基改木瓜對夏威夷木瓜產業的發展與影響

詹滿色

一、前言

1992 年木瓜輪點病毒(PRSV; Papaya Ring Spot Virus)在夏威夷島上的 PUNA 區域被發現，該區木瓜總產量佔整個夏威夷的 95%。而後兩年之內 PRSV 在該區散佈並造成嚴重損失。1992 年抗輪點病毒基改木瓜在某些區域開始進行田間試驗測試，並在 1995 年發展出 “ 彩虹 (Rainbow) “與“日出 (SunUp)” 兩個基改品種，且於 1998 年將其商業化生產。”彩虹 ”目前已被廣泛的種植，並解救了在 PRSV 蹂躪下的夏威夷木瓜產業。其他如泰國、牙買加、巴西與委內瑞拉等國，也正在發展基改木瓜，並持續努力解除對基改木瓜的管制。

夏威夷的基改木瓜是以同型接合（基改技術）的 Sunup 品種與半合子（基改技術）的 Rainbow 品種，其田間試驗的結果顯示兩者在夏威夷均能解決輪點病毒的問題。1998 年 5 月，美國動植物防檢局(Animal and Plant Health Inspection Service，APHIS)與環境保護署(Environmental Protection Agency，EPA)對 Rainbow 與 Sunup 解禁，並經由食品藥品檢驗局(Food and Drug Administration，FDA)批准其採用商業化生產。這是基改果樹第一次成功的案例。

二、夏威夷的木瓜產業

在夏威夷，木瓜已種植超過一個世紀，對全世界木瓜產業而言，最主要的生產限制是木瓜輪點病毒（PRSV），該病毒是一種發現於馬鈴薯的病毒，以一種非持續性的方式，藉由一些芽蟲類的生物而快速傳染。雖然早在 1940 年代中期，PRSV 就已被發現，但直到 1950 年代才成爲夏威夷木瓜產業的主要問題。在當時夏威夷木瓜業最主要產區是歐胡島(Oahu)，而在 1950 年代末期與 1960 年代初期 PRSV 已嚴重影響該島的木瓜產業。

後來，由於夏威夷大島 Puna 區的環境優勢，木瓜產業改種到夏威夷島的 Puna 區，該區由於有充足且低價的土地供出租，有充足的雨量與陽光，另外有一種極佳的木瓜 ”Kapoho” 品種，非常罕見的能適應該區域環境，最重要的是該區尚未出現 PRSV。在 1970 年代，整個夏威夷將近 95%木瓜種植區（約 2500 英畝）位於夏威夷大島的 Puna 區。然而，1992 年五月 PRSV 在 Puna 被發現，病毒散佈的非常快速，在 1994 年底夏威夷木瓜產業進入一個非常危險的狀態。

三、夏威夷基改木瓜的發展

在發現接種了煙草馬賽克病毒的基改煙草，表現出對煙草馬賽克病毒蛋白質外衣基因的抵抗及症狀發生延遲後，學者們在發展基改木瓜來控制 PRSV 的努力便快速的展開。木瓜研究小組成員包括分子生物學家、木瓜園藝家、組織培養學家以及植物病毒學家。在 1986 年木瓜研究小組複製 PRSV 蛋白質外衣基因，1988

年開始使用基因槍方式做木瓜胚胎轉換，對商業性物種的基因轉換進行操作，如 ”Sunrise”及它的近親”Sunset”與”Kapoho”，因其品種純正、商業化，而”Kapoho”幾乎只在 PUNA 種植，故該些物種是絕佳的候選基改品種。

在木瓜研究小組對木瓜做基因轉換之前，尚未有人成功，木瓜研究小組使用基因槍的方式做木瓜胚胎轉換後，得到 17 個獨立的轉換植物，在 R0 時期進一步設定該些物種對病毒抵抗的測試，讓其接種複製的 PRSVHA，一種來自夏威夷且造成嚴重影響的病毒。在 1991 年木瓜研究小組確認有一單一品種，當種植在溫室內時，可抵抗 PRSVHA。然而該物種是果實爲紅肉的”Sunset”，不像果實爲黃肉的”Kapoho”那樣令人期待，但確認有能抵抗病毒的基改木瓜後，木瓜研究小組馬上進行田間試驗，其目的爲觀察該物種在田野情況下對病毒抵抗的能力，及該物種是否有值得期待的園藝價值。

該田間試驗開始於 1992 年四月，地點在夏威夷大學歐胡島的 Waimanalo 田間試驗田(Field Station)。

1992 年在 Waimanalo 的 R0 田間試驗中，最主要收獲是在發展品種上得到有利的開始，而後確實也發展出新的基改品種”SunUp”與”Rainbow”， Sunset 是以蛋白質外衣基因同質結合而發展，SunUp 則是以紅肉 Sunset 爲基礎的基改品種。Rainbow 則是結合 SunUp 與非基改的黃肉 Kapoho 兩品種而成的黃肉 F1 混種。Kapoho 在 PUNA 是一極佳的品種，因此 1992 年田間試驗證實其基改品種在田野間也具抵抗能力，並加速基改品種的發展。

1995 年當病毒在 PUNA 正持續散佈時，研究團隊已準備好實施 Ranbow 與 SunUp 大規模田間試驗。此田間試驗是在相同區域種植 Rainbow、SunUp、non-transgenic Sunset 以及 63-1，其爲一個額外的基改 Sunset 品種。此外還設計一塊大範圍的區域讓 Rainbow 被非基改木瓜 Sunrise 包圍。田間試驗開始後的十一個月內所有非基改木瓜都被感染，而反觀該區所有基改木瓜三年內均無受到感染。故研究小組對其首次田間試驗的結論爲確認其最初的基改品種（transgenic line）是能抵抗 PRSV。

另外，資料顯示 Rainbow 木瓜田中，每年每英畝生產的可上市產量約 125,000 磅 ，但非基改的 Sunrise 每年每英畝只有 5000 磅（且皆感染 PRSV）。PUNA 的木瓜種植者特別對 Rainbow 印象深刻，因其爲黃肉品種，又比 Kapoho 早幾個月開花成熟且產量更多。因此 Rainbow 被認爲能抵抗輪點病毒且具商業化的產量。

1995 年底時開始了對基因改造解除管制的過程，其後兩年，美國的管制機構如藥物食品檢驗局（Food and Drug Administration）、環境保護署（Environmental Protection Agency）以及美國農業部中的動植物防檢局(APHIS)，均對新基改作物解除管制。1998 年 4 月夏威夷 Papaya Administrative Committee（PAC）獲得在夏威夷大規模商業化生產基改木瓜的許可證。

1998 年 5 月 1 日，夏威夷農夫免費分配到基改抗輪點病毒木瓜 Rainbow 的種子。聯邦市場管理機構 Papaya Administrative Committee（PAC）對基改技術許可及保證每位農夫均能獲得種子，提供基改木瓜相關教育影片，並簽署同意文件

（sublicensing form）。該木瓜種子分配與使用的地區只能在夏威夷，不能在其他州或國家進行。此外，由於種子數量有限，該種子將視農夫「目前與過去」最受 PRSV 影響程度，或是其他相關標準來平等的（equably）分配種子。

Puna 的農夫播下基改木瓜的種子，幾乎都是 Rainbow，1999 年開始有 Rainbow 木瓜收成，木瓜產業已免除病毒災害。1999 年底，Gonsalves 做了一份農民採用基改木瓜種子的問卷報告，調查對象爲夏威夷 PUNA 區域 171 位商業化種植農夫中 54%，且該些農夫均已要求能獲得 Ranbow 的種子。在夏威夷，農夫需有至少 5 英畝以上的土地才能認定爲商業化生產。根據夏威夷共同研究學者 Steve Ferreira 指出，鮮少農夫種植超過 20 到 50 英畝。

該報告指出採用率爲 76%，調查者認爲結果是「相當驚人的」。此外，調查同時指出 86%的農夫認爲他們願意付費以取得基改種子，77%的農民認爲標明產品爲基改木瓜是相當重要的，主因是他們相信這樣可增加他們水果的市場佔用率。

當前述的報告完成時，是農夫得到木瓜種子十六個月後，且有 19%的農夫已經開始收成 Rainbow。2000 年時夏威夷農業統計局(Agricultural Statistics Service)的報告指出，Rainbow 是夏威夷最主要木瓜品種，面積達種植耕地的 50%。

基改木瓜的另一重要的影響是使 PUNA 區感染 PRSV 的木瓜顯著性地減少，原因是受感染的區域已改種有抵抗力的基改木瓜，且其他許多廢棄的感染區也已經摧毀。另外木瓜種植區擴展回到 Oahu 島。在明快的隔離與焚毀情況下，讓種植者能繼續生產非基改木瓜，特別是供應尚未允許基改木瓜進口的日本市場。加拿大則於 2003 年 1 月跟進允許進口基改木瓜。

四、夏威夷 PRSV 基改木瓜的經濟效益

1. 夏威夷木瓜的產量與價格

夏威夷木瓜的產量顛峰是在 1984 年，當年產量超過三萬公噸。1992 年於 PUNA 發現輪點病毒後，PUNA 的新鮮木瓜年產量從 1992 年的 25,300 多公噸降到 1998 年的 16,000 公噸，在市場對基改木瓜的排斥尚未明朗之前，大量種植基改品種的木瓜確實提高收成，在 2001 年時產量達 23,600 多公噸，但自 2001 年起基改木瓜產量呈減少趨勢。2004 年產量降到只有 15,500 公噸，比輪點病毒爆發最嚴重的 90 年代中期的產量還少。2005 年產量又再減 12%，只剩 13,600 公噸(見圖 1)，是近幾個世代中最低的水準。然而，在同樣生產及出口木瓜的國家如墨西哥和巴西，在同期中木瓜產量卻是穩定的增加。

由於供給減少，新鮮木瓜的價格從 1992 年每公斤 0.55 美元上漲至 1997 年抗輪點病毒基改木瓜上市農夫可賣得平均每公斤 1.17 美元。在 1998 年，夏威夷木瓜的老買家日本與加拿大拒買基改水果，使得售價狂降至每公斤 0.77 美元。即使加拿大在 2003 年同意基改水果上市，價格也無法恢復。在過去兩年中（2004 與 05 年），價格平均仍低於每公斤 0.8 美元，對許多農夫而言只有到達或勉強高

於生產成本。

在基改木瓜品種產區，受價格與產量均下降影響， 2004 年木瓜收成面積只有 500 公頃，比 1998 年少了 42%，且是自 1979 年以來收成面積最小的一年。2006 年木瓜種植面積稍稍恢復到 619 公頃 (圖 2)，但產量仍持續下降中。

從 1998 年基改木瓜首次進入市場後，夏威夷木瓜產業主要指標全都下降。十年前，即 1995 年，夏威夷新鮮木瓜總值超過 1,800 多萬美元。2006 年則只有 1,090 萬美元，已下降至十年前的六成。雖然農產品市場會受許多因素影響，如氣候、產銷距離與議價情形，但夏威夷基改木瓜產品在出口市場上仍呈現明顯不利情形。

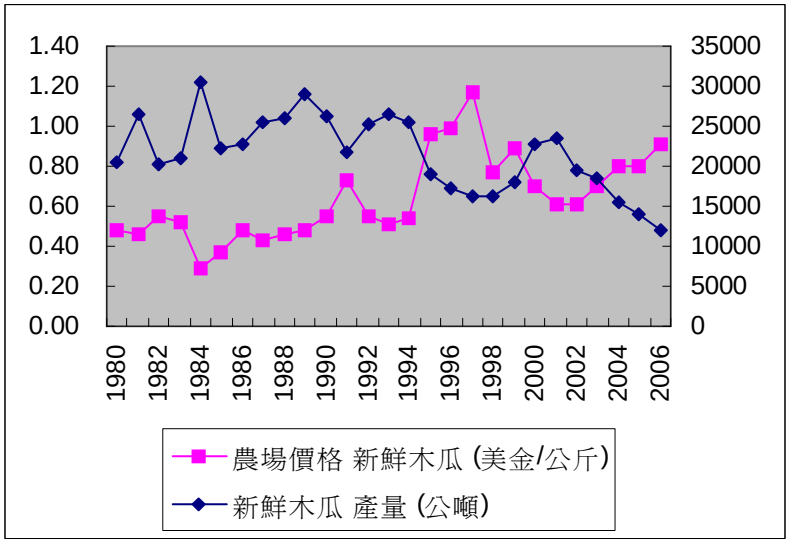

圖 1 夏威夷木瓜歷年產量產量與單位價格 資料來源：USDA

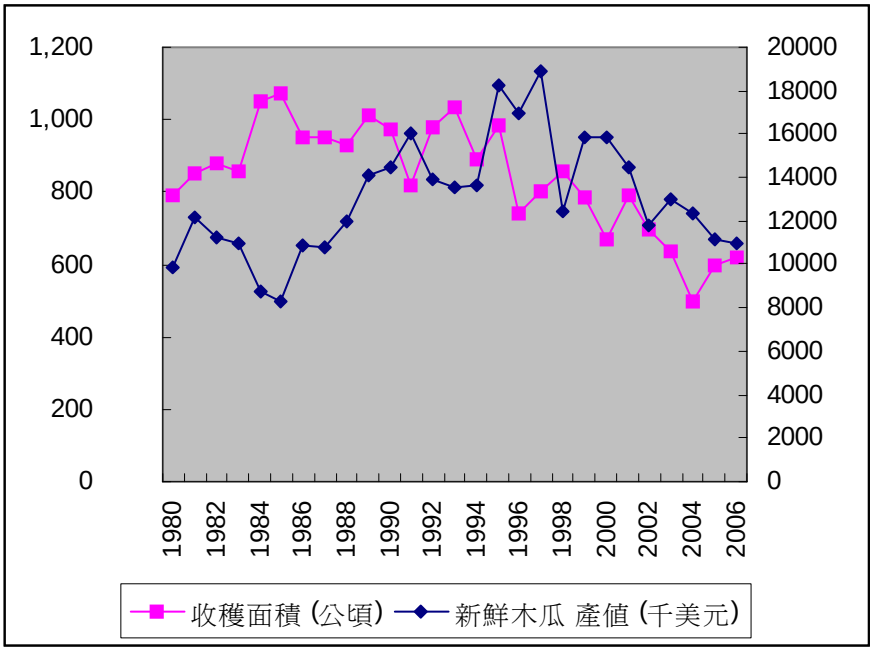

圖 2 夏威夷木瓜歷年收穫面積與產值資料來源：USDA

2、美國木瓜的生產、貿易及消費狀況

美國農部的資料顯示，2005 年，美國民眾對新鮮木瓜的平均消費量達 12 萬公噸較 1998 年的六萬公噸增加一倍。然而在夏威夷總木瓜收成面積現在已小於 600 公頃，比起引進基改木瓜當時下降了 28%，在十或二十年前則有將近多一倍的收成面積。平均而言，農夫每公斤木瓜的售價比基改木瓜發布前減少了 35%。

夏威夷州是美國唯一進行基改木瓜商業化生產的地區，在美國並未對基改木瓜做限制且基改食品並未強制標示的情況下，有許多消費者仍試圖避免買到基改食品，即便當時已經引進基改木瓜，且美國木瓜的人均消費量已經加倍。當美國人消費愈來愈多的新鮮木瓜的同時，爲何夏威夷的木瓜產業卻愈來愈小？其原因爲美國人吃的木瓜大多數並非來自夏威夷，最主要是來自墨西哥、中美洲與加勒比海，而該區域產品爲非基因改造食品。2004 年有 126 百萬公斤的木瓜進口，其數量是夏威夷產量的八倍。

自 1998 年基改木瓜首次上市以來，夏威夷木瓜市場分成三個部分：基改木瓜、有機木瓜，以及不屬於前兩者的傳統木瓜。傳統木瓜與有機木瓜在市場上更具價值（特別是有機木瓜），且得到比低價基改木瓜更多的價格利潤。此利潤多寡視果實與市況而定，每公斤價差從幾分錢到三倍不等。例如 2005 年 11 月在毛伊（Maui 夏威夷西北方的一個島）某個農產零售市場中，有機木瓜售價是每公斤 3.2 美元，而基改木瓜只有 0.99 美元。在日本，夏威夷的傳統水果（非基改）也是享有較高的售價。

3. 基改木瓜與有機木瓜

基改木瓜可在夏威夷與全美國的商店販售，隨著基因改造產品的出現，也產生出許多反對的聲浪，對基改的不安全感逐漸升高，如擔心基改植物釋放蛋白質外衣病毒性基因到環境中的潛在危險。有機植物農夫則擔心生態上的風險，以及其有機田地靠近基改作物造成授粉上的問題。他們擔心基改作物會與鄰近有機木瓜植物混種，可能危及到有機 (organic) 栽培者的認證。根據調查，相對於美國有機木瓜每年市值三十萬美元，非有機的夏威夷木瓜市值約一千多萬美元。

針對在夏威夷基改與非基改同時種植的問題，有研究提出令人憂心的結果。當基改與傳統木瓜種植相當靠近時，證實非基改木瓜會明顯的遭到污染，在基改與傳統木瓜種植距離爲 26 公尺的情況下，有 70%的傳統木瓜母株與基改木瓜授粉而污染。一些雌雄同株的木瓜植物則有較低的機會（13%）遭到污染。但是整體的污染程度仍達到 38%。

五、結語

基改木瓜在夏威夷被認定是「成功」，其原因是在對抗輪點病毒的功效上，根據 USDA 的統計資料顯示，夏威夷木瓜產業自引進基改木瓜後，價格與產量均呈下降趨勢，並使產業規模縮小，經濟效益有限，但基改木瓜對抗輪點病毒確實是有效的。

在夏威夷基改木瓜有突破性的進展後，木瓜研究小組開始努力協商，與有意爲該國本土發展抗 PRSV 基改木瓜的國家，進行共同合作，其中包括巴西、牙買加、委內瑞拉與泰國，而最近孟加拉、烏干達與坦尙尼亞也開始進行研發。前四國（巴西等國）已經發展出適合該些國家本身具抵抗病毒能力的基改木瓜，其中一些基改木瓜在田間試驗中是非常成功的，然而在泰國的基改木瓜田間試驗已經發現導致污染並且已經失敗。有些國家正推動解除基改木瓜的管制，但推動速度端取決於世人對基改作物的看法。

參考文獻：

1. Bondera , Melanie and Mark Query, “Hawaiian Papaya: GMO Contaminated.” Hawaii SEED, 2006. www.gmofreehawaii.org.
2. Gonsalves ,D., “Transgenic Papaya in Hawaii and Beyond.” *AgBioForum, 7(1&2): 36-40. 2004.*
3. Gonsalves, C,. R. Lee, and D. Gonsalves. “The Adoption of Genetically Modifed Papaya in Hawaii and Its Implications for Developing Countries.”Journal of Development Studies, Vol. 43, No. 1, 177－191,
4. Shehata , Sabry Shehata and Linda J. Cox, “Attitudes of Hawai‘i Consumers Toward Genetically Modified Fruit.” bio-7, Biotechnology, April 2007.