

基因轉殖作物共存模式與隔離距離*

陳烈夫**、丁孟宜**、吳明哲**、吳惠卿***、魏夢麗****、呂秀英****

*行政院農業委員會農業試驗所研究報告第 2290 號

**行政院農業委員會農業試驗所生物技術組助理研究員、約聘助理、組長

***行政院農業委員會農業試驗所農場管理組助理研究員

****行政院農業委員會農業試驗所作物組助理研究員、及研究員

iying@wufeng.tari.gov.tw (通訊作者)

Co-existence Model and Isolation Distance in Genetically Modified

Crops

Lit-Fu Chan, Mon-Yin Din, Min-Tze Wu, Hui-Chin Wu, Meng-Li Wei and
Hsiu-Ying Lu

關鍵詞：基因轉殖作物；隔離距離；基因流佈；共存模式

Key words: Genetically modified crops; Isolation distance; Gene flow;
Co-existence model

通訊地址：台中縣霧峰鄉中正路 189 號 農業試驗所

聯絡電話：04-23302301#125

Email: iying@wufeng.tari.gov.tw (呂秀英)

一、前 言

1983 年首例基因轉殖(GM)作物菸草至 1996 年開始大規模田間生產後，全球 GM 作物栽培面積快速擴增，其農業生產的重要性相對日益增高(郭及周，2004)。農業生物技術應用國際服務組織(International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications, ISAAA)的主席兼創辦人 Clive James 博士發表報告指出，2006 年是農業生物技術商業化第 2 個 10 年(2006-2015)的第 1 個年頭，全球約 1 億零 2 百萬公頃涵蓋 22 個國家的 GM 作物田中，以大農制為主的新大陸佔 93.7%，尤以美國最多，其次為阿根廷、巴西、加拿大、印度、中國、巴拉圭、南非、烏拉圭、菲律賓、澳大利亞、羅馬尼亞、墨西哥以及西班牙等國；種植面積以大豆(57%)、玉米(25%)、棉花(13%)與油菜(5%)為最大宗。其所轉殖的基因有 80%以上是抗除草劑基因，其次是抗蟲基因，其他為兼具抗除草劑和抗蟲組合基因特性之 GM 作物。展望未來 10 年商業化發展的方向，全球生物技術作物面積將持續增長(James, 2006)。台灣近年輸入之農產品如玉米及黃豆等，許多均含有改造之基因，而國內外研發之 GM 作物也將陸續在本地進行測試及生產階段(郭及周，2004；劉及張，2004；蔣及袁，2005)。GM 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，已成為各方關注之焦點，尤其在共存模式方面極須妥善因應解決，GM 作物才有可能順利發展(Byrne and Fromherz, 2003；Hill, 2005；Byrne, 2006)。

行政院農業委員會依據「植物品種及種苗法」授權訂定發布之「基因轉殖植物田間試驗管理辦法」，係自 2005 年 6 月 30 日起施行。依據該辦法第十八條，GM 植物之田間試驗應分兩個階段進行：第一個階段為遺傳特性調查，遺傳特性調查之申請，應於完成實驗室試驗後，或自國外引進前為之；第二個階段為生物安全評估，原則上應先完成遺傳特性調查經審議通過後方得申請。農委會農糧署於 2007 年 8 月 22 日發佈「基因轉殖植物遺傳特性調查及生物安全評估原則」，依 GM 植物種類及外源基因之特性，視個案決定所需調查及評估之項目。其中 GM 作物的生物安全評估，包含人畜食用安全性及

生態環境安全性之評估。有關環境安全性評估的重點，在於 GM 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佈(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？或是以水平基因流佈(horizontal gene flow)方式，轉移到細菌及病毒等微生物中？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及非目標作物族群發生改變等重要問題皆極待釐清(蔣等，2004；蔣及袁，2005)。而在植物的生活史中有兩個時期可以產生基因流佈，即在授精前的花粉傳播及在授精後胚體發育為種子或子房發育為果實的傳播，基因流佈是否流暢，將影響族群間的分化程度及遺傳組成分是否均質化(Bateman, 1947a,b；Di-Giovanni and Kevan, 1991)。Wright(1951)認為諸多因素影響物種的遺傳結構變異，除了植物本身的特性及分布狀態外，天擇、基因流佈、基因漂變(genetic drift)等推動族群演化的主要自然力也具有決定性的地位。Ellstrand 等(1999)亦認為 GM 作物花粉的傳播是基因轉殖在空間逃逸的主要渠道，也是 GM 作物與野生親緣種間基因流佈的主要原因。從目前的研究來看，轉殖基因在時間及空間上的逃逸既無法避免，因此需要利用某種技術或方法來加以控制，同時更要考量 GM 作物釋放前之共存管理與制定 GM 作物的市場管理計畫，讓風險降低到最小程度。

二、基因轉殖作物與傳統、有機作物共存之理念

有關 GM 作物與非 GM 作物之共存模式，主要是建立 GM 作物與傳統、有機作物共存栽培的方法(Devos *et al.*, 2005；ABE/EuropaBio, 2006)。所謂共存，基本原則在於不論是 GM、傳統或有機作物，農產業者(耕作者)都能夠自由選擇所要種植的作物類型，或消費者有知情和自由選擇購買相關產品的權利。若從 GM 公司的角度來看整個農業結構，自種植 GM 作物以後，有機農業的種植面積亦相對大幅增加，因此共存栽培是必然的趨勢且無可避免。但是由於食品中常有使用人工佐料或化學原料的情形，有機農法生產的作物及產品能否完全達到有機天然，尚有疑慮，倘單方面針對 GM 產物要求用嚴格規定之超低界限值來防止其對田間種植的影響，或對於 GM 產品的生產作出限制，實為

不公平的待遇；再者，訂定超低界限值亦加重實行規定的成本，其影響將擴及許多農產業者的作業範疇(Schiemann, 2003；Weighardt, 2006)。從法規的層面檢視 GM 作物與傳統、有機作物共存問題，主要是考慮經濟的因素，而非單純考量 GM 作物及產品的安全性，原因是政府既已核准種植 GM 品種，基本上就已完成品種的安全性評估審查工作，或已將安全的顧慮置放在較次要的位階上。而經濟的考量，應是 GM 品種混雜傳統或有機農作產品所產生的經濟損失，包括有機產品無法以有機的名義出售、傳統產品必須張貼含 GM 字樣，以及需要檢驗所額外增加的成本等，從而導致市場競爭力降低(Schiemann, 2003)。現今各界主張透過立法明確訂定標示辦法與界限值標準，以清楚標示 GM 作物及產品，或產品內容 GM 物質的比例是否合乎出產國家的界限值規定，使農產業者(耕作者)或消費者能清楚分辨產品屬性，並有完全的自主選擇權決定是否使用 GM 產品。

歐盟的規定是，凡產品含 GM 成分達 0.9% 以上者，必須標示為 GM 產品。因此若使 GM 作物鄰近的傳統農作被污染程度降至 0.9% 以下，就達到兩者共存的目標(Schiemann, 2003)。根據歐盟聯合研究中心(European Commission's Joint Research Centre, JRC)的研究報告(JRC/ESTO/IPTS, 2006)指出，GM 物質不超過污染標準範圍時，對於現今農業規範的影響極為輕微，甚至沒有；報告中亦強調共存模式的成功，前提是種子中的 GM 物質不得超過 0.5%。歐盟對於非食用及飼料用作物的偶然外來 GM 物質污染標準限定在 0.9%，因此報告所分析之可行性，必須取決在此一標準內。報告中更強調利用氣候及農業規範等數據來測量玉米、甜菜及棉花之 GM 作物，結果顯示甜菜及棉花在污染程度為 0.9% 的標準內，對農業規範不會造成改變。而以種子來說，傳統的甜菜及棉花種子中含 GM 種子少於 0.5%，亦不至於改變現今種子生產之規範。對於玉米則需要更多的研究，因為氣候情況或是農田位置可能影響作物間交互授粉，較為健全的作法是在 GM 作物與非 GM 作物間建立一道緩衝區，或種植不同開花期的品種。若建立比現行更大的隔離範圍，毋須改變現今的農業規範，但可能造成產量的降低。該報告提供了歐盟未來設計及實行共存機制時一個重要的科學依據。

三、基因轉殖作物共存管理制度之可行性

基因轉殖作物的環境安全性評估是採用適當的原則、程序與方法，以確認 GM 作物及其產品對環境及人類健康的影響，力求對這些風險提供可靠的定性及定量預測，同時採用適當的機制和技術措施，管理 GM 作物及其產品的開發工作，使其風險降至最低程度。英國倫敦帝國學院於 1990 年針對 GM 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 4 年內這 4 種 GM 作物皆自然死亡(Andow, 2003)；另外也發現玉米、棉花及大豆等作物一旦離開栽培環境則不易存活。雖然抗除草劑油菜或許可於非耕地存活，但在缺乏藥劑的環境篩選壓力下，抗藥基因亦不具特殊功能，同時抗嘉磷塞(glyphosate)作物並不會產生大量種子，其產量與傳統品系者並無顯著差異，因此目前認為第一代 GM 作物本身在非栽培環境中不易野化為超級雜草(蔣等，2004)。至於雜草抗藥性研究方面，蔣及袁(2005)研究指出可於抗嘉磷塞玉米田，噴施混合之嘉磷塞與 2,4-D (闊葉型除草劑)，可有效防除抗性雜草而不會傷害玉米植株，或以輪作方式配合輪流施用嘉磷塞或固殺草(glufosinate)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，方可避免抗性雜草的發生，有效防除抗性雜草，以及降低農地植被多樣性被改變的風險(蔣等，2004；蔣及袁，2005)。至於抗蟲基因方面，Kelly 等(2005)針對抗蟲 GM 作物的基因流佈之風險性評估，建立了田間抗蟲 GM 作物和非 GM 作物相互關聯模式，顯示自然和農業系統中昆蟲取食導致的年度間變異是生態學的動態變量。同時指出與抗蟲 GM 作物共存和抗蟲基因流佈主要取決於：(1) 昆蟲取食強弱的相對頻率，(2) 抗蟲基因賦予 GM 植物的相對優勢，以及(3) 抗蟲基因賦予 GM 植物的相對劣勢。

由於相關研究均表明 GM 作物與傳統、有機作物是可共存的，因此歐盟於 2003 年發佈了「基因改造食品及飼料管理規則」(Regulation (EC) No.1829/2003)及「基因改造食品與飼料標示及追蹤規則」(Regulation (EC) No.1830/2003)，要求 GM 作物及其產品必須具有標示和可追溯性(EC, 2003a,b)。法國國家農業研究院(INRA)也協調歐盟各國進行 CO-EXTRA 研究計畫，以設計可靠的工具，使 GM 作物與非 GM 作物在種植、運輸和產品加工等過程中能夠獨立隔離運作，以解決兩者的共存問題，確保 GM 作物在食品加工過程中的可追溯性，為消費者提供詳細的產品訊息及可靠的標示(Weighardt, 2006)。

而有關 GM 作物與傳統、有機作物共存的關鍵措施主要有三項原則，即是隔離、公開與賠償制度的執行：(1)隔離—指在 GM 作物生產與食物、飼料加工的每一步驟中，妥善隔離 GM 作物及其產品，主要手段是在種植時確保田間有固定分隔的距離，且之後的田間採收、調製、儲藏、運輸等都經過適當的監控，將混雜降至界限標準以下，再依分類標示成分內容，使大眾能自主選擇所想要的產品；(2)公開—採用公開登記措施，GM 作物栽種者必須將 GM 作物的種植時間、地點、內容等向主管機關辦理登記，以達資訊之公開透明化，使大眾能得知所需資訊，進行必要的防範措施；(3)賠償制度—制定相關規範，明訂一旦造成污染時，種植或研發 GM 種子者應負之責任，或作為調解農民糾紛及處理賠償問題的依據(ABE\EuropaBio, 2006)。

歐盟國家一向強調以立法來保障有機、傳統與 GM 農法的共存制度，並要求擴大隔離距離，目的在含 GM 成分的允許門檻下藉以降低污染程度。歐盟執委會早在 2003 年訂定共存準則，且允許各會員國自行制定測量方法(Melé *et al.*, 2004；Weighardt, 2006)。目前，不同國家對待 GM 作物的立場明顯不同，若按照 GM 作物的推廣面積、大眾態度及國家政策趨向，可將世界各國劃分為兩大陣營(Sanvido *et al.*, 2005；Züghart *et al.*, 2007)。持積極推進態度的有美國、加拿大和阿根廷；巴西雖然種植有 GM 大豆，但其態度還在變動之中；批准種植非食用 GM 作物的還有中國、印度、南非等國。持積極反對態度的有日本、韓國和歐盟以及肯尼亞和贊比亞等國。澳洲處於兩者之間。各國已陸續先後立法對 GM 作物進行管理，其採取的標示制度作法及所持態度如表 1。實際上美國近年來已陸續發現有機產品被 GM 混雜的情況(Sanvido *et al.*, 2005；DEFRA, 2006)，如 GM 玉米 StarLink 污染混雜事件(1997-2003)、GM 玉米 BT10 及 BT11 污染混雜事件(1996-2005)、GM 稻米 LL 601 污染混雜事件(2006)、製藥 GM 大豆污染混雜事件(2002)、GM 種苗污染混雜事件(2000-2002)。此等污染混雜事件遭受外銷各國的抗議或加以抵制，像是韓國即打算將有機產品的規範提升至完全不能含有任何 GM 成分，使得美國有機產品的競爭力下降；而日本、紐西蘭、澳洲與歐洲多國，甚至於美國若干地區亦紛紛成立無 GM 農區(郭及周，2004)。在管理層面上，同時管理兩個以上的 GM 作物之共存生產系統並非簡單易行，其實際困難點在於不同生長系統間的距離、緩衝區、

標示區、起始點與責任分擔區均應事先釐定清楚(Schiemann, 2003)。至於在預防性措施方面，由於科學面的不確定性與知識經驗的不足，GM 作物到底會「污染」原生種農作物而影響農業的永續發展，還是 GM 作物只是偶然出現而不致影響農業的永續發展，仍有待時間驗證。因為 GM 作物對生態所產生的確實影響要經過十數年或數十年才看得出來，因此在環境政策上，為了促進經濟發展，共存理論便成了 GM 作物能夠跳脫風險議題的一個方式。只是仍有很多有機產業部門認為有機與 GM 之共存不切實際，因為共存所需之各項措施、認證、及額外的文書工作會增加農民的負擔，提高生產成本，而且異常的氣候如風速等也可能導致隔離失效，以致所提出的隔離距離根本無法防止污染；另外也質疑只有大型種子公司才花得起成本來檢驗並提供非 GM 種子，共存結果將導致有機農戶不得不向公司購買非 GM 的種子(郭及周，2004)。由此看來，各界對 GM 作物能否與有機農業共存的想法，仍存在著相當大的歧異性。

四、降低基因轉殖作物外源基因流佈的隔離策略

為了防止或降低 GM 作物外源基因流佈的發生，現行採用的遺傳隔離策略如下：

(一)分子策略

主要的遺傳隔離方法包括葉綠體轉殖(chloroplast transgenic)、花粉(雄性)不稔、種子不稔、染色體基因組不親和性(chromosome genome incompatibility)、閉花受精(cleistogamy)、無融合生殖或不受精生殖(apomixis)、暫時性控制外源基因之表現、基因轉殖緩和或弱化技術等，詳細內容可參閱 Kuvshinov 等(2001)、Daniell(2002)、陳等(2004)及 Ludmila 等(2006)之相關文獻。

(二)傳統策略

主要是利用距離來進行隔離以降低 GM 作物外源基因的流佈，除此還可利用摘芯或套袋 GM 作物的花器官、移除與 GM 作物有性親和之植物種類、調整開花時間、提早收穫、在其周圍種植同種之非 GM 作物做為緩衝區等(Mascia and Flavell, 2004)。在生殖隔離距離方面，所採取的一項重要措施是在田間試驗中防止基因通過傳粉等方式轉移到其他植物中。不同作物的傳粉能力不同，有效防止基因流佈所要求的生殖隔離距離也不相

同。迄今針對不同作物所採取的有效生殖隔離，已累積不少的知識和經驗，其中包括番茄、油菜、菸草、水稻、黃瓜、苜蓿、甜瓜、棉花、馬鈴薯等作物(Wright, 1943; Bateman, 1947c)。在考量 GM 作物之安全距離時，也可借鏡一些為保證種子基因純度而進行隔離距離之研究成果，行政院農業委員會種子檢查室於 1990 年修訂之「臺灣地區農作物種苗檢查須知」上所明載如表 2，國外方面的資料則整理如表 3 (閻, 2002; Lavigne *et al.*; 2002; McCormack, 2004)。然而田間作物的授粉距離受到諸多因素影響，如風力、風向、氣溫、濕度、昆蟲地域性、栽種面積等，因此在引用這些可供參考之隔離距離時，其安全及實用性尚需作進一步之檢證(Remund *et al.*, 2001)。針對影響隔離距離之因素種類，可視實際情況而作調整，如圖 1 所示(McCormack, 2004)。

五、基因轉殖作物隔離距離

近幾年針對不同 GM 作物的花粉散佈距離已有一些研究成果，包括棉花、高粱、粟、馬鈴薯、油菜、甜菜、向日葵、西瓜、芥菜和擬南芥等糧食和經濟作物。不同 GM 作物的花粉散佈距離是有差別的，如 GM 的油菜、馬鈴薯、芥菜、棉花和向日葵花粉之飛散距離分別為 12、20、35、100 和 1000 m，這與特定作物的生物學傳粉特性有關(Ingram, 2000; Eastman and Sweet, 2002)。同一種作物不同試驗所估測的隔離距離也存在很大的變異性。例如，原來對 GM 馬鈴薯隔離距離的估計達到 600 m，而現在則不到 50 m (McPartlan and Dale, 1994; Conner and Dale, 1996; Conner, 2006)，影響因素可能與族群間距離、族群大小、過程長短、新基因是否賦予接受族群適應上之優勢，以及植物本身形態特性包括交配系統、授粉模式和花的結構、開花時間和花粉親和性等有關 (Conner *et al.*, 2003; Nap *et al.*, 2003)。另外氣候條件如風向、風速、溫度和濕度也容易影響花粉的飛散，因此不同地區所調查的結果也不同(Tynan *et al.*, 1990; Skogsmyr, 1994; Luna *et al.*, 2001; Ma *et al.*, 2004)。2006 年 7 月英國環境食品暨鄉村事務部(Department for Environment, Food and Rural Affairs, DEFRA)發表 GM 作物與非 GM 作物間之最少隔離距離：油菜 35 m、飼料用玉米 80 m 及甜玉米 110 m (DEFRA, 2006)。

針對目前台灣幾個重要 GM 作物如水稻、馬鈴薯、番木瓜、油菜等之隔離距離的研

究文獻概況，整理說明如下：

(一)水稻：水稻為自花授粉作物，族群間基因流佈的機率相當低，它花授粉的機會小於1% (Bajaj and Mohanty, 2005)。研究人員在世界不同地區以栽培稻與紅米 (*Oryza sativa* L.) 為材料，利用不同種植距離探討水稻花粉飛散程度，藉以估算族群間的雜交率，結果顯示氣候條件如風向、風速、溫度和濕度均容易影響花粉的飛散，因此不同地區所調查結果不盡相同，一般而言雜交率隨著植株種植距離增加而減少，雜交率介於0.01%~0.7% (Kiang *et al.*, 1979; Lee *et al.*, 1987; Langevin *et al.*, 1990; Lu *et al.*, 2003; Song *et al.*, 2003)。Oard等(2003)利用轉殖抗固殺草水稻並以紫葉外表型當標記因子，探討轉殖水稻和紅米之間抗除草劑的遺傳機制及兩者之間自然雜交的頻度。由其分子和外表型的資料顯示，在田區以帶紫色標記基因非GM水稻和紅米雜交，其自然雜交比例小於1%，而耐除草劑抗性從GM水稻到紅米中的頻度則為0.3%。Messeguer等(2004)利用轉殖gusA和bar基因水稻，分別以1、2、5及10 m不同距離測量GM水稻與非GM水稻和紅米之間的雜交率，藉以瞭解GM水稻花粉飛散程度，結果顯示雜交率與植株距離和風向有關，雜交率隨著距離增加而減少，以1 m的雜交率最高為0.015%，10 m最低為0.001%。

(二)馬鈴薯：馬鈴薯是世界最重要的非禾穀類糧食作物。GM 馬鈴薯的傳粉率隨距離增加而降低的趨勢十分明顯，Tynan 等(1990)之研究顯示 GM 馬鈴薯在試驗區內的傳粉率為 1%，在隔離距離 4.5 m 處其傳粉率即降為 0%。McPartlan 和 Dale (1994)之研究亦顯示，當 GM 馬鈴薯與非 GM 馬鈴薯直接接觸時，其傳粉率為 24%，在隔離距離 3、10 及 20 m 處其傳粉率分別為 2、0.017 及近於 0%。最初歐洲的馬鈴薯田間試驗要求摘除全部的花和漿果，並要求設 450 m 的隔離區，但現今只要求 5 m 的隔離區及 15 m 的測控區，花和漿果也不摘除，目前也未發現 GM 馬鈴薯與其近緣野生種發生雜交的問題 (Green *et al.*, 2005; Conner, 2006)。Conner 和 Dale(1996)之研究顯示，在田間試驗中，野生種龍葵 (*Solanum nigrum*) 和苦茄 (*Solanum dulcamara*) 的開花時間即使與 GM 馬鈴薯相同，也不會發生雜交。依據「台灣地區農作物種苗檢查須知」，馬鈴薯原種圃及原種圃應隔離 200 m，採種圃則為 3 m(行政院農業委員會種子檢查室，1990)。

(三)番木瓜：番木瓜其樹型可分為雄株 (staminate plants)、雌株 (pistillate plants) 及兩性株 (hermaphrodite plants) 等 3 種樹型。一般而言果園中若保留 10~20%兩性株或 2~5%雄株作授粉樹，能提高結果率。Storey(1937)研究指出番木瓜之傳播授粉媒介可為蟲媒和風媒，但以昆蟲傳播花粉而授粉結果為主。台灣 GM 番木瓜之生態安全評估，在園藝性狀方面的基本考量是認為番木瓜是兩倍體植物，一般以種子繁殖，因此有花粉和種子傳播問題，極易發生種內基因流佈(Ganeshan, 1986)。但台灣並非栽培種番木瓜的原生地，並無木瓜屬(*Carica*)甚至無番木瓜科(*Caricaceae*)之其他植物存在；而產業界採用 F₁ 品種，果農的種苗皆來自苗商，因此種苗業者在產業上扮演的角色極為重要。番木瓜在台灣的栽培已近一個世紀，由過去之實際情形研判，傳統番木瓜(非 GM 番木瓜)在台灣的野化情形並不嚴重，其雜草化問題幾乎可以忽略(包等，2003)。由於數十年來台灣傳統番木瓜(非 GM 番木瓜) 並未構成雜草化的問題，因此將來若以相同的栽培方式推廣 GM 番木瓜，可參考 Cohen 等(1989)之作法，針對花粉、種子、植株三者活力進行比較。另一方面目前台灣本島是番木瓜輪點病毒病(PRSV)的疫區，因此除非是種植可抗 PRSV 的品種或品系，否則進行生態安全評估一定要依賴溫室或網室栽培的保護(包等，2003)。番木瓜一般在網室栽培及繁殖，開花雜交授粉時亦行套袋處理，故並未要求隔離距離。

(四)油菜類：油菜為十字花科(Cruciferae)蕓薹屬(*Brassica*)，較常使用的英名為 Rapeseed 及 Oilseed Rape；至於加拿大研發作為生產油料的油菜商業品種稱為“Canola”，原名稱為“LEAR”油菜 (低芥酸，高油酸)。油菜用途廣泛，主要用為飼料、蔬菜油、生化柴油等，是繼大豆油、棕櫚油之後的世界第三大植物油來源；在亞洲國家，葉用油菜品種提供葉、莖供食用；油菜同時也是高蜜源作物；由於油菜富含芥酸，是重要工業和食品加工原料，也常做為綠肥。油菜分子育種之主要目標是育成產量更高、品質更好、高效能產油、及經濟栽培管理之油菜品種。早在 1985 年起，即有利用基因改造增加油菜之油料生產及改進油菜的栽培管理等之研究(王等，2005；Funk *et al.*, 2005；FitzJohn *et al.*, 2007)。目前全球第四大商品化的 GM 作物是油菜，2005 年的栽種面積已經達 4.68 百萬公頃，而已核准之 GM 油菜的改造特性，主要為增加月桂酸及降低豆蔻酸、抗殺草

劑、雄性不育及抗殺草劑等性狀之品系(James, 2006)。油菜開花時花粉散出，由於重力之作用，有 50% 的花粉落在距離植株 3 m 以內，約有 93% 的花粉飛散在 10 m 範圍內，只有 7% 左右的花粉飄散距離較遠。其分布呈尖峰型，即隨著距離的增加，花粉數量會急劇減少，最遠可達 1.5 公里，以昆蟲為媒介則可達 4 公里(Salisbury, 2002a,b)，但風速、風向、氣壓及空氣濕度均會影響花粉的分布密度 (Martin and Cresswell, 2006)。原先認為 GM 油菜的隔離距離是 40 m，其異交率小於 10%，近年來研究發現油菜花粉飛散的距離雖可達數百公尺，但基因擴散的幅度卻相對減少(Beckie *et al.*, 2003; FitzJohn *et al.*, 2007)。

六、結論

一個新的技術體系之研發，不能單純以農業專家的立場來思考問題，必須站在農民的立場思考如何有效利用新的技術，以配合新的機制。隨著全球 GM 作物栽培面積的迅速擴增及生產重要性日趨重要，共存機制之趨勢將無可避免。為達 GM 作物與非 GM 作物共存的栽培目的，一般採取三大原則：防止花粉混雜如設定隔離距離、緩衝帶，或錯開開花期等方法；公開原則是種植 GM 作物的農民向政府登記，或通知鄰農；發生污染的損害賠償責任在基改方。就標示及追蹤制度而言，所涵蓋的不僅是產品標示本身的問題，檢驗制度與方法之建立也同樣重要，因此政府機關不僅應以審慎的態度參與，也需要更多的專家學者對 GMO 議題的投入。固然各界對 GM 作物能否與有機農業共存的想法仍然歧異，甚至認為不切實際，但就台灣而言應儘速制定健全法規，確定 GM 作物的發展方向，同時就共存課題進行公聽討論，冀望能擬定更符合國情的 GM 作物共存模式，成立 GM 作物專區或鼓吹無 GM 農區的設置，群策群力與相互合作，方能使制度趨於完善。

七、引用文獻

1. 王景雪、趙福永、徐培林、田穎川。2005。遺傳學報。32:1293-1300。(中國)

2. 包慧俊、鄭櫻慧、余聰安、楊居成、葉錫東。2003。植物保護學會特刊 新五號：159-170。
3. 行政院農業委員會種子檢查室。1990。台灣地區農作物種苗檢查須知。1-58。
4. 陳烈夫、魏夢麗、呂椿棠、呂秀英。2004。科學農業 52:292-298。
5. 郭華仁、周桂田。2004。郭華仁、牛惠之（編輯）基因改造議題-從紛爭到展望：120-157。行政院農業委員會動植物防疫檢疫局。
6. 閻新甫主編。2002。轉基因植物。科學出版社。北京。（中國）
7. 蔣慕琰、徐玲明、袁秋英、蔣永正。2004。雜草及外來植物風險評估介紹。行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所技術專刊第133號。
8. 蔣慕琰、袁秋英。2005。基因轉殖植物雜草風險研究與評估。基因轉殖植物之生物安全評估與檢測專刊 65-85頁。
9. 劉麗飛、張孟基。2004。郭華仁、牛惠之（編輯）基因改造議題-從紛爭到展望：10-25。行政院農業委員會動植物防疫檢疫局。
10. ABE/EuropaBio. 2006. Understanding Coexistence - Science, Principles and Practical Experiences. 13P. <http://www.europabio.org>.
11. Andow, D.A. 2003. Nature Biotechn. 21:1453-1454.
12. Bajaj, S. and A. Mohanty. 2005. Plant Biotechn. J. 3:275-307.
13. Bateman, A. J. 1947a. J. Genet. 1:257.
14. ————. 1947b. Heredity 1:235-246.
15. ————. 1947c. Heredity 1:303-335.
16. Beckie, H.J. *et al.* 2003. Ecol. Appl. 13: 1276-1294.
17. Byrne, P. 2006. Crop Sci. 46:113-117.
18. Byrne, P. F. and S. Fromherz. 2003. Food, Agric. Environ. 1: 258-261.
19. Cohen, E. *et al.* 1989. Scientia Horticulture 40:317-324.
20. Conner, A. J. 2006. In: Huang, S. C. *et al.* (eds.) "International Symposium Ecological

- and Environmental Biosafety of Transgenic Plants”, Taichung, Taiwan: Agric. Res. Inst, 127-140.
21. Conner, A. J. and P. J. Dale. 1996. *Theor. Appl. Genet.* 92: 505-508.
 22. Conner, A. J. *et al.* 2003. *Plant J.* 33: 19-46.
 23. Daniell, H. 2002. *Nature Biotechn.* 20: 581-586.
 24. DEFRA. 2006. Consultation on Proposals for Managing the Coexistence of GM, Conventional and Organic Crops. London. 92P.
 25. Devos, Y. *et al.* 2005. *Environ. Biosafety Res.* 4: 71-87.
 26. Di-Giovanni, F. and P. Kevan. 1991. *Can. J. For. Res.* 21:1155-1170.
 27. Eastman, K. and J. Sweet. 2002. European Environ. Agency, p1-75.
 28. Ellstrand, N.C. *et al.* 1999. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 30:339-363.
 29. EC. 2003a. Council Regulation (EC) No. 1829/2003. Official J. European Union. L 268:1-23.
 30. ———. 2003b. Council Regulation (EC) No. 1830/2003. Official J. European Union. L 268:24-28.
 31. FitzJohn, R. G. *et al.* 2007. *Euphytica*: DOI:10.1007/s10681-007-9444-0.
 32. Funk, T. *et al.* 2005. *European J. Agron.* 24:26–34.
 33. Ganeshan, S. 1986. *Scientia Horticulture* 28:65-70.
 34. Green, J. *et al.* 2005. *Mol. Breed.* 16:285-293.
 35. Hill, R. A. 2005. *Environ. Biosafety Res.* 4:67-70.
 36. Ingram, J. 2000. Review of the Use of Separation Distances Between GM and Other Crops. MAFF Research Project, RG0123.
 37. James, C. 2006. Global Status of Commercialized Transgenic Crops: 2006. ISAAA Briefs No. 35. ISAAA:Ithaca, NY.

38. JRC/ESTO/IPTS. 2006. New Case Studies on the Coexistence of GM and Non GM Crops in European Agriculture. Technical Report Series: Eur 22102 EN. 16P.
39. Kelly, C. K. *et al.* 2005. Proc. Royal Soc. London B 272:1759-1767.
40. Kiang, Y. T. *et al.* 1979. J. Asian Ecol. 1: 1–9.
41. Kuvshinov, V. *et al.* 2001. Plant Sci. 160:517-522.
42. Langevin S. A. *et al.* 1990. Evolution 44: 1000–1008.
43. Lavigne, C. *et al.* 2002. Theor. Appl. Genet. 104: 139–145.
44. Lee, D.W. *et al.* 1987. Korean J. Crop Sci. 7: 45–51.
45. Lu, B.R. *et al.* 2003. Progress Nat. Sci. 13: 17–24.
46. Ludmila, M. *et al.* 2006. Plant Biotechn. J. 4: 445–452.
47. Luna, V. S. *et al.* 2001. Crop Sci. 41:1551-1557.
48. Ma, B. L. *et al.* 2004. Crop Sci. 44:1273-1282.
49. Martin H. and J. E. Cresswell. 2006. Ecolo. Appl. 17:1234-1243.
50. Mascia, P. N. and R. B. Flavell. 2004. Curr. Opinion Plant Biol. 7:189-195.
51. McCormack, J. H. 2004. Isolation Distances. Principles and Practices of Isolation Distances for Seed Crops: an Organic Seed Production Manual for Seed Growers in the Mid-Atlantic and Southern U.S. 21P. <http://www.savingourseeds.org>.
52. McPartlan, H. C. and P. J. Dale. 1994. Transgenic Res. 3: 216–225.
53. Melé, E. *et al.* 2004. Eur. Biotechn. Sci. Indust. News 3: 8.
54. Messeguer, J. *et al.* 2004. Mol. Breed.13:103-112.
55. Nap, J. P. *et al.* 2003. Plant J. 33: 1-18.
56. Oard, J. H. *et al.* 2003. Euphytica 130:35-45.
57. Remund, K.M. *et al.* 2001. Seed Sci. Res. 11:101–119.
58. Salisbury, P. A. 2002a. Gene flow between *Brassica napus* and other *Brassicaceae* Species. Institute of Land and Food Resources. Univ. Melbourne. Report PAS0201. 45P.

59. ———. 2002b. Pollen movement in canola (*Brassica napus*) and outcrossing between *B. napus* crops. Institute of Land and Food Resources. Univ. Melbourne. Report PAS0202. 22P.
60. Sanvido, O. *et al.* 2005. Environ. Biosafety Res. 4:13-27.
61. Schiemann, J. 2003. Environ. Biosafety Res. 2: 213-217.
62. Skogsmyr, I. 1994. Theor. Appl. Genet. 88: 770-774.
63. Song, Z. P. *et al.* 2003. New Phytologist 157: 67–665.
64. Storey, W. B. 1937. Amer. Soc. Hort. Sci. Proc. 35: 80-82.
65. Tynan, J. L *et al.* 1990. J. Genet. Breed. 44: 303–306.
66. Wright, S. 1943. Genetics 28:114-138.
67. ———. 1951. Ann. Eugen. 15: 323-354.
68. Weighardt, F. 2006. Nat. Bio-technol. 24: 23-5.
69. Züghart, W. *et al.* 2007. Euphytica: DOI: 10.1007/s10681-007-9475-6.

表 1.各國對 GM 作物採取的標示制度(James, 2006)

作法	界限值 (%)	國家
強制標示	0.9	歐盟
	1.0	澳洲、紐西蘭、沙烏地阿拉伯、挪威、瑞典、巴西
	3.0	韓國
	5.0	日本、台灣、泰國
	未定	中國
準備強制標示		越南、智利、厄瓜多爾、墨西哥、委內瑞拉
自願標示	5.0	美國、加拿大、阿根廷
準備自願標示		香港、菲律賓
禁止進口及種植		阿爾及利亞、埃塞俄比亞、摩納哥、奧地利

表 2. 台灣主要基因轉殖作物隔離距離的田間檢查標準(行政院農業委員會種子檢查室，1990)

作物	隔離距離 (公尺)	一般性標準
水稻 <i>Oryza sativa</i> L.	3	
甘藷 <i>Ipomoea batatas</i> (L.) Poir		各級良種繁殖圃每 1 個圃場僅可種植 1 個品種
落花生 <i>Arachis hypogaea</i> L.	2	
大豆 <i>Glycine max</i> (L.) Merrill	3	
小麥 <i>Triticum sativum</i>	3	
高粱 <i>Sorghum vulgare</i> Pers.	300	或套袋
玉米 <i>Zea mays</i> L.	300	抽穗開花期錯開不在此限
棉花 <i>Gossypium</i> spp. L	400	
油菜 <i>Brassica napus</i> L.		網室或套袋，四週視線可及處除蘿蔔外不得有十字花科作物
大麥 <i>Hordeum vulgare</i> L.	3	
黃麻 <i>Corchorus capsularis</i> L.	50	採種圃 3 公尺
亞麻 <i>Linum usitatissimum</i> L.	20	採種圃 3 公尺
鐘麻 <i>Hibiscus cannabinus</i> L.	200	採種圃 50 公尺
甘藍類 <i>Brassica oleracea</i> L.	套袋或 800	採種圃 500 公尺
白菜類 <i>Brassica chinesis</i> L.	人工隔離或 1000	採種圃 800 公尺
芥菜種 <i>Brassica juucea</i> Coss	人工隔離或 800	採種圃 800 公尺
蘿蔔 <i>Raphanus acanthiformis</i> Morel.	人工隔離	採種圃 800 公尺
萵苣類 <i>Lactuca sativa</i> L.	20	採種圃 10 公尺
蔥韭類 <i>Allium cepa</i> L.	套袋或 800	採種圃 400 公尺
瓜類 <i>Cucurbitaceae</i>	控制授粉或 1000	採種圃 800 公尺
豆類 <i>Leguminosae</i>	5-20	採種圃 3-10 公尺
茄類 <i>Solanaceae</i>	100 或 50	採種圃 20 公尺
馬鈴薯 <i>Solanum tuberosum</i> L.	200	採種圃 3 公尺
草莓 <i>Fragaria</i> spp.	1000	採種圃 500 公尺 (網室 100 公尺)

表 3. 國外主要農作物於田間的授粉隔離距離(閻，2002；Lavigne 等，2002；McCormack, 2004)

作物種類	隔離距離(公尺)	備註
水稻 <i>Oryza sativa</i> L.	100	
大豆 <i>Glycine max</i> (L.) Merrill	100	
番茄 <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill	100	
小麥 <i>Triticum sativum</i>	100	或花期隔離 25 天以上
大麥 <i>Hordeum vulgare</i>	100	或花期隔離 20 天以上
馬鈴薯 <i>Solanum tuberosum</i> L.	100	
辣椒 <i>Capsicum annum</i>	100	
棉花 <i>Gossypium</i> L.	150	或花期隔離 20 天以上
玉米 <i>Zea mays</i> L.	300	或花期隔離 25 天以上
苜蓿 <i>Trifolium repens</i>	300	
黑麥草 <i>Lolium perenne</i>	300	
菸草 <i>Nicotiana tabacum</i>	400	
高粱 <i>Sorghum vulgare</i> Pers.	500	
南瓜 (西葫蘆) <i>Cucurbita pepo</i>	700	
芸苔屬 (油菜) <i>Brassica</i> L.	1000	

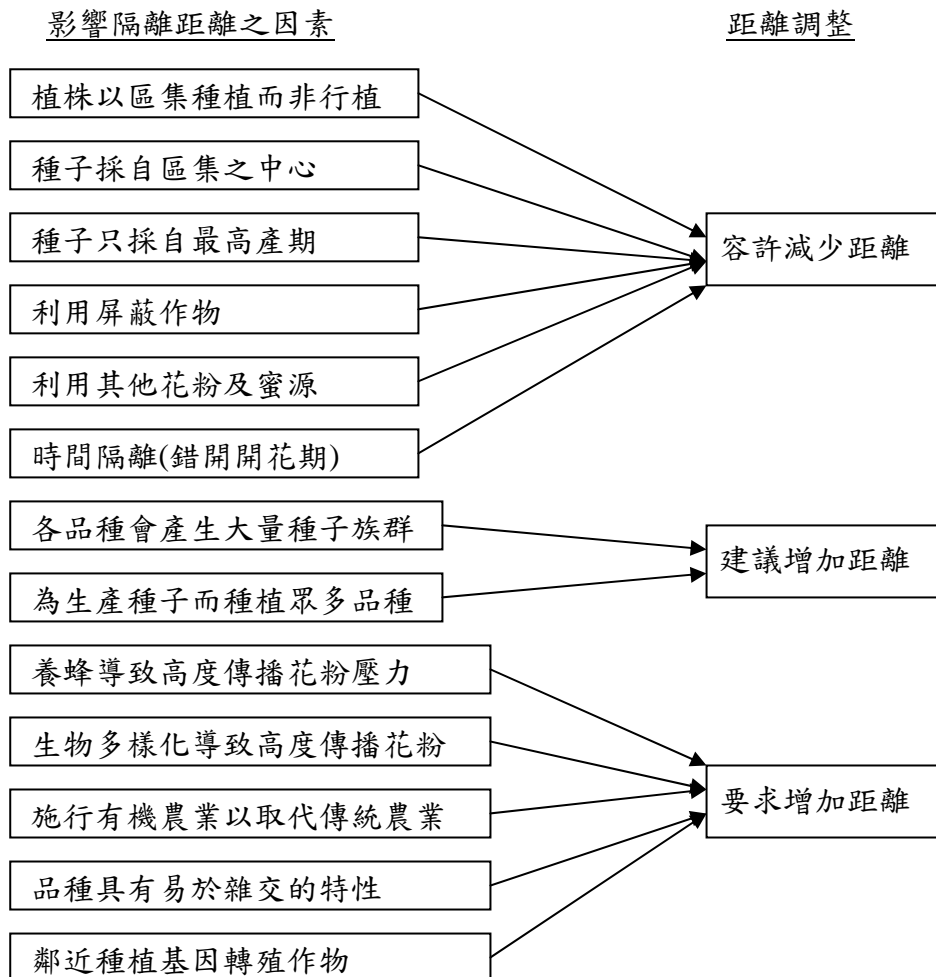


圖 1. 基因轉殖作物田間隔離距離之影響因素及調整方式(McCormack, 2004)。