

出國報告(出國類別:研究)

行政院國家科學技術發展基金管理會補助計畫

農業副產物在減碳增匯及循環加值之開發應用

服務機關：農業部臺中區農業改良場

姓名職稱：曾宥紘副研究員

羅佩昕助理研究員

派赴國家/地區：日本

出國期間：113年5月13日至5月17日

報告日期：113年7月5日

目次

壹、摘要	2
貳、目的	2
參、出國人員	2
肆、出國行程	3
伍、工作與參訪內容	4
一、日本淨零碳排目標禽畜生產相關減排技術	4
二、黑水虻蟲蛹作為魚飼料以替代魚粉之研究	5
三、水泥工業碳捕捉循環利用技術開發	5
四、植生復育及燃料應用	5
五、蟲體蛋白質之食用	6
陸、心得與建議	6
柒、圖片	8
捌、附錄	

壹、摘要

本場執行 112 年農漁業技術優化與擴散計畫-農業副產物在減碳增匯及循環加值之開發應用，前往日本農研機構及東北大學研習循環淨零相關技術，研習內容包含日本農研機構調整禽畜飼料配方以降低禽畜糞之氮含量、結合特定微生物之廢水處理技術，可減少 80%之氧化亞氮氣體排放，而豬糞堆肥過程經添加亞硝酸氧化菌可降低 80%氧化亞氮氣體排放，因氧化亞氮為關鍵之溫室效應氣體，其溫室效應為二氧化碳之 298 倍，減少其氣體排放即可有效降低溫室效益。此外，農研機構飼養黑水虻蟲蛹應用為魚飼料開發，進行交流討論，因日本廚餘以焚化為主，因此，黑水虻食物源並非如同臺灣以廚餘為主，改以豆粉、稻草等資材為主飼料，日本針對黑水虻腸道菌進行研究，希望針對特定農業副產物，篩選特定微生物並添加於黑水虻飼料中，使其腸道內有特定資材分解菌，應用於不同農業資材循環應用。

東北大學針對水泥工業製程，進行混擬土汙泥固液分離技術，開發含鈣廢液加速吸收二氧化碳技術，以生成碳酸鈣，並循環應用於替代天然岩石，降低天然岩石轉化為水泥過程所釋放之二氧化碳，另固液分離之固體部分為具強磷吸附能力之吸附劑(PAdeCS)，可應用於汙水淨化處理。東北大學針對土壤重金屬包含鎘、鋅及鎳等，應用特定植物如鳳尾蕨與葉芽阿拉伯芥進行重金屬吸收，並研究重金屬於不同植物部位之分配含量，作為重金屬移除之手段，其中，植株採收後可應用為鍋爐燃料，重金屬將濃縮於灰分中，再將灰分進行後續處理與應用。

針對淨零碳排議題，禽畜蛋白質為人類飲食之必要養分之一，未來昆蟲蛋白質為重要養分來源，主因為蛋白質生產效率高於禽畜動物，此外，生產等量蛋白質，昆蟲蛋白質生產過程之碳排放量低於禽畜飼養，參觀日本昆蟲餐廳(昆蟲食 TAKEO)，包含蟋蟀、蜂、蠶蛾及蠶繭等應用為食物添加，且添加昆蟲原樣貌，並非改變物理結構添加於食品中，希望能藉以推廣食蟲文化及淨零循環理念，以替代禽畜飼養之蛋白質及其相對高之碳排放量。

貳、目的

本場為達成國家淨零碳排及循環加值政策，需開發相應技術以支持政策推行，為此前往日本參訪研習淨零循環相關技術，以作為本場於該領域研究發展之參考依據，包含研習日本針對禽畜生產、堆肥製成、汙水處理、水泥工業減碳循環及重金屬植生復育之燃料應用等技術。

參、出國人員

土壤肥料研究室/曾宥紘副研究員

生物資材應用研究室/羅佩昕助理研究員

肆、 出國行程

日期	地點	研習內容
5月13日	啟程 臺北-東京	-
5月14日	茨城縣農研機構-畜產 研究部門	禽畜飼料開發、禽畜糞廢水處理、禽畜糞堆肥製作技術，以降低氧化亞氮溫室氣體排放。
5月15日	1. 茨城縣農研機構-生物機能利用研究部門-昆蟲利用技術研究領域 2. 東京都台東區-昆蟲食 TAKEO 餐廳	1. 養殖黑水虻以替代魚粉，針對日本黑水虻研究發展、腸道菌篩選、飼料配方及黑水虻蟲蛹替代魚粉之加工程序。 2. 昆蟲蛋白飲食應用及資訊收集。
5月16日	宮城縣仙台市東北大學	1. 水泥工業之減碳循環技術及開發之磷吸附劑於農業應用之可行性。 2. 重金屬植生復育及地上部植體燃料應用與重金屬濃縮處理。
5月17日	返國 東京-臺北	-

伍、工作與參訪內容

一、日本淨零碳排目標與禽畜生產減排技術

日本於 2015 年制定溫室氣體減量政策，至 2030 年時需較 2013 年減少 26% 溫室氣體排放量，而 2021 年重新制定減排目標，2030 年時需較 2013 年減少 46% 溫室氣體排放量，直至 2050 年達到淨零碳排目標。日本農業碳排放量，以燃料燃燒占 33%、水稻田甲烷生成占 25%、家畜消化管發酵占 16%、農田土壤氧化亞氮占 12%、禽畜糞處理所產生甲烷占 5% 及氧化亞氮占 8%。

日本農研機構-高度飼養技術研究領域針對禽畜生產飼料、糞便及廢水處理開發相應技術，以降低各生產程序之溫室氣體排放。說明如下：

- (一) 因飼料配方中許多大豆粉尚未被禽畜動物消化即予以排出，造成排泄物具有高氮含量，且易發酵分解產生溫室效應氣體，為此，該技術提高飼料之離胺酸、甲硫胺酸、半胱胺酸及色胺酸含量，降低大豆粉含量，進行配方開發，開發之平衡飼料，相較於傳統飼料，並不影響豬隻生育，飼養到 110kg/頭所需時間須 165.4 天與餵養傳統飼料之 166.0 天並無顯著差異，且肉質亦與餵養傳統飼料無顯著差異，餵養平衡飼料可降低豬隻肥育前期糞便之 28.7% 氮含量，降低豬隻肥育後期之糞便 28.0% 氮含量；雞隻餵食平衡飼料較餵食傳統飼料可降低雞糞 18.5% 氮含量。
- (二) 針對禽畜廢水處理，開發碳素纖維材料並附著硝化菌與脫氮菌，脫氮菌附著於內，硝化菌則附著於脫氮菌外，如此廢水中銨離子將先接觸硝化菌，將銨離子轉化為硝酸根離子，硝酸根離子再經特定厭氧脫氮菌，將其轉化為氮氣，取代傳統活性污泥處理法，因消化菌與脫氮菌種類多元，易導致氧化亞氮排放。該碳素纖維材料附著硝化菌與脫氮菌之生物膜法，相較傳統活性污泥法可降低 80% 氧化亞氮氣體排放量，該系統已連續使用 5 年，然而因屬新技術，最長可使用年限仍在測試中，此外，該系統因設置成本過高，每 100 立方米需 100 萬日元，目前尚未大量應用。
- (三) 禽畜糞便堆肥過程中，添加亞硝酸氧化菌，可促進其生成硝酸根，避免不穩定之亞硝酸根轉化為氧化亞氮排放，而亞硝酸氧化菌來源則以豬糞堆肥經 3 個月堆積腐熟之成品作為菌種來源，菌數 1.7×10^6 MPN/g，於堆肥第 3 週添加 10% 腐熟堆肥於新鮮豬糞堆肥中，即可減少堆肥過程中 80% 氧化亞氮氣體排放，未接種亞硝酸氧化菌之堆肥，於堆肥第 8 週始偵測到亞硝酸氧化菌直至 16 週，而接種亞硝酸氧化菌之堆肥，則於堆肥第 3 週至 16 週皆偵測到亞硝酸氧化菌，每克堆肥中需含有 10^5 MPN (10% 添加) 方能有效抑制堆肥之氧化亞氮生成。堆肥期間無須自堆肥底部通氣，屬於操作簡便且低成本之處。

理模式。

二、黑水虻蟲蛹作為魚飼料以替代魚粉之研究

日本應用黑水虻處理農業剩餘物質規模不大，政府針對黑水虻及其應用尚未有相關法令規範。目前日本農研機構以大豆粉及澱粉等作為黑水虻飼料，蟲體應用為魚飼料，過多油脂將抑制魚隻生長，在日本收集到資訊包含餵養東南亞棕櫚渣可大幅降低蟲體脂肪含量，或可避免或簡化蟲體需於 40-50°C 條件下之油脂萃取程序，另日本農研機構研究建立黑水虻腸道特定微生物組成，以作為不同農業剩餘資材處理應用，著重於木質纖維分解菌篩選及添加於飼料中，藉由黑水虻食用後，接種特定腸道菌，本場提供建議為 1. 如果外購菌種商品不易取得，可以將蟲體飼養於特定農業副產物環境中，再進行腸道微生物篩選，2. 建議篩選之微生物可調整為菌群，以生態角度進行試驗，如某一微生物並無法分解稻草，然而其代謝物可以促進另一微生物分解稻草。日本繁殖黑水虻每批次留下 1/3 作為種蟲，以做繁殖應用。另飼養以蟲蛹為主，並未使其體色變黑收集幾丁質，以開發替代魚粉之飼料為主。

三、水泥工業碳捕捉循環利用技術開發

日本東北大學環境科學研究科-資源循環與環境資源應用領域實驗室，針對水泥工業進行碳捕捉循環利用技術開發，該技術主要開發混擬土汙泥固液分離技術，再 1m³ 反應槽中，萃取含鈣離子之液體部分，可吸收工業廢氣中的二氧化碳，以加速生產碳酸鈣，因鈣離子與二氧化碳反應速度過慢，因此以高濃度二氧化碳含量之工業廢氣(10-20% CO₂)作為反應源，該反應經析出沉澱槽，即可收集質輕碳酸鈣。由於水泥製程需將天然岩石進行去碳酸化製程，以取得二氧化矽及氧化鈣，再經調製生成水泥，而去碳酸化過程，即會產生二氧化碳，因此若能降低天然岩石於水泥製程之使用量，即可降低額外之二氧化碳排放，為此，前述質輕碳酸鈣可應用於替代部分天然岩石，作為水泥生產原料，降低開採使用天然岩石及其轉化為水泥所額外產生之二氧化碳。除此之外，質輕碳酸鈣亦可應用為酸性中和劑以處理工業廢水中重金屬，使其沉澱後，進行水質淨化及排放，或應用於需要碳酸鈣為原料之各產業應用。

另汙泥固液分離之固體部分為具強磷吸附能力之吸附劑(PAdeCS)，可應用於汙水淨化處理，添加 2g/L PAdeCS(53-106 μm)於含磷汙水中經 2 小時後，幾乎所有水體磷源皆被該吸附劑吸附，可有效降低水體磷含量，有助於減少水庫優養化等水質淨化應用。未來該技術將應用於水泥產業，除降低天然岩石使用外，當岩石轉化為水泥過程所產生之二氧化碳，由開發之系統吸收二氧化碳，生產碳酸鈣及 PAdeCS 吸附劑作為後續各產業應用。

四、植生復育及燃料應用

日本東北大學環境科學研究科-環境修復生態學領域實驗室，針對土壤重金屬包含鎘、鋅及鎳等，應用特定植物如鳳尾蕨與葉芽阿拉伯芥進行重金屬吸收，並研究重金屬於不同植物部位之分配含量，作為重金屬移除之手段，其中，葉芽阿拉伯芥可將重金屬鋅吸收並累積於葉片，而鎘則吸收累積於莖部，鳳尾蕨為砷超累積植物，當砷於根圈環境中，其溶解度會增加，土壤 pH 值會下降，額外添加特定微生物如 *Pseudomonas vancouverensis* 可提高鳳尾蕨對砷吸收，吸收重金屬之植株移除後，規劃應用為鍋爐燃料，重金屬將濃縮於灰分中，在將灰分進行後續處理或應用。

五、蟲體蛋白質之食用

昆蟲蛋白質為未來重要養分來源，主因為蛋白質生產效率高於禽畜動物，且所產生之溫室效應氣體較低，如生產 1 公斤蟲體之碳排放量約 0.3-3kg CO₂ eq，生產 1 公斤牛肉、豬肉及雞肉所產生之碳排放量分別為 35、6.95 及 5.97 kg CO₂ eq，此外，生產等量蛋白質，昆蟲蛋白質生產過程之碳排放量較低約為牛隻 1/100，因此，昆蟲蛋白為未來重要之蛋白質來源，將其加工以替代禽畜蛋白質或改變食物樣貌，較能為一般大眾接受，然而，若能不改變昆蟲樣貌，直接應用為食品或料理，則兼具低碳環境教育意義。本行程至日本昆蟲餐廳(昆蟲食 TAKEO)參觀，包含蟋蟀、蜂、蠶蛾及蠶繭等，以昆蟲原樣貌結合食品，以推廣食蟲文化，在日本與店家訪談過程中，瞭解到日本兒童對食蟲接受度遠高於成人，食蟲可作為飲食教育的一環。

陸、心得與建議

一、禽畜生產減排技術

本次經由研習過程中，學習到由動物飼養飼料、禽畜糞處理，包含堆肥與廢水處理程序，導入相應技術，皆可顯著降低氧化亞氮溫室氣體排放，針對堆肥製作過程，添加亞硝酸氧化菌以降低氧化亞氮生成，以腐熟堆肥作為菌種來源，可做為本場開發降低堆肥製程氧化亞氮氣體產生技術開發之參考，將不同類別之堆肥成品，如禽畜糞、羽毛、果木枝條等堆肥成品，先行分析所含之亞硝酸氧化菌之數量，並探討回添於堆肥製作用量、時間點及其對降低堆肥溫室氣體排放之效果，以移動式溫室氣體偵測儀器偵測甲烷及氧化亞氮氣體濃度，並計算減排效益，極具參考應用價值。

針對污水處理以特定微生物結合生物膜法，即可有效降低污水處理之氧化亞氮含量，現場詢問是否水流有特殊規劃，使水體先經過消化菌後，氧濃度可顯著降低，以利脫氮菌應用，研究員表示並非無控制水流流動順序或流速，推測為控制生物膜內外兩層菌種，內層先接種脫氮菌使其形成

生物膜後，於其外層再接種硝化菌並使其形成生物膜，以此，當汙水接觸外層消化菌時，可將銨轉化為硝酸根，並降低氧氣含量，硝酸根進入內層後，改由脫氮菌轉化為氮氣。而特定之硝化菌或脫氮菌可避免生成亞硝酸根離子。

二、黑水虻蟲蛹作為魚飼料以替代魚粉之研究

本國黑水虻常應用於處理廚餘或禽畜糞，應用為肥料開發，然而，在蟲體飼料應用上，僅能以植物性飼料餵養黑水虻，其蟲體方能應用為動物飼料，因此，在飼料開發研究上，可導入特定微生物接種於黑水虻腸道，或可提高蟲體飼料應用價值，若該微生物為益生菌，或許可促進食用動物健康或增加飼料利用率。日本研究黑水虻蟲體替代魚粉，面臨問題為須額外萃取油脂，且該油脂多為飽和脂肪酸，常溫會凝固，然而，若利用不同飼料餵養黑水虻，如東南亞棕櫚渣，則可降低黑水虻蟲體脂肪含量，為此，開發黑水虻蟲體替代魚粉飼料，可試驗不同飼料來源，如食品廠副產物或下腳料之酒粕、燕麥及冬粉等，經餵養後分析蟲體脂肪含量，以做為魚飼料開發應用。

另外若以黑水虻蟲體油脂應用為生質柴油原料開發，則可以廚餘或禽畜糞餵養黑水虻，再進行蟲體脂肪萃取，一方面循環處理農業剩餘資材，另一方面，開發之生質柴油可替代化石燃料，有助於循環淨零及環境永續發展。

日本飼養黑水虻並未養殖到體色變黑，以萃取或利用幾丁質，而臺灣農業果園生產若有線蟲為害，其富含幾丁質之蟲體與特定放線菌發酵，或可利用於線蟲防治，而柑橘果園之次級果或病果等資材，可飼養黑水虻，如此可於農場上進行剩餘資材循環應用。

三、水泥工業碳捕捉循環利用技術開發

日本東北大學針對水泥減碳循環製程，開發之固液分離技術，產生之固體 PAdeCS 為具高磷吸附能力，農業上可先應用於吸附水體磷源後，再應用於替代過磷酸鈣肥料，降低磷礦石開採利用，可減少過磷酸鈣製程之碳排放。此外，該吸附劑於何種環境有助於磷肥釋放及該吸附劑是否吸附重金屬等，仍可延伸試驗。此外以水泥製程廢水吸收二氧化碳所產生之質輕碳酸鈣，亦可應用於酸性土壤改良，提高農業生產力，在該實驗室中發現單一產業製程中，若能導入低碳排放模式並降低天然資源或原料投入，為淨零循環首要考量，其次為後端產品之延伸應用，可再次循環於不同領域應用，如水質淨化後，農田肥料應用。該技術應用規劃及模式可供本場針對特定產業循環技術開發之參考。

四、植生復育及燃料應用

土壤遭受重金屬汙染如何將其移除為重要課題，種植高重金屬吸收效率之植物以吸收重金屬，再將植體收集、乾燥及燃燒應用，可將植體之重金屬濃縮至灰分中，有效縮小重金屬分布體積，含重金屬之灰分，可後續提煉特定重金屬或應用於固化建材以封存重金屬，植體燃燒過程產生之二氧化碳，因屬於光合產物，不計入溫室氣體排放，高重金屬吸收效率之植物於特定污染場址之適應性，或植物本身可廣泛適應各種生長環境，則可提高其應用性。此外，某些研究發現當特定微生物與高重金屬吸收效率之植物共同生長，可增加重金屬吸收量。未來臺灣若有相關研究，除篩選高重金屬吸收效率植物外，若植物體具高燃燒熱能，則更具應用效益。

五、蟲體蛋白質之食用

蟲體蛋白質生產過程之碳排放低於禽畜肉品生產，且為高營養價值之蛋白質來源，然而，在國人既有印象中，不易踏出第一步嘗試，在與日本店家訪談過程中，瞭解到日本兒童對食蟲接受度遠高於成人，食蟲可作為飲食教育的一環，自幼童教育著手成效較佳，然而也需父母認同該環境議題，後續完善之蟲體飼料、飼養環境及食品品質規範等，為食蟲教育推展之基礎，臺灣或可研議食蟲生產體系及教育推廣相關議題。

柒、 圖片



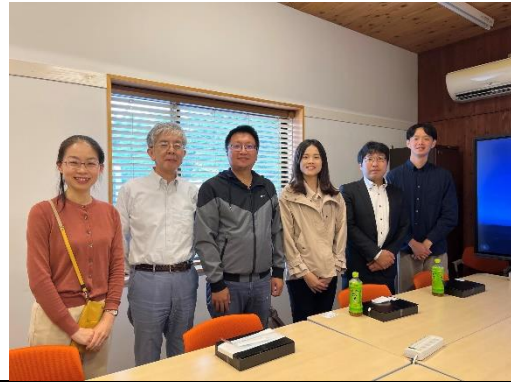
拜訪農研機構荻野曉史研究員(右二) 研習禽畜生產及禽畜糞循環減排處理技術，左一為劉家銘研究員



與農研機構小林徹也、劉家銘(中)及武田晃司(站立者)研究員商討日本黑水蛇試驗規劃及經驗收集



農研機構開發之黑水虻產品，包含萃取油脂之蟲粉、未萃取油脂之蟲粉、萃取之蟲油及蟲體(由左至右)。



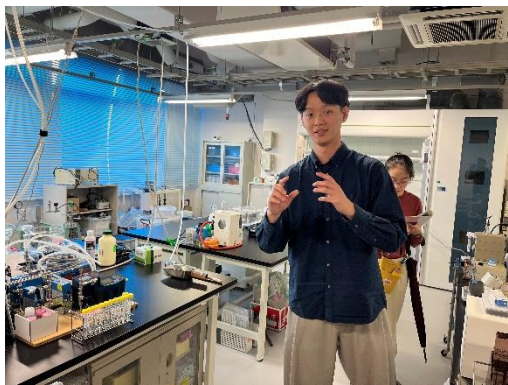
拜訪日本東北大學環境科學研究科(由左至右為簡梅芳副教授、井上千弘教授、曾宥紘副研究員、羅佩昕助理研究員、飯塚淳教授及何星融助理教授)



拜訪日本東北大學，研習循環減碳、植生復育技術及農業延伸應用



參觀何星融助理教授實驗室



何星融助理教授介紹二氧化碳固定試驗



葉芽阿拉伯芥採收並等待後續分析重金屬含量(簡梅芳副教授實驗室)

	
<p>田間土壤採集管，以待分析不同土壤深度之重金屬含量</p>	<p>微生物發酵槽及冷凍乾燥設備</p>
	
<p>共同儀器室</p>	<p>植物培養室</p>
	
<p>參加日本東北大學環境科學研究科專題討論，由羅佩昕助理研究員介紹本場業務發展</p>	<p>曾宥紘副研究員就循環相關研發議題進行交流討論</p>



參觀昆蟲食 TAKEO 餐廳



店內張貼宣傳食蟲教育相關活動海報



店內展示蝗蟲實體



店內展示昆蟲料理模型