

行政院各機關因公出國人員出國報告書
(出國類別：研究)

釀酒專用糯高粱育種計畫

服務機關：行政院農業委員會臺中區農業改良場

姓名職稱：廖宜倫副研究員

派赴國家：美國

出國日期：中華民國 105 年 7 月 24 日至 8 月 6 日

報告日期：中華民國 105 年 10 月 11 日

目次

摘要	3
壹、目的.....	4
貳、行程.....	4
參、研習內容.....	6
肆、心得與建議.....	11
伍、參訪研習照片.....	14

摘要

為加強高粱栽培及育種技術，前往德州農工大學(Texas A&M University)進行研習及交流，研習時間為2016年7月24日至8月6日，研習地點為位於美國德州大學城 (College station)的德州農工大學，主要參訪德州農工大學土壤與作物學系(Department of Soil and Crop Science)之高梁育種及遺傳研究室，參訪其高粱育種及田間栽培管理與美國高粱品種(系)特性。研習期間與高粱育種及遺傳研究室主持人Dr. Rooney與其研究團隊等進行高粱田間收穫、高粱選拔、套袋自交及外表型性狀調查等作業，並見識到美國大規模面積進行高粱育種試驗及高粱品種(系)之多樣性。研習期間，學習到高粱的育種試驗田間設計、套袋去雄方法、雄不稔系統的判別與建立方法、回交系統的建立、自交系與雜交系統的建立、高粱收穫與性狀調查及高粱的多樣性使用等，將有利於臺灣高粱育種試驗的進行。

壹、 目的

金門酒廠股份有限公司(以下簡稱金酒公司)每年需約 5,600 萬公斤高粱原料進行釀造製酒，現今金門地區栽培高粱品種為本場早期育成之臺中 5 號，栽培面積約 2,000 公頃，產量達 400 萬~450 萬公斤，卻仍無法達到其需求量。同時金酒公司正尋找釀酒專用高粱品種來提高釀酒率及品質，故從 103 年起委託本場進行釀酒專用高粱品種育種試驗。釀酒高粱的特性主要應為高釀酒率、高釀酒品質及高產量等基本特性，臺灣目前無釀酒專用高粱可供金酒公司使用。

為因應金酒公司對釀酒高粱的需求，本場從 103 年度起重新啟動釀酒高粱之育種計畫，期能選育出國產釀酒高粱品種供金酒公司使用。然而本場高粱育種試驗已多年未進行，為增強高粱育種專業知識及取得新的高粱引種來源，安排至德州農工大學土壤與作物學系高粱育種及遺傳研究室進行參訪，期能藉由該研究中心豐富的高粱育種及栽培經驗及高粱種原介紹，提升本場高粱育種能量，獲得更好的成效。

貳、 行程

本次研習期間自民國 105 年 7 月 24 日至 8 月 6 日止共 14 天，行程日期、地點及研習主題等內容簡列如下表所示：

105 年度美國參訪計畫行程

日期	地點	說明
7/24 (Sun.)	臺灣→ 舊金山 → 休士頓	桃園國際機場→舊金山國際機場→ 休士頓喬治·布希洲際機場 (1) UA872, 09:50 (TPE)→06:50 (SFO). (2) UA1474, 19:40 (SFO)→01:30 (IAH).
7/25 (Mon.)	休士頓 → 大學城	休士頓喬治·布希洲際機場→ 伊斯特伍德機場→德州農工大學 UA3979, 08:45 (IAH)→09:35 (CLL).
7/26 (Tue.)	德州農工大學	參觀 Texas A&M University。
7/27 (Wed.)	德州農工大學	於 Texas A&M University 高粱育種研究室進行研 習，研習高粱育種及栽培方法，包含田間選種、收穫 及考種等作業。
7/28 (Thu.)	德州農工大學	於 Texas A&M University 高粱育種研究室進行研 習，研習高粱育種及栽培方法，包含田間選種、收穫 及考種等作業。
7/29 (Fri.)	德州農工大學	於 Texas A&M University 高粱育種研究室進行研 習，研習高粱育種及栽培方法，包含田間選種、收穫 及考種等作業。
7/30 (Sat.)	德州休士頓	德州市場農產品調查及研習資料整理。
7/31 (Sun.)	德州大學城	德州市場農產品調查及研習資料整理。
8/1 (Mon.)	德州農工大學	於 Texas A&M University 高粱育種研究室進行研 習，研習高粱育種及栽培方法，包含田間選種、收穫 及考種等作業。
8/2 (Tue.)	德州農工大學	於 Texas A&M University 高粱育種研究室進行研 習，研習高粱育種及栽培方法，包含田間選種、收穫 及考種等作業。
8/3 (Wed.)	德州農工大學	於 Texas A&M University 高粱育種研究室進行研 習，研習高粱育種及栽培方法，包含田間選種、收穫 及考種等作業。
8/4 (Thu.)	德州農工大學 →休士頓	德州農工大學→伊斯特伍德機場→ 休士頓喬治·布希 洲際機場 UA4073 16:00(CLL)→16:44 (IAH).
8/5 (Fri.)	休士頓→ 舊金山	休士頓喬治·布希洲際機場 → 舊金山國際機場 UA385 21:27(IAH)→23:30 (SFO).
8/6 (Sat.)	舊金山→ 臺灣	舊金山國際機場→ 桃園國際機場 UA871 14:15(SFO)→18:30 (TPE).

參、 研習內容

一、 美國德州農工大學介紹

參觀德州農工大學(Texas A&M University,TAMU)，其創建於1876年德州農業與機械學院(The Agricultural and Mechanical College of Texas)，地理位置為德州大學城(Texas College Station)，是德州第一所高等教育學府，且為只收男生的軍校。1963年改制為德州農工大學，1965年開始招收女生，並廢除軍校必修制，但目前仍為美國高級軍事院校之一。德州農工大學學生自稱為「Aggies」，為「agriculture」一字演化而來。學生畢業時由學校統一特製畢業校戒(Aggies Ring)，該戒指象徵學校榮譽(圖 1)，因此畢業生以配戴校戒為榮，在美國許多重要場合校友們以校戒為媒介，藉此拉近校友們的距離。德州農工大學之學術水準評鑑，排名全美前50名，如依據美國新聞與世界報導等世界權威性學術評鑑機構的排名，德州農工大學為世界百大名校之一。德州農工大學的農業及生活學院(College of Agriculture and Life Sciences)為學校重點學院，以農業及生活等專業教育聞名於全世界，本次參訪對象為該學院的土壤及作物學系(Department of Soil and Crop Science)的高粱育種及遺傳研究室(Lab. of Sorghum Breeding and Genetics)。該研究室為學校教授 Dr. William Rooney 主持。

二、 優質高粱育種團隊及合作精神

高粱育種及遺傳研究室(Lab. of Sorghum Breeding and Genetics)，為德州農工大學教授 Dr. William Rooney 主持。Dr. Rooney 所執行的高粱育種4年計畫經費共8,182,045美元，折合新台幣約每年6千5百萬元。主要研究主題為(1)種子顏色及品質之遺傳；(2)病害抗性遺傳及育種應用；(3)建立能源用高粱生產系統；(4)建立分子輔助選拔之高粱育種程序。此外，在育種研究上亦有幾個重要工作

項目，(1)在 3 個分離種源中新登錄 4 個品系；(2)在高粱育種程序中針對 23 個品系進行栽培及性狀調查，並登錄種源系統完成品系登記。除進行研究外，Dr.Rooney 在德州農工大學有兩門教學課程，分別是 Plant Breeding II 及 Grain, Fiber and Oilseed Crops，同時並指導 6 位博士生進行高粱研究。

高粱研究室集合時間為當地早上 7 點，即當地天微亮的清晨，相當於臺灣夏季清晨 5 點左右，日後得知，這麼早的集合時間在美國也是很少見的。集合後研究助理及博士生們針對個人的研究進行相互探討，再由 Dr. Rooney 進行指導(圖 2)。結束討論後再由 Dr. Rooney 針對該日田間任務進行簡短工作指示，然後全體人員根據所派任務直接至高粱田進行作業。本次參訪時間為該高粱研究室田間收穫調查期，全員出動下田收穫，不分彼此及試驗田區，團隊合作精神令人讚嘆。Dr. Rooney 表示，其研究室的試驗田多達 25 公頃，主要研究有雜交育種、自交系分離選拔、父系(R-line)及母系選育，雄不稔母系(A-line)及其維持親(B-line)建立；試驗田間種植大量地方品系與雜交後代品系，每年進行雜交組合超過 250 個以上(圖 3)，而優良的高粱品系，其穗長甚至可達 50 公分以上(圖 4)。

三、自交系 B line 及 R line 育成作業

高粱雜交品種，利用譜系法進行人工套袋自交授粉作業，育成自交系後再判斷為維持親(B line)或恢復親(R line)。在田間作業中 F_1 雜交種之套袋自交第一代種子(F_2)的收穫，是以田間種植的所有雜交組合中使用 20~30 個純白色的紙袋進行套袋，並標示套袋日期。收穫時打開紙袋觀察(圖 5)，只收穫有種子的高粱穗，並調查可收穫穗數。同樣育種及栽培模式延續至 F_5 世代。育種過程中，每個高粱世代及品系均有其專屬的標示牌，可了解該品系在育種過程及其種原來源(圖 6)。

至 F_5 世代，利用這些自交後裔花粉與 A line 進行雜交所產生的

種子，於次世代種植後可觀察是否為雄不稔系統，可判斷其 F_5 為 R line 或 B line。田間種植情形為兩排 F_5 品系中間種植一排 A line，即第 1、3、4、6 排分別為 F_5 品系，第 2、5 排為 A line 品系，由第 1、3 排 F_5 為做為花粉供給親，採集其花粉並授粉至第 2 排的 A line 系統，田間每個 F_5 品系套袋自交 5 穗並收穫之，以作為原 F_5 品系之品種保存。雜交試驗為利用每個 F_5 品系花粉與 A line 的高粱穗進行雜交授粉共 5 個紙袋，另 A line 需套袋自交再測試雄不稔系統是否穩定。經本次田間觀察所有的 A line 品系均為穩定的雄不稔系統，並無混雜品系存在。本次田間作業中，第 1 排與第 2 排套袋雜交用紅色條紋紙袋，第 3 排與第 2 排雜交使用黑色條紋紙袋，此舉可避免收穫時搞混紙袋。

四、回交育種及雄不稔系統建立

高粱回交育種主要目的為將雄不稔基因或其他優良性狀基因導入另一優良純系品種，以育成新優良品種或作為日後作為雜交親本。

建立雄不稔系統的回交第一代，是以優良純系(B line)與具雄不稔系統(A line)雜交種子種植於田間得到 F_1 世代，再利用此 F_1 世代植株花粉作為授粉親，再次回交於 A line 可得；田間種植排列為優良純系(B line)與雄不稔系統交錯種植，利用優良純系植株花粉與雄不稔系統雜交套袋，藉此將雄不稔基因導入優良純系系統中。田間優良純系先以白色紙袋套袋自交，並打開紙袋觀察，只收穫有種子的穗，並計算可收穫穗數，此舉為進行原優良純系之品種保存。此外，收穫雄不稔系統之雜交種子紙袋，其以黑色條紋紙袋套袋。田間所有雜交種子之紙袋完全收穫，並計算收穫袋數，以利調查可獲得之高粱雜交種子數。

收穫回交第二代種子 BC_2 。第 1 行及第 3 行種不同品系的 B line，第二行種 BC_1 。第 1、3 行先套袋自交，收穫套袋自交並產生種子的高粱穗，計算可收穫自交穗。 BC_1 開花時觀察並選拔出具雄不稔性之

穗，套袋防止與其他高粱植株雜交，並利用第 1、3 行 B line 花粉與第 2 行 BC₁ 具雄不稔性的穗雜交並套袋，與第 1 行雜交袋用紅色紙袋，與第 3 行雜交套袋用黑色條紋紙袋，避免弄混雜交。收穫並計算雜交收穫紙袋數並記錄。

五、雄不稔系統之 A、B line 品種系之觀察及收穫

雄不稔系統 A line 為利用 B line 花粉回交所建立，田間 A line 及 B line 交錯排種植，B line 套袋 4 棵植株使其自交，並收穫套袋自交種子。雄不稔系統 A line 品種(系)先進行套袋自交 10 株，觀察有無種子產生，如無種子則雄不稔系統已穩定，屬良好的 A lines 系統。此外，同時利用 B line 植株之花粉授粉至 A line 之花穗，並套袋防止其他植株花粉汙染，成熟時收穫套袋雜交種子，每個套袋寫上日期，每個 A line 共進行 4 個回交授粉套袋，並標定序號與其提供花粉親之 B line 植株相互對應。田間觀察並收穫約 100 個 A、B lines，A、B lines 已回交套袋至 BC₅，其品系農藝性狀幾乎相同，其差異僅在雄不稔系統，屬近同源系。此外有兩個品種(地方品種)針對 A line 進行測交，每個測交品系套袋 3 個，所以共有 6 個測交套袋，日後將種植測交種子觀察植株生長及其產量，藉此估算雄不稔品系 A line 的組合力。

田間實作部分為在進行收穫時，藉由手握紙袋觀察 B line 的自交套袋跟與 A line 的雜交套袋是否產生種子，以可收穫大量種子的穗為主，最後僅收穫有大量種子的兩個紙袋，即只收穫對應編號的 2 個 A line 紙袋跟 2 個 B line 的紙袋。

另外值得一提的是，美國高粱試驗中田間作業套袋用的紙袋可依其顏色作為不同處理間的區別，例如自交用的紙袋用純白色紙袋、A、B lines 回交用為用黑色條紋紙袋、測交用為使用藍色條紋跟紅色條紋紙袋、雜交品系則用紫色紙袋。利用不同顏色的紙袋，可以很快分辨每個套袋的功能與作用，加速育種試驗之田間作業進行(圖 7, 圖 8, 圖 9)。

六、雄不稔系統判斷及雜交作業

雄不稔系統判斷及雜交作業，為先觀察田間高粱穗是否含有花粉與否，藉此判斷高粱植株是否為雄不稔系統，再利用套袋及以其他品系植株花粉進行授粉作業而成。田間實作時，Dr. Rooney 指導學生做雜交試驗(圖 10)，首先在高粱始穗期時選別雄不稔植株(高粱穗上無花粉產生)，再針對雄不稔植株先進行套袋並予以標誌(圖 11)，防止他株花粉掉落而混雜，4 天後打開套袋利用另外選定雄株(即收集特定雄株花粉對雄不稔植株)進行授粉作業。雜交方法為選定的雄株，敲下花粉裝袋，再拿至雄不稔且已套袋隔離之植株(雌株)進行授粉，同時套袋防止其他花粉污染。

七、牧草用高粱收穫及性狀調查

在這次美國行程中，其中有一課題為協助收穫牧草用高粱(Forage sorghum)(圖 12)，共收穫 148 個品系，由該研究室博士生於田間隨機選擇性狀一致的 6 株高粱植株，從高粱植株基部以大型剪刀割除後，加以網綁並完成標誌，最後再運回到高粱考種工作室。當日早上進行牧草用高粱選拔及收穫作業，下午立即進行性狀調查，以其中 3 株利用絞碎機直接高粱全株絞碎(圖 13)，取樣、標示後直接收存，日後將作纖維含量等性狀調查。另 3 株一起調查全株重(含葉)，莖桿重(去葉)，莖桿粗度(地下莖往上數第 3 節)，然後榨汁，調查汁液含量及糖度。

牧草用高粱在美國是很重要的作物，因為美國是農牧業大國，需要大量的牧草提供美國畜牧業作為草料用。高粱為需水量低之作物，高粱栽培期間，因為適應乾旱環境，在許多乾旱及半乾旱的地區，如因雨量不足，無法經濟栽培牧草作物時，可栽培高粱替代其他草料作物，又因高粱莖桿含有大量的養分及糖分，是很重要的牧草來源，因此牧草用高粱研究在乾旱及半乾旱區域正蓬勃發展中。

八、室內考種作業

室內考種作業地點為高粱研究室旁的考種工作室，由於當地氣候乾燥，高粱穗除吊於架上乾燥外，不需乾燥機具處理，可以節省乾燥機具費用及能源消耗。當田間高粱穗採收後，需依照其標示牌分門別類(圖 14, 圖 15)，而標示牌則是依不同的試驗目的、試驗方法及試驗材料進行分類標示。高粱採收後需要經過乾燥處理才能進行考種作業，因此一個良好的乾燥環境是必需的。高粱考種作業通常由 4 個人組成一個團隊進行，分別進行 1.材料整理；2.調查穗長、穗寬並紀錄；3.進行機械脫粒作業；4.進行機器風選作業；5.進行高粱種子人工篩網作業；6.高粱種子裝袋(圖 16, 圖 17, 圖 18)。後續再進行種子秤重、種子顏色調查、種子千粒重等調查。因為團隊的組成及合作，加上脫粒機、風選機具的運用，高粱種子脫粒考種並不會花費太多時間及人力即可取得成效，值得我們學習及仿效。

在臺灣高粱考種作業之高粱種子脫粒作業是很費時費工的，因此高粱脫粒機的使用是很重要的，在人工不足的環境下，如何減少人工的使用，一台好的機器可以充分發揮其功用。美國高粱研究室使用的脫粒機，可以快速地協助高粱穗脫粒作業，減少人力的使用，並可提高效率。

肆、心得與建議

本計畫執行期間，到德州農工大學參訪高粱育種研究室，深感有許多值得我方學習之處，本次參訪之心得及建議如下：

1. 德州農工大學在世界上是前百大的學校，尤其在農業研究上名列前茅，高粱育種及栽培在該校是很重要的任務，這點由德州農工大學高粱研究室每年高達六千萬新台幣的經費可見端倪。Dr. Rooney 所主持的研究室，主要研究項目在於田間栽培及育種，高達 25 公頃的大面積栽培，進行試驗的品種(系)不計可數，其包含穀物用高粱、牧草用高粱、酒精(生質能源)用高粱的材料，可見其高粱育種試驗的大規模。此外，該

研究室亦跟其他研究室共同合作，進行如高粱分子輔助育種、高粱病害及蟲害研究等，其高粱研究室自行發表或與他人合作共同發表國際期刊論文成果豐碩。因此，該研究室能成為世界上有名高粱田間栽培及育種研究室，名符其實。

2. 在美國進行高粱研究參訪並隨著 Dr.Rooney 團隊實際下田進行高粱收穫作業，可藉由田間高粱種植情形，了解到高粱育種在美國實際情況。美國高粱育種試驗，首重種原材料的豐富性，擁有高歧異度及各種功用的高粱種原，才能針對各地區的栽培環境，選育出適合區域性栽培的高粱品種。所以高粱育種首先可從地方品種(系)收集並進行觀察試驗開始，再利用套袋自交育成純系品種；或者是利用國際引種，大量引進國外優良品種(系)，再進行區域觀察試驗，選出適合當地生產的高粱品種(系)再進行選育種作業。
3. 除引種及地方品種的純化外，高粱新品種主要可分成純系品種及雜交第一代 F_1 品種，純系品種為將地方品種或者是國外引種，利用套袋促使高粱自交，使其種質均質化，進而育成純系品種；雜交第一代 F_1 品種則是利用兩個不同的品種(系)雜交獲得雜交第一代品種，主要是利用其雜種優勢，使其品種無論在產量或者是對病蟲害或環境的抗耐性都可獲得增強作用。然而育成雜交第一代品種，其母系親本須去除有功能之花粉，以防止高粱部分種子為自花授粉所得，但高粱的去雄作業繁雜，因此，具有雄不稔系統的高粱品種，對育成具有雜種優勢的高粱雜交第一代品種非常重要。美國高粱育種試驗，有很大的比例在育成雜交品種的親本，如育成父系的 R line 及雄不稔系統的 A line 與其恢復成可稔系統的恢復親 B line。
4. 在創建新種質的方法上，利用人工雜交組合將所需的性狀結合，並不需要育成一個穩定的品種系，通常僅需要將兩個穩定的品種進行雜交，再利用人工選拔所需性狀即可；因此以人工去雄作業(去除雄蕊或使得花粉無功能)，再針對特定性狀的雄株取得花粉進行授粉作業，即可育成

雜交品系。然而為了保存經過雜交後產生的優良性狀，利用套袋使得高粱自交產生性狀分離，再經過人為選拔保存所需性狀進而育成自交系，此時產生的 R line 或 B line，或再利用回交育種育成雄不稔系統 A line 的材料，在進行高粱育種試驗時都是常用的育種方法。

5. 除上述所見的育種及田間栽培外，美國高粱育種，針對不同的高粱利用功能，如食用高粱、飼料用高粱、牧草用高粱、能源用高粱等都有其特定的育種目標及策略，而研究室研究人員也圍繞著這些育種目標及主題進行研究及相互合作。此外，針對病蟲害抗性與防治，以及其他環境主題研究，也與德州農工大學其他研究室進行合作，從本趟美國高粱參訪行程，了解到美國研究團隊對於合作的默契及精神，是值得學習的。

伍、參訪研習照片



圖 1. 代表德州農工大學精神的畢業金戒。



圖 2. 每天清晨出門前由 Dr. Rooney 主持 meeting，討論相關問題並分派任務。



圖 3 廖宜倫副研究員與 Dr. Rooney 於高粱田間合影。



圖 4. 優良高粱品系，穗長達 50 公分以上。



圖 5. 雜交套袋採收時，需觀察紙袋內高粱種子結實情況，只收穫結實良好高粱穗。



圖 6. 標示牌的製作非常重要，代表此栽培品種系的身分，可以了解其育種過程及種原來源。



圖 7. 不同雜交組合處理，利用不同顏色紙袋進行分類，可快速收穫且不易搞混試驗材料(1)。



圖 8. 不同雜交組合處理，利用不同顏色紙袋進行分類，可快速收穫且不易搞混試驗材料(2)。



圖 9. 高粱田間試驗情形，不同處理的試驗，需進行不一樣的紙袋套袋處理。



圖 10. Dr. Rooney 田間指導學生進行雄不稔植株判斷。



圖 11. 不同特性的植株，先用彩帶進行標誌，作為日後雜交授粉之親本。



圖 12. 牧草用高粱，株高達 250 公分以上，莖桿粗壯，可達高產生物產量。



圖 13. 牧草用高粱植株絞碎，收取纖維樣本。



圖 14. 收穫後的高粱分門別類後，高掛乾燥(1)。



圖 15. 收穫後的高粱分門別類後，高掛乾燥(2)。



圖 16. 高粱考種前調查穗寬穗長，並準備脫粒考種。



圖 17. 團隊分組合作可迅速完成高粱考種作業(1)。



圖 18. 團隊分組合作可迅速完成高粱考種作業(2)。