

# 除草劑使用介紹

蔣永正

行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所公害防治組研究員

## 前言

雜草在作物栽培體系內競爭光照、養分、水分、空間等資源，引起作物減產之直接危害；同時也成為病、蟲原的寄主及老鼠等害物棲息的場所，造成田區管理上的困擾。某些雜草殘質甚至會釋出酚類等二次代謝產物，發生所謂的毒他作用(allelopathy)，引起作物品質的降低及產量的損失。此外如布袋蓮堵塞河道，豬草、銀膠菊引起過敏，也影響到人類生活的品質與自然資源的利用。臺灣位於熱帶及亞熱帶接緣地區，多變之地形及氣候，提供了複雜而多樣之植物生長環境，農田雜草之發生不僅種類多且分布普遍，對農業環境及生產均造成極大的衝擊。臺灣自1960年代初期正式有除草劑登記及推薦以來，除草劑的應用成為現行雜草管理體系的主要手段，人工、機械、田間耕犁及輪作等栽培制度之除草方式，則在特定作物田或生育期實施。

農地雜草的管理主要是針對田面所有雜草的合理控制，田區中已長出之雜草種類及分布量即所謂的雜草相，雜草相的組成實為選擇除草劑的主要依據。草相的變化與田區土壤內雜草種子庫(soil seed bank)的組成密切有關。但除草劑使用的種類與頻度及田區栽培管理的方式也會影響種子庫的類型。

## 除草劑分類與特性

1960年代初期臺灣正式有除草劑的登記及推薦，至2008年初為止，總登記之除草劑單劑約68種，含混合劑約92種。成品除草藥劑有效成分的總銷售量為3905公噸，約佔當年全部農藥用量之41%，

金額則只佔國內市場之 29%。以各藥劑施藥劑量估算，全年除草劑之總量約相當於300萬公頃之一次用量。用量較多之藥劑為嘉磷塞、巴拉刈、固殺草、伏寄普、丁拉免速隆、丁基拉草及施得圃等，用量佔全年總量的80左右。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，但是作為次要作物使用之除草藥劑則嫌不足，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危及環境。

除草劑的作用機制是指除草劑被植物吸收後，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。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、色素抑制劑及其他類別等，各類別與藥劑的化學結構也密切相關。

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

芳烴氧羧酸類(aryloxy-carboxylic acids)屬之除草劑如二、四-地(2,4-D)及 MCPA 於 1940 年代初期開發，是最早使用之選擇性除草劑。在臺灣登記之代表藥劑為二、四-地(2, 4-D)、氟氣比(fluroxypyr)、三氣比(triclopyr)、快克草(quinclorac)。化學結構含苯基(phenyl)者亦稱苯氧羧酸(phenoxy-carboxylic acids)，所含之藥劑較多開發於 1960 年代以前，生產之廠商甚多；結構含 pyridine 者僅氟氣比及三氣比，均由道禮(DowElenco)公司所生產。

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。藥劑由根及葉吸收後，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，由葉面噴施之藥劑傳導有限。施用方式為莖葉萌後施用，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。目前已發現抗性生物型植株。

## 2. 胺基酸合成抑制劑(Amino acid synthesis inhibition)

### (1) 支鏈胺基酸合成抑制劑

1980年代發展之新一代除草劑，重要特性包括(a)活性高用量低，有效成份用量小於0.1 kg/ha。(b)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5,000mg/kg。(c)溶解度取決於水液之酸鹼性，酸性液中較小，隨pH質增高而加大。(d)移行性良好，可由導管及篩管傳導至各部位，有系統性作用。(e)具抗性之雜草對相同作用機制之其他藥劑也會產生抗性。(f)對闊葉莎草科草之效果良好，禾本科雜草稍差。臺灣登記之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)。

主要抑制 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。處理後生長立刻停止，徵狀於1~2星期後出現。根生長抑制及呈深紫紅色。

植株矮化，上位節產生叢生現象。禾草新生葉片由黃轉至半透明，闊葉植物黃化或紫化。

## (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，經葉片吸收主要由韌皮部輸送至生長點。莖葉萌後施用，非選擇性。已有抗性轉基因作物。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型藥害。代表性藥劑為嘉磷塞(glyphosate)。

## 3. 脂質合成抑制劑(Lipid synthesis inhibitors)

1974 年由赫斯特(Hoechst)公司研發上市之 dichlofop-methyl 是此屬最早之藥劑。臺灣登記之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(tepraloxym)、芬殺草(fenoxaprop-P-ethyl)。

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，對多年生禾草之控制效果較差。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。已發生抗藥性雜草。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。

#### 4. 幼苗生長抑制劑(Seedling growth inhibitors)

##### (1) 根抑制劑

為較老之除草劑，1970年代中期後即未有此屬之新藥出現，有些藥劑已停產。臺灣登記之代表性藥劑有施得圃(pendimethalin)、比達寧(butralin)、槌乃安(dinitramine)、倍尼芬(benefin)。

抑制蛋白微管(protein tubukin)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。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，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。

##### (2) 芽抑制劑

1960年代初期開始有此類藥劑上市，全球至今約15種以上在使用，主要生產廠商為孟山都(Monsanto)，諾華(Novartis)。均用於萌前防治一年生之尖葉及闊葉雜草，可用於水稻、蔬菜及早作。臺灣登記之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(metazahlor)、滅落脫(napropamide)、氟丙酸(flupropanate)。

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。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。

## 5. 光合作用抑制劑(Photosynthesis inhibitors)

### (1) 可移動類(mobile)

1950~1960年代主要由汽巴公司(Ciba-geigy後改名Novartis)開發之三氮苯類(triazines)藥劑，及1950年代初期由杜邦、拜耳、艾格福、諾華及道禮等公司研發之尿素類(ureas)藥劑均屬此類型。臺灣登記之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)。

藥劑與 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。兩者均已發生抗藥性雜草。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。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。禾草由葉尖開始黃化及壞疽，逐漸向葉基進展。在 pH 較高之土壤(>pH 7.2)傷害較大。土壤施用型藥劑，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。

## (2)不可移動類(non-mobile)

臺灣登記之代表性藥劑為本達隆(bentazon)。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，才會提昇防治效果。禾草植物通常較具耐性。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。

## 6.細胞膜破壞劑(Cell membrane disrupters)

臺灣登記之代表性藥劑有固殺草(glufosinate-ammonium)、巴拉刈(paraquat)、樂滅草(oxadiazon)、復祿芬(oxyfluorfen)、必芬諾(bifenox)、亞喜芬(acifluorfen)。包括 Bipyridyliums, Diphenyl ethers, Oxadiazoles, Phosphinic acids, Triazolinone 等化學類別。均為接觸型藥劑，在植體內移動有限；但 Phosphinic acids 類具有韌皮部及木質部之低移動性。Bipyridyliums 類會與 PSI 系統中之 ferredoxin 競爭電子，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。噴施後 1~2 小時即引起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。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。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。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，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。Phosphinic 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。為非選擇性萌後葉面施用，控制一年生禾草及闊葉草。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。

### 7. 色素合成抑制劑(Pigment inhibitors, Bleaching herbicides)

臺灣代表性藥劑為可滅蹤(clomazone)。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。包括 Isoxazolidinones 及 Pyridazinones 等類別。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。與敏感作物輪作需較長之間隔期限。具揮發性之飄散藥害。

### 8. 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

除草劑在農田施用之效果，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。

#### 1. 選擇性與非選擇性

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。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。

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。

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。

## 2.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。

## 3.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，在一至兩個月間；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，亦會造成輪作田後作之藥害。

## 4.燻蒸劑、萌前(萌前混拌、萌前施用)、萌後(萌後施用)藥劑

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。醃銨、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。萌前藥劑對三至四葉以上雜草效果很差，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、固殺草、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。硫醃尿素類具萌前作用，但對 3~5 葉幼草之效果良好，適合早期萌後(early post-emergence)施用。

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。

#### 5.全面、帶狀、點狀、定向、注射等施藥方式

田間實際雜草防治，不一定要全面施藥。有些狀況下，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。

#### 6.如何選用適當之藥劑

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，也需就下列技術性問題加以考慮。

#### (1) 依據雜草發生情況或標示用法

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。如田間發生之一年生草，發育已超過 3~4 葉，可選用萌後非選擇性接觸型藥劑。

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。正確萌前除草劑之使用，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。

#### (2) 注意除草劑使用不當之影響

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。

### 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 2,4-D 為主之生長調節型藥劑及三氮雜苯系 (triazines) 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)，以推動相關調查、研究及因應方案。根據國際抗性雜草調查 2009 年最新資料，已登錄 113 種雙子葉及 77 種單子葉植物(總共 334 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。

台灣除草劑之登記始於 1960 年代初期。最初 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，使用巴拉刈行雜草防治之農田及果園，常可看到灰綠之菊科雜草野茼蒿(*Conyza sumatrensis*)散生於

一片枯黃之園區中，持續使用會造成高密度之野苧蒿族群，中部地區此現象在 1980 年代即已顯現。野苧蒿對巴拉刈之抗性為台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 ( $ED_{50}$ ) 為紫花霍香薊、野甘草、野苧、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酵素 EPSPS，及由嘉磷塞誘導生成之 EPSPS。

中、南部田區最近幾年也出現牛筋草耐藥現象，包括彰化、高雄及屏東之部分地區果、菜園，此台灣農田主要之旱田禾本科雜草，已對嘉磷塞及 ACCase 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，對伏寄普為 51 倍。抗伏寄普之牛筋草對其他 ACCase 抑制劑亦有交互抗性(cross resistance)之現象。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。

目前台灣已發生之抗藥性雜草，已漸漸形成田間雜草防治上之問題。根據歐美及澳洲雜草抗性發生之過程來看，台灣地區由於普遍使用巴拉刈、嘉磷塞、三氮雜苯類、硫鹽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最高，並會導致雜草危害及防治成本增高之困擾。

## 結語

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。

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。分述如下：

### 1. 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( $LD_{50} < 140\text{mg/kg}$ )，此藥劑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，最近引起注意者為三氯雜苯類對地下水之污染；美國中西部玉米栽培廣泛使草脫淨，很多地區之地下水均可測得此藥

劑。台灣蔗園亦普遍使用三氯雜苯類之除草劑，地下水之農藥調查尚未測得殘留之藥劑。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。

## 2. 水土與物種保育

臺灣山坡地面積約 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，使得坡地農園之管理負擔大為減輕，間接促進坡地之開發；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，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。台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。



### 3.非目標植物藥害與抗藥性雜草

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-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有 130 種，PS II inhibitors 居次有 65 種，bipyridyliums(巴拉刈)有 23 種，synthetic auxins(二、四-地)有 25 種。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、蔗園禾草三氯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。

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，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。