

加拿大基因轉殖作物之 生物安全管理

沈翰祖¹、李文立²、楊藹華³、郭寶錚⁴

一、前言

基因轉殖生物及其產品對生態環境與人體健康所可能產生的衝擊，廣泛的受到世界各國關切並重視，並各自訂有基因轉殖生物及其產製品之相關管理法規及建構檢測及監測平台，也曾引發各國之間貿易上、科學性、社會性、經濟性、倫理性的爭議。基於消費者與農民種植種類的選擇權利，部分國家近幾年來開始重視基因轉殖與非基因轉殖作物乃至有機栽培作物的共存制度，以促使基因轉殖農業能與傳統農業永續共存。因此，為使我國基因轉殖作物生物安全相關研究與政策達國際水準，觀摩並學習先進國家如加拿大之管理制度、法規及規範等，期能建立我國基因轉殖與非基因轉殖共存模式與風險管理體系。

二、基因轉殖作物和生物安全評估

（一）全球基因轉殖作物生產概況：

-
- 1 種苗改良繁殖場生物技術課 副研究員
2 農業試驗所鳳山熱帶園藝試驗分所 副研究員兼系主任
3 台南區農業改良場 研究員
4 國立中興大學農藝系 教授

2009 年全球 25 個主要生產國共栽培 13,400 萬公頃基因轉殖（以下簡稱 GM）作物，前五名分別為美國（6,400 萬公頃）、巴西（2,140 萬公頃）、阿根廷（2,130 萬公頃）、印度（840 萬公頃）及加拿大（820 萬公頃）。GM 作物品項以大豆、棉花、玉米、油菜為最大宗，第一代 GM 作物中有 62 % 具抗殺草劑、15 % 具抗蟲（轉殖 Bt 基因）性狀、21 % 同時具抗殺草劑與抗蟲性狀。

（二）加拿大 GM 作物生產概況：

1. GM 油菜：

2009 年加拿大油菜栽培面積約 640 萬公頃，多集中 Saskatoon 附近



圖 1. 2009 年加拿大油菜栽培分佈圖

（圖 1.），其中有 89 % 是 GM 油菜，均為抗殺草劑品系，其中有約 48 % 為抗嘉磷塞（Glyphosate）品系（Roundup Ready canola, RRcanola），約 40 % 為抗固殺草（Glufofosinate）品系（LIBERTYLINK canola, LLcanola），約 10 % 為抗二氮雜戊烯類

(Imidazolinone) 品系，約 2 % 為抗溴苯腈 (Bromoxynil) 殺草劑品系。

2. GM 大豆：

2009 年加拿大栽培 GM 大豆均為 RoundupReadysoybean，以抗嘉磷塞為主，栽培面積約 16.8 萬公頃，集中於加拿大西部 Ontario 地區。

3. GM 玉米：

2009 年加拿大栽培之 GM 玉米均為 RoundupReadycorn，以抗嘉磷塞為主，栽培面積約 17.6 萬公頃，集中於加拿大西部地區。

(三) 栽培 GM 作物的環境效益：

由於加拿大種植 GM 作物面積廣大，因此對其是否對環境及經濟之影響相當重視，乃針對不同主題，從事 GM 作物對環境影響評估之研究：

1. GM 作物對能源利用效率，達到節能減碳：

2000 年估算栽培抗殺草劑 GM 油菜比栽培非 GM 油菜減少燃料消耗 3,100 萬升 (12.6 升/公頃)，從 1996 年至 2004 年減少燃料的使用量轉化為減少二氧化碳排放量為 9,400 萬公斤；在此期間，由於土壤固碳作用，栽培抗殺草劑油菜可減少機械耕作，進而減少二氧化碳排放量 90,600 萬公斤。

2. 抗殺草劑 GM 油菜田之雜草多樣性：

1990 年與 2000 年調查田間雜草相，結果顯示每區栽培抗殺草劑 GM 油菜田平

均 5.5 種雜草；栽培非 GM 油菜田與小麥田分別平均 7 種與 4.5 種雜草。

3. 基因流佈 (Geneflow) 研究：

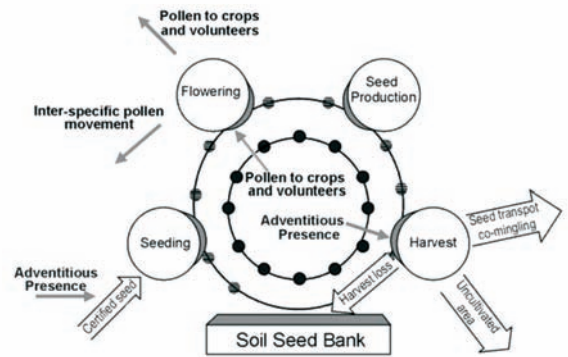


圖 2. 基因流佈原因分析模式圖

GM 作物的基因可藉由花粉傳播或收穫時流佈 (圖 2.)，花粉也可能在品種間傳播；此外，在收穫時可能因部分種子掉落田間，而造成栽培區土壤成為種子庫的情形，或是運送途中從載運車輛或機具的包裝破裂處漏出造成沿路或非栽培區長出該轉殖作物 (圖 3.)，進而雜草化。此外，在溫哥華港區鐵路旁



圖 3. 從 Saskatoon 運輸基因轉殖油菜的路線與發生基因流佈區域圖。紅色線為運輸路線；黃色區域為發生基因流佈區域



圖 4. 從 Saskatoon 運輸基因轉殖油菜時因外漏造成鐵路沿線呈雜草化生長

出現原本只在Saskatoon基因轉殖油菜區栽培的轉殖油菜，且呈現雜草化生長（圖 4。）。

研究分析指出，相鄰田區分別種植單獨「抗嘉磷塞」品系與單獨「抗固殺草」品系的

GM油菜進行花粉飄散試驗（圖 5.），檢視在各田區是否因花粉飄散，相互雜交導致收穫到兼具二種殺草劑抗性的油菜種子，檢測方法是用聚合酵素鏈鎖反應法（PCR）與市售ELISA試紙方式檢測。結果顯示，在相緊鄰的地區，分別收穫到二種殺草劑抗性油菜的比例分別為 1.05 %與 1.35 %，甚至當兩田區間隔距離至 400 公尺的位置仍然約有 0.05 %油菜種子可測出具雙重殺草劑抗性（圖 6.）。

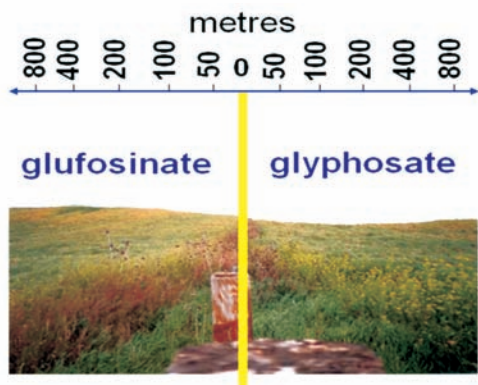


圖 5. 相鄰田區進行「抗嘉磷塞(Glyphosate)」品系與「抗固殺草(Glufosinate)」品系基因轉殖油菜花粉飄散試驗之田間栽培情形

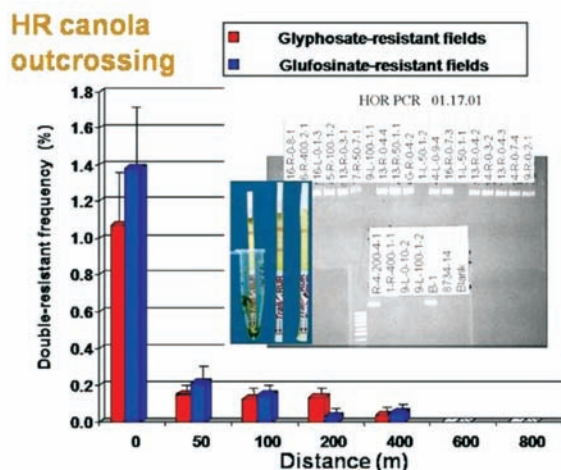


圖 6. 相鄰田區進行「抗嘉磷塞(Glyphosate)」品系與「抗固殺草(Glufosinate)」品系基因轉殖油菜檢出雙重抗性的比例與 PCR 及 ELISA 檢測結果

至於如何防治GM油菜流佈的方式，主要利用油菜在發芽後長出 2-3 片葉時，對殺草劑最為敏感，等到長出 5-6 片葉片時，敏感度會開始大幅降低，因此可利用 2,4-D 殺草劑針對發生GM油菜基因流佈區域，在油菜長出 2-4 片葉的時期進行噴灑，可殺死油菜幼苗，不論是單抗一種殺草劑或抗二或三種殺草劑的油菜均有效果。

作物在共存栽培（co-existence）模式之下，需注意外來花粉是否會造成雜交授粉，尤其是GM油菜與非GM油菜共存栽培時必須有夠遠的隔離距離，以GM油菜 — Roundup-Ready (RR *Brassica napus*) 油菜與非轉殖油菜 (*B. juncea* 及 *B. carinata*) 進行試驗（圖 7.）結果顯示，在相鄰共存栽培情況下，間隔距離在 10 公尺以上發生雜交的機率即大幅下

降，間隔距離在 130 公尺以上雜交的機率趨近於零（圖 8。）。

GM 油菜藉由花粉途徑將轉殖基因流佈至近親雜草（圖 9.）的機率在 *B. rapa*（Polishcanola；bird's rape in Quebec）有 7-14 % 的機會，如果隔離 40 公尺時，可降低至 0.11 %；如果隔離距離達 250 公尺時，可降低至小於 0.01 %。至於轉殖油菜流佈至野生物種，例如野生芥菜與野生蘿菠仍具可能性，其機率小於 2.5×10^{-5} 。

Gene flow: *B. napus* to *B. carinata*
2007-2008

Gene flow: *B. napus* to *B. juncea*



圖 7. 基因轉殖油菜 Roundup-Ready(RR *Brassica napus*)油菜與非基因轉殖油菜(*B. juncea* 及 *B. carinata*)共存栽培試驗栽培情形

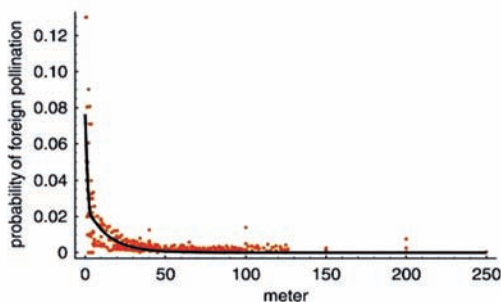


圖 8. 基因轉殖油菜與非基因轉殖油菜共存栽培情形下，間隔距離與發生雜交機率的關係



圖 9. 基因轉殖油菜藉由花粉途徑將轉殖基因流佈至近親雜草的情形

三、GM 亞麻--CDCTriffid 污染事件

Flax growing area



圖 10. 加拿大亞麻生產區域為中南部，以 Saskatchewan 省最多

加拿大亞麻生產區域為中南部，以 Saskatchewan 省最多（圖 10.），全世界第一個 GM 亞麻品種 CDCTriffid，該品種是由 *Arabidopsis* 突變株中分離之 ALS 抗除草劑基因轉殖入 NorLin 亞麻所育成，並在 1996 年 8 月通過加拿大政府許可種植，而加國在 2001 年取消其種植許可，然而 9 年後（2009 年）歐洲卻發現加拿大進口之亞麻子含基因轉殖成分而造成軒然大波，也促使加拿大重新檢討其管制與檢測制度。其大事記如下：

1987 年：ALS gene 突變體在 *Arabidopsis* 中被發現；Dr. Alan McHughen 將其轉殖到 NorLinFlax。

1989 年：在 Kernen Farm 進行田間試驗。

1994-1999 年：進行原種種子生產；但是限制其販賣。

1996 年：批准對環境沒有傷害及可用於飼料；註冊名稱爲 "CDC Triffid"。

1996 年：加拿大政府通過抗除草劑 GM 亞麻 CDCTriffid 的商業種植。

1997 年：加拿大種子出口商開始擔心 GM 種子污染問題。

1998年：CDC Triffids得到Health Canada全面批准種植。

1999年：美國政府通過GM亞麻CDC Triffid的商業種植

2000年：The CFIA and the Flax Council of Canada回收所有CDC Triffid種子

2001年：加拿大政府在4月1號取消CDC Triffid種植許可

2009年：該年9月15日德國實驗室檢測出從加拿大進口的亞麻出現GM成分（德國從未批准過任何的GM亞麻品種）；在所有的種子庫存中有0.1%被檢出具有GM成分。

2009年：10月時非法GM亞麻子在28國出現；自從德國爆發加拿大非法GM亞麻子"Triffid"進口事件後，目前已在歐洲23國家以及模里西斯、南韓、斯里蘭卡、新加坡與泰國等28個國家發現類似案件。各國均宣稱在穀物、麵包與混合核果等產品若發現受污染都會下架，以保障消費者權益。

2009年：11月日本發現由加拿大Canmar穀物產品公司所出口的食用亞麻子發現含有GM成分。現在所有來自加拿大的食用亞麻子貨品都必須經過嚴格檢驗，以確保未受到GM污染。這樣的檢查過程通常得花上一個禮拜才能完成。這樣嚴密檢測將持續到加拿大政府肯正視問題，並提出具體措施來改善為止。日本農林水產省表示他們也將開始對飼料用的加拿大進口亞麻子進行檢查。

2010年：4月美國北達科塔州資源委員會也要求北達科塔州官員隔離來自加拿大的亞麻種子、下達「停止銷售」加拿大亞麻種子的命令，並要求州農委會將所有加拿大亞麻比照為可能的害蟲而加以隔離（該州生產亞麻佔美國的90%以上）。美國目前尚未發現有Triffid污染。但是亞麻協會不以為然，認為加拿大其他亞麻品種已經發

現有Triffid的轉殖基因，而美國每年從加拿大進口大量亞麻，要避免污染幾乎不可能。

由於各國開始對加拿大亞麻子進行嚴格的檢驗措施，使得加國的亞麻產業受到重大衝擊，加拿大的亞麻農傳統上大都是耕種農民自己的自留種。不過未來農民得改種植經過檢驗，確定不含GM品種CDC Triffid的種子。CDC Triffid事件的持續發生可能促使農民拋棄過去傳統的作法，不再自行保存種子留做下一年的使用。縱觀Triffid的散佈，主要還是歸因於兩個作物開發中心的亞麻相關部門—CDC Normandy和CDC Mons的原原種種子遭到污染所致。從限制種植近10年後才造成軒然大波，重創加拿大亞麻產業，其種子細小，不易從收穫機械中乾淨去除及對該GM作物的管制鬆散是造成其嚴重污染的重要因素。

四、結論

加拿大在GM作物對環境生態安全評估工作起步很早，包括GM作物變成超級雜草之可能性、基因流佈之可能性、變成有害生物之可能性、對非目標生物的影響以及對生物多樣性的影響，特別是針對Canola油菜的研究，累積了不少經驗及成果。因此，我國若能加強與加拿大的合作關係，將可大幅提升台灣在GM作物生物安全管理以及檢測監測技術的水準。