

甘藍類蔬菜耐熱育種

一、氣候異常對蔬菜作物影響

蔬菜是維他命、礦物質、植物纖維之供給來源，對國民之飲食生活為不可或缺的食品。臺灣蔬菜生產種類繁多，超過一百多種蔬菜種類，栽培面積在一九八七年達到最高峰，栽培面積達24萬公頃，二〇〇六年種植面積僅為15萬7仟公頃，產量約287.8萬公噸，產值約440億元。大宗蔬菜以外蔬菜栽培面積約9萬4仟餘公頃，佔蔬菜總面積之54%，產值約220億元，約佔蔬菜總產值之60%。全球蔬菜生產8.8億噸，而亞洲為最主要生產地區，全球5,200萬公頃蔬菜面積，中國占2,200萬公頃，為最大蔬菜輸出國。世界各國的蔬菜貿易僅占總生產量的3%，

為高度自給性產業，近年來全球蔬菜生產呈現上升之現象，而此增產肇因於品種改良、栽培技術改進，管理技術引入及設施栽培之增加。國內蔬菜生產因天然災害影響而減少並預期國內價格高漲時，和鄰近之日本相同，常以應急型進口方式補足國內生產不足，進行重點進口。日本經常進口美國的結球萵苣、中國大陸產的甘藍、蔥，臺灣的紅蘿蔔等都屬於這種類型。近年來臺灣在颱風過後進口東南亞甘藍也是應急型進口，壓制國內高漲的價格，使蔬菜價格趨於穩定，對消費者有利，但同時對於產地農民來講，栽培作物若不能期待有歉收的高價格，也會造成農民生產意願的減退。若出國口之供給面或販售戰略出現變化，

對國內之供給量及國內價格將有很大的變化，可能無法穩定供給，對國民健康會發生影響。

全球暖化或氣候異常對園藝作物生產影響極大，如今年中國大陸雪災，日本生產不足之蔬菜無法自中國取得，便必須向其他國家進口。因應全球暖化或氣候異常，溫帶地區蔬菜育種公司也因應全球暖化趨勢，進而加強作物耐熱性育種，某些地區因氣候變冷，造成溫室加溫成本提高，因此設施番茄很早就進行單為結果型溫室番茄育種，而各國對熱帶番茄也進行耐熱番茄育種，亞洲蔬菜研究中心在此領域具有領先地位，研究成果也發現番茄耐熱性與單為結果特性具有相關性。日本 Ohkawa 等人 (2007) 發現單為



↑圖1. 青花椰菜型 (broccoflower)



↑圖2. 青花椰菜型 (broccoflower)

結果番茄 `Renaissance` 品種在設施栽培下，平均日溫高達39.2℃，仍能100%結果，而對照品種 `Momotaro york` 無法結果，必須使用著果荷爾蒙4-CPA才能正常著果，而在5.9℃之低溫下，`Renaissance` 仍能100%著果且發育正常，`Momotaro york` 著果不佳外，61%果實發育不良，必須使用4-CPA才能維持正常果實大小。

二、甘藍類蔬菜栽培及起源

甘藍類蔬菜千變萬化，包含不結球的芥藍 (*acapitata*)，甘藍 (*capitata*)，球莖甘藍

(*gongylodes*)，孢子甘藍 (*gommifera*)，青花菜 (*cymosa*)及花椰菜(*botrytis*)。這些利用部位不同的甘藍類蔬菜都是農民經數百年的人為選拔而得，雖說這六類已各具特色，但若種類間花粉污染，仍會產生不同型態，因此生產種子時，務必充分隔離，以免產生異形株。甘藍、花椰菜及及白菜類之結球白菜為臺灣地區大宗蔬菜，蕓苔屬甘藍類蔬菜為綠植株春化型作物與白菜類種子春化型作物不同，在亞熱帶不易進行育種工作。據世界糧農組織統計二〇〇五年全球甘藍及其他蕓苔屬收穫面積達313.6萬公頃，而生產

面積最大為中國171.9萬公頃，其他依次為印度28.5萬公頃，蘇聯16.5萬公頃，而起源地歐盟二十七國為22萬公頃(表一)。青花菜與花椰菜兩者合併計算，一九九六年全球面積為73萬公頃，二〇〇五年增為98.3萬公頃(表二)，十年間比較增加35%，雖比甘藍及其他蕓苔屬類的10年間增幅47%低，但其增加面積係在二〇〇二年之後，未來青花菜及花椰菜之消費需求應會繼續增加，以目前人口最多的中國為例，其甘藍消費量由一九九六年每人每年31.8公克增加為二〇〇五年的63.58公克，比全球消費由一九九六年19.67公

表一、1996至2005甘藍及其他蕓苔全球及主要生產地區收穫面積 (FAO 網站)

面積	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
中國	713.75	770.73	871.11	1013.65	1220.27	1485.68	1571.11	1624.31	1669.35	1719.45
印度	220	230	230	240	260	250	260	280	279.87	285.68
蘇聯	165.72	155.79	151.8	176.37	174.13	172.52	172.33	177.04	169.5	165.56
歐盟27	238.29	228.87	233.78	231.28	227.15	223.81	205.23	220.84	204.9	220
世界	2127.61	2178.35	2292.72	2488.43	2750.99	2978.25	2991.61	3109.92	3079.69	3136.54

單位：(千/公頃)

表二、1996至2005花椰菜及青花菜全球及主要生產地區收穫面積 (FAO 網站)

面積	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
中國	178.87	191.36	203.45	218.97	253.86	268.78	303.62	313.46	353.17	363.17
印度	280	290	250	250	250	260	270	280	283.31	287.98
歐盟27	145.18	136.83	140.82	138.79	132.04	125.94	124.58	140.36	131.68	132.42
世界	730.61	741.2	720.96	735.36	759.96	781.74	822.45	874.67	965.94	983.73

單位：(千/公頃)

克增為二〇〇五年的25.73公克高，花椰菜與青花菜之消費量全球平均為一九九六年5.64公克增為二〇〇五年的6.83公克，在中國則由8.66公克增為14.19公克。一九九七年九月份美國國家科學期刊報告(Proc. Natl. Acad. Sci. USA)報導「青花菜芽」所含的抗癌物質—磺胺胡蘿蔔素(sulforaphane)及硫配糖體(Glucosinolate)比青花菜之花蕾球高五十倍，使得「青花菜芽」成為保健植物產品。由於此項發現，十字花科蔬菜抗癌效果獲得消費者注

意，使先進國家十字花科蔬菜消費量也略為提升。由於十字花科蔬菜已被認為具有抗癌成分，各國紛紛加強十字花科保健成分提升之育種工作，如紐西蘭及澳洲便合作研發活力蔬菜「Vital Vegetables」品牌蔬菜，而第一個推出的品種即為青花菜品種。

三、亞熱帶地區甘藍育種採種技術開發

以往研究報告指出熱帶與亞熱帶地區甘藍採種技術相

當困難且不具經濟效益，因此甘藍採種地區多在溫帶地區如丹麥、澳洲及北美等地。熱帶與亞熱帶地區因冬季低溫不足，無法滿足春化作用所需之低溫之溫度及期間，甘藍無法抽苔開花，便無法進行育種採種工作，早期研究只能利用高海拔山區進行。甘藍類蔬菜包含甘藍、花椰菜及青花菜為世界重要蔬菜，臺灣位處亞熱帶地區，經學研單位及業者努力，臺灣地區耐熱花椰菜均為本國業者自行研發，但甘藍菜種子則全部自日本輸入



↑圖3. 芥藍型

種植。以往熱帶地區利用高冷地進行甘藍育種或採種工作，但也易因雨量過多及日照不足造成採種量不佳，臺南場改用幼苗春化技術，使用人工低溫可有效誘使甘藍植株在平地秋冬季開花結實，一舉打破亞熱帶地區甘藍育種之瓶頸，利用本項技術本場於九十四年育成臺南一號雜交甘藍。首次成功於亞熱帶平地進行甘藍採種工作。以苗齡四十五天之甘藍苗在1000Lux光度下，5℃低溫處理四十五天可誘導初秋、夏峰、高峰及葉深等品

種開花結實，成功開發幼苗春化處理新技術，突破甘藍採種技術瓶頸，可生產高品質的甘藍種子，單株採種量約50至60公克。甘藍類蔬菜親本採種，多為蕾期實施人工授粉，人工成本占生產成本70%，在工資高的地區如日本、荷蘭等國則使用二氧化碳氣體配合蜜蜂授粉以生產母本種子，本場依其原理也建立甘藍及花椰菜親本採種技術，生產成本僅為目前人工蕾期授粉之10%，降低成本達九成，臺南區農業改良場於九十二年再研發及移

轉「甘藍及花椰菜親本商業化採種技術」，迄今已有六家採種業者申請技術移轉，有效提昇本國業者競爭力及避免國外採種親本外流之損失。臺南場研發之甘藍親本採種技術係首次在亞熱帶平地應用成功。傳統技術利用高冷地春化及人工蕾期授粉成本過高不利產業發展，此技術為整合幼苗人工春化處理、氣體處理及蜜蜂授粉等技術，使甘藍母本能於平地順利留種，增加業者競爭力。傳統上十字花科可採用種子到種子(Seed to Seed)或結球到種子(Head to Seed)兩種方式世代增進方法，育種上多採用結球到種子之方式，因為結球時期之園藝性狀表現可由育種人員篩選，增加母本或親本之整齊性，而種子到種子方式多用於採種，但此種方法無法對結球期之園藝性狀進行確認及去雜工作，但世代增進所花費之時間可縮短為一年。臺南場的幼苗春化處理技術，利用人工低溫滿足春化作用需求後，使甘藍植株在亞熱帶

冬季低溫下誘導開花，為典型的種子到種子之世代增進，但也能使扦插技術，選拔優良單株之園藝性狀，以扦插苗春化方式繁殖或純化。臺南區農改場利用此套低溫春化技術設計了兩套甘藍育種方法，分別可利用於平地耐熱甘藍育種及正常產期甘藍育種，其中耐熱甘藍選拔過程全部於平地進行，而正常產期甘藍育種則是在高冷地進行結球選拔後，扦插入選單株後進行世代增進工作。

四、青花菜耐熱品系專利

美國現今有項青花菜耐熱品系專利，號稱改變青花菜產業，利用傳統育種及花藥培養技術創造出耐熱青花菜品系及品種。此項專利比一般品種權保護更加周密，利用種子存放「Seed deposit」限定專利範圍，如耐熱自交系393-2-19寄存於美國菌種保存中心(ATCC-The American Type Culture

Collection)，另外發明專利又擁有性狀專利範圍(Trait Claims)，明顯定義青花菜耐熱性並延伸其保護範圍。Barham and Joynt (2004)獲得美國專利局的耐熱青花菜專利，專利說明清楚定義青花菜耐熱性，在其專利範圍便包含了四種耐熱性描述，主要均是歷經高溫逆境後仍能生產三至十英吋成熟花球，而其遭受逆境的時期正是花芽開始發育時期，其高溫範圍及時間列如下表三。

此項專利引用兩篇報告界定耐熱性，第一篇描述品種對溫度反應不一，第二篇則界定青花菜進入生殖生長期後花球達5~10公釐時，對高溫最為敏感，Heather等人(1992)發表青花菜耐熱性及耐貯性研究發現青花菜進入生殖生長期後花球達5~10

公釐時，對高溫最為敏感，一週35°C即會產生不良影響。

本項專利是利用傳統植物育種及花藥培養技術，其育種過程也描述於專利書中，以自交系育成為例：

第一年秋季將商業品種Marathon與該公司雜交種`No. 608`雜交，Marathon具高產，`No. 608`無側芽。

第二年夏季將雙雜交之種子播種選拔耐熱性及露菌病抗性，選拔單株。

第二年秋季將第393行之第二株選拔，代號393-2進行花藥培養。

第三年春季393-2花藥培養之植株19號及47號選入，代號為393-2-19及393-2-47。393-2-32移入溫室栽培，具良好園藝性狀，花球形狀良好，無側芽，生育勢佳及產

表三、美國6784345號專利描述耐熱青花菜耐溫範圍及時期

溫度範圍	天數(天)
35°C~37.7°C	1
32.2°C~37.7°C	5
29.5°C~37.7°C	15
26.7°C~37.7°C	20

量高，同時能產生自交種子。

第四年夏天將三個優良單株之自交種子播種，溫室育苗後移植田間進行耐熱篩選，393-2-19及393-2-47整齊度極高，可視為自發性單倍體倍加之自交系，因此進行種子增殖工作。

第五年後至二〇〇一年393-2-19、393-2-47及393-2-32後代表現整齊度均極高，未發現變異株或異型株。

五、臺南場青花菜耐熱育種

青花菜由於缺乏耐熱性，在臺灣僅限於秋冬季裡作生產。夏季進口青花菜產地主要來自美國，該國為西方花薊馬疫區，進口產品恐有較高比例經藥劑燻蒸處理。此外，一般青花菜品種雖都含有抗氧化物質，惟不同品種間差異甚大，仍有賴品種改良及改進栽培技術以提升其機能性成分。臺南場的耐熱青花菜育種自二〇〇三年起已開始蒐集耐熱青花菜品育

種材料，並於每年夏季進行耐熱品系比較試驗，二〇〇四年春完成由源自「慶農種苗公司」一代雜交品種「45天早生青花菜」（代號45），與「41天耐熱花椰菜」（代號41）之雙雜交。二〇〇四年夏執行雙雜交雜種 F_1 世代耐熱選拔，結果顯示正交「45×41」及反交「41×45」 F_1 世代所有單株抽苔早晚表現呈現劇烈的分離，在蕾球性狀則均趨向於青花菜及花椰菜中間型表現，如青花椰菜型 (broccoflower)，且二族群內單株花蕾球大小及形狀表現不一，受雙雜交影響遺傳雜異度加大而呈現嚴重分離現象，因此 F_1 世代以近似青花菜中間型單株且早生為入選標準。然在 F_2 世代，正交「45×41」自交後裔系統有部分單株蕾球出現標準青花菜型及標準花椰菜型，惟大部分單株蕾球性狀仍屬青花椰菜型，而自交選育自反交「41×45」系統 F_2 世代除少部分單株蕾球出現標準標準花椰菜型外，餘多皆為中間型，顯示反交「41×45」 F_2

分離世代之花蕾球表現仍受到雜種母本（花椰菜）的遺傳影響甚大。因此 F_2 世代選拔，除在正交「45×41」系統 F_2 世代可選到幾株早生青花菜型單株外，餘仍以近似青花菜中間型單株為入選標準。在 F_3 世代品系比較結果顯示源自正交「45×41」系統之 F_2 世代「45×41 # 2-1」、「45×41 # 2-2」、「45×41 # 2-3」、「45×41 # 2-4」、「45×41 # 2-5」單株蕾球性狀雖呈現標準青花菜型，然自交後裔 F_3 世代單株蕾球性狀仍呈現分離表現（花椰菜型、中間型及青花菜型），雖然 F_3 世代有部分單株蕾球性狀仍為標準青花菜型，且可選拔到三十五至四十天早生單株，惟蕾粒偏大是主要缺失，餘同源自正交「45×41」其他系統及源自反交「41×45」系統之 F_2 世代族群單株則出現少數花椰菜型及青花菜型，惟多數仍為中間型，且即使似青花菜型，但嚴格描述應該更像芥藍型，顯示該芥藍型表現恐與「45天早生青花菜」具有芥



↑圖4.夏季平地簡易遮雨棚設施進行青花菜耐熱篩選

→圖5. '(45×41#2-2)×GB-#1' 已具耐熱性及細蕾特性



藍親本血緣有關。

二〇〇六年起為改進正交

'45×41' 之 '45×41 # 2-1'、'45×41 # 2-2'、'45×41 # 2-3'、'45×41 # 2-4'、5 及 '45×41 # 2-5' 等系統單株蕾球性狀之蕾粒偏大缺失及改進其它源自正交

'45×41' 或反交 '41×45' 系統單株，少有青花菜型蕾球表現問題，遂於與源自「和生種子公司」之青花菜一代雜交中熟型品種「綠寶」（代號GB），雜交，歷經二年自交選育結果均顯示以 '(45

×41#2-2)×GB' 之三交雜種 F1 中以 '(45×41 # 2-2)×GB-#1' 的 F₂ 及 F₃ 世代所有單株除具早熟，在臺南夏季七月初種植，定植後約三十七至四十天即可採收，且所有單株蕾球性狀均為標準青花菜型，且蕾粒也呈較細蕾粒型。然其它系統與「綠寶」之三交雜種 F₁ 世代所有單株不僅抽苔結蕾期延後，宛如中熟型且蕾球性狀及大小再度呈現嚴重分離現象。因

此，二〇〇七年起青花菜耐熱育種工作，除持引進其他早生青花菜品種進行引種觀察及入選優良品種進行自交選育等工作，而在早生青花菜與耐熱花椰菜雜交方面，基於人力及物力資源有限考

量，主要以 '(45×41 # 2-2)×GB-#1' 系統之後裔繼續進行自交選育工作，其 F₂ 世代在七月夏季栽培，可於定植後三十五至四十天採收，與其原來親本或對照品種比較，可提早七至十四天收穫，而其蕾球重平均在四百公克以上，顯示具有早生及產量高之特性；而在花球品質與風味方面亦較原來親本為佳，惟其雜交後代仍在分離中，待進一步純化選育。☀