夏威夷之木瓜產業

陳京城

國立中興大學園藝學系

摘　　要

夏威夷番木瓜早期主要栽培在歐胡島(Oahu island)，到了 1950 年代在歐胡島上的主要番木瓜產區均被木瓜輪點病毒(PRSV)入侵後，夏威夷番木瓜栽培漸漸移至夏威夷島(Hawaii island)。但 1992 年輪點病毒入侵了夏威夷島上最主要的番木瓜產區 Puna，重創夏威夷木瓜產業。1998 年夏威夷基因轉殖木瓜通過審查，可開始經濟栽培，適時解救了夏威夷番木瓜產業。

夏威夷番木瓜 2005 年栽培面積為 2395 英畝(969 公頃)，總產量 3290 萬英磅(14,923 公噸)，產值 1124 萬美元(約 3 億 7 千萬台幣)，為僅次於鳳梨之第二重要的果樹作物。目前主要栽培品種為’Rainbow’(58%)、’Kapoho’(25%)及’Sunrise’(11%)。其中’Rainbow’為基因轉殖木瓜，目前可外銷至美國本土及加拿大，日本市場則正協議中。

夏威夷番木瓜產業近年來正面臨相當嚴峻的挑戰，原因乃產地價格一直滑落，栽培面積及產量均下滑，外銷市場競爭力也逐年下降，再加上觀光業在過去 5 年來帶動夏威夷之經濟起飛，一些原本在番木瓜產業之生產者與工人轉往其他產業發展，更使得番木瓜產業之發展相當困難。

雖然夏威夷番木瓜產業發展近年來遭遇了一些問題，夏威夷仍是世界上最主要的番木瓜研究發展重鎮，除了發展出全世界第一個商品化的基因轉殖木瓜外，近年來更進一步定序番木瓜之全基因組 DNA 序列，亦將成為第一個完成整個基因組定序之果樹作物，對未來果樹之品質、產量、抗病蟲害及逆境之研究及育種將有很大的幫助，也對高等植物基礎生物學之研究提供一個良好的工具。

前　言

夏威夷番木瓜產業雖然栽培規模不大，但其栽培技術與研發能力在世界上一直居於領先地位。夏威夷於 1998 年率先商品化全世界第一個抗輪點病毒(PRSV)的基因轉殖木瓜，適時解救了夏威夷番木瓜產業。不過，基因轉殖木瓜雖然解決了輪點病毒病的問題，但部分消費者對基因轉殖木瓜安全上的疑慮，加上主要外銷市場日本仍禁止基因轉殖木瓜之進口，以及反 GMO 團體的壓力與非基因轉殖木瓜田被基因轉殖木瓜污染等問題，均相當棘手。

近年來美國經濟復甦，加上日本也走出經濟泡沫低潮，因此到夏威夷之美國本土及日本觀光客之消費能力大增，觀光業在過去 5 年來帶動夏威夷之經濟起飛，一些原本在番木瓜產業之生產者與工人轉往其他產業發展，使得番木瓜栽培面積及產量均下滑，加上 GMO 衍生出來的問題，對夏威夷番木瓜產業發展困境更是雪上加霜。另外，領導夏威夷番木瓜產業發展超過 30 年的 Payaya Administrative Committee (PAC)於 2002 年 10 月 1 日解散，其工作改由 Papaya Industry Association(PIA)接手，此領導團隊的改變也讓很多番木瓜生產者對未來的發展感到憂心。因此，如何帶領夏威夷番木瓜產業走出困境再創新局是 PIA 及相關人員目前急需思考及解決的問題。

夏威夷番木瓜栽培演進及產業現況

夏威夷番木瓜栽培歷史超過 100 年，早期主要栽培在歐胡島(Oahu)，1937 年 7 月番木瓜輪點病毒病首度在歐胡島被發現，不過到了 1945 年才有第一個發現木瓜輪點病毒的正式報告，到了 1950 年在歐胡島上的主要木瓜產區均被輪點病毒入侵，因此將木瓜生產移至夏威夷島/大島(Hawaii/Big island)，但到了 1962 年，輪點病毒病也入侵了夏威夷島，到了 1970 年，一些夏威夷島木瓜產區均已被入侵，因此夏威夷州政府農業部(Hawaii Department of Agriculture) 開始執行木瓜輪點病毒病防治計畫挖除所有受感染的木瓜株以防止擴散至主要產區 Puna，但 1992 年輪點病毒病還是入侵了 Puna 地區，1997 年夏威夷最主要的木瓜產區 South Puna 整個淪陷，從 1993 至 1998 年間，夏威夷木瓜因為輪點病毒病的危害

總產量降低 39%，其中 Puna 地區更高達 52%。1996-1997 年間木瓜生產者雖然曾試著利用休耕甘蔗田來種木瓜以遠離輪點病毒病之疫區，但病毒很快就蔓延過來，到了 1999 年原本 8 個木瓜包裝場只剩 3 個還在運作。1998 年基因轉殖番木瓜通過審查，可開始經濟栽培，適時解救了夏威夷番木瓜產業。

全世界番木瓜產量在過去 10 年來持續的增加，主要生產國包括巴西、墨西哥、奈及利亞、印度、印尼等(表 1)。夏威夷是美國最主要的木瓜產區，其 2005 年總栽培面積為 2,395 英畝(969 公頃)，總產量 3290 萬英磅(14,923 公噸)，產值 1,124 萬美元(約 3 億 7 千萬台幣)(表 2)，為僅次於鳳梨之第二重要的果樹作物。主要栽培在夏威夷島(Hawaii island)(佔 90%以上)，其他島嶼如茂宜島(Maui island)、莫洛凱島(Molokai island)、歐胡島(Oahu island)及可愛島(Kauai island)等均有零星栽培(表 3)，而主要栽培品種為’Rainbow’(58%)、’Kapoho’(25%)及’Sunrise’(11%)(表 4)，其他品種包括’SunUp’、’Sunset’及‘Waimalalo’均只有零星栽培。其中’Kapoho’原為最主要的栽培品種，近幾年已漸漸被抗 PRSV 的’Rainbow’所取代。’Rainbow’為基因轉殖木瓜’SunUp’與’Kapoho’之 F1 雜交種。’Rainbow’木瓜 1998 年開始可銷至美國本土，加拿大則從 2003 年開始，日本市場正協議中。日本農林水產省(Ministry of Agriculture Fisheries and Forestry)已於 2002 年 12 月通過夏威夷基因轉殖木瓜的進口審查，目前日本厚生省(Ministry of Health Labor and Welfare) 正審核中。

夏威夷番木瓜外銷主要市場為美國本土、加拿大及日本，近年來日本市場受輸入菲律賓木瓜的嚴重威脅呈持續下降的趨勢，北美洲市場主要的競爭對手則是墨西哥、貝里斯及巴西。加拿大市場因基因轉殖木瓜推出後外銷一度受阻，目前有漸漸恢復的跡象(表 5 及表 6)。

美國番木瓜進口量從 1990 年以來逐年增加，至 2005 年進口量已增加超過 5 倍，是目前世界上最大之番木瓜進口國及消費國，總消費量達 28,091 萬磅，其中進口 25,374 萬磅(主要進口國為墨西哥、貝里斯、巴西)(表 7)，佔 90.33%，因此夏威夷未來需努力增加美國本土之番木瓜市場佔有率。

夏威夷番木瓜外銷至美國本土及日本均需要通過果實蠅檢疫處理，夏威夷果實蠅有四種:瓜實蠅 Melon fly (1895), 地中海果實蠅 Mediterranean fly (1907), 東方果實蠅 Oriental fly(1944) and 馬來西亞果實蠅 Malaysian fly (1983)。在夏威夷島有 3 個蒸熱處理廠(Vapor heat)及 1 個放射線處理廠(irradiation)，Molokai 島也有一個乾熱式處理廠，目前在 Kauai 島正在興建一個新的木瓜蒸熱廠(Forced hot-air)，將在明年夏天啟用。Kauai 島沒有 PRSV 問題，主要市場將放在日本。

夏威夷於 1971 年成立番木瓜之市場行銷、產業發展及研究計畫之 Payaya Administrative Committee (PAC)，負責每年約有 1.1 百萬美元的經費在運作，經費主要來源為美國農業部。但 PAC 於 2002 年 10 月 1 日解散，其工作改由 Papaya Industry Association(PIA)接手。

近年來夏威夷番木瓜產地價一直滑落，還有美國經濟復甦，加上日本也走出經濟泡沫低潮，因此到夏威夷之美國本土及日本觀光客之消費能力大增，觀光業在過去 5 年來帶動夏威夷之經濟起飛，原本在木瓜產業之生產者與工人轉往其他產業發展，使得木瓜栽培面積及產量均下滑，如何恢復生產者之信心是目前夏威夷番木瓜產業相關人員急需思考及解決之問題。

表 1. 世界番木瓜主要生產國之產量(million pounds)。

Year	2001	2002	2003	2004	2005
Brazil	3283	3522	3780	3555	3748
India	1543	1543	1543	1543	1543
Indonesia	1104	1334	1382	1615	1426
Mexico	1926	1932	2107	2107	2107
Nigeria	1649	1664	1664	1664	1664
Thailand	265	265	276	276	289
USA	55	46	43	36	32
Other	3932	4058	4143	4100	4206
Total	13756	14365	14938	14896	15015

Source: (FAOSTAT, 2006)

表 2. 夏威夷番木瓜生產情形

Year	Farms	Acreage (acres)		Production	Value
		In crop	Harvested	1000lb	1000USD
1995	244	3740	2435	50800	18494
1996	281	3610	1835	41800	17054
1997	241	4055	1985	28800	18978
1998	262	3555	2120	29900	12589
1999	222	3500	1940	42400	15929
2000	236	2845	1650	54500	16007
2001	221	2860	1950	55000	14598
2002	164	2320	1720	45900	11924
2003	163	2240	1565	42600	13069
2004	207	2105	1235	35800	12361
2005	205	2395	1480	32900	11241

Data were compiled from USDA Statistical Reports of Papaya grown in Hawaii.

表 3. 夏威夷各主要島嶼 2005 年番木瓜栽培情形。

Island	Farms	Acreage (acres)		Total
		Bearing	Non-bearing	
Hawaii	156	1330	870	2200
Maui/Molokai/Oahu	38	110	55	165
Kauai	11	25	10	35
State	205	1465	935	2400

Data were compiled from USDA Statistical Reports of Papaya grown in Hawaii.

表 4. 夏威夷 2005 年番木瓜主要栽培品種所佔百分率。

Variety	Percentage		Total
	Bearing	Non-bearing	
Kapoho	20	44	30
Rainbow	61	41	53
Sunrise	8	10	9
Others	11	5	8

Data were compiled from USDA Statistical Reports of Papaya grown in Hawaii.

表 5. 美國主要外銷之番木瓜量(公噸)

	Year				
Country	2001	2002	2003	2004	2005
Canada	2330	2033	2397	2679	2576
Japan	2955	2531	2541	1613	1430

Department of Commerce, U.S. Census Bureau, Foreign Trade Statistics.

表 6. 美國主要外銷之番木瓜值(千美元)

	Year				
Country	2001	2002	2003	2004	2005
Canada	3990	3552	4470	4756	4853
Japan	7860	6218	6310	4956	4673

Department of Commerce, U.S. Census Bureau, Foreign Trade Statistics.

表 7. 美國番木瓜進口情形(million pounds)

Year	2001	2002	2003	2004	2005
Mexico	151.9	147.6	164.5	207.7	176.8
Belize	12.9	24.3	34.7	53.4	61.1
Brazil	11.2	12.8	15.8	10.7	10.1
Jamaica	3.5	4.2	3.3	2.2	2.3
Dominican	6.3	5.3	5.5	2.6	2.4
Guatemala	0.3	0.7	0.8	0.9	2.7
Other	0.1	0.3	*	0.3	0.5
Total	186.2	195.2	224.6	277.8	255.9

*: Less than 100,000pounds.

基因轉殖木瓜之研發

夏威夷於 1998 年發展出全世界第一個商品化的基因轉殖木瓜，其過成係夏威夷木瓜研究團隊於1986年開始進行基因轉殖木瓜的研發，1991年找到一個抗PRVS的品系 Line 55-1。Line 55-1 是由紅肉品種’Sunset’基因轉殖而來，後來命名為’SunUp’，因為夏威夷木瓜生產者較喜歡黃肉品種’Kapoho’，因此研究團隊利用傳統雜交技術生產’SunUp’與’Kapoho’的 F1 雜交種’Rainbow’。

’Rainbow’ 是黃肉品種，其抗輪點病毒病的能力較’SunUp’差，但其在萌芽後7週之抗性則顯著增加，如果在萌芽後3個月後才感染輪點病毒病則徵狀非常輕微，因此’Rainbow’成為目前夏威夷基因轉殖木瓜之主要栽培品種。此研發經驗很值得參考，主要事件如下：

- 1937 PRSV 首次在夏威夷被發現(Oahu island)
- 1945 PRSV 開始在 Oahu island 木瓜產區蔓延
- 1978 開始進行 PRSV 之研究
- 1986 開始進行基因轉殖木瓜的研發
- 1988 開始利用基因槍進行轉殖
- 1991 找到一個抗 PRSV 的品系 Line 55-1
- 1992 進行第一個田間試驗(Oahu island)
- 1992 PRSV 正式報告出現在 Puna, Hawaii island
- 1995 進行大面積田間試驗(Puna, Hawaii island)
- 1997 通過審查(USDA-APHIS, EPA, FDA)
- 1998 獲得生產執照正式商業化生產
- 1999 第一批基改木瓜（‘Rainbow’)開始採收並銷至美國本土
- 2002 日本農林水產省通過’Rainbow’木瓜銷日審查，緊接著向厚生省提出申請，目前仍在審查中
- 2003 加拿大允許’Rainbow’木瓜進口

抗 PRSV 基改木瓜雖然提高抗 PRSV 的能力，但也產生了一些問題，包括：

1. 基因污染：交叉授粉(cross pollination)或人為疏失。
2. 失去市場：外銷市場接受度低。
3. 果農喪失獨立性：受制於專利權，沒有自主權。
4. 成本及利潤：基改木瓜售價較低。
5. 責任與義務：因人為疏失可能造成之基因污染及侵權問題。

基因轉殖木瓜之管理

夏威夷基因轉殖木瓜必需在嚴格規範下生產，主要規範包括：1.基因轉殖木瓜只限於夏威夷州生產。2.只有 PAC(目前改為PIA)可以販售基因轉殖木瓜種子 3.基因轉殖木瓜只能在可接受之國家販售。4.生產者必須接受教育課程學習如何管理抗 PRSV 之相關問題。5.生產者必需與 PAC(目前改為 PIA)簽約以購得基因轉殖木瓜種子。種子原先由 PAC 免費提供給果農，但目前 PIA 考慮向果農收取費用。而種子生產乃以’Kapoho’花粉來授’SunUp’雌花生產’Rainbow’種子，’SunUp’種子則以兩性株自然雜交來生產。

夏威夷番木瓜栽培目前也面臨一些基因污染問題，依據 Greenpeace 的調查發現夏威夷島及歐胡島的非基因轉殖木瓜均有受到基改木瓜基因污染情形，夏威夷大學生產之種子（‘Waimanalo’ Solo）也被發現有基因污染情形。因此島內反 GMO 的團體的反對壓力愈來愈大，特別是有機木瓜田被基因轉殖木瓜污染所造成的法律與賠償問題。

目前進行中之番木瓜相關之研究

夏威夷是世界上最主要的番木瓜研究發展重鎮，除了在 1998 年發展出全世界第一個商品化的基因轉殖木瓜之外，目前也正針對另一個新的基因轉殖木瓜 Line 63-1 的抗病性進行評估。Line 63-1 可抗巴西、泰國、及亞買加的木瓜輪點病毒病，將來可利用來與 Line 55-1 雜交以獲得更好的品系。因為基因轉殖木瓜的栽培，一些原本被放棄的木瓜田均重新獲得新生，而種植非基因轉殖木瓜的田也因臨近基因轉殖木瓜田可形成保護屏障，病毒壓力較輕，因此可維持生產。

近年來夏威夷木瓜研究團隊更進一步定序番木瓜之全基因組，將成為第一個完成整個基因組定序之果樹作物，對未來果樹之品質、產量、抗病蟲害及逆境之研究及育種將有很大的幫助，也對高等植物基礎生物學之研究提供一個良好的工具。目前進行中之木瓜相關研究主要為：

1. Papaya genome project ：全基因組定序。

2. 基因功能研究。

3. Primitive Y 染色體研究。

4. 分子標誌開發：花性、抗病蟲害、耐逆境標誌。

5. 新抗 PRSV 品系選拔: Line 63-1。

6. 開花基因研究。

7. 抗病蟲害基因轉殖。

8. 系統性獲得抗病機制(SAR) 。

9. 果實軟化基因研究及耐貯運品種選育。

結　　語

雖然夏威夷番木瓜產業發展近年來遭遇了一些問題，夏威夷仍是世界上最主要的番木瓜研究發展重鎮，目前相關之研究主要包括：全基因組定序、分子標誌開發、基因功能研究、新的抗 PRSV 品系選拔等。其中番木瓜全基因組定序，將成為第一個完成整個基因組定序之果樹作物，對未來果樹之品質、產量、抗病蟲害及逆境之研究及育種將有很大的幫助，也對高等植物基礎生物學之研究提供一個良好的工具。