

出國報告（出國類別：研究）

農業操作行為對海洋生態環境影響 之研究

服務機關：行政院農業委員會花蓮區農業改良場

姓名職稱：徐仲禹 助理研究員

邱淑媛 課長

派赴國家/地區：澳大利亞

出國期間：108年8月3日至8月17日

報告日期：108年11月11日

目次

壹、摘要.....	1
貳、行程表.....	3
參、目的.....	5
肆、研習內容.....	6
伍、心得與建議.....	48
陸、致謝.....	50

壹、摘要

本次出國參訪國家為澳大利亞，期間為 8 月 3 日至 17 日，參訪地點為 Cairns 及 Brisbane，主要研習目的為瞭解農業操作行為對海洋生態環境的影響，並瞭解澳大利亞對如此的環境衝擊有何對策與相關研究。

在澳大利亞昆士蘭州東北岸有面積 34 萬 4 千平方公里的珊瑚礁，通稱為大堡礁 (Great Barrier Reef, GBR)，這裡每年的觀光產值高達 134 億台幣 (6.4 億澳幣)，每年觀光客人數有 2 百萬人，並提供了 6 萬 4 千個工作機會，為當地非常重要的觀光資源。然而，陸地上大面積的農業耕作，如種植甘蔗、香蕉等作物，粗放的栽培管理，使得肥料在雨季期間 (每年 11 月至翌年 2 月) 大量流失，其中又以氮肥最為嚴重。過量的氮肥影響溪流、河川的水質，最終更影響了珊瑚生態。意識到農業操作可能破壞大堡礁珊瑚生態的昆士蘭州政府，開始投入大量的研究經費，希望可以在作物品質及產量不受影響的前提下，減少農民肥料施用量，並以積極的作為減少過多的氮肥進入到海洋環境當中。

本次出國主要係前往詹姆斯庫克大學的凱恩斯校區，於 Dr Paul Nelson 研究室進行研習。其合作團隊包括昆士蘭州政府農漁業部門 (Department of Agriculture and Fisheries, DAF) 的 South Johnstone、Mareeba 及 Redden Street 研究所、聯邦科學與工業研究組織 (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, CSIRO)、Jaragun 自然資源管理公司、昆士蘭大學等。分別從降低作物氮肥施用量、研究氮肥與作物病害發生相關性、推廣緩效性氮肥、監測河流氮肥含量、濕地營造、生物多樣性監測，及研發生物反應器 (bio-reactor) 等方法來降低農田排放水氮肥的含量，並瞭解氮肥對自然環境、生態環境之影響。

借鏡澳大利亞，臺灣亦面臨農業操作行為影響週邊水體水質、生態環境的課題，過去僅針對高山農業區對河川優養化的問題進行研究，少部分農田位於海洋沿岸。本場近來協助東海岸農民復耕的同時，亦須注意並及早監測農業操作行為對海洋環境可能的影響，並積極嘗試營造濕地避免過量肥料進入海洋。

此外，本行亦前往位於澳大利亞凱恩斯的一處生態有機香蕉農場 (ECOGANIC)，該農場的香蕉行銷全世界，並以 **red-tip** 作為標籤，在香蕉尖端處以特殊的蠟處理，讓消費者一目瞭然，搭配對應的文宣，使消費者瞭解購買 **red-tip** 香蕉，可以維護自然環境、增加生物多樣性等效益。該農場注重農業副產物的循環利用，並定期委請研究人員進行生物相調查，自費送土壤樣品分析土壤物理、化學及生物性，堅持用科學證據來讓消費者看到生態有機農場內與眾不同的樣貌。香蕉品質控管上，更採取最高標準，一致的大小、彎度，及沒有損傷的外皮，才能進到產銷鏈上。為減少香蕉損傷，農場在施肥、病蟲害管理上更為精準，避免過多肥料施用增加病蟲害，也強調利用棲地營造達到生物防治的效果，值得國內研究人員與農友學習。

貳、行程表

日期		行程
8月3日	星期六	桃園機場-布里斯本 (23:50~10:45)
8月4日	星期日	
		布里斯本-凱恩斯 (16:50~19:20)
8月5日	星期一	<ol style="list-style-type: none"> 1. 參訪詹姆斯庫克大學凱恩斯校區 2. 參訪凱恩斯甘蔗試驗田區-水質監測站
8月6日	星期二	<ol style="list-style-type: none"> 1. 於詹姆斯庫克大學凱恩斯校區研習 2. 參訪 Jaragun 自然資源管理研究站 3. 凱恩斯甘蔗試驗田區-生物反應器
8月7日	星期三	<ol style="list-style-type: none"> 1. 參訪生態有機香蕉農場 (ECOGANIC) 2. 參訪昆士蘭州政府農漁業部門 South Johnstone 研究所
8月8日	星期四	<ol style="list-style-type: none"> 1. 參訪昆士蘭州政府農漁業部門 Mareeba 研究所 2. 參訪 Nature's Haven 有機櫛瓜農場
8月9日	星期五	<ol style="list-style-type: none"> 1. 參訪昆士蘭州政府農漁業部門 Redden Street 研究所 2. 於詹姆斯庫克大學凱恩斯校區研習
8月10日	星期六	大堡礁海洋生態觀察
8月11日	星期日	至當地超市收集農產品、農產加工品資訊
8月12日	星期一	凱恩斯-布里斯本 (12:45~14:55)
8月13日	星期二	<ol style="list-style-type: none"> 1. 參訪聯邦科學與工業研究組織-道頓公園生態科學區 (CSIRO-Dutton Park, Ecoscience Precinct) 2. 參訪昆士蘭農業與食品創新聯盟 (QAAFI) 3. 參訪陸域生態系研究網絡 (TERN)
8月14日	星期三	參加昆士蘭州農業博覽會
8月15日	星期四	參訪昆士蘭大學加頓校區

8月16日	星期五	參訪昆士蘭大學（校本部）
8月17日	星期六	布里斯本-桃園機場 (22:50~05:45)

參、目的

臺灣耕地面積佔總土地面積的 21.85 %，四面環海且地勢陡峭，部分農田緊鄰溪流、湖泊、河川或大海，其農田逕流水、排水直接進入水體，造成水質劣化，危害水生生物棲息環境。花蓮縣豐濱鄉新社村位於台 11 線東側有將近 20 公頃的水稻田區，農田灌溉水自源頭經過一塊一塊的田區後，逕流水直接往岸邊排出，接著進入太平洋。因此本次至澳大利亞研習重點，係為瞭解農業操作對海洋環境的影響，其週邊著名的大堡礁長期受陸域農田過量的肥料影響，海洋生態岌岌可危，連帶也影響觀光產業的未來。因此，本次安排至詹姆斯庫克大學凱恩斯校區研習、參訪投入改善農業對大堡礁海洋生態的研究機構，並前往有機、生態農場參訪，瞭解肥料施用對生物多樣性之影響、澳大利亞對利用於降低逕流水中養分的植生緩衝帶之運用，以及其他地景經營的技術。

肆、研習內容

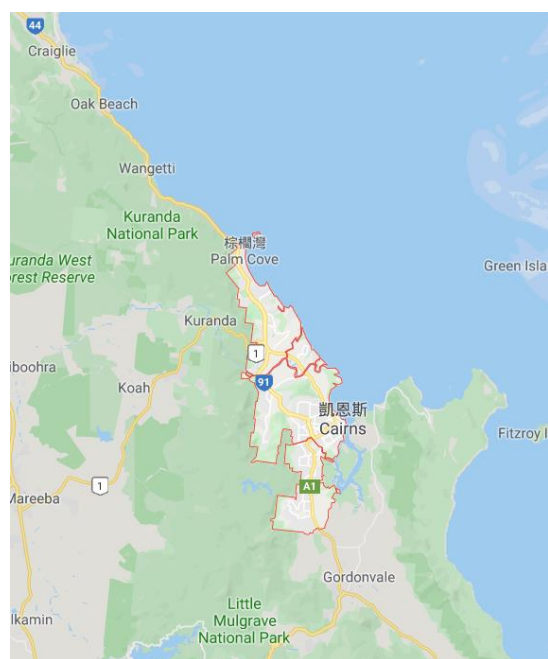
一、研習地點簡介

1. 凱恩斯 (Cairns)

凱恩斯位於澳大利亞昆士蘭州東北部，為昆士蘭州農業與觀光業重鎮，人口約 15 萬人，區域面積 254.3 平方公里。農業以栽培香蕉（年產值 465 百萬美元）、甘蔗（年產值 273 百萬美元）以及酪梨（年產值 79 百萬美元）為主，部分地區有瓜果類蔬菜、果樹零星栽培；觀光業則以知名的大堡礁、熱帶雨林公園為主。該地區每年 11 至 5 月為雨季（因地處南半球，這段期間約為夏季），6 至 10 月為旱季（冬季），但其緯度低（南緯 16.5 度），因此冬季僅夜間溫度較低。



▲凱恩斯於澳大利亞之相對位置



▲凱恩斯行政區域

2. 布里斯本 (Brisbane)

布里斯本位於澳大利亞昆士蘭州東南部，為昆士蘭州核心區域，人口約 236 萬，區域面積 15,826 平方公里，此處有許多昆士蘭州的政府機構，亦為重要經濟活動區域，及豐富的觀光資源。農業非布里斯本重要產業，但每年 8 月中旬會舉辦大型農業

嘉年華活動：「皇家昆士蘭秀」或稱「布里斯本農業博覽會」(The Royal Queensland Show)，簡稱為 EKKA。本次參訪恰逢該盛會，故也前往瞭解其活動辦理情形。



▲布里斯本於澳大利亞之相對位置



▲布里斯本農業博覽會宣傳資料

3. 詹姆士庫克大學 (James Cook University, JCU)



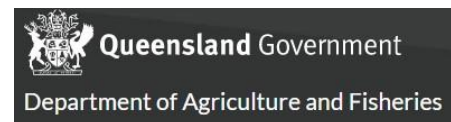
詹姆士庫克大學主校區位於昆士蘭州中部的湯斯維爾，另有分校及研習中心位於凱恩斯、布里斯本、馬偕 (Mackay)、伊薩山 (Mount Isa) 及 星期四島 (Thursday Island)，以及國外分校-新加坡分校，其研究重點為海洋科學、生物多樣性、熱帶生態與環境、全球暖化、觀光旅遊、熱帶醫學及公共衛生保健等，該校目標在於解決全球熱帶地區面臨的重大挑戰，例如登革熱、珊瑚礁生態等。本次筆者一行係前往凱恩斯分校，係為瞭解該校所進行有關農業操作對大堡礁海洋生態之研究，於土壤專家 Dr Paul Nelson 研究室研習，並由 Dr Paul Nelson 引薦合作夥伴，介紹其合作研究成果與試驗場域。

4. 聯邦科學與工業研究組織 (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, CSIRO)



聯邦科學與工業研究組織為澳大利亞國家科學研究單位，於全澳大利亞各處計有 59 個研究站（或是研究中心），及將近 5,000 名研究人員。其研究領域含括動植物、氣候、乾旱韌性、環境、農業與糧食生產、未來科學平台、健康、原住民聚落、資訊科技等，致力於改善澳大利亞的經濟、環境及社會。本次參訪重點為瞭解其如何以國家層級的科學研究，避免鄰近珊瑚生態（特別是大堡礁）受到環境的衝擊。

5. 昆士蘭州政府農漁業部門 (Department of Agriculture and Fisheries, Queensland Government, DAF)



昆士蘭州政府農漁業部門類似於國內農、漁、林業試驗研究單位、動植物防疫檢疫，研究內容及服務範圍包括農業、漁業、林業及維護昆士蘭州的生物安全。除利用科學研究提升上述產業生產性及可盈利性，更重視可持續性及資源分配。全昆士蘭州有 23 個研究所，研究重心及負責範圍略有不同，舉例來說，農業部分研究包括，動物、植物、乾旱與災害回復（環境韌性）、農業政策、永續農業、農業研究發展與推廣等。本次於凱恩斯造訪 South Johnstone、Mareeba 及 Redden Street 研究所。

6. 昆士蘭大學 (The University of Queensland, UQ)



昆士蘭大學主校區 (St Lucia Campus) 位於昆士蘭州布里斯本，另有加頓分校 (Gatton)、赫特森分校(Herston)，皆位於主校區不遠處。其學系範圍廣闊，包括：(1) 商學、經濟學及法學院；(2) 工程學、建築學及資訊科技學院；(3) 健康科學及行為科學學院；(4) 醫學及生物醫學學院；(5) 文學院；(6) 自然科學院。農業相關學系為「農業與食品科學學系」(School of Agriculture and Food Sciences)，隸屬於自然科學學院之內。

7. 昆士蘭農業與食品創新聯盟
(Queensland Alliance for



THE UNIVERSITY
OF QUEENSLAND
AUSTRALIA



Agriculture and Food Innovation, QAAFI)

昆士蘭農業與食品創新聯盟為昆士蘭大學內的研究機構（研究所），受昆士蘭州政府及工業界的經費支持，其宗旨在利用科學研究提升熱帶及亞熱帶農產品、食品的競爭力與可持續性，包括農藝作物、園藝作物、營養及食品科學等，提升農業與食品的經濟、環境及社會影響力。該研究所內有超過 400 位研究人員，每年經費高達 4 千 5 百萬美元，與全球超過 30 個國家有合作關係。

8. 陸域生態系研究網絡 (Terrestrial Ecosystem Research
Network, TERN)



陸域生態系研究網絡為澳大利亞的土地生態系統觀測中心，為由澳大利亞聯邦政府 NCRIS 所資助成立的研究單位。該單位觀察、測量並記錄陸地上數百個觀測站的關鍵參數隨時間的變化情形，並且收集各地的測量資料，轉化為可共享的資料庫，透過分析資料庫，瞭解澳大利亞生態系的變化，以有效保護、管理澳大利亞的環境。

9. 生態有機香蕉園 (ECOGANIC)



PACIFIC COAST ECO BANANAS

重視生態的有機香蕉園，結合生態 (Ecological) 及有機 (Organic)，創立了 ECOGANIC 品牌。農場主 Frank 認為有機栽培（不使用化學肥料及化學農藥）還不足以表達對地球的照顧，更重要的是生物多樣性的維護，生態系統的完整性。凡是由該香蕉園出品的香蕉，會使用紅色的蠟在香蕉的尖端標示，消費者即可透過購買支持友善生態環境的香蕉。

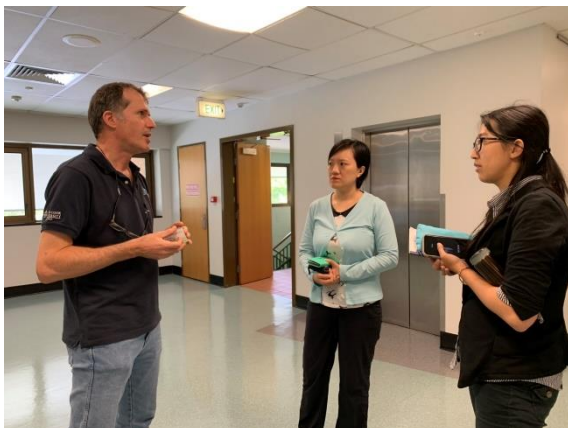
二、研習內容

本次研習分為兩個部分，第一週前往詹姆斯庫克大學凱恩斯校區研習，第二週以布里斯本週邊科研單位為主。在詹姆斯庫克大學凱恩斯校區 Dr Paul Nelson 研究室研習期間，除了瞭解其研究內容外，他亦引薦多位專家學者，介紹合作計畫內容。在布里斯本研習期間，由 Dr Beryl Morris 介紹多位農業、土壤肥料、食品加工的專家學者，介紹研究成果，並討論未來合作可行性。以下依序介紹研習內容：

1. 詹姆斯庫克大學凱恩斯校區

(1) Dr Zeo Wang

為來自臺灣、剛到該校一個月的助理教授，辦公室位於 Dr Paul Nelson 隔壁，研究主題為自然資源管理。過去（還有現在）在雲南普洱的咖啡產區作研究，目前因為咖啡價格暴跌，農民將改種玉米、蔬菜或水果等其他作物。她調查發現，農民的栽培管理跟消息來源是綁在一起的，例如肥料商釋出消息：玉米價格好，農民就會一窩蜂種植玉米，並且搭配使用廠商的肥料，而價格仍決定於收購的廠商，因此農民獲利有限，受到廠商控制。當地種植咖啡的原由係因雀巢公司想到雲南設廠，但中國政府規定雀巢必須使用一定比例的當地產物，因此雀巢公司開始輔導農民種植咖啡，實際上使用比例仍不高。



▲Dr Paul Nelson 引薦筆者一行認識同為臺灣人的 Dr Zeo Wang



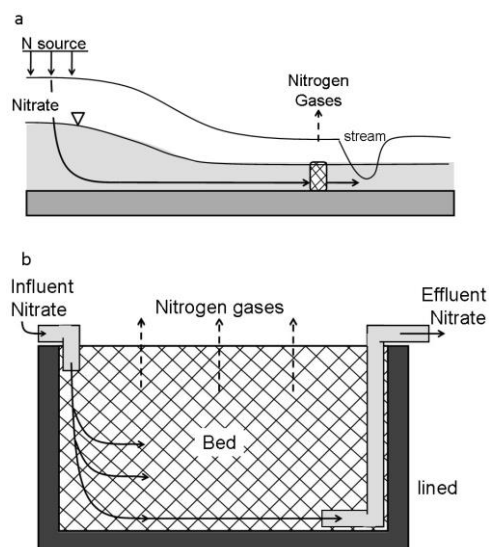
▲Dr Zeo Wang 介紹其自然資源管理及人文科學的研究內容

在國內產銷訊息相對流通，但仍時有一窩蜂種植價格高的特定作物的情形，例如紅龍果、花生（幾年前發生在花蓮縣新城鄉），在預測產量與價格的相互關係上，政府可扮演重要角色發展預測模式或提供建議，除土壤、氣候、環境因素之外，協助農民依據長期產銷預測結果選擇合適栽培的作物。

(2) Dr Paul Nelson

為農業環境、土壤科學家，研究土壤及環境相關議題。主要研究自然過程和管理如何影響農業系統的可持續性，包括生產力，土壤狀況，水質，養分循環和溫室氣體排放，特別是在熱帶作物系統中。

目前執行與本場類似的研究有，利用生物反應器 (bioreactor) 處理甘蔗田、魚塢的逕流水（放流水）中的氮，生物反應器是在田區末端埋設木片 (wood chips)，讓逕流水流經生物反應器，然後會有脫氮作用 (denitrification) 的產生，將氮以氮氣的形式排到大氣當中（如右圖）。生物反應器的設置分為三種：Wall、



in-line、off-line，最常使用的是 in-line bioreactor。在進行試驗的時候，會把生物反應器利用帆布包起來（但實際上在運用的時候沒有包帆布），並監測入水口與出水口的硝酸鹽含量，通常要低於 6 mg/L 才是可以接受排放到溪流中。生物反應器的試驗中，是在不同時間點採樣、分析，並沒有架設監測的儀器。

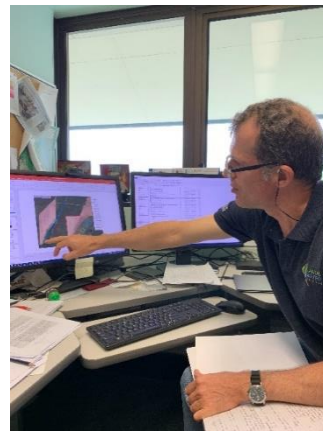
甘蔗種植面積非常大，少有有機栽培，因為沒有辦法用更好的價格賣出，這些甘蔗通常是用來製糖的，也有少部分會被用來製造酒精。少用農藥，且農藥對環境影響不大（可能係因為降解後對環境無害），主要問題來自肥料。甘蔗栽培期間為一年，僅施用一次肥料，大概 130 至 290 kg-N/ha，從 6 至 11 月是旱季且為採收期，12 至翌年 5 月是雨季，雨量非常驚人。甘蔗通常種植 12 個月，然後耗費大約 6 個月採收，目前因為水流量大，所以尚未發現優養化的問題。在大堡礁也有

珊瑚白化的問題，但是人們多認為是農藥所造成的，實際上氣候暖化也是一個主要的原因。

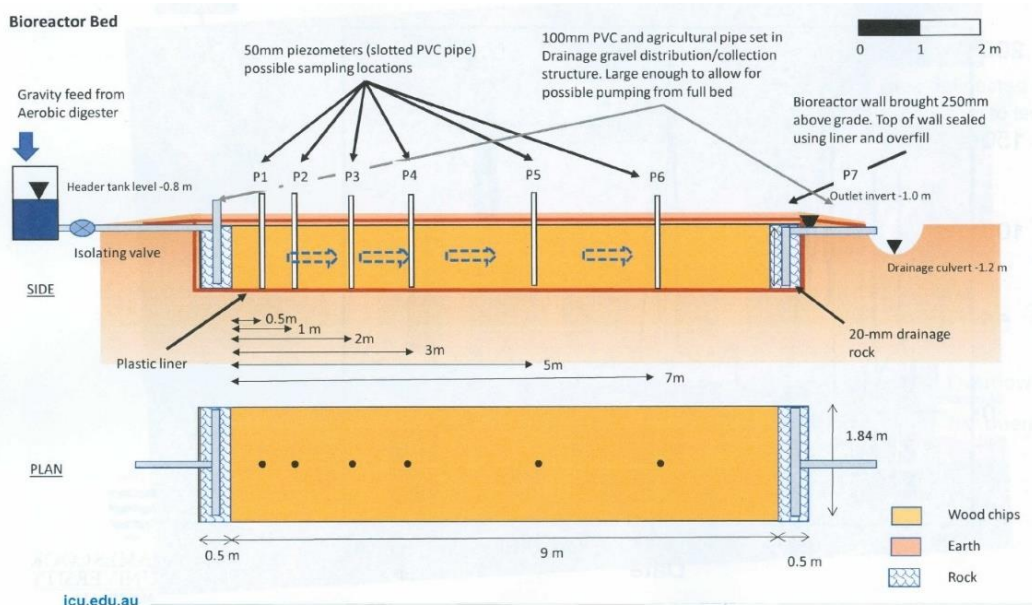
生物反應器也應用於魚塢 (fish farm)，且效果非常顯著，原因在於政府要求漁民如果要拓展魚塢的面積，必須要先證明這些魚塢的水對環境是無害的，因此漁民對於利用生物反應器是比較有興趣的。此外，海水亦會灌入魚塢，如果有生物反應器，也或許可以處理海水的鹽度，降低海水對魚塢的影響（將來會去試驗，但目前沒有明確的答案）。在魚塢旁亦有濕地，但或許是因為面積不夠大，所以對於處理魚塢排放水是沒有太大作用的。



▲邱淑媛課長介紹本場農業環境研究



▲Dr Paul Nelson 介紹生物反應器研究



▲生物反應器示意圖

(3) Dr HanShe Lim (林涵煦教授，新加坡人)

水文學專家，協助 Dr Paul Nelson 執行熱帶雨林週邊溪流水中氮含量的相關研究，主要是利用降雨量乘上氮含量來計算出氮承載量 (N load)。在詹姆斯庫克大學凱恩斯校區的校園內有一個類似於現地的監測站，作為未經過甘蔗田區的對照組 (baseline)，測定逕流量、濁度、溫度、酸鹼度、電導度等參數，另外也利用都卜勒效應來測定流速和水深，藉以算出逕流量。這些來自甘蔗田區的問題包括沉積物 (sediment)、可溶性無機態氮 (dissolved inorganic N, DIN)，包括銨離子 (ammonia)、硝酸鹽 (nitrate)、亞硝酸鹽 (nitrite)，以及農藥。



▲Dr Lim (左二) 與筆者一行合影



▲Dr Lim 介紹設置於校內的監測裝置

(4) Dr Ryan Orr

為化學及土壤學家，主要係研究以管理土壤非生物性質減少香蕉巴拿馬病 (即香蕉黃葉病, Panama disease) 的影響，目前在做香蕉氮肥施用與巴拿馬病的關聯性試驗，將氮肥分為 5 個不同等級的施用量，接著採取土壤樣品，分析硝酸鹽、銨態氮、酸鹼度、酵素等含量，並委託其他單位分析巴拿馬病的發生。目前可瞭解氮素太多會使葉片軟化，但何者是因何者是果，尚未得知，其徵狀與其他問題有些類似，難以區分。試驗溫室內有監測光照、空氣溫度、空氣濕度、土壤溫度、土壤濕度等參數的監測。



▲Dr Ryan Orr 說明氮肥與香蕉巴拿馬病試驗



▲在不同施肥量下葉色呈現顯著差異

(5) Dr Eric Wang

主要專長為物聯網 (Internet of Things, IoT)，大學主修機械、碩士班主修電子、博士班主修信息，開始工作後就將這些專長串接起來。目前無論是哪個行業、產業，都有很多個別發展的系統，物聯網的概念就是把這些系統串接在一起。舉例來說有「自動灌溉系統」(WISA)、也有「計算灌溉需水量的系統」(IRRIGWEB)，物聯網就是將兩個系統串接在一起，互相提升系統的效益。WISA 可利用一些感測器來測量作物生長、土壤、氣候等參數及數據，收集數據之後上傳到 IRRIGWEB，再算出需要灌多少水，再根據現況做最佳化，可能是與灌水的時段有關（與水費高低有關），或是距離灌溉水源的遠近，也或許是區域降雨量的不同、作物生長期不同，也嘗試利用深度學習 (deep learning)、大數據 (big data) 來增加 IRRIGWEB 的準確度。目前 IRRIGWEB 系統已經有幾乎所有種類甘蔗的需水量 (CANEGROW)，其他作物也有些數據。有一個叫做 APSIN 的模擬器，裡面有很多長久以來累積的數據和作物生長資料。

Dr Paul Nelson 補充，APSIN 是一個發展多時的模擬器，也可以用來模擬溫室氣體的排放，有應用在油棕、芒果、甘蔗等作物，在他們的試驗中，即使是淹水的時候也不太容易測到甲烷。

目前實際使用的瓶頸在於，給水時無法給的平均，近的灌溉點給水較多，遠

的灌溉點給水較少，因此灌溉需水量出來之後還需要調校。另外，目前降雨的資訊無法即時反饋，因此需要再增加降雨預測的準確度，利用大數據來計算出降雨的可能性。這套系統大約耗費 5 萬澳幣，但一般農民不太願意接受，認為這需要花費很長的時間才能回收，有採用的大多是青年農民，他們認為省去了巡田的時間，就可以有更多時間來做其他的事情。目前整個澳大利亞約有 800 至 900 個甘蔗農戶，只有約 10 個接受這套系統。這套系統製作的主要目的是為了透過農田精準管理來保育大堡礁 (Great Barrier Reef, GBR)，減少農業操作對環境的污染。

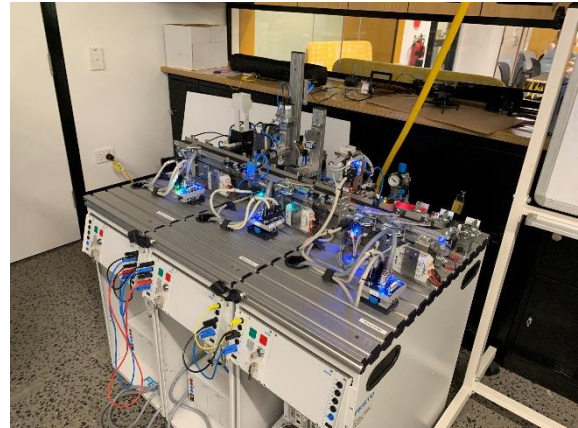
物聯網可運用於各種地方，大數據、數據處理等。發展這些系統所需要的感測器要非常便宜、準確而且節電，或是利用太陽能板來供電。在澳大利亞，他們會建議政府給予補助 50%，從鼓勵農民節水、節電、節省油料等角度予以補助。如此節水之後不容易評估產量的變化，還是只能從節省多少水量來觀察這套系統的效益。物聯網在農業上也有用於識別雜草，並進行個別的處理，或是運用在產銷履歷，提供給高端消費群作物生長的所有細節（在 Dr Wei Xiang 的部分中有更詳盡的說明）。

物聯網所使用的晶片，必須要低耗電，不必耗費太多時間去更換電池，至少可以撐五年，讀取、傳輸數據其實是非常不耗電的，因此尚不需要使用到 5G 的技術。5G 是在於更快速的傳輸，減少延遲，例如運用於車子、手術的即時反應，但是缺點是需要很多的站來傳輸，可傳輸的距離相當有限，另外亦有學者認為這會影響天氣預報（使用了相同的頻率）。

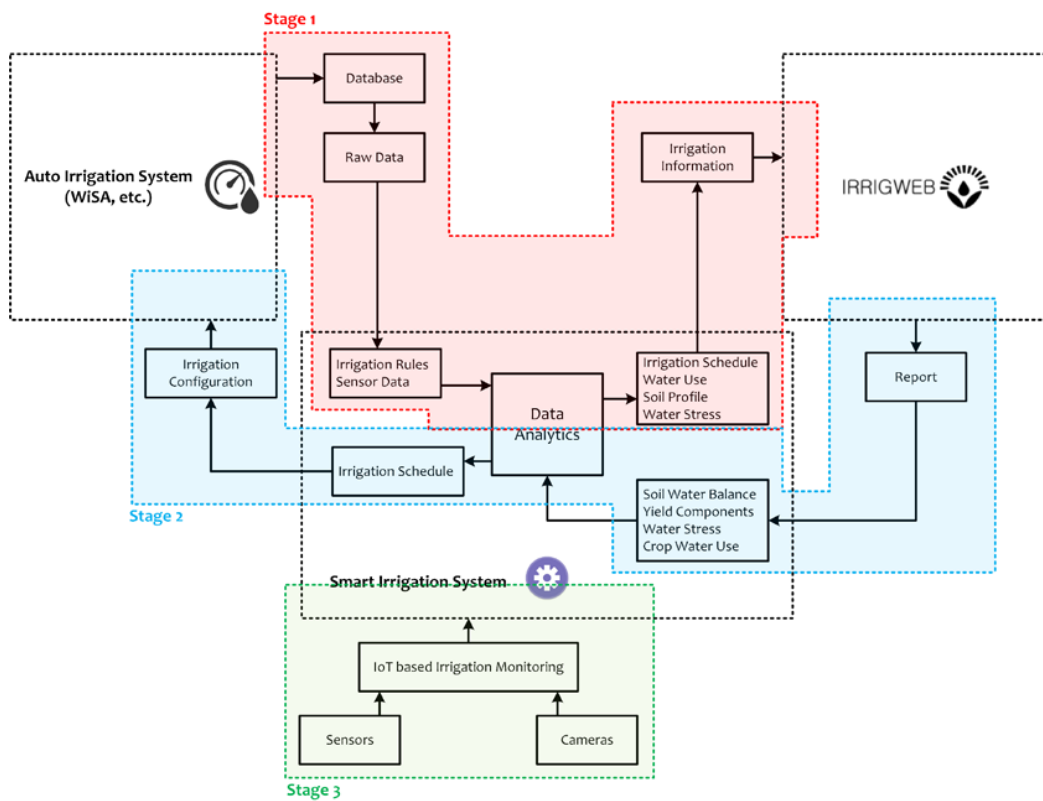
WISA 在農業的運用上，目前雖然已經有自動給肥的系統，但是仍缺少專家系統，無法給出有效的判斷及數據，對甘蔗來說，一年只需要給 2-3 次肥料（甚至可能只有一次施肥），並不需要這麼即時的資料。



▲ Dr Eric Wang 介紹物聯網概念



▲ 產品供應鏈上也可使用物聯網的概念串接不同系統，提升作業效率



▲ 物聯網於農業的應用

(6) Dr Wei Xiang

研究領域包括物聯網、物聯網的機器學習、計算機視覺的機器學習，以及大物聯網數據分析。物聯網的應用，是在於人為的判斷容易出錯，因此需要多項系統來盡可能減少人為的干擾。

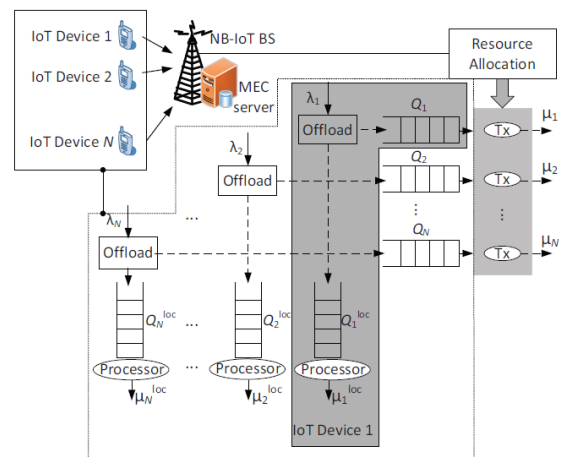
目前所研究區塊鏈 (Block Chain) 的應用在於建立產品的履歷，在產品生產過

程中監測所有相關數據，且信息是不可竄改的（或是難以假造的），讓竄改數據或假造數據的成本（麻煩程度）非常高，例如鑽石或是稀土元素。這些數據及信息必須要是自動記錄，且可以隨時上傳，這種技術多應用於高端農產品及工業上。

國內農業已建構完善農產品生產履歷制度，但因產業規模較小，目前仍仰賴人工逐筆輸入資料，而多數農民不擅於使用電腦或網路登載農業操作紀錄，倘若合乎成本，可引入感測及記錄器，幫助農民建立完整生產資訊，並為消費者的食品安全把關。



▲Dr Wei Xiang 說明區塊鏈應用



▲物聯網運用模型

(7) Dr Alexander Cheesman

為植物生理學及土壤科學專家，對於氣候變遷引起的植物生理、營養管理有深入研究，嘗試了解在面臨生物（病蟲草害）及非生物（環境）的威脅下，應如何提高作物產生力及耐受力。其試驗比較臭氧對作物產量的影響，及提出應如何減輕臭氧對作物的負面影響。結果顯示，對臭氧的敏感程度為依序為大豆 > 小麥 > 玉米 > 水稻（即水稻對臭氧最不敏感），根據氣孔吸收量，臭氧使上述作物的全球產量分別減少了 12.4 %、7.1 %、4.4 % 及 6.1 %。除了臭氧造成的減產之外，嚴重減損的地區通常也遭受病蟲害、高溫、乾旱及營養不良等問題。要減少臭氧污染問題，需長期減少溫室氣體排放，短期則可朝向測試當前不同作物品種對臭氧

的敏感性並選擇耐受性較高的品種、選育具有多重耐性（高溫、乾旱、臭氧）、實施保護性澆水制度（例如節水灌溉），及發展防止臭氧破壞的化學保護措施。

國內目前已展開相關試驗及技術開發，但氣候變遷相關研究是相對費時且需投入經費監測及記錄環境參數的變化，建議未來可強化並整體規劃因應氣候變遷之各項研究。



▲Dr Alexander Cheesman 說明臭氧試驗



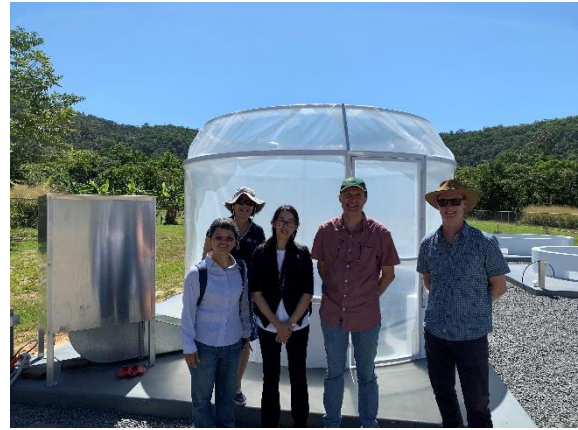
▲試驗用植株盆栽埋設土壤性質感測器

(8) Dr Lucas Cernusak

與 Dr Alexander Cheesman 合作研究植物與大氣之間二氧化碳和水蒸氣交換的環境和生物控制，利用各項測量技術，包括測量光合作用和蒸騰過程中二氧化碳和水蒸氣的穩定同位素組成變化，以了解葉片氣體交換如何通過時空因應全球氣候變化。其試驗顯示，植株的生質量受二氧化碳的上升的影響，會受到養分的限制，這使研究人員在預測植物對二氧化碳吸收的多寡變得更為複雜，比較全球試驗結果（且大多受到氮、磷影響），預計在 2100 年全球二氧化碳含量會使植物生質量比現今提高 9 至 15 %。



▲Dr Lucas Cernusak 說明二氧化碳試驗



▲筆者一行與研究人員合影



▲Dr Lim 說明小型氣象站使用



▲監測及控制溫室內部環境條件

詹姆斯庫克大學凱恩斯校區進行多項與農業環境相關試驗，並結合其他學術研究單位，嘗試解決氣候變遷、全球暖化造成的農業環境問題，以及集約式耕作造成的海洋環境生態影響。Dr Paul Nelson 與昆士蘭州政府農漁業部門 (Department of Agriculture and Fisheries, DAF) 的 South Johnstone、Mareeba 及 Redden Street 研究設施、聯邦科學與工業研究組織 (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, CSIRO) 的凱恩斯研究所、Jaragun 自然資源管理公司等單位合作，並帶領筆者一行前往上述單位了解其試驗內容。

2. 甘蔗試驗田區-水質監測站

Dr Paul Nelson 與聯邦科學與工業研究組織凱恩斯研究所 Dr Tony Webster 合作進行甘蔗肥培管理對水體環境影響之試驗，利用不同種類的肥料改善目前農民慣行的甘蔗施肥方式。聯邦科學與工業研究組織凱恩斯研究所有 10 位研究人員，僅 Dr Tony Webster 進行與農業環境影響相關的研究，主要是在證實甘蔗田的氮肥真的會流失，並鼓勵農民使用緩效性的肥料。

甘蔗種植、採收後，會讓甘蔗重複長 3 至 4 次，大約需要耗費 4 至 5 年，然後再整個打掉重新種植。採收後四週會施用肥料（只有一次、基肥，主要都是氮素），可以分次施用但是農民通常不會這麼做。通常只有施用氮肥，因為農民還是認為氮肥多產量就會高，也會施用鉀肥（100 tonnes/yr，大概 60 kg-K/ha）、硫肥，極少施用磷肥（10-20 tonnes/yr），因為磷肥移動性很差，所以施用一次就可以撐很久，過了三五年都還可以測到過量的磷肥，幾年前政府有補助施用磷肥，至今仍可分析到磷肥。農民會採取土壤樣品到付費的單位去分析，然後來決定該怎麼施肥。

其試驗比較了尿素 (urea) 及緩釋型尿素 (slow-released urea)，植株在施肥的時候是在株間挖 15 公分深的洞，另外也會把收割後的枝條打碎放在土表作為覆蓋，可以很明顯看到有碎植株覆蓋的土壤可以保持較高的濕度。接著定期採樣，分析水中的氮含量。在實驗室內是用相機傳輸甘蔗生長的情形，在甘蔗旁邊放一根竿子，比對之後可得知甘蔗的高度，這個資料是即時的 (real-time)，利用 wifi 傳輸資料回研究室。此外，亦會利用衛星來測量甘蔗的產量。



▲Dr Tony Webster 說明甘蔗試驗田內取樣儀器裝設情形



▲取樣後會將樣品保存在一個廂型拖車之內 (trialer)



▲可即時觀看甘蔗生長情形的相機



這裡的農民最小種植面積有 60 公頃，大的可以到上千公頃。這些農田大多是農民私有的，或是農民跟沒有種植意願的農民承租。因此肥培管理若有稍稍的改變，必能產非常大的影響，農民大多仍相信氮肥的施用量是與產量互相連結的，而氮最大的問題就在於會引起溫室效應，在當地則是會影響大堡礁的珊瑚生態。

在其他甘蔗試驗田區，也有即時硝酸鹽感測器 (real-time nitrate sensor)，可以測量進到水中的硝酸鹽，但是這個儀器一台要花費 11,000 澳幣（約新台幣 23 萬元），因此沒有辦法設置太多。不過，數據會上傳到一個叫做「1622」的應用程式，所以所有有

使用「1622」的研究單位皆可查詢到這些數據，一起分享。這個感測器可以測量溪流高度 (stream level, m)、硝酸鹽濃度 (nitrate concentration, mg/L)，以及雨量 (rainfall, mm)，再使用這些資訊計算出氮承載量 (N load, tonnes/day)。因為降雨量不同會影響水中硝酸鹽的濃度，因此必須要測量水的體積，例如水量、雨量，才能換算為氮承載量。

當初會開始監測是因為農民不相信自己的氮肥會流失，並且會在 9 至 12 月之間施肥，接著是雨季，氮肥會大量流失，這些氮肥不是從雨林就是從甘蔗田來的，因此研究人員比對上下游溪流中監測數據之後，可明顯發現硝酸鹽是來自甘蔗田區。

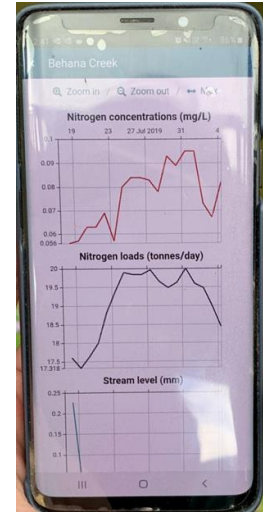
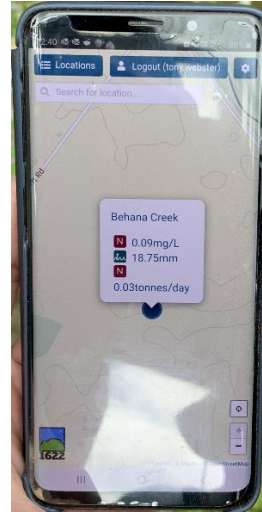
在澳大利亞，有其他學者指出，水中氮含量高會產生較多的浮游生物，也會使海星幼蟲變多，海星會吃掉珊瑚，所以這樣是不利於珊瑚的生長的。不過，珊瑚最大的問題還是在於全球暖化，另外也有研究指出，珊瑚在白化之後，其實是有機會恢復的，氮少的狀況下，容易恢復，而氮多的時候，不容易恢復，近幾年因為暖化的緣故，白化的珊瑚難以恢復，已經大概有 5 年的時間了。

採收機械方面，一天約可採收 600 至 800 噸，就像水稻採收一樣，採收機採收時會有籠車在旁邊，接著會倒入運輸火車的籠子當中，甘蔗運輸有專用的鐵路，便可直接運到工廠去。

這裡的甘蔗田鄰近 Mulgrave river，另外一側有 Russell river，兩條河流都流經大面積的甘蔗田旁，所累積的硝酸鹽含量非常可觀，在 Dr Tony Webster 的試驗中，因為尺度如果過大，很多參數難以評估，因此他執行田間尺度 (field scale)，亦其他研究單位有執行農場尺度 (farm scale) 或海洋尺度 (marine scale) 的研究。



▲Dr Tony Webster 介紹監測系統



▲應用程式「1622」畫面



▲甘蔗採收機械相當巨大



▲採收後籠車以專用鐵路載至糖廠



▲採收機械日處理量高達 600 至 800 噸

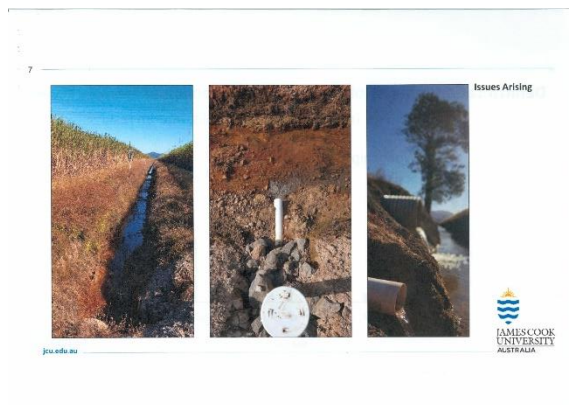


▲Mulgrave river 及 Russell river 匯流後流入海洋，Dr Tony Webster 於此處亦有監測溪流水中氮含量的變化

3. 甘蔗試驗田區-生物反應器

生物反應器於田間實際埋設需耗費相當大的工程，為確保試驗的可信度，生物反應器設置於水流經處時，會於底部以帆布包裹木片，木片於水中分解時會消耗氧氣，厭氧環境會使硝酸鹽及亞硝酸鹽還原產生氮氣。試驗於生物反應器前後端、溪流中皆設有感測器，以監測水中氮含量的變化。

這項試驗係與農民合作進行，農民對於溪流中氮含量是否受到作物肥培管理不當影響有高度興趣，並願意提供部分田區裝設生物反應器，以截流水中過高的氮肥，避免氮肥影響溪流中水生生物、海洋生態環境。



▲生物反應器埋設情形



▲試驗田區及生物反應器設置規劃



▲利用壘瀑使泥沙淤積於特定位置，避免進入海洋



▲筆者一行與試驗合作農民合影

4. Jaragun 自然資源管理研究站

Jaragun 自然資源管理研究站主要工作目標在於減少氮對大堡礁的危害，例如地景

回復、恢復植被、建構濕地，或是在水資源管理上如何有最有效的策略管理，利用多樣化的方法來達到阻止氮肥進入大堡礁的目的，與 Dr Paul Nelson 合作生物反應器也是其中一項管理方法。多樣化的方法需要結合社區的力量，如此一來會牽涉很多權益關係人，所以必須關心山（為了維護雨林）和海岸（為了維護大堡礁）之間的互動，他們大多關心氣候變遷的問題。除了氮肥的問題之外，這些溪流中的水還有沉積物 (sediment) 的問題，也可以用過濾的，但是會消化不及。之所以要這麼做，除了大堡礁之外，還為了保育其他依靠水域生活的生物，保護水質不受污染，就能確保這些生物有合適的居住環境。

雖然沒有特別監測生物是否有受到保育，但是植株作為食物，自然就可以吸引這些生物，而在下游地帶發現一些植物的存在，就可以了解到雨林裡面的植物也還活著（種子隨著水來到下游）。這些試驗同時也是為了向政府證明問題，並且請求協助（經費支援及提高重視）。另外也透過這些水質的監測，告訴居民這裡的生活環境有確實被保護，據此可以向居民收費。



▲研究人員介紹各項自然資源管理策略



▲研究站後留有從溪流週邊收集的植株

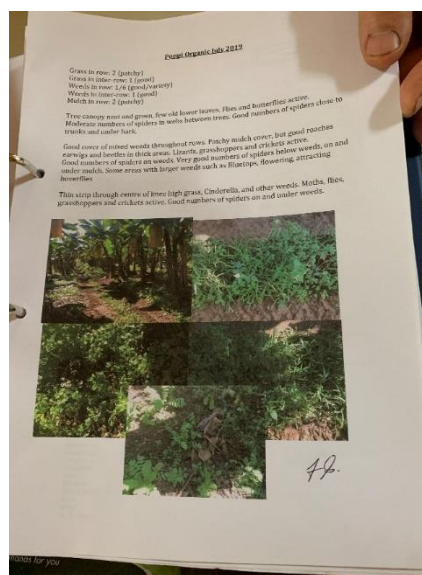
5. 生態有機香蕉農場 (ECOGANIC)

Mr Frank Sciacca 是 ECOGANIC 的創辦人，他認為有機栽培是不夠的，更重要的是在生產時也增進、發展農場的生態。有機產品的價值在於對生態有益，而不僅只是少用化肥、農藥，有機農業也有可能對環境造成污染。一般人會覺得有機農產品對消

費者比較健康，但這是一種「自我」的想法，ECOGANIC 是希望其他生物也健康。生態系統中每一個環節都是非常重要的，這是為了下一個世代，甚至下下一個世代著想，對農場而言，這樣的經營方法才能永續。每個農場都應該設定長遠的目標，監測土壤健康（線蟲多樣性）、昆蟲多樣性，生物數目 (abundance) 不是越多越好，而是物種數豐富 (richness) 才能對環境比較有益，這些資料一定要有監測才知道，ECOGANIC 香蕉園已經監測生物相 15 年，且會製作成標本來記錄，也會用照片記錄，雜草相也有鑑定。



▲Frank 介紹香蕉農場經營理念



▲香蕉園的雜草相亦有調查資料



▲將香蕉園內出現的昆蟲製作為標本

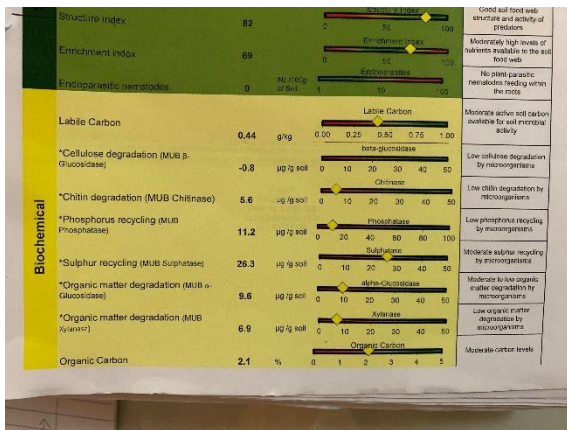


▲利用照片紀錄香蕉園內的生態

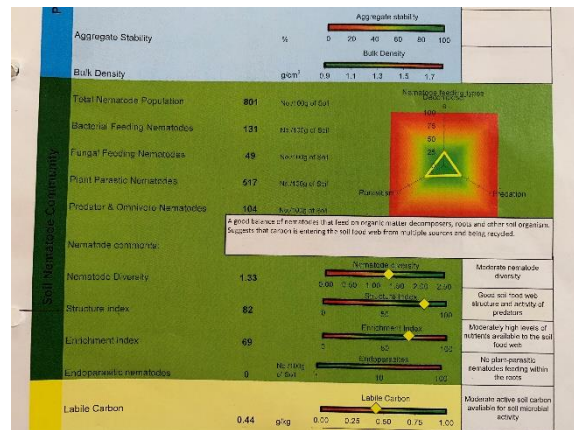
15 年來發現到，養分越多，生物個體數越多，但是物種數較少。在這些生物之間

必須要找到平衡，不能讓某種蟲相大發生，不然會要用農藥來處理。這些是為了讓消費者清楚，支持 ECOGANIC 產品的同時，也在保護著生態環境，為了讓消費者一眼就能識別，每一根香蕉上會有 red-tip，希望將這些理念傳達給消費者，因為其實消費者也是擔心全球暖化、氣候變遷的問題。

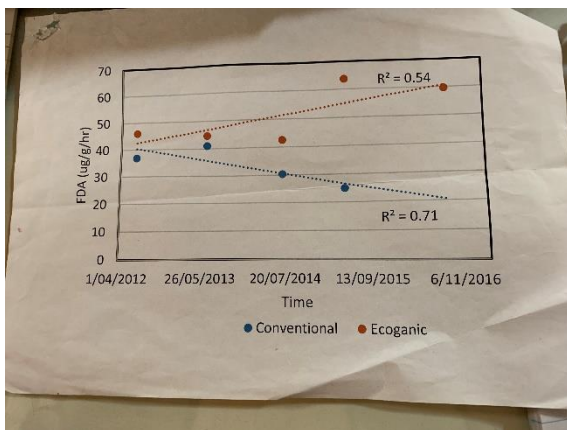
ECOGANIC 會定期將土壤送到付費的單位檢驗，來了解土壤發生了什麼變化，分析項目包括土壤質地、土壤化學性、線蟲族群、生化反應（酵素）等等，例如分析 FDA（Fluorescein Diacetate Hydrolysis，為一種水解酶），是把酵素放到土壤當中，看酵素在土壤中分解的速率，有機土壤逐漸增加、慣行土壤逐漸減少；或是分析不穩定態碳 (labile C)，瞭解可利用的碳的多寡，分析有機質並無法代表什麼資訊。當生物多樣性增加了，土壤的化學性也會增加。在這裡不鼓勵用農業機械，因為會壓實土壤，影響生物的生存。



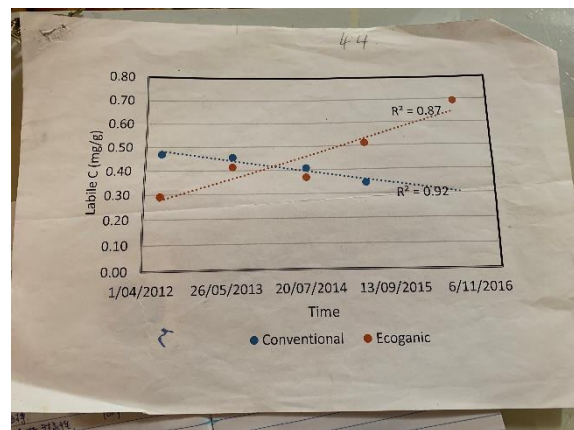
▲分析各項生化反應參數



▲分析線蟲族群變化



▲FDA 隨時間的變化情形



▲不穩定態碳隨時間的變化情形

關於廢棄的香蕉（格外品），一般農場會切成段之後丟棄，在這裡觀察到這些香蕉片段會逐漸萎縮，接著碳消失，對於土壤並沒有任何幫助，ECOGANIC 會將香蕉整根直接放在田間，綠香蕉會由綠轉黃，再由黃轉褐，會轉化為醣類，回到土壤當中（學理是否如此尚需確認）。

對農場而言，鉀肥不是問題，氮肥才是，磷肥則相對還好，但也應該要注意，因為會造成環境的污染（其土壤分析報告顯示土壤磷含量過高）。堆肥品質會是很大的疑慮，如果品質不好，施用後會對土壤產生極大的破壞，需要非常謹慎。糖蜜是一個氮肥的來源，但是如果施用太多會造成植株的死亡，一開始會讓植株生長佳，但是後來會全部死光，需要花很長的時間來恢復。ECOGANIC 或是生態系的經營，需要長時間，並且有耐心，不可能太快就完成或是達到目標。

在這裡，巴拿馬病是一個不容易處理的問題，但最有效的方法是建構一個健康的生態系（謹慎的香蕉園都會讓參訪者進入前消毒或是更換乾淨的鞋子），政府單位、學術機構皆針對巴拿馬病投入相當多研究。



▲不符合規格的香蕉會回到田間



▲Frank 認為這對土壤生物相也相當有益



▲利用特殊的蠟裹在香蕉前端作為標示



▲品質嚴格管控的香蕉銷往全球



▲筆者一行與 Frank 合影



▲進出園區前後都必須進行消毒

陪同筆者一行前往 ECOGANIC 生態有機香蕉農場的 Dr Ryan Orr 補充，農業的逕流水還是對環境最大的問題，尤其是氮肥、鉀肥，其他還有鈣、鎂、硼之類的肥料，土壤當中磷肥很充足，所以不會是農民所擔心的。施肥可能是施在表面，或是溶解在水裡面之後灌到土壤裡。

巴拿馬病有可能是背包客、農業機械帶來，或是由北澳傳過來的。在凱恩斯農業想要拓展，農業總產值大約 20 億，但是漁業因為大堡礁保育所以不能拓展，大堡礁每年的觀光產值大約 50 億。

ECOGANIC 重視減少用肥，增加生物多樣性（或許可以用一些農藥），可以賣出更好的價格，一般香蕉可能賣 3 AU/kg，ECOGANIC 可以賣到 5 AU/kg。過去 Dr Ryan Orr 曾拜訪了 20 多個有機或是非有機的香蕉農場，大概可以知道 ECOGANIC 的產量大約比慣行的低 30%，但也因為節省了肥料、農藥、人力等，可以節省生產成本。政

府沒有特別鼓勵有機生產，但是有規定香蕉氮肥施用要低於 350 kg-N/ha/yr，如果超過就會被罰款。

香蕉會在還是綠色的時候就採收，方便運輸到其他地方（其他城市或是出口），但是澳洲人對於香蕉的外觀非常挑惕，不能太彎、太長、太大、太小、太直，所以大概有 20 %還沒有離開農場就被丟棄。以前會有良心商店販賣這些 NG 商品，但現在因為巴拿馬病就沒有了。這些農業廢棄物多被作為堆肥，也有一個單位會收集這些 NG 品，10 AU/10 kg，就會直接寄到家中。

香蕉除了鮮食之外，通常可能用在料理，較少製作成果乾。芒果則會做成果乾、果汁，農民通常不會整枝修剪，放棄長的比較高的果實，讓他們自然掉落。

6. Nature's Haven 有機櫛瓜農場

農場主為 Mr Don Murray，為澳大利亞數一數二大的有機蔬菜農場，農場總面積約為 1,073 公頃，橫跨兩種氣候區，主要生產品項為櫛瓜，另外還有三個品種的南瓜、洋蔥、甜玉米、地瓜等。成立自今以 17 年，建立非常完整的通路與銷售管道。其栽培、病蟲害管理技術與臺灣並無太大差異，但因澳大利亞有明顯旱季及雨季，因此在這裡首重完善的灌溉設備，並且有各項農機設備進行田間作業，作物採收後會在冷藏設施內進行處理，然後包裝，最後載至通路販售。

Mr Don Murray 亦坦白說明，因為氣候變遷、市場需求等種種原因，農場的經營越來越困難，雖然農場面積非常大，但衡量產銷問題，使得每年耕作面積越來越小，由於政府並未提出特殊政策鼓勵有機栽培，也讓 Mr Don Murray 數度考慮放棄農場的經營。

在國內，有各項政策鼓勵有機栽培，除此之外亦有生態系統服務給付（林務局），相較之下國內對農業、農民的照顧係非常完善的。



▲作業人員擦拭剛採收的櫛瓜，並以人工判別進行分級



▲完成包裝的櫛瓜即將前往通路販售



▲旱季期間必須仰賴灌溉設備提供水分



▲田間有 10 多位人員同時進行播種



▲Mr Don Murray 說明各項農機用途



▲Mr Don Murray 分享栽培經驗

7. 昆士蘭州政府農漁業部門

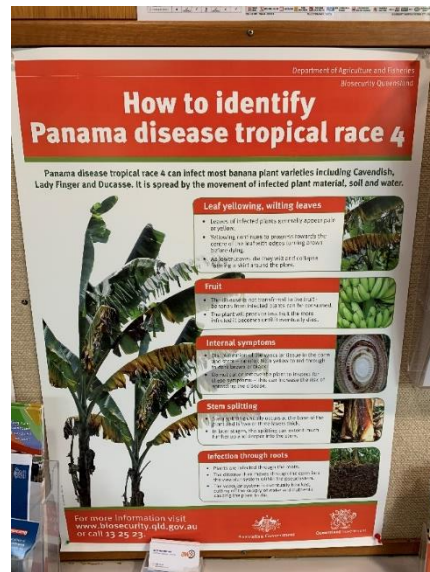
(1) South Johnstone 研究所

主要研究香蕉、可可及木瓜，澳大利亞對香蕉巴拿馬病有很嚴格的規格，包括田區若發現則銷毀，嚴格管控進出人員、器具、種苗、消毒、附著土壤的清洗

等（如在 ECOAGNIC 生態有機香蕉農場的處理）。South Johnstone 研究所整理香蕉園的基本田間管理措施及判定巴拿馬病的方法。對抗巴拿馬病除了嚴格的檢疫、田間衛生及銷毀之外，當地也針對拮抗菌、抑病土及肥料施用等各方面進行研究。在拮抗菌的部分，有一株由當地篩選出來的 *Trichoderma* 目前正在進行田間試驗中，以 Q-PCR 定量在栽培其間的拮抗菌與 FOC（巴拿馬病的病原菌 *Fusarium oxysporum subsp. cubense*）的比例，發現證明其拮抗力很強，目前正在著手發展為生物農藥；在抑病土方面，學研單位從不會發病的田區採土並分離微生物，將微生物施加於滅菌的田土中，並以未滅菌的田土做對照，發現添加由抑病土中分離的微生物的滅菌土中所種的香蕉生長較快，植株中含有較高的酚類化合物，而未滅菌的土則較多的雜草；肥料施用部分，則是比較不同氮肥施用量對巴拿馬病發病的影響，測量參數包括土壤中肥料含量、植株高度、莖直徑、葉片顏色、土壤酸鹼度、土壤電導度、土壤微生物多樣性（土壤酵素）、植株中 FOC 的濃度 (Q-PCR) 等，希望藉由良好的肥培管理提高植株及土壤的健康程度，增加作物的抗病性，減少產量損失（即與 Dr Ryan Orr 合作之試驗）。氮肥有四個級距，第一年 100-350 kg-N/ha，第二年 200-450 kg-N/ha，鉀肥則在其他區，一年施用 700 kg-K/kg，每兩個月會砍一次葉片，去除老葉、病葉，放在田間（沒有移出），只留下 10-11 片葉，跟甘蔗一樣採收後重複長很多次，讓植株分蘖、變大變粗。通常會用尿素做消毒。



▲香蕉園的良好田間管理



▲香蕉巴拿馬病的判定方法



▲研究人員說明香蕉肥培試驗情形



▲利用管線確實供應不同量的氮肥

北昆士蘭地區主要的作物為甘蔗（種植帶南北長 1,000 公里）與香蕉，當地政府也想發展其他作物，故於數年前引進可可試種，目前試驗田區之可可為種植後第二年。其試驗規劃縝密，包含：

1. 引種：總計引進 16 種不同地區的品種在各地區試種，發現北昆士蘭地區為澳大利亞最適合的地區，但氣溫對可可而言仍太低。
2. 整枝修剪：選定兩個品系，進行(1)不修剪，讓枝條隨著原始的生長分佈呈螺旋形；(2)讓枝條朝水平方向展開；(3)讓枝條朝垂直方向展開；(4)在約 1 公尺高時去頂，矮化植株（註：上述修剪方式因為非筆者一行之專業，敘述可能不是完全正確），但因應澳大利亞有颶風造成植條折損，以及適當的修剪有助於縮短可採收時

間但會降低總產量、通風問題及方便採摘結於樹幹上的果實，同時進行了不同的試驗節省時間。

3. 果實產量調查：比較各種基因型（有分析）接穗在不同整枝修剪模式下的產量。

4. 品種選育：以 16 個親本做為父母本，觀察 256 種不同基因組合後代的性狀（主要是產量，以及是否會自花授粉）。

其引進作物及選種的全盤規劃的縝密程度，值得國內研究人員參考。



▲研究人員說明可可試驗情形



▲筆者一行、Dr Ryan Orr 與 South Johnstone 研究所人員合影

(2) Mareeba 研究所

Mareeba 地區與 Kuranda、Dimbulah、Atherton、Malanda 及 Ravenshoe 地區合稱為 Tablelands，凱恩斯內相當特別的高原農業區，面積約 65,000 平方公里，這裡相較於凱恩斯其他地區涼爽，此處雖為高原，但水源供應穩定。此外，Tablelands 農業區土壤種類相當豐富，有偏酸性且肥力低的砂質壤土、砂質黏壤土，亦有酸性至中性、高肥力的黏土。因此栽培作物品項廣泛，包括香蕉、芒果、酪梨、甘蔗、馬鈴薯、柑橘等，且包括多樣化的畜牧業，因此 Mareeba 研究所研究之作物品項亦非常多樣。

在這裡，他們正在研發可殺真菌的生物農藥 (Biofungicide)，目前已有小量生

產，可應用的作物別為葡萄藤、草莓、番茄等，與國內相同，其分別可處理的真菌病害、施用量及使用方式等皆進行了實驗，並於商品包裝上敘明。他們亦接受農民寄送植體樣品來接受病蟲害的診斷，農民會將作物栽培情形、病蟲害發生情形進行簡單的描述，並附上受害植株，讓研究人員可以快速瞭解概況後予以診斷並提供處理的建議。



▲研究人員說明研發過程



▲生物農藥試驗研發



▲農民寄送病蟲害問題植體樣品



▲研究人員利用昆蟲標本協助農民認識（農業）益蟲及害蟲

(3) Redden Street 研究所

Redden Street 研究所位於凱恩斯市區，接近機場、港口，相較於 South Johnstone 及 Mareeba 研究所，其研究重心在於植物的防檢疫工作，協助建立擬出口農產品的分級制度，並確保在運輸過程中不會有病蟲害的發生。因此會利用冷凍、熱處理、輻射處理等方式，多次確認沒有害蟲、病菌，亦是為了避免在運輸

過程中病蟲害大發生。此外，也會進行田間試驗，在栽培過程中就杜絕作物遭受果蠅或其他害蟲叮咬，使農產品即使在沒有處理的狀況下，運輸過程中也不會有病蟲害的發生。

為使農產品品質穩定（高品質），會利用近紅外光掃描以檢測水果的糖度，用光譜儀看果實品質、有無病蟲害造成的斑點、咬痕，或是例如將酪梨擺放一個星期，每 2 個小時測一次變化，約 48 個小時後可測出是否有染病，目的皆在於提高其農產品的價格與穩定供應高品質的農產品。對研究人員而言，每項作物都必須花費非常長的時間，才能確認該作物需要測定哪些項目（分級的標準），並找到最佳條件。

而針對農漁產加工品，Redden Street 研究所也進行多項分析，包括測定大腸桿菌、儲架壽命、官能品評、外觀、其他微生物等，針對各項農漁產加工品皆建立了不同的測定項目。農漁民亦可自行付費送樣到研究所進行檢驗，確認其農漁產加工品的品質。一般而言，若要進到超市等通路販售，超市會要求農漁民出示檢驗結果，而一般市場則不必分析。

這些農產品品質標準由國家建立，不符合規格的通常是提供給動物作為食物，例如外觀分為一、二級，一級才可出口，且在包裝、販售等過程中都必須要多次確認其品質。



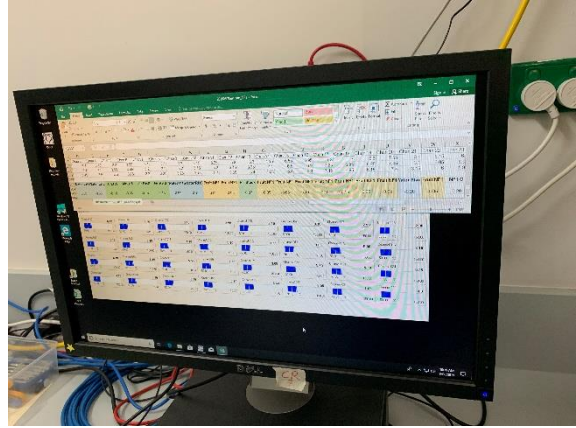
▲研究人員針對研究所概況進行簡介



▲香蕉乾的品質試驗



▲試驗用熱處理系統



▲監測各項參數的變化



▲芒果分級指南



▲農產品果蠅試驗



▲研究人員說明酪梨出口運用技術



▲筆者一行與 Redden Street 研究所人員合影

8. 聯邦科學與工業研究組織-道頓公園生態科學區

Dr Rebecca Bartley 為聯邦科學與工業研究組織土地與水域小組集水區研究的負責人，利用模型預測澳大利亞沿海一帶集水區的沉積物及養分含量，例如北昆士蘭州的放牧、甘蔗和雨林集水區進行基於長期測量的研究。

目前主要係研究集水區沉積物及養分含量對於大堡礁生態的影響，調查沉積物、營養鹽的來源，並利用地景管理的方式來減緩沉積物、營養鹽進入到海洋。近期研究發現，膠體態的氮相較於其他型態，更能長距離移動，因此更有可能進入到海洋影響大堡礁生態，試驗由湯斯維爾地區三種不同土地利用（甘蔗、非農業用地和放牧）的溝渠，和農業排水溝中收集的土壤樣品，量測水分散性黏土 (Water-dispersible clay, WDC)，結果發現水分散性黏土內的氮比例與土壤總氮含量呈現負相關。這樣的結果顯示，除了降低排水中氮含量之外，控制沉積物的流失，減少土壤沖蝕 (soil erosion)，也可以有效避免過多的氮進入到海洋當中。

過去在集水區週遭有非常繁盛的採礦業，即是沉積物的來源之一，Dr Rebecca Bartley 研究團隊曾嘗試利用多種方法減緩沉積物流失，例如設置大型木頭在水流經之處減緩其流速，但有時因為瞬間水量過大，這些設置會失去效果。

不過，Dr Rebecca Bartley 在另外的研究也指出，雖然大量的沉積物會影響大堡礁珊瑚生態，但過度的畜牧業也是增加溪流中氮含量的元凶之一。畜牧業會帶來大量的禽畜糞，這些高氮含量的物質經雨水沖刷後滲入地下水，進入週邊水體增加溪流氮含量，而畜牧所帶來的沙漠化，也是沉積物迅速增加的原因。



▲Dr Rebecca Bartley 分享研究成果



▲集水區週邊幾無植被

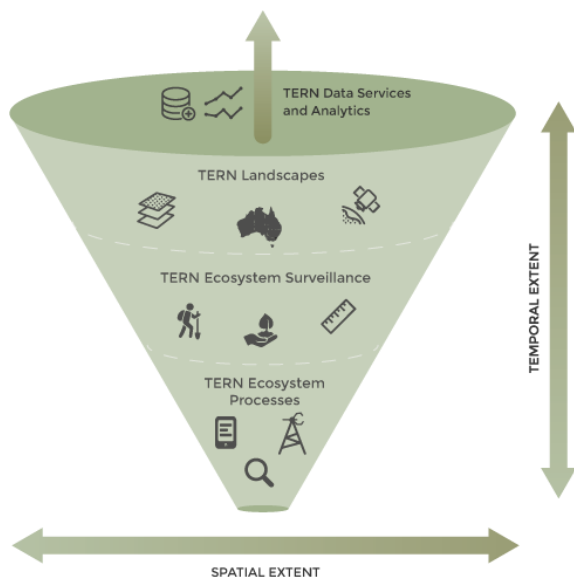
9. 陸域生態系研究網絡 (TERN)

陸域生態系研究網絡負責人 Dr Beryl Morris 在這次研習期間為筆者一行安排、聯

繫及接洽所有行程，其單位位於昆士蘭大學校本部 Goddard Building 一樓，筆者一行於布里斯本研習期間，便以陸域生態系研究網絡辦公室為核心，前往各處進行研習。

研習期間其研究人員亦介紹陸域生態系研究網絡的工作重點，首先是地景評估監測 (Landscapes assessment monitoring)，利用衛星遙控感測技術、無人機來完成，並且推估可能產生的生態系統變化。生態系統監測 (Ecosystem surveillance monitoring) 用於監測大範圍的生物多樣性變化，該單位將這些生物多樣性的變化，提供政府做為決策依據。標的生態系統監測 (Targeted ecosystem process monitoring) 則是利用少數樣站提供非常精確、詳細的數據，結合其他一般樣站資料，可即時反應生態系統問題。

陸域生態系研究網絡亦收集全國各個生物多樣性監測資料，彙整成為一個資料庫，讓相關研究人員皆可儲存、分享、使用資料庫內的數據，於不同的使用目的上有更完整的資料。



▲陸域生態系研究網絡於不同尺度上收集各種數據並分享



▲研究人員說明生物多樣性及生態系統資料庫建構情形

10. 昆士蘭大學-校本部 (St Lucia, 聖露西亞校區)

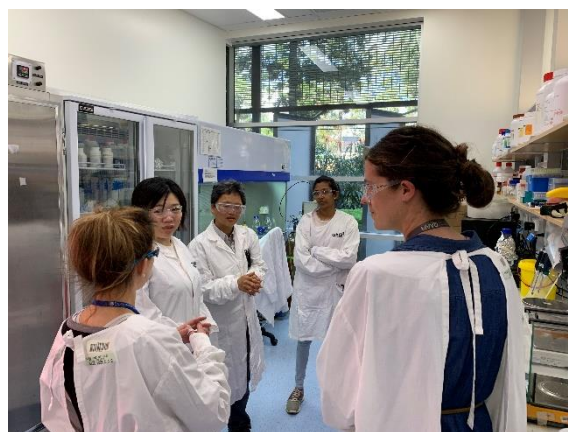
(1) 昆士蘭農業與食品創新聯盟 (QAAFI)

Dr Neena Mitter 為昆士蘭農業與食品創新聯盟園藝科學中心的主任，研究包

括作物保護用生物黏土 (Bioclay)、動物健康的奈米疫苗，以及以酪梨莖幹細胞進行複製 (Clonal propagation)，這些創新的技術影響了農業生產、環境永續以及農村的社會經濟動態。Dr Neena Mitter 的學生介紹其研究利用基因變化瞭解酪梨受到炭疽病感染的可能原因，以及酪梨的生存策略上如何以遺傳避免感染炭疽病。



▲Dr Stephen Williams 及 Dr Neena Mitter 介紹昆士蘭農業與食品創新聯盟



▲研究生介紹酪梨基因的研究

(2) Dr Peer Schenk

Dr Peer Schenk 是農業與食品科學學系的教授，研究興趣之一是可行光合作用的微藻類 (Microalgae)，利用藻類合成油脂及蛋白質，作為保健食品或動物飼料。藻類生長於水域且行光合作用，與人類的糧食生產系統不衝突，運用再生能源複製，且營養豐富，是解決糧食問題的一個可能選項。本次參觀了其培養微藻的實驗室，Dr Peer Schenk 表示他擁有大量培養微藻的技術，歡迎業者的合作，也正積極尋求海外合作的對象中。



▲乾燥的藻體為全素的高蛋白食品以及由藻類製成的食品



▲參觀 Dr Peer Schenk 的實驗室藻類培養設備

(3) Dr Neal Menzies

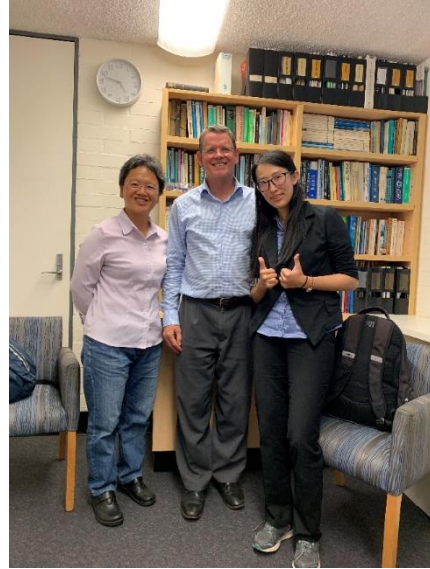
Dr Neal Menzies 為農業與食品科學學系 (School of Agriculture and Food Science) 的系主任，專長為土壤科學，主要研究為金屬的植物毒性-特別是鋁、表面電荷化學，及熱帶農業系統的營養管理。對於農業與其他產業、環境的關聯非常有興趣，例如如何增加氮肥的使用效率、在大堡礁週邊農田使用硝化抑制劑等。

他認為集約化的農業導致土壤不可回復的劣化，包括了有機質的損失及溫室氣體排放、肥料過度使用、土壤沖蝕、污染、酸化、鹽鹼化，甚至是遺傳多樣性的流失，這些土壤退化使得生態系統服務越來越低落（包括未來的糧食生產），但是，目前大眾都把對土壤的注意力集中在短期的利益（糧食供應）上，這對我們的下一代是非常不利的，未來要回復這些損耗需要付出更高的成本。他認為在政

府決策、試驗研究上都必須要審慎考量研發技術所會帶來的環境後果，這亦值得國內研究人員深思。



▲Dr Neal Menzies 介紹澳大利亞農業環境



▲筆者一行與 Dr Neal Menzies 合影

11. 昆士蘭大學-加頓校區

(1) Dr Victor Galea

Dr Victor Galea 為農業與食品科學學系的副系主任，專長是整合性病蟲草害管理 (Integrated Pest Management, IPM)，舉凡可運用之物理、化學、生物等防治方法，皆在 Dr Victor Galea 的研究範疇內。

目前研究侵入性木本雜草-刺相思樹的為害與防治，其團隊分離出一種灰黴菌真菌 (Cophinforma sp)，並初步發現 Cophinforma sp.與 Lasiodiplodia pseudotheobromae 對於刺相思樹的種子與幼苗具有致病性。回接試驗發現，這兩種真菌對於刺相思樹的莖、葉可以造成損傷，但並不會引起植株的死亡，後續實驗將嘗試增加效果，引起全株的死亡，達到防除刺相思樹的為害。

(2) Ms Kathryn Galea

Ms Kathryn Galea 為 Dr Victor Galea 的夫人，目前在私人企業 Multikraft 協助實踐整合性病蟲草害管理、推動永續農業，並減少土壤及肥料的流失。主要銷售品項多為微生物製劑，包括微生物肥料、微生物農藥，除此之外，也推動運用於畜牧業、人體的微生物製劑。其特點在於利用研究成果來販售產品，與學校合作研究其研發產品，測試短期、長期效果，來說服客戶購買。



▲Dr Victor Galea 介紹其研究成果



▲Ms Kathryn Galea 介紹 Multikraft

(3) Mr Johannes Biala

Mr Johannes Biala 為農業與食品科學學系的助理研究員，其研究內容主要為有機循環農業，另一個身分為有機廢棄物與養分循環中心的負責人 (Centre for Recycling of Organic Waste and Nutrients, CROWN)，任務為減少並轉化有機廢棄物應用於農園藝、降低廢肥供應鏈氮肥的流失、改善資源利用效率、維持農業生產力、減少對環境負面影響，以及有機物的循環經濟等。

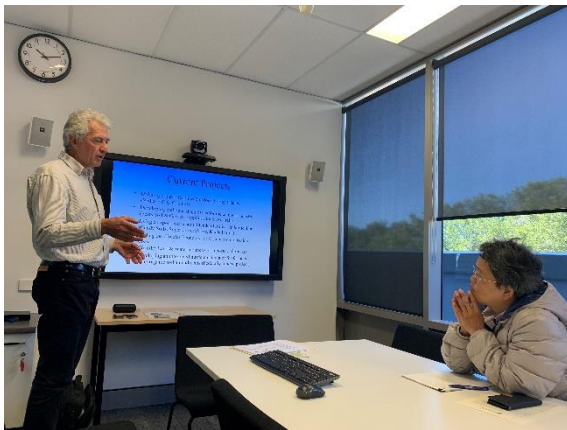
其研究發現土壤磷的低利用率限制了澳大利亞有機穀物的生產，但有機栽培農民不能使用過磷酸鈣來施磷肥，他們可以用磷礦石/粉，或高磷含量的堆肥來補充磷肥。此外，尚可利用廢水沉澱產品，例如鳥糞石或磷酸鈣。鳥糞石是一種緩釋的磷和鎂肥料，由厭氧消化設施的廢水產生，這些廢水是來自都會區、食品加工過程或密集的畜牧業。而 Mr Johannes Biala 致力於將這樣的有機循環產物運用

於有機栽培系統，並向政府提出這些產物是對環境有助益的（以合法納入有機驗證系統內）。

(4) Dr Alwyn Williams

Dr Alwyn Williams 為農業與食品科學學系的講師，研究主軸為瞭解栽培系統的生產力與永續性，及農業對於氣候變遷的適應力，瞭解農業生產最小化與土壤生態系統服務之前的權衡。土壤生態系統服務的重點為瞭解微生物在養分循環的功能，及與土壤、作物之間的交互作用。

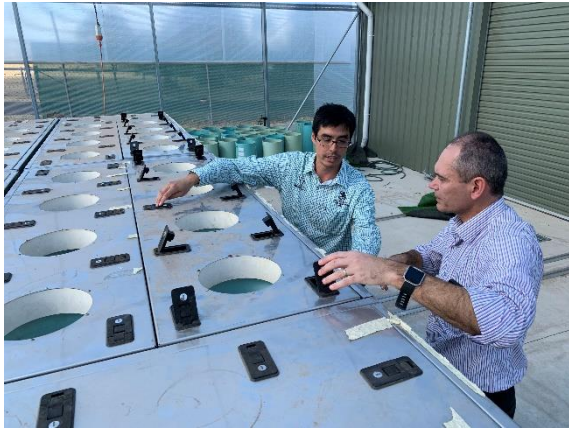
其研究指出，施肥對叢枝菌根真菌 (arbuscular mycorrhizal fungal, AMF) 菌落組成有很大的影響，但機制尚未明瞭，結果顯示氮肥會影響其菌落組成，減少多樣性，而磷肥則沒有太大的影響。溫室試驗結果顯示，隨施肥量增加，叢枝菌根真菌對作物吸收磷肥的效果減少，但不影響氮肥的吸收（筆者推估係因為磷肥吸收多仰賴叢枝菌根真菌），



▲Mr Johannes Biala 介紹其研究



▲Dr Alwyn Williams 分享雜草試驗結果



▲利用該裝置瞭解土壤磷的移動，可於不同深度插入感測器



▲有機廢棄物與養分循環中心的任務

12. 昆士蘭州農業博覽會

EKKA 正式名稱為皇家昆士蘭展 (The Royal Queensland Show)，又稱布里斯本秀 (Brisbane Show)，是昆士蘭一年一度舉辦的最大型農業博覽會，自 1876 年開始，已有 140 年的歷史，每年 8 月中旬左右在布里斯班市舉行，展期 10 天，每年參觀人次約 40 萬人。2019 年的 EKKA 為 8 月 9 日至 8 月 18 日，其中 8 月 14 日 (星期三) 為公眾假日，由於布里斯本研習期間恭逢其盛，因此也前往參觀。展場位於布里斯本秀場 (Brisbane Showgrounds)，大眾運輸非常方便，於 Exhibition Station 站下車，離開火車站

即是展場。

展區以一圓形競技場為中心，是比較類似嘉年華型式的活動，展示內容包含動物（馬、牛、貓、狗、羊等）的展示、選美、講座；農業生產類（農產品及生產過程展示說明、農業資材、水資源循環、蜂蜜）；農業衍生的生活事務（攝影、加工競賽、美食料理、紡織品、園藝等）、政府服務宣導（警察、市政、搜救、消防、入侵外來種防範等），室外區則有許多食品、農產品與加工品的販售、兒童遊樂設施、表演等。

基本上展出的部分臺灣的花卉博覽會與其類似，但台灣各種展出中知識成分比EKKA高，可看性較EKKA好。此外，EKKA為類似嘉年華的園遊會模式，商業意味較濃。相較而言，國內花卉博覽會的可看性較高。



▲中心競技場有馬匹的比賽



▲紅火蟻防治宣導



▲居家園藝用品展示



▲小型堆肥盆



▲農產品藝術競賽



▲加工品競賽

伍、心得與建議

筆者一行這次到澳大利亞研習，無論是研習期間，還是與在澳大利亞生活，皆有非常多的感觸，在工作上、研究上亦得到不少啟發，整理以下幾點分享：

一、資訊公開與共享

由於澳大利亞地廣人稀（面積為臺灣 214 倍，但人口與臺灣相當），交通不便的狀況下網路資訊的流通便相對重要，許多資訊可以在網路上查詢得到，並且無償共享，以上介紹的多位學者，皆透過網路雲端方式提供資料予筆者一行。又例如陸域生態系研究網絡，彙整澳大利亞各地生物多樣性資料庫，使資料普及化，供不同領域的研究者使用，這將加速研究產出，並且避免了資源、資訊的浪費。

筆者一行所研習的兩所大學，詹姆斯庫克大學及昆士蘭大學，皆對於所有研究人員、教授有詳盡之介紹，包括其執行的計畫、經費來源、合作夥伴、著作等。因此在筆者一行與 Dr Beryl Morris 聯繫時，可清楚瞭解每位專家學者的研究，是否符合本次研習的目的。

二、對農業環境與整體環境的重視

或許係因本次研習的目的，筆者一行接觸的多位研究人員，研究多是在農業環境永續經營，或是降低農業操作對環境的污染（包括減少溫室氣體排放、優養化）。農業環境研究經費非常可觀，例如政府因擔憂大堡礁珊瑚生態受到農業操作的污染，便提供相關研究經費，嘗試由栽培管理、肥培、生物及化學處理等多方面解決這個問題。且不同研究單位之間會互助合作，將最有效的成果推廣予農民，這些研究是需要長期的資料、數據累積，才能有效運用推廣到實際農業上。

筆者一行在週末期間，亦參加了大堡礁海洋生態觀察活動，雖然是觀光的商業行為，但整個遊程當中非常重視環境教育，利用生態導覽、解說，來告訴遊客珊瑚生態應如何保育，以及其他仰賴海洋環境而活的生物。這是否是來自政府規定，並不清楚，但國內目前對於各項活動的環境教育仍有進步空間，應將保護環境的概念落實在生活當中（不僅是垃圾分類、資源回收）。

三、生物多樣性的保育與重視

澳大利亞因特殊地緣關係，鳥類生態相當豐富，整個澳大利亞由南到北、由西到東皆分布著各式各樣的鳥類，此外，其他動物、植物、昆蟲種類皆相當多樣，在基礎調查上也相對完善，包括分布範圍、食物、天敵、生活史等。長期以來建立了非常多的資料，也以法規限制人類行為，嚴格禁止破壞生態及傷害特定生物。他們認為生物多樣性也代表了環境的健康程度，如果生物多樣性降低，表示環境也出了問題，而使得特定物種消失、特定物種增加，這也間接代表了生物的功能多樣性、生態系統服務會發生問題。

這也關係到生物多樣性在社會、經濟（觀光、農業）、文化各個層面的影響，例如大堡礁每年所帶來的觀光產值，遠超過凱恩斯當地的農業產值，若大堡礁生態因農業操作受到破壞，損失將非常慘重，且上萬當地居民生計將受到影響，更遑論仰賴珊瑚生態的豐富漁業資源。因此，政府在生物多樣性的維護上不遺餘力。

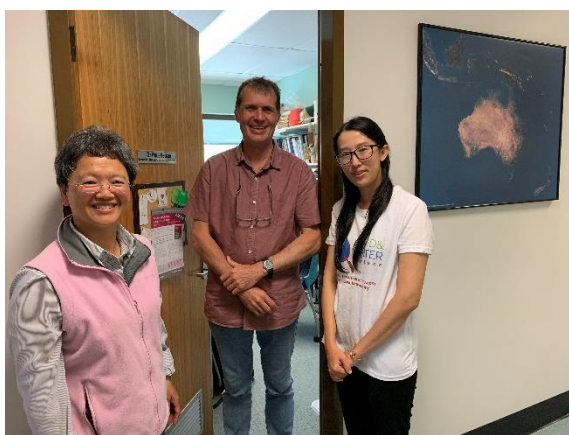
四、經費支持與基礎研究的建立

在昆士蘭州政府農漁業部門的各個研究所，分別因應當地的農漁產業有研究重點，且其研究經費除來自政府支持外，亦有私人企業贊助，例如香蕉農場會以經費支持香蕉巴拿馬病的相關研究。研究計畫可從多面向進行，特別是無法立即看到成果的基礎研究，且耗費的行政作業相對少很多（相較於國內高強度的管考作業，僅需成果的產出、分享）。因此，研究人員可以專心投入研究工作，不需要四處為經費奔波。

這些基礎研究的建立，使研究人員可以在完整的基礎下展開後續研究，以解決產業的問題（站在巨人的肩膀上），這也與資訊的流通有非常大的相關性。以農業委員會每年的研究計畫為例，研究人員期末提供研究報告時，雖然願以公開形式發表研究成果，但其他研究人員、學術單位依然難以查詢到這些研究成果，除非研究人員將成果發表為推廣文章、學術文章，這些資訊才相對容易取得，這亦為筆者一行認為國內學研單位可改善之處。

陸、致謝

本次蒙「促進農村與農業生態永續發展國際合作」子項計畫，本場執行「生態農業技術發展及農業環境措施之試驗研究」科技計畫（108 農科-4.2.2-花-V1）之經費支持，筆者一行得以前往澳大利亞凱恩斯、布里斯本等處進行研習，強化本計畫後續研究量能。特別感謝農業試驗所農業化學組陳琦玲研究員介紹澳大利亞陸域生態系研究網絡負責人 Dr Beryl Morris，並由 Dr Beryl Morris 協助聯繫 Dr Paul Nelson 及安排布里斯本參訪行程，Dr Paul Nelson 安排凱恩斯研習、參訪行程，使筆者一行獲益良多，並結識許多充滿熱忱與溫暖的研究人員。



▲筆者一行與 Dr Paul Nelson 合影



▲筆者一行與 Dr Beryl Morris 合影