



保存與利用植物遺傳資源 來因應氣候變遷

Coping with Climate Change-Conservation and Use of Plant Genetic Resources

邱輝龍 魏趨開 溫英杰 行政院農業委員會 農業試驗所作物種原組

Chiu, H. L., C. K. Wey, and I. C. Wen

Plant Germplasm Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan

前言

糧農遺傳資源(Plant Genetic Resources for Food and Agriculture, 簡稱PGRFA)為植物遺傳資源(Plant Genetic Resources, 簡稱PGR)的一部分,又叫作物種原(Crop Germplasm),是作物遺傳改良的基礎,也是人類面對氣候變遷重要的調適策略之一。

去年(2012)夏天英國面臨最多雨的一次夏季,而土耳其則出現攝氏50度高溫。臺灣1997年的賀伯颱風2天內降下2千公釐大雨;莫拉克颱風則是3天內降下2千公釐,是2千年才有一次的超級暴雨。這些極端狀況使得200年的雨量統計回歸數據完全失真,無法預測解釋,同時也使得許多防洪設施失效,乾旱時間變長而影響農業生產。另外,全球平均溫度升高攝氏0.74度,臺灣卻升高了1.4度,是全球升溫的兩倍。我國國家災害防救科技中心正在進行「氣候變遷推估與資訊平台計畫」(Taiwan Climate Change Projection & Information Platform, 簡稱TCCIP),希望透過資訊整合建構模擬模式,推估災害動向,及早進行防災準備並因應,避免極端氣候造成的傷亡。

氣候變遷下產生氣溫與降雨改變、海水溫度上升、海平面上升及極端事件(如颱風)發生強度增加,

這些極端氣候的變化,都是我們未曾經驗過的,各國均面臨嚴峻考驗。在此情況下,糧食作物接受陽光照射時間變短致生育時期不足,改變作物種植時期與病蟲害的發生或密度增加,地區性的糧食生產呈現不穩定的狀態,糧食產量將降低8-30%,嚴重影響世界糧食供應;同時造成環境劣化,影響人類健康,改變了整體經濟發展。

我們要確保遺傳資源之保存與合理利用,以因應氣候變遷下的農業發展與其野生近緣種保育。建構有效的種原保存系統,以確保糧農植物遺傳資源保存外,篩選耐高溫、耐旱澇、耐鹽等非生物性逆境之品系並規劃其合理利用。

我們正處於氣候急遽變遷中

聯合國政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, 簡稱IPCC)第四次評估報告(4th Assessment Report, AR4)表示,自1906到2005年間溫度上升0.74 °C,大於第三次評估報告(Third Assessment Report, TAR)的0.6°C;且20世紀下半葉的上升幅度是過去100年平均值的2倍,全球暖化趨勢明確(圖1)。中高緯度地區,模型預測至2050年溫度將增加1-3°C,CO₂排放會增加與降雨會改變,作

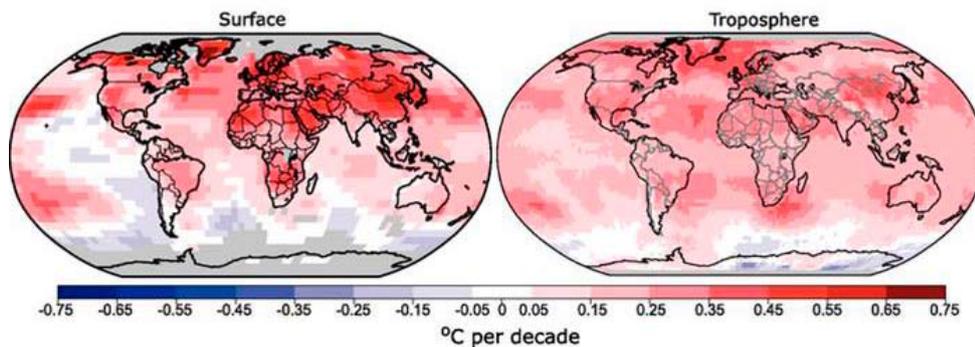


圖1 利用衛星記錄所估算的1970-2005年間線性全球溫度趨勢圖。左圖為地面溫度趨勢圖，右圖為地面到約10公里高度的對流層溫度趨勢圖；灰色區域表示資料不完整。當地面溫度變化與陸地和海洋的溫度變化相關性更高時，對流層衛星記錄的溫度變化更具一致性。(照片來源：2007年聯合國政府間氣候變遷小組第4次評估報告、第1工作組報告中常見問答集之第3.1題)

物產量會略微提高；在低緯度地區，特別是季節性乾旱地區或熱帶地區，即使溫度小幅增加1-2°C，作物產量將會降低，特別是穀類作物。以全球穀類耕作系統來說，改變栽培品種及種植期可以避免因溫度增加1-2°C而使產量降低，但在低緯度地區當溫度增加3°C，作物的適應性會變差，並使栽培土地劣化、資源利用減緩並影響野生種與栽培種的生態及病蟲害的分布與密度，造成全面性的糧食產量下降(IPCC, 2007)。

以亞洲為例，若我們將增加CO₂濃度對作物生理的正面效應列入考慮的話，在東亞及東南亞地區作物產量將增加20%，而在中亞及南亞地區減產30%。當氣候改變，我們也可以調整農業生產區，例如蒙古東部乾燥的草原帶會將森林草原帶推移到北邊，使得高山地區及森林草原帶範圍縮小，而擴增了草原及沙漠草原帶。適宜或有潛力生產穀類的地區將推移至蘇聯及亞洲東部，超過2千8百萬公頃的南亞及東亞土地需要增加其灌溉系統，因為在亞洲乾旱及半乾旱地區每升溫1°C需增加至少10%的灌溉系統(IPCC, 2007; Jarvis et al., 2011)。

海平面的上升與溫度升高趨勢是一致的，自1961到2003年間海平面每年上升1.8公釐，但在1993到2003年間則加速為每年3.1公釐。海平面上升導致

沿海地區產生土壤鹽化問題與窪地耕作面積的減少。冰雪面積減少趨勢也與溫度上升趨勢一致，1978年以來的衛星資料顯示，北極年平均海冰面積以每十年2.7%的速率退縮，夏季退縮率較大，為每十年退縮7.4%；南北半球的山地冰川和積雪平均面積已呈退縮趨勢；而自80年代以來，北極多年凍土層上層溫度已普遍升高達3°C。降雨量也有變化，自1970年起乾旱範圍擴大、持續更久且情形更嚴重，地中海、非洲南部與南亞部分地區降雨減少，但南北美東部、北歐、亞洲北部與中部降雨大幅增加。平均而言，全球至2050年降雨量將增加15-20%，但降雨頻率會隨著地區而改變，間接的影響灌溉水資源的取得。全球暖化引起的冰河融化與海平面上升會釋放地殼裡被壓抑的能量，引發劇烈地質變化，提高地震、海嘯和火山爆發發生的機率，據統計自1993年到2006年間全球大地震的次數增加3倍還多。

在聯合國的報告中，臺灣屬於氣候變遷高危險群。根據中央氣象局有關臺灣過去百年氣候特性變化的統計資料，近一百年來全臺平均氣溫上升了0.8°C，略高於全球百年增溫的平均值(0.7°C)，鄰近區域的海面氣溫也增加0.9-1.1°C，同時過去五十年熱浪發生頻率及持續天數明顯增加；然而日照與輻

射方面，日照時數與輻射量則呈降低趨勢。降雨方面，雖然年降雨量無顯著的變化，但降雨時數減少，降雨強度增加，極端降雨情形相對嚴重。依據臺灣海域周圍的海洋潮流資料顯示，臺灣海域海平面年平均上升速率為2.51公釐，高於全球海平面平均上升率之1.8公釐。過去十年，高雄沿海以每年6.79公釐速度上升，臺灣西南部地層下陷速率每年為7.89公釐。極端氣候方面，臺灣地區不但位居太平洋西側的地震帶，也處於西北太平洋地區颱風侵襲的主要路徑，屬於極易受到天然災害影響的區位。根據內政部之統計，1980年之後臺灣每年颱風與豪雨致災個案次數有上升之趨勢；另依據農委會停灌休耕統計資料，顯示1984年之後乾旱發生頻率較過去更為密集，尤其2002年以後更加頻繁。

由此可見氣候變遷不只是氣候從一種狀態變化至另一種狀態，而是一直在改變。所以，因應氣候變遷的衝擊不僅在於適應變遷後的新氣候狀態，更要有策略因應不斷改變的環境。

氣候變遷對糧農植物遺傳資源的衝擊

廣泛而豐富的種原是作物遺傳改良的基礎，因此維持與擴大種原的遺傳多樣性一直是種原保育

與育種人員工作的目標。糧農植物遺傳資源與糧食安全相關的生物多樣性(Plant Genetic Resources for Food and Agriculture and Associated Biodiversity for Food Security, 簡稱PGRFA-AB)泛指物種層次與基因層次的植物多樣性，為提供現在與未來全球糧食安全及維持生產過程中所需的生態系。面對全球日趨嚴重的氣候變遷及暖化，對PGRFA-AB產生極大的衝擊，除造成全球生物歧異度下降以及加速物種滅絕速率外，也對山林、海岸、內陸濕地、河川及海洋等生態系造成影響。依據IPCC AR4的報告，如果溫度上升1.5-2.5°C，全球20-30%物種可能面臨滅絕；如果上升超過3.5°C，則有40-70%物種面臨滅絕的風險。所以加強生物多樣性的維護，並注重森林和水土資源的保護與利用，已是全球生態保育和農業永續發展的趨勢。

收集、保存、鑑定、建立資料與利用多樣化的野生近緣種(Crop Wild and Relatives, 簡稱CWR)是我們因應氣候變遷的重要策略。根據聯合國糧農組織(The Food and Agriculture Organization, 簡稱FAO)的統計資料，由於全球野生近緣種的原地保存(in situ)與利用的草案及操作流程都已建立，到目前為止受保護的棲息地數目與面積已較舊有的擴增了30%，無形



圖2 斯瓦爾巴全球種子庫的入口
(照片來源: Svalbard Global Seed Vault/Mari Tefre)

中增加了野生近緣種的保存(FAO, 2010)。糧農植物遺傳資源的原地保存與耕地(on-farm)保存是一種動態的保存,為自然界及農民選拔的結果,但棲息地的環境不僅複雜且時時要面對氣候變遷的衝擊(Bertacchini, 2008),例如1997年聖嬰現象(El Niño)的洪水造成厄瓜多爾木薯種原流失及南亞米契(Mitch)海嘯嚴重地摧毀中美洲的香蕉種原;一個颱風就可以摧毀菲律賓一間種子銀行的牆。Jarvis 等人(2008)預測落花生屬(*Arachis*)、茄屬(*Solanum*)和豇豆屬(*Vigna*)作物的野生近緣種到2055年時有16-22%的數量面臨滅絕的危機,其中落花生屬最嚴重,51物種有24-31物種會滅絕,棲息地也將減少85-94%;而Thomas 等人(2004)則預測全球將有15-37%的野生近緣種瀕臨滅絕;到2080年歐洲將流失27-42%植物物種(Thuiller *et al.*, 2005)。

在這種情況下,種子庫、無性繁殖作物保存園與植物園等的異地(ex situ)保存就顯得相當地重要了。異地保存具有保存瀕危與珍稀種原的功能,與原地保存是互補的。當遺傳資源的棲息地受到干擾時,種子庫或保存園的材料即可取出復育,而原地保存的遺傳資源在歷經時間的推演,則可用來評估環境對它們的影響,並和原來保存於種子庫或保存

園的材料比對。據統計,目前全球至少有1,700個種子庫,保存約740萬份作物遺傳資源,其中約200萬份是沒有備份的(FAO, 2010)。

在FAO的支持下,挪威於北極圈北端偏遠的斯瓦爾巴群島的冰岩深處,設立斯瓦爾巴全球種子庫(Svalbard International Seed Vault, 簡稱SISV)(圖2),用來保護全球的糧食供應。這座被稱為「世界末日種子庫」(Doomsday Seed Vault)的全球農業「諾亞方舟」,是由挪威政府與全球農作物多樣性信託基金會(Global Crop Diversity Trust, 簡稱GCDT)共同規劃建造的,建造在永久凍土帶的地下,種子保存於攝氏零下18度,能保存300萬種作物種子,其宗旨屬於種原的備份保存,主要是預防未來農作物可能絕種或受損時還有備份種子可利用。挪威政府並自2011年開始每年投入五千萬美元的預算針對23項目標作物[註]來進行此項工作,預計投注的資金將超過10年以上;成立於2000年的英國千年種子庫(The Millennium Seed Bank Project, 簡稱MSBP),編制上隸屬於英國皇家植物園(Royal Botanic Garden),其宗旨在收集並保護三“E”植物物種,這三“E”分別為瀕危的(Endangered)、具經濟價值的(Economically)及特有的(Endemic),這些種子樣本能隨時和參與機構進行



研究與保存的工作。2009 年後千年種子庫將其計畫名稱調整為「千年種子庫合作關係」(The Millennium Seed Partnership)，希望到2020 年時能夠達到蒐集保存全世界約四分之一，即約75,000 種的植物種子；亞洲最大的種子庫是位在中國雲南昆明的「中國西南野生生物種質資源庫」(The Germplasm Bank of Wild Species (GBoWS), Kunming)，建造目的與千年種子庫相同，同樣兼具保存及研究的雙重性質。美國種原庫(National Plant Germplasm System, 簡稱NPGS)則進行一項SOS (Seeds of Success)計畫，從全球植被復育地收集植物原生(native)物種，並進行保存與利用，到目前為止已收集至少2,000份新的材料。除了考量到這些原生物種可因應氣候變遷與棲息地流失外，另外則是探討這些物種多樣性是如何與當地溫度及降雨量等環境發生交感，希望藉由這些資訊來制定因應氣候變遷的計畫。在比利時魯汶的科學家則是以-196°C的超低溫來保存從世界各地收集到香蕉種原，而法國對咖啡種原也在進行類似的工作，這一類的作物都不產生種子或它們的種子不容易用低溫乾燥的方式來保存。

許多農業生產生態系也受氣候變遷的影響，例如授粉、土壤元素循環、野生物種的分布(Thomas

et al., 2004)及分解土壤有機物的微生物等，很不幸的我們還沒有足夠的資料來了解它們的影響。授粉昆蟲對氣候變遷相當敏感。氣候變遷同時影響了作物的開花時間及授粉昆蟲的活動，因而使得產量降低，至今我們仍沒有足夠的訊息來知道它們彼此的關係。這些改變使得我們的植物遺傳資源與其棲息地的保存、管理與維護方式都需要做調整。

氣候變遷對農業生產的衝擊

農業生產是高度依賴水、土地及生物物種等自然資源的生物性產業，敏感度高、暴露性高、適應能力有限及脆弱度高。由於生物生長與生存有其必要的氣候與環境條件，如溫度、日照、降雨量與強度、濕度、CO₂濃度、風速等，受氣候的影響很大，因此農業生產各有其最適當的生長季節與地區，過去在氣候變動的影響下，即造成每年單位產量明顯的起伏變動。極端氣候變遷所造成的水資源匱乏、可耕地面積縮減，以及新病害微生物或昆蟲的出現等問題，使糧食安全(food security)議題成為育種家和農業專家所必須面臨的嚴峻挑戰，且島嶼生態系受到的衝擊將更為顯著。可以說目前全球農業面臨的最大衝擊，是越來越嚴重的全球氣候變遷。

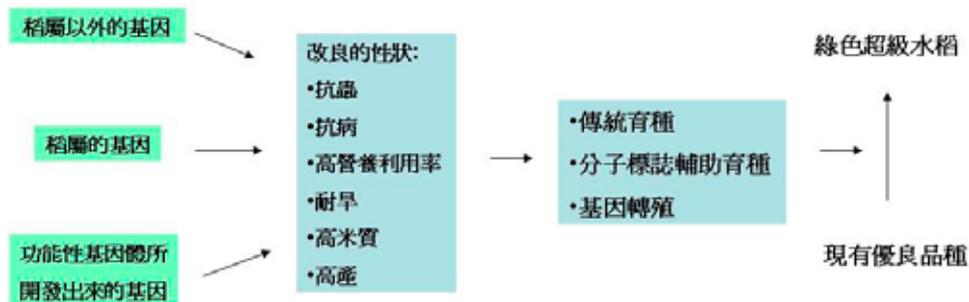


圖3 綠色水稻育種目標與策略(Zhang et al., 2007)

以水稻為例，全球暖化所造成的夜間溫度提升，對水稻產量已經有了很負面的影響(Peng *et al.*, 2004)；再加上極端氣候的變遷，造成農業生產區頻繁發生的世紀旱、澇災現象，更讓水稻生產產量雪上加霜；另一方面，隨著全球人口的劇烈增長，糧食供不應求的情形也越趨嚴重。因此，未來水稻的育種趨勢，可從發展綠色超級水稻的策略來思考。綠色超級水稻必須具備對現行主要蟲害與病害的抗性、高營養吸收與利用的效率、高耐旱性與對其他非生物逆境耐受性、高品質及高產潛力等優良性狀(圖3)。

作物野生近緣種帶有抗病、蟲害的基因，且適應性較佳，發展其基因庫並漸進滲透(gene introgression)到優良栽培種中，可提高其農業價值與環境適應性。例如番茄漸滲系(introgressed lines)在潮濕及乾旱環境下的產量均較一般品系多出50%(Gur and Zamir, 2004)，這樣的漸滲系也在水稻、小麥及大麥等作物發展起來(Dwivedi *et al.* 2008)。許多作物如水稻及玉米，實際上在早期是多倍體，但在演化過程中經過染色體加倍而變成現今的二倍體。多倍體重組如基因漸進滲透可產生額外的多樣性，國際玉米及小麥改良中心(International Maize and Wheat

Improvement Center, 簡稱CIMMYT)已進行重組小麥基因組的計畫，許多品系在乾旱狀態下可較傳統品種增加20-40%的產量，相同的計畫也在落花生作物進行(Dwivedi *et al.* 2008)。

我國位處於亞熱帶海洋氣候地區，在國際的氣候變遷研究中屬於高風險的邊緣區。臺灣耕地面積約計八十多萬公頃，大都為露天生產，直接受到氣候如溫度及雨量等因素影響甚鉅，另外二氧化碳的濃度也是一個直接的影響因子。當氣溫升高，除可能打亂作物的生長期，亦常伴隨雜草與病蟲害的快速生長或繁殖。臺灣主要水稻栽培區的溫度比起前10年期(1990-1999)呈現上升0.3°C的趨勢，未來氣候變遷趨勢可能威脅我國稻米生產；臺灣的年平均降雨量有減少的趨勢，但降雨強度增加，若再伴隨高溫日數的增加，農作物受澇、旱影響將會更加明顯；根據《臺灣農業年報》的資料顯示，1987至2006年十年間因天然災害造成農業損失高達1,263億元，其中以颱風占七成最多，豪雨居發生率第二，災情嚴重度僅次颱風。另依據農田水利會統計資料，近10年發生乾旱缺水事件之期作次數已由過去(1992-2001年)每年2.9次，上升至每年4次；此外CO₂濃度的增加也可能提高



圖4 氣候變遷對臺灣農作物生產的衝擊(農業委員會, 2011)



圖5 位於農業試驗所的国家作物種原中心



圖6 國家作物種原中心低溫種子保存庫

作物對病蟲害的敏感性而容易遭受感染，而不利其生產(圖4)。

保存與合理利用農用植物遺傳資源

全球氣候變遷的加劇，將減緩全球糧食供給能力，最終導致糧食價格上漲。收集、擴大與開發具有高逆境調適能力之作物新品種(climate-ready variety)或強化改善現有品種之耐/抗逆境能力之特性，更顯得格外重要。FAO 成立全球植物育種能力建立夥伴倡議(the Global Partnership Initiative for Plant Breeding Capacity Building, 簡稱GIPB)即是要促進開發中國家建立育種及種子保存能力，有效地利用糧農植物遺傳資源來提高作物的糧食安全和可持續發展。

成功的品種改良必須先確定與取得要改良的目標性狀，而篩選大量保存的材料往往使得這種工作曠日廢時。種原核心保存(core collection)的概念首先由Frankel與Brown於1984年提出，其要義是指以最少份數的種原代表現存種原的遺傳歧異度。種原核心保存除可提高種原管理人員管理效能及協助制定引種或採集計畫外，也提供育種人員進行快速評估與篩選所需之育種材料。目前大麥、木薯、豇豆、稔子(*Eleusine coracana* Gaertn., Finger millet)、狐尾

粟(*Setaria italica* (L.) Beauv., foxtail millet)、玉米、香蕉類、珍珠粟[*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br., pearl millet]、馬鈴薯、水稻、高粱、甘藷、小麥及山藥等作物的全球種原核心保存庫(保存原有保存量的10%)已陸續建立(Dwivedi et al. 2007)，對於保存數量多的作物，並建立迷你核心保存(原有保存量的10%或1%)(Upadhyaya and Ortiz, 2001)。

傳統上原地保存用於保存野生種原，而異地保存是保存農糧遺傳資源。但這種原則正改變中，科學家認識到這二種保存方法皆有利弊。有效的保存系統應包含這二種方式，並稱之為整合式遺傳資源保存方法。目前衣索比亞(Ethiopia)已進行此類保存系統，此類系統有賴於農民與科學家的合作，來重建在1980年代因乾旱所流失的種原，其中原生種穀類teff(*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter)、大麥、鷹嘴豆(chickpea)、高粱及蠶豆等地方種種原均已保存於種子庫並提供農民生產與改良用。在菲律賓的棉蘭老島(Mindanao)，許多非政府組織(Non-governmental organizations, 簡稱NGOs)、東南亞社區教育研究所與以社區為基礎的原生種子研究中心(the Community-based Native Seed Research Center, 簡稱CONSERVE)的志工們與140位農民種原管理者進行水稻及玉米種

原的保存，CONSERVE 並在田間備份保存了585份水稻及14份玉米種原。另外的例子是菲律賓大學與非政府組織的聯盟，稱為農民與科學家夥伴發展協會 (Farmer-Scientist Partnership for Development Association)，這個聯盟促進水稻及其他作物的耕地及異地保存；而祕魯 Ketchua 的農民則在自然與永續發展協會 (Association for Nature and Sustainable Development, 簡稱 ANDES) 支助下進行原生馬鈴薯多樣性的保存與永續利用計畫。

世紀挑戰計畫 (The Generation Challenge Program, 簡稱 GCP) 啟動保存於國際農業研究諮商組織 (the Consultative Group on International Agricultural Research, 簡稱 CGIAR) 種原的遺傳結構與相關形態變異的調查工作，並整合大部分多穀類、豆類及無性繁殖作物為複合保存 (composite collection)，同時發展到分子層次的調查分析，這些工作將有助於育種目標的達成。

全球沒有一個國家或地區擁有足夠的遺傳資源來因應氣候變遷，而擴大與永續利用國際間糧農遺傳資源是我們調適的重要方式之一，因此種原交換是我們擴大材料遺傳背景的一種重要方法，其成效則有賴於國際間執行1. 生物多樣性公

約 (Convention on Biological Diversity, 簡稱 CBD) 中的取得與利益分享名古屋議定書 (The Nagoya Protocol on Access and Benefit-sharing, 簡稱 NP-ABS)；2. 聯合國氣候變化綱要公約 (the United Nations Framework Convention on Climate Change, 簡稱 UNFCCC)；及 3. 國際糧農遺傳資源條約 (International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture, 簡稱 ITPGRFA) 等三大公約的程度。三大公約除了彼此間具有競合關係外，也和世界貿易組織 (World Trade Organization, 簡稱 WTO) 的與貿易有關之智慧財產權協定 (Agreement on Trade-Related Aspects of Intellectual Property Rights, 簡稱 TRIPS) 具有這種關係。

國際糧農遺傳資源條約下的取得與利益分享的多邊系統 (The Multilateral System of Access and Benefit Sharing, 簡稱 MLS) 在2007年生效，而在1993年生效的生物多樣性公約下的 NP-ABS 雖然在2010年提出，但至今尚未生效，且 NP-ABS 為包括扣除人類遺傳資源以外的所有生物遺傳資源，但 MLS 僅包含35類主要糧食作物與29類飼料作物，這些複雜的國際或機構間條款需要各國共同協調與討論，以便未來能和諧地運作。例如最近非政府組織挪威的弗裏德約夫·南森研究所 (the Fridtjof Nansen Institute, 簡稱 FNI) 與尼



圖7 國家作物種原中心低溫種子長期保存庫



圖8 國家作物種原中心所保存的皇帝豆種原

泊爾加德滿都的South Asia Watch on Trade, Economics and Environment (簡稱 SAWTEE)在印度及尼泊爾開始一個計畫(SAWTEE/FNI)來研究這三個國際公約如何在這二個國家來實施及執行後的效益，及因應氣候變遷的情形，作為未來形成國家或地區政策的參考。

我國在1990年於農業試驗所成立國家作物種原中心(圖5)，設有一座種子冷藏庫及七處不同海拔的無性繁殖作物保存園，至今已保存7萬6千多份以上的材料，包含種子長期庫188科、785屬、1,472種共71,247品種(系)(圖6-8)及無性繁殖作物田間保存4,933品種(系)(圖9)。面對氣候變遷，我們的調適措施在於確保糧農遺傳資源之保存與合理利用，以因應氣候變遷下的基因多樣性保存與農業發展，而主要工作項目為加強與各國進行耐熱種原交換，以培育新品種，利於境外推廣及拓展我國種苗事業，建立耐熱快速篩選技術，選育耐熱高產品種，減少高溫所引起之5%-10%的產量損失。工作內容包括：

1. 進行東南亞國家熱帶、亞熱帶園藝作物種原收集、引進與保存技術交流；
2. 透過參加既有之區域性國際組織或經由雙邊農業合作談判，與亞太地區擁有耐熱、抗逆境作物品種資源國家或地區進行合作，包括引種及試驗等，提高育種效率，分享選種

成果；3. 與國外研究單位建立合作關係，專家們進行合作交流，穿梭育種，利用國外環境與種原資材，選育適合當地的品種，利於推廣境外種苗；4. 選育出適合臺灣且耐逆境之各類作物品種，維持農產品之供給，並降低生產成本。

結語

氣候變遷是一個全球性的考驗與動態挑戰，除減緩與調適因應外，需改變思維創造利基，建構滾動式的調整策略及擴大全球民眾的共同參與。我國糧食自給率約為32%，除由國內生產供應，還需仰賴進口。而在氣候變遷的趨勢下，全球農業生產區將調整改變，直接衝擊全球糧食貿易結構，間接影響臺灣糧食進口的穩定。我國生物多樣性豐富特殊，種原的保存除了是維護生物多樣性的基礎外，亦是保存日後永續利用的機會。因此要確保遺傳資源之保存與合理利用，以因應氣候變遷下的基因多樣性保存與農業發展。建構有效的種原保存系統，以確保作物與其野生近緣種的原地與異地保存外，篩選耐高溫、耐旱澇、耐鹽等能因應氣候變遷之作物品系並規劃其合理利用；加強研究以提昇評估作物與其野生近緣種多樣性的脆弱度與風險，及生態系服



圖9 國家作物種原中心的無性繁殖作物保存園

務與功能貢獻的能力，以繼續發展妥適之調適策略
與優先行動。

參考文獻

- 中國科學院昆明植物研究所. <http://www.kib.ac.cn/>
- 行政院農業委員會. 2011. 「推動氣候變遷調適」專案小組—「農業生產與生物多樣性」領域專案報告.
- 吳東鴻、陸明德、曾東海、王怡玓、蕭巧玲主編. 2011. 因應氣候變遷作物育種即生產環境管理研討會專刊. 農業試驗所特刊第156號. 農業試驗所, 臺中.
- 氣候變遷推估與資訊平台計畫. <http://tccip.ncdr.nat.gov.tw/>
- 國家作物種原中心. <http://www.tari.gov.tw/>
- Andersen, R. and T. Winge. 2012. International agreements and management of plant genetic resources. *Trade Insight* 8:33-34.
- Bertacchini, E. 2008. Coase, Pigou and the potato: Whither farmers' rights? *Ecol. Econ.*, 68: 183-193.
- Convention on Biological Diversity. <http://www.cbd.int/>
- Dwivedi, S. L., H. T. Stalker, M. W. Blair, D. J. Bertoli, H. Upadhyaya, S. Nielen, and R. Ortiz. 2008. Enhancing crop gene pools with beneficial traits using wild relatives. *Plant Breeding Rev.*, 30: 179-230.
- Frankel, O. H. and A. H. D. Brown. 1984. Plant genetic resources today: a critical appraisal. *In: Crop genetic resources: conservation & evaluation*. Holden, J. H. W. and J. T. Williams (eds). George Allen & Unwin., London. pp. 249-257.
- Global Crop Diversity Trust. <http://www.croptrust.org/>
- Gur, A. and D. Zamir. 2004. Unused natural variation can lift yield barriers in plant breeding. *PLoS Biol.*, 2: 1610-1615.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. *Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Parry, M. L., O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. Van der Linden, and C. E. Hanson (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 pp.
- International Maize and Wheat Improvement Center. <http://www.cimmyt.org/>
- Jarvis, A., A. Lane, and R. Hijmans. 2008. The effect of climate change on crop wild relatives. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 126:13-23.
- Jarvis, A., H. Upadhyaya, C. L. L. Gowda, P. K. Aggarwal, S. Fujisaka, and B. Anderson. 2011., S. Fujisaka, and B. Anderson. 2011. Climate change and its effect on conservation and use of plant genetic resources for food and agriculture and associated biodiversity for food security. FAO Com-

- mission on Genetic Resources for Food and Agriculture. Rome, Italy.
- Maxted, N. and S. Kell. 2009. Establishment of a global network for the in situ conservation of crop wild relatives: status and needs. FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture. Rome, Italy.
- Met Office Hadley Centre. <http://www.metoffice.uk/>
- National Plant Germplasm System, USDA. <http://www.ars-grin.gov/>
- Peng, S., J. Huang, J. E. Sheehy, R. C. Laza, R. M. Visperas, X. Zhong, G. S. Centeno, G. S. Khush, and K. G. Cassman. 2004. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*. 101:9971-9975.
- Royal Botanic Gardens. <http://www.kew.org/>
- The Consultative Group on International Agricultural Research. <http://www.cgiar.org/>
- The Food and Agriculture Organization. <http://www.fao.org/>
- The Food and Agriculture Organization (FAO). 2010. The Second Report on the State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. Rome
- The Generation Challenge Program. <http://www.generationcp.org/>
- The United Nations Framework Convention on Climate Change. <http://unfccc.int/>
- Thomas, C. D., A. Cameron, R. E. Green, M. Bakkenes, L. J. Beaumont, Y. C. Collingham, B. F. N. Erasmus, M. Ferreira De Siqueira, A. Grainger, L. Hannah, L. Hughes, B. Huntley, A. S. Van Jaarsveld, G. F. Midgley, L. Miles, M. A. Ortega-Huertas, A. T. Peterson, O. L. Phillips, and S. E. Williams. 2004. Extinction risk from climate change. *Nature*, 427: 145-148.
- Thuiller, W., S. Lavorel, M. B. Araujo, M. T. Sykes, and I. C. Prentice. 2005. Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proc. Natl. Acad. Sci., USA*. 102:8245-8250.
- Upadhyaya, H. D. and R. Ortiz. 2001. A mini core subset for capturing diversity and promoting utilization of chickpea genetic resources in crop improvement. *Theor. Appl. Genet.*, 102: 1292.
- Vernooy R, M. Halewood, I. López-Noriega, and G. Galluzzi. 2012. New strategies and partnerships for the sustainable use of plant genetic resources. *Bioversity International*, Rome, Italy. 4 pp.

附註

- ¹ 23種目標作物包括：苜蓿、非洲土豆(bambara groundnut)、香蕉類、大麥、重要豆類(bean)、蠶豆、鷹嘴豆、豇豆、穆子、家山蠶豆(草豌豆)(grass pea)、洋扁豆(lentil)、燕麥、豌豆、珍珠粟、樹豆、馬鈴薯、水稻、裸麥(rye)、高粱、向日葵、甘藷、苕子(野豌豆)(vetch)及小麥。