

出國報告（出國類別：研習）

107年派員赴菲律賓國際稻米研究中心 參加HTP（高通量外表型）培訓課程及 研商水稻抗氧化(antioxidant)改良合作 細節之出國報告

服務機關、姓名職稱：

何佳勳助理研究員/農業試驗所
李長沛副研究員/農業試驗所
吳東鴻助理研究員/農業試驗所
蕭巧玲助理研究員/農業試驗所
林大鈞聘用副研究員/農業試驗所
黃佳興助理研究員/花蓮區農業改良場
王柏蓉助理研究員/臺中區農業改良場

派赴國家：菲律賓（國際稻米研究所）

出國期間：中華民國107年11月18－11月23日

一、目的

本計畫依據農委會農業試驗所與國際稻米研究所 (International Rice Research Institute, IRRI) 共同協議合作架構下，制定目標並推動各項合作研究議題進行學術交流，學習利用無人機進行高通量外表型，及水稻抗氧化的改良，以加速台灣水稻研究的進展。

二、研習行程

Monday, 19th November

8.00-8.30	Introductions	Steve Klassen
8.30-8.40	Opening Remarks	Hei Leung
8.40-9.00	Overview and Expectations Steve	Steve
9.00-10.00	Drone Rules Flight Procedures and basic operations	Steve
10.00-10.20	Coffee Break	
10.20-10.30	Group Photo	
10.30-11.30	Introduction to equipment, GPS, drones, cameras, and accessories	Steve
11.30-12.00	Drone Mapping Overview	Steve
12.00-1.10	Lunch at IRRI Dining Room	
1.10-3.00	Field Exercise - demo manual control and mapping flights with fixed wing and multicopter GCP Survey with Emlid Reach	Arloo and Steve
3.00-3.20	Coffee Break	
3.20-5.00	Field Exercise - hands on Individual flying skills, basic operation with Phantom 4	Arloo and Steve

Tuesday, 20th November

8.00-9.00	Drone Mapping detailed review of Standard Operating Procedures	Steve
9.00-10.00	Mission Planning step by step with DJI GSPPro	Steve
10.00-10.20	Coffee Break	
10.20-12.00	Field Exercise – hands on automated mapping flights and Individual flying skills	Arloo and Steve
12.00-1.10	Lunch at IRRI Dining Room	
1.10-3.00	Image Processing I – uploading, PIX4D project creation, processing templates, GCP processing, radiometric calibration, quality reports	Steve
3.00-3.20	Coffee Break	
3.20-4.00	Image Processing II – outputs including orthomosaics, digital surface models, point clouds, and Index maps	Steve
4.00-5.00	Hands on mission planning in groups	

Wednesday, 21st November

8.00-9.00	Field Exercise – hands on automated mapping flights and Individual flying skills	Arloo and Steve
9.00-10.00	Image Analysis Overview	Steve
10.00-10.20	Coffee Break	
10.20-12.00	Image Analysis methods using ArcGIS and R	Steve
12.00-1.10	Lunch at IRRI Dining Room	
1.10-3.00	Interpretation Data management	Steve
3.00-3.20	Coffee Break	
3.20-4.30	Group Discussion	Arloo and Steve
4.30-5.00	Closing Program Awarding Certificates Closing Remarks	Hei Leung and Steve Klassen

Thursday, 22st November

Discuss rice antioxidant program with Dr. Lee and learn rice antioxidant protocol

三、參訪內容

1.無人飛行器介紹及基本操作

利用無人飛行器進行高通量外表型分析工作坊(Drone based High Throughput Phenotyping Workshop)的負責講師是 Steven Klassen,他是國際稻米研究所負責無人飛行器進行高通量外表型分析及作物追蹤系統發展的專家,第一天課程早上包含課程介紹、概述及展望、飛行法規及基本操作介紹、無人飛行器設備、衛星定位系統、相機介紹及無人飛行器操作概述。

在課程一開始,首先播放了菲律賓在無人飛行器的使用規定,無人飛行器在菲律賓受其運輸部的管轄,規定重點如下:1.超過7公斤的無人飛行器需經申請核准才可飛行。2.空拍機飛行時需與非操作人員距離30公尺以上。3.一定要在視線內飛行。4.人口稠密區、機場及軍事基地附近禁飛。5.飛行高度不可超過120公尺。Steve博士及其同仁皆取得無人飛行器的飛行執照,此外,IRRI的研究人員在飛行之前亦需上網向IRRI保安單位申請。

而在起飛進行調查之前,需先進行諸多事項的確認,包含無人機的是否完好,設計飛行計畫,確認無人機、平板電腦APP、搖控器軟體及電腦防火牆是否已是最新版本,是否有足夠的儲存空間,各項設備電池電力是否足夠,最後就是無人飛行器和搖控器軟體或電腦是否正常連結,此外,尚有一重點,就是天氣狀況,因為在風速大於10m/s時,無法飛行,降雨機率也是需考慮的因素,Steve亦提到,除了各國的氣象報可參考,亦可參考UAVforecast.com的氣象資料,甚至是準備風速計測量地面的風速作為參考。在起飛調查前需進行飛行區域的畫定,飛行路徑的規劃,鏡頭的選擇,起飛點四周是否有建築物或其他可能的阻礙物,而在操作中需隨時注意無人機的狀況,特別是電力的部份,儘可能在電力剩餘30%時即進行返航,避免電力不足造成的意外,但他也提到大部份的機行在電池電力低於30%時操作軟體都會提出警告,飛行結束後亦需確認無人機是否有受損,相機鏡頭是否有髒汙,許多細節Steve博士及其同仁皆詳細的告訴我們。

而為了增加照片成像的精準度,Steve博士提到了需利用Ground control Point(GCP)來協助衛星定位,增加分析時的精準度,GCP為利用設置一個固定衛星訊號的基地站,及一個可移動定位點,每公頃約需8-10個GCP點,在沒有GCP的情況下,圖像準確度約1-2公尺,使用了GCP後圖像準確度可達2-5公分。

下午的課程則是由IRRI研究人員操作展示其所使用的機型,並由我國學員實際操作,IRRI在用的無人飛行器包含三種,分別是DJI phantom4 Pro、DJI Matrice100及eBee三種,各機型特色簡述如下,phantom4 Pro為四軸無人飛行器,具備了一顆RGB的鏡頭,滯空時間約17分鐘左右,可搭配DJI GO或DJI GS Pro兩個飛行控制軟體,其最大的優點就是輕便和價格相對便宜,缺點則是無法更換鏡頭,僅能使用RGB的鏡頭拍攝,DJI Matrice100亦是四軸的無人飛行機,飛行速度較快,滯空時間亦較長,具備了多光譜及RGB兩種鏡頭,因此能分析的項目亦較多,亦可搭配DJI GO或DJI GS Pro兩個飛行控制軟體價格

亦為三種機型的中間，eBee 則是固定翼的機型，其最大的特色是滯空時間可達 50 分鐘，因此非常適合較大田區使用，此外，雖然 eBee 飛行時只能裝載一顆鏡頭，但具備可更換的鏡頭，包含多光譜、熱感及一般的 RGB 鏡頭，可搭配其專屬的 eMotion3 飛航控制軟體，惟缺點是價格較昂貴，且因是固定翼的機型，需要較為寬廣的起降空間。

在學員操作時以 DJI phantom4 Pro，操作前亦先確認各項準備完成，包含電池及螺旋槳皆由我國研究人員自行安裝，操作時練習了起飛，讓無人機飛行一個正方形及降落，IRRI 研究人員提醒我們飛行器的飛行方向必需和我們的目視方向相同，我國研究人員皆把握時間認真練習。

2. 設定地面控制點

在無人機進行空拍前尚需利用地面控制點(Ground control point, GCP)設定航帶開始、中間及結束之位置，並對接無人機搭載之 GPS 佈設，一般而言，GCP 於航帶點每公頃至少須設定 6 點以上，GCP 之分布位置比設置數量來的重要，將 GCP 佈設於航帶外圍比航帶內較能提高精度，且對於無人機之拍攝所產製之地表影像可更提高精確度達 2-5 公分內。用於標定之位點通常採用如塑膠、木材或水泥等不易被無人機飛行時或當地風速流動時所吹動之不反光材質。

3. 無人機飛行任務設定

DJI GS PRO 是一款可規劃無人機自動航點飛行作業及執行航程紀錄之 iPad 端應用軟體，執行基本環境需在 iOS 2 以上，為免費之 APP。本次研習採用 DJI Matrice 100 機型，搭載多光譜攝影鏡頭及 RGB 攝影鏡頭(Zenmuse X3)，設定步驟以此機型進行說明：

- (1) 首先開啟 **DJI GS PRO** 頁面前，需先確定連線 GPS 之定位點，開啟後點擊「3D Map Area」，並新增「Tap」模式(此為手動規劃航拍點)，找尋無人機之定位後，利用手指規劃欲拍攝之田區，手動調整飛行路線及飛行起始點，並點擊左上角 home page 鍵來新增飛行任務。先設定基本(Basic)飛行參數，點選後先行設定鏡頭型號為「Zenmuse X3」，攝影角度(shooting angle)選擇「與主路徑平行(parallel to main path)」，拍攝方式(Capture Mode)選擇「等距時間間隔拍攝(equal time interval)」，以每 2 秒拍攝一張，航程模式(Flight Course Mode)選擇「Scan Mode」。
- (2) 設定進階(Advanced)飛行參數，飛行高度(Altitude)調整至 30 m，影像重疊(Overlap)設定，拍攝點位(Front lap)設定 80%，側邊平行航線(Side lap)設定 90%，結束航程(End-Mission Action)選擇「RTH Alt 35.0 m (回到起飛點上空 35 m 後下降)」。
- (3) 設定好飛行參數後，可編輯飛行任務名稱，即可將 iPad 連接飛行控制器，再回到主畫面後點擊右上角之飛機圖樣，確定各項參數完備。並將控制器之 remote 鍵調整至 F(Matrice 100)，即可啟動無人機進行航程任務。

4.運用 PIX4D 軟體進行影像定位拼接及模型建立

本次 HTP 課程所展示的高通量外表型分析技術，是利用大疆公司的 phantom 4 Pro、MATRICE 100 或是瑞士 sensefly 公司所出產的 eBee 無人機，收集田間影像資料後，須利用 PIX4D mapper 軟體，進行影像定位拼接及建立模型，接著利用地理資訊軟體 (ArcGIS 軟體) 標定各試區的座標範圍，以定義每個待分析區域。最後，輸出結果才利用 R 軟體進行影像分析、統計分析及結果輸出。

其中，由瑞士 Pix4D 公司所開發的 Pix4D mapper，是一款專業的無人機測繪及攝影量測軟體 (圖一)，可以轉換無人機於飛行過程中所拍攝的影像，成為高精確度且帶有地理座標的 2 維或是 3 維模型，並可快速產生各種可自定義的成果，如 3 維點雲、數字化地表及地面模型、正射影像鑲嵌圖、體積計算、3 維紋理模型或熱影像圖，供後續其它軟體，進行後續深入的影像分析。其具有專業化、簡單化、自動化且高精確度等優點，使無人機所擷取的影像成為新一代的專業量測工具。

啟動 Pix4D mapper 軟體後，須先建立新的專案 (project)，或是由叫出前次操作所建立的專案進行修改。加入影像後，再進行影像屬性的定義，如影像的坐標系、地理定位及方向、擬建立模型選項及相機型號。接著，進行地面控制點 (Ground Control Points, GCP) 的定義及管理。通常每公頃試驗田約放置 8-10 個 GCPs。GCP 為大小約 0.4 x 0.4 m 且具有明確中心點的黑白方塊 (圖二)。GCP 的正確位置需要利用區域 UTM 輔助系統 (圖三) 以 GPS 原理進行高度精確的量測。利用 Pix4D 重建模型至少需要 3 個 GCPs，而一般無人機取得之 100 張影像資料內最好包含 6 個以上的 GCPs。完成 GCPs 的定義後，即可利用 Pix4D 進行快速且全自動化地建立模型輸出，包含：正射鑲嵌 (orthomosaics)、數位表面模型 (digital surface models)、點雲 (point clouds) 及指數圖形 (index maps)。最後，進行輸出結果的質量管控，包含：影像 (Images)、Datasets、Camera Optimization、Matching 及 Georeferencing 等項目 (圖四)。若通過質量管控，會在相關項目後出現綠色勾。但若出現黃色或紅色的勾，就需要進一步根據使用手冊的故障排除 (troubleshooting) 檢查問題所在並排除，再重新建模，所得結果方能輸出，進入後續 ArcGIS 軟體分析。

5.運用 R 統計軟體進行影像資料分析

在前項階段已經由無人機取得空拍影像並完成拼接後，接下來則需要利用地理資訊軟體 (GIS system) 標定各試區的座標範圍，可透過 ArcGIS 軟體中的 Fishnet 工具批次建立整個田區中各試區的地理投影範圍 (shapefile)，每個試區除了標定行列的座標位置外，設定行列數，也須調整試區轉動角度，確保符合試區區塊符合田區方向並避免不同行區間的重疊狀況，套疊此項投影檔案與高解析圖像便可擷取該區塊下的畫素資料。

資料分析主要透過 R 軟體中進行資料統計與圖形重製，R 具有免費、使用彈性高並可匯入多項不同分析套件，本次資料分析包含可以讀取 shapefile (maptools)、繪製地圖 (maps)、色階盤 (RColorBrewer) 等套件後，設定影像資料匣

名稱與路徑，亦同時設定投影檔所存資料匣路徑與檔案名稱後，並可將所有相關資料匯入並進行合併分析；以 RGB 影像為例，取得各試區中的像素色彩值後，可品管後各基因型的性狀資料，建立各性狀與色彩指標間的相關性、迴歸係數與時間序列分析等統計分析，最後並可使用 R 軟體中 GAPIT 套件進行全基因體關聯分析，定位出在該定位族群中與目標性狀具有最高關聯性的染色體位置。

每一個試區的像素值會先經過初步品管篩檢每三行區內 5% 的離異值，並以中位數表示該試區的性狀表現，在水稻資料上同時會去除株高大於 2m 者、植冠溫度超過 38 度者，隨後進行各項色彩指標與 RGB 三元素數值統計分析。

在 RGB 影像中，目前常用相關彩色指標分別為 $NDI=(G-R)/(G+R)$ ， $VARI=(G-R)/(G+R-B)$ ， $TGI=((660-450)*(R-G)-(660-520)*(R-B))/2$ 與 $GLI=((G-R)+(G-B))/((2*G)+R+B)$ 等計算，目前除了植株高度可以藉由植冠高度進行預測外，亦可以嘗試使用 NDI 指數預測抽穗期性狀，或以 NDVI 預測乾物重，但不同環境仍可以造成各影像指數的相關程度變異，在特定環境下仍須先確認各性狀標準調查資料與影像指標的相關係數，擇高者進行後續分析，例如在株高高上分別可以植冠高度*NDI 或植冠高度*NDVI。未來除了使用更高色彩判別的照相機外，將可嘗試使用機器學習、人工智慧等大數據分析尋找新的色彩影像模式與病蟲害間的關聯性，另可利用各影像分析指標進行主成分分析等，均有助於建立各性狀預測指標。

與 IRRI 種原中心 Dr. Lee 討論國內與 IRRI 在水稻抗氧化研究的合作事宜，Dr. Lee 提出，目前國際稻米研究所的研究主要在分析水稻糙米的抗氧化能力及 phenolic 含量，其採用較快速的分析方法，一天最多可分析 300 個樣品的抗氧化能力，目前他們亦與韓國合作分析不同 vitamin E 的 isoform，我們亦提出國內目前著重在利用 HPLC 分析糙米 gamma oryzanol 和 vitamin E 的含量，雙方皆認為有色米有較高的機會具高抗氧化能力，後續亦將分享雙方的分析數據，並提供高抗氧化的種原在雙方的實驗室進行。討論完之後，Dr. Lee 帶領我方人員進入實驗室，並由實驗室研究人員 Myrish 實際操作糙米的抗氧化分析流程，在抗氧化的部份 IRRI 實驗室是採取 DPPH 的方法，只需糙米量 0.2-0.3g，但因會議時間的影響，並無法全程看完分析流程，而 phenolic 含量的分析樣品前處理則一樣，只在後面萃取時有差異，研究人員亦提到未來有分析上的問題都可以互相討論。

四、心得

高通量外表型的訓練課程包含是無人載具的操作、取像技巧、圖像的解讀、資料處理、最後與農用的專業軟體結合，轉換成對作物性狀具有意義的數據，需要具備多個領域的專業，本次參加研習的人員主要為農業背景的相關研究人員，載具的操控已能上手，經由操控程式的設定均可以自動取像，而跟據 Steve 博士經驗，自動取像的覆蓋率至少在 75%-85% 之間，以便更精準地呈現圖像資料，利用 DJI 載具的取像高度，飛得越低拍攝的照片解析度越高，但需要拍攝更多的

相片，相反的飛得越高拍攝的相片解析度越低，但需要拍攝的相片相對較少，但兩者之間對解釋目標性狀的精確度還沒有比較過，未來針對較具有挑戰性的性狀，如精確的計算病害、蟲害的發生，可以做一些相關的試驗來加以驗證。

多數重要作物特性皆由數量遺傳所調控，常受到環境因子的影響，而不易探索相關功能基因。表型體學 (Phenomics) 是基因型(Genotype, G) 表現的整體結果，更是育種目標性狀 (耐寒、耐熱、耐旱) 之表現結果，因此是育種成敗之決定因素。表型體之表現易受環境因子 (Environment, E) 之影響，因此一個遺傳性狀 (即基因型 G) 必須在穩定的環控 (E) 狀態下，進行表型體 (P) 測定，才能獲得準確、穩定的外表型表現。基因型 (G) 與外表型 (P) 二者的關係才能確定，所開發之分子標誌才具可靠性。鑒於此，國際植物學研究甚至作物育種公司，爭相建置並利用先進的表型體分析之軟硬體設施，建置精準的外表型分析平台。此外，台灣早已大規模地利用無人機進行國土或是林木的量測，而近來在農業應用上，亦已利用無人機來進行農藥噴灑及輔助災害程度的評估。此次，參與國際水稻中心所舉辦的 HTP 的研討課程，進一步了解如何利用無人機攜帶光學相機、多光譜相機、NIR、熱影像相機，擷取田間影像資料，再利用 DJI GS Pro、eMotion、Pix4D、ArGIS 及 R 語言等軟體，將影像資料轉化為田間作物的外表型資料。此系統應盡速在本所重建並作為田間表型體分析平台。尤其，目前固定式的田間表型體分析設施所費不貲，而台灣夏秋季為颱風耗發的季節。若在田間架設現行國際主流的田間表型體分析設施，一旦颱風侵台時，恐難以避免損失。

目前國內對高通量表型之量測多以人為手動單點式取得資料，由無人機搭載多種適合於量測植被植生指數之攝影鏡頭，可快速、簡易取得以葉片為主之表型參數，包含 NDVI、SPAD、NDI、canopy temperature... 等，再藉由深度學習預測更精準之多項產量資料，有助於相關資料探索應用於育種、病蟲害預測及作物生理估算等研究上。

目前利用無人機進行農藥代噴與輔助災後倒伏判讀已漸成熟，而協助試驗田區中植株性狀調查已有成熟平台可供運用，如果試驗單位能統籌規劃各試驗田區的精準座位位點、地理資訊系統座標等圖資，並提供週期性高空影像收集，再由各試驗計畫人員各自進行資料分析，有助於調整人力密集調查的資源彈性。

國際稻米研究所正積極研究以提升稻米的抗氧化能力，除了以 DPPH 的方法分析糙米外，亦分析 phenolic 的含量，國內各試驗改良場所目前的育種目標較少著重在此，未來或可在產量、米質外，亦著重稻米抗氧化能力的提升，以利增加水稻產業的多元化發展。

五、建議

利用無人載具取像，透過多光譜圖像與專業農業軟體相結合，將信息輸出轉換成有意義的數據，可以提供一般農民甚至研究利用，國內已有許多單位正進行相關的研究，但真正可以提供作物栽培管理以及品種改進的利用仍值得開發，建

議可以建立以作物生長模式為研究基礎的高通量研究團隊，加速相關人才的培育及快速的在各類作物相關產業上的應用。

本次課程在無人機的飛行計畫及實地飛行，有較多的實際練習機會。然而在影像分析部分，卻因受限於軟體的取得及課程時間，反倒沒有機會時機操作。但 Pix4D 等多數軟體，皆有免費試用機會。建議下次若舉辦類似課程，宜可讓學員先灌好試用版本，並設計練習用影像數據及相關實作課程，以強化學員在影像分析印象及技巧。

本次課程後，或可先購置較便宜的大疆公司的 phantom 4 Pro 無人機，並利用試用版軟體，盡速在本所建立試著建立類似的分析系統，以評估在實際操作上可能發生的問題，並試著解決。

農試所已購置相當數量的無人機。在為建立作物 HTP 系統購置無人機之前，或可由所內相關團隊，評估現行所內無人機資源，再決定購置無人機的等級及數量，以避免科研經費的重複配置。

在建置本系統前期，應先以水稻作為模式建立的材料。一旦完成 HTP 分析平台的建置後，宜加入所內其他作物的團隊，以共同建立其他作物的相關 HTP 分析系統。

本次訓練課程以無人機搭配及演繹較多的為 RGB 鏡頭，多光譜及熱影像鏡頭應用農業研究較少提及，可能受限原因包括特定物種、種類及性狀等光譜波段範圍之數據累積仍待建立，及熱影像受環境參數變動影響取像精準度等，未來發展以無人機進行作物高通量表型之研究，此兩種鏡頭之分析技術仍不可或缺，但由於所費不貲，建議農業試驗改良單位可集結資源，籌組研究團隊進行技術學習與開發，共享資訊與創造研究效益。

高單價無人機鏡頭與飛機維護成本高，且密集使用程度不高，可多個實驗室分散使用期程，是未來一項對於株高、成熟期與產量等外觀性狀上，緩解人力密集的因應措施，且更能進行時間序列分析使用。

水稻的抗氧化能力未來可能是國內稻米產業發展的一個方向，研究單位或可針對不同的機能性成份進行分工，以加速國內機能性稻米品種的育成，提升國年稻米產業的產值。

六、參訪照片



圖 1. 開訓時，Dr. Stephen 跟大家介紹無人機各項配件與功能。



圖 2. 開訓時，課程規劃人 Dr. Stephen 跟大家介紹課程規劃，Dr. Leung 致歡迎詞。



圖3、國際稻米研究所用之DJI phantom4 Pro



圖4、國際稻米研究所用之DJI Matrice100



圖5、國際稻米研究所用之eBee。



圖6、國際稻米研究所用之eBee配件。



圖7、衛星地位系統Ground control Point (GCP) 搭配之Base



圖8、衛星地位系統Ground control Point (GCP) 搭配之ROVER



圖9、衛星地位系統Ground control Point (GCP) 搭配之座標板。



圖 10、利用區域 UTM 輔助系統以 GPS 原理進行高度精確的量測\

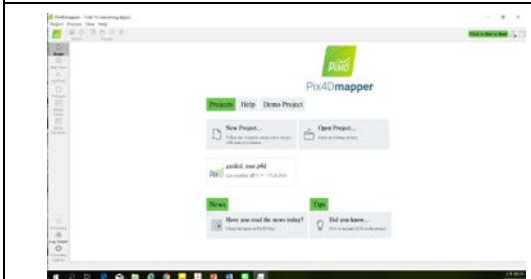


圖 11、運用瑞士 Pix4D 公司所開發的 Pix4D mapper，將無人機所拍攝的田間影像進行影像定位拼接

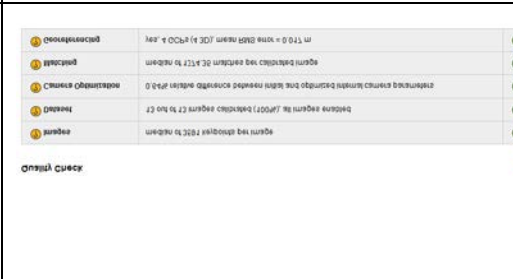


圖12、Pix4D mapper輸出結果的質量管控。



圖13、學員學習設定多光譜鏡頭之光譜校正。



圖14、學員學習操作安裝無人機設備。

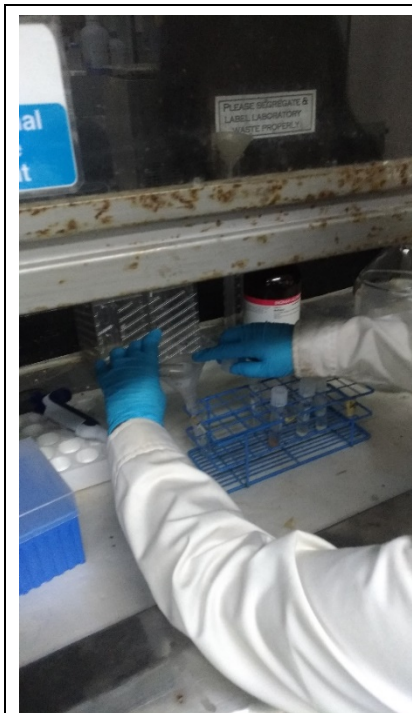


圖15、抗氧化分析前處理。



圖16、與IRRI人員討論抗氧化分析結果。