

# 基因改造作物的優勢與潛藏危機

黃三光、曾經洲

## 前 言

人類文明的進展是由早期的遊獵式生活到農耕畜牧為主的農業社會，繼而邁向現代化的工商業社會。由於人口的不斷增加以及各項工程建設的持續擴展，全世界可耕地(arable land) 幾已全數被開發利用，未來農耕地勢必得向邊緣地段(marginal land) 來遷移。此外，文明高度進展所衍生的全球溫室效應(global warming) 亦將迫使南北半球原本適合耕種的緯度往南北極方向移動，使得原先生長於肥沃適耕區的農作物因溫度過高而不得不轉往較高緯度的貧瘠土壤區來栽培。溫室效應對農業用地的衝擊尚包含造成原本乾旱地區越發乾旱，而原本深受淹水所苦之地水患愈發嚴重。面對全球人口的激增，糧食的增產一直是考驗農業研究人員的一大課題。二次世界大戰以後，化學合成農藥、肥料陸續地推出，其具有使用簡便、效果迅速、顯著等優點，的確造就農作物產量品質的大幅提昇，但隨長期大量使用而來的抗藥性、環境污染、毒殺天敵、土壤的酸化、鹽化等問題，破壞了大自然生態系的平衡。正當上述這些問題困擾著各國的農業專家時，利用生物科技研發而成的基因改造作物(Genetically Modified crops, GM-crops) 似乎為本世紀的農業發展開起了一扉新頁。但是科技究竟並非萬能，由基因工程技術所產生的基因改造作物仍有其所遭遇的問題，本文將針對何為基因改造作物、其利用潛能與潛在問題做一簡介，盼能增進國人對基因改造作物的了解。

## 認 識 基 因 改 造 作 物

國內目前對基因改造作物的稱呼並未統一，然而不論是基因轉殖作物(transgenic plants)(蘇，2001)，基因工程作物(葉，2000)，基因改良作物(詹，2001)，或是 GM-作物(林等，2000)均與基因改造作物同義，本文乃採用基因改造作物之名稱。依據蘇(2001)之解釋，“基因改造，是以人為的方法，改變物種的基因序列，通常涉及將某種生物的某

---

行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所技術專刊第 110 號。

個基因，從一連串基因中分離，再植入另一種生物體內。藉由外來基因的表現，而達到改變生物的性狀，所得生物稱為基因改性生物體 (Genetically Modified Organisms, GMOs)。”依此，若分離基因或外來基因所植入的生物體為作物時，則此經由人工方法獲得外來基因的作物即是所謂的‘基因改造作物’。簡言之，凡含有以人為方式植入之外來基因的作物均可稱為基因改造作物。

有別於傳統的育種方式，性狀的移轉僅限於同種或是種源近似之個體，現代的基因工程技術已突破了傳統育種的格局，能將得自不同種源的外來基因以人為的方式嵌入植物體，而此外來基因甚至可以是源自微生物或動物體。例如將取自蘇力菌 (*Bacillus thuringiensis*) 的殺蟲結晶毒蛋白基因 (cry-gene) 植入玉米體內，則此玉米亦能合成由 cry 基因所主導產生的殺蟲毒蛋白，因而具有抗蟲的特性。這種以人工方式植入 cry 基因的玉米，便可說是一種基因改造玉米。

Bonetta (2001) 引述農業生物工程新增申請的國際服務 (ISAAA) 的資料指出，全球基因改造作物的種植面積由西元 1996 年至 2000 年的增長超過了 25 倍，從 170 萬公頃增加到 4,420 萬公頃 (幾乎相當於兩個英國的面積)。西元 2000 年，全球種植基因改造作物面積排名前 4 名的國家由大至小依序是美國、阿根廷、加拿大、和中國大陸，此 4 國的栽植面積加起來共佔了全球栽植面積的 99%。蘇(2001) 指出目前已商品化的基因改造作物，計有大豆、玉米、油菜、棉花、番茄、稻米、馬鈴薯、木瓜、甜菜、小麥等 10 種。而現今美國所生產的農產品中，約有 1/3 的玉米，1/2 的大豆以及 1/2 的棉花為基因改造作物。

## 基因轉殖的方式

大體而言，目前主要有兩種不同的方法能將具有功能的外來基因植入植物體內。對雙子葉植物 (如大豆、蕃茄和棉花) 來說，基因轉殖通常是藉由冠繆農桿菌 (*Agrobacterium tumefaciens*) 來達成。冠繆農桿菌能自然地 (不經任何人工處理) 感染種類繁多的植物，其感染乃是透過將其自身的一段 DNA 直接的插入受感染植物的 DNA 中，是以只要將冠繆農桿菌 DNA 中的致癌基因去除，並將所欲植入的外來基因插入冠繆農桿菌的 DNA 中，再讓此含外來基因的冠繆農桿菌去感染植物，如此一來便能將此外來基因轉移至受感染的雙子葉植物的 DNA 中。而受感染植物中含此外來基因的細胞可進一步被篩選出來，再利用細胞培養的技術產生一含有此外來基因的完整植株。就單子葉植物 (如玉米、小麥和稻米) 而言，冠繆農桿菌對其的感染效果不彰，一般乃將所欲植入的外來基因包覆於鎢

粒子(tungsten balls)表面，再以物理方式將此包覆有外來基因的鎢粒子導入植物的細胞中，有些外來基因會自鎢粒子表面脫落而成為植物 DNA 的一部份，這些含有外來基因的植物細胞一樣可被篩選出來並培育成一完整的植株(Persley and Siedow, 1999；葉，2000)。

據潘(2000)之報導，除冠縷農桿菌外，植物病毒亦常被當作載體來用。但並非所有的植物病毒均具載體的功能，除非此病毒能經由原生質絲(plasmodesmata)於細胞間散佈，加上外來基因必須要能被包含於病毒的顆粒中。換言之，當作載體的病毒的核酸必須要能被複製且此經修飾後的病毒核酸於感染植物細胞後並不引發病徵，另外就是此病毒需有廣泛的寄主。一般而言，基因轉殖的操作乃以 DNA 為主要對象，只有當利用含 DNA 的病毒不能生效時才會考慮使用含 RNA 之病毒，是以當作載體的植物病毒最好是含 DNA 而非含 RNA，然而目前所知含 DNA 的植物病毒只有 caulimo virus 和 gemini virus 兩類。後者廣受研究人員的青睞，因其能感染雙子葉與單子葉植物且寄主範圍廣泛。

## 應用潛能

據葉(2000)的報導，基因改造作物最早乃應用於植物保護方面，包含抗蟲、抗病毒、抗殺草劑、抗真菌、細菌、線蟲與抗逆境，而這些應用勢必會對農藥的使用帶來衝擊，繼而改變作物耕作保護的模式。隨後，基因轉殖技術也被應用於農園藝植物性狀(如耐旱、耐鹽、耐低溫等)與產品品質(如延遲果實的後熟與花瓣的老化、提高維他命 A 的含量等)的改良。由此看來，基因改造作物確有其吸引人的魅力，然而亦有人擔心其會對環境與生態帶來負面的影響，而其食用的安全性亦遭到質疑。本文乃依據英國食品飲料聯盟(Food and Drink Federation (foodfuture))所公佈的資料以及其他文獻報導，針對應用基因改造作物之優勢與潛藏危機分別做一說明如下。

應用基因改造作物對栽培管理與產品品質之優點：

### 一、減少農藥的使用量

利用基因改造作物本身所具有之抗蟲、抗病與省工的特性，通常 1-2 次的農藥施用已可有效的防治害蟲與病害，而非基因改造作物則需多次施用方能遏止害蟲與病害對作物的危害。作物抗殺草劑的特性(如抗嘉磷塞)使得廣效性殺草劑(如嘉磷塞)可於栽種後少次單劑施用，即能取代以往於栽種後多樣選擇性殺草劑的重複施用。Duffy and Ernst (1999) 指出種植基因改造大豆所花費的殺草劑費用大約只佔非基因改造大豆的 70%。

## 二、容易與其他防治方法實施綜合防治

基因改造作物可與生物或藥劑防治互補並用以發揮整合性防治的效果。栽培基因改造作物一方面可當作防治有害生物的主要方法，另一方面亦可與低毒、選擇性、生物性農藥配合使用，或與寄生性或捕食性天敵綜合使用，不會毒殺天敵，對主要有害生物或次要有害生物天敵的保存有很大的貢獻，間接地對有害生物棲群變化具穩定的作用。抗性品種的栽培應被視為有害生物綜合防治法(Integrated Pest Management, IPM)中最基本，也是優先的考量，除了可利用作物本身的防蟲效果外，還可搭配其他防治法，相容性極佳。抗性品種在現行各種防治方法上，常兼具經濟、有效和效果穩定之優點。抗性品種的栽培，對標的有害生物具有專一性、累積性及長期性之防治效果，對人畜及天敵並無害，亦不會有環境污染的問題。例如抗蟲品種的利用，不會對生物防治產生干擾，並能使害蟲棲群降低，使其易於維持在經濟水平以下，因而減少農藥之施用量(Palaniswamy, 1996)。

## 三、降低地下水的污染

據 Duke (1998) 之報導，目前抗殺草劑之基因改造作物主要為抗嘉磷塞與抗固殺草等兩大類，而嘉磷塞與固殺草均為廣效性的殺草劑，且其施用後於環境的殘留時間比起許多常用的殺草劑相對的為短。種植抗嘉磷塞或抗固殺草之基因改造作物配合嘉磷塞或固殺草之使用可因而減少地下水中的農藥殘留量。

## 四、增加產量

基因改造作物抗蟲、抗病的特性加上雜草的有效防治均可減少作物損失，相對的提高產量。舉例而言，歐洲玉米螟造成全球玉米年產量約 7% 的損失，有些地區的損失甚可高達 20%。僅就歐洲與美國兩地而言，抗蟲玉米(Bt Maize) 的成功應用將可使玉米產量增加 700 1,000 萬噸，這相當於是 6,000 萬人每年食物的供應量(以卡洛里數來換算)。支持基因科技的人士也預估基因改造大豆及基因改造馬鈴薯的栽植可增加百分之五的產量。美國華盛頓州立大學的 Maurice Ku 與一群日本科學家合作，將主導玉米行使四碳光合作用(C4 photosynthesis) 的基因由玉米取出後，植入稻米中以提高其光合作用的效能，結果可使稻米產量增加 35% (Philipon, 2000)。此外，Persley and Siedow (1999) 認為基因改造大豆和玉米是農業增產科技的一環，因其可降低生產成本。

## 五、提供新的防治方法

基因改造作物的應用，為化學藥劑無法防治的危害提供了新的解決方案。例如線蟲的防治藥劑(如溴化甲烷)對環境會產生毒害，若能在作物體內植入一抗線蟲基因，致使線蟲在尚未達到生育年齡即死亡，便可

有效地防治線蟲危害，同時減低農藥對環境的污染。葉(2000)亦提及線蟲蟲口的抑制可藉由轉殖青春激素或蛻皮素基因，並配合可以在根部表現的啟動子來達成干擾其生活史，達到防治線蟲的目的。

## 六、容易管理

在某些國家如蘇俄及烏克蘭，肥沃的土壤導致雜草的防治極為不易，抗殺草劑作物之應用不失為有效防治雜草的另類選擇。廣效性殺草劑的使用時機因抗殺草劑作物之誕生而變得更有彈性。如分佈於美國中西部的多年生雜草，如夾竹桃科羅布麻屬的一種植物 *Apocynum cannabinum*，在種植抗嘉磷塞玉米和大豆後就受到了更好的防治(Owen, 2000)。

## 七、節約能源及人力成本

藉由抗殺草劑及抗蟲作物的栽培而減少農藥的施用量，可連帶節省製造與運輸農藥所耗費的能源，人力也因噴藥次數的減少而能降低工資成本。另一方面，有效率的農產加工處理亦可節約成本，例如美國所種的基因改造番茄因不易腐爛而能耐運輸保存，也能減少因加工處理所導致的耗損。此外，目前科學家仍在積極研發易於磨粉的基因改造小麥，將可節省磨粉所需之能源。

## 八、減少整地與土壤沖蝕

當種植傳統的非基因改造作物(如大豆)時，雜草通常在播種前需全數清除，而使用抗殺草劑(如抗嘉磷塞)的作物則不需如此，這將使此類具抗殺草劑特性的作物更容易被納入不整地或最少整地系統(zero or minimum tillage systems)中(Marshall, 1998)。此外，終年覆有植被的田土不但可保溼，減低土壤因雨水或強風所導致的表土流失，也有助於土壤微生動、植物相(micro-fauna and flora)的保存。

## 九、對植入基因能有較多的掌控

支持基因改造作物的人士宣稱，利用基因工程技術能針對事先篩選過的單一或是少數基因來進行轉殖，比起傳統的育種方法會同時獲得想要的與不想要的基因，顯然較具優勢(Nielson et al., 2001)。

## 十、提供新的工業原料

Grima-Pettenati 及 Goffer (1999)指出藉由基因改造植物來生產的基因改造木質素(genetically modified lignins)，比起目前所供應的紙漿和造紙工業用的傳統原料而言，可能佔有重大的優勢。

## 十一、改良產品品質及增進人體健康

由瑞士科學家植入 3 種基因而成的富含胡蘿蔔素之基因改造稻米黃金米(golden rice)，可增進稻米的營養成份，改善人類健康，這對全世界約 2 億 5,000 萬名維生素 A 攝取不足的兒童而言，將可有效改善其

視力問題(如夜盲症)與相關疾病(林, 2000)。這群瑞士科學家也研究出另外一種經過基因改造而使鐵質增加的稻米。英國蓋氏醫院(Guy's Hospital, London, UK)的工作人員發現一種蛋白質能有效地抑制引發蛀牙的有害細菌(如 *Streptococcus mutans*) 於牙齒上滋生, 因而減少蛀牙的發生率。該醫院目前與英國的國際園藝研究機構(Horticultural Research International, UK) 合作, 打算將能主導這種防蛀牙蛋白質合成的基因植入蘋果和草莓中, 如此一來, 只要經由嚼食此類基因改造蘋果或草莓便能達到減少蛀牙的目的(Chaffey and Stokes, 2001)。潘(2000)言及下一階段的基因改造方向乃是朝多種性狀同時改良的目標來努力, 例如研發同時可以抗蟲及抗殺草劑之玉米, 或是同時富含維生素 A 及 B 之甘藷, 使作物具有更高的附加價值。Owen(2000)也提及基因轉殖科技應用於作物所可能帶來的最大好處是藉由作物(如稻米、大豆、玉米等)營養價值的改良來解決全球營養不良的問題。

## 潛在問題

使用基因改造作物的潛藏危機：

### 一、原有生態系的失衡

生態系發展愈久, 動植物種類及數量愈多, 彼此間之相互關係的複雜程度愈大, 則穩定性愈大。農業生態系是累經人類栽培操作而形成較單純的生態系, 故穩定程度較低。農業生態系中, 主要有害生物和次要有害生物之數量比例, 往往十分懸殊, 但如果大量栽培基因改造作物可能造成主要有害生物消失, 則次要有害生物可能崛起補償此一生態空缺(niche), 但若對次要有害生物無有效防治技術與對策, 可能會造成有害生物的猖獗(outbreak) (王和吳, 2000)。

### 二、對植物、昆蟲、鳥類以及土壤生物造成傷害

使用基因改造作物如抗嘉磷塞大豆, 雖可減少農藥的總使用量, 然而該種非選擇性殺草劑的使用量卻會因配套使用而增加, 這將有可能因而殺死更多的植物、昆蟲、鳥類以及土壤生物。Schuler et al.(1999)提及抗蟲基因改造作物有可能直接或間接的影響節肢動物類天敵(arthropod natural enemies) 的生存適應性(fitness) 及行為(behavior)等。

### 三、對土壤的影響

少樣廣效性殺草劑的大量使用以及使用含有 cry 殺蟲基因的改造作物, 均可能對土壤昆蟲、真菌以及微生物造成衝擊, 進而影響作物殘留物的分解代謝。其利弊則有待進一步的評估。

#### 四、基因的移轉(Genes Escape)

基因改造作物倍受爭議的其中一點就是植入的外來基因可能會由一作物移轉到其他植物體內。例如有人會問抗殺草劑基因有否可能經由含此基因的作物移轉到田野間的雜草體內，而產生殺草劑殺不死的超級雜草(super weeds)呢？其可能與不可能乃取決於附近是否有與此基因改造作物類源近似的雜草存在。此外，農民原本就不會對田野的雜草進行噴藥防治，抗殺草劑的性狀是否會轉移至田野雜草中對農夫而言並不具備任何意義，然而一旦在有需要防治的地區繁生此類超級雜草時，就必須尋找另一類具防治效果的殺草劑或用其他的防治方法，增加了防治工作的困難度。除了抗殺草劑基因有可能在近源植物間移轉外，其他如抗蟲、抗病基因也能在近源植物間移轉，這種近源植物間基因移轉所可能帶來的影響仍有待進一步的評估。

另一方面，基因移轉也可發生於基因改造作物與非基因改造作物之間(只要其彼此間能發生雜交)，這對歐洲某些國家(如英國)的有機農民可能造成衝擊，因為取得有機認證的必要條件之一就是要確定作物中不能含有任何人工植入的外來基因(GM genes)。Kuvshinov 等人(2001)提出一個可有效避免基因改造作物中外來基因移轉的方法稱為“可恢復式功能阻斷法(recoverable block of function, RBF)”，他們於所欲植入的外來基因序列前面添加了一個恢復序列(recovering sequence)和一個阻斷序列(blocking sequence)，而當轉殖時實際植入作物體內的基因便包含了阻斷、恢復與外來基因等三段序列。阻斷序列能阻斷作物的某項生理機能，導致作物死亡或改變該作物的表現型(phenotype)使其喪失有性繁殖的能力。恢復序列則能使被阻斷的生理機能恢復正常。恢復序列的功能需藉由外力(如化學或物理的刺激)來啟動，在自然狀態下並不會被啟動。故此在自然狀態下，基因改造作物和其類源植物的雜交後代，只要帶有阻斷序列便會死亡或無法繁殖，因由此法所育成的基因改造作物，其必需在化學或物理刺激的外力調控下，才能存活繁衍。

#### 五、抗藥性的產生

由過去的經驗可知，同一種農藥在同一塊田地的連續性作物上施用的次數越多，所持續的選汰壓力也就愈大，進而導致抗藥性昆蟲與雜草生成之機率就越高。如抗蟲作物的栽植也極可能導致抗蘇力菌之昆蟲(Bt-tolerant insects)的形成；同樣的道理，抗殺草劑作物的栽植管理正好符合上述之狀況，極可能引發具抗藥性之雜草。以抗蟲作物為例，作物抗蟲現象包括迴避(avoidance)、抵抗(resistance)及免疫(immunity)等3種，抵抗的抗蟲機制(resistance mechanism)可表現於抗生作用(antibiosis)、無偏好(nonpreference)及容忍(tolerance)。

抗生作用是寄主植物含有對害蟲生存、發育及繁殖具有阻礙因子者，是最有效的抗蟲現象。其最大優點是可顯著地降低害蟲棲群密度，使作物免遭受嚴重的危害。但其最大缺點則是較容易產生害蟲的「生物小種 (biotypes, races, strains)」，而使原抗蟲作物失去栽培的經濟效益。

每一種害蟲的自然棲群，本來就包含有多種生物小種，可抵抗抗蟲作物的生物小種體內存在有抗藥性基因，雖然此種生物小種所佔的比率很低，但當受到大面積栽培抗蟲作物的選汰壓力時，此少數能存活者，獲得自交的機會，遂逐漸形成一個佔優勢的生物小種或生理小種 (physiological race)，取代原有在棲群中佔有很高比例的感受性小種，適應於抗蟲作物並造成危害，而使作物抗蟲作用消失。尤其是在一個隔離的地區，栽植同一抗蟲作物，而其抗蟲機制又是屬於抗生作用者，棲群中感受性個體被殺死，剩下較具抗藥性的個體，他們後代的抗藥性基因頻率逐漸增高。而昆蟲抗藥性產生的速度與程度，視選汰壓力大與否，兩者成正比(王和吳，2000)。

以往避免昆蟲或雜草抗藥性形成的策略乃是避免重複施用同一種農藥，對基因改造作物而言，這也是一個因應之策略，因此可研發另類的抗蟲或抗殺草劑基因改造作物，以取代或輪作方式避免該問題的產生或惡化。另外一種防患抗藥性昆蟲形成的方法乃是在基因改造作物田附近預留一保護區(non-GM refuges)，區內則種植非基因改造作物，抗藥性昆蟲會在基因改造作物田間產生，但不會在保護區內產生，抗藥性昆蟲與非抗藥性昆蟲間之交配可減緩抗蘇力菌殺蟲基因(Bt resistance genes)之散播。在美國，此法目前已普遍地應於蘇力菌抗蟲玉米(Bt maize)與蘇力菌抗蟲棉花(Bt cotton)的栽植上，似乎頗具成效，但其長期之有效性仍有待後續的觀察。

## 六、新病毒的產生

病毒病害的防治極為不易。據葉(2000)所言，“植物病毒一旦發生，無藥可治，若無天然植物的抗病基因，即無法利用傳統育種方法來產生抗病植物。”是以病毒對植物的存亡具有重大的影響力。病毒在自然環境下能發生基因重組而產生新病毒，進而引發新的病害或轉而為害人體。基因改造作物的應用亦將可能促成一些新病毒的形成。

## 七、抵抗抗生素病菌的產生

Chiter 等人(2000)指出來自基因改造作物的抵抗抗生素基因(antibiotic resistance genes)，有可能會經由基因重組的過程，而自基因改造食品中移轉給人類或動物腸道中的微生物，因而導致抵抗抗生素病菌的產生。而這也是基因改造作物或食品安全性評估時不容忽視的一個課題。

## 八、生物多樣性的喪失

人類與大自然的互動導致生物多樣性的遞減，已引起世人普遍的關注，而基因改造作物的應用是否會加速生物多樣性的喪失呢？認為會的人士，宣稱廣效性殺草劑的使用能同時殺死種類繁多的植物，此將導致物種的流失。而支持使用基因改造作物的一方則引用抗殺草劑甜菜 (herbicide-tolerant sugar beet) 的例子辯稱使用基因改造作物反而有益於生物多樣性的維護，其所抱持的理由是栽種抗殺草劑甜菜可以讓雜草在田間長的較大後才進行噴藥防治，此舉可讓昆蟲有更大的生存機會，而即使在噴藥之後，因較大體積的雜草殘留能成為一個很好的土壤覆蓋物，為昆蟲提供一個優良的生存環境。此覆蓋物同時也具有增進土壤水分保存與減少土壤沖蝕的功能。

## 九、市場的流失

Chaffey 和 Stokes (2001) 提到作物本身雖不會移動，但以其為原料的食品卻可銷往各地，這也引起許多人對基因改造作物的擔心。自然雜誌於西元 2000 年曾報導星連玉米 (StarLink Corn)，一種未被允許可供人類食用的基因改造玉米，已流入日本的食物銷售網 (Cyranski, 2000)。星連玉米在美國雖可當成飼料玉米來使用，但在日本則仍不許供人類食用，主要是因為它含有一種叫 Cry9C 的殺蟲毒蛋白，而這種毒蛋白在食用後，被認為會引起過敏反應。Owen (2000) 指出，就基因改造大豆及玉米而言，其潛藏的最大危機或許是消費者的疑慮，造成穀物於市場的銷售不佳。過去美國所出口的玉米約有 1/3 是銷往日本，而歐聯則購買了約 40% 的美國出口大豆，這些地區廣大消費者對基因改造玉米或大豆食用安全性的疑慮，將對美國日後的出口構成極大的威脅。

## 結論

面對全球不斷增長的人口，如何在增加糧食產量的同時兼顧到生態環境的維護是現代化農業所面臨的一項重大挑戰。基因改造作物的應用無疑地帶給農民一項新的、另類的選擇，然而截至目前為止，支持者與反對者的意見仍是針鋒相對，無一定論。基因改造作物應用於糧食作物的增產已被某些學者稱為第二次的綠色革命 (潘, 2000)。但另一方面，許多人質疑由基因改造作物為原料所生產之食品的安全性，爭議點常圍繞在累積於基因改造作物體內的一些新的代謝產物或許會成為人體的毒素、過敏源和遺傳禍害。據紐西蘭科學家 Conner 及 Jacobs (1999) 之看法，這些潛藏危機可能是來自植入基因的產物表現 (the expression products of the inserted genes)、轉殖基因表現的次級影響

(secondary or pleiotropic effects of transgene expression) 和植入基因於轉殖過程中所引發的隨機突變(random insertional mutagenic effects resulting from transgene integration into plant genomes) 。然而當傳統的植物育種以相同的尺度來衡量時，這些潛藏的危機亦都存在。換言之，利用基因遺傳工程技術所生成之基因改造作物對食品安全性所能產生的影響並無異於以傳統育種方法所育成之新品種作物。但這並不代表基因改造作物在食用上的絕對安全性，正如以傳統育種方法所育成之新品種作物亦有可能不適用於食用一般。是以在下任何定論前，實需投入更深、更廣的研究評估工作。

當前基因改造作物的風險評估(risk assessment) 是正進行中，然多侷限於研究室或是小規模的田間試驗，未來大規模的評估研究實無法避免(Hails, 2000)。總之，建立一個高效率的農業生產系統，並能將此系統對生態環境的衝擊減至最小，實為所有農業相關人員所應共同努力的目標。我國目前尚未允許任何基因改造作物的商業種植，但若將來要開放種植，科學證據進行生物風險評估是勢必先行的。加入世界貿易組織(World Trade Organization, 簡稱 WTO) 後，我國會更自由地進口大宗雜糧穀物(如玉米、大豆等)，而主要出口國栽培了大量的該類基因改造雜糧，加上我國亦可能需要出口本國育成之該類非基因改造種子或糧食，為此本所刻致力於建立及發展基因改造農作物的檢驗方法，配合法規管制提供科學驗證，以維護生態環境之生物安全性、生物多樣性並使農業能永續經營。

## 參考文獻

- 1.王清澄、吳文哲主編。2000。應用昆蟲學。國立臺灣大學昆蟲學系。臺北。401頁。
- 2.林家榮。2000。重要國際農情資訊。農政與農情 二月份：79-86頁。
- 3.林郎昂、闕麗麗、施養志。2000。以 PCR 方法檢測基因改造大豆及玉米。基因改造食品之貿易管理、檢驗與標示問題研討會論文集 87-101 頁，中國農業化學會。
- 4.葉錫東。2000。基因工程作物在植物保護之應用。科學發展月刊 28：257-266。
- 5.潘子明。2000。基因改造食品檢驗方法綜論。基因改造食品之貿易管理、檢驗與標示問題研討會論文集 27-85 頁，中國農業化學會。
- 6.詹明才。2001。基因改造食品之晶片檢驗。基因改造食品之檢驗與管理研討會論文集 25-40 頁，中國農業化學會。
- 7.蘇志志。2001。國際基因改造食品標示制度的發展趨勢。基因改造食品之檢驗與管理研討會論文集 1-19 頁，中國農業化學會。
- 8.Bonetta, L. 2001. GM crops under new US scrutiny. *Current Biology* 11: R201.
- 9.Chaffey, N., and Stokes, T. 2001. Munching your way to healthier teeth. *TRENDS in Plant Science* 16: 11.
- 10.Chiter, A., Forbes, J. M., and Blair, G. E. 2000. DNA stability in plant tissues:

- implications for the possible transfer of genes from genetically modified food. FEBS Letters 481: 164 -168.
11. Conner, A. J., and Jacobs, J. M. E. 1999. Genetic engineering of crops as potential source of genetic hazard in the human diet. Mutation Research 443: 223-234.
  12. Cyranoski, D. 2000. Japan's GM corn will undergo tests. Nature 408: 126.
  13. Duke, S. O. 1998. Herbicide resistant crops -their influence on weed science. Journal of Weed Science and Technology (Zassho-Kenkyu, Japan) 43: 94-100.
  14. Duffy, M., and Ernst, M. 1999. Does planting GMO seed boost farmers' profits? Leopold Letter 11(3): 1-5.
  15. Grimer-Pettenati, J., and Goffner, D. 1999. Lignin genetic engineering revisited. Plant Science 145: 51-65.
  16. Hails, R. S. 2000. Genetically modified plants -the debate continues. Tree 15: 14-18.
  17. Kuvshinov, V., Koivu, K., Kanerva, A., and Pehu, E. 2001. Molecular control of transgene escape from genetically modified plants. Plant Science 160: 517-522.
  18. Marshall, G. 1998. Herbicide tolerant crops -real farmer opportunity or potential environmental problem? Pesticide Science 52: 394 -402.
  19. Nielson, C. P., Robinson, S., and Thierfelder, K. 2001. Genetic engineering and trade: panacea or dilemma for developing countries. World Development 29: 1307-1324.
  20. Owen, M. D. K. 2000. Current use of transgenic herbicide -resistant soybean and corn in the USA. Crop Protection 19: 765-771.
  21. Palaniswamy, P. 1996. Host plant resistance to insect pests on cruciferous crops-with special reference to flea beetles feeding on canola. Acta Horticulturae 407: 469-481.
  22. Persley, G. J., and Siedow, J. N. 1999. Applications of biotechnology to crops: benefits and risks. Council for Agricultural Science and Technology Issue Paper 12: 1-8.
  23. Philippon, P. 2000. And now Super Rice? Biofutur 2000 (200): 13.
  24. Schuler, T. H., Poppy, G. M., Kerry, B. R., and Denholm, I. 1999. Potential side effects of insect-resistant transgenic plants on arthropod natural enemies. TIBTECH 17: 210-216.