

出國報告（出國類別：研習）

加拿大基因轉殖作物之生物安全管理
**Biosafety Regulation of Genetically
Modified Crops in Canada**

服務機關：中興大學農藝系
行政院農業委員會台南區農業改良場
行政院農業委員會農業試驗所鳳山熱帶
園藝試驗分所
行政院農業委員會種苗改良繁殖場

姓名職稱：郭寶錚教授
楊藹華研究員
李文立副研究員兼系主任
沈翰祖副研究員

派赴國家：加拿大
出國期間：99年9月11日至9月20日
報告日期：99年11月22日

目 次

壹、摘要.....	2
貳、前言.....	3
參、目的.....	3
肆、行程表.....	4
伍、內容.....	5
陸、心得與建議.....	28

壹、摘要

農委會國際處於本年3月25日安排加拿大農業部國際科技合作局周堅強副局長至種苗場參訪，並討論至加拿大進行基因轉殖作物檢測與生物安全等相關內容研習與參訪事宜。研習參訪單位為加拿大Agriculture and Agri-Food Canada (AAFC)位於Saskatoon與Ottawa的研究中心、Ottawa的農業部與我國駐加拿大台北經濟文化代表處等，日期為9月11日至20日共10天，本次團員包括中興大學農藝系郭寶錚教授、台南區農業改良場楊藹華研究員、農試所鳳山分所李文立主任、種苗改良繁殖場沈翰祖副研究員等，並由團員共推郭寶錚教授為團長。目的為與加拿大AAFC 研究人員進行基因轉殖作物檢測、作物種源鑑定與生物安全科技交流。與加拿大農業部達成未來基因轉殖作物檢測與生物安全等科技人員互訪、我國派農業科系博士班或博士後研究生至加拿大進行相關科技研究等共識。我國駐加拿大台北經濟文化代表處科技組亦同意協助未來台加合作事宜。

貳、前言

根據 2009 年之 ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications) 統計資料，全世界種植基因轉殖作物 (Genetically Modified Crops, 簡稱 GM 作物) 之面積已達 1 億 4 千萬公頃，其中 9 成以上都在新大陸，以美國為主，依次為阿根廷、巴西、加拿大、巴拉圭、烏拉圭、與墨西哥等國。

基因轉殖生物及其產品廣泛的受到世界各國重視，各自訂有基因轉殖生物與其產製品之相關管理法規及相關農產品檢測及監測平台，且各國對基因轉殖作物管理政策不一，也引發各國之間貿易上、科學性、社會性、經濟性、倫理性的爭議。

近幾年來受到氣候變遷之影響，國際糧價飆漲，逐漸暴露糧食之危機；基因轉殖作物針對特定基因改造，提高生產力及品質之優點，漸漸受到肯定，因此基於消費者與農民種植樣態的選擇權利，部分國家針對基因轉殖作物如何與傳統農業共同存在，提出基因轉殖作物、傳統農業非基因轉殖作物甚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。目前我國參與基因轉殖植物安全性評估工作之研究人員尚無實際經驗，極待給予相關的訓練，進行基因轉殖植物之隔離田間試驗，為提升我國基因轉殖作物生態安全評估工作之品質，以達國際認證水準，需觀摩並學習先進國家之政策制度、法規及管理規範，藉此建立基因轉殖與非基因轉殖共存模式與風險管理，訂定產銷體系規範。藉此建立國際認可之基因轉殖植物鑑定技術與系統，使我國基因轉殖植物能於田間安全無慮的種植，落實生物技術之研發成果。

參、目的

有關基因轉殖作物與傳統農業乃至有機農業之共存體系，國內目前僅止於文獻收集階段，並未有任何學研單位從事實質研究。雖然我國目前尚未有任何基因轉殖作物可合法種植於開放農業區內，隨著時代進展，在可預見的幾年內，將會有許多基因轉殖作物通過生物安全評估試驗而釋出田間。為因應未來基因轉殖作物釋出後對傳統農業產生的衝擊，並維護傳統農業之永續發展，本次研習目的希望透過與加拿大之科技計畫合作方式，引進執行相關共存與管理體系所需技術及資訊，以供我國進行相關共存體系規範之前置研究。

肆、行程表

日期	星期	行 程	地 點
9/11	六	台灣啟程(經國際換日線)當天到溫哥華(VANCOUVER)	溫哥華 (VANCOUVER)
9/12	日	出發到 SASKATOON(搭飛機)	SASKATOON
9/13	一	AAFC 研習參訪(加拿大農業部安排)	SASKATOON
9/14	二	AAFC 研習參訪(加拿大農業部安排)	SASKATOON
9/15	三	出發到 Ottawa(搭飛機)中午抵達 下午至 AAFC 研究中心研習	OTTAWA
9/16	四	拜會我國駐加拿大台北經濟文化代表處、AAFC 研究中心研習	OTTAWA
9/17	五	拜會加拿大農業部、AAFC 研究中心研習。傍晚出發到 VANCOUVER	VANCOUVER
9/18	六	資料整理	VANCOUVER
9/19	日	出發返回台灣	飛機
9/20	一	返抵台灣	

伍、內容

一、加拿大農業研究單位

(一) Agriculture and Agri-Food Canada (AAFC)

加拿大農業暨農產品部(Agriculture and Agri-Food Canada, AAFC)，其主要研究領域為：



1. 經由食品、營養及創新產品增進人類之身心健康
2. 增進食品的品質及食品系統的安全
3. 增進食品供應的保護及安定
4. 增進所有利害相關者的經濟效益
5. 增進加國農業系統之環境表現
6. 增進加國生物資源的了解，保護及保存其遺傳變異性
7. 從生物資源中開發新的機會

此外 AAFC 為增進知識、創造健康以及改善生活品質，也相當重視國際間科學研究活動。以政府的角度立場參與及致力於國際科學論壇的推動，以建立重要的科學議題，並鼓勵其研究人員從事參與國與國間的合作計畫與科學資訊交換，這將有助於對科學發展的掌握。AAFC 認為從國際科學合作可獲得以下利益：

1. 接觸國際知識與技術
2. 有益於建立 AAFC 在科學上世界級的地位
3. 提供加國科技進入國際市場的機會
4. 有益於提升加國產品、技術及規範在國際上的信賴
5. 有益於排除技術上的障礙

為加速 AAFC 與其他國家及政府間組織的科學活動，於 2004 年 4 月成立國際科學合作局(International Scientific Cooperation Bureau)，負責 AAFC 的國際合作事務。因此，AAFC 藉備忘錄(MOU)，學術交流協定、國際性的條約、國際性的學會、雜誌、大學及研討會參與國際科學活動。AAFC 也與行政院農業委員會(Council of Agriculture)簽訂有農業科學合作備忘錄。

為鼓勵知識創新並提升加國農業競爭力，加國全國總共設有 19 個研究中心(Research Centers)(圖 1)。此次參訪的 Saskatoon 研究中心(圖 2)為其中之一，主要位於 University of Saskatchewan 校園內，擁有三個研究農場，分別設於 Saskatchewan 省內 Saskatoon、Scott 與 Melfort。Saskatoon 研究中心的前身為 The Dominion Entomological Laboratory 設立於 1917 年，當初成立，主要是因應黑蚊及蝗蟲的大流行提供昆蟲防治，分別成立昆蟲、

植物病理、植物育種及農藝等單位，1990 年改為現名，此研究中心是加國發展 canola 油菜的重地。該中心現有科學家 42 人、生物學家 14 人、研究生 13 人以及 190 位支援的職員。Saskatoon 研究中心面積在 19 個研究中心僅佔第三位，但所吸引外來資金卻佔第一。



圖1. Agriculture and Agri-Food Canada, AAFC各級研究單位在加拿大分布圖



圖2. Agriculture and Agri-Food Canada, AAFC位於Saskatoon 的研究中心

(二)加拿大植物種源中心 (Plant Gene Resources of Canada, PGRC)

PGRC(圖3)成立於1970年，原來中心位在Ottawa實驗農場，1998年初移至Saskatoon，該中心位於University of Saskatchewan校園內(圖2)，屬於加拿大國家種源資源系統之一，由Dr. Ken Richard所領導(圖4)，中心主要任務蒐集國內外植物資源及研究，Saskatoon植物種原中心以十字花科(油菜、芥菜)、亞麻約300種、飼料作物(玉米)、麥類(大麥)、豆類(雞豆約1,156品系種)及草類等為主，目前已超過965個植物品種，110,000種子樣品及241個植物病原的基因樣品，保存於Saskatoon中心。該中心利用傳統種子儲存方式或無性繁殖方式(組織培養)保存作物，以傳統種子儲存為例，提供三種不同儲存庫環境：長期庫(-20°C)、中期庫(4°C，相對度20%)及低溫冷凍庫(液態氮，-196°C)。在種子儲存時，先將種子乾燥至水分含量為6~8%後再移入長期庫或中期庫；並以先進電腦化資料庫管理系統處理大量資料，資料庫劃分為三個類別—樣品鑑定、評估及管理。以大麥為例，PGRC中心蒐集世界各地之大麥品種系，將種子密封於鋁箔紙袋中儲存於-20°C並加以管理，並以田間、溫網室或生長箱種植方式，定期檢查種子活力、更新繁殖。自1999年以來已經更新繁殖11,000個大麥品種系，並進行植物特性調查、標誌及遺傳評估，提供植物育種家進行優良品種系育成之參考。此外，該中心也運用分子標誌方式RAPDs, AFLPs或Microsatellites進行遺傳歧異度之分析，將植物種源分門別類，表現遺

傳多樣性，保護植物種源之存在，避免因病蟲害發生或氣候變化所引起的物種消失問題。



圖3. 參觀加拿大植物種源中心(PGRC)



圖4. 與PGRC負責人Dr. Ken Richards合影

(三)加拿大農業部(Ottawa)

由加拿大農業部國際科技合作局周堅強副局長帶領參觀位於 Ottawa 之加拿大農業部，並介紹加拿大農部之研究方向。加拿大農部轄有 600 個研究人員，19 個研究中心，13 個研究農場，20 個工作站，土地面積超過 30,227 公頃，過去加拿大農業只有小麥及燕麥，燕麥用於家畜飼料，小麥則供食用，這幾年才發展其他作物如高粱及小米。由於加拿大地處寒帶，土地面積廣大，病蟲害少，因此，加拿大農業政策主要考慮為：

1. 食品安全
2. 環境問題：將以前種菸草之地轉種雜交高粱，供乳牛用；發電廠使用生質能源，符合時代潮流
3. 開發創新科學以提高農業效率及潛力
4. 新農村建設，以新技術取代舊技術
5. 風險規避，由國家政策制定一系列規劃，嶄新農業生命力。

此外，對外發展國際合作，目標在於知識創新、發展經濟、服務全球、科技領先，由於中國大陸土地面積及部份地理環境與加國類似，因此在此架構下與中國大陸簽署備忘錄(MOU)。

(四)加拿大東、中部油料作物研究中心 (Eastern Cereal and Oilseed Research Centre, ECORC)

在周堅強副局長引導下，參觀位於 Ottawa 之 Eastern Cereal and Oilseed Research Centre (ECORC)，該中心主要藉著與加拿大國內及國際間私人與公立組織間的合作關係，發展食品安全、創新以及與農業生產相關的環境研究，在東安大略省及西魁北克省建立可永續性生產作物的土地利用方法。

此行亦拜訪 Dr. Bao-Luo Ma(圖 5)，Dr. Ma 主要研究領域在於發展與了解非生物性逆境(abiotic stress)與植物間的作用，並且發展評估作物在非生物性逆境下所產生危害的技術與解決方法。以及利用光譜訊息分析技術以提升氮肥及水分的吸收，10 年前 Dr. Ma 的團隊即開始進行基因轉殖玉米花粉飄散的相關研究。分別於 2000~2002 年在 Ottawa 三處田區進行大規模田間試驗，三塊田區相隔距離皆超過 3 公里，分別以黃色種皮玉米當花粉親，白色種皮玉米為接受親，田間架設氣象測量設備紀錄風速、風向等資料，藉直感(Xenia)效應探討白色種皮玉米受到污染程度與距離，藉此訂定隔離距離。



圖 5. 本團在周堅強副局長陪同拜訪 Dr. Bao-Luo Ma

二、基因轉殖作物和生物安全評估

Dr. Hugh Beckie – GM Crops and Biosafety Assessment(基因轉殖作物對加拿大環境的影響)

Dr. Hugh Beckie (圖 15)是 Agriculture and Agri-Food Canada (AAFC) 研究中心中負責基因轉殖作物生物安全相關研究主題的研究人員。

(一)全球基因轉殖作物生產概況：

2009 年全球 25 個主要生產國共栽培 1 億 3 千 4 百萬公頃基因轉殖作物，

前五名分別為美國(6千4百萬公頃)、巴西(2千1百40萬公頃)、阿根廷(2千1百30萬公頃)、印度(8百40萬公頃)及加拿大(8百20萬公頃)。機轉作物品項以大豆、棉花、玉米、油菜為最大宗，第一代基因轉殖作物中有62%是具抗殺草劑的、15%是具抗蟲(轉殖Bt基因)性狀、21%兼具抗殺草劑與抗蟲性狀。

(二)加拿大基因轉殖作物生產概況：

1. 基因轉殖油菜：

2009年加拿大油菜栽培面積約6百40萬公頃，多集中Saskatoon附近(圖6)，其中有89%是基因轉殖油菜，轉殖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, RR canola)，約40%為抗固殺草(Glufosinate)品系(LIBERTY LINK canola, LL canola)，約10%為抗二氮雜戊烯類(Imidazolinone)品系，約2%為抗Bromoxynil殺草劑品系。

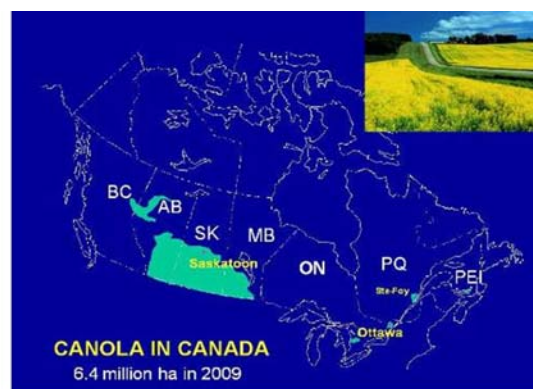


圖6. 2009年加拿大油菜栽培分佈圖

2. 基因轉殖大豆：

2009年加拿大栽培基因轉殖大豆均為Roundup Ready soybean，以抗嘉磷塞(Glyphosate)為主，栽培面積約16萬8千公頃，集中於加拿大西部Ontario地區。

3. 基因轉殖玉米：

2009年加拿大栽培之基因轉殖玉米均為Roundup Ready corn，以抗嘉磷塞(Glyphosate)為主，栽培面積約17萬6千公頃，集中於加拿大西部地區。

(三)栽培基因轉殖作物的環境效益：

由於加拿大種植基因轉殖作物面積廣大，因此，對於基因轉殖作物是否對環境及經濟之影響相當重視，乃針對不同主題，從事基因轉殖作物對環境影響評估之研究：

1. 基因轉殖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基因轉殖油菜比栽培非基因轉殖油菜減少燃料消耗 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九千四百萬公斤；在此期間，由於土壤固碳作用，栽培抗殺草劑基因轉殖油菜可減少機械耕作，進而減少二氧化碳排放量九億零六百萬公斤。

2. 環境評估—抗殺草劑基因轉殖油菜和雜草多樣性：
1990 年與 2000 年調查田間雜草相結果顯示每區栽培抗殺草劑基因轉殖油菜田平均 5.5 種雜草；栽培非基因轉殖油菜田與小麥田分別平均 7 種與 4.5 種雜草。
3. 基因流佈(Gene flow)研究：

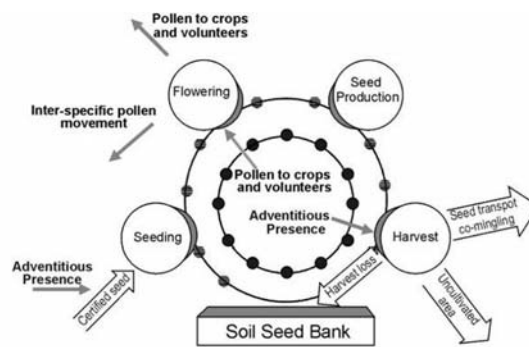


圖 7. 基因流佈原因分析模式圖

轉殖作物的基因可藉由花粉傳播或收穫時流佈(圖 7)，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，而造成栽培區土壤中成為種子庫的情形，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 8)，進而雜草化。研究基因流佈，甚至發現在溫哥華港區鐵路旁出現原本只在 Saskatoon 基因轉殖油菜區栽培的轉殖油菜，且呈現雜草化生長(圖 9)。



圖 8. 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 9. 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

甚至研究分析，相鄰田區分別種植單獨「抗嘉磷塞(Glyphosate)」品系與單獨「抗固殺草(Glufosinate)」品系的基因轉殖油菜進行花粉飄散試驗(圖 10)，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%油菜種子可測出具有雙重殺草劑抗性(圖 11)，

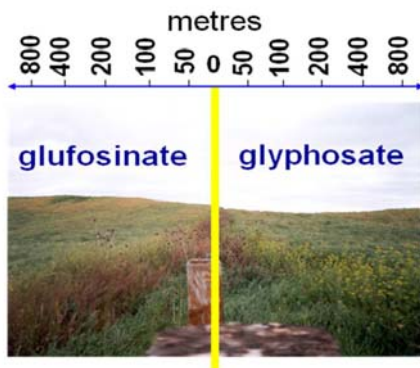


圖 10. 相鄰田區進行「抗嘉磷塞 (Glyphosate)」品系與「抗固殺草(Glufosinate)」品系基因轉殖油菜花粉飄散試驗之田間栽培情形

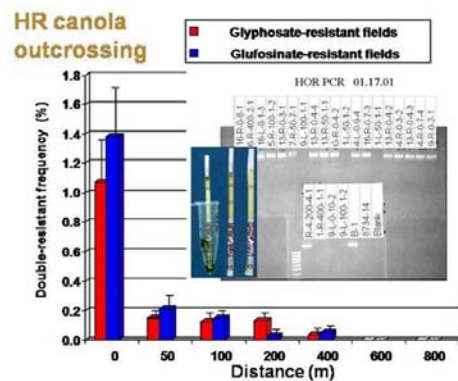


圖 11. 相鄰田區進行「抗嘉磷塞 (Glyphosate)」品系與「抗固殺草(Glufosinate)」品系基因轉殖油菜檢出雙重抗性的比例與PCR及ELISA檢測結果

至於如何防治基儼晚殖油菜流佈的方式，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 殺草劑針對發生轉殖油菜基因流佈區域，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，尤其是轉殖油菜與非轉殖油菜共存栽培時必須有夠遠的隔離距離，以轉殖油菜 Roundup-Ready(RR *B. napus*)油菜與非轉殖油菜(*B. juncea* 及 *B. carinata*)進行試驗(圖 12)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 13)。

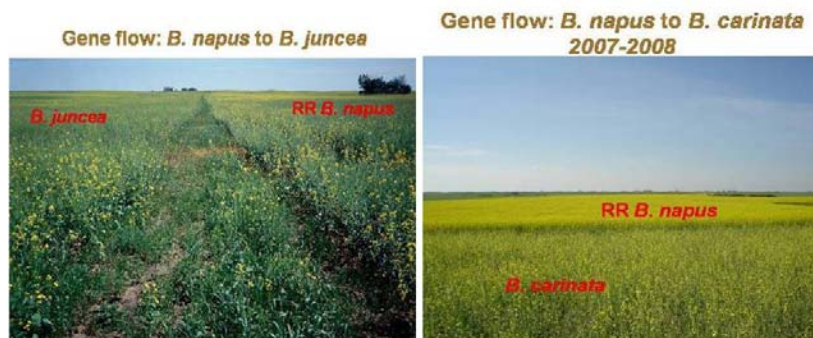


圖 12. 基因轉殖油菜Roundup-Ready(RR *B. napus*)油菜與非基因轉殖油菜(*B. juncea*及*B. carinata*)共存栽培試驗栽培情形

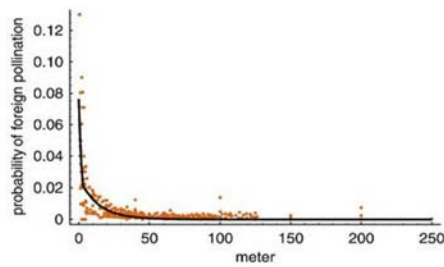


圖13. 基因轉殖油菜與非基因轉殖油菜共存栽培情況下，間隔距離與發生雜交機率的關係

轉殖油菜藉由花粉途徑將轉殖基因流佈至近親雜草(圖 14)的機率在 *B. rapa* (Polish canola; 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} 。



圖14. 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。

(四)加拿大目前進行作物機能的相關研究：

1. 研究主題：
 - 增加作物營養品質、生物產品和製藥、生質燃料、植物形態/生理學、耐逆境等。
2. 針對植物形態/生理學相關性狀在田間進行試驗的項目：
 - (1) 生育能力：油菜、玉米
 - (2) 改變成熟與生育期：油菜、大豆、玉米
 - (3) 改變老化：玉米
 - (4) 增加產量：小麥、油菜、大豆、玉米、水稻、苜蓿
 - (5) 改變花期：玉米
 - (6) 提高發芽率：油菜、玉米
3. 針對非生物影響性狀在田間進行試驗的項目：

- (1) 氮肥利用率：大豆、玉米、水稻
- (2) 耐旱性：油菜、小麥、大豆、玉米、棉花、馬鈴薯
- (3) 耐鹽性：大豆、玉米、水稻
- (4) 耐逆境：小麥、大麥、油菜、大豆、玉米
- (5) 耐熱性：玉米、棉花、油菜
- (6) 耐淹水：水稻



圖 15. 研習參訪團員於 AAFC 研究中心與 Dr. Hugh Beckie(右起3)及 Dr. Dwayne Hegedus(右起1)合影。

三、參訪Monsanto公司研究部門和農民油菜田：

加拿大為全球基因轉殖油菜最大的栽培國，而我國在冬季裡作栽培油菜已成為農村特殊的美麗景緻，不僅有綠肥的作用，更兼具景觀綠美化與觀光旅遊等功能。然台灣的油菜種子多由國外進口，雖然台灣種植的油菜為小油菜(*Brissicae campestris*)，與加拿大等國基因轉殖油菜使用的大油菜(*Brissicae napus*)不同，但根據 Agriculture and Agri-Food Canada (AAFC) 研究中心相關人員研究結果顯示 *Brissicae campestris* 與 *Brissicae napus* 可以相互雜交，而台灣也有利用二者雜交育成新竹 2 號、桃園 3 號、4 號等品種，為避免進口油菜種子中混雜轉殖油菜，進而與本土油菜或其他十字花科蔬菜甚或十字花科雜草等發生基因流佈現象，因此亟需瞭解轉殖油菜在種子公司與田間實際的栽培情形，並蒐集其 DNA 樣品。因此，本次研習參訪行程中由 AAFC 研究中心安排並有 Dr. Hugh Beckie 與 Dr. Dwayne Hegedus 陪同至 Monsanto 公司設於 Saskatoon 的研究中心與農民栽培轉殖油菜的農場進行參觀。

Monsanto 公司生產的轉殖油菜為抗嘉磷塞(Glyphosate)品系(Roundup Ready canola, RR canola)與抗固殺草(Glufosinate)品系(LIBERTY LINK canola, LL canola)，Saskatoon 的作物技術研究中心(Crop Technology Research Center, Saskatoon)是 Monsanto 公司的衛星研究中心，研究作物以油菜為主，另有少量玉米與大豆的研究，以協助總公司達成作物產量倍增(依 2000 年的產量水準)、生產低成本高附加價值種子、提升農民生活水準

等三大目標。加拿大自 1996 年開始栽培基因轉殖油菜，平均有 89% 是基因轉殖油菜，最多曾達 97%。早期以具殺草劑抗性為主軸，從 2011 年開始，油菜研發的重點將置於轉殖抗逆境、高產、高品質等性狀基因。依 Monsanto 公司的經驗，一個轉殖作物要商品化大約需 8-10 年，約需花費 100 萬美金以上經費。Saskatoon 研究中心目前的工作包括油菜育種、小田區試驗、農藝作物展示、油菜田間性狀檢測等，其中配合加拿大政府政策，針對不同轉殖油菜品系間花粉飄散情況進行面積 5 公頃的隔離田間試驗(圖 16)，其中有上千個小試驗田(圖 17)，周圍也種植不同花期的油菜。



圖16. 針對不同轉殖油菜品系間花粉飄散情況，進行面積5公頃的隔離田間試驗

在參觀 Saskatoon 研究中心的轉殖油菜試驗田時(圖 17-21)，參訪人員經過研究中心人員 Patricia Meyers 小姐同意，利用參訪人員由台灣帶去的 DNA 取樣試劑(FTA Card)進行田間油菜葉片 DNA 取樣，共進行 3 個試驗區的取樣，利用 FTA Card 亦可避免直接將葉片樣品攜回台灣造成防檢疫的問題。取樣田區位於北緯 $52^{\circ}10'24.3''$ 、西經 $106^{\circ}29'31.0''$ 處(圖 22)。



圖17. 針對不同轉殖油菜品系間花粉飄散情況進行隔離田間試驗的小試驗區



圖18. Monsanto研究人員針對轉殖油菜花粉飄散試驗區進行簡介，右為Patricia Meyers小姐



圖19. Monsanto轉殖油菜結實情形



圖20. Monsanto轉殖油菜試驗田區開花情形



圖21. 研習參訪團員於Monsanto公司Saskatoon研究中心與AAFC的Dr. Hugh Beckie、Dr. Dwayne Hegedus與Patricia Meyers小姐合影



圖22. 參訪團員以GPS於Monsanto公司Saskatoon研究中心取樣田區進行座標定位以GPS進行衛星定位

Saskatoon 為加拿大主要轉殖油菜產區，AAFC 研究中心安排至農民栽培轉殖油菜的農場進行參觀，該農民栽培面積可以一望無際來形容(圖 23)，目前在此地區的油菜均為結實期，但在油菜田中出現許多小麥(圖 24)，經詢問陪同的 Dr. Hugh Beckie，得知在加拿大栽培油菜多數與小麥進行輪作，用以減少病蟲害發生的機會，因此會發生栽培區混雜其他作物的情形，就如 Dr. Huges 替我們研習時指出，這樣的田區土壤往往會成為一個種子庫，當然在栽培小麥的田區也會出現基因轉殖油菜，而有基因流佈的機會。參觀時亦利用 FTA Card 進行農民栽培田間油菜葉片 DNA 取樣，共取樣 2 個田區，取樣田區位於北緯 $52^{\circ}7'58.7''$ ，西經 $106^{\circ}31'35.6''$ 處(圖 25)。



圖23. 加拿大Saskatoon栽培基因轉殖油菜的農場



圖24. 栽培基因轉殖油菜田中混生前期作小麥



圖25. 栽培基因轉殖油菜農場取樣田區以GPS進行衛星定位

FTA Card 是一種類似濾紙的材質，中央圓圈的範圍內具有吸附 DNA 的特殊成分，以 FTA Card 進行田間油菜葉片 DNA 取樣步驟為將葉片放至內含 FTA Card 的封口袋內，並予以編號，待晚間回到住宿旅館時將葉片對準 FTA Card 中央圓圈的範圍內(圖 26)，利用簽字筆在葉片上方隔著封口袋敲擊至葉片完全被搗碎，並使汁液流於 FTA Card 圓圈內(圖 27)，靜置隔夜(圖 28)待汁液被 FTA Card 完全吸收後，將葉片殘渣以鑷子夾出棄置(圖 29)，如此即完成基因轉殖油菜葉片 DNA 取樣，待回台後再用其專用的 wash buffer 將雜質洗掉，即可再由圓圈內將吸附的 DNA 萃取出來以進行後續試驗。



圖26. 將基因轉殖油菜葉片樣品置於保存DNA用的FTA Card中央圓圈範圍內

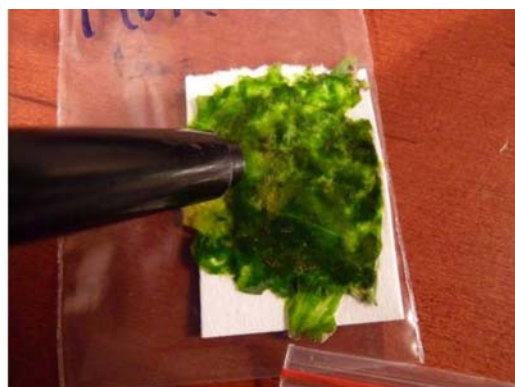


圖27. 以簽字筆隔封口袋敲擊基因轉殖油菜葉片使汁液流於FTA Card圓圈內



圖28. 靜置隔夜使基因轉殖油菜葉片汁液充分吸附於FTA Card圓圈內



圖29. 靜置隔夜後將FTA Card上方葉片殘渣以鑷子夾出棄置。

四、油菜的傳統育種

Dr. Bifang Chen – Mustards and new Crop Opportunities

(芥菜與新作物的機會)

Dr. Bifang Chen 是 Agriculture and Agri-Food Canada (AAFC) 研究中心中負責十字花科作物傳統育種相關研究主題的研究人員。

芥菜(yellow mustard、brown mustard 或 green mustard)是製作黃芥末醬的

材料，在中國亦作為泡菜材料，目前 AAFC 的研究方向是育出高蛋白質含量與低灰份的品種。

小油菜 *Brissicae campestris* 與大油菜 *Brissicae napus* (canola) 雖為不同的品種，但可以相互雜交，在育種時必須錯開其栽培時間與花期，以避免發生基因流佈；而在育種前也必須完全確定親本未被轉殖的基因污染。至於高蛋白質含量篩選，則利用種皮顏色分辨之，Canola 的種皮有黃與黑二種顏色(圖 30)，其中黃色種皮者的蛋白質含量較高。



圖30. Canola的種皮有黃與黑二種顏色

五、基因轉殖作物隔離溫室

Kristjansson Biotechnology Complex (Transgenic Plant Centre)

本次研習所參觀的基因轉殖植物中心包括研究室與隔離溫室(圖31)，二者是連結在一起，其中隔離溫室又分為走入式生長箱區、溫室區與準備區三個連結的區域，進入前須先經過第一層門以進入其準備區，準備區具刷卡門禁管制與溫室遠端控制系統(圖32)。遠端控制系統可監看與設定溫室內不同隔間(圖33)的溫度、濕度、光照與風速等，更可細看各隔間植床上方設定溫度、實際溫度與植床下方溫度、冰水熱水等升降溫系統與內循環風扇運轉的情形(圖34、35)，並有自動警示功能(圖36)，例如當實際溫度超出設定溫度某個範圍時，或循環風扇故障未運轉時，警示系統會發出警報，並自動以手機等方式通知系統設定之管理人員們，以降低系統發生故障時造成的風險。

走入式生長箱區是以保溫庫板進行各生長箱隔間，進入各生長箱的拉門上設有可以開啟之瞻視窗小門(圖 37、38)，生長箱區另設有獨立的一間生物安全室可進行相關試驗(圖 47)。

溫室準備區(圖 45)除上述系統與常見的工作台、清洗槽、網蓋排水溝槽等外，尚在廢棄物處理區域設有大型角型高溫高壓滅菌釜(圖 46)，將相關基

因轉殖廢棄之植物、栽培容器與介質等先經高溫高壓銷毀與滅菌後才進行丟棄。

隔離溫室經過刷卡通過管制之門禁後才可由第二層門進入溫室區。溫室區採工作通道與各溫室隔間獨立分離式設計，通道要進入各溫室隔間另有一道手推門隔離，通道亦是冰熱水升降溫、供水、供電與消防等系統相關管路的通路(圖39)，電力、弱電相關的電箱與控制器為避免溫室內溼度過高，均安置於通道二側的電箱內(圖40)。溫室植床的灌溉採滴灌系統(圖41)；人工照明採400W植物生長專用高壓鈉燈(圖43、44)；部分隔間區為因應試驗需求，尚設置工作桌；溫室內以熱水管於溫室內側四周進行升溫(圖39)，為使加溫均勻且快速，熱水管外部套以金屬散熱環片進行周邊空氣加溫(圖42)；溫室的進氣裝置、通氣天窗與側窗外部均包覆有防蟲網的設置，以防止昆蟲與雜物進入溫室(圖48、49)。



圖31. AAFC之基因轉殖植物中心隔離溫室



圖32. AAFC之基因轉殖植物中心隔離溫室溫室之遠端控制系統

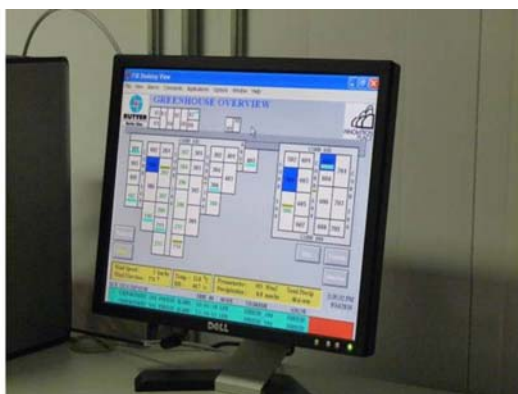


圖33. AAFC之基因轉殖植物中心隔離溫室遠端控制系統可監看溫室內不同隔間之資訊

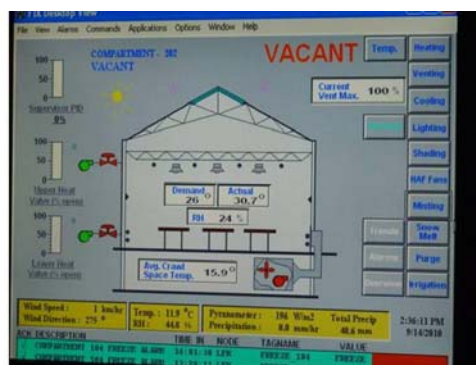


圖34. AAFC之基因轉殖植物中心隔離溫室遠端控制系統可設定並監看各隔間植床上方設定溫度、實際溫度與植床下方溫度、冰水熱水等升降溫系統與內循環風扇運轉的情形

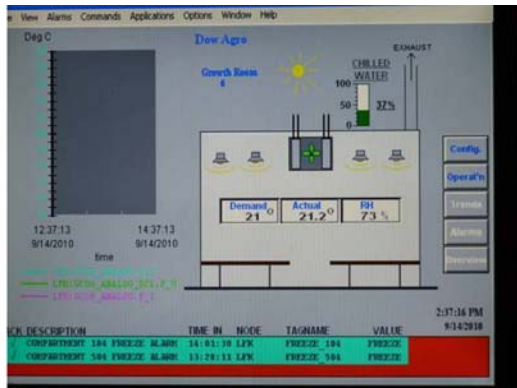


圖35. AAFC之基因轉殖植物中心隔離溫室遠端控制系統可細看冰水熱水等升降溫系統與內循環風扇運轉的情形

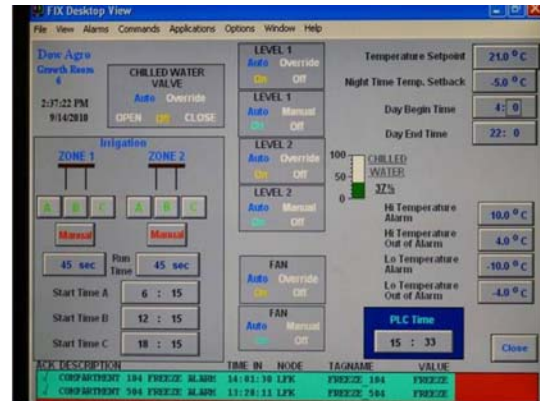


圖36. AAFC之基因轉殖植物中心隔離溫室遠端控制系統具自動警示功能



圖37. AAFC之基因轉殖植物中心走入式生長箱拉門上之瞻視窗。



圖38. AAFC之基因轉殖植物中心走入式生長箱內部配置



圖39. AAFC之基因轉殖植物中心隔離溫室冰熱水升降溫、供水、供電與消防等系統相關管路設於通路上方



圖40. AAFC之基因轉殖植物中心隔離溫室電力、弱電相關的電箱與控制器安置於通道二側的電箱內



圖41. AAFC之基因轉殖植物中心隔離溫室植床的灌溉採滴灌系統



圖42. AAFC之基因轉殖植物中心隔離溫室內加溫用熱水管外部套以分散狀金屬散熱環進行周邊空氣加溫



圖43. AAFC之基因轉殖植物中心隔離溫室人工照明系統



圖44. AAFC之基因轉殖植物中心隔離溫室人工照明採400W植物生長專用高壓鈉燈



圖45. AAFC之基因轉殖植物中心隔離溫室準備區



圖46. AAFC之基因轉殖植物中心隔離溫室準備區設有大型角型高溫高壓滅菌釜。



圖47. AAFC之基因轉殖植物中心隔離溫室生長箱區另設有獨立的生物安全櫃室



圖48. AAFC之基因轉殖植物中心隔離溫室溫室的天窗外部均包覆有防蟲網的設置，以防止昆蟲與雜物進入溫室



圖49. AAFC之基因轉殖植物中心隔離溫室溫室的側窗外部均包覆有防蟲網的設置，以防止昆蟲與雜物進入溫室。

六、加拿大農業部雜糧研究概況

周副局長在這幾年極力推展燕麥(圖 50) 栽培，將燕麥自加拿大推廣至中國大陸黑龍江、陝北，寧夏，甘肅等地黃土高原，新疆草原退化區，內蒙古、山東貧瘠地等地方。燕麥具有耐寒，抗旱，耐土地脊薄，耐適度鹽鹼(pH8.5~pH9.5)，具糧食與牧草功能，不佔小麥及稻米耕地且農業風險係數低，為貧瘠、乾旱與鹽化地區良好作物。燕麥多作為飼料用，只有 4% 左右的燕麥用於人類食品，主要作為燕麥片。由於現代社會對健康理念，功能食品的追求，成為推動現代農業變革的動力。自 20 世紀醫學和營養學家

發現燕麥具降血糖，降膽固醇的保健作用，使燕麥加工技術、食品科學發展和 21 世紀健康飲食結合。而燕麥育種新的突破和優質高產品種的育成奠定了燕麥從飼料轉向主食的基礎，周副局長也因此提出水稻、小麥以外，燕麥成為「第三主糧」之構思。台灣早期也曾種植燕麥，甚至台灣大學曾育成一個燕麥品種「台大選 1 號」，但主要為飼料青芻用。隨著氣候變遷，台灣沿海地區高鹽分地，已經無法種植作物、休耕地廣大。而燕麥為美國 FDA 認證為功能食品，可降低心血管疾病率、甚至燕麥中 B-葡聚糖能平穩血糖含量，對糖尿病患者具有益處，台灣應該也可以評估引種、選種及推廣的可能性。

此行也參訪位於 Ottawa 之玉米育種中心，由朱小陽先生介紹加國玉米育種方向，除了傳統高產優質的育種外，針對病蟲害抗性，特別是抗穗腐病及抗蟲玉米品種（系）育成，以降低種子發芽期、幼苗期或籽粒乳熟期遇低溫寒害等環境劣勢造成之生產風險，並發展早熟玉米優良組合，以確保持續生產。

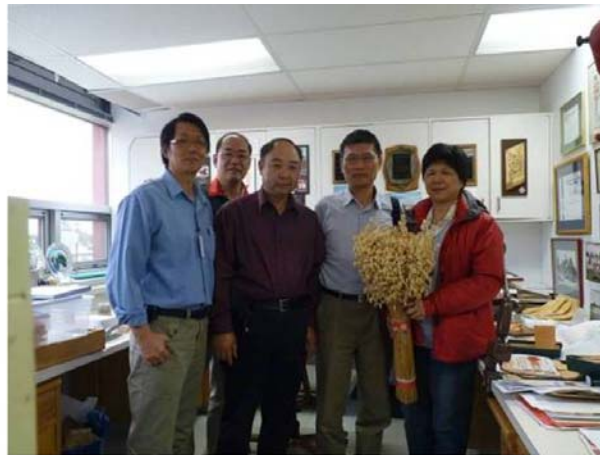


圖 50.參觀加拿大農業暨農產品部燕麥研究室，左3為國際科學合作局周堅強副局長

七、基因轉殖亞麻--CDC Triffid 污染事件

亞麻的生產也是加拿大國內重要的農業項目，由於亞麻子中含有 Omega-3 脂肪酸可降低過高的膽固醇和血壓，減少過多三酸甘油脂的含量，預防血液凝塊的形成，保持血液流暢，避免阻塞，並且它還可以降低血液

中蛋白質高胱氨酸的含量，亞麻仁油便成為 Omega-3 脂肪酸的最佳來源之一，加拿大亞麻生產區域為中南部，以 Saskatchewan 省最多(圖 51)，AAFC 的 Dr. Golden (圖 59)為我們介紹了全世界第一個基因轉殖亞麻品種 CDC Triffid，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 NorLin Flax。

1989 年：在 Kernan 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; 註冊名稱為”CDC Triffid”。

1996 年：加拿大政府通過抗除草劑基因轉殖亞麻 CDC Triffid 的商業種植。

1997 年：加拿大種子出口商開始擔心基因轉殖種子污染問題。

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

1999 年：美國政府通過基因轉殖亞麻 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基因轉殖成分(德國從未批准過任何的基因轉殖亞麻品種)；在所有的種子庫存中有 0.1%被檢出具有基因轉殖成分。

2009 年：10 月時非法基因轉殖亞麻子在 28 國出現；自從德國爆發加拿大非法基因轉殖亞麻子”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基因轉殖成分。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，以確保未受到基因轉殖污染。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。



圖51.加拿大亞麻生產區域為中南部，以Saskatchewan省最多

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，而早在十年前就應被銷毀的基因轉殖種子竟使得歐盟拒絕加拿大的亞麻貨品並下令退回。歐盟是加拿大亞麻最大的買家，自去年發生了亞麻中不慎含有基因轉殖生物的事件後，加拿大亞麻

無法進口歐盟長達數個月之久，直到 2009 年底才又在新規定下重新出口歐洲。加拿大亞麻業代表希望能說服歐盟將基因轉殖生物的容許量從原本的 0.01% 提高到 0.1%。Dr. Golden 表示，亞麻業很有可能必須要停工三到五年才能除掉那些已經種植可能會污染的基因轉殖種子。

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，確定不含基因轉殖品種 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基因轉殖作物的管制鬆散是造成其嚴重污染的重要因素。

目前各國對 Triffid 的檢測採行 T-nos::spc 構築的檢測方式進行，利用即時定量 PCR (Real-time PCR) 技術進行定量。利用此檢驗方式對加拿大境內的 3234 個亞麻生產農場進行檢測(圖 52)，在 0.01% 的標準下，樣點中污染比率高於 0.01% 者達 104 個(圖 53)、低於 0.01% 者達 203 個(圖 54)，亦即少於 10% 的農場檢出含基因轉殖亞麻，然而歐盟對於基因轉殖成分的亞麻產品卻希望是「零檢出」，由於無法對此結果產生共識，造成貿易上的障礙。Dr. Rowland 指出檢測方法是雙方爭議的起源，歐盟並未承認加方的「未檢出」而對「檢出」卻認可，另外在這樣靈敏的檢測技術下往往會產生偽陰性(false negatives)及偽陽性(false positives)，使檢驗結果產生爭議。

加國利用即時定量 PCR 檢測之亞麻種子樣品每包重 60 公克(圖 55)，並利用磨粉機磨碎種子(圖 56)再取樣萃取 DNA，但是容器內部清洗不易，需特別留意，以免檢體交叉污染，取樣後以自動萃取系統分離 DNA(圖 57)進行 Real-time PCR 定量檢測(圖 58)。

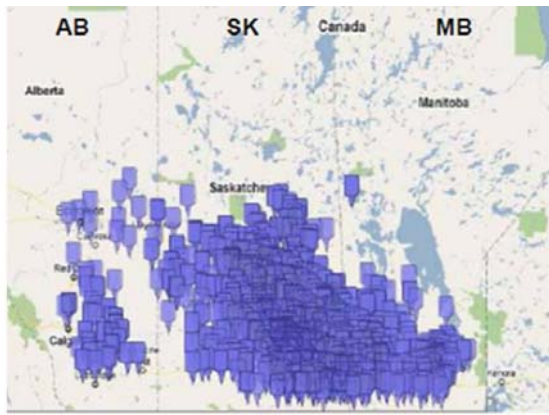


圖52.為研究triffid在加國污染情形，對3234個生產者進行取樣

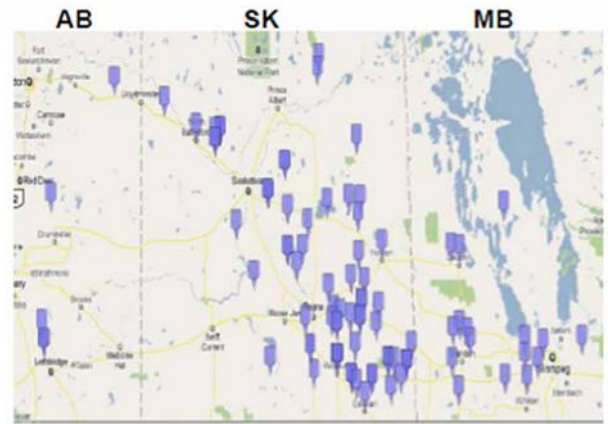


圖53.樣點中污染比率高於0.01%者達104個

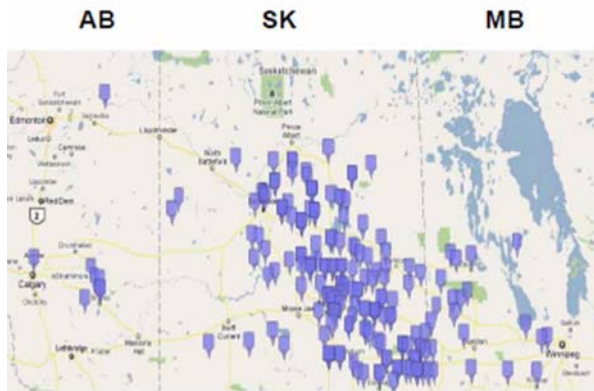


圖54.樣點中污染比率低於0.01%者達203個



圖55.待檢測亞麻種子每包重60公克



圖56.利用磨粉機磨碎種子



圖57.以自動萃取系統自動萃取DNA，黃衫者為負責解說的Steven先生



圖58.基因轉殖亞麻以即時PCR進行檢測與定量。



圖59. 研習參訪團員與Dr. Dwayne Hegedus(右2)及Dr. Golden Rowland (右3) 合影

九、拜會我國駐加拿大台北經濟文化代表處

此行亦拜訪駐加拿大台北經濟文化代表處，由科技組邵簡任秘書驥接待，並詳細為我們介紹台灣與加拿大AAFC間簽有MOU，其重點項目為 Functional Food 及 Food Safety。也希望台灣能有相關研究人員或碩博士學生在加拿大AAFC所屬研究中心進行各項合作與研習。



圖60. 與駐加拿大台北經濟文化代表處科技組邵驥任秘書(左1)合影

十、拜會加拿大農業部

9月17日上午拜訪加拿大農業部位於Ottawa的辦公室，與加拿大農業部負責雙邊關係及科技貿易的負責人Mr. Muray Gwyer (Director, Asia and Oceania Division, Bilateral Relations and Technical Trade Directorate)、國際科技合作局副局長Dr. Jianqiang Zhou以及相關工作人員(Brad Wood, Trade Policy Analyst ,Technical Trade Policy Division; Verna Mitura, Senior Trade

Policy Analyst, Asia and Oceania Division, Bilateral Relations and Technical Trade Policy Directorate; Sarah Akhtar, International Market Development Officer, Asia and Division, Bilateral Relations and Technical Trade Directorate; Arab Sekhi, Deputy Director, Asia and Oceania Division, Bilateral Relations and Technical Trade Directorate)一起座談，Mr. Muray Gwyer 對我們代表團表示歡迎，認為台灣是加拿大的重要貿易夥伴，加拿大也很重視與台灣之間的合作關係，藉由我們這次到加拿大農業部所屬的研究中心參觀，希望能有助於未來兩國學者、研究人員、甚至學生間的相互交流，我們也介紹台灣目前對基因轉殖作物的政策立場，對基因轉殖作物科技管理現狀，並比較與國際發展近況的差異，並且希望能加強與加拿大在農業研究上的合作。特別是基因轉殖作物生物安全評估、檢測及監測技術，以及基因轉殖作物花粉飄散模式建立等主題。周副局長特別強調加拿大農業部藉著與各國間所簽訂的備忘錄(MOU)，並依據各國所提實際合作項目進行交流，也希望我國政府在未來與加拿大農業部更新MOU內容時，能夠把實際所需要加強交流的項目詳細列入，甚至將期望交流的方法提出，以做為雙邊交流的依據。加拿大也對台灣過去在園藝作物科技研究成果的印象深刻，特別是對設施栽培有相當的興趣，希望未來有合作的機會。加拿大農業部也希望我們能就這次參訪後所提出加強與加拿大農業部雙邊合作的建議，能以正式公文方式經由農委會提供給加拿大農業部做為參考，以確實擬定加強雙邊合作的具體可行方案。



圖61. 與加拿大農業部國際合作事務相關人員合影

陸、心得與建議

- 一、在計畫執行過程邀請加拿大對基因轉殖作物生物安全與共存體系研究具有實務經驗之專家訪台。訪台期間以工作討論會的方式，以案例分析方式，實際針對可能流入我國栽培的基因轉殖作物如大豆、油菜、玉米等之研究進行專題討論，並協助我國實體研究之試驗設計規劃與執行策略之修正。
- 二、透過計畫成立跨領域基因轉殖作物生物安全小組，分別針對特定之基因轉殖作物進行與現存傳統農業與有機農業體共存之安全性評估，並透過官方安排，選派小組核心決策成員赴歐盟、加拿大參訪執行基因轉殖作物生物安全與共存計畫之相關機構與研究人員，收集有關該國執行共存體系之法規制定內容與案例研究成果，並提出我國未來栽培制度規劃、對基因轉殖作物管理決策時之建議。
- 三、由基因轉殖作物審議委員會委任之基因轉殖作物檢定機構，針對可能流入我國栽培之基因轉殖作物，於基因轉殖作物種苗生產專區與基因轉殖作物栽培區，建立並持續執行由種苗到田間的檢測與監測追蹤體系。
- 四、加拿大在基因轉殖作物對環境生態安全評估工作起步很早，評估項目包括：基因轉殖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。因此可加強與加拿大的合作關係，以提升台灣在基因轉殖作物生物安全管理以及檢測監測技術的水準。
- 五、加拿大在 10 年前已開始進行基因轉殖作物花粉飄散(pollen flow)的大規模田間試驗，蒐集不同栽培距離及不同時間隔離下的田間資料，以做為基因轉殖作物田間管理的依據，台灣應該持續進行相關研究，建立本土資料庫以利相關決策系統的建立。
- 六、AAFC 與中國吉林省燕麥工程研究中心(Jilin Provincial Oat Engineering Research Centre)簽有 MOU，並設有中國-加拿大燕麥科學與创新中心(China-Canada Science and Innovation Centre on Oats)，以促進雙方在燕麥研究上的合作。台灣過去曾種植過燕麥，主要以青芻飼料為主，民國 71 年栽培面積達 440 公頃，但民國 78 年後漸被盤固草

取代，曾有台大選 1 號春播型品種育成，政府如欲活化休耕田，可評估燕麥在台灣栽培以及加工成保健食品的可能性。而加拿大在新燕麥品種的選育、栽培技術、收穫儲藏及加工管理的經驗可做為台灣之參考。

- 七、AAFC 的國際科學合作局負責國際合作事務，其 2010 年的聯合研究項目如附件，台灣可加強與加拿大在農業研究上的合作，提供農業研究人員的互訪與農業資訊的交流，以強化合作機會，並可推薦農業科系博士班或博士後研究員到加拿大學習。未來農委會與 AAFC 更新 MOU 時，可將基因轉殖作物生物安全評估、檢測及監測技術、以及花粉飄散模式建立等課題列入，將有助於農委會所屬機關派員到加拿大進行短期或中長期的學習。