

出國報告（出國類別：研習）

赴美國參加「植物非生物性逆境與永續農業」會議出國報告

服務機關：行政院農業委員會農業試驗所

姓名職稱：陳柱中助理研究員

派赴國家：美國

出國期間：102年1月17-22日

報告日期：102年4月19日

摘要

2013 年植物非生物性逆境與永續農業舉辦於美國新墨西哥州陶斯鎮，由非營利的 Keystone Symposia 組織主辦，參與國家包括美國、日本、台灣、韓國、印度、法國、德國、荷蘭、瑞士、英國等國家學校教授、公私立研究學者。大會邀請植物非生物逆境研究大師進行報告，討論淹水、缺水、鹽分、水分利用率、養分缺乏、高溫、高二氧化碳等狀態下，探討植物於環境、生理與分生相關調控因子，並提出解決方案。因非生物性逆境對於作物生產影響之研究，各國無不積極投入研究，我國氣候、土壤多樣性大，並且擁有豐富的作物種原、土壤、氣候環境資料，相信適當的整合與人力投入，在非生物性逆境之研究上會有卓越的發展。

目次

壹、目的

貳、過程

一、出國行程

二、主辦單位

參、重要會議內容

肆、心得與建議

壹、目的

「植物非生物性逆境與永續農業：從轉譯到食物生產(Plant Abiotic Stress and Sustainable Agriculture: Translating Basic Understanding to Food Production)」係 Keystone Symposia 辦理之國際性會議，針植物逆境與糧食安全議題召開，強調以最新以與未發表之研究為演講內容，因此大會僅提供摘要集，並嚴禁於會場進行錄音與錄影以保護發表人之權利。於 2013 年 1 月 17-22 日假美國新墨西哥州陶斯鎮 (Taos) 舉行，會議地點設於 Sagebrush Inn and Conference Center, Taos, New Mexico。

本次會議議程涵蓋多項與作物逆境之議題，包括基因多樣性加強作物逆境忍受、水分利用率、逆境感知與傳導、水分利用率、養分吸收與、根與環境、系統生物學、基因多樣性、二氧化碳與溫度對作物影響等。包括缺水逆境、淹水逆境、鹽分逆境、細胞演化、養分吸收、重金屬吸收與植物氣孔傳導等議題。參與者來自世界各地，包括美國、加拿大、英國、荷蘭、瑞士、法國、墨西哥、印度、阿根廷、日本、韓國、中國大陸與台灣等國家，參與者主要為學校教授、研究員與博士後研究等，除了學校與政府研究單位 (如美國農業部、阿根廷 INTA) 之外，還包括 Pioneer 公司、孟山都 (Monsanto Company) 研究人員。

報告人參與此一國際性會議，發表相關的試驗研究結果與相同專業學者專家討論，並透過此次會議接觸作物逆境主要議題，瞭解各議題上主要之研究方向、成果與各方見解，增加對於環境分析、植物逆境感知、訊息傳導與因應對策等相關議題瞭解，在知識上與方法論上收益匪淺。

貳、過程

一、出國行程

日期	活動項次
01/16 (三)	自桃園中正機場過境日本成田機場前往美國
01/17 (四)	1. 成田機場轉機達拉斯、Albuquerque 機場 2. 由美國新墨西哥 Albuquerque 機場搭車至會議地點 (Sagebrush Inn and conference Center) 3. 前往會場報到，參加歡迎會
01/18 (五)	1. 大會開幕式與專題演講 2. 參與主題 Harnessing genetic diversity to improve crop stress tolerance; Extremes in water availability: from genes to the field 3. 參觀壁報展示
01/19 (六)	1. 參與主題 Understanding and improving water use efficiency; Stress sensing, signaling and response networks
01/20 (日)	1. 參與主題 Roots and their environment; Stress systems biology to genetic variation 2. 發表論文(壁報參展)：Effects of Soil and Variety on the Cd Absorption in Rice 3. 參觀壁報展示
01/21 (一)	1. 參與主題 Challenges and solutions in the fields; global climate change: CO2 and temperature 2. 參與壁報展示 3. 大會閉幕式
01/22 (二)	從 Taos 到 Albuquerque 國際機場
01/23 (三) 離開美國	從 Albuquerque 國際機場轉機達拉斯機場、成田機場
01/24 (四) 抵達台灣	抵達桃園國際機場

二、主辦單位

本次研討會主辦單位為 Keystone Symposia，是致力於辦理分子生物學研討會的團體，最早由 ICN-UCLA 分子生物學教授 C. Fred Fox 在 1972 年於美國洛杉磯舉行第一研討會，後來由 Keystone Center 改名為 Keystone Symposia on Molecular and Cellular Biology。每年舉辦約 40-50 場研討會，以分子生物學技術為主要題材，內容廣

泛包括 RNA Silencing, Plant Immunity: Pathway and Translation, RNA Replication and Recombination, Growing to Extreme: Cell Biology，以及若干醫學題材如免疫學、瘧疾、神經生物學、HIV、抗生素等主題。

本次研討會主題為「植物非生物性逆境與永續農業：從轉譯到食物生產」，本次會議由 Julia Bailey-Serres 以及 Mike Hasegawa 為召集人，邀請植物生物技術與逆境研究等專家進行專題演講。

參、會議重要內容

本次會議議程、主題及內容詳如附錄一，分成大會專題演講、簡短演講 (Short Talk) 以及壁報論文展示 (Poster Session) 等部分，主題包括：基因多樣性加強作物逆境忍受 (Harnessing Genetic Diversity to Improve Crop Stress Tolerance)、加強水分有效性 (Extremes in Water Availability)、水分利用率研究與改善 (Understanding and Improving Water Use Efficiency)、逆境感受、傳導與反應系統 (Stress Sensing, Signaling and Response Networks)、根與環境 (Root and Their Environment)、逆境系統生物學與基因多樣性 (Stress Systems Biology to Genetic Variation)、環境的挑戰與解決之道 (Challenges and Solution in the Field)、全球氣候變遷：二氧化碳與溫度 (Global Climate Change: CO₂ and Temperature) 等，包括缺水逆境、淹水逆境、鹽分逆境、細胞演化、養分吸收、重金屬吸收與植物氣孔傳導等議題。

以下節錄與介紹與目前本所工作相關之報告

A Novel rice Protein Kinase, OsPSTOL, Confers Tolerance of Phosphorus Deficiency by Enhancing Root Growth

aus-type 水稻原生於印度貧脊的土壤，該品系含有許多重要的基因，如抗淹水的 *SUB1A*，Kasalath 也屬於 aus-type 水稻，對於缺磷的耐受性高，利用 QTL 方式從篩出與耐磷相關的 *Pup1*(phosphorus uptake 1) 基因組區。*PSTOL1* (phosphorus starvation tolerance1) 位於 *Pup1* 組區，是 Ser/Thr 的蛋白激酶，在根原基 (root primordia) 表現，能促進水稻早期根系生長，利用 35S promoter 在 IR64 根部大量表現 *PSTOL1*，*DOS*、peptidetransporter、*SIP23*、*HOX* 等基因表現亮增加，顯示 *PSTOL* 是許多基因組上游基因。

Flooding Survival Strategies

FR13A 水稻可在完全浸水狀態下存活，最長可耐 2 週的浸水，其第九個 chromosome 上 *Sub1* 基因組區。*Sub1* 基因組區包括三個轉錄因子(transcription factor)，包括 *Sub1A*、*Sub1B* 與 *Sub1C*，其中 *Sub1A* 是 *Sub1A* 是最主要的抗浸水基因受乙烯調控，在浸水的狀態下，乙烯促進 *Sub1A* 基因表現，*SUB1A* 促進 *PDC*(pyruvate decarboxylase)、

ADH (alcohol dehydrogenase)活性，以增加淹水狀態下 Glucose-6 phosphate 發酵的代謝機制；抑制 Sub1C 與吉貝素 (Gibberellic acid, GA)與 α -amylase 等活性，以增加澱粉、醣類在浸水狀態下的分解速率。利用分子輔助選育的方式，導入 *Sub1A* 基因至 sawarna 中，在盆栽試驗中顯示 *Sub1A* 不影響水稻的生長與產量，並增加浸水狀態下的耐性；在印度選擇 32 個試驗比較 Sawarna 導入 *Sub1* 對產量的影響，Sawarna 平均產量為每公頃 2.69 公噸，而 Sawarna-*Sub1* 產量為 3.92 公噸，顯示經由 *Sub1A* 基因導入，增加稈稻在淹水狀態下的耐性而提高稻米產量。

Elucidating the Molecular and Biochemical Basis for Crop

Aluminum Tolerance to Improve Cereal Production on Acid Soil

鋁毒害是酸性土壤限制植物生長的重要因子，植物因應鋁毒害包括 (1)在根尖排出鋁、(2)細胞中有機鉗合減少鋁毒性與(3)細胞壁。鋁可促進 *SbMATE* 基因表現，*SbMATE* 基因增加 TCA Cycle 在根尖分泌 Citric acid，在酵母菌的系統中，表現 *SbMATE*、*AlBP* 基因，轉入 *SbMATE* 與 *AlBP* 基因者鋁毒害忍受度最高，轉入 *SbMATE* 基因的酵母菌次之，證明在 Sorgham 的系統中，*SbMATE* 與 *AlBP* 對於根的鋁耐受有關。

From the Soil to the Seed: Metal Homeogenesis in Plants

由普渡大學的 David Salt 教授為主，組成了跨多國的植物 Ionomic 研究團隊，利用 EMS, TDNA 與 RNAi 突變庫，以 ICP-MS、ICP-OES 進行突變株各部位元素含量分析，包括 B, Na, Mg, P, K, Ca, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, As, Se, Mo, Cd and I 等元素，進行養分吸收與基因型態的研究，已分析超過 12,5000 個樣本，建立的阿拉伯芥、水稻、酵母菌、花生、玉米與油菜花等 Ionomic 資料庫，尋找出許多與作物吸收/平衡元素相關基因。本次報告的 Mary Lou Guerinot 也是本計畫中的一份子，主要尋找鐵的代謝相關基因，利用阿拉伯芥 EMS mutant 突變庫進行鐵離子吸收與代謝相關基因研究，介紹阿拉伯芥中 *VIT1* 基因調控鐵離子由細胞質運送液胞中，在酵母菌的系統中 *CCC* (*Ca²⁺-sensitive cross-complementer1*) 1 基因是液胞上鐵與錳的 transporter，

利用酵母菌 *ccc1* 突變株表現 *VIT1* 基因，*ccc1* 在高濃度的養液中無法生長，轉入 *VIT1* 者生長狀況良好，且液胞中的鐵與錳濃度較未轉入者高，確定在 *VIT* 基因是在液胞上的鐵錳 transporter，利用水母螢光蛋白 (GFP) 確認 *VIT* 基因表現在阿拉伯芥的液胞上，RNA 表現與 GUS 染色皆指出 *VIT1* 在種子發芽的階段表現。

The Genetic Basis of Root System Architecture Traits

利用透明洋菜膠進行作物栽培，進行作物根生長攝影與分析，建立作物根 3D 模型。

The Impact of Stress on Growth and Development

發表者為比利時 Ugent 大學 Dirk Inze，發展作物自動管理與生長觀察平台 (weighting imaging and watering machine, WIWAM)，利用輸送帶將觀察盆栽自動秤重、定量澆水、葉片生長影像建置，觀察阿拉伯芥中度逆境 (mild stress) 下作物生長情形，在中度逆境下，作物的反應與逆境狀態不同，有些基因型阿拉伯芥具有高產潛力，此研究有助於篩選中度逆境下高產作物。

A novel Fertilization and weed control system based on transgenic plants able to metabolize phosphate

磷是植物的必需元素而亞磷酸 (phosphite) 無法被作物吸收與利用，並具有抑制真菌生長的效果，在土壤中，土壤微生物中能夠氧化亞磷酸成為磷酸供植物利用。本報告的 Luis Herrera-Esterlla 教授與其團隊，利用 *Pseudomonas stutzeri* WM88 中氧化亞磷酸氧化-phosphite oxido/reductase (*PTXD*) 進行轉植，利用 CaMV 35S promoter 大量表現 *PTXD* 基因。在亞磷酸的洋菜膠中，未轉殖的阿拉伯芥無法生長，轉植株阿拉伯芥幼苗生長情形良好，顯示轉植株能成供利用亞磷酸；在盆栽中比較轉植株與位轉植株的生長情形，因轉植株可同時利用亞磷酸與磷酸，可減少 30-50% 磷肥使用量；在低磷的土壤中提供亞磷酸，轉植株顯示出較強的雜草競爭力與養分使用率；在於殺菌過的土壤，且在植物中未偵測到亞磷酸。

Impact of Elevated CO₂ and Temperature on Photosynthesis and

Other Processes

利用碳-13 協助偵測葉肉擴散導度 (g_m , diffusion conductance in mesophyll) : (1) Rubisco (Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase oxygenase ; 核酮糖-1,5-二磷酸羧化酶/加氧酶)對於 $^{12}\text{CO}_2$ 親和性較 $^{13}\text{CO}_2$ 高 ; (2) 在植物的葉肉細胞中 $^{12}\text{CO}_2$ 擴散速率較 $^{13}\text{CO}_2$ 高。在低氧氣濃度 (2%) 的狀態下, 當二氧化碳濃度由 200 ppm 提升到 1000 ppm, g_m 快速降低、當二氧化碳濃度降回 200 ppm 時, g_m 則逐漸提高 ; 而高氧氣濃度 (21%) 的狀態下, 二氧化碳濃度對 g_m 的影響無顯著效應。二氧化碳的同化作用在 30°C 時最強, g_m 則是隨著溫度得上升而增加 ; 比較水孔 (aquaporin) 突變株 AtPIP1:2 的 g_m , 證明水孔並不影響葉肉擴散導度。

Growth and Survival of Some Trees as a Response to Saline Water irrigation in Saudi Arabia

篩選耐鹽的樹種, 作為減少沙烏地阿拉伯沙漠化的樹種, 在灌溉水電導度為 12.8 dS m^{-1} 篩選出耐鹽植物, 阿拉伯金合歡 (*Acacia nilotica*) 可耐鹽至土壤導電度 39.5 dS m^{-1} , 牧豆樹 (*Prosopis juliflora*) 可耐鹽至 44.9 dS m^{-1} , 建議兩者可作為沙烏地阿拉伯城市周圍之減少沙漠化之植物。

The role of gibberellin signaling in the response to drought

在阿拉伯芥簇葉時期 (rosette stage) 減低土壤含水量, 阿拉伯芥的 GA 2-oxidase (*GA2ox1*) 基因表現量增加, 導致吉貝素濃度減低, 生長速度變慢 ; 在小麥中, 乾旱促進地上部 *GA2ox1* 基因表現量, 抑制根的 *GA2ox1* 基因表現, 由此可說明 *GA2ox1* 是影響乾旱時地上部/地下部生質量的基因之一。

Elevated atmospheric CO₂ alters root depth distribution, enhancing abscisic acid signaling and stomatal closure under drought in field-grown soybean

為證明當二氧化碳濃度提高, 會減低植物的氣孔導度、減水水分消耗, 而推測可減低土壤水分的消耗, 在 2009-2011 年進行現地試驗, 變因包括二氧化碳濃 : 正常二氧化碳濃度 (390 ppm) 與高二氧化碳 (585 ppm), 與灌溉水量 (正常或減少灌溉水量), 測試土壤濕度與大

豆生理變化。僅有在正常灌溉水量情況下，提高二氧化碳濃度可減少土壤水分散失量，減少灌溉水量時提高二氧化碳濃度對於土壤水分含量沒有影響；在自然乾旱的情形下，提高二氧化碳濃度反而提升土壤水分散失量，因大豆的根密度增加。

The Submergence tolerance gene, SUB1A, delays leaf senescence under prolonged darkness through hormonal regulation in rice

在黑暗逆境下，水稻 Sub1A 基因表現量增加。大量表現 Sub1A 基因的水稻，在黑暗逆境中葉綠素與碳水化合物的濃度分解量較低，因此在光照時，恢復速度較快。在黑暗逆境下，茉莉酸可促進乙烯生成，Sub1A 大量表現植株茉莉酸 (jasmonate) 與水楊酸濃度較低，顯示 Sub1A 可抑制茉莉酸生成而減少暗誘老化的情形。

Heatwaves in a warming world: the effects of and extended, extreme climate event under elevated CO₂

比較正常二氧化碳濃度(390 ppm)與高二氧化碳 (585 ppm)的栽培環境對於大豆對抗焚風的能力，在 2012 年大豆營養生長期時，利用人造焚風 (提高 6 度) 作為熱逆境，正常二氧化碳的大豆較控制組 (正常二氧化碳濃度無熱風) 減產 21%，高二氧化碳的大豆較控制組 (正常二氧化碳濃度無熱風) 增產 1%，顯示透過提高二氧化碳增加產量可減少熱風的影響。

Effect of Cd, As, Cu and NaCl on lettuce (*Lactuca sativa*) growth parameters

銅、鋅與氯化鈉影響萵苣種子發芽率，同時添加鎘與氯化鈉，導致萵苣葉數、生質量與葉綠素含量減少，氯化鈉能促進萵苣吸收鎘、砷與銅等重金屬，增加萵苣的食用風險。

Analysis of CBL10 gene duplication in halophyte *Eutrema salsugineum*

阿拉伯芥當中的 CBL10 (calcineurin B like 10) 基因與鹽分訊息傳導有關，在鹽害的條件下 CBL10 促進 SOS2 蛋白質激酶表現調控 SOS1 Na⁺/H⁺幫浦活性，減低細胞中鈉離子的累積量。在鹽芥 (*Eutrema*

salsugineum) 有 *EsCBL10a* 與 *EsCBL10b* 基因，*EsCBL10a* 在根部表現、*EsCBL10b* 在全株表現，*EsCBL10b* 對於適應鹽分逆境效果較 *EsCBL10a* 與 *AtCBL10* 效果好。

Yield and Ion relations of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) in response to irrigation with saline waters

四種商用品牌苜蓿 Salado, S&W8421S, S&W9720 與 S&W9215 砂耕試驗，隨著灌溉水電導度提高各品系光合作用速率 (Pn)、葉片蒸散速率 (tr) 與葉片氣孔導度 (gn) 皆下降，在灌溉水超過 12.7 dS m⁻¹ 條件下產量明顯減少，其中 S&W8421S 最為敏感，高鹽分條件下 Salado 產量最高且植體氯與鈉濃度低，此與鈉的分泌作用有關。

Functional analysis of MtWXP1/2 genes in *Medicago truncatula*

在蒺藜苜蓿中篩出了與乙烯調控有乾之 ERF (ethylene-responsive transcription factor) 轉錄因子 *MtWXP1* 與 *MtWXP2* 基因，該基因與蒺藜苜蓿的蠟質生成有關，大量表現 *MtWXP1/2* 基因之植株，葉片較小與植株較矮，水分的蒸散減少提高乾旱耐受度，進行葉片熱影像分析，大量表現植株葉片溫度較高。在低溫條件下，大量表現 *MtWXP1* 植株較未轉錄者具低溫耐受，大量表現 *MtWXP2* 植株較未轉錄者不耐低溫。

Association genetics of shoot ureide concentration

乾旱逆境是大豆減產的主要因子，乾旱條件下，大豆葉面積、光合作用與固氮作用皆受抑制，固氮作用在乾旱條件下的降低與地上部 Ureide (包括尿囊素與尿囊酸) 濃度提高有關，利用單核苷酸多型性標記 (SNP marker) 進行大豆基因型態分類，有一群組平均 Ureide 濃度較其他者低。

Leaf Hydraulic conductance is maintained during drought in soybean

葉片水分導度是一很少被關注的因子，通常認為作物在缺水的逆境下葉片水分導度會下降。利用蒸散通量法 (evaporative flux method) 測定大豆葉片水分導度，結果顯示，在乾旱的條件下，葉片水分勢能下

降但葉片水分導度仍無變化，這與減少氣孔導度降低有關，此機制有幫助於大豆在輕微水分逆境下維持產量，但對於保持葉片水分狀態無幫助。

肆、心得與建議

環境逆境對於作物生產與糧食安全影響極大，本次會議著重於缺水逆境、淹水逆境、二氧化碳、鹽分逆境、養分不足、重金屬逆境、光照逆境等，相關研究發表與未發表之最新結果，並且有完整的研究案例，包括從育種、分子生物、植物生理與作物環境等角度改善栽培環境，到新品種的測試與產量的提升，極具學術研究與實際應用的價值，參加人員來自世界各國，包括學校、政府研究單位與公司研究單位，包括育種、分子生物、植物生理、生態、系統生物學與環境相關背景人員參加，主辦單位巧思討論時間，參與人員可利用用餐時間與在用餐之後之壁報展示時間深入討論相關議題，透過此次的會議，對於參與人員均有相當大的幫助。

報告人在於本次的會議中，深切體會作物非生物性逆境研究的重要性，並在氣孔導度、水分利用率、養分吸收研究等有多項收穫，尤其在於同位素利用於水分利用率評估、Ionic 議題研究、重金屬吸收多種研究技術獲益匪淺。對於目前進行的研究與日後研究的安排幫助極大。

我國的土壤特性、氣候特性變異度大，作物的非生物性逆境多樣性不亞於其他國家，此為我國農業發展的重要衝擊與利基。我國並有良好的環境資料（包括土壤、氣候）及完善的育種研究與種原資料庫，完善的檢測技術與人員，相信在適度的整合下會有良好的成果。