

X 光自動化檢疫系統之研發與應用

黃澤偉¹ 楊曼妙^{1*} 楊恩誠² 江昭皚³ 林達德³ 陳子偉⁴

¹ 國立中興大學 昆蟲學系

² 國立台灣大學 昆蟲學系

³ 國立台灣大學 生物產業機電工程學系

⁴ 行政院農業委員會動植物防疫檢疫局 植檢組

(*E-mail: mmyang@nchu.edu.tw)

前 言

植物檢疫可分為檢疫處理與檢疫檢查兩個部分，一般的檢疫檢查流程是以外觀目測的檢查為主，一方面難以有客觀的標準，且速度較慢，另一方面蛀食內部的害蟲必須要剖開檢測才能看到，而對於表面上危害跡像較小的特徵則不易目測（例如：果實蠅的產卵孔），且商品一經解剖就失去價值造成損失。以澳洲檢疫泰國榴槿為例¹，澳洲為了防止泰國的榴槿蛀果蛾 (durian seed borer) 藉由榴槿的進口從泰國引入澳洲，澳洲當局訂定了高達 60% 抽驗比率的嚴格檢疫條件：當進口貨櫃量少於 1000 時，須剖開檢查 450 個榴槿；而量大於 1000 個榴槿時，則剖開檢查 600 個，如此嚴格的檢疫條件也帶來了檢疫檢查上的困擾。因此，任何高效能非破壞性檢測方式的發展都將有助於解決水果檢疫檢查操作上的問題，並且對於水果的進出口雙方都能有效防止檢疫害蟲的擴散。

系統的規劃

X 光技術發展已久，且應用層面相當廣泛，現代人幾乎都接觸過醫院的 X 光檢驗；X 光機也儼然成為機場檢疫的基本設備，只是目前通關檢驗的應用仍侷限於如行李中是否有夾帶水果、毒品磚、槍枝等體積較大或具有高密度的物質。至於對昆蟲等小型生物或蛀食於水果中的害蟲偵測，則少有深入的研究與應用。在研究報告的搜尋上，目前主要的研究以作物中

¹ 世界貿易組織 SPS 委員會文件檔案編號：(G/SPS/GEN/217)

密度較高的果核或穀類為主，如檢查芒果核中是否有象鼻蟲幼蟲（Reyes et al., 2000），或小麥是否有象鼻蟲危害等（Karunakaran et al., 2003, 2004），針對害蟲危害水果果肉的研究則少之又少，更遑論研發專用的設備。

近年來，在行政院農委會動植物防疫檢疫局的支持下，中興大學昆蟲學系與台灣大學生物機電工程學系共同合作，已經發展出 X 光透視影像分析技術，在不破壞水果的情形下，利用水果遭受蟲害後導致的緻密度改變，從而比較健康與受害水果的差異，在一群水果中辨識出遭受東方果實蠅危害的水果（Yang et al., 2006）。此外，設計專用的 X 光機，建立自動化檢測系統，期能藉此發展一套高效能的非破壞性檢測方法（圖一），以增加檢測效率與減少損失，並同時增加檢測操作上的客觀性，以達到快速通關與檢疫的目的。

研製完成的水果檢疫用 X 光自動化檢測實驗雛型機與正在測試中的拖車式 X 光機如圖二所示。主體構造包括：微焦點 X 射線光源²、X 射線線型掃描照相機³、輸送帶、傳動馬達、雙螢幕系統、雙核心工業級電腦，以及外圍做為輻射屏蔽用的鉛板。在組裝完成後，皆已通過原子能委員會的輻射安全檢查通過，使用安全上無輻射外洩之虞。此項研發並已獲得新型與新發明兩項專利（林等，2005）。

機台之操控人機界面則以圖型化的程式設計軟體 LabVIEW 製作，可將 X 光檢疫自動化系統中複雜的操作與程序整合為一，得以在電腦螢幕中簡單的完成操作控制（圖三）。

水果影像照片

X 光影像的黑白灰階程度可呈現出水果內的密度差異。例如，水果果肉的含水量、果核的硬質組織以及病蟲害所造成的孔道、空洞或腐壞等，皆可因密度之不同而呈現出不同的灰階程度。

蟲害檢測

利用東方果實蠅（*Bactrocera dorsalis*）作為危害的昆蟲，來感染單果

²微焦點 X 射線光源：此 X 光源是由電能所驅動，當光源電源啟動時，才會產生 X 光射，反之則無。

³X 射線線型掃描照相機：雛型機與拖車式 X 光機的系統分別具有 1280 pixels 及 2560 pixels 的影像解析度，相當於在 51 x 68 cm² 的空間擁有 200 萬畫素及 870 萬畫素的數位相片品質。

類⁴中肉質果—梨果⁵、核果⁶、柑果⁷、漿果⁸及瓜果⁹共五類水果，以人工植入 3 至 5 顆蟲卵及單一成蟲自然產卵的兩種方式建立受蟲害水果，以受蟲害水果進行 X 光透視影像分析，以人工植卵的方式所得之 X 光影像評估是否在極少數幼蟲情況下仍具可行性，以及自然產卵的方式評估自然環境下受果實蠅危害之水果的鑑別力。人工植卵的方式試驗結果顯示，即使單隻東方果實蠅幼蟲的危害，藉由 X 光影像的呈現也可以清楚辨識出來水果受害部位（圖四）。受水果本身結構與含水量影響，X 光的偵測效果則與水果種類有關（Yang et al., 2006）。測試的各類水果中，以梨果類與核果類的成效最為顯著，西洋梨與白甜桃於受危害 3 天後，即可藉由 X 光拍攝影像偵測出來；柑果類與漿果類則效果居中，受危害情況在第 6 天亦可看出；瓜果類或果肉較不均質的水果，則辨識率較低。自然產卵的方式下，我們記錄 1 至 6 天果實蠅危害的 X 光連續變化圖（圖五）。X 光透視影像亦可區辨由撞擊所造成的水果損傷與果實蠅所造成的危害。

病害檢測

在病害的檢測方面，我們曾在外表無異樣的水果中，利用 X 光影像的密度差異，發現有被真菌感染的蘋果果核（圖六）及石榴（圖七）。

影像處理

拍攝所得之 X 光影像經數位化後，經過不同的影像處理，例如將 X 光攝影圖像之灰階資訊，改以區隔較為明顯之色彩（pseudocolor）表現，可使原本的圖像轉為對比較為鮮明的彩色圖像，以利人工判讀。本系統的影像處理程式主要是將所擷取的影像做後續處理，目的在將水果的不良區域標記出來，以提供檢疫人員參考，讓檢疫工作能更為迅速、準確。為增快程式的撰寫速度，透過 Vision Assistant 完成本系統所需的影像處理程式。X 光與可見光影像之處理步驟十分類似，以 X 光影像處理步驟為例，主要步驟包含去除雜訊、清除背景、適應性二分化、去除水果區域以外之二分化影像、依水果特性去除非損壞區，以及將最後結果標示於原圖等步驟，執行結果如圖八所示，在最後輸出的結果中可以看到不良區域已成功地被標記出來。

⁴單果類：果實的種類可分成單果、集合果及複果三種。單果類又分為莢果、蓇葖果、蒴果、角果、瘦果、穎果、翅果、堅果、漿果、瓜果、柑果、核果、仁果等十餘種。

⁵梨果類：果實由花托及子房發育完成，例如：蘋果、梨。

⁶核果類：內果壁形成一個硬核，中間包有一顆種子，例如：桃李、梅。

⁷柑果類：專指柑橘類的果實。

⁸漿果類：外果皮較薄，中果皮和內果皮則肉質多汁較為發達，例如茄科的果實。

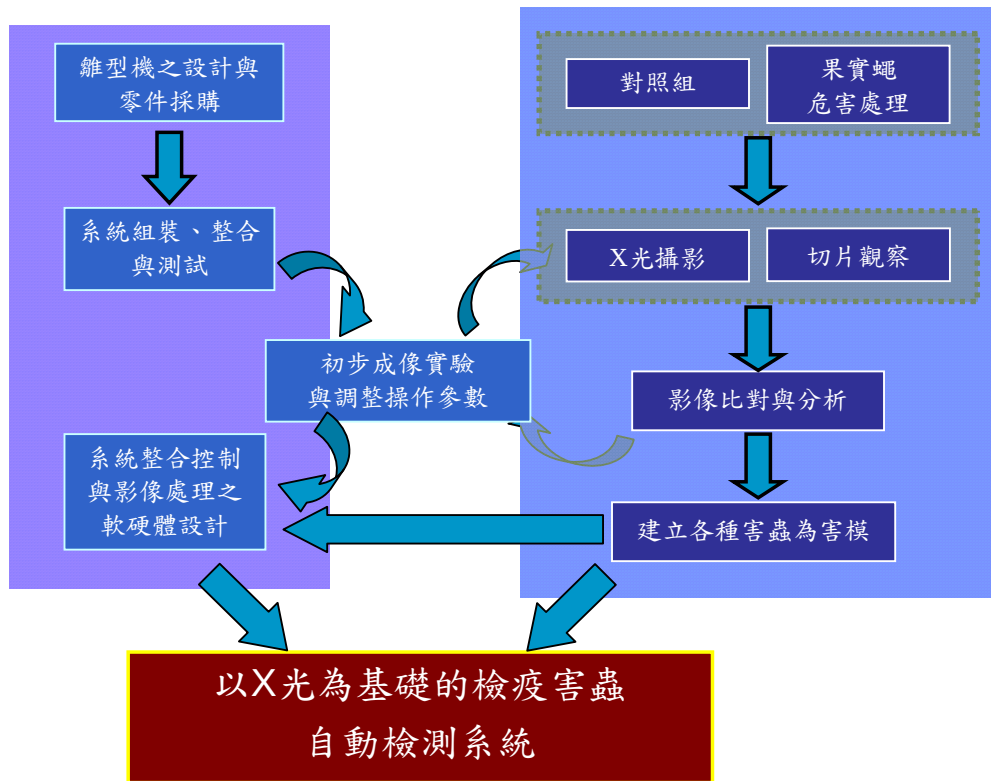
⁹瓜果類：堅韌的果實外皮，中果皮與內果皮的界限不甚分明，常肥厚多汁，例如哈密瓜。

未來展望

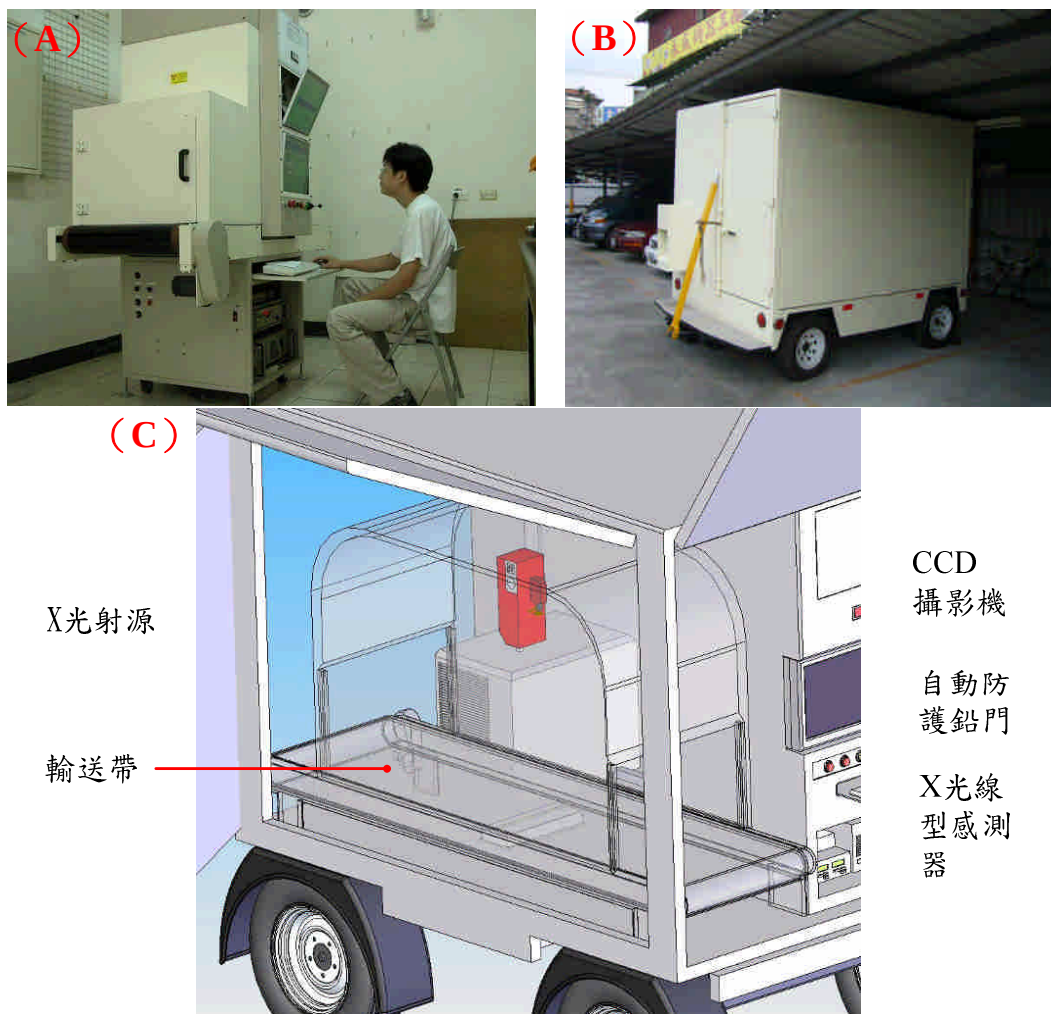
X 光自動化檢疫技術能突破以往只針對外表特徵的檢疫方式。在受害水果 X 光影像的試驗中，對於多種水果具有偵測辨識性，並可在相較於以往檢疫所花費的時間下，抽檢更多的水果數量或節省檢疫時間，兼顧快速通關及檢疫效果，深具應用開發之潛力。未來 X 光檢疫技術的發展擬擴展其應用層面到進出口水果的病蟲害與品質檢測，更希望能進一步整合成為國內農產品生產履歷的一環，協助開拓水果外銷產業。

參考文獻

- 林達德、江昭皚、歐陽丞修、張向勻、楊曼妙、楊恩誠。2005。水果蟲害自動化檢測裝置。中華民國新型專利第 M274530 號。
- 林達德、江昭皚、歐陽丞修、張向勻、楊曼妙、楊恩誠。2007。水果 X 光影像蟲害自動辨識影像處理方法。中華民國新型專利第 I277911 號。
- 楊曼妙、楊恩誠、林達德、江昭皚、陳子偉。2005。X 光自動化檢疫系統之研發與應用。動植物防疫檢疫季刊 3: 61-63。
- Karunakaran, C., D. S. Jayas, and N. D. G. White. 2003. Soft X-ray inspection of wheat kernels infested by *Sitophilus oryzae*. Transactions of the ASAE 46: 739-745.
- Karunakaran, C., D. S. Jayas, and N. D. G. White. 2004. Detection of internal wheat seed infestation by *Rhyzopertha dominica* using X-ray imaging. Journal of Stored Products Research 40: 507-516.
- Reyes, M. U., R. E. Paull, J. W. Armstrong, P. A. Follett, and L. D. Gautz. 2000. Non-destructive inspection of mango fruit (*Mangifera indica* L.) with soft X-ray imaging. Acta Horticulturae 509: 787-792.
- Yang, E. C., M. M. Yang, L. H. Liao, W. Y. Wu, T. W. Chen, T. M. Chen, T. T. Lin, and J. A. Jiang. 2006. Non-destructive quarantine technique- potential application of using X-ray images to detect early infestations caused by Oriental fruit fly (*Bactrocera dorsalis*)(Diptera: Tephritidae) in fruit. Formosan Entomologist 26: 171-186.



圖一、以 X 光為基礎得檢疫害蟲自動檢測系統之研發流程。（楊等，2005）



圖二、自動化 X 光檢疫系統。(A) 自動化 X 光檢疫系統離型機，為固定式系統。(B) 拖車式 X 光檢疫系統，車體具較高之機動性，便於在各卸貨區間移動，可適應現行港口檢疫作業的環境。(C) 為拖車式 X 光檢疫系統的空間透視圖。



(A)



(B)



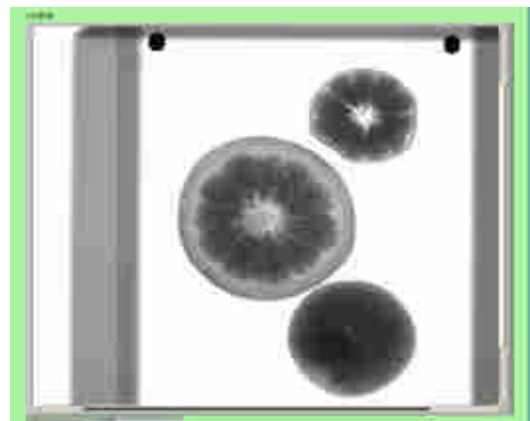
(C)



(D)

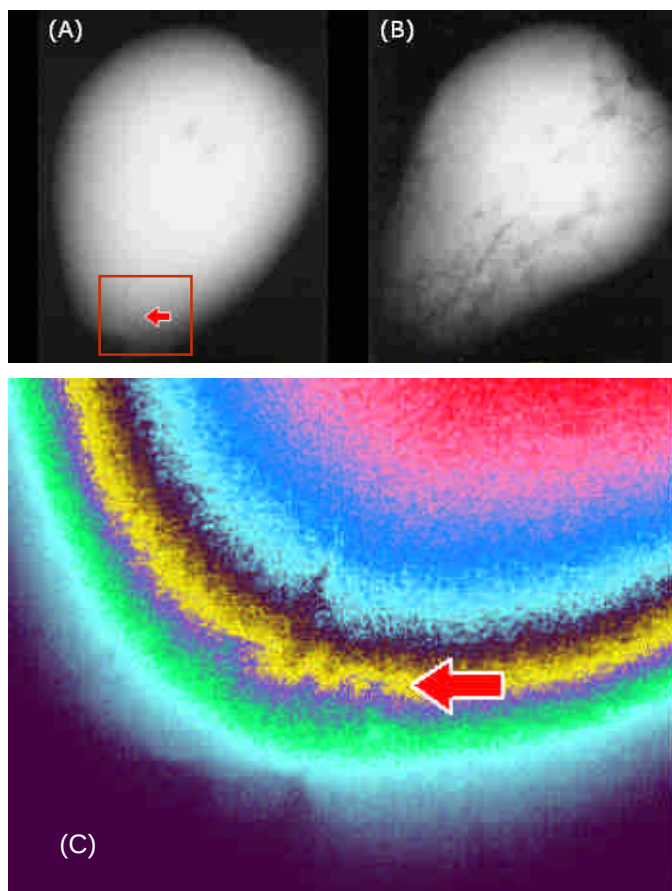


(E)

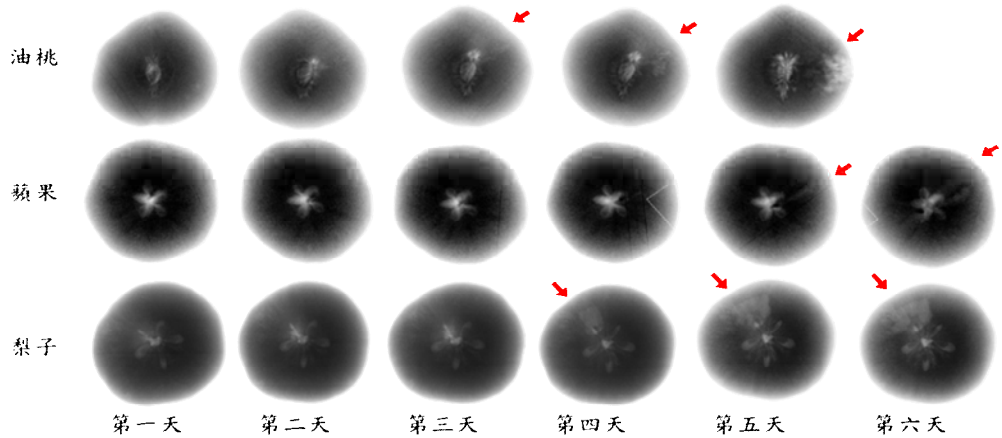


(F)

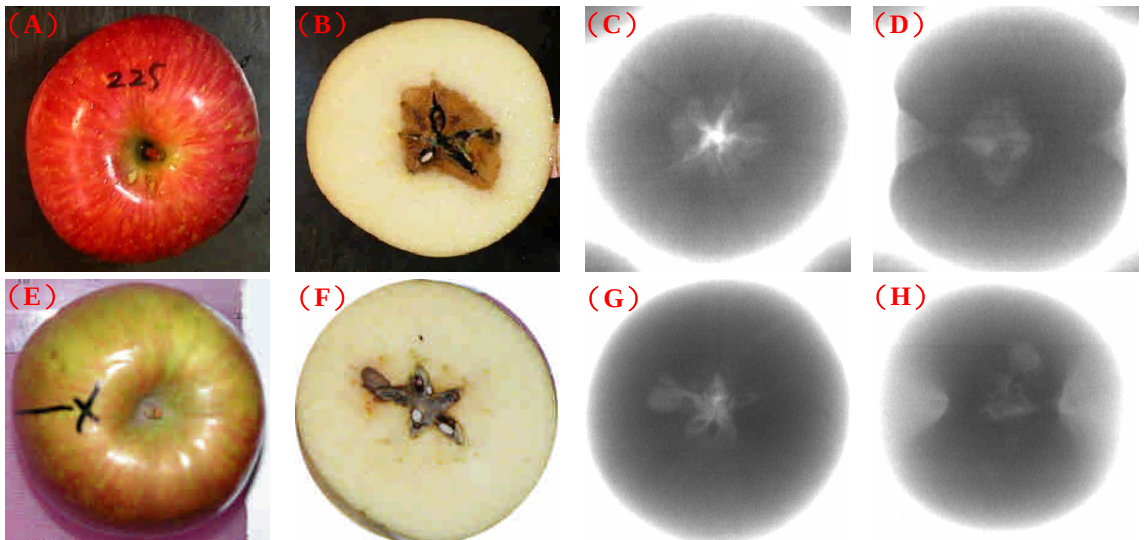
圖三、系統之圖形化人機介面。(A) 登入畫面，用以防止他人任意操作本系統；(B) 系統檢測畫面，用以診斷系統以保證系統功能正常而能安全運作；(C) 系統自動初始化畫面，用以依照環境因素自動修正 X 光參數及影像掃描速率；(D) 初始設定畫面，用以依照掃描之水果類型不同，改變對應之影像處理參數；(E) 可見光影像畫面；(F) X 光透視影像畫面。



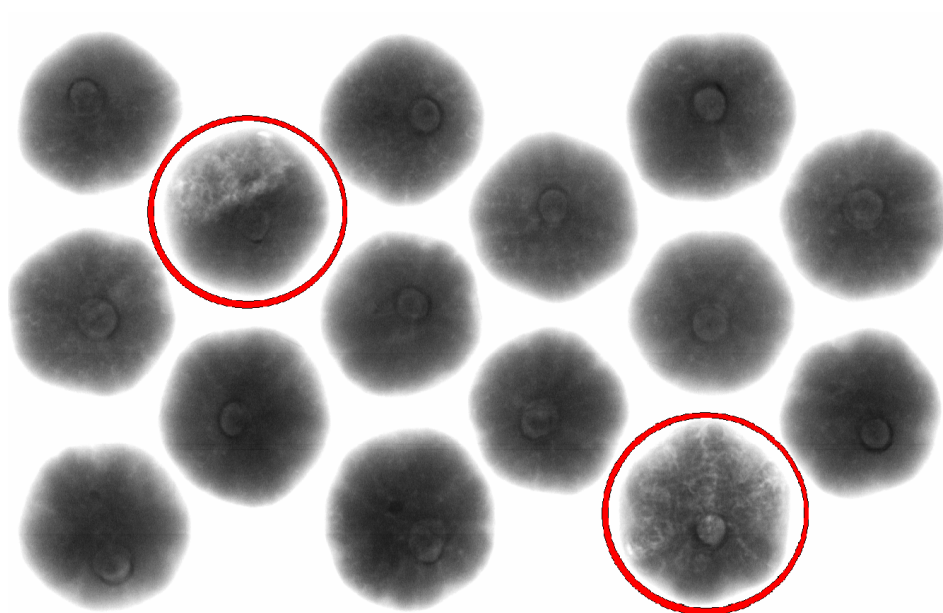
圖四、梨果類的西洋梨受果實蠅危害後之 X 光透視影像。(A) 危害後第 3 天，箭頭所指為初期遭受危害之痕跡，此時於外觀與切片檢視均不易察覺 (B) 危害第 6 天可見明顯之隧道狀食痕。(C) 為(A)圖下方的紅框部份之影像處理圖，經著色與密度運算後，平滑曲線呈現曲折現象，更加突顯受害部位。



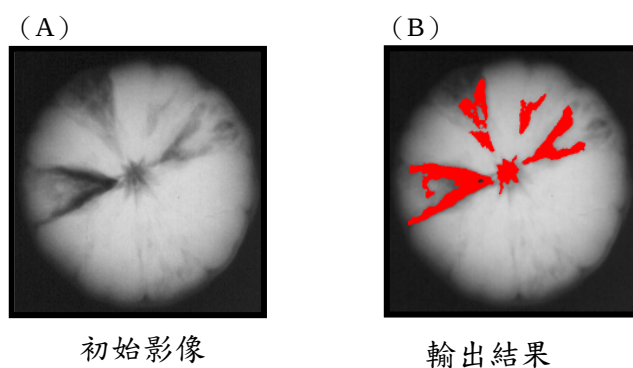
圖五、以 X 光自動化檢疫系統記錄果實蠅為害油桃、蘋果與梨子的六天危害變化圖。



圖六、經 X 光掃描影像判斷之受害蘋果。(A~D) 與 (E~H) 兩行分別為兩個的蘋果；(A、E) 果實外觀、(B、F) 果實危害剖面、(C、G) X 光透視之頂面觀與 (D、H) 側面觀。



圖七、石榴病害的發現（紅色圓圈所標示處）。X 光機不但發現蟲害的能力佳，對於病害亦有相同的效果。



圖八、X 光影像處理步驟。(A) 為果實蠅危害柳橙之 X 光影像。(B) 使用 X 光影像處理後，以紅色標出果實蠅危害之處。