

出國報告（出國類別：考察）

113年農業淨零排放國際參訪研習與 人才培育計畫歐洲(荷蘭及丹麥)參訪 考察報告

出國人員：

農業部資源永續利用司	司長	莊老達
農業部資源永續利用司	技正	吳宜萱
農業部資源永續利用司	技士	沈姿儀
農業部畜牧司	技正	周宜靜
農業部畜產試驗所	助理研究員	黃雅玲
農業部農業試驗所	系主任	陳葦玲
農業部臺中區農業改良場	副研究員	郭建志
農業部農糧署	技正	謝廉一
駐歐盟兼駐比利時代表處	農業組組長	傅子煜

派赴國家/地區：荷蘭及丹麥

出國期間：113年5月12日至113年5月19日

報告日期：113年8月2日

摘要

農業部資源永續利用司、畜牧司、農糧署、農業試驗所、畜產試驗所、臺中區農業改良場及駐歐盟兼駐比利時代表處於113年5月12日至19日組團前往荷蘭及丹麥，考察荷蘭政府農業、自然及食品品質部之淨零排放政策、荷蘭瓦赫寧恩大學、丹麥哥本哈根大學、達倫農業學院之試驗及學研成果、參訪 Flemløse 之沼氣發電場及農業循環高質化跨域相關企業等，瞭解農企業推動淨零排放與循環農業之實際作為及應用。

為達成2050淨零排放目標，荷蘭2030年預計減少55%溫室氣體排放(以1990年排放量為基礎)，丹麥則預計減少70%，皆訂定明確之階段性目標，並適時滾動檢討策略實行之有效性。利用增加能源稅率及施行強制節能措施等，輔以生態補助及更新能源設備等誘因，並投入經費於科技與創新研究，結合中央地方通力合作與公私協力機制，積極落實減碳及廢棄資源循環再利用之永續作為。

目錄

壹、	考察目的	4
貳、	行程概要	4
參、	考察單位簡介及交流紀錄	5
一、	荷蘭 Tomatoworld 企業	5
二、	荷蘭 Rotterzwam 企業	6
三、	荷蘭 Wageningen University and Research (WUR)設施園藝研究中心 10	
四、	荷蘭 WUR -NPEC 植物生態表型中心.....	18
五、	荷蘭農業、自然及食品品質部	19
六、	丹麥 Aikan A/S 企業.....	21
七、	丹麥哥本哈根大學(UCPH)Taastrup 校區試驗田.....	25
八、	丹麥 Solum Roskilde 企業	26
九、	丹麥 Flemløse 弗萊姆島沼氣廠企業	28
十、	丹麥達倫農業學院(Dalum Agricultural College)	33
肆、	心得與建議	35

壹、考察目的

全球氣候變遷加劇，推動淨零排放措施為國際共同趨勢，農業部以減量、增匯、循環、綠趨勢等四大主軸，推動碳效益價值化、農業剩餘資源增值利用，並導入公私協力之業界參與及農業永續ESG等策略，以達成2040年農業淨零目標。本次參訪承行政院國家科學技術發展基金管理會支持農業部之「農業淨零排放國際參訪研習與人才培訓」計畫，並以農業淨零排放、循環農業為主軸，規劃國際參訪考察，借鏡國外產、官、學研發展案例，反思國內可推動之方向，以利後續針對農業淨零排放目標提出更精準之策略、措施與行動。

荷蘭與丹麥均為農業發展興盛國家，本次參訪目的係為瞭解官方如何透過政策制定，推動歐盟淨零排放目標；設施農業如何達成資源節約、循環再利用；畜牧產業如何優化糞便與廢水處理；以及政府、學研單位及農企業如何相互合作，研發循環技術並落實於產業應用。

貳、行程概要

5月12日(日)	22:50 臺灣桃園機場出發
5月13日(一)	07:40 抵達荷蘭阿姆斯特丹 10:00-13:00 至企業 Tomatoworld 參訪交流 14:00-17:00 至企業 Rotterzwam 參訪交流
5月14日(二)	10:00-12:00 至瓦赫寧恩大學(WUR)2030溫室專案參訪交流 14:00-17:00 至瓦赫寧恩大學植物表型中心(NPEC)參訪交流
5月15日(三)	09:30-12:00 至荷蘭農業、自然及食品品質部(LNV)參訪交流 15:00-18:00 前往機場至丹麥哥本哈根
5月16日(四)	09:30-11:00 至企業 Aikan A/S 參訪交流 11:00-12:30 至哥本哈根大學(UCPH)Taastrup 校區試驗田參訪 14:00-16:30 至企業 Solum Roskilde 參訪交流
5月17日(五)	09:30-12:00 至企業 Flemløse 參訪交流 14:00-17:00 至達倫農業學院(Dalum Agricultural College)參訪
5月18日(六)	13:00前往機場至英國倫敦機場轉機
5月19日(日)	17:40抵達臺灣桃園機場

參、考察單位簡介及交流紀錄

一、荷蘭 Tomatoworld 企業

(一) 簡介

Tomatoworld(番茄大世界)由有著創新思維的荷蘭設施農業產業夥伴共同於2008年創立。它位於荷蘭韋斯特蘭市(Westland)，以資訊教育的整合中心模式來展現荷蘭溫室園藝業的全產業鏈。Tomatoworld 具有1500平方公尺的示範溫室，栽培80多種番茄品種，致力於持續性高效能溫室栽培技術。溫室運用透明屋頂吸收太陽熱能，並利用深達 4 公里的地熱，使用天然氣發電設備發電，降低整體能耗 40-50%，且所產生的熱可用於溫室加溫。並引進全自動採收機器人，能辨識成熟的番茄並以機械手臂逐顆收穫，大幅節省勞力成本。

(二) 訪談重點紀錄

1. 示範溫室介紹

在荷蘭設置溫室的目的是在於隔絕病蟲害，並精準調節農作物生長過程、能源消耗、生物作物保護和節水等數據。在 Tomatoworld 的溫室中，進入溫室之前須完成消毒，以避免病原帶入溫室內。溫室內植栽管理使用自動化機械處理，包括由日本製造的採收機器人，透過人工智慧深度學習，適時於夜間採收番茄，減少人工時間。為優化番茄溫室效能，由各相關業主提供問題，在示範溫室進行相關試驗，取得數據以推動作物生長管理，經驗並開放分享業界運用。

2. 種植多樣化的番茄品種

Tomatoworld 作為地區之示範溫室，在溫室內種植80種不同品種的番茄，依番茄品種不同的生長特性，調整種植相關參數，更有效地利用生產健康產品所需的資源。

3. 維持溫室節能的方式

荷蘭為溫帶國家，冬季時陽光不足，溫度普遍偏低，為維持溫室溫度，以往使用加熱方式維持溫室溫度，近年來使用汽電共生方式提供熱源，為節省能源需求，當地溫室場業開發以地熱方式提供熱能予設施栽培業者，作到節能效果。另為維持穩定二氧化碳濃度，以利光合作用進行，本區域與石化業者合作，透過管線提供二氧化碳，降低石化業者碳排數量。

4. 透過數據驅動種植(data-driven growing)

Tomatoworld 的示範溫室，已經作為種植者和其他參觀者可以現場了解數據驅動種植和採收機器人的技術，運用在各種番茄種植場所。數據驅動種植係利用數據的使用和分析來優化作物健康和生產。透過溫室內的監測氣候的電腦、感測器和攝影機全天候收集數據，並以儀表板方式提供用戶資訊，告訴種植者溫室裡今天和不久的將來發生了什麼。栽培過程中收集的數據，透過人工智慧產生對溫室和植物預測資訊，提供種植者在品質、數量和投資回

報率方面的目標發現趨勢、提前規劃、做出預測並主動引導作物。



圖1-1 TomatoWorld 溫室外觀及合作廠商



圖1-2 TomatoWorld 人員進行簡報



圖1-3、TomatoWorld 進入溫室前須完成消毒及清潔作業設備



圖1-4、自動化滴灌設施並監控番茄生長



圖1-5、各種不同品種番茄

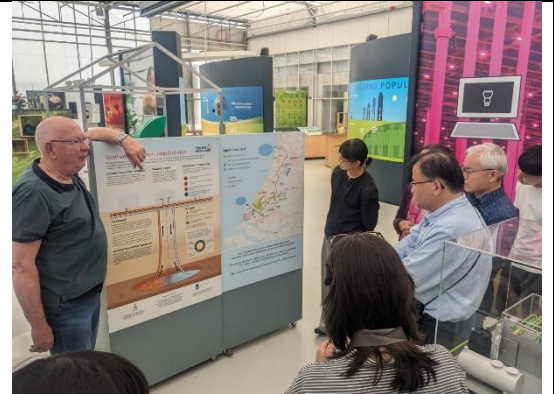


圖1-6、解說地熱提供溫室熱源方法

二、荷蘭 Rotterzwam 企業

(一) 簡介

Rotterzwam 為鹿特丹當地之新創公司，該公司主要收集鹿特丹附近的企業與餐廳的咖啡渣，進行循環利用。以往辦公室或是餐廳剩餘之咖啡渣，會以燃燒方式進行去化處理，製造出大量的二氧化碳。至今，Rotterzwam 每年可處理40多噸咖啡渣，並轉化成為秀珍菇介質，並將其製作成加工食品進行販售。該公司也會將每年對環境永續的影響製成影響報告，數據完全透明。

(二) 訪談重點紀錄

1.咖啡渣回收及菇類介質與加工產品研發

為穩定咖啡渣供應來源，Rotterzwam 公司向當地大型企業、餐飲場所回收咖啡渣。回收方式利用該公司之電動車進行載送，電動車能源部分亦來自公司屋頂設置之太陽能板，朝向環保永續概念營運。當地企業為符合環境、社會和公司治理(ESG)規範，付費讓該公司處理咖啡渣。所收集之咖啡渣，經參配其他料源如木屑，調製成不同菇類所需之碳氮比例與含水量，開發成秀珍菇、香菇、杏鮑菇及猴頭菇等菇類之栽培介質。以秀珍菇為大宗，生產鮮食秀珍菇，以及因應荷蘭素食消費者所需，冷凍加工成秀珍菇丸子，依據荷蘭當地流行吃素的風潮，將秀珍菇拌入馬鈴薯泥做成素肉丸銷售，可利用油炸方式變成秀珍菇炸丸子小點心。



圖2-1、Rotterzwam 公司外觀及數台載運咖啡渣車輛



圖2-2、屋頂設置太陽光電發電設備供電動車使用



圖2-3、研發之咖啡渣介質種植秀珍菇情形



圖2-4、咖啡渣介質亦種植猴頭菇



圖2-5、製成各式菇類素食加工食品

2.家庭用之咖啡渣介質栽培套組及衍生性產品開發

該公司將咖啡渣介質與菇類菌種組合成商品套組，販售菇類栽培套組，主要為一個可循環利用之塑膠盆及菇類母菌包，一組售價為15歐元。民眾購買後可以自行添加家裡產生的咖啡渣原料，然後將母菌包接種至含有自製咖啡渣之栽培套組中，並補充水分。經由4-6週即可長出秀珍菇來，此栽培套組可以收穫2次，之後可再添加新的咖啡渣與水分，可重新活化菇類菌絲再次生長，在採收1-2次。栽培期間可能會受到菇類病原-木黴菌感染。此外。咖啡渣除了當介質用外，還可製作成菇類啤酒、或是其含油脂成分高特性，可另外加工去角質香皂等文創小物，賦予新的消費功能。



圖 2-6、咖啡渣產生秀珍菇之模組



圖 2-7、咖啡渣中經木黴菌感染情形



圖 2-8、菇類啤酒產品



圖 2-9、咖啡渣去角質香皂產品

3. 咖啡渣循環再生應用架構

該公司除回收當地企業與餐廳之咖啡渣，並收取費用外，另發展家用秀珍菇種植套組，以循環再利用之塑膠容器，搭配該公司的秀珍菇菌種，讓家庭用戶可以用加護產出之咖啡渣自行種植菇類。運用該套組在第一次生出秀珍菇之後，咖啡渣的量會減少80%，此時使用者再添加新的咖啡渣，可以在生產一批新的秀珍菇，最後咖啡渣介質失去養分，轉化為家庭園藝用之堆肥。

此外，在鹿特丹港區的公司本部，同時作為循環教育工作坊之場域，並有種植菇類的示範場地，屋頂架設太陽光電發電設備，提供該公司收集咖啡渣之貨車所需之電力。

作為一個新創企業，為了永續經營，達到公司的財務平衡，穩定的收入非常重要。該公司主要的收入來源是販賣加工產品，包括素肉丸、秀珍菇啤酒及周邊商品，其次是向企業收取咖啡渣的費用以及販賣咖啡渣種菇類套組，另外環境教育及解說也是該公司重要的經濟來源。

4. 咖啡渣經營理念

Rotterzwam 公司每周3次，利用該公司自有之電動車，回收鹿特丹當地的企業與餐廳新鮮的咖啡渣，36小時內必須回收完成，確保咖啡渣之新鮮度，此外現今咖啡渣大量回收後，其咖啡渣經檢測後，以及巴斯德消毒後，做為種植秀珍菇的介質。生產的菇除作為鮮食外，並作為加工食品的原料，

以該公司提供給某家企業的說明為例，2萬9,000杯咖啡，會產生4,800公斤的咖啡渣，轉換成秀珍菇的介質後可以生產85公斤的秀珍菇，剩餘咖啡渣介質可做為有機質肥料，改善土壤特性。如此循環，可以減少3,900公斤碳排放。



圖 2-10、咖啡渣的循環模式

三、荷蘭 Wageningen University and Research (WUR) 設施園藝研究中心

(一) 簡介

WUR 設施園藝研究中心 Greenhouse Horticulture Business Unit 所執行的研究內容與產業非常密切，該單位具有100多個溫室隔間夠創造多種環境條件，研究人員有100多人，運轉經費每年約1.5千萬歐元，其研究經費40%為來自政府，10~15%為歐盟計畫，剩下部分皆來自產業界。'Club of 100' 是該中心和業界合作的模式，目前有84家荷蘭與設施園藝相關的會員公司，每年繳交15,000歐元的費用給研究中心，而該中心則提供這些溫室園藝業者一個場域可以獲得專業知識及進行合作試驗，業者們也會提出需求或議題(如永續淨零)，作為未來的研發策略方向，在業者出50%、政府補助50%的原則下，研提4年長期計畫。



圖3-1、Wageningen UR 組織架構

圖3-2、參與 WUR'Club of 100'部分合作廠商

(二) 訪談重點紀錄

1.環境法規限制--以水資源循環為例

自1994年以來荷蘭設施栽培溫室必須遵循水資源環利用的要求，2000年歐盟水框架(EU Water Framework) 方針在提高水域的良好生態狀況，2013年基礎設施和環境部(Ministry of Infrastructure and Environment) 公告之氮排放標準限制溫室生產地區肥料和PPP的排放，2018年則強制溫室排放水必須經過處理，如除去95%的PPP，然目前養液偶爾排放仍常見，其主要原因還是與水質有關，例如EC 過高、鈉積累(>6-8 mmol.L⁻¹，蘭花作物更低，1 mmol.L⁻¹ Na⁺ 即會造成植株受傷)、營養不平衡、病害及生長抑制物質等，另在栽培過程中灌溉設定錯誤、過濾時的沖洗水(flush water)、多於養液滲漏等也會導致水連帶肥料和PPP排放。

最新公告指出地表水和地下水的良好化學和生態品質(good chemical and ecological quality of surface water and groundwater) 將於2027年強制執行，預計氮和磷標準的排放要降為零，以設施最大宗作物番茄來看，目前年氮排量約75 kg N·ha⁻¹·year⁻¹ 須再大幅度降低，因此荷蘭水務局與溫室園藝協會(Land-en Tuinbouw Organisatie, LTO) 達成協議，要在2027年前全面達到溫室養液零排

放(zero-emission)目標，其園藝產業業者亦同意在2040年實現完全二氧化碳中和(CO₂-neutral)。

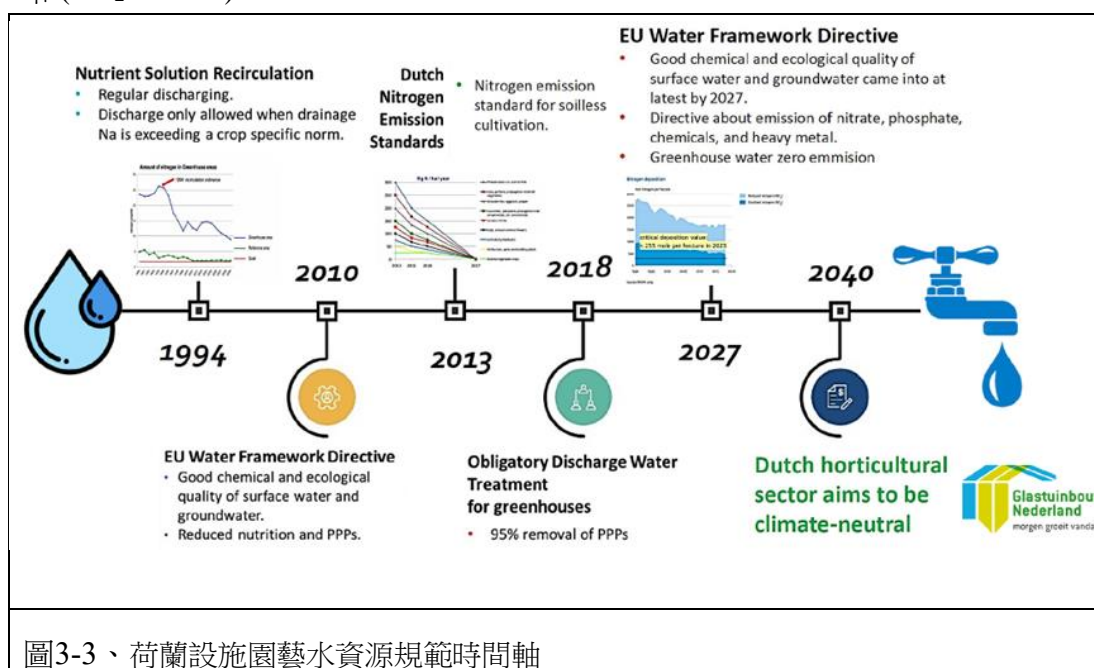


圖3-3、荷蘭設施園藝水資源規範時間軸

2. GREENHOUSE2030 永續設施生產管理策略

配合政策規範，荷蘭溫室園藝企業不得不大幅減少天然氣消耗，並最終降至為零，且亦面臨著關於水、肥料和作物保護產品零排放的新準則；2017年設施產業產生的二氧化碳排放量總計 5.7 兆噸，他們的目標是到 2030 年將 CO₂排放量減少到 2.2 兆噸。就高能源需求設施作物生產而言，WUR針對能源、水養分排放以及作物健康永續性方面於2019年設立GREENHOUSE 2030 示範溫室進行為期4年的研究計畫，目標為2030年達成不使用石化燃料、降低能源使用、水資源循環再利用、不使用化學防治資材等4項目標，就訪問研究人員說明，目前已可達到減少70% CO₂排放量。統整其管理策略包含：

(1) 有效氣候數據分析與環控管理

近年來全球設施園藝發展著重於減少能源消耗，WUR開發 KASPRO 模型模型，透過場域實際數據測量進行驗證，可計算溫室中的能源消耗、溫室氣候和作物生長，後以 KASPRO 為類比引擎，開發 KASSIM 模擬工具，提供對溫室環控過程的互動式操作，可視化了氣候控制和外部天氣對溫室能量變化、作物光合蒸發作用和溫度分佈的影響。另荷蘭應用科學研究組織(The Netherlands Organization For Applied Scientific Research, TNO)與溫室建設和控制系統公司開發一基於人工智能的決策支持系統 GAIA，其背景資料包含控制規則的知識圖譜(溫室、作物與種植策略常識)，做為控制系統之間的橋樑，為其設置找到最佳解決方案；該系統可以設置結合不同控制系統目標的性能函數，然後使用模型預測控制(model predict control, MPC)遺傳算法對性能函數的發展進行預測，提供控制設定點建議給溫室管理員，並附有解釋及顯示各個系統組件預測。



圖3-4、Greenhouse 2030內使用 CO₂感測器

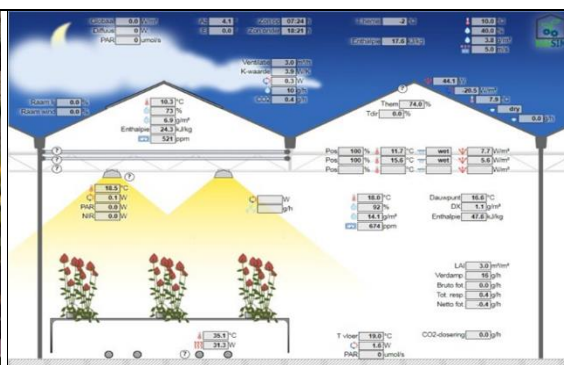


圖3-5、WUR 開發 KASSIM 模擬工具計算溫室中能源消耗、氣候變化和作物生長

(2) 使用再生能源取代化石燃料

汽電共生(CHP, co-generation)為目前荷蘭溫室主要的能源來源，透過燃燒天然氣或生物廢棄物來發電，同時將過程中產生的二氧化碳及熱蒐集供溫室生產使用。氣電共生發電效率約為40%，產熱效率為55%，所產生的電除了供溫室生產所需，多餘的電力能夠販售給電力公司或其他溫室栽培者使用。所產生的熱可以熱水形式儲存於儲存桶中，二氧化碳則是添加於溫室中供作物生產用。荷蘭溫室冬季採用天然氣鍋爐熱水加熱，通過電腦自動控制，滿足溫室內的溫度條件，內含熱水之加溫管配置在溫室四周、底部和株間皆有，底部的熱水管道同時作為軌道車的行進軌道。另為了保溫，在溫室保溫則選用含鋁材質之保溫膜，隔熱效果較佳。

然在必須減少天然氣使用趨勢下，風力、太陽能、地熱(geothermo)及生質(biomass)能為近年發展的能源系統。對於光線十分寶貴的荷蘭而言，溫室屋頂加裝太陽能板幾乎不可能，WUR 與 Genap 合作試驗蓄水湖防藻漂浮蓋 Energy Cover，配備浮動軟性太陽能板，將儲水與發電相結合，由耐用的塑膠箔製成，內部加固，箔上設有接縫，應用了 EPS(聚苯乙烯泡沫塑料)的浮體，安裝在浮帆頂部的超薄柔性太陽能膜與太陽角度為 8°，然目前發電功率在 120 W.m⁻²，低於剛性面板，後續將加強功率希望能達到165 W.m⁻²。

地熱能源型溫室為未來發展趨勢，由於地底溫度不像氣溫度會隨著不同季節有大幅度變化，基本上在夏季與冬季都能維持穩定，故依季节性區需求，透過地溫循環來加熱或調節維持設施內溫度是較為節能的做法，主要可以分為兩種空氣循環與水循環系統。空氣從建築物內部流動，並透過通過地下循環管路的對流加熱或冷卻空氣，然後以更理想的溫度將其排回溫室中。當設施中的溫度過高時，泵或風扇會從溫室中抽出暖空氣並將其推入地下管道，熱空氣經過相對溫度較低的地底就可以降溫，而將較冷的空氣返回降溫；相反當冬季地下溫度高於地面環境溫度時，熱泵或風扇將地底較熱的空氣推送到需要加熱的設施中。透過空氣管循環，需要鑽鑿到地底下深度約1.8~3.6米，成本不高，一般小

型溫室可負擔。

水循環系統基本概念與空氣循環相同，適用於生產型溫室作為熱泵系統主要供給地熱能源，運用深80~100公尺之地下儲水層水源進行熱交換(土溫每往下100公尺增加3oC)，地下水體均分為有冷源及熱源，在熱交換器中夏季時使用地下水進行溫室降溫，在冬季時則使用其熱源來對溫室加溫。依據荷蘭經驗，具有適合區域供熱溫度的水位深度約為1.5公里，使用熱泵於夜間用電離峰時對地下水加溫至50°C，熱水儲存在暫存水槽內，冷源則將地下水降溫至最低6°C後送入地下水體儲存，用於提高熱泵能源使用效率，利用此溫控系估計可節省40%之能源，有效達到節能減碳之目標。

在荷蘭溫室生產區 westland 現有 Trias Westland 地熱專案，是 Flora Holland、HVC、Westland Infra 和 Westland 市政府之間的合作計畫，這是荷蘭第一個鑽探至 Trias 層(深度 4 公里)的地熱工程，供熱網絡可給參與此計畫的56 家生產者可持續熱能，為 Westland 區域規劃的供熱網絡內的主管道供熱系統 (WSW)。

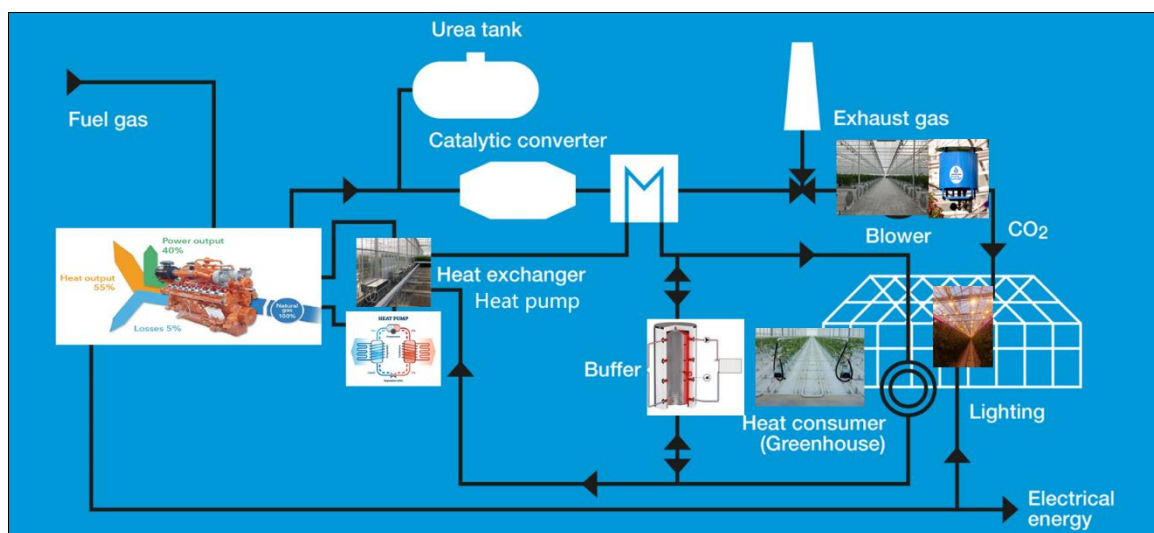


圖3-6、熱電聯產溫室能源系統

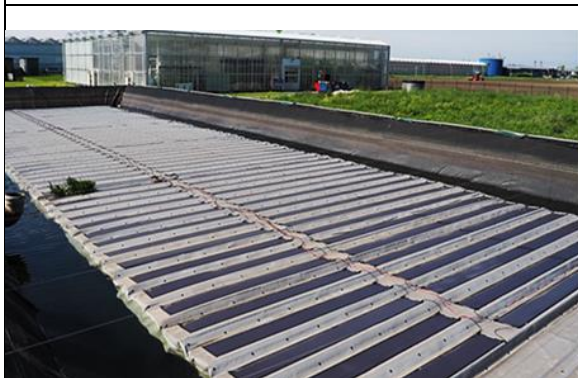


圖3-7、蓄水池上鋪設輕量軟性太陽能膜



圖3-8、荷蘭 Floriculture 深層地熱系統

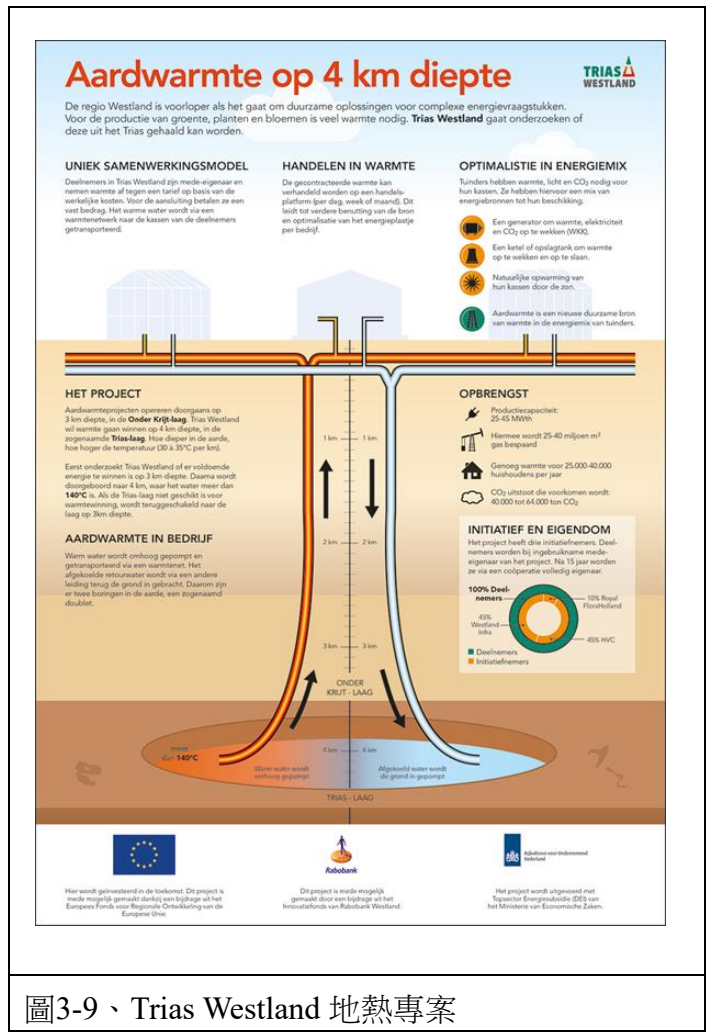
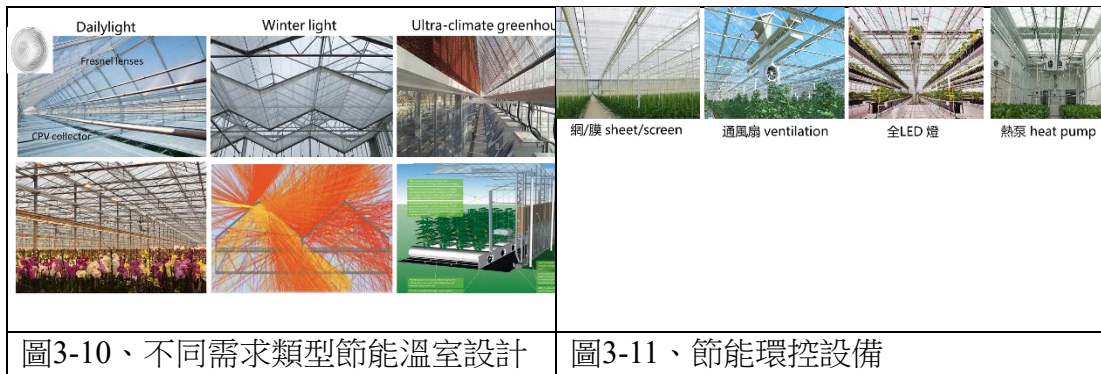


圖3-9、Trias Westland 地熱專案

(3) 採用節能溫室設計及披覆資材

荷蘭為降低冬季加溫能源消耗，另有日光型溫室(daylight greenhouse)開發，配有雙層玻璃，在大型菲涅耳透鏡(Fresnel lenses) 聚光板聚集光線和太陽能集熱系統的幫助下，溫室將直接的太陽輻射轉化為熱量，該技術還可用作屏蔽裝置，以防止直射太陽光，陽光漫射部分有助作物生長，它節省了成本，並且作物的產量顯著增加，因此具有發電、儲熱及控制光量，散射光源等功能。聚光板使用光照感測器控制，當日照強度大時聚焦太陽光用於發電或儲熱，日照強度低時則不聚光而讓陽光直接進入溫室內，藉此原理用以調節控制進入溫室之光量。數據指出 Daylight Greenhouse 聚光設計發電量約為 16 kWh/m²/year，加熱熱源約為 4,000 MJ/m²/year，惟因建造成本過高。

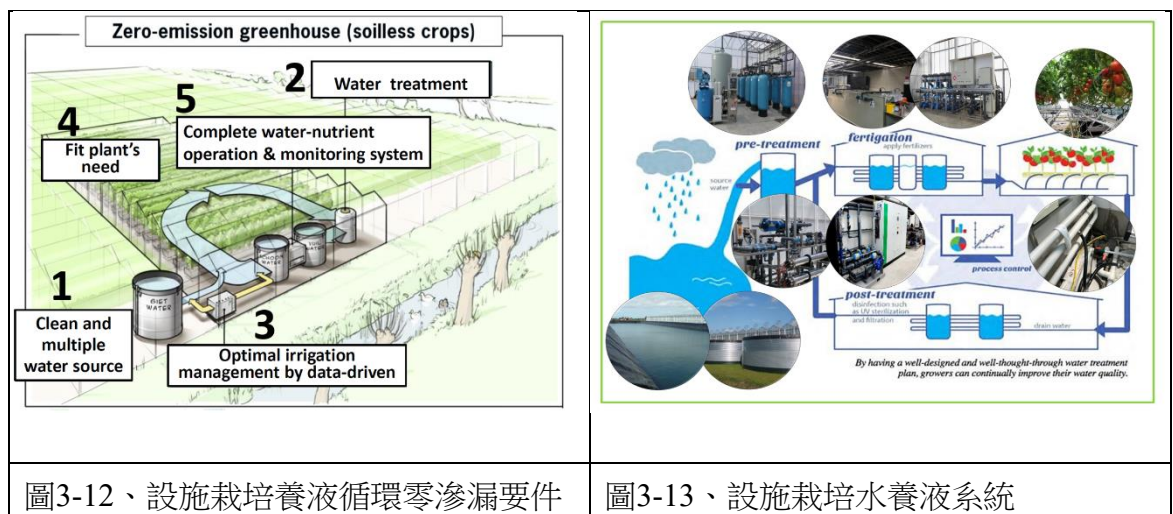
又荷蘭設施園藝發展以永續環保為主要目標，除了節省能源的使用外，同時節省 CO₂排放量，逐年提升能源使用效率。為了達到這個目標，產官學界致力於溫室通風、栽培模式及發電系統等研究，並提出七項溫室栽培要點來達到節能目的，包括引外氣除溼、利用遮陰網及節能網、全 LED 燈補光、依據外部氣候變化調整溫室環控設定、溫室內空氣分布均勻及利用地底儲水槽及熱泵系統於溫室降溫。



(4) 養液循環零滲漏 zero-emission

為達到水資源高 WUE 及零滲漏，在封閉式無土栽培模式下其策略包含：多元且質佳的水源、水質處理、灌溉管理、符合作物所需及完善的水系統，系統應包含雨水儲藏、滲漏液回收儲藏、廢水儲藏、水源混合、水質處理、養液配置等單位，且為了準確控制根部區域水量和養分進入介質均一性且便於管理介質水分含量 WC 和 EC，以滴頭 dripper 為佳，以番茄和黃瓜為例，適用於容量為 $3L \cdot hr^{-1}$ 。並透過感測數據估算、監控及回饋進行施肥灌溉精準管理，目標為創造一個穩定的根區環境，從而實現零排放種植。

目前農業灌溉用水之可使用雨水、河川水、地下水、井水、泉水、自來水...甚至是逆滲透水等，唯使用前需先經水質檢測及處理至合適範圍後才能運用。設施養液栽培常用原水有地下水、自來水及雨水，若以 EC 和 pH 衡量，雨水及自來水之水質較為穩定，而河川水及地下水之水質較差且含有病原菌的可能性較大。雨水儲存的设计應能供應全年溫室用水，荷蘭溫室種植者有義務根據法律，雨水儲存能力至少為每公頃500立方米的水，大多數溫室存儲容量範圍為每公頃 500-1,000 m^3 。



(5) 病蟲害綜合防治，天敵施用大幅減少農業化學品使用

荷蘭設施栽培果菜類100%接採用用綜合有害生物管理，溫室內使用化學藥劑部分僅利用燻硫磺防治露菌病等病害。釋放天敵防治害蟲與蟎類為主要的

一環，並會定期用給天敵吃的食物以維持設施中的密度，除去的老葉會留植床下或種植僻護植物作為天敵的棲息地。天敵分為專一性較高的 **specialist predators** 及較無選擇性的 **generalist predators**，而 Koppert 為荷蘭主要的生物防治資材公司，其應用在溫室內的粉蠹與薊馬防治已商品化的天敵超過35種以上，並能每週將產品配送至農民手中，最名的 **specialist predator** 是智利捕植蟻 (*Phytoseiulus persimilis*)防治溫室內危害植物的蟎類，而另一種重要的捕植蟻 *Amblyseius wirskii* 則屬於 **generalist predator**，而以果菜類栽培常見的銀葉粉蠹，該公司則有7種商業化天敵產品。

此外，關於溫室周圍的生物多樣性(**diversity**)和植物多樣性是否對溫室病蟲害管理具有潛在風險或益處，一直存在爭議。WUR 經過長期評估設施栽培與周邊生態系，認為潛在風險通常不會超過溫室周圍生物多樣性的許多好處，特別是對於有機耕作系統或最少使用農藥的作物。好處包含(1)可促進天敵的湧入，抑制溫室內的本土和外來害蟲。(2)可以支持昆蟲的湧入，有助於某些溫室作物的授粉。(3)可以透過減少溫室外天敵的密度來對某些害蟲物種發揮重要作用。(4) 溫室周圍的植被可以作為溫室害蟲的陷阱，防止其遷移到鄰近的溫室，但只有當這些害蟲也受到這些植物上的天敵控制以防止溢出到溫室時，這種作用才可能發揮作用。

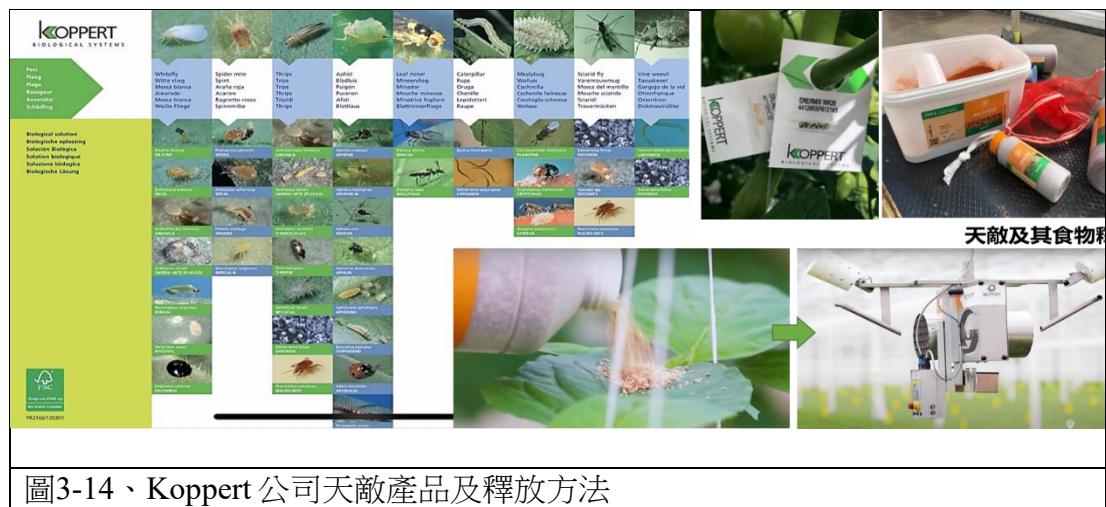


圖3-14、Koppert 公司天敵產品及釋放方法

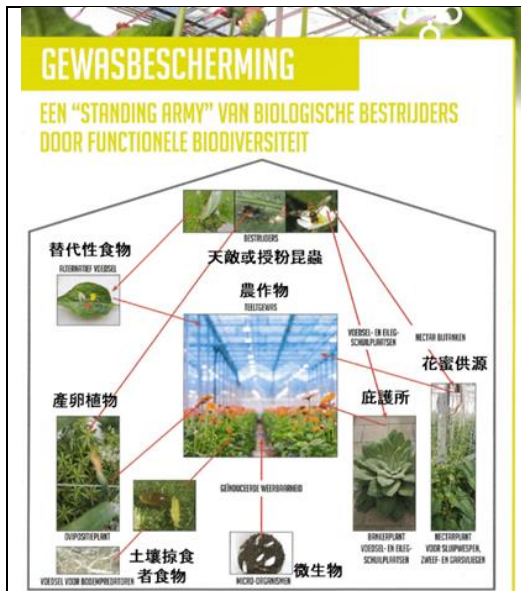


圖3-15、Greenhouse2030內利用多樣功能性生物進行作物防治

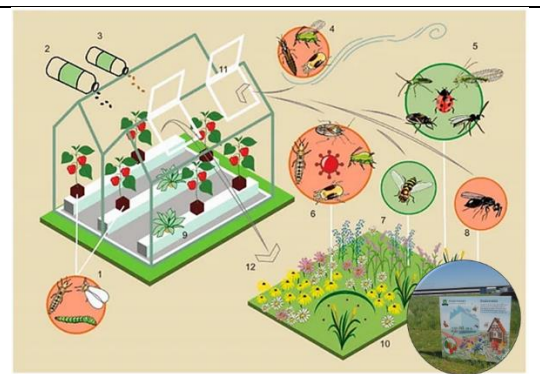


圖3-16、害蟲、病毒和超寄生蜂(橙色)、天敵和傳粉媒介(綠色)的潛在作用途徑

3. 溫室內的 CO₂

CO₂雖是石油、天然氣和石化行業許多過程的副產品，但植物行光合作用生長也需要它，因此荷蘭溫室營運商與該國的工業部門合作，利用這種副產品和從而通過降低國家二氧化碳淨排放量為應對氣候變遷做出貢獻。2005年 CO₂ 首次透過植物同化有機二氧化碳 (OCAP) 公司建立的管道網絡自鹿特丹輸送到溫室區，商業溫室營運商支付二氧化碳供應費用，這些 CO₂ 主要來自生物乙醇工廠，OCAP 每年供應約 400,000 噸二氧化碳，溫室園藝可節省約1.15億立方米的天然氣，從而減少205,000噸二氧化碳排放總量。然在現在要減少 CO₂ 排放趨勢下，WUR 研究致力於優 CO₂ 以及其他植物生長變數的利用；如開發了二氧化碳劑量模擬工具「CO₂-viewer」，監控並顯示種植者 CO₂ 劑量策略的效果，例如可以將中午前後的 CO₂ 劑量與早上的劑量進行比較，並考慮了所有相關的溫室建築特徵和氣候控制設定。而目前 WUR 正在研究如何從外部空氣中捕獲在溫室中種植植物所需的 CO₂，並評估其純度品質對作物的影響。



圖3-17、OCAP CO₂管道網絡



圖3-18、利用 NEPC 評估 CO₂ 施用策略對作物生育影響

四、荷蘭 WUR -NPEC 植物生態表型中心

(一) 簡介

荷蘭植物生態表型中心(The Netherlands Plant Eco-phenotyping Centre, NPEC) 於2022年九月啟用，為綜合性國家研究機構由 WUR 和烏得勒支大學(Utrecht University, UU)設立，並由荷蘭科學研究組織(Netherlands Organisation for Scientific Research, NOW)共同資助。其主要任務為引領植物科學領域的創新研究，期望透過研究釐清決定植物性狀、環境、基因之間相互作用與調控機制，並提供研究人員和業界最先進的植物表型分析設施與服務，藉此開發永續農業解決方案，以保障糧食安全和減緩氣候變遷對於農業生產的影響。

(二) 訪談重點紀錄

1. 國際作物模式演算自動化植物表型分析設施

依規模可概括區分為實驗室、溫室及田間三個層級，而建置內容則包含：
(1)智慧環境控制或紀錄的場域：意即可控制環境的生長箱或溫室，抑或在具備記錄環境條件下的空間、溫室或是田間；(2)自動化載具：現有的系統包含輸送帶、天車、自走式機器人(robotic vector)、無人機(UAV)或衛星等載具；(3)多維度感測器系統：現行最常被應用的感測器有 RGB 影像、多光譜或高光譜、熱影像、螢光、雷射及斷層掃描等影像技術，皆具有高解析影像偵測及分析的潛力，進而得以建立多維度非侵入性外表型分析方法；(4)植物影像分析軟體：影像分析完整流程包含偵測器、前處理、分割過程、特徵萃取及機器學習演算法等步驟。

2. NPEC 設施與功能

主要有6個表型分析模組，其中模組1-Ecotron、模組2-Plant-Microbe Interaction Phenotyping 和模組3-Multi-Environment Climate Chambers 位於 UU 校區，模組4-High-Throughput Phenotyping Climate Chamber、模組5-GreenHouse Phenotyping 和模組6-Open-Field Phenotyping 則位於 WUR 校區，今就本次參訪之模組4和5說明。

(1)模組4: High-Throughput Phenotyping Climate Chamber

於 NPEC 共計有5個 High-Throughput Phenotyping Climate Chamber，其中3個面積大小約為20 m²和2個約15 m²，每個模組可容納300到2,200株植物，在此密閉式表型分析模組中空間配備先進的測量設備，包含植物 LED 照明系統，使研究人員能夠改變光質量和光量條件；表型分析功能則包含 RGB、高光譜、葉綠素螢光、熱成像等分析功能，可快速了解不同植物品種、基因型在不同氣候條件下的生理表現與生長差異。

(2)模組5: GreenHouse Phenotyping

溫室型模組裝設輸送帶系統將植物運送到影像擷取站進行地上部表型分析，

包含3維立體結構重建、葉綠素螢光、熱像儀分析功能。除了輸送帶系統外，亦建置溫室天車系統，將表型分析設備移動至植物上方進行表型體擷取，包含3維立體結構重建以及熱像儀，在不移動植物的情況進行表型分析。



圖4-1、Phenotyping Climate Chamber



圖4-2、Phenotyping Climate Chamber 內部



圖4-3、輸送帶系統 GreenHouse Phenotyping



圖4-5、天車系統 GreenHouse Phenotyping

五、荷蘭農業、自然及食品品質部

(一)簡介

荷蘭農業、自然及食品品質部(Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality)主則該國農業政策、促進農業生產和可持續發展、保護自然資源、監管食品安全和品質、支持農民和養殖業者等業務。為促進農業發展，該國以開放經濟、中央地方通力合作、公私協力與農村軸線延伸至都市等四大機制推動。為達成2050淨零排放目標，運用增加提高能源稅、施行強制節能措施、協助企業制定溫室氣體排放量測工具等政策推力；並以投入經費於科技與創新研究、補貼節能設施、加強基礎建設、支持地方政府方案等作為政策誘因。為達成2050淨零排放目標，荷蘭2030年預計減少55%溫室氣體排放(以1990年排放量為基礎)

(二)訪談重點紀錄

1. 荷蘭農業概況及推動農產業機制-4主軸、公私合作

荷蘭土地面積約420萬公頃，可耕地面積50萬公頃;每年農產品出口值約1,240億歐元。主要農產品包含乳製品、馬鈴薯、豬肉、球根花卉及玻璃溫室園藝作物，其中玻璃溫室園藝面積僅 9,000公頃，佔總產值1/3。透過開放經濟、互信與合作、公私協力與農村軸線延伸至都市等四大主軸推動農業發展。其中公司合作夥伴關係(Public Private Partnerships (PPP) 係包含中央地方政府、學校與研究機構及企業私部門共同協力推動淨零循環相關政策。

2. 農業及土地利用

荷蘭推動氣候變遷減緩政策，目標朝「減碳」及「增匯」2大方向，在農業生產及土地利用減少溫室氣體排放並增加土壤中碳儲存量，涵蓋領域包含畜牧業及可耕地土地，也透過研究及創新、補貼計劃、補償及財政措施等政策工具。在氣候法規面除遵循歐盟法規、IUCC 指引及氣候協定等，該國也制定「國家氣候法」，規範於2030年減少碳排放55%，直至2050年達碳中和或淨零排放目標。

3. 溫室園藝目標驅動政策

荷蘭溫室園藝面積約9,000公頃，種植球根花卉及玻璃溫室園藝作物，面積雖小但產值可達農業種產值1/3。因受氣候條件因素影響，溫室每年需消耗37立方天然氣用量及排放約480萬噸二氧化碳當量，爰透過2019-2030溫室園藝目標驅動政策，加速朝無石化能源供應區域型態措施、更新溫室設備及整合建置二氧化碳、熱力及電力商業供應體系等方式。另自2025年起廢除溫室園藝低能源稅率及取消天然氣零稅率及強制節能措施等，加速實現能源轉型。

4. 畜牧業及可耕地政策

荷蘭畜牧產業所產生碳排放，佔農業碳排放量2/3，為該國首要解決關鍵。目標為畜牧業之豬隻及牛隻減少甲烷(CH₄) 排放量，及減少施用畜禽糞所造成氧化亞氮(N₂O)排放量。政府推動政策主要分為補貼及收購措施，針對願意導入減碳技術之農場或自願退出或降低飼養頭數之畜牧場給予補助，並收購自然保護區周圍農場。

5. 國家土壤計畫 National program agricultural soils (NPL)

積極發展永續農業，在歐盟國家共同製定所謂的共同農業政策 (CAP) 下執行「國家土壤計畫」，該計畫中自2023年起辦理生態活動補助，提供21項生態活動增加土壤有機質含量及土壤碳匯，如草生栽培、避免過度耕犁、作物輪作、種植綠肥作物、施用固態肥料及堆肥，這些措施有利於增加土壤肥力、生物多樣性、氣候調適並涵養水質，農民自行選擇合適經營項目或興趣生態活動，獲得補償金。



圖5-1、公私合作伙伴關係

圖5-2、溫室園藝目標驅動政策



圖5-3、國家土壤計畫之生態活動補助

六、丹麥 Aikan A/S 企業

(一)簡介

Aikan A/S 企業為一家處理廢棄物之共發酵 (Co-digestion) 集中處理場，該公司集中處理之有機廢棄物包含都市廢棄物、果菜殘渣、廚餘、農業剩餘資材、污泥及其他綠色廢棄物。透過共發酵後產生之再生能源 (沼氣) 進行銷售。再生能源後續作為運輸、發電或熱能使用，另外亦產製堆肥作為園藝栽培介質，本次參訪由該公司技術執行主席 Dr. Morten 為我們講述及介紹。

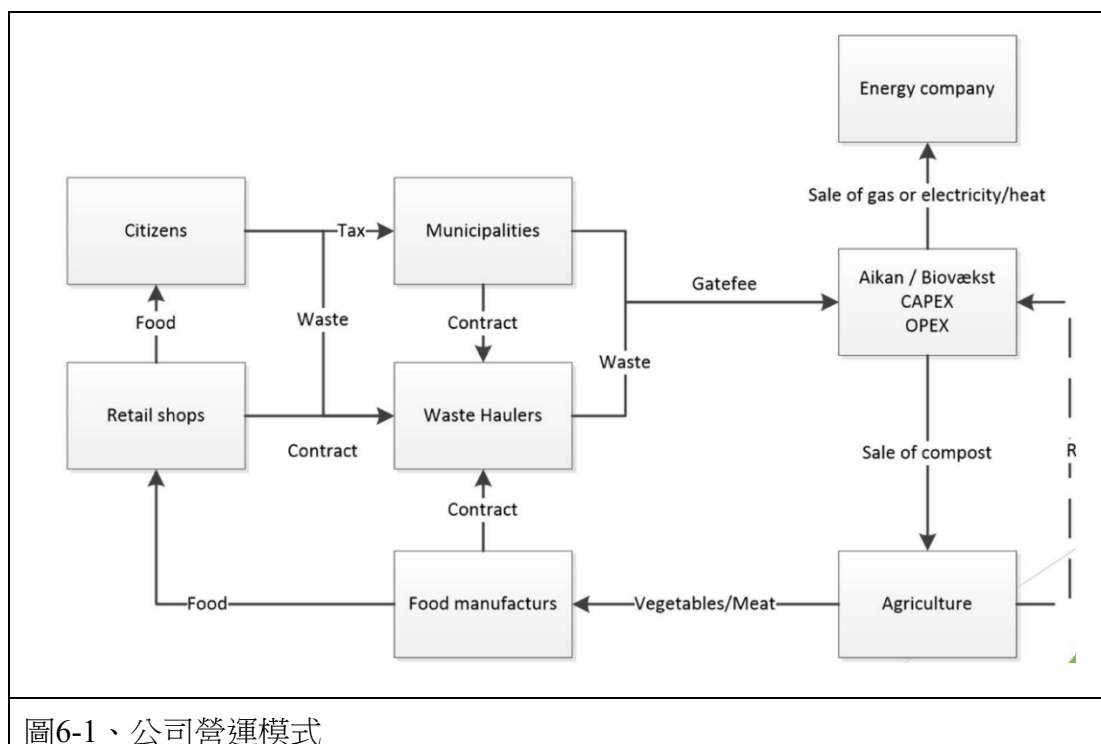
(二)訪談重點紀錄

1. Aikan 營運模式

該公司營運模式如圖1所示，透過垃圾回收場將所收集的廢棄物，運至 Aikan 進行處理，Aikan 以乾式厭氧發酵方式處理並生產沼氣，銷售再生能源，

固體物後續製作成堆肥販售。

該公司收入來源包含再生能源以及堆肥的銷售，其中再生能源的銷售為目前主要的收入來源，大約佔總收入的90%。圖1中的 Gatefee，即處理費用。在過去 Gatefee 為該公司其中一個重要的收入來源，Dr. Morten 表示，大約20年前，該公司以每噸廢棄物100歐元收取處理費用，但現今因為銷售再生能源價格提升，加上沼氣場生產之沼氣效能提升，已足以負擔處理費用。因此，目前原則不收取理費用，除非料源的生物質太低，需要額外進行複雜的前處理，則仍會向交付者收取部分處理費用，但若料源具備較高的生物質，該公司甚至願意支付費用購買具高生物質的料源。



2. Aikan system

該公司開發一套專門處理有機廢棄物的 Aikan system，如圖2所示。此系統由水解（Hydrolysis）、甲烷生成（methane production），以及堆肥處理（composting）等三步驟所組成，此系統最小處理量能為20,000公噸。水解及甲烷生成階段約3週的處理時間（厭氧發酵約5-10天），堆肥處理約8到10週的處理時間。

此系統三步驟，第一步為水解採用批次處理，廢棄物於 waste processing models 內透過微生物分解有機物質，產生揮發性脂肪酸及其他可溶性物質，水解過程使 pH 下降並產生二氧化碳，低 pH 值的條件下亦加速水解過程，同時抑制甲烷的生成。過程中產生的滲出液再經由該模組底部排至 gas reactor 內，此階段 pH 值控制於4-7，約10%沼氣於此生成。第二步甲烷生成，此步驟採連續進料方式，模組內的滲出液（含脂肪酸）被輸送至 gas reactor 內生成甲烷。

此階段 pH 值控制6以上，促進微生物將揮發性有機物質轉化為甲烷，進而增加甲烷的產量。溫度控制於38°C，使用汽電共生系統來產熱，維持 gas reactor 溫度。Gas reactor 內無另外添加發酵菌，而利用監測發酵菌之 RNA 量，了解分解有機廢棄物最適之發酵菌種類，90%的沼氣於該槽生成。第三步堆肥處理，當 waste processing models 內的廢棄物之沼氣生成潛力下降時，模組內將進行強制曝氣，啟動有氧堆肥處理。

此系統於處理過程皆保持封閉，固體物不會被移動，僅液體與氣體於 waste processing models 及 gas reactor 間循環，因二氧化碳部分於模組內的水解階段產生，使得 gas reactor 中產生的沼氣中甲烷濃度可達80%以上，此步驟有利於減輕後續沼氣純化的負擔。技術將厭氧發酵過程主要的兩階段（水解、甲烷生成），分別於兩個設備內進行，以符合每個階段最適合的 pH 值條件，提高整體過程的效率。

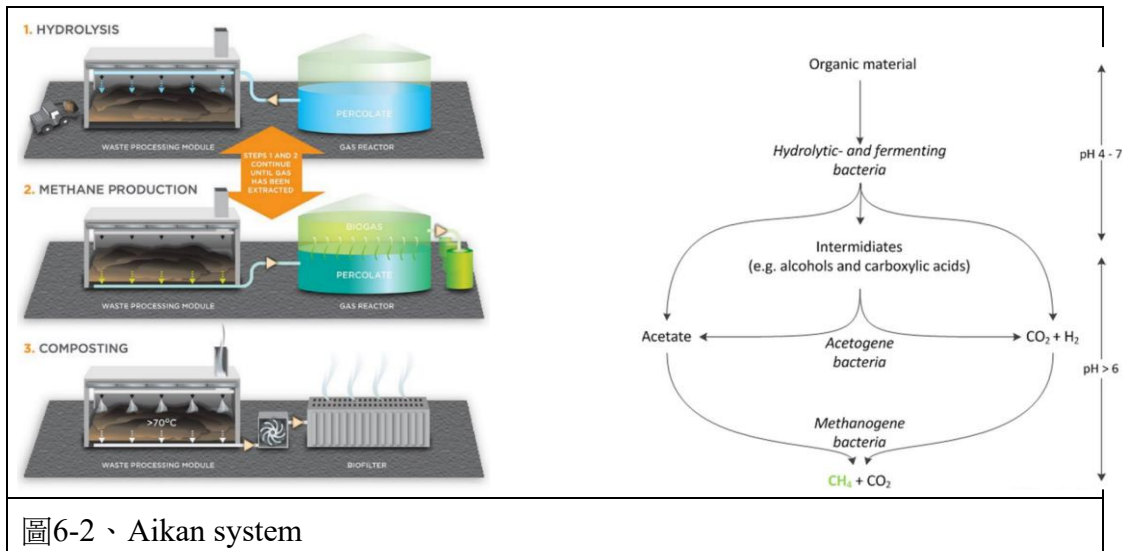


圖6-2、Aikan system

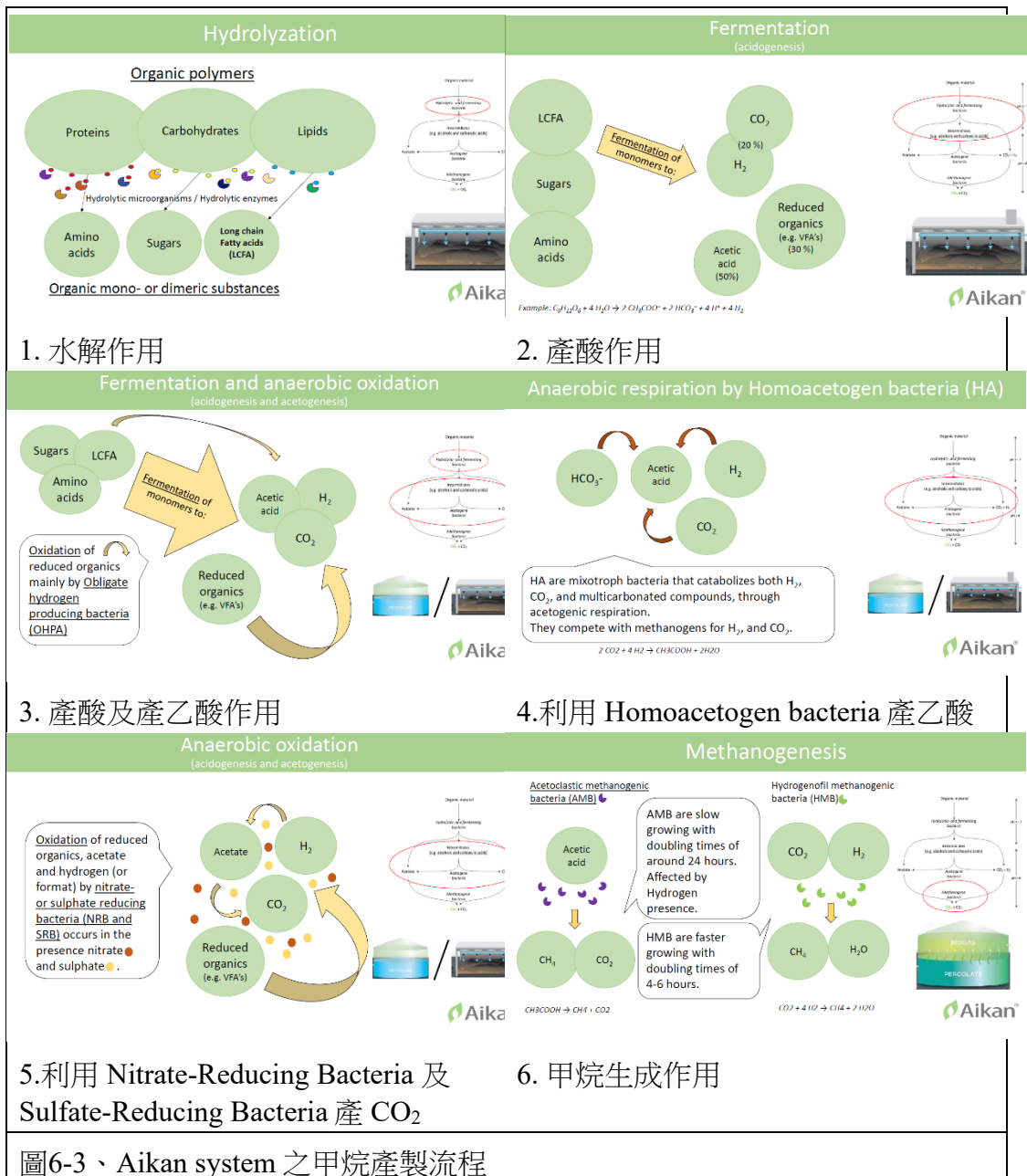


圖6-3、Aikan system 之甲烷產製流程

七、丹麥哥本哈根大學(UCPH)Taastrup 校區試驗田

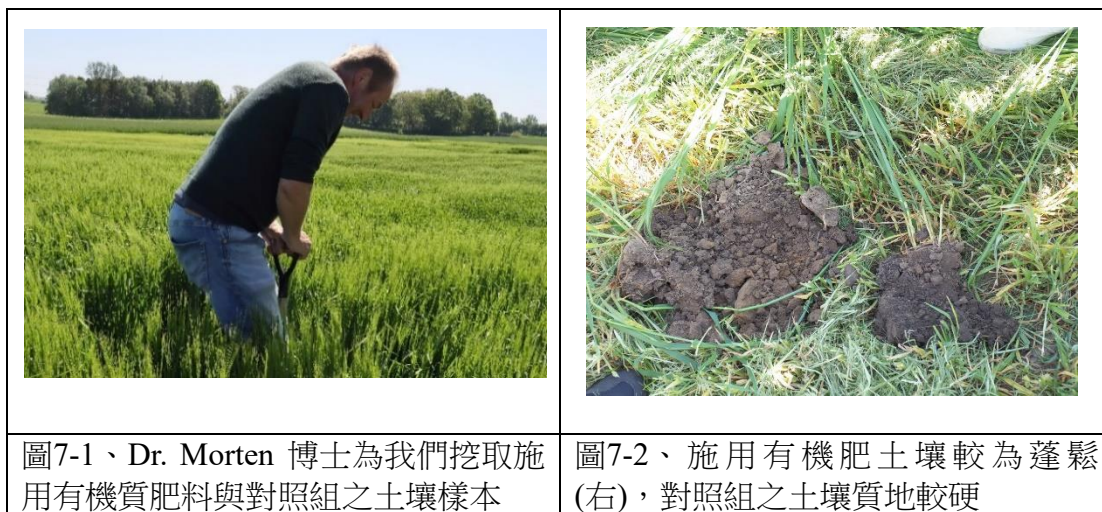
(一)簡介

本次參訪由哥本哈根大學植物與土壤科學部 Dorette 教授，講解他們在該校區的長期試驗田地，目的為該研究透過調查各類型都市廢棄物(如:家庭有機廢棄物堆肥、人類尿液氮肥、脫氣汙水汙泥)與有機肥料(如:家畜堆肥、礦物肥...等)，與農業環境永續進行連結，針對土壤有效利用、作物品質與環境影響作為實驗標的，設計規劃出一區僅使用都市廢棄物肥料與有機肥料的試驗田，自2002年開始，於該試驗田進行長達20年試驗。希望藉由參訪哥本哈根大學長期試驗田地，瞭解該學校研究對於不同肥料會對土地營養循環和環境造成什麼影響。

(二)訪談重點紀錄

1. 試驗田之試驗目的

為因應歐盟限制化學肥料施用量之限制，在該校試驗田施用堆肥量為作物推薦肥料量之10倍、評估對土壤及作物長期之影響。經由20年試驗結果，目前所有不同來源的堆肥以10倍量施用，均無不良影響。此外，Morten 博士為我們挖取施用有機質肥料與對照組之土壤樣本，長期使用有機肥使土壤質地較為健康與鬆軟，其農作物生長較好、株高與產量均高於對照。



2. 堆肥試驗結果

(1) 堆肥施用效益分析：根據哥本哈根大學試驗研究結果顯示，該試驗田區之有機廢棄物添加測試，試驗組包括施用沼渣堆肥技術，將家庭與花園、公園廢棄物混和製成堆肥(CH)、施用過量的堆肥(CHA)與對照組 (U)。施用過量(正常使用10倍量)的堆肥之土壤總體密度低於對照組(U)與正常堆肥(CH)；CHA 堆肥之土壤有機碳含量達3.5%，遠高於對照組(U)的1.2%。此外，高量堆肥處理之土壤質地較為蓬鬆，耕犁時可節省25%燃料支出，與一般推薦堆肥施用之土壤較對照組節省14%相比，可減少更多能源。

- (2) 長期監測土壤中的微生物相的族群變化，經由高量施用有機質的結果，其細菌和真菌的多樣性沒有受到影響，但會增加微生物的活性與數量。
- (3) 現階段則是不再澆灌任何肥料之長期試驗，測試經由長期施用高量堆肥後，瞭解土地之生產與恢復潛力。

3. 未來測試項目

正在研究微塑膠的出現和可能的分解，法國國家農業技術研究院 (INRA)，正在對人類尿液處理區中的藥物殘留和抗生素抗藥性進行深入研究，並與牛糞和污水污泥進行比較。將在現在和未來幾年的實驗中探討碳、氮、磷及硫循環的基本問題。

八、丹麥 Solum Roskilde 企業

(一)簡介

Solum Roskilde 公司是丹麥回收領域的領先公司。主要業務專注於創新的廢物處理和回收技術。當日由技術主席 Dr. Morten 講解有關沼氣生產及園藝堆肥方式。該公司處理園藝、公園和商業廢物並將其進行堆肥處理，並設置一處大空間的回收場域。其中，回收場內之機器人分類技術尤其引人注目，它能夠在廢物處理過程中自動分類和回收各種物品，提高了廢物處理的效率和回收率。該公司的目標是成為100%循環公司。

該公司位於丹麥的砂石業專用區，在合法的場域可以處理大量的廢棄物，並生成可再利用之堆肥。該公司回收的類別以花園及公園垃圾(包含樹樁和樹根)、混合建築垃圾(拆除下來的木材、混凝土、碎石、金屬及塑膠等)為主。本次參訪係了解 Solum 如何運用創新技術處理各種廢棄物，其中，觀摩該公司創新機器人分類技術，包括其工作原理、效率和應用範圍。以及他們對循環經濟的理念。

(二)訪談重點紀錄

1.回收機器人手臂運作模式

為了處理大量的建築廢棄物，包括木材、混凝土、金屬及塑膠，該公司搭建大型之建築物作為處理的空間，開發自動分類之機器人手臂，在室內處理營建廢棄物，機器人具有影像辨識功能，可優先撿取高價值的物品，如木頭及金屬類。分檢完後之木頭再移出作為生物燃料與堆肥作業。分類後的木質廢棄物再與花園、公園廢棄物，進一步在場內露天空間再處理作成堆肥、並提供客製化的產品。






<p>圖8-1、Solum Roskilde 辦公室公司外觀</p> 	<p>圖8-2、技術執行主席 Dr. Morten，解說沼氣生產及園藝堆肥方式</p> 
<p>圖8-3、Solum Roskilde 回收廠房外觀</p> 	<p>圖8-4、參訪 Solum 公司室內的回收場域</p> 
<p>圖8-5、回收機器人手臂作業區一</p>	<p>圖8-6、回收機器人手臂作業區二</p>

2. 綠色廢棄物堆肥技術簡介

從公園及家戶庭園產生的廢棄物(公園與花園植株殘體、樹根)，通常含有植物殘株、土壤或是混雜塑膠與尼龍繩，進入 Solum 公司場區後，在場內將土及植物殘株分類後，再進行粉碎處理，取得粉碎後之土壤/木屑/植株殘體後，進一步在露天進行堆肥製作，整體流程如。

堆肥製造之環境嚴密監控，並客製化產業所需堆肥。製作堆肥的場域會先在底部鋪設具有孔洞的管線，在堆肥發酵過程中，會藉由通風設備打入空氣及調整溫度。堆肥上方設置探測器監控溫度，堆肥期間要定時攪拌，約14天左右內部中心溫度可達70°C。當溫度超過監控值後，會先依照當時環境調整溫度，並作適當處理，減緩其生成溫度。

	
<p>圖8-7、回收廢棄中混雜塑膠草坪或尼</p>	<p>圖8-8、綠色廢棄物進行堆肥製作流程</p>

<p>龍網</p> 	
<p>圖8-9、具有孔洞管線鋪設堆肥底部</p>	<p>圖8-10、堆肥底部露出管線連接通風設備</p>
	
<p>圖8-11、通風設備</p>	<p>圖8-12、堆肥上方設置溫度偵測器</p>

3. 堆肥產品開發與應用

由於丹麥有大量的家庭庭園、公園及球場，Solum 公司發展出客製化所需堆肥。在製作堆肥之前，已將土壤與植株分開處理。在堆肥熟成後，依客戶的需求再拌入土壤，直接於產業利用，例如用於土壤追肥、盆栽用肥料、改善土壤質地堆肥、適用菜園堆肥、草皮用等。不需要再由業主調整堆肥與土壤介質之成分比例，便利其利用。

九、丹麥 Flemløse 弗萊姆島沼氣廠企業

(一)簡介

弗萊姆島沼氣為一家以收取鄰近3場畜牧場的糞尿與15-20公里外的農業廢棄物為主之沼氣場，每年處理約90,000公噸廢棄物，該場自2020年開始營運，由3名合夥人共同投資，其中一名合夥人有自家畜牧場，另一名合夥人則另經營運輸公司。員工共4名，包含操作員及操作經理。



圖9-1、弗萊姆島沼氣廠

(二)訪談重點紀錄

1. 丹麥沼氣場營運模式

在丹麥，沼氣的再利用方式包含以下5種，發電、將沼氣純化併入天然氣網絡或是燃氣網絡、做為場內的製程用途、運輸燃料使用，以及熱能的來源等。透過這5種方式進行再利用，可獲得政府補助。丹麥政府自2012年起，增加對沼氣生產的補貼，鼓勵措施吸引更多企業與農場投入沼氣的生產。其中沼氣純化併入天然氣網絡的成長趨勢，也從2020年1月的11%到2024年4月成長到37%。Dulum 學院的 Dr. Carsten 表示，預計到2030年，由沼氣純化而來的天然氣將占整個天然氣網絡的75%。

丹麥的沼氣場分布的情形如圖6所示，多數沼氣場位於畜牧場附近，以處理畜牧糞尿為主。少部分位於大城市或者是做為廢水處理廠的一部分。丹麥沼氣場多由農民與投資者共同合作建置，Dulum 學院的 Dr. Carsten 表示，目前丹麥約有55%的畜牧場，將糞尿集中至沼氣場處理生產沼氣，發酵後的消化物在等量回到畜牧場，其餘45%的畜牧場，依法規要求設置至少可儲存9個月以上的儲存容量，儲存於場內，後續再依允許施用的時間施灌至農地。

丹麥遵守歐盟法規規定，不使用第一代生質料，即食品原料（例如：大豆、玉米等）作為生產生質能源之用途，目前尚允許使用第二代生質料，例如農業廢棄物。沼氣場需不斷找尋有潛力的生物質來源，包括不同類型的草和其他非食用作物。

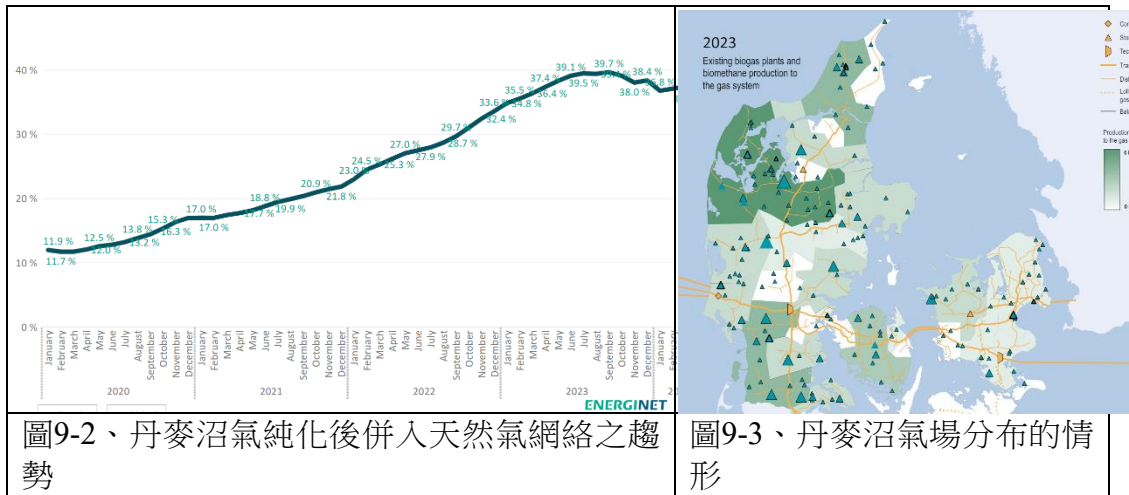


圖9-2、丹麥沼氣純化後併入天然氣網絡之趨勢

圖9-3、丹麥沼氣場分布的情形

2. Flemløse Biogas plant 營運模式

(1) 料源取得及運輸方式：

該沼氣場會考量料源取得之價格、難易度、政府補貼，以及料源特（例如是否影響發酵過程的 pH 值）等。該沼氣場料源主要取自鄰近3家畜牧場（1家豬場、2家牛場）的糞尿、15-20公里外的大型蔬果農場（約2,000公頃）及食品工廠不具商品價值的蔬果、農業廢棄物等，大部分料源為免費。料源運送方式分為，畜牧場以管線方式將豬糞尿及牛糞尿運送至處理場，其他農業廢棄物則合夥人之運輸公司之運輸車載運。

(2) 政府補貼及處理費用：

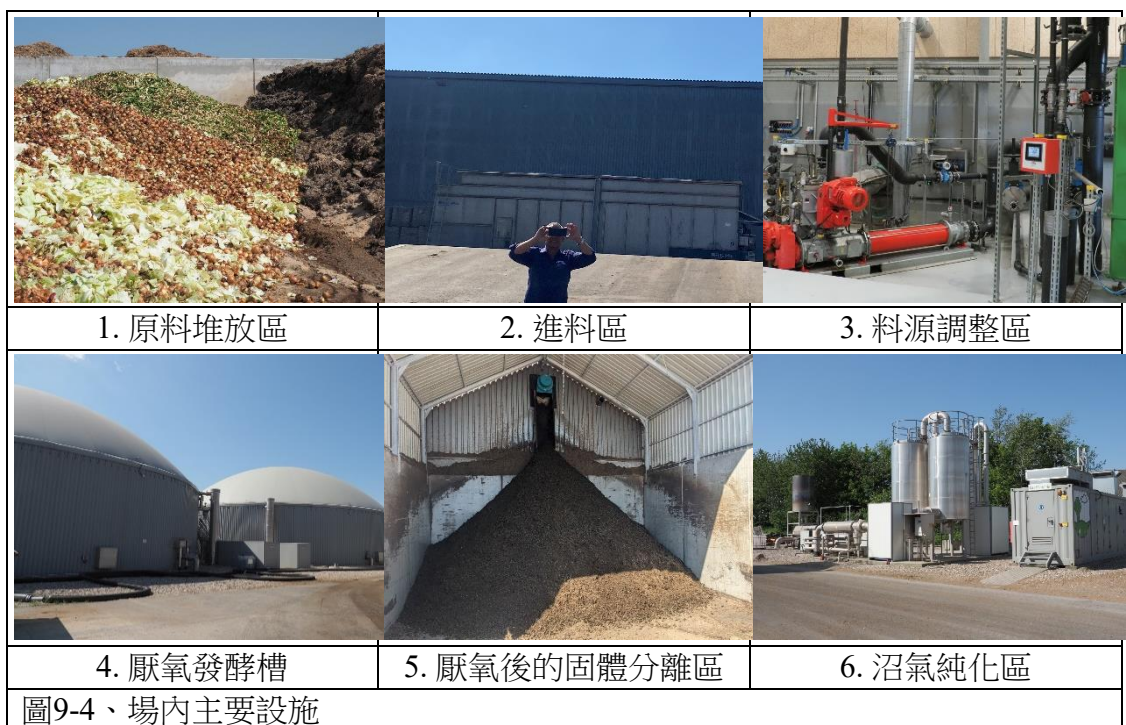
該場自2020年開始正式營運，取得政府補貼20年（2020-2040），補助方式為生產每立方米的天然氣大約可獲得9.5 DKK（丹麥克朗），包含每噸天然氣價格2.7 DKK、每噸綠色認證費3.8 DKK、每噸沼氣政府補貼3.0 DKK。原料成本很低，料源幾乎為免費，只需另外負擔運輸費用。沼氣場收入來源為銷售生物甲烷（biomethane）、堆肥及收取廢棄物處理費用，其中銷售再生能源為最大收入來源。

廢棄物處理費用：依據所交付的有機廢棄物種類，其前處理難易度及沼氣生成潛力，計算是否需要支付處理費，或是可販售有機廢棄物。另外發酵後生成之肥料及沼液，農民（畜牧場）必須等量的取回，並於自有土地進行後續施灌。

(3) 處理方式及日常操作管理：

場內主要的設施區域如所示，包含原料堆放區、進料區、料源調整區、厭氧發酵槽、厭氧後的固體分離區以及沼氣純化區。料源進場後先堆置於原料堆放區，接著於進料區進行切短、破碎等前處理，再進入料源調整區，調整料源的總固形物濃度以及不同料源的比例，接著進到厭氧發酵槽，發酵後消化物進行固液體分離，所得的消化物含水量約70%，發酵過程中生成的沼氣進入到沼氣純化區，進行 H₂S 及 CO₂的移除。

場內每日記錄運營狀況，包含料源、處理量等，每週三開會討論現有材料以及市場供應情況，靈活調整下次進料計畫。並計算料源取得的距離及運輸成本，以確保符合經濟效益。該場目前已著手新建另一座可容納10,000立方米的消化槽，期能以最大限度（延長處理時間）處理更便宜的材料，例如糞便、草和稻草。並持續研究及找尋可行的料源，未來考慮自啤酒廠收集廢棄物以提高沼氣產量。



A. 厭氧發酵

為確保進料乾物質（dry matter, DM）的濃度，若 DM 太低，固體物會浮在頂部影響槽體，但若 DM 太高則不利於輸送，因此進料前將 DM 調整至18-19%，出料 DM 控制於10%左右。此外，進料之料源比例依各別料源之沼氣潛力計算。厭氧發酵槽之槽體容積約5,800立方公尺，料源於槽內停留約50天。槽內溫度為維持在42度。為維持槽體內溫度且節省能源，透過熱交換器產生熱量。此外，為降低人力需求，透過自動化及遠端控制系統，約80%可遠端完成操作。

B. 沼氣純化

該場厭氧發酵產生的沼氣，甲烷濃度約60%，為了後續要將沼氣純化併入天然氣網絡，故純化處理階段，除了設置活性碳吸附塔移除硫化氫之外，並設置薄膜技術設備分離沼氣中的 CO₂，使甲烷濃度提升至符合天然氣標準。此外，此部分可從自動監測系統監測處理後甲烷的濃度，純化後甲烷的濃度約97.5-98%。此外該場表示，其使用的純化設備所需能量僅需所產生能源的10%，相較於其他沼氣場使用總產生能源的20%，所需消耗的能源更低。

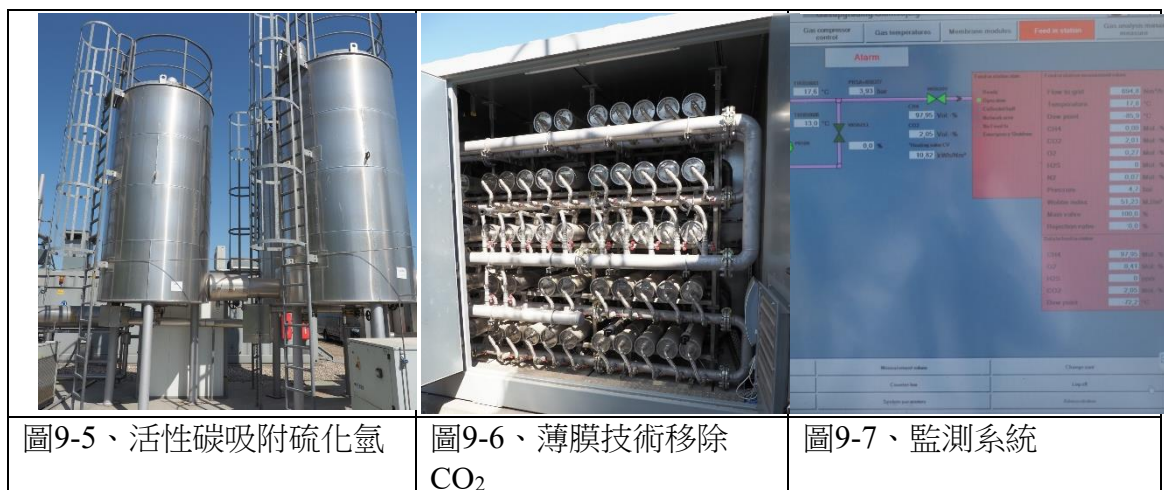


圖9-5、活性炭吸附硫化氫

圖9-6、薄膜技術移除
CO₂

圖9-7、監測系統

十、丹麥達倫農業學院(Dalum Agricultural College)

(一)簡介

丹麥達倫農業學院(Dalum Agricultural College)，於高中(16至18歲)之農業課程中，除農場經營相關之基礎專業知識與技能(如動物照顧、作物生產等課程)外，亦著重實務操作技能之養成如：農機使用、農藥施用、水電修繕、焊接技術等課程，並強調操作過程中之安全防護概念。

(二)訪談重點紀錄

1.循環教學理念及模式

該校並與農業機械公司簽訂設備租賃契約，每2-3年更換實習用機械，使學生得以學習最新型之農機設備使用方式，並於就學期間取得農機與農藥使用證照。該校教學內容含括職場安全意識建立，有助於建立良好職場環境，照顧員工福祉，相當值得借鏡。另透過租用確保提供學生最新型之農機設備，減少產學落差，可供我國評估調整現行農業機械補助政策，評估成立農業機械或農用設備租借中心，讓使用者以租代買方式，提升農機使用效率。

2.丹麥淨零相關政策與研究教育方針

為達成2050淨零排放目標，丹麥預計於2030年減少70%溫室氣體排放(以1990年排放量為基礎)。環境績效指數(Environmental Performance Index, EPI)，係對180個國家的氣候變遷績效、環境健康和生態系統活力進行排名。依據2022年統計數據，丹麥全球排名第1、臺灣第74(農業領域丹麥第1，臺灣第94)。

丹麥於2006年已禁止露天撒施堆肥，而改以注入式農機，直接將沼液灌注土中，以避免施用過程中氨氮逸散至大氣及異味飄散。惟查我國目前未就相關肥分施用方式進行規範，該類農機亦因價高而未普及，建議未來可研析肥料施用方式對溫室氣體排放與環境污染之影響，以評估限定堆肥施用方式之必要性。



圖10-1、各式實習用農業機械



圖10-2、實習牧場



圖10-3、限制禁止露天撒施沼液沼渣



圖10-4、沼液直接灌注土中避免氨氮逸散

肆、心得與建議

一、政策面：

- (一)永續循環相關法規調適：參訪荷蘭 Rotterzwam 公司，利用咖啡渣再製菇包介質及加工食品等，初期同步面臨法規限制問題，後續透過修正調整相關法規才得以建立商業循環利用模式。此現象同步存在於國內推動循環產業應用，將規劃進行我國農業用地容許使用土地、再利用方式等法規修正調整，以解決循環實務運行操作之限制。
- (二)制定肥料施用相關規範指引：丹麥政府規定沼渣沼液採直接注入土壤之施肥方式，我國目前未就相關肥份施用方式進行規範，注入型式農機亦因價高而未普及，建議未來可研析肥料施用方式對溫室氣體排放與環境污染之影響，以評估限定堆肥施用方式之必要性。
- (三)永續減碳生態計畫：參考荷蘭政府辦理「國家土壤計畫」之生態活動補助方式。將規劃於我國農業經營專區中試行28項農業永續發展工作，如取得有機驗證、使用生物防治、低耕犁栽培、種植綠肥作物、種植節水作物及設置生態池等。採階段性推動策略，先透過專區實際操作後並滾動調整，未來再逐步輔導擴集至農民端。
- (四)建立區域資源處理中心：丹麥弗萊姆島沼氣場利用收集場區方圓20公里內大型蔬果農場之格外品與豬牛糞尿進行厭氧消化，產生純化再生能源甲烷併入天然氣網絡。我國可借鏡丹麥企業模式，依料源特性協助區域性共同處理場建置及輔導營運。

二、研究面：

- (一)台荷合作建立智慧精準栽培及數位育種平台：透過國際合作及科研計畫經費支持，結合種原、泛體學整合、新型 AI 育種策略及世代加速技術，建立重要作物數位育種平台。並利用環境組學數據和多環境試(METs)，來解釋基因型、環境與栽培管理間的交互作用，進一步優化生長或能源利用預測模型，推動臺灣農業育種進入精準栽培與數位育種的時代。
- (二)GREENHOUSE2030 永續設施生產管理策略：永續節能的設施生產策略須取決於當地情況，因地制宜，並無所謂的通用解決方案。應著重於整合性的設施栽培體系建立及研發設施能源利用及最小經濟規模評估模式；另為求化學性農藥使用量減少，國內天敵防治的研發及國外天敵或微生物產品引進評估亟待進行。
- (三)國家植物表型體分析系統：參考荷蘭瓦赫寧恩大學植物表型中心(NPEC)，本部農業試驗所已於112年完成「國家植物表型體分析系統」的建置，包含於環控溫室下德國 LemnaTec PhenoAIxpert HT 系統(配置光學及雷射感測器的照相系)，同時於露天田區建置荷蘭 Phenospex FieldScan 系統，搭載雙

PlantEye F600雷射多光譜掃描器及 HortControl 3.8 分析系統，針對供試作物(種)系進行20種生物量及植化參數的偵測，可應用於植物生長勢、生物量、病害評估、健康狀態、老化程度、葉綠素含量及氮含量。未來可透過國際合作計畫共享臺荷表型體分析場域、技術平台及相關表型體資料庫，亦因應氣候變遷課題，互為區域試驗場域，驗證特殊特性作物種源，以應用於雙方耐候韌性育種計畫。

三、產業面：

- (一)推廣永續循環理念及操作：以食農教育角度，從源頭減量及提高國內民眾資源循環永續觀念，鼓勵農企業或農場投入農業剩餘物質循環再利用。
- (二)公私協力落實跨域資源回收再利用機制：荷蘭企業 Rotterzwam 為新創公司，收取鹿特丹等地辦公大樓與餐飲場所之咖啡渣，開發成秀珍菇、香菇、杏鮑菇及猴頭菇等菇類之栽培介質。商業模式係向產源端收取咖啡渣處理費用，並開發多元化商品。建議結合企業 ESG 理念，政府及企業間合作，協助開創生物性廢棄物循環再利用商機，減少事業廢棄物產生及開發多元化產品。
- (三)以租代買之循環經濟作為：丹麥達倫農學院係以租用方式，確保提供學生最新型之農機設備，減少產學落差，可供我國評估調整現行農業機械補助政策，評估成立農業機械或農用設備租借中心，讓使用者以租代買方式，提升農機使用效率。