

夏威夷基改木瓜檢測與生物安全(上)

沈翰祖¹、鍾文全²、楊藹華³、李文立⁴

前言

基改作物之栽培在近年來急速增加，2006之 ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications) 之統計資料顯示，全世界栽培基改作物之耕地面積已達1億零2百萬公頃。基改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。APEC各經濟體均各自訂有基改生物與其產製品之相關管理法規，並針對基改之植物種苗及相關農產品建構檢測及監測平台。根據新修訂之種苗法及相關管理法規，有關基改作物在上市前除須進行生物安全評估外，上市後，產品除須標示外，亦須接受主管機關監控，以維護國內生態環境之安全。但是在執行上，目前僅及於轉殖作物風險評估作業，有關基改作物種苗檢測技術自2003年起才開始由種苗場及農試所等單位針對重要可能進口作物開發檢測技術。

現階段國內完成基改作物田間試驗階

-
- 1.種苗改良繁殖場 助理研究員
 - 2.種苗改良繁殖場 副研究員
 - 3.台南區農業改良場義竹工作站 副研究員兼主任
 - 4.農業試驗所鳳山分所 助理研究員

段者為「抗輪點病毒」木瓜，正在田間試驗階段者有七項，包括稻米（生產豬乳鐵蛋白及高效能植酸素二項）、馬鈴薯（生產高效能植酸素）、青花菜（抗老化）、番茄（抗胡瓜嵌紋病毒）、赤朶（木質素生合成基因）、木瓜（雙重抗木瓜輪點病毒及木瓜崎葉嵌紋病毒）。此外，基因改造玉米及大豆已為衛生署公告許可上市品項，產品原料雖以大宗穀物途徑進口，但也可能流入田間種植。為國內基改植物之生物安全管理，並了解其或因運輸過程之不當散出或被以非核准目的用途使用之可能情形，有必要儘早建立國內基改植物檢測流程及田間監測體系。故安排參訪夏威夷大學及相關農業研究單位，目的以瞭解夏威夷基改木瓜栽培與管理情形、參觀夏威夷基改木瓜與非基改木瓜共存栽培情形、研習夏威夷基改木瓜檢測技術、瞭解夏威夷其他基改作物發展與管理等情形。

(一) 基改木瓜花粉流佈與共存栽培

基因漂移是指基因通過花粉授精雜交等途徑在種群之間擴散的過程。基改植物外源基因散佈大致上可分為4類：一、透過種子在時間上的散佈，二、透過花粉傳播在空間上的散佈，三、透過基改植物殘

渣及根系分泌物的散佈，四、透過食物鏈的散佈，其中以基改植物透過花粉散佈是基因散佈的主要管道。基改作物與其親緣相近的栽培種或野生種之間透過花粉傳播而發生基因交換，使得外源基因漂移到親緣相近的物種中，進而破壞生態系統多樣性，導致超級雜草問題的產生。藉由花粉傳播而產生的基因散佈會受族群間的距離、族群大小、過程的長短和新基因適應上的優勢，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，以及開花時間與花粉親和性等因素之影響。

目前物種傳粉機制、交配方式因作物不同而有差異，因此，基改植物傳粉距離亦會有所差異。大豆屬於自花授粉作物，雖然有其親緣相近的野生種存在，然因其開花前即完成了受精，柱頭接受外來花粉的成功率很低，天然雜交率通常小於1%左右。因此，基改以花粉散佈的可能性變小很多。據文獻指出縱使在蜜蜂大量存在的情況下，於30英寸(約0.76m)距離內，抗草甘膦基改大豆(GMO)與非基改大豆(non-GMO)僅有1%的異交率發生。水稻屬於自花授粉作物，開花前即完成受精過程，柱頭接受外來花粉成功率很低，加上花粉傳播距離很近，致使雜交比率更低。據文獻報導當隔離0.5公尺並用風扇當作風媒時，基改水稻的傳粉率僅為4%，而非基改水稻傳粉率則為9%，因此認為水稻的傳粉力僅有幾米的距離。煙草為自交、蟲媒或風媒傳粉的作物。許多文

獻顯示在21公尺以內傳粉率僅有0.04%，若檢測距基改煙草種植點200公尺處的近緣野生種*Solanum nigrum*和*S. dulcamara*植株的種子，則未檢測到有任何抗kanamycin基因的存在。高粱屬自花授粉作物，據文獻報導距離基改高粱作物100公尺處，石茅高粱與基改高粱雜交的比率達25%，但在相隔100公尺情況下，與約翰森草雜交的比率僅2%。麥類屬自花授粉作物，同屬種的數目超過10種。據文獻指出轉抗殺草劑基因小麥(*T. aestivum*)與野生山羊草(*A. cylindrica*)雜交種可以在田間自發地與野生山羊草回交。馬鈴薯屬自花授粉作物，其同屬種數高達39種以上。據文獻指出縱使野生種龍葵(*Solanum nigrum*)和歐白英(*Solanum dulcamara*)與馬鈴薯的開花期一致，也不會發生雜交的情形。若基改馬鈴薯與非基改馬鈴薯直接接觸時，其傳粉率高達24%，但在隔離3、10、20公尺處，其傳粉率分別為2%、0.017%、0%。顯然，馬鈴薯的花粉散佈會隨種植距離的增加而有明顯降低的趨勢。棉花屬常異交、蟲媒傳粉作物，據文獻報導基改棉花直接相鄰時，其傳粉率高達1.8%，但在距離1、10、20公尺處，其傳粉率則分別僅有0.4%、0.06%、0.0001%。另有文獻指出在轉Bt基因棉花植株周圍0~6公尺處，所栽種的內陸地棉品種具有較高頻率的基因流，但隨著距

離增加Bt基因流明顯降低，最大可達36公尺以上。向日葵屬蟲媒傳粉作物，據報導在距離基改作物1000公尺處，約有2%的栽培與野生向日葵與其雜交。甜菜屬風媒傳粉作物，花粉可傳播至數公里，因此，在甜菜種子生產中要求需有1000公尺以上的隔離距離。但另文獻指出在30公尺處的緩衝帶中，沒有檢測到任何甜菜的傳粉現象。油菜屬蟲媒傳粉，據文獻指出在距離基改植株46、137、366公尺處，油菜的雜交率分別為2.1%、1.1%、0.6%。若在周圍種非基改油菜作為緩衝區，且有蜜蜂作媒介的情況下，基改油菜在1、3、6、12、24、36、47、70公尺處，其傳粉率分別為1.6%、0.4%、0.11%、0.016%、0.0041%、0.0011%、0.00034%、0%。顯然，基改油菜花粉只能移動一定的距離，且會隨著距離的增加花粉散佈的情形會越來越少。同種番茄在距離基改番茄1.8~2.9公尺處，其雜交率小於0.005%。轉Bt基因玉米花粉落在玉米田間及農田附近馬利筋草*Aasclepias curassavica*上的密度，結果顯示Bt玉米田中馬利筋草上的花粉平均為170.06/cm²而距玉米田邊2公尺遠的馬利筋草上的花粉平均為14.2/cm²。

研究基改植物外源基因散佈的手段和方法是一個相當複雜的問題，常受多重因素的影響。目前測定基改植物花粉散佈的方法很多包括親本分析、花粉計數、花粉收集和花粉活力測定等。至於如何證明基

改植株花粉的散佈，主要是在實驗中心設置一個基改作物區域，然後在其四周種植非基改或其親緣種作物，於作物成熟期時，在不同方向、不同距離上取一定面積的樣本或一定數量的植株或種子，然後運用形態學特徵分析、細胞學方法(減數分裂和染色體配對分析)、蛋白質及同工酶電泳分析、DNA分子標記技術如PCR、RAPD、RFLP、AFLP等，及分析成熟種子或果實中基改存在的頻率。由於不同傳粉機制的作物受環境因素、氣候因素而影響其傳粉，如風速、風向、降雨、溫度、昆蟲活動等。此外，在研究過程中，基改作物種植大小亦會影響其測定結果。

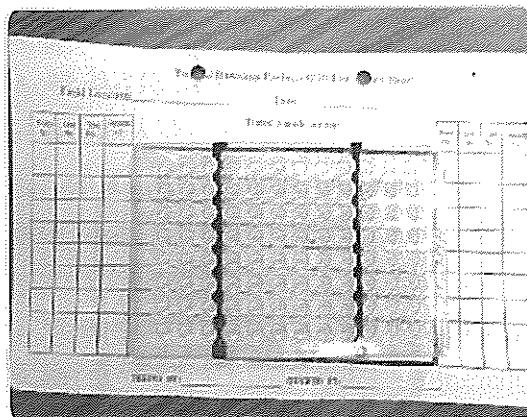
本次研習至美國夏威夷大學瞭解基改木瓜花粉散佈的情形，Manshardt與Pauli兩位博士親自教授我們如何設計田間試驗證明基改木瓜植株花粉散佈的流



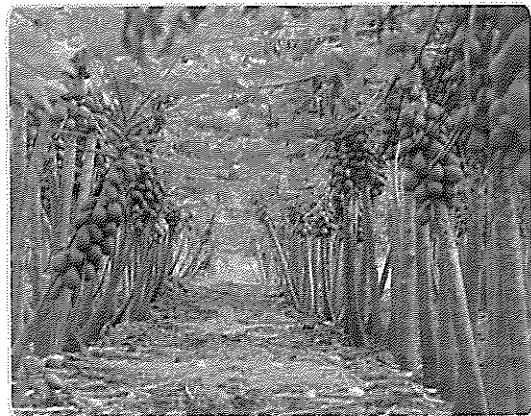
圖一、夏威夷大學Manshardt與Pauli兩位博士親自教授我們如何設計田間試驗證明基改木瓜植株花粉散佈後合影。

程，首先在夏威夷Puna地區設置一個基改木瓜作物（品種 Rainbow）區域約0.5公頃，然後在其四周種植非基改木瓜作物（品種Sunrise），行距3.5公尺，株距1.5公尺，進行基改與非基改木瓜共存栽培研究，經栽種21個月後，將鄰近所栽種的非基改木瓜56株兩性株和44株雌性植株的果實採收，每棵成熟果實取出12粒種子，並以種子的胚進行GUS基因分析，他們發現雌性植株具有70%異花授粉的比率，而兩性株則僅有13%，種子具有GUS基因反應的植株隨栽種距離越遠如30公尺，其GUS基因的反應非常低，相關係數僅有 $r = -0.32$ 。另外，他們亦檢測在基改木瓜 Rainbow品種的下風處400公尺處，所栽種的非基改木瓜Sunrise品種的種子，共計1000粒種子，其胚無任何GUS基因的反應。在2003年歐胡島(Oahu)有機農場試驗區，他們利用葉片

檢測法發現70%植株具有GUS基因反應，認為此木瓜栽培者已經栽種基改木瓜植株。同時他們取20株非基改兩性木瓜植株所生產的種子，經檢測胚的GUS基因反應，只有三株所生產的種子有GUS基因反應，比率僅在3-6%左右。進一步檢測這20株非基改兩性木瓜植株的後代中，受檢測384種子中僅有4粒種子，其胚有GUS基因反應，顯示兩性株異花授粉比率極低僅有1-2%之間。因此，他們認為有機田所栽種木瓜有基改的污染，應不是來自於基改木瓜花粉，而是栽種者本身未確定的種子來源所造成。最後，他們建議有機栽培者有下列幾點：1. 確定種子來源是來自非基改木瓜植株，2. 只栽種兩性(自花授粉)的木瓜植株，不可栽種雌性或雄性的單性植株，3. 與基改木瓜植株的隔離距離(緩衝區)至少需在400公尺以上。



圖二、基改木瓜GUS快速檢測方法，先將每一個96孔盤均事先黏貼好報表紙以方便記錄，每個樣品3重複。



圖九、夏威夷島木瓜栽培情形。