子型式存在，易被帶負電之土壤微粒所吸附，吸附程度高者，就不易被淋洗或為根所吸收。

## 一、實用觀點之除草劑類別及施用法

### 1. 燻蒸劑、萌前(萌前混拌、萌前施用)、萌後(萌後施用)藥劑

溴化甲烷(methyl bromide)、邁隆(dazomet)等燻蒸劑具有廣泛之殺生作用；處理得當，燻蒸劑可以完全殺除土壤中已萌芽雜草及休眠之繁殖體。由於成本相當高，僅用於栽培介質、苗圃、及有特殊需求場地(如高爾夫球場果嶺)之雜草防除。

一般除草劑對休眠之雜草種子無效。視防治雜草之發育期，除草劑可分為雜草萌前(pre-emergence)或萌後(post-emergence)施用兩大類。醃胺、氨基甲酸、二硝基苯胺、聯苯醚、三氮苯、尿素等類型之藥劑及雜類中之依滅草、樂滅草均屬萌前除草劑，須在萌前階段施用，經由根及幼莖吸收進入植體內。萌前藥劑對 3~4 葉以上之雜草效果很差，因此必須在整地後數日內即施用，所用噴霧器以帶有扇型噴頭者最理想。少數易蒸散或光分解之萌前藥劑如三福林，應在種植前將所施藥液拌入土中，才能發揮預期之效果，稱之為萌前混拌法(pre-planting incorporation, PPI)。

芳烴氧羧酸類、芳烴氧苯氧羧酸類、巴拉刈、嘉磷塞、固殺草、環殺草、本達隆、克草等藥劑屬於萌後除草劑，適於萌芽後較大之雜草植株，藥劑經莖葉吸收後進入植物體。硫醯尿素類具萌前作用，但對 3~5 葉幼草之效果良好，適合早期萌後(early post-emergence)施用。

## 2. 選擇性與非選擇性藥劑

多數土面施用之萌前藥劑均有選擇性。施用得當，可有效防治發芽及萌芽期之雜草。但是對作物之安全性，藥劑間有相當大之差別。適用於某種作物之除草劑，對另外一種作物不一定安全。

萌後莖葉施用藥劑中，二、四-地、氟氣比及三氣比等，對闊葉雜草之效果良好，但對禾草之效果差。伏寄普、快伏草、環殺草、西殺草等僅對禾本科植物有效。免速隆、百速隆等硫醯尿素類藥劑，對莎草科及一般闊葉雜草之效果高於禾草。大多數除草劑均具有選擇性，對目標區植物產生不同程度之影響，故可利用在作物田中防治雜草。

巴拉刈、嘉磷塞及固殺草屬於萌後非選擇性藥劑，在正常用量下可對目標區內植物(作物及雜草)造成類似程度之傷害。適用於休閒農地、道路、溝邊、荒地，也常見用於果園、棚架及木本植物下方低矮雜草之防治。作物之莖葉不得與非選擇性藥劑之藥液接觸，否則會造成傷害。在草本作物田施用時，必須使用蓋罩或定向噴施，以保護作物。

## 3. 接觸性與系統性藥劑

接觸性除草劑如巴拉刈及固殺草，對植物之傷害，侷限於藥液接觸到之部份。藥液要噴到莖葉各部位及芽體，才能殺死雜草。適於一年生草本雜草之防治，對多年生草，僅能殺死其地上部。

芳烴氧羧酸類、芳烴氧苯氧羧酸類、硫醯尿素類、環殺草、西殺草及嘉磷塞均為良好之系統性除草劑。藥劑經導管及篩管，長距離輸送至與藥劑接觸以外之其他部位發生作用；系統性除草劑，不必整株全面噴施，也可充分發揮藥效。香附子、茅草等多年生草之地下繁殖器官(球莖、走莖)，需使用莖葉噴施後可輸送至根部之系統性藥劑才能有效防治。

#### 4. 短效性與長效性藥劑

除草劑施用後，會因蒸散、流失、土壤固定、植物吸收、光分解、微生物分解等途徑，失去生物活性。巴拉刈、固殺草及嘉磷塞會被土壤黏粒強力固定，而不易為植物根所吸收，幾無土壤殘效，雜草種子在使用藥後短時間內即發芽生長。

一般用量下，多數除草劑之土壤殘效在 1~2 個月間。如使用得當，單次施藥即可符合田間雜草防治之實際需求。栽培期長或莖葉稀疏不易形成良好覆蓋之作物，使用殘效短之藥劑，其防治有效期不足，中後期發生之雜草，需要二度施藥或以其他方法清除。

三氮苯類、依滅草、達有龍、滅落脫為常見藥劑中土壤殘效超過兩個月。其優點為防治有效期長，但是使用不當，亦會造成後作田敏感植株之藥害。

#### 5. 全面、帶狀、點狀、定向、注射施藥

田間實際之雜草防治，不一定要全面施藥。某些狀況下，局部施藥即能達到防治目標。田間稀疏分布之多年生草，以系統性除草劑點狀施藥即可。栽植作物如有足夠行距，可在行間實施機械式中耕除草，則萌前除草劑可以帶狀施用於植株行間。定向噴施可避免或減少藥液與作物之接觸，防除高大而數量少之野蕉、雜木、棕櫚科植物，可將高濃度之藥液直接注射至莖稈中。

## 二、如何選用適當之藥劑

除草劑之種類相當多，選擇藥劑時，除經濟成本及是否容易取得外，也需就下列技術性問題加以考慮。

### 1. 依據田區雜草發生情況

針對雜草之發育時期、種類及防治期長短等狀況，可選用不同類別之除草劑。其考慮之過程可簡化如下圖所示。例如，田間發生各種類別(禾草及闊葉草)之一年生草，且其發育已超過 3~4 葉，可尋序由萌後藥劑→

非選擇性藥劑→接觸性藥劑找到屬 H6 之巴拉刈、固殺草，此兩種即為適宜之防治藥劑。

H1：溴化甲烷、邁隆

H2：聯苯醚、硫醯尿素、氨基甲酸、醯銨、二硝基苯胺等

H3：尿素類、三氯苯類、依滅草

H4：芳烴氧苯氧羧酸類、西殺草、環殺草

H5：芳烴氧羧酸類、硫醯尿素類、本達隆

H6：巴拉刈、固殺草

H7：嘉磷塞

雜 草 生 育 期	{	休眠繁殖體—燻蒸劑	H1	
		小於2-3葉—萌前藥劑：殘效短、中	H2	
			：殘效長	H3
		大於3-4葉—選擇性藥劑：禾本科草	H4	
			：闊葉草	H5
			非選擇性藥劑：一年生草(接觸性藥劑)	H6
：多年生草(系統性藥劑)	H7			

## 2. 依據標示用法

政府所編印之植物保護手冊及除草劑包裝上，印有簡要之施用方法，包括名稱、藥量、水量或稀釋倍數、施藥時期及方法、注意事項及防除對象雜草等。對不熟悉藥劑使用者是重要參考依據，標示用法中最須要注意的是藥量。用量不足則防治效果降低，過多會產生藥害。殺蟲、殺菌劑之使用上，習慣以稀釋倍數來調配噴施之藥液，由於不同施藥器具以及噴藥習慣，會導致單位面積用水量之差異，雖然標示之稀釋倍數相同，但在用水量不同下，會改變單位面積之實際受藥量。萌前除草劑之正確使用，要求將標示藥量精準且均勻的施於目標區土表。以稀釋倍數配藥時，要估計是否達到標示之單位面積用量；否則需調整水量或稀釋倍數。

防除對象欄所列之雜草，是依據原試驗資料登錄的，實際上可防除之雜草種類遠多於所列出者。除主要作物有多種經測試登記之藥劑可供選用外，其他作物則只有 1~2 種或完全無登記之除草劑，由於可供遵循之資料不足，在這些作物田上使用之除草劑，很容易造成藥害。

### 3. 注意除草劑使用不當之影響(藥害、水保、草相、污染)

除草劑較其他種農藥易造成作物藥害，以化學法防治雜草時，要確實遵照標示之藥量及使用方法，不可隨意將藥劑用於未經測試或非登記作物。經常使用同類型除草劑之田區，要視雜草相改變情況，更換施用其他替代藥劑，以避免耐性及抗藥性雜草之滋生繁衍。

雨季期間，坡地上應儘量少用非選擇性除草劑，以減少土表裸露造成土壤流失。國外很多地區，大面積長時期施用草脫淨等藥劑，已造成地下水之污染，成為相當困難處理之問題。近幾年農藥所調查台灣蔗作地區地下水，尚未發現草脫淨污染之情況；由於農藥不易在地下水層中分解，對於普遍使用之藥劑，應持續追蹤其對環境之可能危害。

## 三、除草劑施用應注意事項

除草劑的施用分為噴施(液劑、乳劑及可濕性粉劑)及撒施(粒劑及片劑)等不同方式，選用適當的噴施機具，有利於提高農藥噴撒過程中的準確性，同時降低藥劑飄散程度，不僅得到安全有效的田間防治效果，同時也有利於環境的保護。農藥施用與其他田間操作有所不同，不當使用對作物生育的影響，短時間內往往不會立即表現出來而錯失彌補時機。

施藥器械可分為背負式及動力式兩類。除草劑噴施器械在開始使用時應先進行校準：一為確保施用過程中之準確出藥量，二為決定噴施目標區之適當藥量與水量。通常除草劑是以單位面積的用量作為施用之標準，但田間之實際用量會受噴施壓力、噴頭之出水量、噴施時之走速及噴幅的型式與寬度而改變，因此在施藥前應先針對這些項目預作測試及計算。

一般噴頭在一定壓力下的噴霧量，可以從噴頭出廠規格中得知，當實際

噴量之差異超過 10%時，需要更換新的噴頭。噴頭、噴槍、噴桿等噴灑組件會導致藥液的霧化程度，及形成霧滴形狀的改變，造成藥液在植株上的分布及覆蓋的不同，會直接影響防治的效果。不同孔徑噴頭之噴霧量、粒徑、及噴霧角會有所差異，小噴孔之噴霧量小，霧粒細，適於苗期或植株生育早期；大噴孔之噴霧量大，霧粒粗，適用於中後期植株噴施。

霧粒覆蓋密度與防治效果也有密切相關，一般在一定數值範圍內，霧粒細則覆蓋密度高，防治效果較佳，同時小霧粒還具有穿透性佳和沉積率高的特點。當霧粒噴入植叢中，大霧粒只是直接撞擊在莖葉的上表面，小霧粒還能隨著氣流繞過莖葉正面，附著於背面，且大霧粒容易在植株表面發生彈跳跌落現象，小霧粒則不易彈跳沉積率較高。實際使用中，粒徑在 250 微米以上的液滴，用於田區除草劑之噴施，所產生的大霧粒會在限定的範圍內沉積分布。

噴霧的沉積效率會受到田區風速、風向、溫度、相對濕度、降雨頻率等氣象因子之影響。霧粒的運動距離取決於其下降的初始速度、噴霧高度及風速。霧粒越大，受風的影響就越小，下降速度就越快，如此可減少飄散，但分布效率也降低，因而減低了接觸性藥劑的效果。由於霧粒可能被風吹到處理區以外之田區，飄散到鄰近敏感作物上或污染附近水源，因此風向為噴霧時必須慎重考量的因子。

除草劑的施用效果，主要與藥劑對不同種類植物作用之選擇性有關。選擇性會受到植物對藥劑的吸收、傳導、代謝機制的差異，及藥劑在環境中之殘留期長短，而有不同程度的變化。如何在藥劑、作物及環境三者間做適當的調配，為發揮除草劑最大效益及降低藥害發生之關鍵。

### 影響除草劑作用之因子

藥劑施用方式與溫度、風向、水質及土質等環境因子之變化，為影響除草劑藥效發揮及藥害避免之主要因子。

## 一、藥劑噴施系統

噴藥時流量的控制及噴桶壓力的大小，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，則對如可濕性粉劑劑型之農藥，易造成局部田區植物的受藥量過高。在使用混合農藥時，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，因此應先了解藥劑的物化性質。

施用除草劑分為噴施(液劑、乳劑及可濕性粉劑)及撒施(粒劑及片劑)等不同方式，選用適當的噴施機具，有利於提高農藥噴撒過程中的準確性，同時降低藥劑飄散程度，不僅得到安全有效的田間防治效果，同時也有利於環境的保護。農藥施用與其他田間操作有所不同，不當使用對作物生育的影響，短時間內往往不會立即表現出來而錯失彌補時機。

施藥器械可分為背負式及動力式兩類。除草劑噴施器械在開始使用時應先進行校準：一為確保施用過程中之準確出藥量，二為決定噴施目標區之適當藥量與水量。通常除草劑是以單位面積的用量作為推薦量之標準，但田間之實際用量會受噴施壓力、噴頭之出水量、噴施時之走速及噴幅的型式與寬度而改變，因此在施藥前應先針對這些項目預作測試及計算。

一般噴頭在一定壓力下的噴霧量，可以從噴頭出廠規格中得知，當實際噴量之差異超過 10%時，需要更換新的噴頭。噴頭、噴槍、噴桿等噴灑組件會導致藥液的霧化程度，及形成霧流形狀的改變，造成藥液在植株上的分佈及覆蓋的不同，直接影響防治的效果。不同孔徑噴頭之噴霧量、粒徑、及噴霧角不同，小噴孔之噴霧量小，霧粒細，適於苗期或植株生育早期；大噴孔之噴霧量大，霧粒粗，適用於中後期植株噴施。

霧粒覆蓋密度與防治效果也密切相關，一般在一定數值範圍內，霧粒細則覆蓋密度高，防治效果較佳，同時小霧粒還具有穿透性佳和沉積率高的特點。當霧粒噴入植叢中，大霧粒只是直接撞擊在莖葉的上表面，小霧粒還能隨著氣流繞過莖葉正面，附著於背面，且大霧粒容易在植株表面發生彈跳跌落現象，小霧粒不易彈跳沉積率較高。實際使用中，粒徑在 250 微米以上的液滴，用於田區除草劑之噴施，所產生的大霧粒會在限定的範圍內沉積分布。

噴霧的沉積效率會受到田區風速、風向、溫度、相對濕度、降雨頻率等氣象因子之影響。霧粒的運動距離取決於其下降的初始速度、噴霧高度及風速。霧粒越大，受風的影響就越小，下降速度就越快，如此可減少飄散，但分布效率也降低，因而減低了接觸性藥劑的效果。由於霧粒可能被風吹到處理區以外之田區，飄散到鄰近敏感作物上或污染附近水源，因此風向為噴霧時必須慎重考量的因子。

## 二、環境因子

### 1. 氣候環境

- (1) 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。但陽光中的紫外線會造成某些藥劑的光分解而影響藥效。
- (2) 氣溫：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，因此在高溫強光下某些藥劑易引起藥害。

高溫下容易造成酯類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、丁拉萘普粒劑及殺丹粒劑，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。

- (3)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，亦為光照及氣溫交互作用的結果。
- (4)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，促進根部的藥劑吸收；水溶性的巴拉刈用於水田整地前雜草防除時，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；免速隆在施藥後十日內應禁止田區排水，若流至附近灌溉水中，被敏感作物吸收也會引起藥害，因為施藥早期之田水會引起葉菜類發生明顯的藥害。
- (5)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。因此氣候條件不但影響藥效發揮，還可減少藥害的發生機率至最低。

## 2.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。

- (1)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。土壤水分会將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，則有可能再行脫附至土壤溶液中，被植物根所吸收。而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。

- (2)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。施用具有揮發性之土壤施用型農藥，可以混拌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，易隨土壤水做不同方向的移動，如得拉本即具高溶解度及低吸附性，較達有龍、理有龍及草殺淨、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分布的區域，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。

- (3)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，分解作用的進行和土壤組成、pH 及水份含量，氣溫、空氣濕度及紫外光的出現，土壤微生物相均有密切相關，即環境影響分解的速率。

殘留在土壤中的農藥有可能被植物的地下部如根所吸收，夾雜在育苗土中的植物殘質，若殘留有除草劑，可能會引起秧苗或幼嫩植株的藥害。

### 三、稀釋用水質

噴藥時做為稀釋用之水質，其酸鹼度、電導度、鎂鈣等離子含量，因為會影響農藥主成份的物化性質，形成不可溶之鹽類沉澱或是影響植物的吸收量，亦可能造成藥害；一般而言水質中若殘留有生物活性強之農藥，不論做為灌溉或噴施農藥之用水均不適當，因此個人在用藥後也應特別注意田區的管理與殘留農藥的清理。

## 草坪雜草的化學防除

使用除草劑進行雜草管理的目的，以合理降低雜草對草坪草的危害，及

避免藥劑對本草植株的生長抑制為主。藥效的發揮與田區雜草發生的種類、數量與大小，及除草劑的類別、噴施方式有關，藥害的發生則以草坪草對藥劑耐受性程度為判斷的依據，草坪的管理成效會導致植株對藥劑的反應差異。

### 一、播種或移植前前之雜草防除

一般針對所發生之雜草種類與數量，施用非選擇性藥劑除草劑，闊葉或禾本科雜草發生較多時，也可選用適當之選擇性藥劑。藥劑施用前先予灌水濕潤土壤，可促使土中雜草種子的萌發，有效降低土壤種子庫內的雜草種子數量。

### 二、施用萌前除草劑防除雜草

萌前除草劑主要防除萌發中之一年生雜草，施用適當可達到八成以上的防治效果，但針對禾本科雜草的防除藥劑須考量其在土壤中之殘效，除草劑的性質及土壤質地、組成均與藥劑的殘效性密切相關。

### 三、草坪草栽植初期之雜草防除

早期萌後除草劑可有效防除 2-3 葉以下之雜草植株，但草坪草在萌發後 50 天內之初期生長期對除草劑極為敏感，幾乎所有防除禾本科雜草的除草劑都可能引起藥害，即使具高選擇性的除草劑，也要注意勿施用過量，對生長勢弱的草坪草幼株也可能造成傷害。

### 四、草坪草生育中期之雜草防除

可針對不同季節分布之主要雜草，選擇土壤處理或莖葉噴施型之藥劑，使用萌後防治禾本科雜草的除草劑或非選擇性藥劑，須調整噴施方式，避免草坪草植株接觸到藥液造成藥害。

草坪雜草若能有效控制，可大幅度減少修剪次數。一般在生育初期若能降低雜草發生量至最低，之後配合季節性的溫度雨量變化，可將修剪次數合理的減少，對提高草坪的維護品質及管理費用的縮減均有顯著成效。

## 除草劑使用之問題與檢討

雜草防治是作物栽培不可缺少之一環。近幾十年來，由於化學藥劑之使用，大幅降低作物栽培對人力之依靠及生產成本，造成深遠之影響。相對於化學除草技術之快速發展，物理性、生物性及栽培性之雜草防治研發及應用，多停滯在數十年前之水準，在實際雜草管理上之角色也日趨降低，導致這種不平衡情勢之主要因素是化學防治具有其他方法難以抗衡之效率及成本優勢。

現行除草劑使用體系在藥劑毒性、環境污染、水土保育、雜草抗藥性、雜草組成多樣性等層面亦存有不同程度之潛在問題。

### 一、除草劑毒性及環境污染

常用之藥劑中以巴拉刈之毒性最高(LD<sub>50</sub>< 140mg/kg)，施藥者長期吸入微細之藥液亦可產生組織及器官之病變。多數除草劑之作用機制為干擾植物特有之生理及生化作用，對高等動物之急性毒低。近十餘年來農藥之登記，對藥劑之慢性毒有嚴格之要求；曾經普遍使用之藥劑如護谷(nitrofen)、全滅草(chlornitrofen)、五氯酚(PCP)，因藥劑本身或所含不純物具有高度致畸胎、致癌、致腫瘤之可能性而被淘汰。干擾生物體內分泌，而使人及其他動物體內分泌系統失調之環境賀爾蒙(environmental hormone, endocrine disrupter)也是近年關注之焦點，屬於此類之除草劑有拉草、草脫淨及二、四—地等。

農藥在水、土中之殘留量主要受化學結構特性、水土物化性質及降解(degradation)因素所支配。普遍使用及分解慢之藥劑會對大環境造成污染，如三氯雜苯類對地下水之污染。由於藥劑在深層地下水中之分解極為緩慢，可能之影響難以評估，是環境保護值得注意之問題。

### 二、水土與物種保育

臺灣坡地面積約 97 萬公頃，佔總面積之 27%，此區域之原有森林及植被多被人為干擾所破壞；由於地形特殊且雨水多而集中，生態環境相當脆弱。在地形複雜多變化之坡地上栽植作物，其困難度及所涉之管理成本遠較平地

者為大，因而形成對此區域開發之自然限制，雜草茂密及競爭植物種類多，本是坡地開發及作物栽培之重要障礙。採用化學藥劑除草，使得坡地農地管理負擔減輕，間接促進坡地之開發。除草藥劑之使用固可減少此等園區內雜草之危害，但每次藥劑用後造成 1~2 個月之地表裸露；尤其在雜草滋生之雨季施用藥劑，裸露土表之水土流失極為嚴重。

管理作業與田間雜草之組成及變動息息相關，非選擇性除草劑對敏感植物形成極大之選汰壓力，少數對藥劑忍耐力高而繁殖力強之植物形成強勢之支配種。耕地及農業周邊區域植物相之單純化，對棲地原有豐富多樣之物種及生態環境之穩定造成負面影響。

### 三、非目標植物藥害與抗藥雜草

除草劑不當使用極易導致作物藥害。草滅淨、草脫淨、達有龍、依滅草等藥劑，土壤殘效期長多在 2~3 個月以上；後作或間作栽植之作物可由土壤吸收此類藥劑而抑制生育。巴拉刈、嘉磷塞、伏寄普、二、四-地、三氣比等萌後藥劑，其施用之藥液易隨風飄散，與非目標區植物之莖葉接觸造成傷害。排放或溢出田水中所含之硫醯尿素類藥劑，可造成蔬菜及芋頭之嚴重藥害。

雜草對除草劑產生抗性已成為全球性之重要議題。通常單一作用點活性高之藥劑易產生抗藥性。各類型藥劑中，以 ALS inhibitors 及 ACCase inhibitors 發現抗性之報導最多，PS II inhibitors 居次，bipyridyliums(巴拉刈)及 synthetic auxins(二、四-地)也為數不少。台灣地區已確認菊科雜草野茼蒿對巴拉刈之抗性；田間之觀察亦顯示，牛筋草對嘉磷塞及禾草藥劑、大角定經草對巴拉刈、蔗園禾草三氣雜苯類藥劑可能已產生抗性，抗藥性雜草之發生，目前已漸漸成為台灣農田雜草管理之明顯問題。

## 結 語

過去 20~30 年之台灣農業生產，主要在追求高產及經濟效應，所有相關作業之實施及管理也配合此目標之追求，台灣農地雜草防治所採用之方法，

及所建立之體系亦建構在此目標導向之下，其重要特色為化學除草之發展及藥劑之大量使用；而其他之防治方法則逐漸被忽略。由於環保意識之醒覺，國際間對農藥及外來生物之管理日趨嚴格。台灣在除草劑及其他農藥之管理上，採取與歐美日等國類似之高標準登記審查制度。農藥上市前，必須通過物化特性檢驗、毒理(toxicology)資料審查、藥效試驗、殘留量測定等層層關卡之嚴格篩選。其中毒理審查包括急性毒、亞慢毒、慢性毒、致變異性、生物代謝、環境安全影響、非目標生物毒性等二十餘項試驗之資料，此等資料之備置耗時且昂貴。嚴格之登記管理過程，除淘汰不良藥劑外，亦使新農藥開發之成本增高，雖然文獻上不斷可見新農藥研發之報導，但僅少數可通過登記上市。

歐美國家所推展之害物綜合管理計畫，多以降低農藥使用，藉以減輕環境衝擊為重要目標。台灣之雜草綜合管理，在推廣一般性理念及改進各別防除方法上較易取得成效，即推動管理雜草而非除盡雜草之觀念。除草藥劑用量高之大面積栽培作物，應發展降低用藥之管理體系，鼓勵維持多樣性之野生地被，減少化學及耕犁除草以免導致水土流失。從政策法規上提供經濟上之誘因，減輕藥劑對環境所造成之衝擊，遵循合理控制雜草發生數量的管理體系。