

## GM 作物的現況與前景 - 以創新技術增加 GM 作物安全性

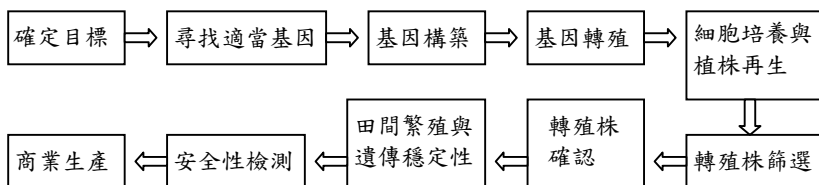
劉麗飛 教授  
張孟基 助理教授

國立台灣大學農藝學系

## 摘要

凡是利用分子生物與基因轉殖技術對作物在基因層次上進行修改或重組，以達到某種特定目標，例如增加耐逆境的能力，或生產特殊產物等，都可稱為基因改造作物，或稱為 GM 作物（Genetically Modified Crops）。1984 年首次成功地得到轉基因菸草，1995 年通過第一個商品化的 GM 作物 - 延遲成熟的蕃茄，受到廣泛注意，其後的發展可謂日進月進，育出各種抗蟲玉米、棉花，抗除草劑大豆、油菜等，並正式進入田間生產。

GM 作物的研發，必須經過以下的流程，並具有一些特殊性：



1. GM 作物的研發比傳統育種費時：研發流程中前半段由尋找基因到轉殖株確認等需要在實驗室進行分子生物技術工作，其後則需要與傳統育種技術結合，將轉殖株移入田間進行繁殖、篩選具優良農藝性狀的品系、確認遺傳穩定性等工作，都非常繁重耗時。除此，還要完成各項安全性檢測，確認對人、畜健康、生態環境無害，才能進行商業生產，這個部分則是傳統

育種所沒有的，因此，基因轉殖技術並不能縮短育種時間，相反的，還可能需要更長時間。

- 2. GM 作物的研發受到嚴苛的管控：**由於基因的取得不受物種限制，各種來源的基因經過修改重組後，是否會創造出不利的新性狀，一直是大家關心的焦點。根據 GM 作物研發的歷程，到目前大致可分為三階段，早期第一代的 GM 作物主要針對抗蟲、抗病、耐除草劑、耐環境逆境等性狀，第二代主要針對質與量之提昇，例如：延緩後熟、提昇營養成分、改變氣味及顏色等。近年來更有第三代醫療用或工業用 GM 作物之研發，例如：抗過敏、降血壓、產生抗體、胰島素、口服疫苗等之製造，已經超出作物本身性狀的改良，其產物並可能有較高的危險性或不確定性，因此在安全性檢測上，需要更嚴苛的管控。
- 3. GM 作物的研發有很大的改進空間：**反對者擔心 GM 作物會造成糧食生產的不穩定、破壞生態平衡及生物多樣性等，這些疑慮促使研發觀念與技術的不斷改進，例如尋找更安全無毒性的基因、避免使用或切除篩選基因、簡化轉殖方法並提高轉殖效率、專一有效調控基因表現位置與時間、在配子體及種子階段切除轉目標基因以免基因流動、改進 GM 作物定性與定量檢測技術等，這些改進將可更增加 GM 作物的安全性。

目前 GM 作物每年栽培面積迅速增加，2003 年已達到 6 千 7 百餘萬公頃，約佔此四種作物全球栽培面積 22%。GM 作物之種植國家：目前涵蓋了 18 個國家，將近 700 萬農民，主要種植國家及面積依次為美國 (4280 萬公頃，佔全球種植面積 63%)、阿根廷 1390 萬公頃 (21%)、加拿大 440 萬公頃 (6%)、巴西 300 萬公頃 (4%)、中國 280 萬公頃 (4%) 和南非 40 萬公頃 (1%)，在這些主要種植國家中，又以中國及南非每年 33% 之成長率最為可觀。基因轉殖作物之種植主要在四個作物，分別為轉基因大豆 4140 萬公頃 (佔全球轉基因作物種植面積之 61%)、轉基因玉米 1550 萬公頃 (23%)、轉基因棉花 720 萬公頃 (11%) 以及轉基因油菜 360 萬公頃 (5%)。

展望未來，GM 作物的開發與利用是無法避免的趨勢，其種類與生產量仍將持續快速增加，根據農業生物技術探索服務公司 (The International

Service for the Acquisition of Agri-Biotech Application, ISAAA ; <http://www.isaaa.org> ) 之預測，在未來五年內，全球基因改造作物栽培總面積將超過 1 億公頃，生產國家則高達 25 國，農業人口之參與總數將近 1 千萬人，其全球生技穀物市場之產值亦將高達 5 億美元，此趨勢不論在開發中及已開發國家均在繼續增長中，預期對農業生產、整個生態體系、經濟、社會、環境及人類生活等，都將造成重大衝擊。

## 正文

### 一、前言

凡是利用分子生物與基因轉殖技術對作物在基因層次上進行修改或重組，以達到某種特定目標，例如增加耐逆境的能力，或生產特殊產物等，都可稱為基因改造作物，或稱為 GM 作物 (Genetically Modified Crops)。1984 年首次成功地得到轉基因菸草，1995 年通過第一個商品化的 GM 作物 - 延遲成熟的蕃茄，受到廣泛注意，其後的發展可謂日進月進，育出各種抗蟲玉米、棉花，抗除草劑大豆、油菜等，並正式進入田間生產，每年栽培面積迅速增加，2003 年已達到 6 千 7 百餘萬公頃，約佔此四種作物全球栽培面積 22%。展望未來，GM 作物的開發與利用是無法避免的趨勢，其種類與生產量仍將持續快速增加，根據農業生物技術探索服務公司(The International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Application, ISAAA ; <http://www.isaaa.org>) 之預測<sup>[1]</sup>，在未來五年內，全球基因改造作物栽培總面積將超過 1 億公頃，生產國家則高達 25 國，農業人口之參與總數將近 1 千萬人，其全球生技穀物市場之產值亦將高達 5 億美元，此趨勢不論在開發中及已開發國家均尚在繼續增長中。

根據 GM 作物研發的歷程，到目前大致可分為三階段，早期第一代的 GM 作物主要針對抗蟲、抗病、耐除草劑、耐環境逆境等性狀，第二代主要針對質與量之提昇，例如：延緩後熟、提昇營養成分、改變氣味及顏色等。

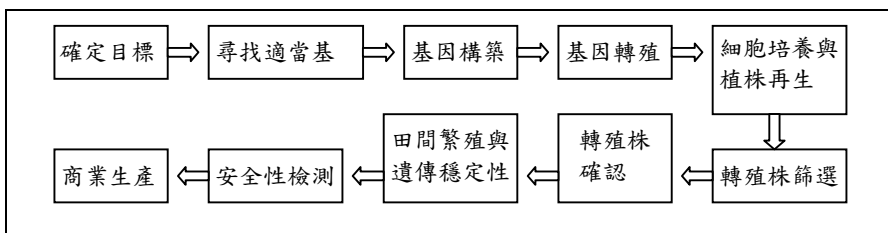
近年來更有第三代醫療用或工業用 GM 作物之研發，例如：抗過敏、降血壓、產生抗體、胰島素、口服疫苗等之製造，已經超出作物本身性狀的改良，其產物並可能有較高的危險性或不確定性。此種發展預期對農業生產、整個生態體系、經濟、社會、環境及人類生活等，都將造成重大衝擊，也引發相當多的爭議，支持者認為 GM 作物可以突破傳統育種方法的限制，成為農業增產的新契機，可以因應未來人口快速增加的糧食需求問題。反對者則質疑 GM 作物會造成糧食生產的不穩定、破壞生態平衡及生物多樣性。事實上，任何一件事情都有正反二面的影響，必須在研發與應用的過程當中，儘量考慮周延，充分發揮其優點，而將不利的作用減到最少。GM 作物由研發到應用，牽涉的層面極廣，經由各個角度深入的探討，確實有很多改進的空間，可以使 GM 作物更好，請大家一起努力。

## 二、GM 作物的研發

由於任何一個性狀，包括形態，生理等，都是分別由基因所控制，傳統的作物育種是利用選種、誘變、種內或近緣種間雜交等方法，基本上變異的來源限於種內基因，而 GM 作物的研發，則是直接針對基因進行改造，其基因的來源沒有物種間的限制，可以利用不同種植物、甚至微生物或動物的基因，經過改造後，再轉殖到植物中，因此使不同物種的基因互相轉移。其研發過程扼要示於圖一，主要包括以下重點：

- 1. 找基因：**針對擬改良的性狀，尋找適合基因，了解基因的結構與演化，找到在染色體上的定位，並了解基因表現的調控。
- 2. 重新建構基因：**改造基因序列或結構，加強其表現，並且建構不同的啓動子，以調控基因表現，例如利用組織專一啓動子，使其只在葉部，根部或花器內表現，或者利用可調控啓動子，使基因在高溫，低溫，缺水，照光，受傷等情況下表現等。
- 3. 進一步將基因送入植物體內：**目前使用粒子槍法或農桿菌法。

4. **確認轉殖植物**：以分子生物學技術進行各項篩選與檢測。
5. **田間試驗**：轉殖作物的後代必須進行田間栽培試驗，觀察在自然環境下的生長表現。
6. **測試與評估**：產品必須通過各項測試與評估，才可以釋放給農民，進行栽培生產。



圖一、GM 作物研發流程。

在 GM 作物的研發過程中涉及許多分子生物技術、組織培養技術、田間栽培管理等，而且具有以下特殊性：

1. **GM 作物的研發比傳統育種費時**：很多人會誤認為基因轉殖技術可以縮短育種時間，其實研發流程中前半段需要在實驗室進行基因構築、基因轉殖、細胞培養與植株再生、轉殖株確認等分子生物技術工作，其後則需要與傳統育種技術結合，將轉殖株移入田間進行繁殖、篩選具優良農藝性狀的品系、確認遺傳穩定性等工作，不僅繁重，並且可能耗時數年。除此，還要完成各項安全性檢測，確認對人、畜健康、生態環境無害，才能進行商業生產，這個部分則是傳統育種所沒有的，因此，基因轉殖技術並不能縮短育種時間，相反的，還可能需要更長時間。
2. **GM 作物的研發需要受到比傳統育種更嚴苛的管控**：由於基因的取得不受物種限制，各種來源的基因經過修改重組，又隨機插入植物染色體組內，

是否會創造出不利的新性狀，一直是大家關心的焦點。而且第三代醫療用或工業用 GM 作物之研發，更已經超出作物本身性狀的改良，其產物並可能有較高的危險性或不確定性，因此在安全性檢測上，需要更嚴苛的管控。同時因為環境保育者、消費者等的疑慮，要求 GM 作物產品標示，更增加了管理上的複雜性。

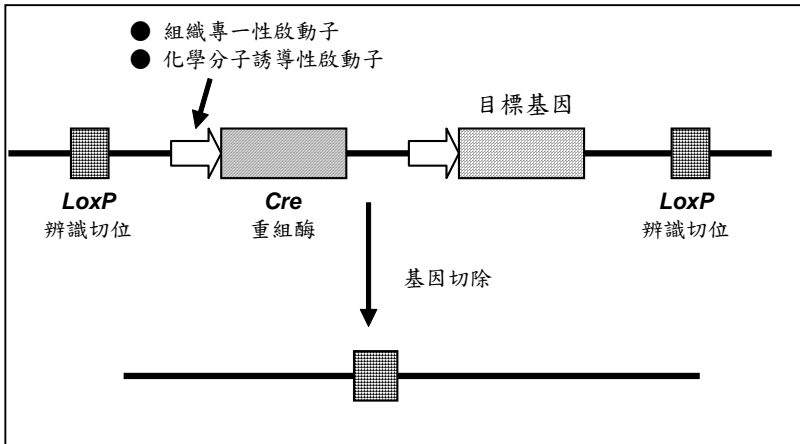
- 3. GM 作物研發涉及許多智慧財產：**其中各項技術都有專利保護，雖然不致影響學術研究，可是一旦進入商業生產時，就會受到專利的牽制，而大部分的專利都掌控在少數私人公司，造成嚴重的壟斷，使 GM 作物更趨向商業化，只有少數人得利。
- 4. GM 作物研發技術不斷創新：**由於觀念與技術的不斷進步，GM 作物的研發流程中許多項目仍有很大的改進空間，不斷有創新的技術，而且大家對於 GM 作物的疑慮，例如是否會發生轉基因流動（gene flow）？是否影響人、畜健康？是否影響生態平衡？等問題，都可以藉由技術層面的改進而得以解決，再則這些問題若能得以解決後，自然可大量簡化後續的安全檢測工作，使 GM 作物的研發更有效率，因此 GM 作物的研發技術是非常值得探討的。由於研發項目繁多，為了方便大家了解，以下謹列表扼要說明研發技術目前狀況與未來可能的發展（表一）。

表一、GM 作物研發技術現有狀況與未來改進可能的發展

工作項目	現有狀況	未來改進方向
細胞與組織培養	目前所用的基因轉殖方法中，大都須用到組織或細胞培養、篩選、及再生等步驟，	1.開發易於取得、轉殖及再生效率高的材料 2.縮短試管內篩選與組織培養的時間。 3.須避免體細胞變異。
基因轉殖方法	1.主要使用粒子槍法及農桿法。 2.針對核染色體基因轉殖。	1.簡化農桿菌法，縮短時間、提高轉殖效率。 2.研發新的轉殖方法，例如利用生殖細胞的管道進行轉殖。 3.研發葉綠體基因轉殖技術。

轉基因之作用	<ol style="list-style-type: none"> <li>改善作物對環境的耐性：例如抗病、抗蟲、抗不良環境等。抗蟲以毒蛋白基因為主。</li> <li>改善作物的質與量：例如延緩後熟、提昇營養成分、改變氣味及顏色等。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>尋找無毒性、更安全的基因。</li> <li>生產醫療用成分：例如抗過敏、降血壓、胰島素、抗體、口服疫苗等。</li> </ol>
轉基因之構築	<p>以質體為載體，一般構築含有二類基因，</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>目標基因： <ol style="list-style-type: none"> <li>增強基因表現：一般採用正向構築，利用強啟動子驅動基因表現。</li> <li>抑制基因表現：將基因以反向構築，產生反義 RNA，或利用 RNAi 技術抑制基因表現。</li> </ol> </li> <li>篩選基因，正向構築，主要為抗抗生素基因 (<i>npII</i>, <i>hpt</i>, <i>aadA</i> 等) 和抗除草劑基因 (<i>bar</i>, <i>epsps</i> 等)。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>避免使用篩選基因： 即 Marker-free 轉殖植物，不經過抗生素篩選，但可以用 PCR 方法直接確認轉殖株。</li> <li>包含可將目標基因切除的機制： 例如 <i>Cre/LoxP</i> 系統(圖二)</li> </ol>
轉基因表現之調控	<ol style="list-style-type: none"> <li>主要利用強表現或持續表現的啟動子，例如 <i>CaMV 35S</i>、<i>actin</i>、<i>ubiquitin</i> 等，持續驅動基因強表現。</li> <li>發現基因靜默現象。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>專一有效調控基因表現：例如採用可誘導式啟動子、發育時期專一性或組織專一性啟動子，分別控制基因在特定的狀況、不同發育時期或不同器官內表現。</li> <li>在構築中加入促進子、隱子等提高基因表現</li> <li>了解基因靜默原因，適當控制。</li> </ol>
轉基因數目與 DNA 長度	<p>早期的基因轉殖只是單一基因性狀修飾，一個質體只有一個目標基因，基因長度多在 10 Kb 以內。</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>研發多基因轉殖，有二種策略： 將擬轉殖的基因構築在同一個載體上，作一次轉殖，或將擬轉殖的基因分別構築在不同載體上，作多次轉殖。</li> <li>研發長片段基因轉殖。</li> </ol>
轉基因拷貝數	<ol style="list-style-type: none"> <li>粒子槍法：轉基因拷貝數多，遺傳行為複雜，後代不易得到穩定的同型結合個體。</li> <li>農桿菌法：較易得到低拷貝轉基因。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>能控制轉基因只有一或二個拷貝。</li> </ol>
轉基因插入位置	<p>轉基因隨機插入染色體內，可能會破壞到重要基因，造成轉基因植株生長異常，甚至不稔。</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>能選擇轉基因的插入位置。 例如利用同源序列重組技術 (homologous recombination) 來控制轉基因的插入位置。</li> </ol>
預防轉基因流動	<p>無特殊設計。</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>利用葉綠體基因轉殖。</li> <li>在配子體及種子階段切除轉基因(圖二)。</li> <li>限制花粉稔性。</li> <li>限制種子發芽。</li> </ol>
GM 作物檢測	<ol style="list-style-type: none"> <li>針對單一 GM 作物進行 PCR 檢測。</li> <li>針對單一 GM 作物進行 ELISA 檢測。</li> <li>針對轉基因本身 DNA 序列或蛋白質產物進行檢測。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>針對多項 GM 作物進行多重 PCR 檢測。</li> <li>以定量 PCR 檢測多項 GM 作物混合樣品。</li> <li>針對轉基因及插入位置的親本 DNA 序列進行檢測，專一確認個別 GM 作物。</li> <li>提高檢測靈敏度，偵測 GM 作物加工產品。</li> </ol>
GM 作物對生態、環境的影響評估	<ol style="list-style-type: none"> <li>在隔離田間或隔離溫室進行檢測。</li> <li>栽培歷史尚短，資訊仍有限。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>建立實用而有效的田間規模的風險評估方法與資訊。</li> <li>更廣泛、全面、長期探討栽培 GM 作物對生態的影響。</li> <li>要針對個案探討。</li> <li>需要加以量化評估。</li> </ol>

在各項技術中，將目標基因切除是非常值得注意的，圖二說明 *Cre/LoxP* 系統的機制<sup>[2]</sup>，如果能準確控制將目標基因切除，則不會發生轉基因流動等問題。



圖二、*Cre/LoxP* 系統切除目標基因的機制。

轉基因構築中加入二段 *LoxP* 序列，並於其中加入 *Cre* 基因與目標基因，*Cre* 為特殊的重組酶，以組織專一性啟動子或化學分子誘導性啟動子驅動其表現，會辨識切位 *LoxP*，重組後即可切除 *Cre* 基因與目標基因。

### 三、GM 作物的生產概況

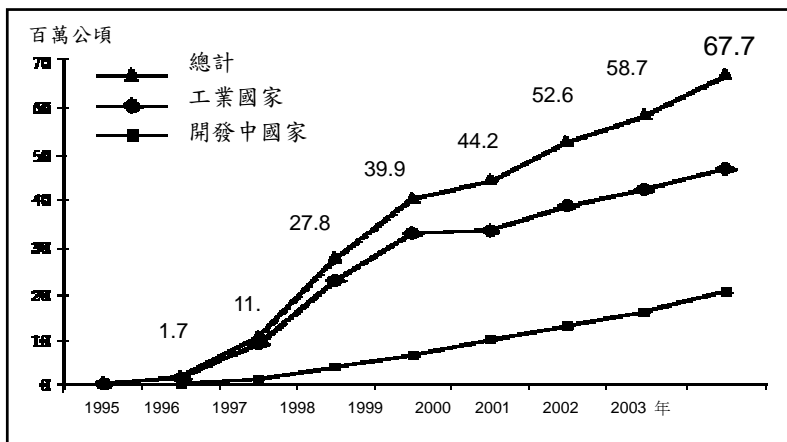
GM 作物的發展非常快速，以下謹就 ISAAA (<http://www.isaaa.org>)，Agbios (<http://www.agbios.com>)<sup>[3]</sup>，及 Derek Burke (2004)<sup>[4]</sup>，George Gaskell (2004)<sup>[5]</sup> 等的報告，摘要說明目前全球基因改造作物之種類、農藝性狀、種植面積、生產國家、產量、消費及面臨的問題等，可有一全盤性的認識及了解。

#### 1. GM 作物種植面積：

1996 年時基因轉殖作物之種植面積僅為 170 萬公頃，但至 2003 年的 8



年間，增加到 6770 萬公頃，全球種植面積增加近 40 倍，尤其是發展中國家幾乎佔了三分之一。而且此 8 年間除了 2002 年基改作物種植面積增長率為 12% 外，其餘均保持每年 15% 之增長率（圖三）。



圖三、GM 作物全球生產面積（1996 - 2003 年）。

## 2. 種植 GM 作物之國家：

目前涵蓋了 18 個國家，將近 700 萬農民，主要種植國家及面積依次為美國（4280 萬公頃，佔全球種植面積 63%）、阿根廷 1390 萬公頃（21%）、加拿大 440 萬公頃（6%）、巴西 300 萬公頃（4%）、中國 280 萬公頃（4%）和南非 40 萬公頃（1%），在這些主要種植國家中，又以中國及南非每年 33% 之成長率最為可觀。值得注意的是，2003 年巴西和菲律賓第一次批准耐抗除草劑大豆及抗蟲玉米的種植。

## 3. GM 作物之種類及農藝性狀：

目前截至 2003 年為止，基因轉殖作物之種植主要在四個作物，分別為轉基因大豆 4140 萬公頃（佔全球轉基因作物種植面積之 61%）、轉基因玉米 1550 萬公頃（23%）、轉基因棉花 720 萬公頃（11%）以及轉基因油菜 360

萬公頃 (5%)。在農藝性狀方面，由 1996 年至 2003 年以來，耐除草劑之特性一直是基改作物之主要訴求，其次是抗蟲性，近年來為訴諸生態環境及基因流動性等之考量，已漸有其他正面篩選 (positive selection) 之標記應用。現今耐除草劑的大豆、玉米、油菜和棉花約佔全球種植總面積 6770 萬公頃之 49.7%，而抗蟲作物則佔 18%，值得注意的是兼具抗蟲與耐除草劑玉米和棉花的面積，有持續增加之趨勢，佔了 8%，反應出多價轉基因作物 (gene stacking 或 gene pyramid) 在未來將日趨重要。此外若就轉基因作物在全球種植面積的比例而言，基改大豆已高達全球大豆生產面積之 55%，轉基因棉花則為 21%，轉基因油菜佔了 16%，而轉基因玉米則為 11%。

#### 4. 未來 GM 作物之新種類：

目前基改作物除了主要的大豆、玉米、油菜、棉花外，依據 AgBios 的資料庫顯示，到 2004 年 7 月為止，已有十餘種作物通過安全檢測，在許多國家申請註冊，並得到栽培許可，例如降低乙烯生成量延長貯架壽命的康乃馨、蕃茄、西瓜、菸草，抗除草劑的小麥、菊苣、亞麻、水稻、甜菜、向日葵，抗病毒的木瓜，抗蟲的馬鈴薯等，所涉及作物與改良性狀之層面相當廣泛 (表二)。預測未來可商品化的 GM 作物種類仍將持續快速增加，改良性狀亦更趨複雜，用於生產醫療產品、或工業產品的 GM 作物也將急速增加，可能會帶來更多的危險，針對這一點，國際間已經引發熱烈的討論，建議應該及早考慮與生產糧食的 GM 作物有適當區隔，亦即避免使用食用作物為轉殖對象。

表二、全球商品化的 GM 作物 (July, 2004)

作物	件數	性 狀	許可生產的國家
大豆	7	抗殺草劑，油品質	阿根廷，巴西，加拿大，日本，墨西哥，南非，美國
玉米	22	抗殺草劑，抗蟲，雄不孕	阿根廷，加拿大，歐聯，日本，南非，美國
油菜	17	抗殺草劑，油品質，雄不孕	加拿大，日本，美國
棉花	7	抗殺草劑，抗蟲	阿根廷，澳洲，中國，印度，日本，墨西哥，南非，美國

菊苣	1	抗殺草劑，雄不孕	歐聯
哈密瓜	1	延遲成熟	美國
木瓜	1	抗病毒	美國
馬鈴薯	4	抗蟲，抗病毒	加拿大，美國
水稻	2	抗殺草劑	美國
小麥	2	抗殺草劑	加拿大
南瓜	2	抗病毒	美國
甜菜	2	抗殺草劑	加拿大，美國
蕃茄	6	延遲成熟，抗蟲	日本，墨西哥，美國
向日葵	1	抗殺草劑	加拿大
菸草	2	抗殺草劑，低尼古丁	美國，歐聯
康乃馨	3	抗殺草劑，花色，開花時間	澳洲，歐聯
亞麻	1	抗殺草劑	加拿大，美國

#### 5. 未來 GM 作物之栽培：

雖然可以商品化的 GM 作物不斷增加，但是不一定會進入真正的栽培生產，因為每種 GM 作物在各地區發展的情形不同，例如在中國與印度方面，因為面臨農耕地短缺、人口增加及糧食需求之壓力，其 Bt 稻米的種植量將大為增加。抗除草劑 GM 小麥的發展則大不相同，最近孟山都公司剛宣佈放棄抗除草劑 GM 小麥之上市<sup>[6]</sup>，主要原因乃在於歐盟的關心及反對；大部分美國農民擔心其所生產之 GM 小麥將無法外銷至反對 GM 作物的國家，而且小麥的雜草問題似乎亦不如大豆來的嚴重，因此未來抗除草劑 GM 小麥之前景並不被看好。

歐盟方面，由於對基因作物之栽種、進口、輸出等仍有爭議，需遵照歐盟之條件採取 case by case 個案及逐步評估之方式予以條件的通過，過程繁瑣嚴苛，而且獲利情形並不樂觀，目前德國拜耳 (Bayer) 公司已決定放棄其公司所有之抗除草劑玉米品種 Chardon LL 在英國及歐盟其他市場之種植行銷，是以在 2008 年前轉基因抗除草劑玉米在歐盟之上市仍是困難重重。

GM 作物種植面積及產量主要集中在作物發展領先的國家，如美國、加

拿大等，預測未來其生產及市場仍將持續擴大，且會進一步提供更多樣化之轉基因作物產品。開發中國家雖然起步較慢，還有少數非洲國家持反對之態度，但整體而言，增加趨勢明顯，進步非常迅速。

#### 四、如何面對 GM 作物的衝擊

GM 作物的發展已經是必然的趨勢，由於他牽涉的範圍非常廣泛，並與每個人的生活都息息相關，因此是目前最受關切的議題，應該如何面對 GM 作物的衝擊？可以由各個角度來討論。

- 1. 研究者繼續再開發技術的改進：**任何一個新技術的開發，都不免帶來一堆問題，GM 作物自然也不例外，在研究者的立場，有疑問正是推展研究新方向的最佳動力，應該歡迎這些問題的挑戰，積極研究解決之道，由表一可知 GM 作物技術還有極多發展空間，針對 GM 作物帶來的許多問題，是可以藉由技術層面得以解決的，不但避免了許多紛爭，減少許多後續繁雜的檢測與管理工作，而且新技術發明後可以受到智財權的保護，其實也是另一種形式的產品。
- 2. 應該更廣泛全面探討栽培 GM 作物的安全性：**一般觀點認為目前 GM 作物種類尚少、栽培歷史尚短、資訊仍屬有限，不能輕易斷言是否安全，亟有待加強研究。(1) 其對農業生態體系的影響，需要有計畫地進行長期與廣泛的觀察。(2) 必須要加以量化評估：例如基因流動、基因匯入其他植物或生物情形、農耕操作的變化、生態改變等，需要有具體確實的數據，才能客觀討論。(3) 需要針對個案探討：不同轉殖目的的 GM 作物，有各自的問題，需要分別探討，而即使是同一類 GM 作物，可能每個個案因為不同基因構築、作物栽培地區、環境、栽培時期長短、其他生物狀況等，而造成不同影響，最好還是針對個案探討。在安全性評估上有一個值得參考的例子，即 Bt 抗蟲作物<sup>[7]</sup>，1995 年康乃爾大學 John Losey 等報告，將沾有 Bt 玉米花粉的雜草葉片餵食帝王蝶幼蟲，導致幼蟲死亡，這個報告引爆了大家對 Bt 抗蟲植物的恐慌。美國政府因而

組成一個研究小組，在安大略地區、明尼蘇達/威斯康辛州、馬利蘭州和愛荷華州自然田間狀態下，分別進行詳細試驗，結果發現不同地區 Bt 玉米花粉分佈季節與帝王蝶幼蟲發育季節重疊機率依次為 62%、40%、20%、15%；如果 1 平方公分葉片上落有 150 粒 Bt 玉米的花粉，對昆蟲還不致於產生傷害，而實際上玉米田附近馬利筋草（帝王蝶幼蟲的寄主）葉片上的花粉粒平均為 6 - 78 粒/平方公分，距離玉米田愈遠，馬利筋草數目愈多，但落在其上的花粉愈少；而且花粉主要落在成熟葉片，但帝王蝶幼蟲主要食用幼葉；此外，風、降雨等氣候變化是影響花粉量的最大因素；因此在田間的實際狀況下，Bt 玉米花粉粒是不會威脅到昆蟲生存的。這個結果充分說明在田間廣泛詳細的觀測、並將證據量化，才能確實了解 GM 作物對環境的影響，未來應該以此為例，審慎探討 GM 作物的安全性。

- 3. 建立迅速、有效之檢測方法：**GM 作物的管理，有賴於快速，便宜且具高敏感度之檢測方法之建立，目前以 DNA 及蛋白質為基礎之檢測方法，雖已大量的使用在 GM 作物田間基因流動之偵測及市場產品之檢驗，但面對更多設計複雜的 GM 作物、日益嚴格之 GM 產品標示、市售 GM 及非 GM 作物之分流產銷等，快速且有效之 GM 偵測方法的開發將是未來的主要趨勢之一。
- 4. 加強消費者對 GM 作物的認識：**一般民眾對傳統育種的作物非常寬容，並未求深入了解而幾乎全盤接受，例如過去 50 餘年來，以化學或輻射誘變所產生的新品種，雖然不知其基因改造變化的情形，消費者仍能坦然接受。但是對 GM 作物，有相當高比例的消費者持反對的態度，然而不論支持、反對或中立者，其實一般民眾並不真正了解 GM 作物，尤其許多技術非常深奧難懂，容易引發誤解，因此亟需要加強科學界與民眾之溝通，以深入淺出的方法，讓消費者獲得正確的資訊。消費者雖然會對 GM 產品訴求“有知的權利”，但常只限於標示的問題，想知道是 GM 產品或非 GM 產品，其實這個更需要進一步包括有關的知識，消費者也應該加油啊！

5. **GM 作物的管理需要政府的積極投入：**各國政府是真正掌管 GM 作物的重心，需要參與政策決定、法規制定、執行管理、甚至國際談判等，政府的態度絕對影響了 GM 作物的發展。以美國為例，政府充分支持 GM 作物的研發、制定管理法規、並指定各相關機構負責，其開放與積極的做法，使美國在 GM 作物的研發上遙遙領先。其他各國政府亦有鑑於 GM 作物的重要性，紛紛積極加強管理，其中最受到矚目的是英國政府，在面臨歐盟持續的反 GM 作物態度中，仍耗資 6 百多萬英鎊，由 1999 年開始連續三年，針對 3 種抗除草劑之 GM 作物：甜菜、玉米及油菜，分別各選擇了 60 多個田間地點，進行了詳細的試驗，比較其與傳統非 GM 作物對生態環境的影響，尤其是雜草控制及田間昆蟲的變化，結果發現抗除草劑玉米對田間雜草、昆蟲分佈多樣性之影響皆較傳統玉米為低，而甜菜及油菜則否。此一結果已於 2004 年 3 月 9 日由英國環境部之秘書長 (Secretary of state for Environment, Food and Rural Affairs) Margaret Beckett 參考審核，而決定開放 GM 玉米之商業化，但 GM 油菜及甜菜則否<sup>[8, 9]</sup>。英國政府這種大規模而且以試驗為依歸的審慎做法，引起很多討論，也影響歐盟對 GM 作物的態度，相當值得我們注意。
6. **調和國際間對 GM 作物的規範與管理政策：**目前各國對 GM 作物的管理上有極大的歧異度，尤其是美國與歐盟之間，所依據的原則完全不同，相當地阻礙了 GM 作物的生產、利用、貿易與管理等，如何調和？正考驗著大家的智慧。理想上，國際間應該盡可能有一致的 GM 作物風險評估方法與管理制度，例如評估的共同目標、評估標準的設定、資料的整合與發表、產品標示原則等，均需要能予以國際統一標準，所幸最近 FAO 已經注意到此問題，並開始承擔此一任務。
7. **國內生技產業的目標：**由於 GM 作物的研發不同於傳統育種，研究者雖然可以創造出理想的新 GM 作物，但是卻無力完成後續將其商品化的繁瑣作業，目前能得以上市的 GM 作物產品，幾乎都依賴大型商業公司的操作，這些公司擁有雄厚的人力與財力，掌控了大多數的專利，並有政府對生技的支持，反觀國內的生技產業環境，則非常缺乏這些優勢，恐怕很難能與之競爭，要如何致勝，甚值得深思。在此我們再一次強調技

術的重要，建議針對需要解決的問題，只要不斷創新技術，以智慧來贏取，把技術改良視為產品，則小公司一樣可以有大作爲，在生技產業中爭得一席之地，發揮小而美的特徵。

## 五、結語

二十世紀中期以後，出現分子生物學，使基因科技突飛猛進，並創造了 GM 作物，對人類的生活與生存環境都有直接且重大的衝擊，我們必須體認其發展是無可避免的趨勢，爲今之計應該是每個人由各個角度來參與 GM 作物的研發、監督、管理與利用等，最重要的是由技術層面精益求精，並確實做好風險評估與管理，以期望未來 GM 作物更安全、更有效率，不僅能解決糧食問題，更能改善環境，永續經營，讓我們在健康安全的环境下，生產健康安全的作物，才能有健康的人生。

## 六、參考資料

1. “Global Status of Commercialized Transgenic Crops, 2003”, ISAAA Briefs No.30-2003 (excutive summary)  
[http://www.isaaa.org/press-release/Briefs30-2003/es\\_b30.pdf](http://www.isaaa.org/press-release/Briefs30-2003/es_b30.pdf)
2. Hare, P.D. and Chua, N.H. (2002) Excision of selectable marker genes from transgenic plants. *Nat. Biotechnol.* 20 : 575-580.
3. GM database. <http://www.agbios.com>
4. George Gaskell. 2004. Science policy and society : the British debate over GM agriculture. *Current opinion in Biotechnology* 15: 241-245.
5. Derek Burke. 2004. GM food and crops : What went wrong in the UK? *EMBO Reports* 5: 432-436.

6. Monsanto pulls the plug on genetically modified wheat. 2004. *Science* 304: 1088.
7. Butterflies and Bt corn – allowing science to guide decisions.  
<http://www.ars.usda.gov/sites/monarch/index.html>
8. Champion GT *et al.*. 2003. Crop management and agronomic context of the Farm Scale Evaluations of genetically modified herbicide-tolerant crops. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 358, 1801–1818.
9. ADVISORY COMMITTEE ON RELEASES TO THE ENVIRONMENT - Advice on the implications of the farm-scale evaluations of genetically modified herbicide tolerant crops. 2004. Also see  
<http://www.defra.gov.uk/environment/gm/regulation/index.htm>