

常用除草劑之特性與應用

蔣永正、蔣慕琰
農委會農業藥物毒物試驗所

前言

臺灣地處熱帶及亞熱帶，平地至高山多變的地形，提供了熱帶及溫帶植物的生長環境，雜草種類多且分布廣泛，對農業環境及生產造成極大的衝擊。自1960年代初期正式有除草劑在臺灣登記及推薦以來，目前合法登記之除草劑超過130種，其中單劑約90種，餘為混合劑。因毒性因素而禁用者，包括護谷、五氯酚、達諾殺、全滅草等十餘種，近年市場上仍可取得之除草劑約70種。商品除草劑每年用量均超過1萬公噸；2007年之總銷售量為1.7萬公噸，約佔當年全部農藥用量之45%，金額則佔國內市場(57.3億台幣)之29%，除草劑的應用成為現行雜草管理體系所高度依賴之技術。用量較多之藥劑為嘉磷塞、巴拉刈、丁基拉草、施得圃及伏寄普等，固殺草、百速隆及丁拉免速隆有普遍被接受使用之趨勢。除草劑適用的作物範圍及施用方法，主要參考田間藥效及藥害試驗結果所訂定，亦為登記及管理之依據。

除草劑作用原理

臺灣除草劑之登記始於1960年代初期，已登記之除草劑依作用機制可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、色素抑制劑等類別。

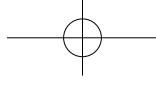
一、生長調節劑型除草劑

(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，主要干擾細胞內荷爾蒙平衡及調控蛋白質合成，抑制細胞伸長及分裂。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。在細胞內之作用位置可能涉及多重作用點。藥劑由葉片吸收後，經由韌皮部或木質部作雙向系統性轉運，累積至細胞分裂旺盛之生長點。但在禾本科植物，由於藥劑的傳導有限，忍受性較闊葉植物為高。用於防治一年生闊葉雜草，三氯比(triclopyr)對多年生藤類及矮灌木亦有明顯效果。

施用方式為莖葉萌後噴施，施用後12~24小時內出現異常徵狀，大部分發生於新生幼嫩組織。闊葉植物之莖及葉柄扭曲或上偏(向下扭曲)，葉片畸形(平行脈、縮縮呈杯狀)。禾本科植物之葉鞘基部肥大成鱗片狀，莖節膨大易脆，根系粗短。常用藥劑為二、四—地、氟氯比(fluroxypyr)、三氯比、快克草。

二、四—地於1940年代初期開發，是最早使用之選擇性除草劑。臺灣於1963



年登記，有40%胺鹽溶液、72%及80%鈉鹽水溶性粉劑三種劑型。胺鹽之水溶性高於鈉鹽，與硬水產生沉澱之程度較輕，不易阻塞噴嘴及藥效較穩定。國外有製成為純酸(acid)及脂化(ester)之劑型；脂化之二、四一地為油溶性且易揮發，具有較強之殺草力，但也易導致藥害。

土壤膠體對二、四一地之吸附力弱，主要受微生物所分解，半衰期10日，在土壤中之殘效期多短於一個月。急性毒低(胺鹽對白鼠之口服半致死量 >1000 mg/kg)。臺灣登記僅限於甘蔗田，對藿香薊、刺莧、野莧等闊葉雜草之效果良好，對莎草科雜草之效果較弱。北美洲及東南亞已有少數雜草對此藥產生抗藥性。

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

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。

(一)支鏈胺基酸合成抑制劑

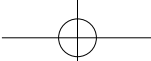
抑制ALS(AHAS)酵素活性，阻斷纈胺酸(valine)、白胺酸(leucine)、異白胺酸(isoleucine)支鏈胺基酸之合成。作用位置即為acetolactate synthase(ALS)(或稱為acetohydroxy acid synthase (AHAS))。由根或莖葉吸收，移行性良好，可在木質部及韌皮部作雙向傳導，運送至生長點之作用位置，但主要隨光合產物在韌皮部移動。重複使用易產生抗藥性。

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，活性高，有效成份用量小於 0.1 kg/ha，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。噴施後植株生長立刻停止，徵狀於1~2星期後出現。葉脈紅化，脈間出現黃化條帶，植株上位節產生叢生現象。對闊葉及莎草科草之效果良好，對禾本科雜草稍差。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)。

百速隆為日產公司(Nissan)開發，1991年在臺灣登記，商品名為免草繁，有10%片劑及可溼性粉劑兩種劑型。難溶於水(pH6: 221 mg/l, pH7: 1490 mg/l)，溶解度取決於水溶液之酸鹼性，酸性液中較小，隨pH增高而加大。不易揮發(20°C 蒸氣壓為 1.1×10^{-7} mm Hg)，對光、熱穩定。毒性低，對人畜非目標生物及環境安全，口服半致死量均大於 $5,000$ mg/kg。每公頃有效成份用量，水田及草坪分別為 0.05 及 0.15 公斤對萌芽期至十餘公分之闊葉草及莎草有效。施用之時期較具彈性，水田整地插秧後5~15日為理想之用藥期。可防治對一般萌前除草劑忍受性高之多年生草如野茼蒿、瓜皮草、螢蘭、香附子；殘效較長，水田有效防治期可達兩個月以上。闊葉作物對此藥極為敏感，不可施用於芋田、空心菜田，施藥後田水不可用於蔬菜田之灌溉。

(二)芳香族胺基酸合成抑制劑

抑制苯丙氨酸(phenylalanine)、酪氨酸(tyrosine)及色氨酸(tryptophan)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)。經葉片吸收主要由韌皮部輸送至生長點，移動性高，可雙向移動。莖葉萌後施用，



非選擇性。施用後3~5日新葉最先出現黃化，漸次褐化乾枯至植株死亡，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型藥害。代表性藥劑為嘉磷塞(glyphosate)。

嘉磷塞由孟山都(Monsanto)公司研發，1973年在臺灣登記，為登記範圍最廣而實際上使用也最普遍之除草劑。異丙胺鹽41%溶液為主要劑型，藥劑對光穩定，水溶性良好(900,000 mg/l)，不易揮發(25°C 蒸氣壓 1.84×10^{-7} mm Hg)。具輕微眼刺激性，急性毒低(對白鼠之口服半致死量5,600 mg/kg)。在土壤中主要被微生物分解，半衰期47日。

有效成份施用量 1.6~2.8 kg/ha，此用量範圍對各類一年及多年生草本雜草效果良好，但對藤類及雜木之效果較弱。藥效之充分發揮，敏感種類須4~7日，忍受性高之雜草須2~3週。

藥液中添加展著劑或硫銨有利吸收可加強藥效，噴藥後4~6小時內下雨會降低殺草效果。嘉磷塞可迅速被土壤吸附而喪失殺草力；噴至土面之藥劑不會被作物種子及植株根所吸收而產生傷害。嘉磷塞對作物之藥害主要由施藥不當，藥液與莖、葉、芽體或裸根接觸所引起。1996年澳洲即已發現黑麥草對此藥產生抗性。

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，經韌皮部轉移及累積在生長點，小部分可由根吸收經木質部轉移。芬殺草(fenoxaprop)較不具移轉性，對多年生禾草之控制效果較差。

莖葉萌後施用，具高選擇性，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。藥劑吸收後植株即停止生長，徵狀於7~14日後出現。新葉黃化壞疽，葉基部組織腐爛，易斷裂，植株有紫化現象。老葉徵狀較不明顯。代表性藥劑有伏寄普(fluazifop-P-butyl)、甲基合氯氟(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)。

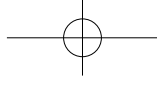
伏寄普最早由日本石原產業株式會社(Ishihara Sangyo)發現，並與英國ICI(Astra Zeneca之前身)共同發展。臺灣於1982年登記，新萬好為目前唯一登記之商品，由省農會農化廠生產，農會系統銷售。最初上市之35%乳化劑(商品名萬帥)含有半量不具殺草力之成分，已不再銷售。目前之劑型為均有殺草活性之17.5%乳劑(fluazifop-p)。藥劑不溶於水(1.1 mg/l)，不易揮發(25°C 蒸氣壓為 2.5×10^{-7} mm Hg)，光照下穩定。半衰期15日，土壤殘效期短，在一個月內。急性毒低(17.5% EC對白鼠之口服半致死量大於4000 mg/kg)，略具皮膚及眼刺激性。臺灣牛筋草已出現對伏寄普及同屬藥劑產生抗性之生物型植株。

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)兩類。

(一)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，但在植體內轉移有限。

土壤施用防除一年生禾草、小種子闊葉草，及抑制較大植株之根系發展。藥劑之選擇性與植體代謝差異及在土壤中之分布有關。莖、根生長點之分生組織最易被影響，受害徵狀為引起芽鞘或下胚軸腫脹，萌前施用造成細胞增生，近土面處之莖基斷裂。土壤吸附隨有機質含量之增加而提高。主要受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)、捷乃安(dinitramine)、倍尼芬(benefin)。

施得圃為氰氨(Cyanamid)公司所研發，1976年在臺灣登記，商品以斯統普(氰氨)為主。常見之劑型為34%乳化劑。受紫外光緩慢分解，不溶於水(0.3 mg/l)，揮發性不強(25°C 蒸氣壓 9.4×10^{-6} mm Hg)。溫帶地區田間半衰期約40日。被土壤微粒及有機質強力吸附，施藥後留在表土淺層，不受雨水及灌溉之影響向下淋洗。

略具眼刺激性，急性毒低(對白鼠之口服半致死量 >5000 mg/kg)。施用量因作物敏感性及所需除草期之長短差異頗大。一般質地土壤之田區施用1.0 kg/ha時，可達兩個月以上之有效防治期。藥效穩定，可用於多種蔬菜及旱地作物，是臺灣使用最普遍之萌前除草劑。國外有少數雜草對此藥有抗性，臺灣尚未發現有抗性雜草。

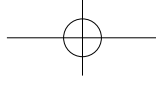
(二)芽抑制劑

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(IAA)在植體內的轉移。作用位置為acetyl co-enzyme A結合之多重位置。主要在木質部中傳導移動。闊葉植物的吸收及作用位置主要為根，禾草為萌發中之幼芽。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。

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。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。

禾本科受害徵狀為葉片捲縮於莖基中無法正常展開，幼苗無法正常出土。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)。

丁基拉草為美國孟山都(Monsanto)公司研發，臺灣登記起於1971年，目前取得登記證之商品有5%粒劑、32%及60%乳化劑。難溶於水(23 mg/l)，揮發性弱(25°C 蒸氣壓為 4.5×10^{-6} mm Hg)在光照及常溫下穩定。可為土壤膠體吸附，主要受微生物所分解，半衰期12日，除草有效期30～60日。急性毒低(60% EC對白鼠之口服半致死量大於5000 mg/



kg)，乳化劑略有皮膚刺激性，粒劑無刺激性。

丁基拉草對水田中種子繁殖之各種雜草效果良好，對稗草防治更優於其他水田藥劑。但對由走莖、地下莖或芽體繁殖之雙穗雀稗、野茭菰、瓜皮草、螢蘭等效果不理想。對移植稻相當安全，但易造成直播稻之藥害，是亞洲各移植水稻栽培地區最主要之除草劑，歐美稻作多採直播很少使用此藥。

五、光合作用抑制劑(Photosynthesis inhibitors)

分為可移動(mobile)及不可移動(non-mobile)兩類。

(一)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。Triazines(三氮苯)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，能將藥劑代謝成對植物無毒物質，對闊葉草之效果較佳。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。已發生抗藥性雜草。

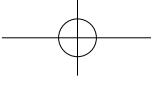
土壤或葉面施用，可控制灌木。土壤施用型藥劑於子葉或第一真葉開始行光合作用後才會出現受害徵狀。敏感闊葉植物呈脈間黃化至壞疽，成熟葉上沿葉緣開始黃化或壞疽，逐漸向葉中心進展。敏感禾草由葉尖開始黃化及壞疽，逐漸向葉基進展。受傷葉組織最終即褐化死亡，在pH較高之土壤(>pH 7.2)傷害較大。葉面施用之受害徵狀，為細胞膜破壞出現類似接觸性灼傷，葉組織產生褐色斑點及壞疽。灼傷徵狀在濕熱下會快速出現。

藥劑在土壤中分解慢，殘效期長，超量施用可導致後作藥害，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)、撲奪草(metobromuron)、滅必淨(metribuzin)。

草殺淨於1971年在臺灣登記，有80%可溼性粉劑及25%乳劑兩種。藥劑受紫外光分解，難溶於水(200 mg/l)，揮發性不強(25°C 蒸氣壓 2.7×10^{-6} mm Hg)。溫帶地區田間半衰期約60日，可為土壤吸附。皮膚及眼刺激性輕微，急性毒低(對白鼠之口服半致死量1160 mg/kg)。登記使用在蔗園除草，臺灣蔗園內埃及指梳茅對此藥之忍受性強，但尚未證實是否有抗藥性。瓜類、豆類及蔬菜對草殺淨敏感，藥液觸及會造成傷害。

尿素類為1950年代初期開始發展之藥劑，藥劑由根部及幼葉吸收，須傳導至葉部，才能發揮抑制光合作用之功效。均為土面施用之萌前型藥劑，以防治一年生雜草為主。藥劑施用後被吸附於土表2~3公分內，不易向下移動，可殺死分布於淺土之雜草，作物種子及根在藥劑層之下，較不受影響。

達有龍為美國杜邦公司開發，臺灣1963年登記，多為80%可濕性粉劑。藥劑難溶於水(42 mg/l)，揮發性低(25°C 蒸氣壓 6.9×10^{-8} mm Hg)，可受光分解。溫帶地區田間半衰期約90日。可為土壤吸附。無皮膚刺激性，輕微眼刺激性，急性毒低(對白鼠之口服半致死量3400 mg/kg)。



臺灣登記於甘蔗、鳳梨、柑桔及茶，公頃有效成份施用量1.6~2.4公斤；此用量範圍對一年生雜草效果良好，防治期可達2~3月以上。砂土田區須降低用量以避免藥害。土壤殘效期長，不適栽培密集之短期作物田。臺灣尚未發現抗此藥之雜草。

(二)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。主要在早期萌後使用，為接觸型不具傳導作用之藥劑，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(proto-porphyrinogen oxidase)抑制劑，導致Proto IX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氨毒害。均為接觸型藥劑，在植體內移動有限；但Phosphorylated amino acids雖為接觸型，仍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，藥斑開始發生在葉緣。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。Diphenyl ethers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)。

巴拉刈由英國ICI (Astra Zeneca)公司開發，1950年代後期發現其殺草之特性，臺灣在1968年登記，僅24%溶液一種劑型，受紫外光分解，在鹼液中不安定，溶於水(620,000 mg/l)，不易揮發(25°C 蒸氣壓 $<10^{-7}$ mm Hg)。藥劑由葉部吸收後在細胞內產生極具活性之自由基(free radical)，將脂肪氧化，破壞細胞膜；作用快速，在強光下數小時後即顯現枯褐之徵狀，2~3日內殺死雜草。無選擇性，對大多數之植物具傷害力。葉部施用在藥液接觸部位附近作用，傳導性弱。與土壤接觸即被固定，無土壤殘效及萌前作用。主要用於防治一年生雜草。

在植物及土壤表面有明顯光分解現象。土壤中之殘留期長，半衰期估計可長達1000日；但土中之巴拉刈因被土壤微粒強力吸附，不具殺草力及其他生物活性。具皮膚刺激性，急性毒高(白鼠之口服半致死量112-150 mg/kg)；因無解毒劑，誤飲或吞服極易致命，須立即催吐急救。有效成份施用量 0.5~1.0 kg/ha，防治期30~50日。作物田或鄰近位置施藥須採用遮罩或行定向施用，以避免藥液傷及作物。臺灣地區野茼蒿已對巴拉刈產生抗性，全球已證實之抗性雜草有十多種。

復氣芬為美國羅門哈斯(Rohm & Hass)公司所研發，1979年在臺灣登記，均為23.5%乳化劑。受紫外光分解，不溶於水(0.1 mg/l)，揮發性弱(25°C 蒸氣壓 2×10^{-6} mm Hg)。溫帶地區田間半衰期約35日。與土壤接觸即被強力吸附，藥劑留在表土淺層不會向下移動。皮膚刺激性強，眼刺激性中等，急性毒低(對白鼠之口服半致死量 >2000 mg/kg)。復氣芬田間混合巴拉刈或草脫淨分別用於茶園及甘蔗園。尚未發現有抗此藥之雜草。

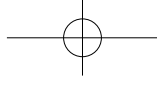
七、色素合成抑制劑(Pigment inhibitors, Bleaching herbicides)

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(carotenoid)之生合成。Pyridazinones為抑制terpenoid路徑之phytoene及phytofluene desaturase之酵素活性。由根吸收經木質部移動。為萌後葉面施用之禾草除草劑，用於草皮及觀賞植物。

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。在土壤殘效為中~長期，主由微生物分解，部分為光分解。與敏感作物輪作需較長之間隔期限。具揮發性之飄散藥害。代表性藥劑為可滅蹤(clomazone)。

八、其他

有機砷類(Organoarsenicals)之接觸型除草劑，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。無光分解，易被土壤吸附，不具活性。代表性藥劑為甲基砷酸鈉(monosodium methanearsonate; MSMA)



除草劑田間應用特性

二次世界大戰以前，僅有少數無機化合物，用為非選擇性的雜草防除。1940年代以後，合成之化學物被開發用於雜草之選擇性防治，化學防治得以快速發展，世界各地流通使用之除草劑已超過上百種。採用化學除草是臺灣近代農業生產上之重要特色，可大幅降低作物栽培過程中之人力倚靠及生產成本。目前在主要作物上均有多種除草劑可用，藥劑使用之技術亦相當完備成熟，但是次要作物之可用除草藥劑則嫌不足，甚至完全缺乏。利用除草劑除草須對藥劑有適當認識，才可發揮效果避免引起負面作用，甚至超過實際防治之需求而危及環境。

民國五十二年起，臺灣正式有除草劑之登記及推薦，當時登記於蔗田之草脫淨、達有龍及二、四一地至今仍在使用。目前已登記除草劑中，包含一百餘種不同之化學藥劑，以使用於水田者為最多。除高粱外，栽培面積較大之主要作物亦有除草劑登記。次要作物尤其是蔬菜，經登記可合法使用之除草劑相當少，無法滿足實際需求。很多登記藥劑，雖然列於政府所編印之植物保護手冊，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。低成份粒劑型式之稻田除草劑，通常只有在一、二期水稻整地插秧時才能買到。

現行的雜草管理體系高度依賴除草劑，雖有使用便捷、高效及經濟之特色及優點，但對環境之不利影響是其主要缺點。田間化學除草所用之劑量，多半是由農藥廠商針對少數難防治雜草而設定，大多數雜草可用較低之劑量即達到防治目的。自1970年以來之長期追蹤顯示，臺灣農田雜草密度與種類均持續降低中。此種現象在水田中最为明顯，很多田區之雜草數量已不足以對作物生產造成影響，但是同樣之劑量仍然在每個生長季施用。政府出版之『植物保護手冊』是國內農藥使用之主要依據，但所登錄之藥劑使用量，很多均較實際防治所需者為高。由於除草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，多數農民採取施足藥量以求保險之心態，因而造成環境承受過多卻無實際意義之負荷，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。

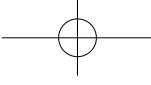
除草劑就實用層面，可分為葉面及土壤施用兩型。葉面施用型又包括系統性及接觸性兩類；土壤施用型主要為抑制雜草幼株之生長。同一類藥劑常具有相近之物理、化學特性及生物活性，單一藥劑施用方法、防治對象等特性，可利用為瞭解同類其他除草劑之參考。

一、除草劑施用類別

(一) 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。溴化甲烷尚有破壞臭氧層的環境疑慮，目前各國積極開發較安全的替代藥劑。

一般除草劑對休眠之雜草種子無效。針對雜草之發育期，除草劑可分為雜草萌前(pre-emergence)或萌後(post-emergence)施用兩大類。抑制幼苗生長及光合作用如三氮苯、尿素等類型之藥劑多屬萌前除草劑，須在雜草萌芽前施用，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立即施用，所用噴霧器以裝有扇型噴頭者最理想。少數易揮發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)。

二、四一地、伏寄普、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。

(二)選擇性與非選擇性藥劑

多數土壤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，在藥劑間有相當大之差別。

萌後莖葉施用藥劑中，二、四一地、氟氯比及三氯比等，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，必須使用蓋罩或定向噴施，以保護作物。

(三)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位。藥液要噴到莖葉及芽體，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。

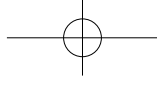
二、四一地、伏寄普、百速隆、環殺草、西殺草及嘉磷塞均為良好之系統性除草劑，藥劑經導管及篩管，長距離輸送至與藥劑接觸以外之其他部位發生作用。系統性除草劑，不必整株全面噴施，也可充分發揮藥效。香附子、茅草等多年生草之地下繁殖器官(球莖、走莖)，需使用可輸送至地下部之系統性藥劑才能有效防治。

(四)短效性與長效性藥劑

除草劑施用後，會因揮發、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再行發芽生長。

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。

三氯苯類、依滅草、達有龍、滅落脫為土壤殘效超過兩個月之藥劑。其優點為防治有效期長，但是使用不當，亦會造成輪作田後作之藥害。



(五)全面、帶狀、點狀、定向、注射施藥

田間實際雜草防治，不一定要求全面施藥。有些狀況下，局部施藥即能達到防治目標。田間分布稀疏之多年生草，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桿中。

二、如何選用適合之藥劑

除草劑之種類相當多，選擇藥劑，除經濟成本及是否容易取得外，也需就下列層面加以考慮。

(一)依據雜草發生種類與數量使用

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，可循序由萌後藥劑—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

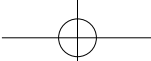
H6：巴拉刈、固殺草

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 ：殘效長	H2
		H3
	大於 3~4 葉 — 選擇性藥劑：禾本科草 ：闊葉草 非選擇性藥劑：一年生草(接觸性藥劑) ：多年生草(系統性藥劑)	H4
		H5
		H6
		H7

(二)遵循標示使用

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、注意事項及防除之對象雜草等。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，習慣以稀釋倍數來配藥噴施。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；使用標示之稀釋倍數，但用水量不同，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。水稻、落花生、大豆、玉米、甘蔗、茶、菸草等農藝作物，均有經試驗場所測試並正式登記之多種藥劑可供選用。園藝作物如甘藍、蕃茄、西瓜、蒜、洋蔥、柑桔、鳳梨、香蕉，亦均有三種以上之登記藥劑可供使用，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。對種類繁多之次要作物而言，這是採用化學法除草之最大障礙。

(三)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，已造成地下水污染，成為相當困難處理之問題。近幾年農藥所調查臺灣蔗作地區之地下水，尚未發現有草脫淨污染情況發生。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

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施用之標準，但田間之實際用量會受噴施壓力、噴嘴之出水量、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。

一般噴嘴在一定壓力下的噴霧量，可以從噴嘴出廠規格中得知，當實際噴量之差異超過5%時，需要更換新的噴嘴。噴嘴、噴槍、噴桿等噴施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。不同孔徑噴嘴之噴霧量、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 μm 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及分布。

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，但分布的效率也降低，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，因此風向為噴施時必須慎重考量的因子。

除草劑在農田施用之效果，主要與藥劑對不同種類植物之選擇性有關。選擇性則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的影響。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。

主要作物田除草劑使用現況

臺灣生產之農作物多達數十種，這些多樣之作物可概分為平地之精耕短期作物田，及坡地輕耕之長期作物田，所涉及之雜草問題及管理方式明顯不同。水稻、雜糧、蔬菜、花卉等作物多屬低矮，作物與雜草之間缺乏足夠之生長空間，雜草危害潛力較高，且不易採行有效率之機械除草，因而對除草劑之依賴相當高，唯有持續維持雜草低密度，才能降低藥劑之使用量。果園、茶園、檳榔園或其他坡地栽植之農作，因植株較高大，對雜草競爭之忍受力強，可以採行較低程度之雜草防治。以機械剪草減少或避免除草劑使用，可維持野草之多樣組成及地被之水土保持，此外多種雜草的存在，可成為天敵昆蟲之棲所，也有助維持有害與有益昆蟲、蟎類等之族群平衡，減輕作物本身之病蟲害問題。

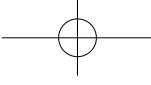
一般作物田中最主要者為芒稷、牛筋草、馬唐、馬齒莧、野莧、霍香薊、早苗蓼、小葉灰藿等，冬裡作之重要雜草為鵝兒腸、小葉灰藿、早苗蓼、看麥娘、早熟禾、小葉碎米薺、薺菜、山芥菜等。平地水旱輪作田之雜草多為植株中小型之一年生草。面積大、管理粗放、作物生育期長之旱地，則常有香附子、匍地黍、狗牙根、火炭母草等多年生雜草。

一、水稻

民國六十年初期臺灣水田開始使用除草劑，民國70年時使用面積已達到100%。登記的藥劑多達數十種，這些除草劑對移植稻相當安全，但易造成直播稻之缺株及初期生長的抑制。基本的用藥型態，是在移植或播種前後，施用萌前藥劑一次。主要萌前藥劑為丁基拉草及其混合劑。目前混合劑的成份，主要為免速隆或其他硫醯尿素類藥劑，樂滅草或必芬諾亦屬常見。

丁基拉草對稗草及其他一年生雜草之防治效果良好，推廣後普遍為農民所採用；由於價格低廉，多年來已成為水田除草上最主要之藥劑。萌前藥劑施用後田區需保持積水數日，使藥劑均勻溶於水中得以發揮作用。漏水或保水不良之田區，因有藥劑流失，通常需增高施用劑量。萌前藥劑對大於2~3葉的雜草效果不良，必須掌握時機適時施藥，才能達到預期之防治效果。由於溫度高，二期稻作田區雜草萌芽生長快，萌前除草劑之施用時間均較一期作為早。

瓜皮草、雲林莞草、野茼蒿等多年生闊葉草對水稻之危害程度大。一般萌前



藥劑對多年生闊葉草之防治效果不理想。密度高時應選用免速隆或百速隆等硫鹽尿素類除草劑。萌前除草劑亦無法防治本田中之雙穗雀稗、毛穎雀稗及其他多年生禾本科雜草，必須在整地前以非選擇性藥劑控制。萌前藥劑施用後，少數未被殺除之雜草可用人工清除。如仍有高密度之闊葉草時，則需補施本達隆或免速隆等萌後作用較強之藥劑。由於二、四一地易引起藥害，臺灣一直未曾推薦用於水田闊葉雜草之防治。田埂及田區周圍需週期性剪草或施用藥劑，以防止多年生草蔓延至田區中，及避免老鼠藏匿破壞田埂。

二、雜作及特作

(一)雜糧作物

臺灣雜糧作物有玉米、高粱、小米、小麥、花生、紅豆、大豆、甘藷等。秋裡作種於嘉南平原的玉米，由於已逢乾季，雜草較少，且當地慣行中耕培土，栽培過程中多不使用除草劑。在其他季節及地區所栽植之玉米，雜草發生較多，可參照登記藥劑之防除方法。玉米用藥中，草脫淨及撲奪草之土壤殘效較長，超量使用或晚期施藥會造成後作的藥害。

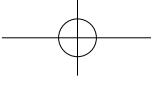
其他禾穀作物及甘藷等目前尚無登記藥劑可用，其中高粱及小米對除草劑相當敏感，雜草之防治幾乎完全依靠人工及機械。中部地區之小麥多種於二期稻後，田間以適於冷涼之闊葉草為主。由於播種量高且行撒播，小麥居競爭優勢，雜草少時常放任不管；雜草密度高之田區，農民多以噴施二、四一地來防治。

豆類作物可用之藥劑種類很多，施得圃、樂滅草、拉草及理有龍為常用的萌前藥劑。落花生生長期較長，且其莖葉覆蓋田面之時間慢，選用的藥劑宜具有較長的殘效性。砂地栽培的落花生，如表土過乾，則萌前藥劑的效果不良，施藥前後灌溉使土壤溼潤，可改善萌前藥劑之效果。不整地的禾根豆田，常以巴拉刈混合萌前藥劑使用，以達到同時防治田面雜草及自生稻之目的。落花生、大豆及紅豆田中之禾本科雜草均可用萌後禾草藥劑來防治。

(二)特用作物

甘蔗、菸草及茶三種特用作物，藥劑防治方法相當完備，栽培上使用除草劑的比例相當高。甘蔗田通常在扦插後或宿根栽培之初期，施用一次萌前除草劑；中耕培土之後，田面雜草再以萌後藥劑防治。草滅淨、草脫淨、達有龍、二、四一地為蔗田中最常用的藥劑。休閒蔗園所用之依滅草，土壤殘效期長，短期1~2個月內即將栽植作物之田區，不宜使用該藥劑。蔗田所用之主要藥劑，尤其是二、四一地，很容易引起蔬菜、瓜類、果樹的藥害，施藥時要避免藥液飄散至附近其他作物上。

茶園推薦之除草劑有嘉磷塞、伏寄普、巴拉刈、達有龍、理有龍、三福林等藥劑，各類雜草均可藉登記之除草劑予以防治。由於茶園多分布於坡地，非選擇性除草劑之使用應格外節制。長期管理宜以藥劑配合剪草，逐步建立地表低矮之草生覆被，以減少水土流失。菸草多於中南部二期作水稻收割後栽植。培土後溝底及畦脊之雜草可用施得圃或其他登記藥劑予以防治，很多農民不用萌前藥劑，而在雜草幼小時定向噴施巴拉刈防治菸田之雜草。



三、果園

果園雜草之發生受地區、海拔高度、園區內日照及遮蔭程度和果園的管理方式影響，不同之園區間差異很大。一般低海拔地區暖季的常見之主要雜草有牛筋、馬唐、毛穎雀稗、白茅、紫花藿香薊、鬼針、野萵、馬齒莧、水蜈蚣、香附子、菁芳草、火炭母草、牽牛花、山葡萄等。冷季的主要雜草有小葉灰藿、早苗蓼、碎米莎草、鵝兒腸、小葉碎米薺、節花路蓼等。高海拔溫帶果園常見的雜草有鵝兒腸、白花三葉草、大扁雀麥、睫穗蓼、阿拉伯婆婆納、小酸模、大羊蹄等，其種類與低海拔果園者差異頗大。一般果園中可以看到利用一種或數種方式配合來防除雜草。平地果園如葡萄園、木瓜園等可見到以小型耕耘機帶動迴轉犁，清除田面雜草；坡地果園中則很少採用。

傳統之果園中，割草多使用鐮刀或帶長柄之草刀相當辛苦耗時。專業化之果園地區，多使用背負式迴轉剪草機割草。大型之乘坐式剪草機，因價格高、維護不易且操作受地形之限制，在臺灣果園中仍極為少見。剪草之高度多在5~10公分間。由於可使地面保持相當之覆被，且不會破壞草類根系，割草是果園裡最符合水土保持之雜草防治方法，也是實施草生栽培所必須使用之除草方式。以適當頻度割草之果園中，土壤有機物之補充量亦較其他方式除草者為高。但是在各種除草方法中，割草之有效期最短；尤其在高溫及潮溼季節，2~4週間割草一次，才能將雜草高度維持在20~30公分以下之理想高度。覆蓋由於材料取得不易、價格昂貴等因素，在漿果及瓜果園區尚有使用，常綠及落葉果樹園中則相當少見。

藥劑除草是目前果園中最常使用之雜草防治方法。臺灣登記於果園的除草劑，有嘉磷塞、氟氯比、嘉磷二、四一地、達有龍、克草等。鳳梨植株矮，生長期長，以使用達有龍或草脫淨等萌前藥劑為主。其他果樹均有植株高而莖部外皮較厚之特點，以非選擇性除草劑之利用特別方便。施於果樹下方之藥劑，可將雜草殺除而不影響果樹正常生育。臺灣果園普遍噴施不具選擇性之嘉磷塞或巴拉刈。這兩種藥劑可將所噴到之雜草殺死，藥液落於地面後，即被土壤強力吸附失去活性，正常狀況下是不會被根部吸收。在不噴及花葉及幼莖時，幾乎可安全用於所有之果樹園區。

嘉磷塞對一年生及多年生雜草皆有效。施用後6~8小時內下雨會影響藥效，可添加展著劑及硫酸銨以利其滲入植物體內。對牛筋草、華九頭獅子草、竹仔菜、半邊蓮、臺灣木賊、火炭母草、牽牛花等雜草的防治效果較差。巴拉刈具速效性，施藥後之雨水對其殺草效果影響不大；但對於馬齒莧、野萵、闊葉鴨舌癩舅的防治效果較差。一般果園噴施這兩種藥劑之次數，少則一年2~3次，多則5~6次以上。果園中難防治之闊葉雜草可使用氟氯比，固殺草的使用量在發生嘉磷塞抗性草的園區亦有逐漸增加的趨勢。目前萌前藥劑在臺灣果園之使用尚不普遍。

四、蔬菜

平地及高冷地蔬菜田常見之雜草均在50種以上。種類數較多者包括菊科、禾本科、莎草科、玄參科、十字花科及蓼科。夏秋生長季節中，平地蔬菜田發生頻率高之雜草有馬齒莧、牛筋草、野萵、鰾腸、通泉草、小葉灰藿、飛揚草、山芥菜、龍葵及野萵。高冷地蔬菜田最常發生之雜草依次為鵝兒腸、早熟禾、歐洲黃菀、苦菜、野萵、龍葵、小葉碎米薺、大扁雀麥、圓葉錦葵及昭和草。十字花科雜草如小葉碎米薺、薺菜，在平地冬裡作田亦常見。一般而言，植株矮小、



生長緩慢且莖葉部分不能形成良好地面覆蓋之蔬菜，受雜草競爭影響較大。主要類別之蔬菜園雜草防治需求及特性如下：

(一)十字花科蔬菜

甘藍、結球白球、花椰菜、芥菜等栽植密度高，生長快速，中後期可形成相當程度之覆蓋。在與雜草競爭上，移植栽培者較直播者佔優勢，防治之重點在種植初期，有多種可供使用之萌前除草劑。

(二)瓜科

胡瓜、絲瓜、西瓜具有蔓生之地上部，莖葉生長快。一般行株距較大，中耕除草方便。瓜科植物可用之萌前除草劑較少，栽植早期常依靠人力、機械除草或株間之覆蓋。行支柱或棚架栽培者，在中後期可定向噴施接觸型非選擇性除草劑防治行間雜草。平面栽培者，在生長中後期，行間雜草與作物混生，人工及機械除草相當困難，適用之萌後除草劑僅能防治禾本科雜草。

(三)蔥科及繖形科蔬菜

大蒜、洋蔥、胡蘿蔔，通常植株矮小，生長緩慢，生育中後期，地上部仍無法形成良好覆蓋，雜草在各時期均可造成競爭性危害，需要防治之時期長。因栽植密度高，不易行有效率之機械除草，因此對選擇性除草劑之依賴高，全期防治需要使用殘效較長之藥劑，或施用一次以上之短效藥劑。

(四)豆科蔬菜

毛豆、豌豆、菜豆，與雜草之競爭能力強。密植而生長良好之毛豆，在30天內即可完全覆蓋田面，通常僅需在栽植之早期除草。豆科作物對除草劑忍受性較高，可用之除草劑相當多。利用支架栽培之豆菜，亦可以定向噴施非選擇性藥劑防治低矮之雜草。裡作不整地之豆菜栽培，常需使用非選擇性藥劑配合萌前除草劑施用，防治田面已萌發之雜草。

(五)茄科蔬菜

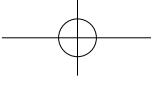
番茄、青椒、茄子有數種可使用之萌前除草劑。植株較高之作物，也可利用接觸性非選擇除草劑防治低矮雜草。青椒、茄子等作物生育期長，需要使用土壤殘效較長之藥劑。

(六)撒播之小葉菜類

雜草對莧菜、空心菜、青江白菜、萵苣、菠菜等蔬菜品質、整齊度及採收後處理之干擾相當大。由於栽植密度高，株間距離太小，難以利用機械除草，同時對除草劑相當敏感，且生育期短，發生藥害之植株不易恢復。在缺乏可用而有效率之雜草防治方法，雜草密度高之田區不宜栽植此類蔬菜。

蔬菜田雜草防治對人工拔草及小型手工具之依靠相當高。稻草或塑膠布覆蓋也常用於蔬菜田，具有降低雜草危害之作用。目前使用於蔬菜田之除草劑有拉草、滅草胺、丁基拉草、比達寧、環殺草、畢克草、大芬滅、伏寄普、理有龍、鈉得爛、復祿芬、施得圃、快伏草、三福林及固殺草等十餘種。

單一作物登記之除草劑以甘藍最多，番茄、西瓜、胡瓜、甜椒、大



蒜及洋蔥等也各有數種，結球白菜、蘿蔔、花椰菜、蘆筍、菠菜、豌豆及毛豆各僅一種。對登記藥劑少及無登記藥劑之蔬菜作物，化學除草之實施非常不便。除非已掌握相關除草劑藥效及藥害方面之特性，不可輕易在蔬菜田使用非登記除草劑。登記藥劑中，伏寄普、快伏草及環殺草為萌後施用之禾本科除草劑，對夏季蔬菜田中已萌芽之馬唐、芒稷之防治效果良好，可以安全用於大多數蔬菜。蔬菜田中已萌芽之闊葉性雜草，目前尚無法用選擇性藥劑來防治。用於其他作物之萌後闊葉除草劑如二、四一地、本達隆及氟氣比，易造成蔬菜生長抑制之藥害現象，不可誤用。

五、草坪

臺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*）。草坪中之雜草可影響景觀、安全、衛生及草坪品質，草坪內夾雜著高矮不一之植株，葉片寬窄不齊，色澤迥異的雜草，將使草坪的綠化、美化效果大為降低。

草坪雜草多屬早生草，但草坪於種植後多不再行耕犁、整地，雜草之發生與作物田及果園等有相當程度之差異。近年之調查顯示草坪雜草種類有21科80種，較常見之雜草有香附子、水蜈蚣、小葉大戟、千根草、竹節草、牛筋草、鯽魚草、匍地黍、毛穎雀稗、早熟禾、山地豆、蠅翼草、酢漿草、雷公根和天胡荽等。各地草坪之雜草相對覆蓋率以禾本科最高，莎草科和豆科雜草其次。一般而言，生長快速、具匍匐性走莖、可藉種子及營養繁殖器官繁殖之多年生雜草，危害最嚴重也最難防治。

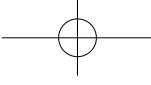
常見之草坪雜草防除方式有人工拔除、機械剪草及化學藥劑防治，臺灣草坪使用之除草劑，經合法登記者為依速隆、伏速隆、滅落脫、甲基磷酸鈉、汰硫草、百速隆及快克草等。一般公園、工廠、機關、社區綠地屬於粗放型草坪，大部份以機械剪草為主。高溫多雨之夏季平均每個月1~2次；冬季每二個月一次。屬於精緻型之綠地如庭園、苗圃、高爾夫球場，對於草坪的品質要求高，需以剪草配合人工除草及化學藥劑防治，才能有效的防除雜草。

精緻草坪剪草之頻率較高，雜草生長旺季需要每週進行。有些技術水準較高之球場，草坪種植前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。草坪上之多年生禾本科雜草，目前尚無較安全可使用藥劑，而且無法以剪草來有效防治，因此須在發生的早期即應以人工加以清除。除草劑對百慕達草，假儉草，韓國草，地毯草可能會有不同程度之影響，使用前必須確定所用之藥劑是否會引起目標草種之藥害。

六、水生雜草及藻類

臺灣水生雜草危害最大者是布袋蓮。目前多依靠人工撈除及化學防治。登記除草劑三氯比及嘉磷塞均可輕易殺死布袋蓮。但因為施藥不方便加上有污染之顧慮，大面積水域之布袋蓮防治很少使用除草劑，而多依靠人工撈除。池塘及小溝渠中之布袋蓮，較易實施藥劑防治，但是作物對三氯比及嘉磷塞相當敏感；作物田區與施藥區間宜有適當之間隔，才不致引起藥害。布袋蓮在高溫季節之繁殖極



為快速；藥劑及人工防除宜在蔓延初期即予實施，否則防治困難度倍增，而且還要處理大量被殺死之布袋蓮殘株。生物防治上已有學術單位引進布袋蓮象鼻蟲，正進行安全性及效果評估中。養殖池內藻類可以碳酸銅來防治，大面積水域之藻類危害目前尚無有效之防治方法。

七、非耕地

非農耕地上各種類別之雜草均可滋長。人類活動干擾多之區域，雜草相比較接近果園；干擾少之非農耕地上，則常為植株高大之多年生草、雜木及蔓性植物所支配。非耕地上雜草季節變化相當大；雨季裡雜草生長快速旺盛，乾旱季節則因缺水而生長遲緩及莖葉枯黃。

非耕地雜草以機械剪除及化學防治為主。在環境條件許可狀況下，也可以使用火燒。機械剪草適用於路邊及對景觀要求較高之非耕地。這些地方雖也可用除草劑，但噴藥後雜草外觀枯黃影響觀瞻。雜草之繁殖體可黏附在剪草器具上沿路傳播，莧絲子即主要以此方式散播。危害程度大而難防治之雜草，應週期性的使用更有效之以其他方式殺除，以避免因剪草而擴散。

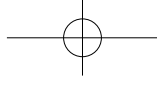
非耕地雜草之化學防治可因對象，區分為草本植物防除，木本植物防除及長期全植被控制(total vegetation control)等三類。臺灣登記於非耕地之藥劑有伏速隆、固殺草、嘉磷氟氣比、硫復松、依滅草、快伏草、嘉磷塞、得拉本、菲殺淨、畢拉草、伏寄普及巴拉刈等。這些除草劑對草本雜草之效果良好，對木本植物之防除則較差。

非耕地雜草之生草量常較作物田者為高，施用接觸型藥劑需提高用水量，才能將藥液噴至中下層之莖葉及較矮小之植株。系統性除草劑應在多年生雜草生長旺盛時期施用，才能達到預期效果。旱季裡因為雜草多，在缺水之逆境狀況下生長不良，藥劑施用後被吸收及轉移之程度大為降低，因而效果不彰。對已老化之雜草施藥，也會有類似情況發生。防除木本植物之施藥，常以單株用藥量代替單位面積用量。除葉部噴施外，也可用高濃度之藥劑以下列方法施藥：

- (一)直接注入莖部，臺灣農民用此方法將嘉磷塞注入檳榔樹更替老化之植株。
- (二)以刀斧在莖基砍出斜槽再倒入藥液。
- (三)直接施藥於砍除後之殘樁上。
- (四)施藥於莖幹基部之土中。

依滅草之土壤殘效長，高劑量使用可以達到長期控制地面植被之目的。這種全植被防除適用於鐵道、油氣管道及危險物貯藏設施附近。非耕地上所用之除草劑多為非選擇性藥劑，且使用之劑量偏高，在農田附近施用要特別注意，以免藥液飄散而引起作物之傷害。在水土易於流失之地區及季節，應避免使用土壤殘效長之藥劑，否則會導致難以恢復之環境破壞。

過去數十年雜草防除技術的發展，尤其是除草藥劑之研發，可以支援各種情況所面對之雜草問題。實際面之雜草管理，可以使用化學性、生物性及物理性等方法及混合運用。除草劑除了導致農田雜草相之改變，由於成本低及防治效果強，也助長了農業向山區自然棲地之擴散與破壞。如何平衡農業效率及環境維護之需求，是雜草管理所須面對之主要問題及挑戰。



雜草對除草劑之抗性

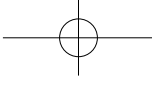
1950年代後期開始有雜草產生抗藥性之報導，1980年以前已記錄20餘種抗性草，主要針對以二、四—地為主之生長調節型藥劑及三氮苯系除草劑，多發生在藥劑使用後之十餘年。80年代後抗性雜草之快速增加引起廣泛注意；1989年由歐美農藥工業界成立之「除草劑抗性行動委員會」(Herbicide Resistance Action Committee, HRAC)，推動相關調查、研究及因應方案。根據國際抗性雜草調查2008年最新資料，已登錄111種雙子葉及74種單子葉植物(總共321種生物型)發生抗性；抗性對象包括十餘類作用不同之除草藥劑，而以acetyl CoA carboxylase (ACCCase)、acetolactate synthase (ALS)、PSI、PSII及具生長調節作用等藥劑者佔多數。發生個案最多之藥劑包括草脫淨(atrazine)、巴拉刈(paraquat)、嘉磷塞(glyphosate)、硫醯尿素類(sulfonylureas)及imidazolinones。

臺灣除草劑在登記最初之10年使用尚不普遍，藥劑多用於大區域之蔗園，一般小農之使用多在1970年代以後，長期藥劑篩選壓力導致農田雜草相改變及抗性雜草之發生。雜草由於生命期長、篩選壓力低等因素，對藥劑發生抗性之普遍性，大多不如害蟲或病原微生物，發展所需之時間也較長。

根據農藥所調查及研究顯示，使用巴拉刈防治農田及果園雜草，常可看到灰綠之菊科雜草野茼蒿(*Conyza sumatrensis*)散生於一片枯黃園區中，持續使用會造成高密度之野茼蒿族群，中部地區此現象在1980年代即已顯現。野茼蒿對巴拉刈之抗性為臺灣最早經證實且報導之雜草抗藥性個案。1990年以後，中部東勢及新社果園中之華九頭獅子草(*Dicliptera chinensis*)在當地造成防治上困擾，此爵床科之雜草對嘉磷塞具有高度耐性，藥劑測定顯示其半抑制量值(ED₅₀)為紫花霍香薊、野甘草、野茛、鬼針草之2~7倍，由於在其他未曾施用嘉磷塞地區之華九頭獅子草，也具有類似程度之藥劑反應，顯示此草具有之耐藥性，非為藥劑施用後產生之抗性，耐藥機制為具有高活性之EPSPS酵素，及由嘉磷塞誘導生成之EPSPS酵素。

中、南部田區最近幾年也出現牛筋草抗性現象，包括彰化、高雄及屏東之部分地區果、菜園，此臺灣農田主要之旱田禾本科雜草，已對嘉磷塞及ACCCase抑制型萌後禾草藥劑產生抗性。溫室試驗顯示牛筋草族群間對嘉磷塞反應之抗感比為2.9倍，對伏寄普高達40倍以上。抗伏寄普之牛筋草對其他ACCCase抑制劑亦有交互抗性(cross resistance)現象。同一地區可發生單抗嘉磷塞之牛筋草及對嘉磷塞與伏寄普具多重抗性(multiple resistance)之族群，明顯是受到園區間不同施藥歷史之影響所造成。

目前臺灣已發生之抗性雜草，已漸漸形成田區雜草防治上問題。根據歐美及澳洲雜草抗性發生過程來看，臺灣地區由於普遍使用巴拉刈、嘉磷塞、三氮苯類、硫醯尿素類及禾草類藥劑，未來雜草對這些藥劑產生抗性之可能性極高，並會導致雜草危害及防治成本增高之困擾。



現行除草劑使用之問題

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。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。但現行之除草劑使用體系在藥劑毒性、環境污染、水土保持、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

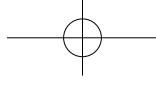
常用之藥劑中以巴拉刈毒性最高($LD_{50} < 140 \text{ mg/kg}$)，誤食或吞食均可導致死亡，而且尚無解藥；施藥者長期吸入微細之藥液亦可產生組織及器官之病變。多數除草劑之作用機制為干擾植物特有之生理及生化作用，對高等動物之急性毒低。近十餘年來農藥登記，對藥劑之慢性毒有嚴格要求；曾經普遍使用之藥劑如護谷(nitrofen)、全滅草(chlornitrofen)、五氯酚(PCP)，因藥劑本身或所含不純物具有高度致畸胎、致癌、致腫瘤之可能性而被淘汰。干擾生物體內分泌，而使人及其他動物體內分泌系統失調之環境賀爾蒙(environmental hormone, endocrine disrupter)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，最近引起注意者為三氯苯類對地下水之污染；美國中西部玉米栽培區廣泛使用草脫淨，很多地區之地下水均可測得此藥劑。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。水田除草劑對環境最具衝擊力之部份尚未被掌握；為配合農時，全島稻作區域幾乎同時期施藥，溶於田水中之除草劑會溢出至溝渠、河流及相連之水域，進而影響廣大區域之非目標生物。

二、水土與物種保育

臺灣山坡地面積約97萬公頃，占總面積之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，使得坡地農園之管理負擔大為減輕，間接促進坡地開發，果園、茶、檳榔、蔬菜等作物在坡地栽植之面積不斷增加。除草藥劑之使用固可減少此等園區內雜草危害，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，水旱田輪作引起水旱生雜草之巨幅更替，長期普遍使用藥劑造成之影響更為深遠。臺灣水田施用除草劑後，水田雜草密度普遍降低，弱勢種草如印度水豬母乳、蝨眼草、牛毛氈、田字草、溝繁縷等幾近消失。非選擇性除草劑對果園、農路及非耕地上之敏感植物形成極大



之選汰壓力，少數對藥劑忍受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性雜草

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、四一地、三氯比等萌後藥劑，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酸脲素類藥劑，可造成蔬菜及芋頭之嚴重藥害。

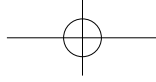
雜草對除草劑產生抗性已成為全球性之重要議題。通常單一作用點、活性高之藥劑易產生抗藥性。各類型藥劑中，以ALS inhibitors及ACCase inhibitors發現抗性生物型之報導最多有130種，PS II inhibitors居次有65種，巴拉刈有24種，二、四一地有27種。臺灣地區已確認菊科雜草野茼蒿對巴拉刈、牛筋草對嘉磷塞及禾草藥劑之抗性。田間觀察亦顯示，通泉草對巴拉刈、蔗園禾草對三氯苯類藥劑可能也產生抗性。抗藥性雜草之發生，目前已漸漸成為臺灣農田雜草管理之明顯問題。

結語

過去20~30年之臺灣農業生產，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。臺灣作物田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下，其重要特色為化學除草之發展及藥劑之大量使用，而物理、生物及栽培等其他防治方法則逐漸被忽略。

高度依賴除草劑之現行雜草管理體系，有使用便捷、高效及經濟之特色及優點，對環境不利之影響是其主要缺點。改變現行以化學防治為主之雜草管理方法，必須探討替代方式之可行性。完全依靠人力及小農具之稻作除草，每期作所需之勞力可高達200~400工時/公頃，是現行方法10倍以上。替代性除草方法如涉及大量人力之使用，將面對勞力來源問題，由於農業人力資源之限制，替代除草方法須具低勞力需求之屬性，才有普遍被接受之可能。

典型雜草綜合管理（IWM）或害物綜合管理（IPM）強調整合運用各種方法並以監測及危害界限（threshold）為實施防治決定之依據。在技術層面，雜草監測及危害界限之訂定涉及大量之田間工作，難以取得相關數據。由於臺灣研發規模及資源之限制，完全缺乏此類本土性資料，未來亦不易解決這方面問題。歐美國家所推展之IPM計畫，多以降低農藥使用，藉以減輕環境衝擊為重要目標。臺灣之雜草綜合管理，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，如稻作、甘蔗、花生、茶園、果園等，應發展降低用藥之管理體系，如果園中應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。從政策法規上亦可提供經濟上之誘因，以減輕藥劑對環境所造成之衝擊。



圖一、生長調節劑型除草劑二、四一地噴施後，造成闊葉雜草莖葉捲曲(左圖)；禾本科雜草莖節腫大(右圖)



圖二、氟氯比(生長調節劑型除草劑)噴施後，造成闊葉雜草莖葉捲曲(左圖)。復祿芬(細胞膜破壞型除草劑)引起雜草快速褐化乾枯(右圖)



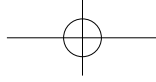
圖三、接觸型除草劑巴拉刈噴施後，部分雜草莖葉未接觸到藥液，仍保持青綠(左圖)；噴施後短期內，田區會再萌發雜草幼株(右圖)



圖四、系統型除草劑嘉磷塞噴施後，藥液由輸導組織轉運至植株各部位(左圖)；可防治木本植物含羞草(右圖)



圖五、選擇性禾本科除草劑伏寄普噴施後，禾本科雜草初期呈現莖葉黃化現象(左圖)；兩星期後乾枯死亡(右圖)



圖六、選擇性禾本科除草劑環殺草噴施後7~14日，禾本科雜草莖葉開始黃化乾枯(左圖)；但對闊葉草則無影響(右圖)



圖七、選擇性除草劑百速隆(左圖)及氟氯比(右圖)噴施後，造成闊葉雜草葉片捲曲及葉色紫紅



圖八、非選擇性除草劑固殺草噴施後，雜草初期呈現莖葉黃褐化萎凋現象(左圖)；之後快速乾枯死亡(右圖)



圖九、長期施用選擇性除草劑，造成草相改變。施用百速隆(左圖)，施用伏寄普(右圖)



圖十、巴拉刈抗性雜草—野苧蒿(左圖)，伏寄普抗性雜草—牛筋草(右圖)