

氣候變遷對十字花科蔬菜育種的挑戰

王三太^{1,5} 許秀惠² 陳甘澍³ 邱金春¹ 李碩朋¹
林楨祐¹ 羅惠齡¹ 林照能¹ 許淼淼¹ 洪爭坊² 張連宗⁴ 陳佩華¹

¹ 鳳山熱帶園藝試驗分所蔬菜系。

² 鳳山熱帶園藝試驗分所植物保護系。

³ 鳳山熱帶園藝試驗分所分所長。

⁴ 前亞蔬-世界蔬菜中心十字花科組研究員。

⁵ 通訊作者，電子郵件：stwang@fthes-tari.gov.tw；傳真：(07)7315590。

摘要

由於人類工業化使全球之二氧化碳濃度提高造成氣候變遷，而氣候變遷將導致平均溫度升高、乾旱期拉長、海平面上升與土壤鹽化等非生物問題日益嚴重，進而影響病蟲害與以往有所不同，此種生物與非生物逆境將造成十字花科蔬菜穩定生產困難。十字花科蔬菜是人類最重要的葉菜類，提供人類營養的經濟來源與農民收入。氣候變遷將造成原本的產地調整或者在相同產地栽培適應新生態的品種。臺灣育成的品種普遍以耐熱性見長，未來在溫帶地區暖化，預期將更有機會延伸使用的範圍。臺灣未來十字花科育種將以國際援助及提高種苗產業競爭力為兩大主軸。國際援助以高生態適應性、高營養、易留種為原則，在作物別上以複二元體的大油菜與芥菜為主，提高產業競爭力則以花椰菜、青花菜、結球白菜、甘藍、芥藍與不結球白菜為主。國際援助育種的作物具有生態適應廣泛特性，除由現有品種篩選外，針對耐熱性等目標篩選白菜類與甘藍類蔬菜，再透過種間雜交、胚拯救與染色體倍加技術創造複二元體的大油菜，在確認花粉稔性與足夠的種子量的早期世代，透過亞洲蔬菜研究中心、東協或國際合作基金會進行熱帶或亞熱帶地區當地篩選與留種，最終將獲得適應各地生態的品種，而選拔出來的回饋品種再進行下一輪迴族群改良或回交改善甘藍類或白菜類蔬菜。提高種苗產業競爭力的甘藍類及白菜類蔬菜，雖然臺灣品種具有耐熱特性，但並未針對耐旱或抗病毒育種進行研究。溫帶地區的病原與臺灣有差異，必須有計畫的加以研究釐清，以十字花科黑腐病為例，日本、英國及德國以生理小種 1、4 為主，臺灣則以 4 為主，此與溫帶地區有所差異，透過生理小種的釐清，可望在臺灣育成能夠適應溫帶地區的品種。氣候激烈變化引起頂燒症，不僅是高溫期嚴重的生理障礙，同時也是正常季節生產的晚熟品種的問題，應針對其特性及早篩選因應。早熟品種可以減少受氣

候變遷影響，但目前極早熟品種尚有耐熱性不足及易頂燒等缺點，有待改善。花椰菜與青花菜的生產，需要足夠的低溫進行花球的分化，臺灣的花椰菜品種在耐熱性有其優勢，未來應以輪迴選種方式提高適合溫帶地區夏季栽培，並進一步利用改良青花菜，此外利用創育耐熱的大油菜回交青花菜或花椰菜，創造更耐熱新族群。未來因氣候變遷，氮肥的價格將不會如現在便宜，所以育成高氮肥利用率(NUE)將是育種上的挑戰。分子輔助育種、誘變育種、胚拯救技術、花藥培養等皆為未來十字花科育種不可或缺技術。育種需要時間、資金與人力，我們必須在現在投入研發才來的及應付氣候變遷的災難。

前言

氣候變遷是近年大眾關心的議題，從地球的歷史看，至少有四次巨大的氣候變遷，第一次在 3 億 5 千萬年至 4~5 千萬年前，期間第一個有葉片植物誕生；第二次在二億五千萬年的火山大爆發，覆蓋 5 百萬平方公里，臭氧層減少，造成當時 95%物種滅絕；第三次則在 1 萬 5 千年至 1 萬 3 千年間冰河期結束時，氣候變得長期乾燥，使得具有休眠特性的種子與塊莖得以優勢存活，而促成農業的誕生；第四次發生在 9 千年前，冰棚的崩解，造成海水上升 1.4 公尺與大洪水。最近 5 千年，因為水分缺乏造成農業減產，最後導致數個帝國滅亡，例如 4164 年前因為乾旱與降雨減少，造成美索不達米亞的阿卡德帝國滅亡；1000 年前中美洲長達 200 年乾旱，導致馬雅文明崩解，400 年前南美洲的 30 年的洪水接著 30 年乾旱，造成馬丘滅亡(Ceccarelli *et al*, 2010)。Zhang 等人分析公元 1400 至 1900 年的歐洲與中國的氣候型態與戰爭的次數有強烈關聯；Burke 等人研究提出近年的全球暖化，增加非洲國家內戰的風險(Reynolds & Ortiz, 2010)。

大氣中的二氧化碳、甲烷、一氧化二氮、臭氧等溫室效應氣體，當太陽光線穿越大氣由大地或海洋吸收其熱能，折射的紅外線由溫室效應氣體吸收，造成地球暖化，其中又以二氧化碳貢獻最多。目前二氧化碳濃度大約比工業革命前增加 35%，現在還在持續增加中。地球暖化的嚴重性，經聯合國的跨政府氣候變遷小組(IPCC)第四次報告指出，1850 年開始有溫度紀錄以來，最熱的 11 年落在 1995~2006 的 12 年間，可見氣候變遷是現在進行式(Ceccarelli *et al*, 2010)。二氧化碳濃度根據夏威夷的馬納洛觀測站測量結果，二氧化碳濃度在 2007 一年內就增加 2.14 ppm，這是過去 6 年間第四次年上升值超過 2 ppm，這種增加的速度遠高於科學家的預期。預估當溫度上升超過 2°C 將對農業造成嚴重衝擊，而到 2090~2099，不同經濟與排碳量不同國家分類的 B1，A1B 與 A2 推估分別平均氣溫達到 1.8°C、2.8°C 及 3.4°C，而熱帶地區則會達到 1.4 至 5.8°C 範圍，而 A1B 大部分國家，到 2050 時，會增加到 2°C，排碳量最多的 A2 情境國家，

甚至在 2020 時就會升溫達到 2°C (Jarvis *et al.*, 2010)。

雨量的預測模型並不能像溫度那麼肯定，根據 IPCC 推估未來的年總雨量變化不大，但在濕季降雨量集中，同時伴隨降雨次數減少，造成乾旱期增長 (Jarvis *et al.*, 2010)，可能造成非洲南部、大部分墨西哥、美國西南部、南歐與澳洲等熱帶與亞熱帶地區的乾旱 (Lobell & Burke, 2010)，而世界上最貧窮的地區常在半乾旱或乾旱等地區 (Ceccarelli *et al.*, 2010)。

由於溫度升高造成海水體積增加，同時造成冰山與冰層的溶化，到本世紀末，海平面上升少則 18~38 公分，多則 26~59 公分，將造成沿岸的淹水，以及土壤與地下水的鹽化，預估當海平面上升 55 公分，將造成 1 千 6 百萬至 3 億 8 千 8 百萬人遭遇洪水危害 (Jarvis *et al.*, 2010)。

氣候變遷將造成食物生產、品質與安全的衝擊，預估到 2080 年與 1990 年相比，營養不足人口在中東、北非增加 150%，在次撒哈拉增加 300% (Ceccarelli *et al.*, 2010)。蔬菜是人類獲得營養最經濟的來源。也是農民投資少又回收快的現金作物。氣候變遷造成的高溫、乾旱與土壤鹽化等非生物逆境，以及由此衍生的病害變化、蟲害增加的生物逆境，皆造成未來蔬菜穩定生產的困境。葉菜類蔬菜因為栽培期短、複作指數高、資金需要少及栽培技術門檻低等因素，是蔬菜作物的主要類型，其中又以十字花科最為普遍。根據 FAOSTAT 統計，甘藍與其他十字花科的栽培面積若加上花椰菜與青花菜部分，是萵苣的 3 倍，菠菜的 4.1 倍，所以由栽培面積來看，十字花科為最重要葉菜；由生產量來看甘藍、青花菜與花椰菜的十字花科的生產量為萵苣與朝鮮薊的 3.5 倍，菠菜的 5 倍，由此可見其對食物影響程度 (表 1)。依據美國農部公佈的資料來看，十字花科蔬菜供應蛋白質、鈣、維他命 A、維他命 C、維生素 B1、維生素 B2 及菸鹼酸等營養成分，若以每人每日所需營養成分來看十字花科蔬菜貢獻度，比較明顯為鈣與維他命 C 的量較高，其他雖量少，除玉米外，不低於主要糧食小麥及水稻 (表 2)，是人類重要營養來源。

十字花科蔬菜最重要有甘藍類、白菜類、芥菜類、大油菜與蘿蔔，皆包含不結球葉菜；也多分化出結球的甘藍、結球白菜、包心芥菜，具有耐運輸特性；食用莖部為主有球莖甘藍、瘤芥；食用花球與花苔的青花菜、花椰菜、大心芥藍、油菜心、大心芥菜；作為油料作物的油菜、芥菜與大油菜；食用根部的蕪菁、根芥、瑞典蕪菁與蘿蔔。幾乎在不同十字花科物種在根、莖、葉、花苔與種子多分化出利用。而溫度則由出北方寒冷的瑞典、英國分化出來的瑞典蕪菁、孢子甘藍、越冬花椰菜、越冬甘藍；適應最熱如不結球白菜、油菜心、芥藍、耐熱花椰菜、芥菜。十字花科蔬菜為短期作物，所以會在最適合的地區形成產地。例如台灣秋冬溫度適中，雨量少適合生產，夏季平地溫度高，高冷地形成產地；熱帶地區多在中海拔冷涼氣候下，形成主要產地，

生產後再運輸至消費地，但在未來可能面臨雨量減少，因此造成乾旱及單一雨量造成淹水，或因地形高雖無淹水，可能土壤流失、植株機械傷害或道路損壞，而影響產地的運銷，熱帶與亞熱帶平原預期面臨高溫、乾旱與淹水的三重危機，更難生產。但溫度升高，造成如蘇俄、加拿大、中國東北方與日本北海道等新的產區，在全球自由貿易下，預估變成夏季北菜南運，而冬季能否南菜北運則端視冬季能否有穩定的溫度，如果未來冬季亦如台灣的春季溫度變化激烈，則很難穩定生產，或則必需有適應該生態品種，日本結球白菜品種在台灣春季栽培，非常容易頂燒症，而台灣的結球白菜與花椰菜品種為適合春季溫度變化大情形，已經發展出特定適應品種，所以假設未來產區，如果在東南亞與南亞的結球葉品種，必需有耐熱、耐雨水、抗頂燒特性，未來除需具備抗黑腐病特性外，溫度提高，促使軟腐病發生，而在熱帶平地，為了穩定生產，預防暴雨損害，而進行設施栽培，耐熱又抗頂燒症成為必備條件。亞洲最大生產葉菜基地預期將移到北方。台灣育成的品種具有耐熱特性，已行銷到南中國、印度等地，但如要進入北方市場，將面臨不同病原的新挑戰，而乾旱造成病毒媒介昆蟲密度提高危害，因此栽培的品種必需具備抗病毒特性。北方的暖化對台灣的種苗公司是一個成長與挑戰的機會。

台灣公部門的十字花科育種方向

台灣未來公部門十字花科育種分為國際援助與提高種苗業競爭力兩項，分述如下：

一、國際援助

根據國際貨幣基金會(IMF)公布 2010 年台灣的每人每年生產毛額(GDP)為 18,457 美元，在 179 個國家中，排名第 38 位，在亞洲僅次於日本、新加坡、以色列、汶萊、科威特、香港與韓國。台灣外銷依存度(出口總值/國內生產毛額)在民國 99 年高達 70.4%，國際經濟的興衰，勢必影響台灣經濟的表現。氣候變遷的影響預估對全球經濟生產毛額將減少 5%，如果將風險與衝擊一起納入考慮，甚至達到 20%(Ceccarelli *et al*,2010)，因此對外貿易依存度高的台灣也必難以倖免。台灣的碳排放量根據國際能源總署(EAI)統計 2008 年平均每人 11.53 噸，列為亞洲第 2 名，僅次於生產石油的汶萊，在世界 140 個國家中排第 16 名，而同樣發展石化業的新加坡與韓國分別為 9.16 公噸/人與 10.31 公噸/人。台灣是二氧化碳主要排放者之一，而國際經濟的興衰又直接影響台灣；又加上台灣的許多邦交國是在受氣候影響最激烈的非洲與大洋洲，所以從經濟或道義責任考量，台灣必須減少友邦受氣候災難影響的痛苦，進行國際援助。除了直接以金錢人道救援外，從農業方向可以提供糧食與蔬菜作物品種，供當地自力救濟。

世界上重要的葉菜多為十字花科蔬菜，所以如何提供十字花科蔬菜品種以供應當地農民種植，考慮必需符合以下條件：

1. 生長強勢，早熟高產，適應性廣。
2. 熱帶與亞熱帶地區高溫暴雨，引起黑腐病與軟腐病等逆境狀況。
3. 提供農村婦女就業機會與兒童的營養。
4. 小農自行留種，又不會易退化，而減產。
5. 以當地烹飪方式，市場接受性好。

綜合上述條件，利用複二元體的十字花科不結球葉菜是解決的方法。Morinaga 針對蕓苔屬主要作物親和性與親緣所提出主要蕓苔屬之間關係(Morinaga, 1934)(圖 1)，蕓苔屬(*Brassica*)的甘藍(*B. oleracea* 2n=18,CC)、白菜(*B. rapa* 2n=20,AA)與黑芥(*B. nigra* 2n=16,BB)為基本種，而其複二元體雜種非洲芥藍(*B. carinata* 2n=34,BBCC)、大油菜(*B. napus* 2n=38,AACC)與芥菜(*B. juncea* 2n=36,AABB)、與，而其假說由禹長春首先以抱子甘藍(*B. oleracea*)與四日市丸葉種(*B. campestris*)雜交獲得染色體數 38 的大油菜(*B. napus*)證明假說，而歐洲的學者成功合成大油菜(*B. napus*)、芥菜(*B. juncea*)與非洲芥藍(*B. carinata*)，印度則人工雜交出芥菜(*B. juncea*)(Olsson & Ellerström,1980)。

複二元體具有不同套染色體作用的雜種優勢，所以芥菜、大油菜與非洲芥藍都具有適應廣泛的優點。非洲芥藍發源於非洲，目前主要由非洲衣索比亞保存，在三種複二元體中，數量最少(Bukema & van Hintum, 1999)。人類利用芥菜至少可追溯五千年前，種原中心為中亞至喜馬拉雅山，次種原中心為印度、中國與高加索，做為蔬菜與油料作物(Hemingway, 1976)，而世界保存的種原數量與大油菜相當(Bukema & van Hintum, 1999)，足以進行進一步選拔與育種。大油菜(*B. napus*)被人類發現與利用的時間很短，1620 年瑞典才有文字記載大油菜，主要作為油料與飼料作物，少數當蔬菜食用(McNaughton, 1976)。可以越冬栽培，產油量一般高於白菜類，因而以做為油料作物為主(Weiss, 1983)；回顧引入日本的歷史也是從溫度低的北海道開始栽培(Shiga, 1970)。大油菜具有耐旱的特性，在澳洲開花期只需要 450 至 500 公釐降雨(Weiss, 1983)。在澳洲開花初期平均高溫 28~31℃，開花後期 33~36℃，而成熟期甚至高達 38℃至 41℃，足見其耐熱特性(Weiss, 1983)。大油菜在日本引入栽培，具有高油份、抗白絹病與豐產等優點，但卻怕溼與晚熟，所以日本育種家將大油菜回交白菜，選拔早生抗病特性，由 1930 年至 1970 年育成的 41 個大油菜品種中，15 個為與白菜的種間雜交後代選拔，16 個至少有雜交的一親有白菜的血統，僅有 10 個得自大油菜族群中選拔(Shiga, 1970)。由於大油菜的耐逆境優點，所以在日本(Namai *et al*, 1980)、歐洲(Olssen & Ellerström, 1980)以及廣泛應用芥菜的印度(Pakash, 1980)也投入人工合成大油菜，初期在進行甘藍與白菜雜交，有雜交障礙，難以獲得雜種，加以利用嫁接、混合授粉、

切除柱頭、化學處理及胚培養、4 倍體雜交等不同方法克服，其中以 4 倍體雜交約可高出其他方法 1 倍的效果(表 3)，但仍僅有 0.5%成功率，胚培養的效果最佳，10 篇有 8 篇獲得雜交株，成功比率較一般方法高 4 至 29 倍，而母本使用白菜的效果優於甘藍(Namai et al,1980)。人工合成大油菜可以有較高乾物含量與較高單位面積蛋白質產量(Olosson & Ellerström, 1980)。台中區農業改良場由複二元體千寶菜 2 號選育的台中 1 號芥藍，其鐵與鈣的含量比美國農部的標準高(表 4)。日本試驗機構由白菜轉移耐濕性到大油菜，因為以大油菜為母本白菜為父本的雜交較易獲得雜交種子，白菜類易感軟腐病，一直是栽培的限制因子，甘藍類較耐軟腐病，日本以甘藍與結球白菜雜交獲得‘CO’的大油菜，再回交結球白菜，獲得‘平塚一號’結球白菜，對軟腐病的抗性佳(金沢, 1959)，而其抗病性也廣泛導入後來的栽培種。日本蒔田種苗與麒麟啤酒公司合作，利用抗黃葉病的成功甘藍與耐熱的葉深甘藍，分別與晚生小松菜雜交，種間雜交後再以秋水仙素處理獲得複二元體具有稔性品系，再經選拔後進行雜交組合，歷時 4 年，獲得‘千寶菜 1 號’與‘千寶菜 2 號’(永野等人, 1988)，具有耐暑、耐寒、耐病、晚抽苔與營養價值高等優點(永野, 1987)。日本為改良白菜感軟腐病缺點，除了育成耐軟腐病的‘平塚一號’結球白菜，也同時直接由結球白菜與甘藍雜交，利用秋水仙素處理獲得結球大油菜，因為兩親分別由結球白菜(日文 HAKUsai)與甘藍(日文 kanRAN)來，所以稱為‘白藍菜’(HAKURAN)，品質柔軟多汁，高抗軟腐病與其他細菌病害，同時兼具耐旱與耐熱性，容易栽培(Nishi, 1980)。由抗軟腐病的野生芥藍與結球白菜體胚雜交，由後代亦獲得較結球白菜耐軟腐病品系 (Yamagishi et al, 1990)。高田宗男以自交不親和的‘GC’與‘甘 8’結球大油菜雜交獲得新組合，具有早熟、糖度達 13 度、抗軟腐病與露菌病強等優點，為紀念與報答細田友雄博士，命名為‘F1 細田早生’(高田宗男 2006)。綜上述試驗，利用人工合成大油菜，達到豐產、抗軟腐、口感佳是已經這些溫帶國家成功的案例。但在熱帶與亞熱帶的我們，必需量身訂製適合我們生態的品種。

考慮的順序如圖所示：

1. 生態適應：以適合熱帶具耐熱、耐雨水、耐脊、耐酸性土壤、耐鹽、耐黑腐病、耐軟腐病為目標。甘藍類蔬菜以芥藍與花椰菜為篩檢種類，白菜類以油菜心、小松葉、皇京白菜、黑葉白菜、小白菜為篩檢種類，每一個項目，必需發展出可重複檢驗流程，針對目標地區收集種原。評估以單一項目最佳與綜合評比佳為入選供試材料。
2. 品質要求：①針對已符合生態適應要求品種，進行營養成份分析，以符合本案的宗旨。
②不放冰箱下，貯架壽命不低於當地品種，在台灣必需先以參考品種比較。
③以不同地區烹飪方式料理，可符合當地需求。
3. 產量評估：①符合生態品質要求品種，進行白菜類與甘藍類種間雜交，接著進行胚拯救，最後成株再以秋水素處理誘導複二元體產生，複二元體產生後

授粉，評估自交不親性，下一代不進行選拔直接隔離留種，採種量低者，代表稔實性差，直接淘汰。

- ②針對自交稔性佳者，在以隔離網室下利用蜜蜂隔離留種，淘汰採種差者，以每品系留種 1 公斤為目標。
- ③由農委會與國際合作發展基金會合作，至大洋洲友邦進行耐熱與耐鹽篩選品系，與世界蔬菜中心合作至非洲或南亞進行耐熱與耐病篩選，與東協個別國家透過雙邊會議進行合作發展可能性，篩選品系必需共同回報產量、口味、接受性、當地烹飪方式後接受性、耐貯架壽命，當地自行留種的採種情形。
- ④成功品系推廣，由國外單位與當地推廣人員合作介紹營養與產量表現。
- ⑤不同地區與生態品系再回台灣，進行不同品種人工蕾期雜交，獲得 F_1 後，下一代利用蜜蜂授粉，獲得遺傳歧異度大 F_2 。
- ⑥ F_2 再依不同生態目標進行下一輪迴選種。

二、提高種苗業競爭力

工研院是電子業研發的活水，不論是技術或人才皆源源不絕，台灣農業研究單位希望對台灣的種苗業扮演輔助角色，提高業界競爭力。面對氣候變遷影響，農民栽培難度提高，尤其是貧窮地區農民，很難投入足夠的資本增添設施應付變局，而其最簡便的方法就是使用抗逆境品種。台灣育成的耐熱花椰菜行銷南中國、印度與東南亞，未來在青花菜、甘藍甚至結球白菜，皆有可能再進一步突破，耐熱的十字花科品種是台灣未來改善氣候變遷對農民與消費者衝擊的具體辦法，也是台灣種苗業立足世界與人競爭的根本，未來氣候不穩定，預期最大的產區可能在北方，而東南亞與印度高地生產，如果平均溫度升高，將面對新的生態。亞蔬專家調查印度 3 個省栽培花椰菜與甘藍 300 位農民，花椰菜最重要蟲害是小菜蛾，甘藍則是蕃茄夜蛾，而兩個作物最重要病害為細菌性病害引起的焦枯，而其防治病害的藥劑依使用量排序前三者為大生粉、貝芬替與菲克利，並未使用針對細菌性病害的銅劑或抗生素藥劑，因為花椰菜單價較高，三個省有兩個省會連作 1 至 2 次分別高達 48% 與 49%，造成病害與蟲害不易中斷的背景(Weinberger & Srinivansan, 2009)。未來溫度升高，對蟲害的密度有利，病害可能是黑腐病，因為連作的習慣將會持續有利發病，但軟腐病因溫度升高，可能成為另一個問題，未來針對黑腐病，最可行方式為育成抗特定生理小種雜交種送至產地，再依產地表現修正品種發展策略，如果花椰菜短期內無法有效抗病種原，則必需考慮由白菜類導入抗黑腐病，目前已成功將混合菌株仍表現抗性的種原與花椰菜進行種間雜交，未來將進一步導入花椰菜。

未來北方溫度升高對台灣的品種是一個機會，但台灣品種對病害的抗性缺乏具體抗性品種是我們的弱項。日本的甘藍、結球白菜與蘿蔔商業品種對病害抗性，甘藍最強調抗黃葉病，其次是黑腐病；結球白菜依序抗根瘤病與軟腐病；蘿蔔則為抗黃葉病與病毒病，三種十字花科共同強調為土壤性病害，例如可以在'六五'至'十五'期間用原膜孢子殘存土壤的黃葉病或殘株造成下一作感染的黑腐病，其次是由媒介昆蟲傳播的病毒病。中國針對甘藍的蕪菁嵌紋病毒(TuMV)、胡瓜嵌紋病毒(CMV)、花椰菜嵌紋病毒(CaMV)、黑腐病與根瘤病進行篩選，育成抗蕪菁嵌紋病毒 2 個品種，抗蕪菁嵌紋病毒病與黑腐病 8 個品種，抗蕪菁嵌紋病毒病、耐黑腐病與抗根瘤病 2 種，抗 TuMV、CMV、黑腐病 2 種(劉, 2008)。近來則甘藍黃葉病在中國北方與根瘤病在中國西南方有日益嚴重趨勢(楊等, 2011)，而抗黃葉病甘藍種原主要來自日本、韓國與荷蘭(康等, 2010)。中國的結球白菜研究在病毒病、露菌病研究豐碩，也育成雙抗品種，其他對軟腐病、黑斑病、黑腐病與白斑病亦有作抗性篩選(李, 1995)。近年來除了根瘤病、病毒病、露菌病、黑斑病有新的生理小種變化，而黑腐病與黃葉病也逐漸流行(張等, 2011)。以前中國與日本甘藍品種在抗性非常大差異在中國強調抗 TuMV 與黑腐病，日本則是黃葉病與黑腐病，但由新的結果看，抗黃葉病已經是在北方栽培品種必需具備條件；結球白菜中國除了軟腐病仍是個問題外，黑腐病是新的問題。綜合北方十字花科狀況，台灣品種如要在北方栽培，結球白菜在抗病性必需抗 TuMV，耐軟腐、黑腐、抗根瘤病；甘藍或花椰菜則除了抗黑腐、TuMV 外，必需能抗黃葉病。但每一個項目都有其複雜性與必需投入相當的人工進行基礎研究，才能有較穩定的結果，以十字花科黑腐病作說明。黑腐病抗病育種最早由日本的品種 '富士早生'篩選到抗病性(Bain, 1952)，其抗病性是由 1 個隱性基因與 2 個修飾基因控制(William *et al* 1972)。而農試所由美國種原 'PI 281552'篩選純化抗病自交系，經遺傳分析確認由 1 顯性基因控制(蕭與張, 1988)。造成此種遺傳分析差異如此大，除了種原本身的特性外，主要是病原的生理小種分化。Kamoun 等人首先以 3 個蕪菁、1 個芥菜與 1 個甘藍品種作為鑑別寄主將黑腐病分為 0 至 4 共 5 個生理小種(Kamoun *et al*, 1992)。Vincent 等人再根據 Kamoun 的模式，保留原來使用的鑑別寄主，另外增加非洲芥藍 'PI 19947'與花椰菜 'Miracle'，依此 6 個品種對黑腐病的不同抗感反應，區分為 6 個生理小種(Vincent *et al*, 2001)。Fargier 與 Manceau 根據 Vincent 模式，以相同鑑別寄主，依其與不同鑑別寄主反應與原來 6 種不同，增加為 9 個生理小種(Fargier & Manceau, 2007)。小種為 1 與 4 為最重要生理小種(Ignatova, *et al*, 1998; Vincent *et al*, 2001)。所以必需先釐清臺灣有無生理小種 1 與 4，甘藍的黑腐病分別由台北市的陽明山、新北市的三峽、宜蘭縣、南投縣的仁愛鄉、雲林縣的崙背鄉及二崙鄉收集的病葉分離，編號共 39 個菌株，依照 Vincenile 等人以鑑別寄主區分，依鑑別寄主反應，分成不同生理小種，其中以生理小種 4 有 22

菌株，生理小種 7 有 5 菌株，生理小種 1 僅有 2 菌株，無法歸類有 5 菌株(許，未發表)，此與國外生理小種 1 與 4 為主有所不同，但亦有生理小種 1，所以可以進一步選拔抗病株。透過生理小種的確認，後續的遺傳分析與分子標誌，才能有可再現結果，亦可以了解是否有新的生理小種，但這些需要從病原收集分離，鑑別寄主建立，接種方法建立，逐代篩選純化，前後需要的病理與育種人力、資金與長達 6 年等待，遺傳分析族群建立則另外需要 3-4 年，並非臺灣 1 間中型私人公司可負擔，但如能完成全程，其結果可以與世界其他大型種苗公司比較。所以未來必需選擇重點項目，但必需跨領域整合，政府投入與支援長期與足夠資金，但在不同階段檢核，作到佔世界一席之地。未來短期可以選擇項目為黃葉病，因為日本有足夠的抗病商業品種，難在是否收集足夠有歧異度與代表性病原。根瘤病與病毒病必需先從鑑別寄主引入或建立著手。

頂燒症常被歸為缺鈣所造成，但實際補充鈣肥，不是效果不彰，就是成效有限，但若更換品種，則能克服或減緩此種問題。頂燒可分為外部頂燒與內部頂燒，外部頂燒在夏季栽培，不適合的品種，會完全無法結球或影響品質，以甘藍在鳳山栽培為例，55 個甘藍品種，頂燒指數低於 5% 有 11 個品種佔評估品種數的 20%，所以夏季栽培品種必需具抗頂燒特性。內部頂燒在生長快速的秋作或長期貯藏品種較易發生，而以下栽培因子易促成內部頂燒，同時也是篩選的條件(Everaarts & Blom-Zandstra, 2001)：

1. 高相對濕度，抑制蒸散，減少鈣的補充。
2. 提高生長速度的方式，易造成內部頂燒。
3. 低密度栽培，單一球過大易頂燒。
4. 施過量氮肥，氮肥型態為銨態氣肥。
5. 延遲採收。
6. 冷藏一段時間。
7. 根系發展受限制。
8. 白天高蒸散，夜晚低蒸散。

氣候變遷提高栽培失敗的機率，雖然早熟品種單一球重較低，但其提早採收，可降低風險，而且產量則可由提高密度稍加改善，但甘藍極早熟品種有耐熱不足與易缺鈣問題，有待改善；花椰菜則易有頂燒與缺硼問題，品種間差異明顯，有待改進。

花椰菜與青花菜花球的生產需要一定的低溫或涼溫，才足以花芽分化，生產正常花球，否則會有柳葉、小花蕾枯黃或花球表面枯焦情形。花椰菜耐熱性優於青花菜，但有在圍性差問題，必需由熱帶耐熱與溫帶耐熱族群雜交選拔耐熱在圍性佳品系。青花菜亞蔬改良的品系已可在台灣的 6-7 月採收，這是一大突破，相信未來也猶如耐熱花椰菜成為另一個品項，未來必需解決可能是感黑腐與不耐貯放問題。未來利用耐熱花椰菜與耐熱的油菜心雜交，可創育新的花球型大油菜，可以再導入青花菜或花椰菜，

一方面提高耐熱性，另一方面提高其抗黑腐病特性。

未來能源的價格上揚，依據能源生產的氮肥將較現在更貴，而過量的氮肥流入地下水，最後到達海洋，過量氮肥造成藻類過度生長，使海洋逐步死亡，而海洋中的細菌可將氧化態的硝酸還原為氧化亞氮，而氧化亞氮(N₂O)的溫室氣體效應是二氧化碳的300倍，所以對農作物而言，如何用育種的手段，在低氮肥或正常施肥篩選具有高氮肥利用率品種(NUE)為未來重要的課程。

耐熱大油菜、非洲芥藍與芥菜等複二元體優於白菜、甘藍與黑芥(Ashraf *et al*,2001)，其中大油菜 200mM 濃度的乾物重是原來的 52.4%，白菜、甘藍與黑芥則分別是對照組的 40.4%、36.5%與 28.8%但其最高濃度僅用到 200mM，十字花科野草以死亡 50% (LD50)方式評估，可忍受到 600mM，未來如能經由屬間雜交，體胚雜交或其他方式導入現有品種，可以擴大沿岸邊緣土地利用，減少氣候變遷衝擊(Orsini *et al*,2010)。

結 論

氣候變遷的研究學者紀登斯針對各國很難對減碳提出具體承諾，提出「登登斯的弔詭」(Giddens's paradox):由於全球暖化帶來的危害在日常生活中並非有形的、立即的、明顯可見的，就算危害很可怕，很多人會依然袖手旁觀，未採取實際行動，等到危害變得可見而且嚴重時，才採取嚴勵的措施，顯然已經太慢了。相同的育種需要為政者的支持，資金、人力長期的挹注，需要一個輪迴一個輪迴改進，需要時間，但中間過程的檢討修正，可以讓結果更盡善盡美。

引用文獻

- 永野浩司、時田勉、深水孝明、川野隆明、森本博幸。1988。アブラナ科合成ナブス千宝菜1号の育成および特性。育種學雜誌(別冊2): 306-307。
- 金沢幸三。1959。平塚一号。p.193。蔬菜の新品種。藤井健雄編。誠文堂新光社出版。東京。227pp。
- 高田宗男。2006。F₁ 細田早生。p.88。蔬菜の新品種(第16卷)。伊東正編。誠文堂新光社出版。東京。166pp。
- 康俊根、田仁鵬、耿麗華、陳延陽、簡元才、丁芸花。2010。甘藍抗枯萎病種質資源的篩選及抗性基因分布頻率分析。中國蔬菜。(2):15-20。
- 張淑江、李菲、章時蕃、張慧、孫日飛。2011。“十一五”我國大白菜遺傳育種研究進展。中國蔬菜。2011(6):1-8。

- 楊麗梅、方智遠、劉玉梅、庄木、張揚勇、孫培田。2011。“十一五”我國甘藍遺傳育種研究進展。中國蔬菜。2011(2):1-10。
- Ashraf, M., N. Nazir. and T. McNeilly. 2001. Comparative salt tolerance of amphidiploid and diploid *Brassica* species. *Plant Sci.* 160:683-689.
- Bain, D. C. 1955. Resistance of cabbage to black rot. *Phytopathology* 45: 35-37.
- Boukema, I. W. and Th. J. L. van Hintum. 14 Genetic resources. p.461-479. *in: Biology of Brassica Coenospecies.* (Cómez-Campo, C. ed.) Elsevier Science B. V. Amsterdam. 489 pp.
- Ceccarelli, S., S. Grando, M. Maatougui, M. Micharl, M. Slash, R. Haghparast, M. Rahmanian, A. Al-Yassin, A. Benbelkacem, M. Labdi, H. Mimoun. and M. Nachit. 2010. Plant breeding and climate changes. *J. Agri. Sci.* 148:627-637.
- Everaarts, A.P. and M. Blom-Zandstra. 2001. Review: internal tipburn of cabbage. *J. Hort. Sci. Biotech.* 76(5): 515-521.
- Fargier, E., and Manceau, C. 2007. Pathogenicity assays restrict the species *Xanthomonas campestris* into three pathovars and reveal nine races within *X. campestris* pv. *campestris*. *Plant Pathology* 56:805-818.
- Ignatov, A., Kuginuki, Y., and Hida, K. 1998. Race-specific reaction of resistance to black rot in *Brassica oleracea*. *Eur. J. Plant Pathol.* 104:821-827.
- Inomata, N. 2007. Chapter4 *Brassica* vegetable crops. p.115-146. *in: Genetic Resources, Chromosome Engineering, and Crop Improvement Volume3: Vegetable Crops.* (Singh, R. J. ed.) CRC Press. New York. 530 pp.
- Jarvis, A., J. Ramirez, B. Anderson, C. Leibing. And P. Aggarwal. 2010. Scenarios of climate change within the context of agriculture. p.9-37. *in: Climate Change & Crop Production.* (Reynolds, M. P. ed.) CABI. Oxfordshire. 292 pp.
- Kamoun, S., Kadmar, H. V., Tola, E., and Kado, C. I. 1992. Incompatible interactions between crucifers and *Xanthomonas campestris* involve a vascular-hypersensitive response: Role of the hrpX locus. *Molecular Plant-Microbe Interactions.* 5:22-33.
- Lobell, D. and M. Burke. 2010. Economic impacts of climate change on agriculture to 2030. p.38-49. *in: Climate Change & Crop Production.* (Reynolds, M. P. ed.) CABI. Oxfordshire. 292 pp.
- McNaughton, I. H. 1976. 18. Swedes and rapes. p.53-56. *in: Evolution of Crop Plants.* (Simmonds, N. W. ed.) Longman Group Limited. New York. 338 pp.
- Nishi, S. 1980. Differentiation of Brassica crops in Asia and the breeding of 'Hakuran', a

- new synthesized leafy vegetable. p.133-150. *in: Brassica Crops and Wild Allies, Biology and Breeding.* (Tsunoda, S., K. Hinata and C. Cómez-Campo, eds.) Japan Scientific Press. Tokyo. 354 pp.
- Namai, H., M. Sarashima and T. Hosoda. 1980. Interspecific and intergeneric hybridization breeding in Japan. p.191-203. *in: Brassica Crops and Wild Allies, Biology and Breeding.* (Tsunoda, S., K. Hinata and C. Cómez-Campo, eds.) Japan Scientific Press. Tokyo. 354 pp.
- Olsson, G. and S. Ellerström. 1980. Polyploid breeding in Europe. p.167-190. *in: Brassica Crops and Wild Allies, Biology and Breeding.* (Tsunoda, S., K. Hinata and C. Cómez-Campo, eds.) Japan Scientific Press. Tokyo. 354 pp.
- Orsini, F., M.P. D'Urzo, G. Inan, S. Serra, D.H. Oh, M.V. Mickelbart, F. Consiglio, X. Li, J.C. Jeong, D.J. Yun, H.J. Bohnert, R.A. Bressan and A. Maggio. 2010. A comparative study of salt tolerance parameters in 11 wild relatives of *Arabidopsis thaliana*. *J. Expt. Bot.* 61(13): 3787-3798.
- Prakash, S. 1980. Cruciferous oilseeds in India. p.151-163. *in: Brassica Crops and Wild Allies, Biology and Breeding.* (Tsunoda, S., K. Hinata and C. Cómez-Campo, eds.) Japan Scientific Press. Tokyo. 354 pp.
- Reynolds, M. P. and R. Ortiz. 2010. Adapting crops to climate change: a summery. p.1-8. *in: Climate Change & Crop Production.* (Reynolds, M. P. ed.) CABI. Oxfordshire. 292 pp.
- Vicente, J. G., Conway, J., Roberts, S. J., and Taylor, J. D. 2001. Identification and origin of *Xanthomonas campestris pv. campestris* races and related pathovars. *Phytopathology* 91: 492-499.
- Vicente, J. G., Taylor, J. D., Sharpe, A. G., Parkin, I. A. P., Lydiate, D. J., and King, G. J. 2002. Inheritance of race-specific resistance to *Xanthomonas campestris pv. campestris* in *Brassica* genomes. *Phytopathology* 92:1134-1141.
- Weiss, E. A. 1983. Oilseed crops. Longman Group Limited. New York. 660 pp.
- Williams, P. H., Staub, T., and Sutton, J. C. 1972. Inheritance of resistance in cabbage to black rot. *Phytopathology* 62: 247-252.
- Williams, P.H. 1980. Black rot: a continuing threat to world crucifers. *Plant Dis.* 64: 736-742.
- Yamagishi, H., H. Yoshikawa. and S. Yui. 1990. Leaf morphology and soft rot resistance in offspring of a somatic hybrid between Chinese cabbage and kale. *Euphytica* 47:215-221.

Adjusting Breeding Strategies of Cruciferous Vegetable to Match Challenges of Climate Change

San-Tai Wang, Shiow-Huey Hseu, Kan-Shu Chen, Chin-Chun Chiou, Shuo-Peng Li,
Chen-Yu Lin, Hui-Ling Lo, Jaw-Neng Lin, Miao-Miao Hsu, Cheng-Fang Hong,
Lien-chung Chang, Pei-Hua Chen

Abstract

Climate change had started from industrialization by increasing CO₂ concentration. Stable production of cruciferous vegetable will be more and more difficulty with climate change by biotic or non-biotic stress with higher average temperature, drought, higher sea level, salinity of soil, disease or pest changing. Cruciferous vegetable is the most important leafy vegetable for human being to supply nutrition economic and farmer's income. Production area of cruciferous vegetable will change or adjusting new varieties to adapt new eco system in the same production area. Taiwan varieties of cruciferous vegetable with characters of heat tolerance will have chance to cultivate in temperature area where will be warmer under climate change. Breeding strategies of cruciferous vegetable will be two major items, one is international assistance, and another is promoting competition of seed industry. The aims of international assistance breeding are selecting and breeding of *Brassica napus* and *Brassica juncea* which are amphidiploids with characters of high eco-adaptation, nutrition and easy propagation locally. The aims of prompting seed industry breeding are breeding of *Brassica oleracea* and *Brassica campestris* which are major consumer crop to match climate change. Besides selection germplasm of *B.napus* and *B.juncea*, interspecies crossing, embryo rescuing and chromosome doubling of *B. oleracea* and *B. campestris* which select for characters of heat tolerance and other eco-adapting characters will create new population in early generation with fertile normally and enough seeds. New population of *Brassica napus* will send to tropic or subtropics countries to select its own eco-adaptation variety by AVRDC, ASEAN or International Cooperation and Development Fund (ICDE). New variety of local adaptation *Brassica napus* will send back to Taiwan for next recurrent selection and back crossing to *B. oleracea* or *B. campestris* for improving eco-adaptation. Although Taiwan's varieties posses heat tolerance character, but lack of drought tolerance and virus resistance will be problems. Different of disease

population between Taiwan and temperate area need more researches to understand. For examples, race 1 and 4 of *Xanthomas campestris* were major races in Japan, England and Germany, but race 1 is major race in Taiwan. Varieties of *Brassica spp.* could be also resistant to *Xanthomas campestris* of temperate area with screening of specific races in temperate region. Disorder of tipburn is not only by high temperature, but also for late maturity variety. Screening and breeding of tipburn resistant varieties are necessary under climate change. Early maturity varieties can reduce damage of climate change, but shortages of lacking heat tolerance and tipburn must improve. Enough specific low temperature period treatment is necessary for production of cauliflower and broccoli. Although Taiwan's cauliflower varieties had character of heat tolerance, recurrent selection for improving ability to produce in the summer of temperate region will hold in the future. Introduction heat tolerance character from cauliflower to broccoli and introduction heat tolerance character from *Brassica napus* to cauliflower or broccoli will create a new more heat tolerance population for further breeding. Breeding of high nitrogen use efficiency (NUE) cultivars will be a challenge for expensive nitrogen fertilizer under climate change. Molecular marker assist breeding, mutation breeding, embryo rescuing and another culture are necessary technologies for further breeding of cruciferous vegetable. Time, financial support and human resource are necessary for breeding to well done. We must invest in breeding right now for reducing suffering of further disaster under climate change.

表 1 世界十字花科與其他葉菜 5 年收穫面積與生產量

	2009	2008	2007	2006	2005	平均
甘藍及其他芸薹屬：						
收穫面積 (千公頃)	2,287	2,224	2,192	2,218	2,385	2,261
生產量 (千噸)	64,327	63,597	61,201	65,535	66,460	64,224
花椰菜及青花菜：						
收穫面積 (千公頃)	1,164	1,053	1,080	1,036	954	1,057
生產量 (千噸)	19,872	18,802	18,333	17,782	16,628	18,283
高苣及朝鮮薊：						
收穫面積 (千公頃)	1,107	1,094	1,090	1,087	1,042	1,084
生產量 (千噸)	24,327	23,704	23,610	23,374	22,318	23,466
菠菜：						
收穫面積 (千公頃)	813	813	810	821	799	811
生產量 (千噸)	19,611	18,819	16,101	14,915	13,155	16,520

(資料來源：FAOSTAT)

表 2 每日營養建議攝取量及十字花科蔬菜與主要糧食營養

生命階段	卡路里 (kcal)	重量 (g)	蛋白質 (g)	維生素 A (RE)	鐵 (mg)	鈣 (mg)	維生素 B1 (mg)	維生素 B2 (mg)	菸鹼酸 (mg)	維生素 C (mg)
小孩(4~6)	1800		24	500	10	800	0.6	0.6	8	25
男人 (25~50)	2900		63	1000	10	1000	1.2	1.3	16	90
女人 (25~50)	2200		50	800	15	1000	1.1	1.1	14	75
孕婦	2500		60	800	30	1000	1.4	1.4	18	85
甘藍	33	150/杯	2	20	0.3	47	0.09	0.08	0.4	30
青梗白菜	20	170/杯	3	437	1.8	158	0.05	0.11	0.7	44
白菜	17	119/杯	2	115	0.4	38	0.05	0.05	0.6	19
花椰菜	29	124/杯	2	2	0.4	20	0.05	0.06	0.5	55
芥藍	36	130/杯	2	962	1.2	94	0.07	0.09	0.7	53
球莖甘藍	48	165/杯	3	7	0.7	41	0.07	0.03	0.6	89
芥菜	21	140/杯	3	424	1	104	0.06	0.09	0.6	35
蕪菁	33	156/杯	1	0	0.3	34	0.04	0.04	0.5	18
玉米	83	77/穗	3	1,017	1.9	357	0.08	0.2	1.1	45
水稻	205	158/杯	4	0	1.9	16	0.26	0.02	2.3	0
小麥	407	120/杯	16	0	4.7	41	0.54	0.26	7.6	0

(資料來源：USDA)

表 3 不同方法進行白菜與甘藍種間雜交獲得雜交數與比率

		授粉數(A)	獲得雜交數(B)	B/A(%)
<i>B. campestris</i> × <i>B. oleracea</i>	其他方法	48572(25) ^z	127(19) ^y	0.26
	4n × 4n	36496(5) ^z	189(2) ^y	0.54
	胚培養	3877(6) ^z	323(6) ^y	8.33
<i>B. oleracea</i> × <i>B. campestris</i>	其他方法	21614(10) ^z	34(1) ^y	0.30
	4n × 4n	28577(2) ^z	131(2) ^y	0.46
	胚培養	11627(4) ^z	147(2) ^y	1.26

^z：雜交組合發表的篇數

(由 Namai, H 等人資料整理,1980)

^y：雜交組合有獲得雜交株篇數

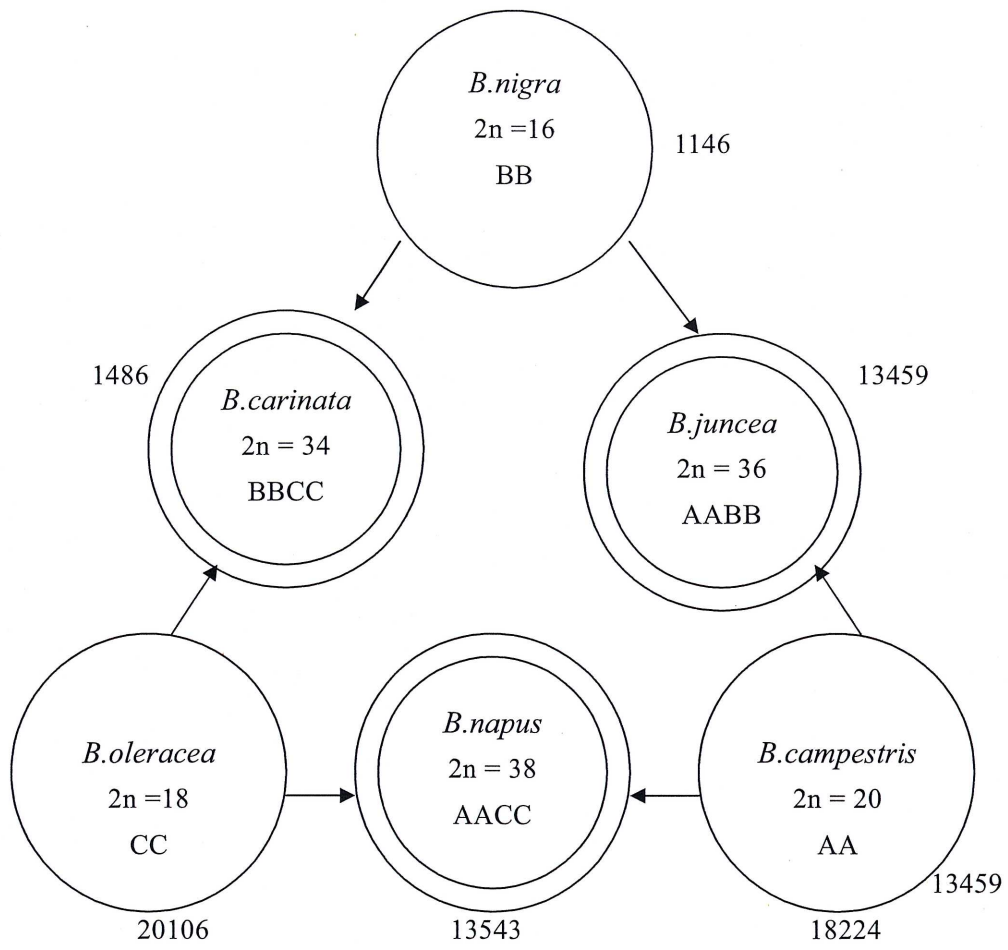


圖 1 主要蕓苔屬之間親緣關係與種原數量
(Frandsen, 1943 ; Boukema and Hintum, 1999)

表 4 台中 3 號與千寶 2 號大油菜與其他十字花科葉菜類營養成份比較

	卡路里 (kcal)	重量 (g)	蛋白質 (g)	鐵 (mg)	鈣 (mg)	維生素 C (mg)
甘 藍	22.0	100	1.3	0.2	31	20.0
青梗白菜	11.7	100	1.7	1.0	93	25.8
白 菜	14.2	100	1.6	0.3	32	15.9
花 椰 菜	23.3	100	1.6	0.3	16	44.3
芥 藍	27.6	100	1.5	0.9	72	40.7
球莖甘藍	29.0	100	1.8	0.4	25	53.9
芥 菜	15.0	100	2.1	0.7	74	25.0
蕪 菁	21.1	100	0.6	0.1	22	11.5
蘿 蔔	20	100	0	0	20	20.0
台中 3 號	13.0	100	2.0	1.5	145	16.3
千寶 2 號	10.0	100	1.6	0.9	88	16.6

(資料來源：USDA 與台中區農業改良場)