雜草學與雜草管理
第十一章　除草劑抗性作物及其利用
166-178

第十一章　除草劑抗性作物及其利用

蔣永正
行政院農委會農業藥物毒物試驗所公害防治組

一、前言

雜草為農業生產體系中之重要害物之一，若未能及時的適當控制及管理，不僅干擾作物的生育，也明顯影響農民的收益。早期雜草防除以翻犁整地的耕作方式為主，自 1940 年代除草劑問世後，很快地即成為主流之除草技術，由於迅速而普遍的大量使用，所形成之藥劑篩選壓力，造成田區內出現對特定除草劑具抗性之雜草植株。雜草抗藥性從 1968 年首次報導後，目前至少有 150 種以上雜草對一種或多種除草劑產生抗性(HRAC 2002)，抗性雜草的存在對於除草效果佳，且被市場廣泛接受之除草劑而言，不僅加深雜草的危害程度，同時對倚賴此類藥劑達成雜草管理之體系也帶來莫大的衝擊。在除草劑抗性機制被逐步了解及分子生物技術蓬勃發展下，農藥公司及種子公司開始積極進行除草劑抗性基因轉殖，產生抗性作物之研發工作，除寄望解決部分抗性雜草之管理問題外，商機的拓展也是不惜成本投入大量資金的主因。本文主要討論抗性作物的利用，在雜草管理上所造成之效益及風險，以及抗性作物使用前應考量之因素，與使用後之管理與監測。同時說明抗性雜草、除草劑與抗性作物間交互作用之關係，進一步瞭解精準使用農藥，在雜草管理策略上之重要性。

二、除草劑抗性與抗性作物之產生

植物對除草劑的反應可分為敏感、耐性及抗性三種。感性植株通常對除草劑缺乏忍受力而易引起藥害；耐性植株則為可忍耐較高劑量，且在除草劑使用前即已存在自然界中的植物物種(species)或較大的分類群。感性及耐性程度的比值則可用為估算除草劑的選擇性(selectivity)。抗性則涵蓋了篩選和演化的機制在內，是針對一個長期重複曝露於同一除草劑，或作用機制相似之同類型藥劑的雜草族群，相對於同種之其他植株，對藥劑具有較顯著的忍受性而言。通常容忍性與抗性會被交替使用，但後者更強調了藥劑篩選壓力下族群的動態變化趨勢。

雜草對除草劑抗性的發展史較之病蟲原對殺菌劑與殺蟲劑為短，因為植物生活史較長，田區大部份雜草植株在除草劑的篩選壓力尚不完全時，即因為作物的收割而被翻犁除去，此外土壤中存留的野生型雜草種子量很多，植株的適應性強，以及抗性雜草植株生長勢較差等也是部分原因。但是隨著除草劑用量的增加及作用

機制的單純化，抗性雜草的出現亦與日劇增，1989 年的發生速率即與病蟲者相當。大部分的抗性生物型，多出現在以除草劑為雜草防除主要工具之已開發國家，1983 年以前 triazine 類抗性雜草最多，佔 67%；其次為 synthetic auxins 及 bipyridyliums，分別為 12 及 13%(Fuerst and Vaughn 1990, Holt and LeBaron 1990, Heap 1997)。1984 年後 sulfonylureas 佔 28%；ACCase 抑制劑佔 11%；triazines 及 bipyridyliums 均為 15% (Primiani *et al.* 1990, Heap 1997)。臺灣地區目前也証實旱田常見雜草野茼蒿(*Erigeron sumatrensis*)對巴拉刈(蔣等 1994)，牛筋草(*Eleusine indica*)對 ACCase 抑制劑(未發表資料)，均已產生明顯抗藥性。抗性雜草的發生通常是在田間的同一族群內，出現一種或多種抗性的等位基因，且此突變會遺傳到後代。一般單一顯性核內基因之表現型頻率為 10^{-5}，隱性者為 10^{-11}，而在葉綠體內者更低；一旦雜草族群曝露於除草劑下，某些抗性生物型會出現，敏感性植株被殺死後，留下抗性的植株歷經一段時間後，當抗性生物型成為田面族群和土壤種子庫內的優勢種後，即田間抗性株達 30%以上時，即可偵測得到抗性的發生。一般 triazine 類經七年以上的重複使用會出現抗性生物型，而 sulfonylureas 只需 3-5 年(Scalla 1992, Shaner 1995)。

抗性作物的產生方法包括傳統育種與生物技術，1984 年在加拿大上市之抗 triazines 油菜(canola)栽培種，即為傳統育種所育成之抗性作物，但目前市面上流通之商業品種，仍以基因工程技術所產生的轉殖作物為主。轉基因作物中有 85%為除草劑抗性作物，包括抗嘉磷塞(glyphosate)及固殺草(glufosinate)之大豆、玉米，抗嘉磷塞之棉花，及抗固殺草之油菜等(James 2001)。基因轉殖作物雖然引起社會各方兩極化的反應，但栽培面積卻持續在擴大中，類似嘉磷塞和固殺草等安全速效之除草劑，其抗性作物即頗為農民所接受。傳統育種之抗性性狀選拔及種間雜交，與現代生物技術之基因轉殖，運用在抗性作物的產生與發展上都有具體成效，且目前也有相當成功之商品化產品(表 1)。有關抗性作物的產生方法分述如下(Dyer 1996, Hall *et al.* 1996)。

(一)性狀選拔

即直接從已存在之植物基因組中，根據抗性性狀選拔出理想之抗性作物。一般不同種類之作物，甚至在栽培品種間，對除草劑抗性表現的差異，往往有極大的變化範圍。抗性個體或族群選出後，再使用適合的評估標準定期的重複選拔，以提升抗性程度及基因型的穩定性。在植株及細胞培養兩種層次均可分別進行選拔；前者包括種子及花粉突變體之利用，以集團選拔方式選出抗性品系之種子，經由抗性檢定及回交程序得到商品化品系。花粉則由突變之單倍體，受精後再行個體篩選。細胞培養為癒傷組織或細胞懸浮液因為發生所謂的變異(somaclonal variation)情形，改變了染色體的構造或數目，造成基因重組或倍數性(ploidy level)變異。某些除草劑抗性的顯現主要和目標酵素之編碼基因放大(amplification)有關，利用細胞培養過程中發生與抗性相關的性狀，選出抗性品系，再經回交得到與原有栽培品種相近之品系。

(三)基因轉殖

目前大多數之抗性作物是經由基因轉殖產生的；即利用 DNA hybridization 及 PCR 等技術，將負責降低除草劑生物活性，及產生抗性酵素之控制基因轉入作物體內。在除草劑抗性轉殖計畫中，需先建立有效之轉殖株篩選方法，如利用抗性篩選基因(對抗生素具抗性之 *nptII*、*hpt* 基因，或對除草劑 PPT 具抗性之 *bar* 基因等)在化學藥劑中之表現，以選拔及維繫轉殖成功之材料。但用於不同材料及轉殖方法之化學藥劑濃度及處理時間仍需測試，以免影響植株之再生效率。許多抗除草劑作物都已有商品化產品，與轉殖方法、細胞培養及植株再生技術的快速進展有密切關係。

三、抗性作物之利用效益

除草劑抗性作物最直接有利之處，即為提供農民具彈性便利之雜草管理策略，增加藥劑使用時的選擇空間。

(一)雜草管理

非選擇性廣效型除草劑，用於防除大面積呈複合式草相之作物田雜草十分有效，類似嘉磷塞之系統性藥劑，對較難防除之多年生雜草也有不錯的控制效果。因此，在抗嘉磷塞之大豆田區，於作物生育期間噴施嘉磷塞，不僅不會發生藥害問題，同時因為嘉磷塞易被土壤粒子吸附，也沒有造成後作殘效之顧慮。單純以除草劑防除雜草時，需要掌握適當之用藥時機，否則不僅藥效降低且易引起藥害，但利用除草劑抗性作物較無此限制。尤其是氣候不佳需延後施藥時間，對防除效果的影響最為明顯。對於選擇性除草劑而言，田區內發生與作物親緣相近之雜草植株時，往往成為防除上的盲點，若能栽培抗性作物，可以完全以除草效果為考量，選擇藥效較佳之藥劑使用。

對於發生抗性雜草之農田，若選擇栽培除草劑抗性作物，在雜草防除上也有特殊效益，面對抗性水稻田內發生之禾本科抗性雜草 *Echinochloa* spp.，可從藥效之觀點選擇對環境影響最小之替代藥劑(Mallory-Smith 1999, Olofdotter *et al*. 2000)。抗性雜草發生時，可以配合抗性作物對除草劑之反應，輪換使用不同藥劑，以獲得抗性雜草較佳之管理方式(例如在抗嘉磷塞之蔬菜田，使用嘉磷塞防除對 ACCase 抑制型除草劑具抗性之雜草)。在寄生性雜草發生較多之田區，若選擇栽培抗除草劑作物，則可供使用之藥劑種類增多，雜草防除效果會明顯提高(Madsen 1999)。相較於傳統雜草管理系統，針對問題雜草使用混合藥劑或增加施藥次數，通常不僅控制成效有限，同時也有用藥量提高之負面影響。

目前針對次要作物田之雜草防除確有實際的困難，一般缺乏適當之登記藥劑可供選擇，因此需投資額外的人力與金錢，才得以提升雜草防除的效果。由於次要作物之栽植面積小且分散，在利潤不高之前提下，期望廠商發展抗性作物之可能性不高。

(二)環境保護

具有非選擇性廣效型除草劑之抗性作物田，通常使用一種藥劑即可達到防除雜草的目的，在經濟及環境上均可獲

得明顯的效益。單純使用嘉磷塞即可得到理想殺草效果之田區，施藥次數的降低符合環保原則，同時配合減少翻耕或不耕犁之最小耕作法的發展，不僅雜草防除更趨簡易有效，尚可減少土壤的侵蝕沖刷(Hurle 1999)。

傳統除草劑之選擇性表現通常不完全，對某些作物之生育多少會造成影響而降低產量，因此農民往往將使用於萌後之除草劑，提前至萌前使用避免藥害的發生。唯此舉不只效果降低，且不符合關鍵期(period threshold)防除之經濟原則。但在除草劑抗性作物之田區，則因為藥劑對作物與雜草間之選擇性差異變大，因而較能精準掌握施藥期達到防除效果。傳統利用化學藥劑防除之適當施藥時間，均由作物及雜草的生育期決定，而非以雜草干擾危害作物生育之臨界期為唯一考量，利用除草劑抗性作物時，可根據雜草危害作物生育之決定期，訂定施用藥劑之時間，不僅在時間應用上有彈性，且符合經濟效益之防除原則。提高雜草防除之精準性，為未來雜草管理策略發展的新方向，參酌經由小區採樣調查之結果，及田區感應系統監測所得之資料，並根據雜草在空間及時間上的變化進行防除措施，將能提升除草劑抗性作物的應用價值。

四、抗性作物利用之風險

對除草劑抗性作物利用之風險，是根據人類健康、環境安全及農民收益三者，評估其立即性及長期性的不利效應。同時此效應受作物、抗性特質、草相、氣候及農田管理等因素的影響，而有不同之嚴重程度，實際上無法提出通案性的結論，僅能針對個案分析(Madsen and Streibig 2002)。

(一)增加篩選壓力(selection pressure)

田區雜草管理過程中，不宜長期過度倚賴一兩類的除草劑。除草劑抗性雜草之發生主要與單期作耕作制度下，連續重複使用單一種(類)之除草劑有關。除草劑抗性作物具有擴大單期作與單一除草劑使用系統之潛力，如栽培抗嘉磷塞之作物品種，農民在沒有藥害的顧慮下，且為達到更佳之除草效果，很容易破壞農藥保守使用的準則(Swanton *et al.* 2000)。每年以高劑量嘉磷塞連續施用2-3 次，對田區雜草形成極大之篩選壓力，5-8 年後田面草相組成即會發生顯著的改變，且草種趨於單純化，需要輪換其他萌後藥劑，以防除具耐性之優勢雜草(Shaner 2000)。在單期作栽培系統下，種植固殺草抗性水稻 3-8 年後，田區即發生具抗性之野生水稻，雜交率由 1%提高至 5%，抗性植株出現之時間也縮短了1-3 年(Katheine *et al.* 2002)。除草劑的使用及田間管理措施會影響田面草相之變遷，闊葉除草劑的施用會增加禾本科草間之競爭，一般在最小耕作方式之田區內，多年生草及禾本科草有增加之趨勢，即使施用非選擇性除草劑也無法完全控制所有雜草。

在抗性作物輪作時，殘留之抗性作物種子，萌發後即為自生之抗性作物植株，亦將成為後作之問題雜草。另外，如玉米及大豆之輪作田，抗嘉磷塞之大豆及玉米在生育期間，因為不只一次施用嘉磷塞，同樣是增加田區內除草劑之

篩選壓力(Shaner 2000, Roush 2001)。

(二)基因流動(gene flow)

抗性基因從一種作物轉移至另一種作物或其近緣種植物，成為田間雜草族群發展抗性的另一條路徑。一旦在多種親緣雜草上出現抗性基因時，雜草控制的成效即會明顯降低，反而促使農民會持續大量使用同一除草劑，導致田區內發生對此特定除草劑具抗性之雜草生物型植株，快速的建立其龐大族群，造成雜草管理及農業環境之負面影響。在加拿大發生之實際案例，即數種具不同除草劑抗性之油料作物 oilseed rape，種植數年後，鄰近地區出現具多重抗性之新品系(Hall *et al.* 2000)。

基因流動為環境中除草劑抗性轉移之重要角色，基因可經由花粉或種子而移動，異花授粉、種間雜交及包含此性狀之種子散布，均會造成抗性基因的傳播。通常花粉的傳播範圍大於種子，能傳播於同種作物的不同品種，或與作物親緣相近的野生植物。基因流動會經由休眠種子而長期傳播，停止種植抗性油菜數年之田區，仍可發現其在田面形成之自生群落(Lutman 1999b)。

影響抗性基因傳播之因子為(1)種間親合性及雜交種適合度：花期相近之抗性作物與感性作物或雜草植株，當花粉內帶有抗性性狀之花粉粒落在柱頭上時，要能成功的發生授粉及受精行為，待抗性基因導入受精卵之染色體組後，還必需能夠產生具稔性之雜交種子，同時雜交種子能與作物或雜草親本回交，而產生適合在環境中生育之抗性新品系。因為每一子代產生之植株，都可能攜帶除草劑抗性基因，在雜草管理上難免造成新的問題。抗、感兩種作物在花期相近且具雜交和合性時，則異花授粉成功之機率會很高，極有可能造成基因之流動(表 2)。發生在作物與雜草間之雜交種種子，也並非全具稔性，Hauser *et al.* (1998)研究顯示在 oilseed rape 與 *B. rapa* 之雜交第二代，其種子產量有減少之趨勢。但某些具有雜種優勢之稔性雜交種子，在農業生態系中則具有轉變為雜草的潛力。(2)授粉方式：作物基因可作長距離的傳播到野生植物，風力使花粉傳至數公里，昆蟲至少可達一公里，轉基因作物中有 50%以上為異花授粉，如油菜、瓜類及果樹等，水稻、大麥及小麥則是風力傳播之自花授粉，對異花授粉之轉基因抗性作物，其抗性基因的流動應特別注意(Madsen and Streibig 2003)。(3)種子傳播方式：抗性種子可經由動物、飛鳥及人類活動帶至數公里以外，一般以機械傳播種子的距離較長，其次為人為的傳播(Madsen and Streibig 2003)。

種內或種間基因流動程度，有時間及空間上的評估方式，過去研究大都集中在作物種內及作物與雜草種間之雜交，也有試驗集中在基因流動之距離，或持續數個世代後雜交種之存活率及種子產生的能力。基因的表現隨遺傳背景而異，很難預測一個抗性基因在導入一個染色體組後的影響程度，因此除草劑抗性作物在利用時，栽培地區之選擇要很慎重，應先進行生態及植物學之調查，評估種間雜交之風險，避免鄰近可能有近緣雜草植株造成之風險。

(三)田間抗性基因之表現

田區內若抗性基因之表現程度不

表 2. 作物及其近緣野生種植物(摘自 Mallory-Smith 1999, Riches and Valverde 2002)。

作物	近緣野生種植物
Barley (*Hordeum vulgare*)	Wild barleys (*H.* spp.)
Canola (*Basssica napus*)	Numerous wild mustards
Carrot (*Daucus carota*)	Wild carrot (*D. carota*)
Cotton (*Gossypium hirsutum*)	*G. aridum; G. armourianum;* *G. harknesii; G. klotzchianum;* *G. raimondii; G. thurberi;* *G. gossypioides; G. trilobum;* *G. lobatum; G. barbadense;* *G. hirsutum*
Foxtail millet (*Setaria italica*)	Green foxtail (*S. viridis*)
Lettuce (*Lactuca sativa*)	Prickly lettuce (*L. serriola*)
Maize (*Zea mays*)	Teosinte (*Z. mays* spp. *mexicana*) Tripsium dactyloides
Oat (*Avena sativa*)	Wild oat (*A. fatua*)
Potato (*Solanum tuberosum*)	154 wild species
Radish (*Raphanus sativus*)	Wild radish (*R. sativus*)
Rice (*Oryza sativa*)	Red rice (*O. sativa*) *O. alta; O. glumaepatula;* *O. grandiglumis; O. latifolia*
Sorghum (*Sorghum bicolor*)	Johnsongrass (*S. hulepense*)
Squash/pumpkin (*Curcbita* spp.)	Wild cucubit species (*C.* spp.)
Sugarbeet (*Beta vulgaris* spp. *vulgaris*)	Wild beet (*B. vulgaris* spp. *maritime*)
Sunflower(*Helianthus annuus*)	Wild sunflower (*H. annuus*)
Wheat (*Trielcum aestivum*)	Jointed goatgrass (*Aegilops cylindrical*)

足，栽培抗性作物之農民將承擔因除草劑使用錯誤所導致之經濟損失，因此基因在多變的環境與生產體系中，必需具有穩定表現之特性。種間雜交、基因交換及抗性作物自生植株均會影響田間抗性基因之表現。

1.種間雜交

一地區內親緣野生植物的開花期大都彼此重疊，研究從數個不同地點之開花數目，結果顯示栽培種間之雜交率最低。以 oilseed rape 為例，其異花授粉率約 20-40%，分別由風及昆蟲達到異交(outcrossing)結果，並產生大量花粉(Darmency 1999)。植物間開花期不連續，表示兩者花粉雜交之可能性低。另外，在特定地點由花粉粒飛散的分布曲線，也可以大致預測轉殖基因花粉，與

鄰近雜草授粉之數量及頻度；對花粉較少之某些栽培種而言，相對的其雜交授粉率低。一旦花粉到達外來雜草植株之雌蕊上時，是否能發芽則由自交不和合性來決定，發芽之花粉尚需經歷胚珠受精之過程。在雜草族群內不同植體間，也發現有某種程度之遺傳變異，同一種內的某些植物不能產生雜交種(不稔)，某些則可以；利用特定之標識研究，能夠得到特定地區雜草族群之雜交率，授粉與受精能力，從品種間差異的分析資料，即能選拔出種間雜交風險低之安全品種。

生長在抗除草劑油菜田內之雜草植株，在重複噴施同一種除草劑後，其子代與 hoary mustard (*Hirschfeldia incana*) 及 wild radish (*Raphanus raphanistrum*) 雜交之抗性後代可以存活，但與 wild mustard (*Sinapis arvensis*)雜交之後代則否(Darmency 1999, Reiger *et al.* 2001)。雜交種植株之發生數與雜草植株產生之種子數無直接相關，在商品化抗除草劑作物栽培之田區，監測雜交種產生之數量時，應以植物之株數為準而非種子數。一旦雜交種子散落後，埋在土中之存活期會和作物種子一樣長，觀察不同地區之小麥田，深耕會減少存活之種子數、幼苗萌發數量及種子存活率。根據觀察，雜交種之外形與栽培種十分相近，同時也具有野生親本之外觀，因此雜交種在田區內不易被確認出來。雜交種種子的產出不高(平均每株 0.2 粒種子)，但存活力與雜草相當，此種雜交適合度(fitness)可用為壓抑抗性雜交種在雜草管理上造成之問題(Darmency 1999)。

2.漸滲雜交(introgressive hybridization)

田區採行作物輪作時，鄰近出現及保留之雜草族群，會提供雜交種及其子代與雜草回交之機率。油菜為異交作物，會透過風力或昆蟲與近緣種雜草進行雜交，其複倍體(amphiploid)(2n=38)為來自 *B. oleracea* (2n=18) 及 *B. campestris* (2n=20)之雜交後代。以 1:1 之油菜(*B. napus*)與 *B. campestris* (目前已成為農田的主要雜草)混種時，後者會產生 13%之雜交種子，前者為 9%，顯示抗性基因經由雜交及回交而發生物種間基因庫的融合。含抗性基因之油菜與 wild radish 雜交，F_1 僅產生 28.6%之稔性種子，第二代增多 10 倍，經過 4 個世代會產生與雜草染色體數及外觀形態相似之抗性植株，顯示抗性基因主要滲入雜草之染色體組(Darmency 1999)。

轉殖油菜之基因若位於 *B. oleracea* 之染色體上，則發生在 *B. campestris* 內之基因重組與交換較在 *B. oleracea* 內困難，因為 *B. campestris* 在北歐地區十分普遍，因而由此方法獲得之轉基因油菜可以在此區域內維繫下來。反之，*B. oleracea* 之原生地為地中海及中國，存在 *B. campestris* 染色體上之轉基因油菜則為適合栽培之品種。類似的結果在甜菜、高粱、小米、胡蘿蔔、小麥及水稻上亦然(Darmency 1999)。

漸滲雜交對農民的主要影響，係田區內發生之抗性雜草無法控制，使除草劑效果降低。試驗顯示田區內由單一抗性植株產生之幼株數，在沒有防治情形下，第四代會高達 100,000 株(Darmency 1999)。經由漸滲雜交發生之抗性雜草確為一新的景象，因為轉殖之抗性基因，

在生物體內的穩定性，發生突變的機率，與其他代謝途徑交互作用之潛力，以及代謝產物釋放至環境中之變化均無法明確掌握，因此有可能造成長期影響的效應。

(四) 自生之除草劑抗性作物

除草劑抗性作物的風險之一，即成為後作之自生雜草，如抗嘉磷塞作物在休閒及非耕作栽培系統田區內，會成為防治上的一大難題。因為嘉磷塞為此類田區常態而規律使用的除草劑，抗性玉米在具有相同抗性之大豆為其後作時，亦會造成防除上的困難。因此，與除草劑抗性自生作物族群建立有關之適合度研究，將成為重要之課題。根據 oilseed rape 植株收穫後留存在土表之種子，分項提出與適合度相關之調查如下：

(1) 有多少種子在收穫後會散落在田區？約為所有種子產量之 5%，即每平方公尺至少有 5,000 粒(Lutman 1999a)，顯示抗性作物與傳統作物有類似之生育行為。

(2) 此種雜草如何散布？留存在田區之種子會在土中存留數年，且侵害其他作物，自生之 rape 會散布得很廣，在半開發棲地如路邊及田埂上會像雜草一樣發生。

(3) 油菜種子為何會存留在土中？新鮮之油菜種子幾乎都是不休眠的，但有記錄顯示，油菜種子會在土中存留數年，可能因為採收後種子會立即轉變為休眠狀態。研究顯示一般栽培種具有成為休眠性遺傳組合之潛力。黑暗及水分逆境(乾旱)為導致休眠之主因，低土溫及低氧含量應該也是部分原因。

(4) 存留在土壤中之 rape 種子時間會有多長？試驗數據並不一致，有一說為 10 年，在指數曲線下降 50%時需 9 個月，90%時需 3 年，100%時(種子全部消失)需 9 年以上(Lutman 1999a)。由此顯示，低比例之種子仍能存活一極長之時間，此與傳統作物極為類似。

(5) 種子散布之風險是什麼？Oilseed rape 為路邊常見植物，很明顯是由農機具及運輸工具掉落之種子所引起，調查顯示，大部分的種子無法在次年重新建立族群，因為 oilseed rape 在非耕地之繁殖及萌芽力不佳。反而是由收穫機殘留之種子愈多，在田面散布的風險則愈大，或會經由機具帶至其他田區。

由此可知，對於自生之抗性植物所造成雜草管理之衝擊，需針對植物種類、田區管理及氣候環境等因子，預先評估及分析，作為抗性作物利用之參考。

五、抗性作物之管理

抗性作物對管理抗性雜草上有其利用之潛力，但同時也帶來許多應用上的問題，因此從栽培田區之選擇到除草劑的使用，均應建立完備之管理及監測系統。

(一)技術性解決基因之流動

有許多技術可減少基因在田區移動之機會，包括雄不孕、阻斷異交(outcrossing)、殖入致死基因至抗性作物之植株。

(二)生產操作

利用新的除草劑抗性作物前，應先制定一套針對此作物之除草劑使用，及防止抗性雜草產生之特定管理策略，包含此除草劑抗性作物之產生方式，及除草劑使用之次數及種類。有關交互抗性及多重抗性之問題，對使用之藥劑種類應特別注意。若不只抗一種藥劑之抗性作物，需注意其是否會成為自生雜草，記錄抗性草種植及除草劑的施用情形。利用具抗性及不具抗性之作物輪作，為防止抗性雜草產生之主要方式。為減少種子散播所造成之基因流動，需注意運輸及機械清潔。在清除田區內任何除草劑抗性作物之自生作物或雜草方面，以控制花粉的移動不易，在許多狀況下，田區間尚需設置適當之隔離距離。土壤種子庫的管理也很重要，如芥菜(mustard)種子存在土壤中可持續數年，油菜之自生作物也能持續一段期間，小麥種子則不可能超過一年(Mallory-Smith 1999)。

(三) 除草劑抗性作物自生植株之預防及管理

以 oilseed rape 為例：(1)預防：要完全避免種子掉落土表幾乎是不可能的，但隨時採收以減少種子落地，亦不失為降低土壤種子庫內抗性種子數量之良方。(2)殘株之管理：埋在土表下之小殘株，在較乾旱之田區也會增加其存活機率，應使用除草劑防止其再生而非用耕犁的方式，如為具抗性之自生作物，應選擇輪換或混合藥劑。(3)植前及後作：後作應選擇不翻耕方式以避免促進油菜種子之發芽，選擇穀類(cereals)作物當作後作，有較多可用藥劑來防除自生之抗性油菜，且使用除草劑還必需配合作物，與抗性油菜萌芽期之長短。耕犁則會增加自生油菜在後期作之數量。(4)運輸及機具攜帶：防止運輸時除草劑抗性作物種子之掉落及農機具之攜帶傳播，會明顯減少其散布與蔓延(Mallory-Smith 1999)。

六、結語

除草劑抗性的發生在農藥應用上已成為重要的討論議題，一方面因為近年來抗性植株的出現趨於普遍而快速，往往新藥的推出(如 sulfonylureas)不到十年即產生抗性，根據 HRAC (2002)的記錄，全球抗性雜草生物型已有 250 種以上，且發生的速率持續在提升。另方面則為抗性作物的研發與產生，除草劑抗性作物的使用，在短期內對嚴重之雜草問題似乎提供了新的解決辦法，如寄生性雜草及作物近緣種雜草的防除，甚至可朝向不翻犁之最少耕作方式發展，以減少土壤流失等問題。但在長期影響上，則有基因流動及種間雜交，造成抗性草發生之疑慮，以及抗性自生植物成為後作田雜草的問題。其他方面尚包含因為新技術導致田間栽培管理方式的改變，造成傳統農機具的淘汰所引起之損失，以及農民依賴特定藥劑的風險。此外，固有的作物品種亦將逐漸消失，取而代之的是限制農民採收抗性種子，改以壟斷方式之供應模式等。

除草劑抗性作物的栽培面積持續在擴大中，抗性作物的利用可以成為整體雜草管理中的一部分，但絕非解決雜草防除問題的唯一方法。通常抗性作物引

入農業生產體系中，一旦被栽培者廣泛接受及普遍採用後，研發者會不斷發展更多之抗性作物來抗更多之除草劑。因此，在一個新的除草劑抗性作物被利用之前，為降低風險提高利用效益，應先發展適當及適時的管理與監控策略，策略之製作與作物種類、抗性除草劑特性、特定地區之作物輪作情形，及雜草相之發生均有密切關係，但一個管理策略通常不會適用於所有的藥劑或作物(Romero 1999)，針對個別案例做適切之修正是十分必要的。

八、參考文獻

蔣永正、蔣慕琰、朱德民。1994。台灣野塘蒿(*Erigeron sumatrensis*) 對巴拉刈(paraquat) 抗藥性之研究。中華民國雜草學會會刊 15(1): 1-19。

Darmency, H. 1999. Potential of gene transfer to wild relative species. p.9-11. *In*: Technical Meeting on Benefits and Risks of Transgenic Herbicide Resistant Crops. FAO, Rome, Italy.

Dyer, W. E. 1996. Chapter 3: Techniques for Producing Herbicide-resistant Crops. p.38-47. *In*: Herbicide-resistant Crops. S. O. Duke, ed. CRC Press, New York.

Fuerst, E. P. and K. C. Vaughn. 1990. Mechanisms of paraquat resistance. Weed Technol. 4:150-156.

Hall, J.C., M.J. Donnelly and D.J. Hume.1996. Triazine-resistant Crops: The Agronomic Impact and Physiological Consequences of Chloroplast Mutation. p.107-126. *In*: Herbicide-resistant Crops. Agricultural, Environmental, Economic, Regulatory and Technical Aspects. S.O. Duke, ed. USA, CRC Press, New York.

Hall, L., K. Topinak, J. Huffman and L. Davis. 2000. Pollen flow between herbicide-resistant *Brassica napus* is the cause of multiple-resistant *B. napus* volunteers. Weed Sci. 48: 688-694.

Hauser, T.P., R.B. Jorgensen and H. Ostergard. 1998. Fitness of backcross and F_2 hybrids between weedy *Brassica rapa* and oilseed rape (*B. napus*). Heredity 81: 436-443.

Heap, I. M. 1997. The occurrence of herbicide-resistant weeds worldwide. Pestic. Sci. 51: 235-243.

Holt, J.S. and H.M. LeBaron. 1990. Significance and distribution of herbicide resistance. Weed Technol. 4:141-149.

HRAC. 2002. International survey of herbicide resistant Weeds. http://www.weedscience.org/summary/CountrySummary.asp

Hurle, K. 1999. Benefits and risks posed by the use of HRCs. p.6-7. *In*:Technical Meeting on Benefits and Risks of Transgenic Herbicide Resistant Crops. FAO, Rome, Italy.

James, C. 2001. Global GM Crop Area continues to grow and exceeds 50 million hectares for first time in 2001. Intl. Service for the Acquisition of Agri-biotech. Application. http://www.isaaa.org/presspercent 20release/Global percent 20 Area.Jan2002.htm.

Katheine, H.M., E.V. Bernal and E.J. Jens. 2002. Risk assessment of herbicide-resistant crop: A Latin American perspective using rice (*Oryza sativa*) as a model. Weed Technol. 16(1): 215-223.

Lutman, P.J.W. 1999a. Prevention and management of volunteer HRCs. p.13-15. *In*: Technical Meeting on Benefits and Risks of Transgenic Herbicide Resistant Crops. FAO, Rome, Italy.

Lutman P.J.W. 1999b. Volunteer HRCs in other crops. p.17-19. *In*: Technical Meeting on Benefits and Risks of Transgenic Herbicide Resistant Crops. FAO, Rome, Italy.

Madsen, K.H. 1999. Socio-economic consequences of HRCs. p.8. *In*: Technical Meeting on Benefits and Risks of Transgenic Herbicide Resistant Crops. FAO, Rome, Italy.

Madsen, K.H. and J.C. Streibig. 2002. Risk assessment of herbicide resistant crops: A Latin American perspective using rice (*Oryza sativa*) as a model. Weed Technol. 16(1): 215-223.

Madsen, K.H. and J.C. Streibig. 2003. Benefits and Risks of the Use of Herbicide-resistant Crops. *In*: Weed Management for Developing Countries. R. Labrada, ed. FAO Plant Production and Protection. Paper 120 Add. 1. Rome. 11 pp.

Mallory-Smith, C. 1999. Benefits and Risk of HRCs. p.21-26. *In*:Technical Meeting on Benefits and Risks of Transgenic Herbicide Resistant Crops. FAO, Rome, Italy.

Olofdotter, M., B.E. Valverde and K.H. Madsen. 2000. Herbicide resistant rice (*Oryza sativa* L.) in a global perspective: Implications for weed management. Ann. Appl. Biol. 137:279-295.

Primiani, M.M., J.C. Cotterman and L.L. Saari. 1990. Resistance of Kochia (*Kochia scoparia*) to sulfonylurea and imidazolinone herbicides. Weed Technol. 4:169-172.

Riches, C.R. and B.E. Valverde. 2002. Agricultural and biological diversity in Latin America: implications for development, testing, and commercialization of herbicide-resistant crops. Weed Technol. 16:200-214.

Reiger, M.A., T. Potter, C. Preston and S.B. Powles. 2001. Hybridization between *Brassica napus* L. and *Raphanus raphanistrum* L. under agronomic field conditions. Theor. Appl. Genet. 103:555-560.

Romero, R.L. 1999. Results of a Questionnaire on HRCs. p.27-30. *In*: Technical Meeting on Benefits and Risks of Transgenic Herbicide Resistant Crops. FAO, Rome, Italy.

Roush, R.T. 2001. Genetic modified herbicide resistant crops in North America, Australia and other countries. p.5-9. *In*: Japan-Australia Seminar, Utsunomiya University.

Scalla, R. 1992. Biochemical mechanisms of herbicide resistance and selectivity. p.231-235. *In*: Proc. 1st International Weed Control Cong., Melbourne.

Shaner, D.L. 1995. Studies on mechanisms and genetics of resistance: their contribution to herbicide resistance management. p.537-545. *In*: Proc. Brighton Crop Protection Conf. UK.

Shaner, D. L. 2000. The impact of glyphosate-tolerant crops on the use of other herbicides and on resistance management. Pest Manag. Sci. 56:320-326.

Swanton, C. J., A. Shrestha, K. Chandler

and W. Deen. 2000. An economic assessment of weed control strategies in no-till glyphosate-resistant soybean (*Glycine max*). Weed Technol. 14:755-763.