

病蟲害防治及DOK長期試驗研究交流 德國CUBES循環農業模組與瑞士有機

文圖／郭建志、林煜恒

一、前言

隨著全球氣候變遷加劇，農業生產面臨栽培管理困難、病蟲害增加及產量不穩定等挑戰。同時，農業資源循環利用及有機農業發展也受到各國高度重視。為提升農業韌性與永續發展能力，世界各國持續投入大量資源與經費，推動極端氣候調適、農業剩餘資源循環利用及病蟲害綜合管理等相關研究。歐洲長期發展有機農業與循環農業，累積豐富的研究成果與實務經驗，對臺灣農業轉型具有重要參考價值。本次前往德國與瑞士研習交流，透過學術交流與實地參訪，深入瞭解德國洪堡大學 (Humboldt-Universität zu Berlin) 在封閉式農業循環生產的發展，以及瑞士有機農業研究所 (Forschungsinstitut für biologischen Landbau, FiBL) 於有機長期耕作及生物防治研究成果。期望透過本次研習，將歐洲目前農業研究應用成果，轉化為適合臺灣農業發展條件的研究資料與研發方向，作為未來國內推動有機與循環農業整合發展的重要參考依據。

二、德國洪堡大學模組化循環農業系統 (CUBES Circle)

本次拜訪德國洪堡大學 Wael Yakti 教授，觀摩其主導的模組化循環農業系統。該系統為高度標準化且互聯的多模組

封閉式生產體系，以實現「資源零浪費、能量高效率循環」的永續糧食生產模式。CUBES Circle 由三大模組組成，包括昆蟲生產 (Insect CUBE)、魚類養殖 (Fish CUBE) 與植物生產 (Plant CUBE) 模組，三者透過感測與控制技術進行即時資訊交流，形成可監控、可調整的封閉式糧食系統。

Wael 教授專注於昆蟲生產的營運，研究以六種昆蟲為材料 (包含三種黑水虻、兩種蝗蟲及一種鱗翅目昆蟲)，以不同植物來源殘餘物作為飼料餵養昆蟲，分析其轉化為昆蟲飼料的蛋白質組成與營養價值，並將所得之昆蟲蛋白供魚類養殖飼料來源，以降低對外部飼料資源的依賴。魚類養殖過程產生的排水、魚糞及昆蟲殘餘物，再導入植物生產 (以番茄為主要試驗作物)，作為肥料或堆肥使用。整體系統透過智慧控制平台持續監測溫濕度、餌

料供應、成長速率與健康指標，並依數據自動調整運作模式，展現高效率與可擴展的生產潛力。此外，CUBES Circle 的模組化設計可依不同地區需求組合與擴增，未來可應用於都市農業、鄉村社區乃至乾旱沙漠地區，為具備低排放、節能與循環利用特性的糧食生產典範。

三、瑞士有機農業研究機構之 DOK 長期試驗田試驗介紹

本次參訪瑞士有機農業研究所 (FiBL) 的 DOK 長期試驗田，該試驗田於 1978 年在瑞士 Basel 近郊 Therwil 設立，由 FiBL 與 Agroscope 共同主持，是全球最具代表性的有機農業、生物動力農法與慣行農法比較試驗田。DOK 名稱源自三種栽培體系，其中 D=Dynamisch 生物動力 (Biodynamic)、O=Organisch 有



■ CUBES Circle 示範溫室，筆者與 Wael 教授於溫室前合照



■ 本場與花蓮、臺東農改場等參訪團隊一行人，與 FiBL 研究人員在 DOK 長期試驗田合影

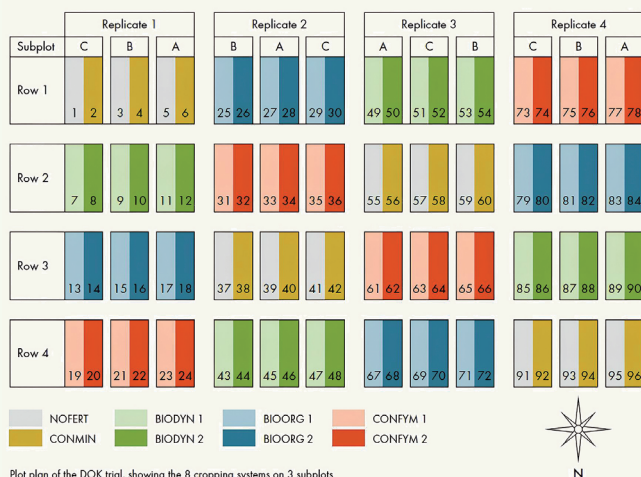
機 (Organic) 及 K=Konventionell 慣行 (Conventional)。主要是長期比較三種農業體系在作物產量、土壤肥力、養分循環、生物多樣性及氣候影響等方面的表現，評估其對永續糧食安全與氣候變遷調適的貢獻。試驗採七年輪作系統運作 (小麥、馬鈴薯、苜蓿草、玉米及黃豆等)，模擬瑞士混合農場的實際耕作模式，並長期記錄肥料施用、病蟲害管理及氣候變化等資料。DOK 長期試驗田的田間設計為 96 個小區，每小區面積為 5×20 平方公尺。內部設置 8 種耕作系統 (cropping systems)，三種體系各設定兩種肥料強度投入。每一系統具 4 個重複，採隨機完全區集設計 (randomized complete block design)，又為模擬不同氣候年份與作物

循環，每一個主處理又分成 3 個子小區，三者對應輪作系統中的三種不同作物，共有 96 個試驗小區。研究團隊透過不同作物輪作與隨機化配置，同時分析「系統效應 × 年份效應 × 作物效應」對農業生產的影響，得出作物產量、養分循環、土壤品質與生物多樣性等指標，並確保在長達 40 年以上的觀測中維持統計平衡與科學嚴謹性，使其成為全球最具代表性的有機與慣行農法比較試驗之一。

四、瑞士有機農業研究機構有機病蟲害防治技術研習

本次於瑞士有機農業研究所 (FiBL) 與作物病蟲害防治研究人員進行交流，

Figure 4: Plot map



Plot map of the DOK trial, showing the 8 cropping systems on 3 subplots (A, B and C, each divided into 4 rows and 4 replicates).

■ DOK 長期試驗田 96 小區設計

包括新型真菌與細菌複合製劑開發、陪伴作物與燈光誘蟲器施用及應用昆蟲病原蟲生真菌 (Entomopathogenic fungi) 防治害蟲幼蟲等技術。土壤科學部門 Natacha Bodenhausen 博士研究專長涵蓋植物 - 微生物互動、土壤菌相分析、菌根應用及微生物生態於有機與永續農業之角色，並長期致力於微生物農業生技開發。Natacha Bodenhausen 博士介紹其

生物防治劑開發計畫，以「真菌 - 細菌複合型微生物製劑」防治萵苣真菌病害，利用菌絲促進細菌移動至根際，提高防病效果。研究團隊正篩選具穩定共生與防病潛力的菌株組合，並結合微流體技術開發微膠囊劑型，以提升製劑穩定性與田間應用。現已鎖定 *Clonostachys rosea* 作為關鍵菌株，未來將進行溫室與田間試驗評估防治效果。

另作物科學部門 Dani Lucas-Barbosa

博士介紹其生態害蟲管理研究，聚焦「陪伴作物」與「光誘陷阱」等生物防治技術。於陪伴作物研究方面，以馬鈴薯搭配蕎麥及蠶豆混作，利用花蜜與外蜜腺提供天敵能量來源，提升其族群數量與捕食效率。試驗包括單作及兩種混作處理，並監測天敵與馬鈴薯甲蟲族群變化。試驗結果顯示，蕎麥因花期長且蜜源穩定，可有效吸引瓢蟲、食蚜蠅與草蛉等天敵，捕食效率顯著



■ Dr. Natacha Bodenhausen 分享研究成果並與本場同仁合影



提升。混作可增加天敵多樣性並有效抑制害蟲，兼顧生態與生產效益。此外，Dani 博士並介紹「Push-Pull system」策略防治十字花科害蟲瑞典癭蚊之應用。Pull 利用光誘陷阱於夜間吸引成蟲，降低族群數量與產卵量；Push 則以蟲生真菌進行種子包

覆，於作物生長初期形成生物防護，干擾幼蟲存活。兩者結合可達到誘捕與驅避效果，降低害蟲密度並維持生態平衡。此系統可減少化學農藥使用，適合有機及低投入農業生產，具永續發展潛力，對未來有機蔬菜栽培提供重要應用參考。



- Dr. Dani Lucas-Barbosa 分享應用陪伴作物在馬鈴薯害蟲的管理研究成果，以及 Push-Pull system 策略降低十字花科瑞典癭蚊的危害等成果

五、瑞士人智學中心歌德樓參訪（生物動力學研究）

本次亦參訪人智學中心歌德樓 (Goetheanum)，由奧地利哲學家施泰納博士創立，其亦為生物動力農法之創始人。該農法以牛角堆肥與含矽配方為核心，結合農場有機資材製作堆肥，經發酵後於適當時機攪拌施用，強調透過正反旋



- 生物動力學之牛角原型展示

轉將自然能量導入，以提升土壤活力與作物生長。含矽配方則用於病蟲害防治，其理念視土壤、植物與環境為一體，強調自然與永續。歌德樓為第二代建築，位於 Dornach 山坡，以混凝土構成，外觀與自然融合，體現科學、藝術與靈性結合，內設音樂廳、展覽空間與教室，造型多為有機曲線與多邊形設計。



- 歌德樓外觀

六、結論與建議

本次參訪洪堡大學 CUBES 循環農業系統，展現模組化循環農業的應用潛力。未來可依臺灣氣候環境與法規需求，發展在地化循環農業系統，並透過試驗場域建置小型示範系統，逐步驗證技術可行性。參考德國以昆蟲蛋白與魚類排泄物之資源再利用模式，國內可針對農業剩餘物質（如菇包、稻稈、果菜殘渣），結合養殖昆蟲（如黑水虻）進行養分轉化與肥效評估，建立「剩餘物 → 蛋白飼料 → 肥料」在地化循環體系，提升資源利用效率。為強化循環農業系統管理，本場可先建立基本環境與生產監測指標，發展標準化管理規範，結合業者導入感測器與物聯網技術，推動循環農業精準化。

借鏡 FiBL 的 DOK 長期試驗結果，國內可針對如水稻、果樹類作物建立「長期有機與慣行栽培比較試驗」，蔬菜作物則可於有機試驗田區建立長期輪作及間作試驗，持續監測土壤有機質成分、病蟲害及土壤微生物相組成與產量變化，提供未來農業政策推動與碳匯評估的重要依據。

此次與瑞士有機農業研究所 (FiBL) 的 Natacha Bodenhausen 博士進行交流，瞭解其新開發的微生物製劑技術。該研究以「真菌 - 細菌共生」理論為基礎，運用微流體技術 (microfluidics) 製成微膠囊型共生製劑，藉由控制菌群在微尺度環

境的交互作用，使其能長期維持穩定共生。未來可研究以臺灣本土微生物菌株的生物製劑，研發新型態的複合微生物製劑，提升病害防治效果與穩定性。國內已有菌根菌微生物肥料產品，可參考 FiBL 研究成果，將市售菌根菌導入農作物苗期管理及有機栽培管理，並評估菌根菌等微生物應用於蔬菜及果樹栽培的效益，以提升養分利用率及作物健康。

FiBL 在生態害蟲防治，提出「以生態功能取代化學防治」的新典範。研究利用花源植物作為天敵食源的陪伴作物系統，搭配光誘陷阱與誘引 - 驅避技術，形成多層防護的綜合害蟲管理模式。未來可依臺灣氣候與作物需求，結合陪伴作物、天敵銀行及燈光誘捕與忌避設備，建立適合設施蔬菜與果園的整合性害蟲管理技術，並發展不同波長燈光設備及陪伴作物組合，建立完整蟲害管理模式與基礎資料，作為後續推廣應用依據。

此外，本次參訪生物動力農法發源地歌德樓，了解其強調自然能量、節氣循環與土地、植物及動物的連結，重視土壤活力與資源循環，理念與現代生態農業相符，有助提升農民永續意識。國內亦有許多農友仿效此農法，稱之為自然農法。為了解不同農法對土壤品質的影響，本場持續輔導相關農戶進行土壤有機質分析及地力監測，建立量化評估模式，作為比較不同農法於土壤肥力與永續性之參考依據。