

抗除草劑基因改造作物之特性及生態問題

袁秋英、蔣慕琰

行政院農委會 農業藥物毒物試驗所

一、基因改造作物之現況

2002 年全球農作物的栽種面積約 2 億 6 千萬公頃，其中基因改造作物之栽種面積約 5 千 8 百萬公頃 (22%)，美國為最大生產國，其次為阿根廷、加拿大及中國，分別佔 66、23、6 及 4% (圖一 A)。美國的主要基改作物為玉米、大豆、棉花、油菜、南瓜及木瓜，阿根廷、加拿大及中國分別以大豆、油菜及棉花為主，其他包括番茄、馬鈴薯、甜菜、水稻、康乃馨、向日葵、菸草、小麥、菊苣、甜瓜及亞麻等共 17 種作物。大豆、玉米、棉花及油菜為全球最主要基因改造作物，栽種面積之比率分別為 62、21、12 及 4% (圖一 B)。

基因改造作物依據發展之先後可分為三代，第一代基因改造作物的目的在於降低生產成本，例如抗除草劑及抗蟲作物；第二代基因改造作物的目的在於提升作物產質，例如延遲果實成熟，增加廚價壽命；修飾雄不稔特性；於作物中增加維生素 A 或鐵質含量，改良種子不飽和脂肪酸組成，以降低夜盲症、貧血或心血管疾病的罹病機會。第三代基因改造作物的目的在於提升植物的附加價值，例如增強作物抗逆境能力、改變花卉顏色、香味，利用植物生產特殊化合物、工業用脂肪酸、酵素等。目前市售的基因改造作物以抗除草劑作物 (75%) 為主，其次為抗蟲作物 (17%) (圖一 C)。

台灣的抗輪點毒素病木瓜，目前已完成田間試驗部份，即將進行食品安全檢驗。此外，於中央研究院、亞洲蔬菜中心、台灣大學、中興大學及農業試驗所等農業單位，亦針對水稻、番茄、馬鈴薯、白菜、甘藍菜、青花菜、香蕉、蘭花、菊花及百合等作物進行轉基因之研究。抗蟲棉花為中國第一個商品化的基因改造作物，另外試驗中的作物有小麥、馬鈴薯及花生等，中國政府預定在 2005 年以前提高研究預算 400%，積極研發基因改造作物。

二、抗除草劑轉基因作物之特性

第一代基因改造作物抗除草劑及抗蟲作物，主要為孟山都、先正達、巴斯夫、拜耳及杜邦等農藥公司之研發產品。抗除草劑作物中包括之除草劑有嘉磷塞 (glyphosate) 固殺草 (glufosinate) 硫醯尿素類 (sulfonyleurea) 及 Bromoxynil 類藥劑。全球抗除草劑作物與抗除草劑基因類別列於表一。嘉磷塞為全球使用最多的萌後除草劑，於植體內具系統性傳導效果，可有效防治一年生及多年生雜草。美國的基因改造作物中，孟山都公司之抗嘉磷塞 (RounupReady) 大豆、玉米及棉花即佔各作物的 75、10 及 65%，為抗除草劑作物中的重要品系。抗嘉磷塞之大豆 (GTS 40-3-2) 玉米 (NK603) 棉花 (MON1445) 及甜菜 (GTSB77)

的抗藥基因，皆為農桿菌 *Agrobacterium* sp. strain CP4 的 EPSPS 基因，然而抗嘉磷塞玉米之 MON832 及 GA21 品系，構築的抗藥基因則不相同，前者為含有 CP4 EPSPS 及 GOX（嘉磷塞氧化酵素）基因，後者為玉米修飾後具抗藥的 EPSPS 基因。固殺草為接觸型除草劑，於土壤中易於分解代謝，具有殘效短及毒性低之特性。抗固殺草作物有大豆（2 品系）、玉米（6 品系）、棉花、油菜（10 品系）、水稻（2 品系）及菊苣（3 品系），其中構築的抗固殺草基因為 *bar* 或 *pat* 基因，二者皆可編碼為代謝固殺草的 PAT 酵素，另外玉米有 4 品系除了抗固殺草以外亦具抗蟲特性。硫醯尿素類除草劑包括市售的百速隆、免速隆等，具有活性高、用藥量少及毒性低之特性，抗硫醯尿素類除草劑的作物有康乃馨（11 品系）、棉花及亞麻，其中抗藥基因由菸草或阿拉伯芥的 ALS 基因轉殖而來。抗 Bromoxynil 除草劑的作物有油菜、棉花及菸草，構築的抗藥基因為 nitrilase 基因。

藥毒所針對進口大豆及玉米之研究，曾經檢出抗嘉磷塞大豆（GTS 40-3-2）及抗固殺草玉米（Bt11、Event176 及 T25）等品系。由於轉基因的抗除草劑效率為各研發公司的技術平台，因此於作物不同品系構築之轉基因組成，包括啟動子、終結子及抗藥基因皆不盡相同，未來對於基因改造作物的查驗追蹤及風險評估，將更具複雜性及難度。

三、野化、基因污染及雜草抗藥性等生態問題

目前基因改造作物的安全性評估，包括對於人畜食用安全性及生態環境安全性的評估。有關環境安全性評估的重點，在於基因改造作物本身是否會變成生態優勢的雜草？抗除草劑基因是否會以垂直基因流動（vertical gene flow）方式，經由花粉飄散或種子傳播而轉移到近緣種植物中？亦或是以水平基因流動（horizontal gene flow）方式，轉移到細菌及病毒等微生物中？現階段資料顯示水平基因流動的機率非常低。此外抗除草劑作物是否會改變原有生物群落的動態平衡？雜草抗藥性現象的發生，為非目標作物族群發生改變的重要問題。

（一）、野化

抗除草劑大豆及玉米等作物是否會野化為「超級雜草」？一般而言，雜草的特質包括花粉易傳播授粉、種子易萌芽、壽命長及多產等優勢的繁殖潛力，雜草亦具有幼苗生長快速以及植株耐逆境等強勢的競爭力。基因改造作物野化之可能途徑有二：一為抗除草劑作物由於導入的基因，使其產生具有雜草特質的適應力及競爭力。另一為抗除草劑作物與其野生近緣種雜交，經由花粉傳播形成基因流動（gene flow），而成為具有雜草優勢的近緣種。英國倫敦帝國學院於 1990 年起，針對基因改造的玉米、甜菜、油菜及馬鈴薯進行繁殖力及環境耐性之田間試驗，結果四年內 4 種轉基因作物皆自然死亡，且玉米、棉花及大豆等作物一旦離開栽培環境，不易存活。雖然抗除草劑油菜可能可於非耕地存活，但在缺乏藥劑的環境下，抗藥基因亦不具特殊功能。同時抗嘉磷塞作物並不會產生大量種子，其產量與傳統品系者無顯著差異，因此目前認為第一代基因改造作物本身在非栽

培環境中不易發展為「超級雜草」。

(二)、基因污染

改造基因可經風力或昆蟲之花粉散佈移轉到周邊近緣植物，導致野生物種之遺傳污染。美洲栽培之基改玉米、油菜及向日葵等均需考慮對區域內野生種之污染。加拿大為基因改造油菜 (*Brassica napus*) 的主要生產國，約 80% 均帶抗除草劑基因；當地的研究顯示栽培種與野生 *Brassica rapa* 之雜交比可高於 13%，與其他十字花科野生種 *Erucastum gallicum*、*Raphanus raphanistum* 及 *Sinapis arvensis* 之雜交率則甚低。中美洲為玉米種源中心及野生 teosinte 玉米 (*Zea mexicana*) 的原產地，墨西哥就曾發生有爭議性之基改玉米花粉污染事件，引起全球生態及保育界的高度關切。一般而言，自交作物的天然雜交率低，俄羅斯之研究顯示基改大豆 (*Glycine max*) 僅在除雄授粉之狀況下，有少數可與野生大豆 (*Glycine soja*) 雜交結實。加拿大對抗除草劑小麥的研究顯示花粉污染的問題不大。中國大陸之研究發現，栽培水稻 (*Oryza sativa*) 的基因可於自然狀況下，轉移至近距離的野生稻 (*Oryza rufipogon*)。缺野生近緣種的地區，此類污染不具重要性。台灣栽培的作物大半源自其他地區，本地多無同種或同屬之野生植物，將來此方面的問題不大。

經由花粉散佈也可將改造基因轉移至同種之非基改作物，而影響農產物的純度及價值；此類污染在各地均可發生。近年非洲有些地區因乾旱災引起飢荒，但仍然拒絕美國所援助之基改玉米，其重要因素為憂懼造成污染，影響日後該地區農產品外銷。台灣農作生產也不可忽視這類基因污染之可能影響及衝擊。

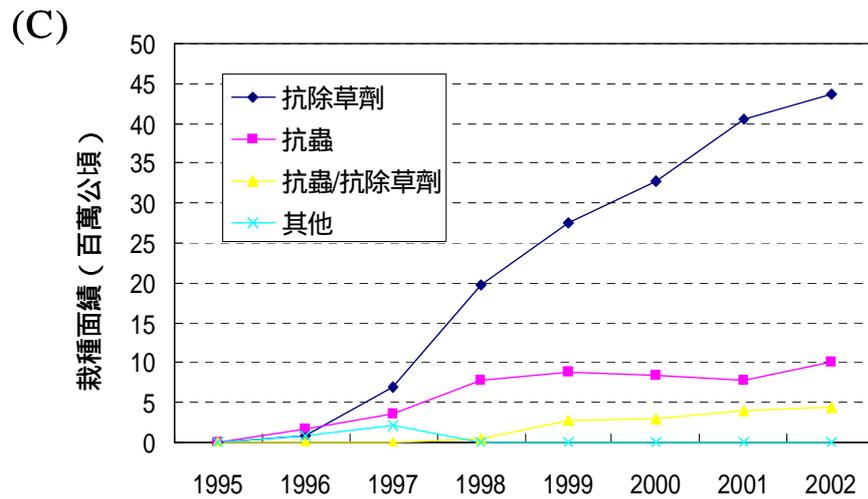
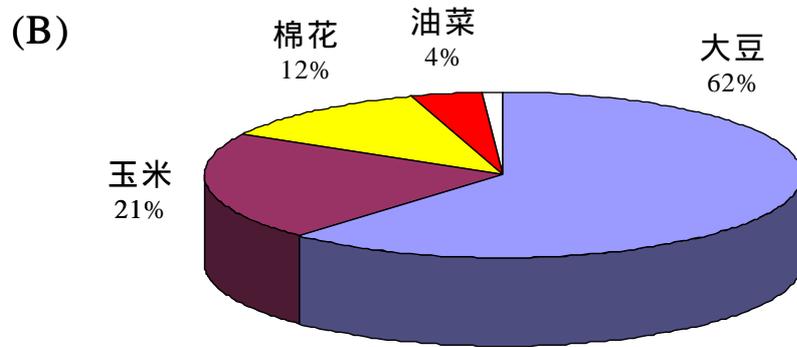
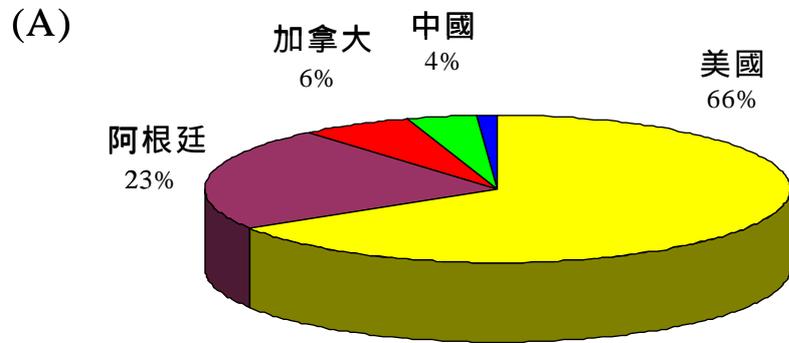
(三)、抗藥雜草

另一項抗除草劑作物栽種後的非目標生物族群問題為雜草抗藥性現象。雜草與一般昆蟲及微生物相同，在經常性施用同一種作用機制的藥劑之後，容易篩選出抗藥性品系，並逐漸發展為優勢植物，改變農地原有植物相的平衡。根據美國農部的資料顯示，抗嘉磷塞大豆田於 2001 年噴施的嘉磷塞藥量 (1.5 萬公噸) 為 1995 年的 5 倍，雖然基因改造作物於栽培管理期間的農藥總施用量減少，但大都由於在傳統品種使用的其他萌前藥劑，改為嘉磷塞或固殺草二藥劑，使得抗嘉磷塞大豆及玉米田噴施藥量增加之故。也可能因此自 2000 年起，於愛荷華州至德拉威州間的農田，出現菊科的加拿大蓬抗藥性雜草，藥量必須增加為一般田間施藥量的 10 倍，才可有效防除。後續於愛荷華州及密蘇里州亦發現莧科的 *Amaranthus rudis* 雜草，產生對嘉磷塞抗藥性的生物型。雖然孟山都公司申明曾推薦農民噴施嘉磷塞的次數為兩年內不超過 2 次，且應以傳統品種作物與抗嘉磷塞作物輪作為宜，但一般農民並未依照辦理。針對如何解決雜草抗藥性問題，孟山都公司提出可於抗嘉磷塞玉米田，以嘉磷塞田間立即混合 2,4-D (闊葉型除草劑)，可有效防除抗性草，而不會傷害玉米植株。此外先正達公司亦推薦輪作不同抗藥性作物，配合以輪用的嘉磷塞或固殺草藥劑，即可達成防除抗藥性雜草的

目的。因此栽種抗除草劑作物仍需配合傳統品種輪作、不同作物別輪作或是輪流施用不同作用機制的除草劑，方可避免抗性草的發生，有效防除抗性草，以及降低農地植被多樣性被改變的風險。

四、結語

基改作物自 1990 年代中期開始田間生產，栽培面積在美洲及中國大陸等國家地區快速擴增，在農業生產之重要性日趨增高。全球大面積栽培之基因改造作物主要為大豆、玉米、棉花及油菜，含有抗除草劑基因者佔總栽培面積 80% 以上。台灣近年輸入之農產品如玉米及黃豆等，很多均帶有改造之基因；國內外研發之基改作物也將陸續在本地進入測試及生產階段。基因改造作物及其產物的人畜安全、基因污染及其他層面的生態問題，涉及各界之實際利益，已成關注之焦點。這些問題均須妥善因應解決，基改作物才能順利發展。



圖一、2002 年全球基因改造作物之(A)生產國(B)主要作物(C)改良特性。

表一、抗除草劑作物與抗除草劑基因類別

| 除草劑 | 大豆 | 玉米 | 棉花 | 甜菜 | 油菜 | 水稻 | 菊苣 | 康乃馨 | 亞麻 | 菸草 |
|------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-----|------------|------------|------------|-----|-----|-----------|
| 嘉磷塞 | CP4 ¹⁾ | m-EPSPS ²⁾ | CP4 | CP4 | | | | | | |
| | | CP4 | | | | | | | | |
| | | CP4+GOX ³⁾ | | | | | | | | |
| 固殺草 | <i>bar</i> | <i>bar</i> | <i>bar</i> | | <i>bar</i> | <i>bar</i> | <i>bar</i> | | | |
| | <i>pat</i> | <i>pat</i> | | | <i>pat</i> | | | | | |
| 硫醯尿素類 | | | ALS ⁴⁾ | | | | | ALS | ALS | |
| Bromoxynil | | | nitrilase | | nitrilase | | | | | nitrilase |

1) CP4: *Agrobacterium* sp. strain CP4 的 EPSPS 基因

2) m-EPSPS: 玉米經修飾的 EPSPS 基因

3) GOX: glyphosate oxidase 基因

4) ALS: Acetolactose Synthase 基因