

出國報告(出國類別：考察)

「非糧食作物在生物能源的研究-英國
Aberystwyth 大學生物、環境與農業
科學研究所芒屬植物研究參訪」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：黃哲倫助理研究員

派赴國家：英國

出國期間：100年9月28日至10月5日

報告日期：100年12月

摘要

臺灣在英國 Aberystwyth 大學生物、環境與農業科學研究所與農委會特有生物中心簽訂芒草種源相關利用協議後，促進了國內芒草研究團隊之建立，開始對原生於臺灣的各類芒草資源，進行作為生質作物的相關研究，團隊研究工作包括了種源的搜集、演化分類、農藝栽培及功能基因體學等研究，而此次參訪重要芒草研究機構的英國 Aberystwyth 大學生物、環境與農業科學研究所，目的為了解芒草作為生質作物之研究與利用情況，並交流英國芒草栽培制度、遺傳資源、育種目標與應用等技術，提供國內芒草研究與能源作物研究方向之參考。

目 錄

	頁碼
壹、緣起.....	4
貳、行程.....	4
參、人員.....	5
肆、內容.....	5
伍、心得與建議事項.....	13
陸、附件:活動照片.....	14

出國報告

壹、緣起

臺灣為解決休耕農地的使用問題，曾經嘗試多種作物作為能源作物的可能，但是在成本過高的情況下都沒有成功的推廣，而芒草是以纖維素為原料，並且能栽種在糧食作物不能栽種的貧瘠地，不會造成糧食減少，而價格上升的問題，除了能利用纖維素生產製成生質酒精外，歐洲國家使用乾燥的植株與煤炭混合直接進行火力發電，是備受重視的新一代能源作物，並且在歐美國家已有實際的應用，除了成本低廉外也不會造成糧食短缺的問題。使用芒草作為能源作物，有以下的優點：單位面積乾物產量高、生長快速、對病蟲害的抗性優良、投入低而且栽種容易、對環境的適應力強等等，而臺灣為芒草的種源中心，芒草的遺傳變異大，臺灣的各種環境下都能發現芒草的生長，其對逆境的耐受性極強，在遺傳資源上有許多可利用的地方，因此歐美國家的芒草栽培研究機構，便希望能與臺灣的研究單位合作，本芒草國際合作計畫研究團隊，是由於英國 Aberystwyth 大學生物、環境與農業科學研究所與農委會特有生物中心簽署芒草種源合作協議書開始，計畫目的除了完成國際合作計劃目標外，並希望保護臺灣芒草種源與評估臺灣原生芒類栽培特性與作為生質作物之潛力，目前以芒草作為非糧食作物發展生質能源的主要兩個研究機構，分別為美國伊利諾大學與英國 Aberystwyth 大學，此次前往英國 Aberystwyth 大學生物、環境與農業科學研究所參訪芒草試驗，目的為了解英國芒草利用現況、栽培育種試驗及利用芒草發展之能源應用項目，並交流芒草栽培育種試驗心得與未來可能合作之試驗項目與方向。

貳、行程

時間	行程內容	住宿地點
第一天 100/9/28 (三)	搭乘國泰航空班機前往倫敦 CX465 台北 0710-香港 0845 CX257 香港 0940-倫敦 1600	TPE: 台北 LHR: 倫敦 住宿地點：倫敦
第二天	搭乘火車前往 Aberystwyth 大學，全	住宿地點：Aberystwyth

100/9/29 (四)	程約 6 小時	
第三天 100/9/30 (五)	參訪芒類作物試驗田區，包括芒草種原保存區、品系產量比較試驗區、雜交後裔評估試驗區，並進行台灣芒類栽培研究成果報告與 Aberystwyth 芒草育種栽培及應用成果分享。	住宿地點：Aberystwyth
第四天 100/10/1 (六)	芒類作物種原保存區品種調查與雜交後裔實生苗性狀調查、栽培流程觀摩、農機參訪及試驗討論	住宿地點：Aberystwyth
第五天 100/10/2 (日)	參觀威爾斯 Elan valley，包含水庫建設、湖區等自然景觀，和 Red kite 保護園區。	住宿地點：Aberystwyth
第六天 100/10/3 (一)	芒類作物之生質能源應用科技參訪，包括熱裂解爐與炭化製程、發酵槽等應用技術觀摩，芒類作物試驗項目討論	住宿地點：Aberystwyth
第七天 100/10/4 (二)	搭乘火車返回倫敦全程約 6 小時	住宿地點：倫敦
第八天 100/10/5 (三)	搭乘國泰航空班機返回臺灣 CX252 倫敦 1230-香港 0705 CX474 香港 0835-台北 1015	LHR: 倫敦 TPE: 台北

參、 人員

服務單位	職稱	姓名
農業委員會農業試驗所	助理研究員	黃哲倫

肆、 內容

(一)芒類作物種源收集與性狀評估

第3天在拜會完Aberystwyth大學芒草計畫負責人Dr. John Clifton -Brown後，先由Aberystwyth大學IBERS研究人員Dr. Lin S F陪同參訪Aberystwyth大學芒草種源收集田區，其種源收集田區種植面積十分廣大，而其收集之芒草種源超過兩百四十個品種(系)，並且不只是芒屬植物，也包括近源的荻屬與其他能源作物如Switchgrass (*Panicum virgatum* L.)等，芒屬(*Miscanthus*)植物在分類上與甘蔗屬(*Saccharum*)、荻屬(*Triarrhena*)、雙藥芒屬(*Diandranthus*)、河王八屬(*Narenga*)，同屬於蜀黍族(*Andropogoneae*)中的甘蔗亞族(*Saccharinae*)，而同族中還有重要的經濟作物，玉米屬(*Zea*)與高粱屬(*Sorghum*)。種源田區中，在收集品種(系)種植小區外，皆以巨芒(*Miscanthusx giganteus* Greefet Deu.)為保護行和對照品種，巨芒可做為性狀與產量比較之依據，而收集品種(系)中，以*Miscanthus sinensis*為主，*M. sinensis*可觀察到具有豐富的性狀多樣性與遺傳變異，像是有觀察到莖桿有節、莖為紅色的品系，葉部的著生位置也能分為較上位與較下位，在分蘖數量上差異也很大，在花穗的性狀上，有黑色、紅色等的花穗顏色性狀，並且能在其中找到特別具有高產與高品質特性的品系，可為芒草育種提供優良生質作物之特性，目前芒草商業生產用的品種巨芒便是以*M. sinensis*與*M.sacchariflorus*雜交而得。

Aberystwyth大學在2008年與農委會特有生物中心簽署有關芒類作物種源利用之協定，因此種源區中有來自於臺灣的芒草品種，但由於Aberystwyth冬季低溫可達攝氏零度以下，大部分台灣種源因為不耐低溫之故而流失，故難觀察其台灣種原在英國的表現。

第4天經由Aberystwyth大學IBERS研究機構Dr. John Clifton – Brown的簡報介紹，了解到該中心與世界各國芒草起源中心的研究單位均有研究合作，其多年來

採集的地點包括臺灣、中國大陸、日本、韓國及東南亞等地，雖然英國不是芒草種源起源中心，但是經由其中心，長久以來到世界各國進行採集，其收集到的遺傳資源非常豐富，提供Aberystwyth大學芒草研究與栽培育種很穩固的研究基盤。第4天並隨Aberystwyth大學芒草研究團隊進行芒草後裔性狀調查，前往位於Aberystwyth郊外的試驗田區，對芒草雜交後裔繁殖之實生苗試驗田區中的材料，進行性狀調查與拍照紀錄等工作，主要是以數位相機紀錄實生苗株高與生長狀況，英國芒草研究人員使用特別為芒草性狀調查設計的隨身小型電腦，除了紀錄調查之性狀外，可隨時查詢同品種(系)以往的表現，或是比較不同品種(系)間的表現，十分的便利。而在實生苗田區中，相同父母本的後裔會被種植成行，可觀察到後裔中性狀表現的不同與相似處，由於是由實生苗進行繁殖的試驗區，第一年大多生長較弱，並且分蘖較少，將於第二年再進行選拔工作。

(二)芒類作物栽培與育種

由於芒類植物產量高、耐貧瘠土地及對低溫逆境的耐性較其他 C4 植物要來的佳，因此英國會選擇芒類作物作為生質能源的材料，而第 4 天下午在 Dr. Lin S F 陪同下，觀摩芒草栽培流程與農業機具，目前 Aberystwyth 大學對芒草栽培已有固定的標準流程，並有相關農業機具配合採收與種植之工作，使得芒草栽培能夠機械化、大面積化的栽培，包括有收穫用的各種大型農機，先將地上部以收割的方式將地上部乾草割下，再用牧草打包專用的打包機器，將割下的芒草乾草，經由機器壓實打包成長方體的塊狀乾草，再加以進行保存利用，而要種植新的芒草田區時，可利用具有前方犁頭的大型農機，將芒草栽培田區中的地下莖節部分犁出土面，並將地下莖節切割成 5 立方公分的大小，以改良過的芒草專用自動撥種機種下，全程都能以農機取代人力，有效的減低芒草栽培之成本。

並參觀芒類作物的雜交室，目前 Aberystwyth 大學芒草研究機構的育種目標，除了找到更高產、生長更快速的品種外，由於巨芒及其他芒類都是異型結合的異交作物，其開花結實後的穎果，其不稔率很高，使得目前芒類栽培都只能藉由地

下莖節來繁殖，由於地下莖節的處理不易，使得芒類栽培繁殖工作困難且效率低，因此 Aberystwyth 大學芒草研究機構希望藉由改善其不稔率，利用種子進行繁殖，使栽培成本與困難度簡化。但由於實生苗初期生長較緩慢，我認為若是能轉移 *M.sacchariflorus* 或是野生蔗的莖節特性，便能利用莖節來進行繁殖，並且沒有實生苗初期生長緩慢的現象。另外在芒草的育種研究上，開花條件是很大的障礙，要使芒草的開花一致，目前 Aberystwyth 大學仍舊未找出固定的條件，此部分的研究目前利用人工氣候室，針對不同品種的芒草進行開花特性的試驗，期望能找到芒草開花的控制條件。目前歐美國家所利用的芒草品種都是雜交種 *Miscanthus X giganteus*，具有高生質量特性以及廣大的適應性，但是巨芒產量隨著環境不同有著很大的差異，根據 Aberystwyth 大學芒草研究機構跨國的芒草產量試驗結果發現，產量從 2t/ha 到 44 t/ha 差異很大，主要是因為在高緯度的地區會有低溫上的限制，要想降低能源作物的生產成本，穩定的高產量是很重要的因素，因此改良巨芒不耐低溫的缺點也是 Aberystwyth 大學芒草研究機構芒草育種的一項重要工作，而臺灣原生的高山芒便有耐低溫的特性，若能導入巨芒中可能改善部分地區產量問題。另外，並需針對各生產地環境之不同，培育適應當地氣候條件之芒草品種，以增加產量與利用效率。

在與 Aberystwyth 大學芒草團隊研究討論時，分別就英國與台灣兩地不同的栽培情況做比較，英國在冬季時，巨芒會因為氣溫低而枯黃，此時水分少，可直接利用而不需要乾燥，而臺灣的芒類作物栽培則為全年常綠，冬季時採收仍需乾燥水分，而且英國栽培之巨芒幾乎不開花，不會造成能量的浪費，而在枯黃之際，植株中的氮素會在轉換至地下莖節保存，在地上部收穫後，其氮素流失少，而臺灣的芒類栽培因為全年常綠，在收穫時，地上部所含氮素仍多，會造成氮素浪費較多，土壤中氮素流失的情況較嚴重。但是臺灣芒類作物生長的速度可能較英國更快速，尤其是實生苗生長的速度。英國方面有意將巨芒贈與臺灣芒草研究團隊，希望能就不同的環境進行栽培、產量及性狀的比較試驗。

而據田間觀察，相較英國巨芒與台灣五節芒之性狀差異，巨芒莖桿較五節芒細，分蘖數及株高則與五節芒差異不大，而五節芒葉部較巨芒茂盛，葉寬且長，佔產量比例高，而巨芒株型直立，而五節芒株型有直立也有開散狀，五節芒地下莖節部位生長較巨芒旺盛。

(三) 芒類作物生質能源之利用

第6天參觀Aberystwyth大學利用芒草為材料進行炭化與產氫過程的相關設備，與討論利用煤炭與芒草混合共同燃燒進行火力發電的相關研究。而使用芒草產炭技術，是利用熱裂解技術在高溫下使芒草炭化，並且收集炭化過程中的氣態及液態揮發物經冷凝後，重複應用於發動機或是柴油引擎等所需的燃料。而芒草也可利用微生物發酵產氫，利用氫氣做為燃料使用。

總結英國與歐洲目前在芒草作為替代能源的應用上可作為生質酒精和火力發電的材料，但利用纖維素轉換為生質酒精仍有利用上的限制，而使用芒草與煤炭直接燃燒發電的技術，已經有實際的應用。根據英國學者的研究，在能源含量上，20公噸乾重的芒草所含的能量約等同於12噸的煤炭。而在成本效益的評估上，1公噸芒草乾重的成本較煤炭高出約20.22\$/tDM，但是在二氧化碳的排放方面，卻能比使用煤炭發電大幅度的減少約90%的二氧化碳排放，若是能配合減碳的政策補貼，利用芒草來代替煤炭對減碳的貢獻必然良多。

伍、心得與建議事項

(一) 這次前往英國Aberystwyth大學參訪芒草試驗，並參予芒草育種團隊性狀調查工作，有感於英國芒草研究團隊整合與分工的能力優越，除了芒草栽培育種研究學者外，其栽培育種調查後的數據有生物資訊的研究人員協助整理分析，並在Aberystwyth大學裡還有針對芒草栽培時土壤養份與水分利用狀況作研究的農業化學研究人員、芒草收穫與種植時農機利用之農業機械研究人員、芒草炭化與發

醇等研究之化學研究人員，從芒草的演化分類、栽培生產與利用的所有環節都有負責的研究人員做專責研究，能夠整合這麼多跨領域的專業人才，使得芒草研究成果能領先其他的國家。

(二) Aberystwyth大學的芒草試驗田區，是充滿碎石子的貧瘠土壤，而且土層非常淺，而在種植芒草前，這些土地是無法生產糧食作物，只能種植牧草放養牛羊的，而芒類作物在其他糧食作物無法良好生長的土地上，卻能有良好的生長與產量，印證了芒草適應性及能生產的生物量十分優越，並且能避免與糧食作物競爭可耕地，並且其生長勢相比種源保存區其他能源作物，如switch grass，也能觀察到其產量上的差異。雖然目前生質能源相比石化能源與煤炭等，成本仍然較高，但是在石化能源逐漸減少的未來，發展永續的生質能源技術必然是十分重要，而芒類作物與糧食作物在利用與栽培區域上的不同，能夠避免利用糧食作物生產能源可能造成糧食缺乏以及糧食價格上漲的問題。臺灣雖有豐富的芒類作物遺傳資源，但由於耕地狹小，土地、人力成本高等問題，並不適合進行生質作物的商業生產，因此芒類作物作為生質能源的研究人力及經費上並不被重視，很可能就此喪失掉原有遺傳資源豐富的優勢，在未來生質能源產業中缺席。

(三) 相比英國的栽培情況，在臺灣所進行的五節芒產量試驗結果，7個月的生長期約可有每公頃乾物重40噸以上的產量，由於溫暖氣候使生長速度與產量都比英國要高，然而比較Aberystwyth巨芒栽培特性，臺灣五節芒有若干缺點，一是臺灣五節芒會有開花結果的情況，開花容易造成能量的浪費，而結果會使五節芒容易變成蔓延的雜草問題。二是英國芒草栽培在秋冬時採收，此時英國芒草已成枯黃，水分含量減少，機械採收以及生質能源應用方便，而台灣芒草一年中呈常綠的現象，冬天仍不枯黃，採收較不方便，並且利用時還需耗能乾燥水份。若是能改良臺灣原生五節芒以上兩個缺點，將很有機會成為商業生產用品種。

陸、附件:活動照片



圖 1、Aberystwyth 大學巨芒栽培田區。



圖 2、芒類種源保存田區，外圍為對照品種巨芒。



圖 3、Aberystwyth 大學芒草育種主持人 Dr. John Clifton - Brown(左 3) 與其他研究團隊人員，攝於雜交後裔性狀調查田區。



圖 4、芒類作物雜交後裔選拔田區，此為實生苗種植第一年之試驗田區。



圖 5、雜交後裔之性狀調查工作情形。



圖 6、芒類作物育種雜交室。



圖 9. 芒草製炭之熱裂解爐設備。



圖 10、芒草發酵產氫之生質產能相關設備。