

有益生物在作物養分管理之應用

研討會論文輯

Proceeding of Symposium on Application of Beneficial
Organisms in Crop Nutrient Management

郭雅紋、洪紹耘、白桂芳、李紅曦 主編

Edited by Ya-Wen Kuo, Shao-Yun Hung, Kuei-Fang Pai, and Hung-Hsi Lee

行政院農業委員會臺中區農業改良場 編印

Published by: Taichung District Agricultural Research and Extension Station, COA, Taiwan

中華民國 109 年 8 月

August, 2020

目錄

序

議程

最佳化肥培管理策略之技術建立

郭鴻裕 1

肥料管理現況與輔導措施

沈葆雄、黃俊欽 17

KKF(泰國米之神基金會)自然農法於臺灣農場實證經驗分享

陳瑞芳 29

環保酵素作物生產之應用

劉宜卉 39

與自然共生的樸門農法

顏嘉成 53

蛇糞生產技術及其應用

梁世祥、李佳馨、廖曉涵、王思涵 67

蚓糞堆肥製作及使用

潘佳辰、黃瑞彰 77

羽毛生物堆肥開發和應用

曾宥紘、郭雅紋 85

叢枝菌根菌接種技術及田間應用

張廖伯勳、林永鴻、張耀聰 99

液化澱粉芽孢桿菌 Tcb45 菌株應用於微生物肥料之開發

郭建志、林煜恆、張世杰、羅佩昕、廖君達 111

「魚芋共生」整合式有機栽培模式建立

林文華、楊大吉 127

魚茭共生資源循環之友善環境經營模式

藍玄錦、王茗慧、陳俊位 139

家庭式魚菜共生系統設計

陳登陽 153

序

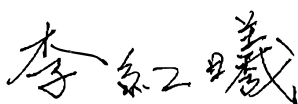
影響作物產量及品質良窳因素眾多，養分管理占高度重要性；另在第6次全國農業會議上，永續議題聚焦於保育農業資源與生態環境，亦強調作物栽培須與環境發展共榮關係。土壤是農業的基礎，期於永續的時間架構下，納入新的土壤養分管理模式，以兼具保育及增進土壤肥力，改善當前已劣化之土壤品質，並助益發展多樣化的農業耕作系統。

廣義的土壤管理，實際上包括所有在農地上為了作物生長而執行的耕作、栽培、肥培、水分、雜草及病蟲害控制等管理方法，其中施肥是影響土壤品質及農業環境可永續發展的農業措施之一。故本次「有益生物在作物養分管理之應用研討會」，以運用有益生物發揮土壤養分供應能力、促進水體養分循環及肥料開發應用議題等實踐農業永續發展，特別邀集產業主管單位與各學研場所及公民團體代表共計12位講者，分享研發成果及推廣經驗，同時邀請農業試驗所郭鴻裕研究員，以「最佳化肥培管理策略之技術建立」為題進行專題演講，就土壤及作物養分管理上之缺失提出良策。期望透過本研討會之研究成果發表、宏觀討論及意見交流，讓農友、農民團體、肥料業者等瞭解目前相關肥料研發進展及公民團體積極推動的農法內涵，共同激盪出對臺灣永續農業的前瞻思維。

最後，感謝所有講者、工作同仁的協助與付出，以及與會嘉賓的熱忱參與。值此「有益生物在作物養分管理之應用研討會」專刊編印完成付梓之際，謹為之序。

行政院農業委員會臺中區農業改良場

場長



謹識

中華民國一〇九年八月二十八日

「有益生物在作物養分管理之應用研討會」議程表

時間：109年8月28日(星期五)

地點：行政院農業委員會臺中區農業改良場綜合大樓2樓大禮堂

時間	議程	主持人
08:30-09:00	報到	
09:00-09:20	開幕式	
專題演講		
09:20-10:10	最佳化肥培管理策略之技術建立 郭鴻裕 農業試驗所農化組研究員兼組長	李紅曦 臺中區農業改良場場長
10:10-10:30	團體照與交流	
第一節 肥料政策及多元農法實踐		
10:30-10:55	肥料管理現況與輔導措施 黃俊欽 行政院農業委員會農糧署組長	王鐘和 屏東科技大學教授
10:55-11:20	KKF(泰國米之神基金會)自然農法於臺灣農場實證 經驗分享 吳竹森 新良食·淨土文化推廣協會桃園區區長	
11:20-11:45	環保酵素作物生產之應用 劉宜卉 彰化縣環保酵素友善農耕協會常務理事	
11:45-12:10	與自然共生的樸門農法 顏嘉成 花蓮縣樸門永續生活協會理事長	
12:10-13:00	午餐	
第二節 有機質肥料及微生物肥料應用		
13:00-13:25	蛇糞生產技術及其應用 梁世祥 畜產試驗所助理研究員	吳正宗 中華肥料協會理事長
13:25-13:50	蚓糞堆肥製作及使用 潘佳辰 臺南區農業改良場助理研究員	
13:50-14:15	羽毛生物堆肥開發和應用 曾宥紘 臺中區農業改良場助理研究員	
14:15-14:40	叢枝菌根菌接種技術及田間應用 張耀聰 高雄區農業改良場副研究員	
14:40-15:05	液化澱粉芽孢桿菌 Tcb45 菌株應用於微生物肥料開發 郭建志 臺中區農業改良場副研究員	

15:05-15:20	茶敘、交流	
第三節 水體循環鏈營造		
15:20-15:45	魚芋共生整合式有機栽培模式建立 林文華 花蓮區農業改良場助理研究員	陳俊位 臺中區農業改良場埔里 分場分場長
15:45-16:10	魚茭共生資源循環之友善環境經營模式 藍玄錦 臺中區農業改良場助理研究員	
16:10-16:35	家庭式魚菜共生系統設計 陳登陽 中華民國魚菜共生推廣協會理事長	
16:35-17:00	綜合討論 李紅曦場長、各節主持人及主講人	

最佳化肥培管理策略之 技術建立

郭鴻裕

行政院農業委員會農業試驗所農業化學組

摘要

本文檢討當前農友一些內在及外在因素的施肥問題，並提出一些評估作物營養管理的技術。在地理資訊應用議題，目前主要農田範圍的精度與廣度的資料應用已達其實用價值，透過地理資訊系統瞭解區域農田的養分狀態、養分評估及養分管理策略，可以讓土壤肥料管理者容易瞭解區域的土壤肥培管理措施重點與制定管理政策，並舉例說明應用範例及發展方向。

關鍵詞：養分管理策略、農業地理資訊、知識庫

作物肥培管理面臨的挑戰

當前針對世界主要穀物作物生產的養分管理是否足以能滿足糧食需求所需，同時又確保環境質量永續標準？歐洲學者的比較指出；不論在美國大農場機械化玉米的種植系統以及亞洲勞動密集型小農灌溉水稻生產系統，兩個系統在滿足糧食安全議題的主要挑戰是：（1）在過去 30 年中，兩個生產系統中沒有可信的證據顯示產量隨作物遺傳潛力有顯著增加；（2）農業產量目前約為可達到潛在產量的 40 - 65 %；（3）養分管理主要依靠的方法不能說明作物對環境的影響效應。由於要滿足未來 30 年的預期糧食需求，必須使平均單產水平達到可達到單位面積產量潛力的 70 - 80 %，因此研究必須尋求開發營養管理方法，以維護產量目標、保護土壤質量並善用自然資源。

施肥的實務遭遇問題

在舉辦各鄉鎮 30 場的合理化施肥講習會與 11 場次的田間施肥觀摩會與過去經驗、各地農友調查、提問、交談及田間觀察之可以改進之點，提出檢討。

現場施肥之問題

1. 對肥料類別功能與成分不清楚

一般農友承認瞭解肥料包裝上標示說明的平均人數約占出席人數的 10 % - 12 %，對於清楚瞭解氮、磷、鉀三要素的營養功能約為 20 %。所以一般農友的田間施肥量只能是憑藉經驗或口語相傳的傳播而施用，對於合理化施肥達到節約施用、依土壤特性施肥與運用施肥提高作物品質的理想目標有一大段距離，更甚者在某一鄉鎮甚有集體施用硝酸態氮素複合肥料（台肥特複合肥、黑旺特複合肥料）於水田之錯誤情形，在用肥的基本常識推廣急需要積極加強。

2. 施用方法

一般農民年齡老化或兼業情形普遍，農村人力缺乏嚴重，在施肥後掩覆幾已不能達到，肥料因逕流或揮散損失的情形可以預測。水田的全層施肥也因代耕制度而不易與農民施肥配合，一般均以撒施複合肥料於表層，造成大量肥料脫氮的可能。我國因為緩效性肥料缺乏市場、農機發展與市場欠缺、加以農戶擁有面積小，使得肥料占生產成本比率偏低，在施用方法改善空間短期內應無法明顯改善。

3. 施用時期

一般農民對於施肥時期大抵憑據經驗施肥，但水稻農友對於施用穗肥、一追與二追的時期具有概念者多，約有 50 % 農友均能瞭解，應是過去的土壤肥料推廣落實的結果。栽種其它類作物與果樹的農友對於適宜施肥期則無法正確掌握，許多農友的施肥時期大抵以定期施肥（每 2 週），或依季節、收穫後施肥。近年土壤肥料的試驗與推廣經費相對偏低，許多新興作物或長期作物果樹資料均缺乏試驗資料的支持，推廣工作不能落實。

4. 施用量

由農試所植體營養診斷分析結果調查統計資料顯示：氮素濃度偏高者相當普遍，約占調查果園總數的 57 %，磷肥偏高者約占 42 %，鉀肥濃度偏低者占 53 %，鎂素偏

低者占 40%，缺鋅果園約占 33%，缺硼果園約占 37%。最近收集蔬菜農民、合作農場之施肥量後，重新計算 0.1 公頃氮素、磷酐、氧化鉀的施用量，與日本、美國結球萵苣施肥推薦量比較，氮肥超施 30%，磷肥少施 5% 及鉀肥少施 200% - 300%。農民的收入全依賴農產品的收量，在不重視農產品質的市場，過度施肥與偏施氮肥是對應的現象。此外大多數農友不認識肥料成分與肥料含量，自然無法合理施肥，以包數為單位施肥，對於高成分含量的肥料如尿素，無法適應。

5. 綠肥的栽培

綠肥的功能至少可以列舉 10 項以上，但在熱帶臺灣提供有效態氮與累增土壤有機質是不可併行的，因涉及植體組成分變化之故。王世中等曾對臺灣蔗田綠肥肥效進行評估，並引述多國文獻認為栽培綠肥要增進土壤有機質是很難辦到。連深等在本省中南部之試驗亦有類似之結論，並認為栽培田菁而促使玉米增產乃由於田菁根系改善土壤物理性之原因。王等認為臺灣高溫多雨，綠肥分解迅速，即使在乾季施用綠肥可使土壤有機質增加，但隔年一遇雨季，綠肥分解，土壤有機質即殘留甚少。大抵綠肥之效果在提高當作之養分供應，另深根綠肥或可將底層養分汲出於地表土。目前休耕田栽種綠肥，可能以景觀為優先，地方決策者、農友對於栽種綠肥節肥的利益並不熱衷，對於選擇固氮綠肥更少，許多農友認為栽種綠肥會增加水稻倒伏機會，反而不清楚要降低施肥量。再者，綠肥的適宜栽種期不能配合季節與氣候，最常見的例子為冬季栽種太陽麻、雨季栽培大豆等、強酸性土栽培豆科作物等。

6. 堆肥之應用

農友對於有機資材的選擇有其經驗，但有機資材之肥效效果一般所指為氮素含量，是由資材之碳氮比所決定，豬、雞糞堆肥及下水道污泥或食品業廢棄物等碳氮比偏低，所以肥效較大，樹皮堆肥、粗糠堆肥等難分解之有機資材肥效低，如果以肥效考慮選用有機資材時，自可分辨清楚；化學性之改良效果主要是以提昇土壤中之鈣、鎂、鉀等鹽基及磷素量而言，豬、雞糞堆肥及下水道污泥之鹽基及磷素含量高，自是考慮選用之對象，但應注意長久施用後對養分平衡及重金屬累積等問題；物理性則是對於土壤之孔隙與保水性為考量，當選擇施用不易分解之有機資材如樹皮堆肥及粗糠類、木屑混合堆肥類等有機資材。但各類堆肥需考慮是否腐熟，以避免施用後產生缺乏氮素問題、有毒氣體（特別是家畜糞尿及污泥）及有害物質（特別是木質類堆肥）等問題，危害作物生長。

如果施用有機肥之目的只是在獲取其養分之供應，則必需考量其經濟性。一般有機質肥料之單位養分價格是化學肥料之 5-20 倍，特殊有機資材更高於此；又養分施入土體後，以配合作物（特別是果樹、瓜果類）生長勢之養分收放控管機制而言，有機質肥料較化學肥料更難操作，是故若施用有機質肥料之目的在求取養分之供應，經濟效益與養分之控管應當考量清楚。

在有機資材之施用量方面，首先需考慮作物之養分需求量及有機資材之分解率（或是元素之有效化率），特別是氮、磷素。施用之有機資材供應之有效養分外，才以化學肥料補足。但是連年施用有機資材，則需考慮殘餘物累積之釋放量。日本之田間試驗資料為例，以低肥效之稻稈堆肥為資材，每年每公頃施用 20 噸之堆肥，前五年大抵為蓄積效果，並無明顯氮素釋出，連用 10 年後約可穩定釋出 5（水田）至 7（旱田）公斤氮素，施用 40 噸堆肥則約為釋出 10 至 15 公斤氮素，施用 80 噸堆肥則約釋出 20 至 30 公斤氮素。因此可以得到結論為施用多量的堆肥並無法成幾何級數的增加氮素釋出，而是以等比例的釋出氮素。

連用一些有機資材必須注意其造成之養分不平衡問題，著者等近年調查臺灣農地之土壤養分狀況，注意到土壤磷之累增相當驚人，有些樣點甚已達影響其它養分吸收之濃度，特別是一些栽培經濟作物之園區。因為農友偏好禽畜糞等高肥效之堆肥故，為了施用達到作物需求之氮肥量之堆肥而使土壤中磷素過多，與其它養分產生拮抗作用並汙染環境。又有些有機資材連用後，造成土體中交換性鈣、鉀鹽基之增加，但鎂素卻不足之養分不平衡問題。又一些禽畜糞堆肥、皮革類為原料製成之堆肥及污泥含有偏高之重金屬成分，長期或大量施用於田間後，會造成土體中重金屬累積問題，汙染農地與作物品質，甚至地下水源等，著者等在南部一些果樹園地調查，發現部分園地土壤因施用大量有機資材造成局部土壤累積高濃度之重金屬已明顯；這些施用有機資材而引發之問題，我們應以更積極的態度處理。

7. 微生物肥料問題

未來的世界資源匱乏，我們對於應用微生物肥料作為糧食生產的主要養分供應來源有一定的期待。但現今在國內微生物肥料市場的產品表現卻讓人大失所望。真正有肥效的生物肥料並不多，顯示微生物肥料管理法制定的問題。大多數的微生物肥料產品表現不如預期，或添加大量的化學元素去抵充微生物肥料的肥效；有規避微生物農

藥管理而在微生物肥料登記上市，顯示微生物肥料管理法應趕快再重新制定，以保護消費者。

試驗與推廣之問題

1. 推廣之限制

- (1) 目前改良場所土壤肥料人員欠缺，落實土壤肥料推廣是有點捉襟見肘，做了推廣工作，研究計畫無法落實，認真的從事研究計畫則無法落實推廣工作。
- (2) 土壤肥料工作人員之推廣解說教材與農友的吸收有溝壑，因為無法專業與系統的解說，加上目前施肥計算解說略有複雜度與農友年齡層的更替尷尬期，在知識傳播效果是有許多檢討的空間。
- (3) 因為土壤的空間變異與多因子，許多推廣資料只能告知農友是定性、趨勢與方向性的知識，缺少量化的資訊傳播，農民無法立即消化應用。
- (4) 研究與推廣的配合需要再加強。肥料的施用與作物、土壤管理、病蟲害防治及農業機械、產品儲運都有密切關聯，研究上目前沒有緊密配合，推廣上更是無法提出完整的資料；而三要素肥料只有調配比例，並無專一性與土壤空間變異，很難在肥料袋上告知明確的施用量，需要一些專業的計算解決。

2. 施肥手冊

- (1) 目前施肥手冊雖提供 50 餘樣的作物施肥推薦量，但是除水稻是分南北區推薦外，受限於過去對土壤性質的瞭解，並無法分區推薦，使得肥料的施用無法完整密合。去年完成新版的施肥手冊已分別由改良場所同仁依據其所轄場域撰寫部分作物的施肥方法，已扭轉過去施肥手冊的缺陷，應持續修正補充未完成的作物施肥方法。
- (2) 施肥推薦量沒有與產量結合，與農民的施肥用量有落差。以水稻為例，施肥手冊以全台單位面積平均產量 6000 公斤 / 公頃估算，但許多地區產量已接近倍增，所以推薦施肥量與農民施用量有一些落差。良質米的需求增加，對於施肥的特殊需求等都是需要再調整施肥推薦量。
- (3) 因為時空變遷，在作物品種的更替、市場與儲運需求、農民作業習慣等種種變化，施肥期、施肥方法及要素比例調整等都有許多改進的必要，但施肥手冊已久未重整，需要再精進。

3. 區域土壤特性

- (1) 農業試驗所與各區改良場等單位合作進行農田土壤品質及生產力調查，歷經波折，至 2008 年底已完成全台主要農田 80 萬公頃之土壤採樣，樣品數累計達 60 餘萬個。計畫調查方法以網格取樣，每間隔 250 公尺採一土壤剖面樣本。分析項目包括土壤酸鹼度指標 (pH)、有機質含量、陽離子交換能量、交換性營養元素等十餘項，目前資料量已達 780 萬筆以上。
- (2) 土壤管理組以土壤剖面質地、地理位置、母質與成土因子、排水等 15 類，將平地區土壤分為 103 組，面積大的土壤管理組只有 60 個。一般每鄉鎮只有 3-4 個土壤管理組，配合施肥管理應是可以協助農友省去換算肥料成分與管理之困擾。土壤管理組應用於灌溉、排水、耕犁、作物選擇、作物栽培、病害防治、國土保安（定砂區域）、氮肥管理、施肥方法及土壤改良方法等多項，相當的多樣化。

4. 資料應用

- (1) 農試所主持並與各區農改場合作之農業科技計畫平地耕地農田土壤調查工作發現，在已完成調查區之農田表層土壤磷在中等或高含量者約佔全部面積的 80 % 以上，相較於民國 56 年之全省性土壤調查報告指出，農田表層土壤磷在中等或高含量者只佔全部面積的 55 % 左右，顯然這三十餘年來臺灣地區表層土壤磷含量持續之累積中。即使過去在桃園台地紅壤農田土壤幾乎全面缺磷之狀況，在目前之調查資料也很少發現水稻缺磷之現象；土壤磷累積現象在中部與南部地區農田相當明顯，特別是果樹、蔬菜、花卉等園地，但離島澎湖、金門地區仍有接近 80 % 的面積磷含量屬於低或極低等級含量。
- (2) 農業試驗所在完成網格式土壤調查的地區建立了 8 種農田管理主題圖，包括土壤酸鹼度分布圖，在水田施肥的應用上可決定使用尿素或硫銨做為氮肥的主要來源，例如在土壤 pH 值大於 7.5 的農田，應該使用硫銨，藉由硫銨的微酸性來避免氨揮散的損失，而在 pH 值小於 7 的農田中可以使用尿素，避免常年硫酸根的累積加速土壤酸化。另外在果園或旱田中，土壤 pH 值也會影響微量元素的有效性。第二為土壤有機質分布圖，土壤有機質具有增加土壤團粒構造、改善土壤物理性，進而使土壤鬆軟及穩定土壤，而促進通氣及排水等功能。此外，土壤有機質還具有增加土壤保水能力、緩慢釋出營養元素、螯合微量營養元素、提高營養元素溶解度、

增加土壤緩衝能力等作用，在土壤有機質偏低的農田可以考慮施用有機質肥料或栽種綠肥，以提高土壤有機質，改善土壤物理性質。土壤中的鈣鎂元素，除了考量其含量外，還需要考慮鈣鎂間的平衡關係，部分果樹如葡萄、蜜棗等對鎂有特別需求性，缺乏時會有澀味，影響品質風味，但氣候也會影響鎂的效率，所以除了在含量低的地區施用白雲石粉等含鎂肥料外，也可在葉片發現有初期缺乏徵狀時，施用硫酸鎂來預防品質變差。

- (3) 磷和鉀是作物除氮肥外需求量較高的營養元素，由調查所得的資料中，可以大致了解地區性的土壤肥力高低，進一步推測施肥後肥效的明顯程度。在微量元素方面，硼在 pH 值太高或太低、土壤質地過砂或過黏、土壤水分過高或過低的旱作中均容易出現缺乏，應該注意補充。pH 高的土壤，如黏板岩沖積土，容易出現鋅缺乏的現象，而一般認為有機質肥料是最佳之肥料，但經農試所與各縣市政府之抽樣調查資料顯示，部分市售有機質肥料，尤其是禽畜糞堆肥之重金屬（銅、鋅）含量偏高，導致土壤重金屬含量超過自然背景含量範圍，影響作物生產和消費者健康問題不容忽視，除應加強有機質肥料品質管制，宣導農民選擇品質優良的肥料也是政府和業者應有的責任。另外利用耕地土壤調查所產生的土壤圖，由母質、形成方式、排水等級和土壤質地等性質歸納產生的土壤管理組圖，則提供了土壤物理性的管理對策依據，例如：在粗質地的農田中，應採取少量多次施肥的方式，以減少肥料流失，降低施肥對整體生態環境的衝擊。

社經與政策面之問題

1. 肥料價格

政府採行低肥料價格政策是為了照顧弱勢農民，也為了避免農產品價格之波動；但是低肥料價格使得農友不珍惜肥料，合適的肥料價格平衡點是決策者難以抉擇之處。農民的反應是如果只要農產品價格可以提高，肥料漲價倒也不在意，更是讓決策者難以提高肥料價格以誘導農友節約用肥行為。

2. 專業諮詢

許多專業與研究的成果與社經、施政方向無法配合，例如：酸性土壤改良提高肥效、農業機械整地與施肥配合、研究改良資訊有效傳遞、土壤與植體營養診斷的推行

等因涉及層面廣，或推行的急迫性等，都沒有辦法推行，施政效果難免打折。又如：農民使用肥料的習慣，在單質肥料與複合肥料推行優劣點之改進，是以土壤改良為優先或以補助有機質肥料為優先，氮素肥以尿素為優先或農民喜好硫銨的多施用量感覺等等，都是專業與決策需要協調之處。農產廢棄物及禽畜廢棄物之再利用也都有政策協調之問題存在，有待解決。

3. 肥料廠配合

種種資訊已顯明指出農田施肥不均衡的問題，近年水稻轉為旱作以及農民栽種經濟作物為主，土壤轉為氧化狀態，使得磷素有效性降低，加以旱作需要施用大量磷肥，是為表土磷素含量增加迅速。又目前農民施肥偏用複合肥料與有機質肥料，導致大部分地區土壤磷素含量很高，施用磷肥而無肥效。肥料製造廠應配合現場需求調整三要素配方比例而降低肥料成本。

問題之解決

1. 對於其它類作物則無法瞭解施用期的掌握，與近年土壤肥料的試驗與推廣經費相對偏低有關，及對於許多新興作物或長期作物果樹資料缺乏試驗資料的支持之故。
2. 應針對傳統果園施肥往往忽視氣候、果樹生長期、生育特性、肥力監控及栽植土壤特性之缺點，應用土壤調查與植體分析營養診斷資訊，規劃果園之精緻合理化肥培管理模式，輔導農友落實果園合理化肥培。
3. 當前之土壤管理組缺乏專業化知識、定量化資料與普及化應用，仍有待土壤肥料人員努力。
4. 日本政府在『原油等價格高騰對策』中，即提出『廢肥與土壤蓄積肥成分活用』、『減肥方法明確化-地域施肥基準』、『土壤分析資料應用』、『土壤診斷重點實施』、『作物及肥料成本降低方針之整備與推進』、『低成本肥料-土壤磷過多問題』、『地域土壤診斷的強化』、『施肥效率技術引進』、『地域未利用、低利用資源的活用促進』等，有一些措施與目前觀察之現象相互呼應，是值得我國逐一檢討與參考。
5. 肥料之施用涉及層面廣，是一個團隊的工作。正確的決策是成功的要素，但決策如無正確知識與資料輔佐，將事倍功半。農友的施肥知識推廣也是需要加強，這是改良場所責無旁貸之工作。

土壤元素含量與養分管理－鎂元素為例

植物營養元素之功能，綜括如下：(1) 成為植物組織之成分。(2) 成為某種化學反應之催化劑或引導物。(3) 影響植物體內之氧化還原作用。(4) 協助植物體內酸之調節。(5) 影響植物體內之滲透性。(6) 影響其他元素進入植物體內。(7) 供給植物根部一個更適宜的環境以幫助植物生長。因此作物營養元素缺一則嚴重影響作物之生長。

鎂是作物生長的必需元素，其在植物體內的主要生理功能如下：(1) 鎂是葉綠素的組成元素，約占葉綠素分子質量的 2.7%，對維持葉綠素結構具有重要的作用；缺鎂時，不僅作物葉片合成葉綠素受阻，而且植物缺鎂可使葉綠體結構破壞，嚴重影響作物葉片的光合作用，還會造成蛋白質氮占總氮量的比率降低、醣與澱粉含量減少等，而使作物品質下降。(2) 鎂是多種酶的活化劑或構成元素，並參與體內碳水化合物、脂肪和類脂、蛋白質和核酸等物質的轉化與促進維生素 A 與維生素 C 的合成。(3) 鎂在植物細胞質代謝過程中，是中和有機酸、磷酸脂的磷醯基團以及核酸的酸性時所必需的，具有穩定細胞質的 pH 值。

鎂在植物體中是較易移動的元素，在作物生長初期，鎂大多數存於葉片中，到結實期則轉移至種子中，故作物種子含鎂較多，莖葉含量次之，而存於根系最少。因此，若作物缺鎂徵狀首先出現於老葉。

交換性鎂含量通常與作物鎂吸收量有密切相關，林家棻 (農試所年報, 1985) 評估水田土壤交換性鎂之含量在 3.99 cmol (+)/kg 土以上，可影響水稻對氮肥之效應。又雖一般資料認為酸性且粗質地土之交換性鎂絕對低限值為 0.2 cmol (+)/kg 土，但一般熱帶地區交換性鎂低於 0.5 cmol (+)/kg 土有缺鎂徵狀；部分資料顯示認為交換性鎂在 4.0 cmol (+)/kg 土方足夠。又如以日本地力增進標準評之，則已調查區砂頁岩沖積土、片岩沖積土、紅壤及非石灰性板岩沖積土之土壤交換性鎂含量顯然不足，有待提昇或對於鎂元素管理應加以注意。

土壤不缺鈣的條件

(1) 土壤 pH > 6 以上；或 (2) 土壤 pH < 6 時且土壤水分充足時，鈣鎂比值在 2-8 間對產量不影響，或鈣飽和度 ((交換性鈣 / CEC) * 100) 在 32 - 68 % 及鎂飽和度 ((交換性鎂 / CEC) * 100) 在 12 - 35 % 時對產量不影響，但 (3) 土壤 pH < 6 時且土壤水分不足時，鈣鎂

比值在 3 以下對產量會影響，需補充鈣，鈣鎂比值在 8 以上時對產量會影響，需補充鎂肥。

園藝作物缺鎂的土壤條件

(1) 交換性鎂在小於 0.8 cmol (+)/kg 時缺鎂；在交換性鎂大於 0.8 cmol (+)/kg 時缺鎂，為交換性鉀鎂比大於 0.4 或交換性鈣鎂比大於 7；或 (2) 大豆、小麥、苜蓿在鎂飽和度在 10 % 以下施用鎂肥有效；或 (3) 交換性鎂在 6 % 以下，施用鎂肥絕對有效；或 (4) 柑橘在土壤鎂飽和度 8 - 15 % 時會缺鎂，如果施用高鉀肥時，交換性鎂飽和度在 6 - 15 % 會缺鎂；(5) 柑橘苗在交換性鎂飽和度 5 % 以下會顯現缺鎂徵狀。柑橘交換性鎂飽和度 4 - 7 % 顯現缺鎂徵狀；(6) 葡萄蔓在正常鉀肥施用狀態，土壤交換性鎂 4 - 7 % 會顯缺鎂徵狀。

作物養分需求的評估工具應用 - 以 QUEFTS 的應用為例

在許多熱帶地區，農作物大多仍依賴土壤養分，養分的可利用性是土地評估研究中要考慮的主要土地質量之一。土壤質量通常被評定為低，中或高（糧農組織，1976 年），但是這些詞的含義很少以定量的形式給出，應隨時代需要提供定量資訊的評估系統。有一應用程式 QUEFTS 適合評估土壤潛在的養分供應。

該過程包括 4 個連續的步驟。首先，計算氮，磷和鉀的潛在供應量，如果假設沒有其他養分及其他生長限制因子，則應用 0-20 公分土壤層的化學性質與作物可以吸收的最大養分之間的關係限制產量。在步驟 2 中，考慮到其他兩種營養素的潛在供給，根據每種營養素的潛在供給來計算每種營養素的實際攝取量。步驟 3 包括根據氮，磷和鉀的實際攝入量，確定三個產量範圍。接下來步驟 4，將這些產量範圍成對組合，對營養物對估算的產量進行平均以獲得最終產量估算值。

QUEFTS 估算作物生產的平衡養分需求，對於確定最佳肥料施用方案以提高作物產量和養分利用效率至關重要。收集多年特定作物種植地區的田間試驗數據，以評估特定作物產量與養分吸收之間的關係，並估算氮素，磷和鉀的需求量。使用熱帶土壤肥力的定量評估（QUEFTS）模型確定大豆的目標產量，QUEFTS 模型預測了平衡養分吸收的線性 - 拋物線 - 高原曲線，目標產量從 3.0 噸增加到 6.0 噸 ha⁻¹，線性部分一直持續到產

量達到潛在產量的 60 - 70 % 為止。QUEFTS 模型可以適當地估計作物在一定產量下的養分吸收，並有助於制定用於作物生產的肥料推薦策略。

如何利用土壤資訊定性與定量調整施肥策略 – 水稻施肥為例

在水田施肥的應用上可決定使用尿素或硫銨做為氮肥的主要來源，例如在土壤 pH 值大於 7.5 的農田，應該使用硫銨，藉由硫銨的微酸性來避免氨揮散的損失，而在 pH 值小於 7 的農田中可以使用尿素，避免常年硫酸根的累積加速土壤酸化。

土壤有機質在水稻生產扮演角色並未清楚，但在一定土壤有機質含量以下，土壤有機質含量對於水稻生產是正面效應。日本 Kumazawa (1982) 認為施用有機質資材後，改善土壤構造，有利於水稻淺層根系的發展，水稻淺層根系與水稻產量有密切關係。土壤有機質分解對於養分提供，特別是氮素養分供應，約提供 50 - 75 % 的水稻吸收全氮量 (Broadbent 1978)；在日本高產 (> 6 t/ha) 水稻須依賴穩定的土壤有機質供應氮素，並非施用有機質對於水稻增產均有效用，施用的有機資材若在排水不良的環境下不能分解，且造成厭氣環境下，反而對水稻根系生長不利，而產量下降。施用有機質資材或綠肥施用，應當配合土壤資訊之排水等級資訊，有利於整體土壤營養管理方法與策略擬定。

以水田鉀肥的推薦量知識法則建立為例，如表 1，本表利用土壤資料庫的交換性鉀、陽離子交換能量、土類、土壤質地、排水與水稻鉀肥試驗完成水稻鉀肥施用量的建議。整理各地區的水稻鉀肥試驗資料所得對土壤鉀需求量的評量，並將土壤資料庫各地區土壤交換性鉀含量與陽離子交換能量換算為土壤鉀飽和度，並考量土類、土壤質地、排水等特殊狀況，配合水稻的分布圖，可以產製水稻鉀肥推薦量。臺灣地區土壤鉀含量一般不缺，1983 年林家棻水稻鉀肥肥效試驗報告已指出鉀肥的增產量有限，施用鉀肥推薦量與不施鉀肥的產量差異幾乎在 5 % 影響範圍內。

孟立克 3 號抽出磷小於 28 kg/ha 時，水稻會缺磷 (Luisanna 試驗場標準)。秈稻對磷的需求比粳稻為高 (IRRI 2000)。依據土壤肥力分析資料轉換表 P Bray No.1/mehlich's No.3 = 1.06，可以換算為 Bray No.1 的土壤診斷標準並推估水稻磷施肥推薦量。水稻缺鋅依 IRRI 的施肥推薦標準，酸性土如含 0.1 N HCl 可抽態鋅 2 ppm 以下，則作物將有缺鋅可能。在土壤酸鹼度大於 7 以上，而且有機碳大於 1.5 % (有機質約為 2.6 %) 則會在土壤溶液產生大量 HCO_3^- ，造成水稻缺鋅，特別在高溫環境下 (IRRI 2000)。交換性鎂鈣

表 1. 水稻鉀肥推薦量

農業環境管理專家系統之肥力管理知識庫建立 --- 水稻					
資料項目	推論 (應用資料庫) 項目	規範	結論	問題 / 致因	對策 / 方法
肥培管理 鉀肥管理	肥力資料庫 --- 交換性鉀 (NH ₄ -K)	1. 小於 0.2 meq/100g 土之交換性鉀	鉀低保持力 (Sanchez & Buol 1985)。	1. 土壤保肥力低。 2. 土壤鉀供應力低。 3. 鈣、鎂元素拮抗。 4. 淺土或透水性高剖面且多雨區或經常灌溉。	1. 施用含鉀肥料，維持土壤交換性鉀飽合度大於 3%。 2. A=0.025，如果土壤為紅壤且土壤表層質地為” 坩質黏壤土” 或” 黏土” ； A=0.02，如果土壤為其它土壤，則氧化鉀肥施用量 (公斤 / 公頃) / 期作 KFERT = (A - NH ₄ -K/CEC) *CEC*47*21.6； 如果 KFERT 為負值 0-30，則建議本期作暫時不施鉀肥或僅施用 1 包鉀肥，如果 KFERT 為小於負 30 以下，則在未來的二期作可暫不施鉀肥。 3. 土壤排水等級為” 不良” 及” 浸水” 者，依 KFERT 值再加 30 公斤 / 公頃氧化鉀 (連深，1987 作物施肥手冊；林慶喜，1985 花蓮地區作物營養缺乏及其防治)。 4. 上述計算之施用量分為基肥 20%，一期作插秧後 15 天，二期作插秧後 10 天 30%，一期作插秧後 30 天，二期作插秧後 20 天 30%，幼穗形成期 (一期作插秧後 52 天，二期作插秧後 45 天) 20% 施用 (連深，1987 作物施肥手冊)。
	土壤資料庫 --- 土壤形成 - 紅壤排水等級 - 良好土壤質地 - 坩質黏壤土及黏土	2. 表層 5 公分內之砂粒與坩粒部分小於 10% 之可風化礦物；或排水良好紅壤。	鉀供應力低 (Sanchez & Buol 1985)	1. 土壤保肥力低。 2. 土壤鉀供應力低。 3. 淺土或透水性高剖面且多雨區或經常灌溉。	5. 增加鉀肥施用量，少量多施鉀肥；選用緩效性肥料。
	肥力資料庫 --- 相當於交換性鉀 (NH ₄ -K) <0.21 meq/100g	3. 交換性 10 mg K ₂ O/100g soil 是日本的水稻鉀肥力之臨界點	土壤鉀不足 (Jisuke Takahasi -The mineral nutrition of the rice plant 1967)	1. 土壤保肥力低。 2. 土壤鉀供應力低。 3. 砂質土 / 缺鉀。	6. 增加鉀肥施用量，計算方法如前所述。
	肥力資料庫 --- 相當於交換性鉀 (NH ₄ -K) <0.25 meq/100g	4. 交換性 12 mg K ₂ O/100g soil 是水稻缺鉀可能存在	土壤鉀不足 (Ogohara 1960- The mineral nutrition of the rice plant 1967)	1. 土壤保肥力低。 2. 土壤鉀供應力低。	

比大於 1 也會產生缺鋅的現象，除在東部蛇紋石發育土壤外，一般土壤不易產生此現象。

林 (1982) 之土壤肥力能限調查發現臺灣地區土壤有效性矽含量與土壤 pH 有密切關係，土壤 pH 在 6.0 以下之多數樣本有效性矽含量未超過 90 mg/kg，在 5.0 以下者，多未超過 40 mg/kg。依土壤肥力能限分類調查之分析結果，顯示二氧化矽低於 40 mg/kg 者，約佔 45 %。根據農試所連 (1977) 之報告：土壤有效性矽含量低於 40 mg/kg，施用矽肥水稻多可獲得增產，但桃園紅壤地區在 90 mg/kg 以下仍可獲得增產。全台各大土類之土壤有效態矽含量依序如下：黑土 > 安山岩土壤 > 東岸母岩沖積土，其有效態矽含量皆大於 150 mg/kg，臺灣黏土 > 砂頁岩沖積土 > 黏板岩沖積土 > 砂頁岩板岩混合沖積土 > 紅壤 > 片岩沖積土，其土壤有效態矽含量皆低於 90 mg/kg 以下。雖然土壤資料庫沒有土壤有效性矽的分析資料，但由土壤 pH 與土類分布的資料也可以推薦水稻是否應當施用矽酸資材。

利用地理資訊系統展示各地區農田土壤肥力狀態外，也提供鄉鎮主要產業肥培管理使用及管理的建議，如：施肥推薦量估算、耕作應注意事項提醒等功能。近期內的發展，結合各項農業空間資料庫，朝向建立農業管理系統的主要功能及技術原理系統，以獲得生產前之設計、生產過程管理和收穫後的分析等決策，包括確定產量及品質目標、播種前生產策略規劃、預測適宜生育期、量化動態生育指標、生產效益分析和系統維護等主要功能。確定產量和品質目標是作物生產管理的第一前提，根據各地區的光照、溫度、水分和土壤條件，確定其對作物產量的潛力；然後再根據當地作物平均產量與光、溫、水土生產潛力之間的差距、施肥量、水分管理和生產技術水準（包括優良品種的選用、栽培技術措施和防病治蟲水準）等為農戶制定切實可行的產量目標及生產結構。

結語

要實現以營養管理方法維護產量目標、保護土壤質量並善用自然資源這些目標，將須要針對每個相關技術，動態和空間規模量身定制新穎策略，以進行更精確的植物養分管理。在糧食的營養管理策略必須結合土壤化學、作物生理學、植物營養、分子生物學和資訊技術方面的改進。未來以田間為導向的植物營養研究必須更具策略性、跨領域和定量的性質；需要以微觀到中觀尺度的系統方法，以便把作物養分需求之間的相互作用以及對動態環境條件的影響，更加定量地瞭解作物對養分的效應。

參考文獻

1. 林家棻。1982。民國七十一年台灣省農業試驗所年報。台灣省農業試驗所。台中霧峰。
2. 連深。1977。民國六十五年台灣省農業試驗所年報。台灣省農業試驗所。台中霧峰。
3. 郭鴻裕。1993。台灣地區農田地力增進初步調查報告。台灣省農業試驗所特刊第 42 號。台灣省農業試驗所。台中霧峰。99 頁。
4. 郭鴻裕。2011。農業與地理資訊系統。農業地理資訊系統建置與應用研討會。行政院農業委員會農業試驗所。台中霧峰。
5. Janssen B.H., F.C.T. Guiking, D. van der Eijk, E.M.A. Smaling, J. Wolf and H. van Reuler. 1990. A system for quantitative evaluation of the fertility of tropical soils (QUEFTS). *Geoderma.*, 46 (1990) 299-318.
6. Dobermann A, Witt C, Dawe D, editors. 2004. Increasing productivity of intensive rice systems through site-specific nutrient management. Enfield, N.H. (USA) and Los Banos (Philippines): Science Publishers, Inc., and International Rice Research Institute (IRRI). 410 p.
7. Zhang, X., Davidson, E. A., Zou, T., Lassaletta, L., Quan, Z., Li, T., & Zhang, W. (2020). Quantifying nutrient budgets for sustainable nutrient management. *Global Biogeochemical Cycles*, 34, e2018GB006060. <https://doi.org/10.1029/2018GB006060>

Techniques for Establishment Best Practices of Crops Fertilization Management

Hornng-Yuh Guo

Division of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute, COA

Abstract

This article reviews the current fertilization problems of some internal and external factors of farmers, and proposes some techniques for evaluating crop nutrition management. On the topic of geographic information application, the current application of data on the accuracy and breadth of the main farmland has reached its practical value. A picture of the current situation of fertilizer usage in Taiwan and the techniques how to evaluate crop nutrition management are given. Combined the Geographic Information System (GIS) that integrate information about many soil properties and best management practices for fertilization can provide farmers to make nutrient management even reaching the aims of site-specific management. This paper is given some examples to discuss the tool relating to BMPs for fertilization and the further research priorities.

Key Words: Nutrient management strategy, Agricultural geographic information, Knowledge base

肥料管理現況與輔導措施

沈葆雄、黃俊欽

行政院農業委員會農糧署

摘要

肥料為農業生產重要資材，占農產品生產成本一定比例，其品質亦左右作物生長及農民收益，農民應依作物需求及土壤肥力狀況，選擇依法登記之肥料商品並適度施肥。政府歷年皆相當重視肥料價格穩定，自民國 35 年實施肥料換穀政策起，歷經統籌配銷、市場自由化、漲幅價差補貼、友善農業資材補助，以至 109 年推動之肥料預購措施，秉持照顧農民原則，就肥料配銷、售價等採行應對措施以穩定供需及價格，安定農業生產。自 97 年起由行政院農業委員會所屬試驗改良場所組成「合理化施肥輔導小組」，教導農民正確肥培管理，農糧署為推動友善環境農業，獎勵農民施用有機質肥料，有助減少化學肥料施用。肥料管理法於 88 年公布施行，農耕使用之氮、磷、鉀（三要素）等單質肥料、複合肥料、次微量要素肥料、植物生長輔助劑、有機質肥料及微生物肥料等肥料產品應辦理登記後始得製造、輸入或販賣，政府機關依法執行製造加工廠與市售等肥料品質查驗，維護農民權益、確保作物及土壤環境安全。

關鍵詞：肥料、肥料政策、肥料管理

前言

肥料為農業生產重要資材，占農產品生產成本一定比例，其品質亦左右作物生長及農民收益，農民應依作物需求及土壤肥力狀況，選擇依法登記之肥料商品並適度施肥，以兼顧經營收益、環境維護及產業永續。

由於肥料價格上漲將帶動農產品生產成本增加，農產品售價卻無法立即反應，致影響農民收益。基於體恤農民辛勞，政府歷年皆相當重視肥料價格穩定，自民國 35 年實施肥料換穀政策起，歷經統籌配銷、市場自由化、漲幅價差補貼、友善農業資材補助，

以至 109 年推動之肥料預購措施，秉持照顧農民原則，就肥料配銷、售價等採行應對措施以穩定供需及價格，安定農業生產。

行政院農業委員會所屬試驗改良場所自 97 年起組成「合理化施肥輔導小組」，教導農民正確肥培管理，續為推動友善環境農業，農糧署以「國產有機質肥料推廣計畫」獎勵有機質肥料之施用，增加土壤有機質含量及改善農田地力，輔導農民生產健康且符合環境永續的農產品，同時有助於減少化學肥料施用，國內化學肥料年施用量由 97 年 101 萬公噸至 108 年時已降為 84 萬公噸，減幅達 16.8%。

農民習慣施用石化原料及礦石製成之氮、磷、鉀（三要素）單質肥料或複合肥料，搭配次微量要素肥料、植物生長輔助劑、有機質肥料及微生物肥料等。肥料管理法於 88 年公布施行，上開肥料品項依法應辦理登記後始得製造、輸入或販賣，政府機關依法執行製造加工廠與市售等肥料品質查驗，維護農民權益、確保作物及土壤環境安全。另因應肥料商品日益增加，陸續增修訂肥料登記管理相關法規。

穩定肥料供需政策沿革

因肥料供應及價格直接連動生產成本與糧食安全，且攸關農民權益，國內肥料政策歷年著重於供應及價格之穩定，自肥料換穀制度（民國 35-61 年）藉由硫酸銨與農民交換蓬萊稻穀，掌握安全存糧，促進糧食增產，增加農民收入；統籌配銷作業（民國 62-91 年）因應 62 年肥料初次自由買賣所發生配銷系統混亂衍生之嚴重供需失調問題，除台灣糖業公司種植甘蔗所需肥料外，一律由前糧食局統籌配售，並於 73 年將公民營肥料全數納入配銷系統，配銷價格須經行政院核定。為加入世界貿易組織（WTO）前之產業調適，於 85 年 6 月推動肥料交易自由化，台灣肥料股份有限公司於 88 年 9 月民營化，陸續開放肥料進口限制；於 91 年加入 WTO 後，92 年初完成公營肥料回歸市場機制，肥料進入自由化市場（民國 92-97 年），價格由市場決定。惟 92 年 3 月伊拉克戰爭爆發，國內化學肥料受國際原料價格上漲而多次調漲售價，引發農民反彈，續於 93 年 9 月起「凍漲」化學肥料價格，並補助運費等費用，以抑制肥料末端售價波動。95 年國際油價狂飆及全球對生質能源、糧食作物的高度需求，連動化學肥料價格，於 96 年下半年國際製肥原料價格再度大漲（尿素上漲 215%、磷礦石上漲 477%、氯化鉀上漲 344%），部分肥料廠不敷成本減產，致 97 年上半年發生缺肥、搶肥危機，爰自 97 年 5 月 30 日

起執行化學肥料漲幅價差補貼(民國97年5月-106年6月)，肥料價格部分漲幅由政府吸收，當補貼肥料出廠價格已調降至低於或趨近補貼前價位則不予補貼，回歸市場機制，累計補貼經費達253.54億元，補貼數量計701.44萬公噸。

為促進有機農業及友善環境耕作發展，自106年7月起配合新農業推動方案，將原化學肥料漲幅價差補貼相關經費轉為推動有機質肥料、微生物肥料、含有機質複合肥料等補助措施，並搭配合理化施肥措施補助農田地力改良肥料、推廣休閒期種植綠肥等工作。輔導農民善用各種肥料資材，改善農田地力，提高肥料利用效率，進一步導引生產過程減施化學肥料。

109年初國際間爆發嚴重特殊傳染性肺炎疫情，坊間流傳肥料原料來源國出口受阻而大幅短缺，影響國內肥料供應，農民恐慌搶肥。經統計當時製肥原料主要來自印尼、中東、加拿大、澳洲等地，暫無發生嚴重疫情，且國內肥料供應業者原料庫存充裕，肥料生產不致受疫情影響。市場需求增加主因為該年一期稻作提早插秧後遇低溫寒流補施肥，以及農民因疫情恐慌增購肥料所致。為協助實際需要肥料之農民購得肥料，建立肥料合理調配機制，自該年3月16日起陸續推動肥料預購相關措施，4月15日起農民需提供耕地資料及種植作物種類預購肥料，政府協請肥料供應商按各地農民預購數量配送，並以分階段提高獎勵措施分散農民購買期間，後於7月15日提升為實名制購肥措施，肥料以經銷商(點)預估量配送，農民到場登記後即購買領貨。

歷年肥料施用情形

自民國35年起，歷經肥料換穀、統籌配銷、市場自由化、漲幅價差補貼、加強推動有機及友善農業資材及肥料預購措施等重要肥料政策，國內化學肥料施用量、作物種植面積及單位用肥量詳如表1。

民國36年化學肥料施用量為13萬公噸，當時作物種植面積125萬公頃，63年起肥料施用量達100萬公噸，80年度為最高施用量141萬公噸，97年實施「合理化施肥計畫」，教導農民正確選擇肥料種類及合理有效施用方式，提高肥料利用率，該年化學肥料施用量降至101萬公噸，較96年呈現大幅度減量(降幅10.8%)，108年施用量再降至84萬公噸。

作物種植面積最高峰為56年170萬公頃，隨經濟發展，徵收農地，陸續設置科學

園區，69 及 70 年降至 140 萬公頃；86 年實施「水旱田利用調整計畫」，休耕補貼二期，作物種植面積下滑至 100 萬公頃；加入 WTO 後之 93 年更減至 74 萬公頃，往後 10 年間維持於 70 至 76 萬公頃；102 年為活化休耕地，實施「調整耕作制度活化農地計畫」，作物種植面積為 71 萬公頃。

單位種植面積肥料用量，36 年每公頃施用 0.105 公噸，74 年首度超過 1 公噸，達到 1.039 公噸，除 75 至 78 年間低於 1 公噸外，近 25 年均超過 1 公噸，其中 93 年更高達 1.622 公噸；近年除 97 年呈大降幅 (8.6%) 外，前後各年度降幅不明顯，102 年為 1.41 公噸，108 年度降為 1.166 公噸，合理施肥輔導漸顯成效。

近年來為減少化學肥料施用、改良農田地力及協助去化農牧副產物，政府鼓勵農民施用國產有機質肥料，避免過量施用化肥造成土壤酸化、鹽化及水源環境污染等問題，同時提高有機農業及友善環境耕作面積，以有機質肥料替代並合理施用化學肥料，逐漸改變農民用肥習慣。

109 年因肺炎疫情相關謠言導致農民搶購肥料，肥料銷售量短期間大幅提升，該年水稻第一期作期間 (108 年 12 月 -109 年 4 月) 肥料銷售量達 43 萬公噸，與前一年度同期 (107 年 12 月 -108 年 4 月) 數量 38.7 萬公噸相比，增加 11%，所增加購買之肥料是否直接施入農田尚待評估。為協助農民合理購用化學肥料，依「肥料預購與配送檢討會議」決議，農業試驗所及各區農業改良場將協助以合理施肥方式建立總量管理模式，並由農糧署規劃獎勵措施。

表 1、歷年化學肥料單位面積用量一覽表

年度	化學肥料施用量 (萬公噸)(A)	作物種植面積 (萬公頃)(B)	單位面積用量 (公噸/公頃) (C=A/B)	備註
36	13	125	0.105	
37	14	138	0.099	
38	15	144	0.108	實施「肥料換穀制度」。
39	34	144	0.235	
40	34	150	0.229	
41	64	152	0.423	
42	50	149	0.333	
43	47	150	0.315	

年度	化學肥料施用量 (萬公噸)(A)	作物種植面積 (萬公頃)(B)	單位面積用量 (公噸/公頃) (C=A/B)	備註
44	55	151	0.367	
45	58	154	0.378	
46	67	157	0.430	
47	67	159	0.422	
48	50	159	0.314	
49	70	160	0.438	
50	70	161	0.437	
51	72	162	0.448	
52	80	161	0.495	
53	80	167	0.481	
54	77	168	0.457	
55	80	169	0.472	
56	78	170	0.462	作物種植面積最高峰，嗣後呈下降趨勢。
57	94	169	0.556	
58	89	168	0.530	
59	67	166	0.402	
60	84	162	0.518	
61	80	159	0.504	
62	96	157	0.611	廢止「肥料換穀制度」，並短暫開放肥料自由買賣。
63	100	164	0.611	年度肥料施用量首度達 100 萬公噸；經濟部公布「肥料管理規則」，由前商品檢驗局辦理肥料品質檢驗。
64	138	166	0.835	
65	135	161	0.840	
66	127	157	0.809	
67	126	155	0.814	
68	126	149	0.840	

年度	化學肥料施用量 (萬公噸)(A)	作物種植面積 (萬公頃)(B)	單位面積用量 (公噸/公頃) (C=A/B)	備註
69	136	140	0.971	
70	134	140	0.956	
71	112	138	0.811	
72	115	133	0.865	
73	123	129	0.960	試辦「公民營肥料 統一產銷」，統一 配銷且公定價格。
74	131	126	1.039	單位種植面積肥料 用量首度超過每公 頃 1 公噸。
75	122	127	0.963	
76	110	126	0.873	
77	118	122	0.971	
78	118	118	0.995	
79	136	116	1.177	
80	141	113	1.251	年度肥料施用量 141 萬公噸，歷年最高。
81	137	109	1.254	
82	139	108	1.288	
83	138	104	1.330	
84	138	104	1.334	
85	139	100	1.394	實施「肥料政策調 整方案」，推動肥 料交易自由化。
86	120	100	1.209	實施「水旱田利用 調整計畫」，休耕 補貼二期，種植面 積下滑。
87	120	96	1.249	
88	121	93	1.303	公布「肥料管理 法」，同年台肥公 司完成民營化。
89	126	90	1.391	訂定「肥料種類品 目及規格」。

年度	化學肥料施用量 (萬公噸)(A)	作物種植面積 (萬公頃)(B)	單位面積用量 (公噸/公頃) (C=A/B)	備註
90	129	88	1.477	
91	125	85	1.469	加入 WTO。
92	114	80	1.435	政府退出肥料供銷體系，同年 3 月爆發伊拉克戰爭，肥料價格高漲。
93	120	74	1.622	9 月起政府介入凍漲肥料價格並予補助，每公頃肥料施用量達 1.622 公噸，為歷年最高。
94	114	76	1.502	
95	116	75	1.544	國際油價飆漲帶動原料開採及運輸成本，生質能源替代方案亦刺激化肥需求。
96	114	74	1.541	下半年國際製肥原料價格大漲。
97	101	73	1.396	實施「肥料價格調整及穩定供需因應方案」，由政府補貼化學肥料部分漲幅，同時辦理「合理化施肥計畫」，單位面積肥料施用量開始下滑。
98	104	72	1.446	
99	103	70	1.479	修正「肥料種類品目及規格」，增列「微生物肥料類」。
100	101	70	1.432	公告「已被鑑定為安全之微生物肥料菌種」16 種。
101	101	70	1.454	

年度	化學肥料施用量 (萬公噸)(A)	作物種植面積 (萬公頃)(B)	單位面積用量 (公噸/公頃) (C=A/B)	備註
102	100	71	1.410	實施「調整耕作制度活化農地計畫」，活化休耕地；增訂農業標準肥料檢驗方法。
103	97	72	1.352	
104	96	70	1.371	
105	98	74	1.330	
106	92	74	1.243	推動「友善環境農業資材補助計畫」。
107	92	73	1.260	公布「有機農業促進法」。
108	84	72	1.166	受暖冬乾旱等天災影響，協調台肥5月起每公噸肥料降價500元。
109	待統計			爆發肺炎疫情，農民恐慌搶肥，推動肥料預購及實名制購肥等相關措施。

國內肥料管理概況及推廣措施

肥料品質之優劣及管理制度良窳，影響作物產量與品質，攸關農民權益甚鉅。政府為加強肥料管理，於88年6月16日公布實施肥料管理法，依該法第5條第1項規定，肥料非經向中央主管機關申請核准發給肥料登記證，不得製造、輸入或販賣，另依同法條第2項規定，肥料登記證之申請條件、程序及發證規定事項，由中央主管機關定之。爰依該授權訂有「肥料登記證申請及核發辦法」以作為肥料業者申請肥料登記證及辦理肥料登記相關業務執行之依據。

肥料產品係由一種或多種原料經製造、加工、混合調製、包裝標示等程序所製成。肥料登記屬產品登記制度，業者製造每一項肥料產品，應分別申請肥料登記證，即「一

肥一證」。截至 109 年 7 月止，累計核發肥料登記證 13,552 件，註銷登記證 5,753 件。有效之輸入肥料登記證 3,294 件、製造肥料登記證 4,505 件，計 7,799 件；肥料輸入業者 244 家，製造業者 297 家，兼營輸入與製造者 53 家，共計 594 家。

肥料法定定義為供給植物養分或促進養分利用之物品，堆肥為有機質材料經醱酵腐熟之肥料。依肥料管理法第 4 條授權訂定之「肥料種類品目及規格」將肥料種類分為氮肥、磷肥、鉀肥、次微量要素肥料、有機質肥料、複合肥料、植物生長輔助劑、微生物肥料及其他肥料，共 9 類。該規定自 89 年 8 月 31 日公告施行以來，因管理需要、土壤及地下水污染整治法公布施行及事業廢棄物再利用用途新增製肥原料等，陸續修正各類品目及規格規定，包括適用範圍、性狀、主成分、有害成分、限制事項、檢驗項目等。

經濟部於 63 年公布「肥料管理規則」，由前商品檢驗局（現為標準檢驗局）辦理肥料品質檢驗，為配合組織改造，該局自 103 年停辦肥料檢驗，由行政院農業委員會指定檢驗機關（構）接續辦理。農委會於 102 年修正「肥料種類品目及規格」，增訂農業標準肥料檢驗方法，並依「肥料查驗辦法」公告指定行政院農業委員會農業試驗所為肥料查驗檢驗單位；於 102 年 12 月 19 日、103 年 3 月 31 日依「肥料登記證申請及核發辦法」分別公告指定國立中興大學土壤調查試驗中心、財團法人台灣電子檢驗中心及台灣檢驗科技股份有限公司高雄分公司等 3 家民間檢驗機構為肥料登記檢驗單位。

因部分製肥原料來自其他產業副產物或廢棄物，需予適當管理以維護土壤和環境品質，由農糧署各區分署及直轄市、縣（市）政府加強監測市售複合肥料類、液態肥料之主成分、有害成分重金屬含量、限制事項及是否含農藥等進行檢驗，確保市售肥料的品質。108 年市售肥料品質抽樣送驗、查驗肥料標示合計 1,642 件，至肥料製造、加工、包裝、倉儲等場所查驗肥料品質及其標示合計 198 件、廣告查核 100 件，共計 132 件違反肥料管理法規定遭裁罰。

配合有機農業促進法 107 年 5 月 30 日制定公佈，加強推動有機及友善環境耕作，獎勵農民施用有機質肥料，強化宣導農民按作物別及農田土壤特性予以合理並正確施肥，增加肥料利用效率及農產品質量，提升農民施用有機質肥料信心，逐漸由傳統化學肥料改施有機質肥料。109 年 7 月納入補助之推薦國產有機質肥料計有 86 家業者，356 個品牌。自 106 年度起提高農民施用有機質肥料補助標準，從事有機與友善環境耕作農民，每公頃補助上限由 2 萬元提高至 3 萬元（每公斤補助 3 元，每公頃補助 10 公噸）；

慣行農耕農民，每公頃補助上限由 0.9 萬元提高至 1.2 萬元（每公斤補助 2 元，每公頃補助 6 公噸）。108 年度國產有機質肥料推廣面積超過 3.35 萬公頃，施用有機質肥料數量達 21.7 萬公噸，較前一 (107) 年推廣面積 2.95 萬公頃成長 13.6%。綜觀整體有機肥料推廣成果，面積或重量皆逐年增加（表 2）。

表 2、有機質肥料推廣面積一覽表

年度	補助標準 (慣行農業)	成果	
		推廣面積 (公頃)	重量 (公噸)
93	每公頃 4 公噸，補助 4 千元。 (1 公斤補助 1 元)	14,145	56,580
94		17,017	68,068
95		20,503	82,012
96		9,655	38,620
97	每公頃 4 公噸，補助 6 千元。 (1 公斤補助 1.5 元)	18,061	72,244
98		22,290	89,160
99		21,395	85,580
100		20,207	80,828
101		20,225	80,901
102		20,225	80,901
103		23,500	94,000
104		22,008	88,033
105	24,051	120,256	
106	每公頃 6 公噸，補助 12 千元。 (1 公斤補助 2 元)	21,178	127,067
107		29,488	185,928
108		33,523	217,230

微生物肥料可提供作物養分、增進土壤營養狀況或改善土壤理化、生物性質，減少化學肥料施用，協助達成優質生態、安全及健康土壤之永續農業發展。政府於 99 年 7 月 29 日修正「肥料種類品目及規格」，增列微生物肥料類，定義其為含有活性微生物或休眠孢子，如細菌、放線菌、真菌、藻類及其代謝產物之特定製劑，應用於作物生產具有提供植物養分或促進養分利用等功效之物品，包含豆科根瘤菌肥料、游離固氮菌

肥料、溶磷菌肥料、溶鉀菌肥料、複合微生物肥料及叢枝菌根菌肥料等 6 個肥料品目。嗣後於 100 年 6 月 3 日公告「已被鑑定為安全之微生物肥料菌種」，包括細菌 8 種、真菌 4 種及酵母菌 4 種等計 16 個微生物肥料菌種，所公告之微生物係經鑑定對環境生態安全無虞之微生物肥料菌種，申請肥料登記證時得免附「生物毒性及環境生態試驗報告」。截至 109 年 7 月止，已登記之微生物肥料種類計有溶磷菌肥料 59 種、溶鉀菌肥料 3 種及叢枝菌根菌肥料 2 種等，共計 64 種，其中經推薦納入友善農業資材補助者計有 43 種（溶磷菌肥料 40 種、溶鉀菌肥料 3 種）。補助農民施用微生物肥料購買金額 1/2，每公頃最高補助 5,000 元，以改善土壤微生物相，促進作物養分吸收利用。108 年微生物肥料執行成果，推廣面積超過 1.86 萬公頃，較前一 (107) 年推廣面積 0.83 萬公頃有躍進式的成長，有助於提升國產農產品品質。

結語

全球糧食需求與日俱增，各國政府的肥料政策多為維繫國家糧食安全之重要施政。各國對國內肥料供需調節推展各有不同政策，以日本、韓國等國為例，因對農作物品質要求逐年提高，轉而推廣高效能與對環境友善之肥料產品、辦理土壤肥力檢測與合理施肥等方向發展，對於化學肥料需求有逐年減少趨勢，至於印度、印尼、菲律賓等國，對化學肥料需求仍持續增加中，以合理價格或足夠肥料數量供應予耕作農民，並採取補貼、管制等不同措施來達成政策目標，為該國肥料施政重要議題。

過去政府肥料政策多以穩定肥料價格為主，近年環保人士呼籲推廣友善環境等耕作方式，且消費者意識抬頭，政府順應民意，將持續加強輔導農民善用各種肥料資材，節省肥料用量，提高肥料利用效率，進而提升農產品品質，避免過量施肥造成土壤酸化、鹽化及水源環境污染等問題，輔導農民朝向有機及友善環境耕作，暨穩定肥料供需及價格，保障農民權益。

Current status of fertilizer management and counseling measures

Pao-Hsiung Shen and Chun-Chin Huang
Agriculture and Food Agency, COA

Abstract

Fertilizers are an important material for agricultural production and account for a decent percentage of agricultural inputs. The quality of fertilizers is also a determining factor for crops' growth and farmers' income. Thus farmers should choose licensed fertilizer products and apply them rationally, in accordance with crop's demand and the soil's fertility. For years, the government has put huge emphases on the stability of fertilizer prices. From the crop-for-fertilizer measure in 1946, programs like collective distribution and sales, market liberalization, subsidies on price increases, subsidies on eco-friendly materials were implemented one after another. The pre-ordering mechanism for fertilizers in 2020 adopts the same principle of prioritizing farmers by taking into account market conditions and prices to balance supply and demand for stabilized prices and production. In 2008, Agricultural Research and Extension Stations under the Council of Agriculture (COA) formed the "Counseling Team on Rational Use of Fertilizers" to educate farmers on how to perform fertility management correctly. The Agriculture and Food Agency, also an institute under the COA, rewarded farmers for using organic fertilizers, which could reduce the use of chemical fertilizers. With the promulgation of Fertilizer Management Act in 1999, fertilizers used for farming including straight fertilizers that supply nitrogen, phosphorus, or potassium, compound fertilizers, secondary micro-nutrient fertilizers, plant growth aids, organic fertilizers, and microbial fertilizers are required to be registered before they can be manufactured, imported, or sold. Under that Act, the government inspects manufacturing plants and fertilizer products on the market to safeguard farmers and ensure that land and soil are properly looked after and free of safety risks.

Key Words: Fertilizer, Fertilizer policy, Fertilizer management

KKF 自然農法於臺灣農場之 實證經驗分享

陳瑞芳

新良食·淨土文化推廣協會

摘要

KKF 自然農法自 2012 年在台推廣至今已 8 年，以課程教導自然農法技術。水稻選種和作物適地適種的重要性（目前臺灣未有學員完成水稻選種三年實作經驗），多樣性微生物的培養及運用，利用自然界植物來製作天然賀爾蒙生長激素，自然增甜劑及雜草抑制劑，以及闡述自然農法精神，收集農田實作經驗，推廣予友善耕作小農。經 8 年的推廣，累積不少實作成功經驗，全台學員廣泛應用在友善水稻栽培及友善蔬菜水果種植，並且利用採取自山上無污染的腐植土來培養其中的多樣性微生物（或製作成微生物菌球），經稀釋後添加到水田，蔬果園，溝渠，池塘，魚塭，有淨化水質、消滅有害物質效果，及幫助農作物成長。我們也利用微生物菌水來製作各種液體肥料及雜草蔬果堆肥，利用 KKF 的技術可充分將所有農業廢棄物，生熟廚餘轉換成液體肥料。不但可將所有已經分解成細小單位的有機及無機物質養分元素回歸土壤，並可降低農民購買有機肥料成本，並達成不需使用任何農藥及化學肥料即可有效幫助農作物成長、控制病蟲害及雜草的多元目標。我們也發現在自然界現有的植物、水果或雞蛋牛奶，都是很好的天然植物生長激素、增甜劑及雜草蟲害抑制劑。綜言之，臺灣的友善耕作農友已有甚多依 KKF 技術及方法製作的實作經驗，期待未來可發揮更多的成效。

關鍵詞：KKF 自然農法、微生物液體肥料

前言

KKF (Khao Kwan Foundation) 為泰國華僑 Daycha Siripatra 所創，二十多年前曾經獲得聯合國永續環境農耕貢獻獎，我們自 2012 年邀請 Daycha 先生來台，教授 KKF 自然農法技術及精神。

水田是全台最大的濕地，但自工業革命之後，農民為求產量，大量使用除草劑農藥及化學肥料，將土壤中的微生物破壞殆盡，因此造成土壤酸化，鹽分累積過多，形成土壤硬化，生態環境食物鏈受到破壞。地球是最大的生命有機體，土壤是活的，蘊含了生命生滅循環的契機—微生物。地球上長出來的所有植物，以及以植物為食物的動物，都需要微生物來協助分解食物成為生命所需的養分元素，這些龐大的微生物群在土壤和動物體內中擔任分解，吸收，轉化，催化的功能，並且激化食物中的微量元素產生抗體，抵抗病蟲害的入侵，幫助動植物成長。

在下面的內容，我們即將分享如何利用自然界的龐大的微生物來幫助農作物成長。此一友善自然農法所添加來自本土山上的多樣性微生物及自製液體肥料，不但可以加速土壤的自我修復，恢復土壤生態環境生物多樣化，也可逐漸淨化水源，讓生態環境漸趨平衡，同時農民以自製天然肥料來生產健康農產品供應社區民眾，達到維護食品安全的目標。

內容

在種植之初首先要評估土壤及地力，適地適種，選擇適合這塊土地的農作物以及改善土壤有機質，以利友善耕作。

以種植水稻為例，敘述如下：

1. KKF 自然農法的首要技術是選種，選擇最適合這塊土地成長的稻種，並且以每年用田間選穗，用糙米脫殼選種的方式，將最適應這塊土地的稻種留下來。經過三年的選種之後，再將所選出來的最好最完美的 100 棵糙米種出來的稻穀，做為育秧苗的稻種。



2. KKF 第二個重要技術是微生物的培養。

採集本土無污染的山區森林腐植土 100 公克，加米糠 200 公克及糖蜜一公斤，放置在 20 公升乾淨水中來培養其中微生物。經 7-14 天即可完成繁殖，依此比率繼續繁殖第二輪 400 公

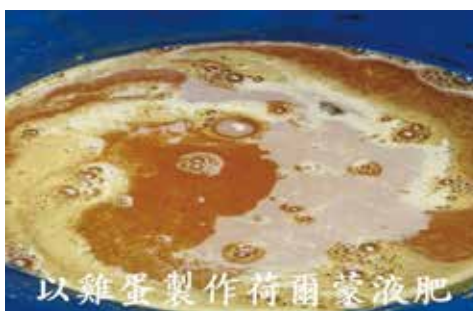


升，第三輪 8000 公升。並且可以將微生物菌水用竹葉或是粗糠做成乾式孢子狀態保存 10 年。（參考 KKF 講義）也可以黏土做成微生物菌球投入魚塭及溝渠中，來分解淨化池底污泥及過剩養份。多樣性微生物菌的作用在幫助作物成長，但是微生物菌不是肥料，而是龐大的消化大軍。



3. 第三個技術是製作液體肥料。利用森林腐植土自行培養的

多樣性微生物菌水，並收集所有農業廢棄物如青菜果皮，生熟廚餘，魚內臟，蝦殼，雞蛋殼，羽毛，豆渣，甘蔗渣，咖啡渣，福壽螺卵，海藻，過期奶粉，粗糠，禽畜糞，浸泡在微生物水中 30 天，加 1/3 量糖蜜，利用微生物菌分解成為細小單位的各種胺基酸，脂肪酸，酵素，葡萄糖，多醣等等，以及食物中具有微量元素，礦物質，各種維生素，幫助作物成長。這些龐大的多樣性微生物菌在植物根部進行吸收養，分解養分，轉化，催化等非常複雜的生物化學反應，以利動植物吸收，就像是在體外分解食物。也就像是食物在動物腸道被各種消化酶進行消化一樣。這些微生物菌會在植物的根系形成團粒結構保護圈，來幫助作物抵抗病蟲害，以及激化微量元素及礦物質幫助作物產生抗體。因此我們教導農民自製富含多元養分的液體肥料，解決農業廢棄物棄置的問題，而且適用在所有的蔬菜水果種植上。原則上以稀釋



50-100 倍，澆灌在根部或是噴灑在葉面，依作物成長所需調整劑量，植物可以快速吸收，成長效果顯著。



4. 每一年所收成的稻桿都要打入田中作為土壤的基肥，並且添加自製的採自原始土壤培養的微生物菌水 10 至 20 公升，來加速稻桿的分解以及成為微生物的食物。並可在田

中加入銀合歡富含氮肥，豆渣及自製雜草堆肥，一起分解約 2-4 週再來整平插秧。所有 KKF 種稻學員均留下每季稻桿為底肥，並加入 10-20 公升自制微生物菌水以利分解稻桿。2015 年桃園楊梅的傅嘉全實驗左邊 6 分地加微生物菌的友善耕作水稻，及右邊 6 分地原有的慣行水稻，田梗左邊無稻熱病，右邊出現稻熱病，成為明顯對比。學員陳添壽也做添加及不添加菌水的有機稻田實驗，也出現田梗兩側無稻熱病及有稻熱病結果的對比。

5. 在預秧苗之前稻穀要浸泡稀釋 20-50 倍的微生物菌水兩小時來殺菌預防稻熱病，雲林溫禮華，程永進，林家良自 2014 年每季均浸泡菌水再送秧苗廠，未曾有稻熱病發生。若有稻熱病現象，可稀釋 100 倍直接噴葉面來抑制，2014 年新竹曾烽桂已有實驗成效，稻熱病逐漸消退並繼續成長一直到收成。
6. 用自行培養的微生物菌水來浸泡生熟廚餘，蔬果皮，魚內臟，豆渣，銀合歡 30 天來製作液態肥料。依水稻生長所需定時施肥，稀釋液態肥料放流水田中。宜蘭黃政莊，南投張世昌，雲林程永進，台南菁寮農友群以魚肥實驗，產量最多可達正常產量 8 成，台梗九號可收 12-13 掛。

以種植蔬果為例，敘述如下：

1. 將菜畦收成之後殘留的蔬菜噴灑自行培養的微生物菌水，之後打田覆蓋田土再噴水加濕分解成為基肥，或是增加自製豆渣液肥，並以銀灰布覆蓋抑制雜草生長，二週後打開即可種植。
2. 收集生熟廚餘，魚內臟等，做豆渣液肥（富含氮肥），魚肥（富含磷鉀肥）蔬果液肥（含植物生長激素）各式液體肥料及樹葉落果雜草堆肥（纖維質），稀釋 50-200 倍噴灑在作物根部或是葉面，依不同蔬果果樹需要，成長點，施予不同成份液肥，吸收快速，成長立見。
3. 製作天然生長激素及雜草蟲害抑制劑。
 - * 利用 3 公斤雞蛋或牛奶，加 1 公斤煮過的米（提供醣類替代糖蜜是微生物菌的食物），加 10 公升微生物菌水浸泡 3-10 天，可產生豐富天然生長激素。新竹學員實驗噴茭白筍根部，分蘖多一倍。
 - * 用竹筍尖或芭蕉花芯，小花蔓澤蘭葉尖浸泡微生物菌水 3-10 天後，加兩杯煮過的

米，（超過 10 天就沒有生長賀爾蒙了）可產生天然生長賀爾蒙，稀釋 100 倍噴在作物根部或是葉面可促進作物的根莖葉生長。

- * 將新鮮的香蕉芭蕉花採下，切成小塊加微生物菌水淹過，及兩杯煮過的米，放置 3-10 天，即有生長



荷爾蒙釋出，使用時稀釋 100 倍直接噴灑在開花部位或是根部，促進開花，可以讓花卉長，花苞多，芽苞多，結果多，但是不促進果實生長。宜蘭吳寶玉實驗，茄子生產倍增。蕃茄經施澆的菌水後，結實纍纍如葡萄。



- * 熟透的香蕉是天然鉀肥果實增甜劑，將熟透的香蕉切成小塊泡微生物菌水淹過，加兩杯煮過的米，放置 3-10 天，是最天然的果實增甜劑，在採收前七天稀釋一百倍，直接噴在果實上。



- * 銀合歡是天然的高氮肥動植物均適用。

- * 採取任何一種雜草 10 公斤加微生物菌水淹過，再加 1 公斤糖蜜浸泡 3-10 天，倒出來後不稀釋直接噴濕地面，可以抑制插秧前水稻田雜草生長。所有的雜草都有排他性，因此可以利用一種雜草的汁液來抑制另外一種雜草，例如用咸豐草汁液來抑制小花蔓澤



蘭，用小花蔓澤蘭汁液來抑制青箱。

- * 抓一把苦藤用鐵錘敲碎泡在水中 8 小時，再將汁葉取出稀釋 20-50 倍噴在有蟲害的作物上，可抑制蟲害。宜蘭吳寶玉做玉米筍實驗，將原液直接噴在筍心，蟲害就不再來了，原本有蟲害的玉米筍就健康的長大。農田經施灑微生物菌，土壤長出很多馬勃菌。
- * 一分地用 6 公斤已經乾枯的阿伯勒莢果，用鐵錘敲水之後泡在水中兩小時，整桶變成黑色汁液後倒在田裡有福壽螺出沒的地方，福壽螺碰到阿伯勒莢果汁液會麻木，無法進食就會死亡，不會傷害土壤中的蚯蚓及微生物，可替代苦茶粕。



只要依上述 KKF 農法技術，運用在友善水稻的栽培及蔬菜果園的種植均有

成效。自 2012 年在台教學以來，不少學員在自己的農場實驗微生物菌水的培養，各類的液肥、堆肥製作，及微生物菌球的製作。並且運用在他們的水稻田，蔬菜，果園，魚塢，化糞池及水溝淨化上，在幫助作物成長，增加結果率，增加甜度，增加產量，抑制病蟲害上均有顯著效果。

學員液體肥料及微生物菌農田實作實證案例：

- * 2016 年桃園平鎮 / 張正藤學員將微生物菌水放入飼料黃豆渣中兩週分解，之後給豬吃，豬的排泄物比較不臭。將微生物菌水摻在雞鴨飼料中幫助消化，羽毛非常漂亮，而且活力十足雞舍沒有臭味，宰殺之後腸道乾淨肉質較佳。





* 2017 年苗栗學員家中有苦茶樹油乾洛神苦茶樹，百年柚子樹幾乎枯死，經噴微生物菌水及加堆肥後，轉變為花朵盛開花苞密佈，採收近 200 顆柚子，甜又好吃。

* 2018 年彰化黃采晨所種的芭樂樹實作 5 年，每年只施一次微生物菌水，只曾施一次魚肥，芭樂果實碩大，客戶說芭樂香氣濃郁，現在已經不施有機肥，根系強壯，已經不受卷葉蟲為害。

本來因線蟲為害幾乎枯死的芭樂樹，經在根部掩埋苦藤以及菌水，經過一個多月芭樂就慢慢復活了。

* 2018 年桃園復興鄉比亞外部落在吳竹森團隊協助下，以微生物菌水及自製

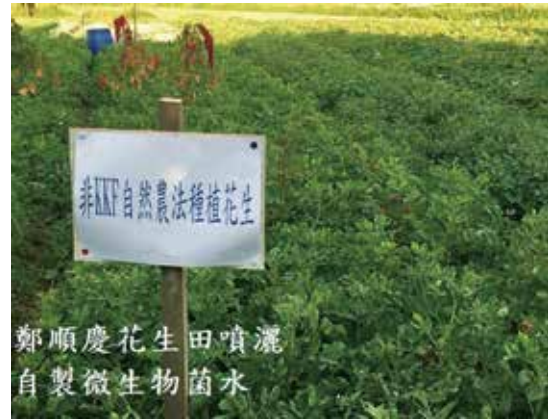


魚肥豆渣廚餘，雞毛液肥種植水果，枇杷甜度口感顏色和以前完全不一樣，2018 年收入增加 40 萬元，高麗菜也重達 5~6 公斤提前採收。

* 南投 / 蔡瀧賢用苦藤加鳳梨酵素噴栗子南瓜，開花幼果期果蠅叮咬明顯減少，芭樂的粉介殼蟲減少，益全香米田水中加微生物菌水，品質佳紋枯病減少。

* 2019 年彰化陳吉利以微生物菌水澆灌八年的火龍園土壤，生態平衡，已經數年不施有機肥。在長久下雨雨停之後，看到無數氣泡從土中不斷冒出，波波作響，鐵絲深入土中達 1 公尺深，根系充滿龐大微生物群。

* 2020 年台中 / 蘇國儒經 6 年轉型至自然農法的柑橘園，果樹茂盛深綠，檸檬表皮長瘤減少至不到百分之一，今年全園生態漸趨平衡，果實狀況最佳。



* 嘉義 / 蘇振茂以黃豆，花生粕，棕櫚灰加米糠及糖蜜自製高氮肥及高鉀肥種黃豆及黑豆，產量增加，病蟲害減少。

結語

在 2016 年我們結合全台 100 多位學員，基於相同理念與堅持不放農藥化肥的原則，成立新良食·淨土文化推廣協會，在全台各地推廣友善自然農耕技術與精神，將農業廢棄物循環再利用，生產健康無毒的農產品，友善土地，減少土地破壞及環境污染，用實作案例，說明用 KKF 自然農法半年到一年就可以恢復土地的生機。

參考文獻

陳瑞芳. 2018. KKF 自然農法示範推廣手冊.

KKF Natural Farming in Taiwan

Jane Chen

New Wholesome Food & Pureland Culture Association in Taiwan

Abstract

KKF Natural Farming has been promoted by practical teaching method in Taiwan for eight years. The planting techniques could be promoted to farmers who are interested in KKF natural farming. It's actually applied in many vegetable gardens, fruit gardens and rice fields and already have a lot of practical experiences. And this agricultural techniques has also been recognized by some farmers. During the implementation period, farmers also continued to proficient and deeper understand in the KKF agricultural techniques. The techniques of propagation of microorganisms and making liquid fertilizer have become more and more proficient for many farmers.

KKF microorganisms liquid, soybean dregs liquid fertilizer and fish liquid fertilizer could be used on vegetable and fruit gardens. These two application techniques have already proved to have advantages in the vegetable, fruit and rice planting. And these techniques also obvious induce the plants become more and more strong.

In order to further study KKF agricultural techniques. Banana cores, banana flowers, bamboo shoots, eggs, milk etc. soaked in the KKF microorganisms liquid could by extract hormones. These hormonesll make crops promote flowing, fruiting and sweeten and large fruit. This farming method makes faemers easy to learn, easy to operate, easy to get obtain materials, save costs, save labor and effective.

Key Words: KKF Natural Farming, Microorganisms liquid fertilizer.

1

環保酵素作物生產之應用



彰化縣環保酵素友善農耕協會

劉宜卉（彰化縣環保酵素友善農耕協會常務理事）

2

前言

從事美容護膚保養講師10餘年，深知血液→影響→體質→膚況→食物是最大的課題。溯本追源→食；現今社會食安問題頻傳，所以了解自己吃的食物，食安問題已到了不得不正視的地步，從吃開始做起，或許是最直截了當的方式。吃進的東西和吃進的方式與健康、生命息息相關。培養選擇食材的能力，並且對農業生產者有更豐富、立體的認識。自然多元的生態平衡，重新建立人與食物、人與土地的關係更是絕對需要的課題。

因美容職業關係一職，接觸研究食用酵素和外用酵素液多年，在105年因研發辣椒醬購買無毒辣椒，在連續大雨後購買之農場辣椒得了炭疽病，結果為了抑制病害，標榜耕種無毒農場選擇噴農藥抑制，最終還是抑制不了病害。這讓筆者產生很大的疑惑...種植真的有那麼難嗎？因而租下2分地開始做酵素發酵液種植相關實驗，也從中了解到種植要好土地，環境必需先得到合理的對待。

3

研究參考文獻和團體

1. 環保酵素技術是由泰國 Dr. Rosukon 樂素昆·普潘翁博士所研製成，泰國第一位酵素博士。曾用酵素處理蘇聯核能污染。
2. 泰國淨土村酵素農業應用。
- 3.



4

研究實驗環保酵素發酵液作物別計有：

杭黃菊、朝天椒、香菜、水稻、南瓜

薄荷、玉米、檸檬、絲瓜、虎豆、

芭樂、印加果.....等等

5

環保酵素胎杭菊應用實驗：農場主：劉宜卉
實驗地點：彰化縣溪湖埔鹽段
實驗面積：140坪 實驗時間：4年



► 環保酵素液種植方法：

使用環保酵素液種植黃色杭菊實驗已邁入第四年，全程使用綜合酵素採3天一次一噸水+45公升噴灌，10月初改以使用魚內臟酵素+蛋殼酵素，11月採收期每天加強澆灌根部一次至採收結束。

► 實驗結論：

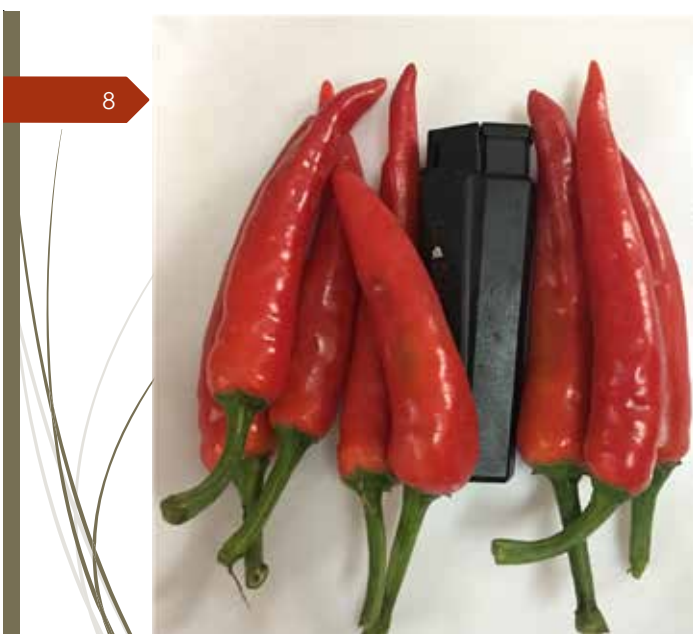
與其他農法種植相較，酵素液應用於黃菊種植，可延長採收期約一個月，邁入第二年幾乎無蟲害，色澤鮮豔、花朵飽滿、味道清香、對於消除眼睛疲勞更有快速明顯之效。

6

環保酵素朝天椒應用實驗：農場主-劉宜卉

實驗時間：一年
實驗面積：一分地
實驗地點：彰化縣溪湖





環保酵素液種植方法：

使用環保酵素液種植朝天椒，發苗時期每天澆以土著菌和各類環保酵素液，定植後每天噴灑一分地45公升酵素液配製一噸水，開花期每兩天噴灑一次蛋殼酵素和魚臟酵素，每週一次綜合酵素。

實驗結論：

採用環保酵素液種植朝天椒，明顯根系旺盛，結實纍纍產量豐富，果實碩大且辣度高，重量平均約9g，持續澆灌採收期可落在4-5期花左右，病害少，雨季零星炭疽病並不會擴散，唯獨毛毛蟲多時須加噴蘇力菌避免啃食，實驗也發現採收過後不噴灌或減少酵素液用量，果實會明顯變小。

9

環保酵素玉米應用實驗·農場主：劉宜卉
實驗地點：彰化縣溪湖埔鹽段1實驗面積：一分地
實驗時間：一季 品種：糯米、黑寶、白龍王




環保酵素液種植方法：
使用環保酵素液種植玉米，發苗時期每天澆以土著菌和各類環保酵素液，定植後每天噴灑一分地45公升酵素液配置一噸水，開花後每兩天噴灑一次蛋殼酵素和魚臟酵素，每週一次綜合酵素。

實驗結論：
採用環保酵素液種植玉米，明顯根系旺盛有的根系可高達4-5層，可不用耕土覆蓋，平均每根重量落在350g，最重者1,800g，實驗發現種植期為夏天，毛毛蟲、金龜、螺害嚴重，有+噴灑苦茶粕、檸檬酵素液+蘇力菌區域蟲害約1成，沒加噴區域蟲害高達4成，但大部分損害都是尾部玉米鬚被啃蝕掉。另外發現小區域種過香菜地種植玉米，明顯植栽和玉米都比其他來的小。

10

環保酵素液使用前後對照圖



作物實驗者劉宜卉



作物實驗者劉宜卉



酵素液應用於各種作物實驗



作物實驗者劉宜卉



13

作物實驗者劉宜卉



**環保酵素液栽種
實驗前後對比**

農場主徐揚善在由慣行轉友善種植購買大量有機資材使用，一年內全園得銹病無收成

使用酵素液應用後
一年內果樹恢復健康
翠綠結實累累



15

環保酵素水稻應用實驗：農場主：劉宜卉
實驗地點：彰化縣溪湖埔鹽段
實驗面積：2分地 實驗時間：水稻一期



16



17

酵素液應用於水稻成長對照相片



18

環保酵素水稻應用實驗：農場主：黃文財
實驗地點：烏日溪南段河床
實驗面積：一甲一分地 實驗時間：水稻續栽五期



19

栽種方法：

1、促進水稻根系發展：

一分地施以200公斤的有機肥打底，耕土前兩週每週一次，土著菌+木黴菌跟水流放淹田，浸水期每週再施放一次，秧苗下種後再施放一次，微生物菌到此時共施放四次，一分地約90公升微生物菌稀釋液。

2、防治病害：

15天後根據水稻成長狀況，在抽穗前及抽穗完成後，一分地以一噸水配製10公升液態芽孢桿菌噴灑葉面，連續噴灑3次，主要防治稻熱病、紋枯病、白葉尖病、霉爛病等病害，防治效果經實驗高達六至七成以上。

20

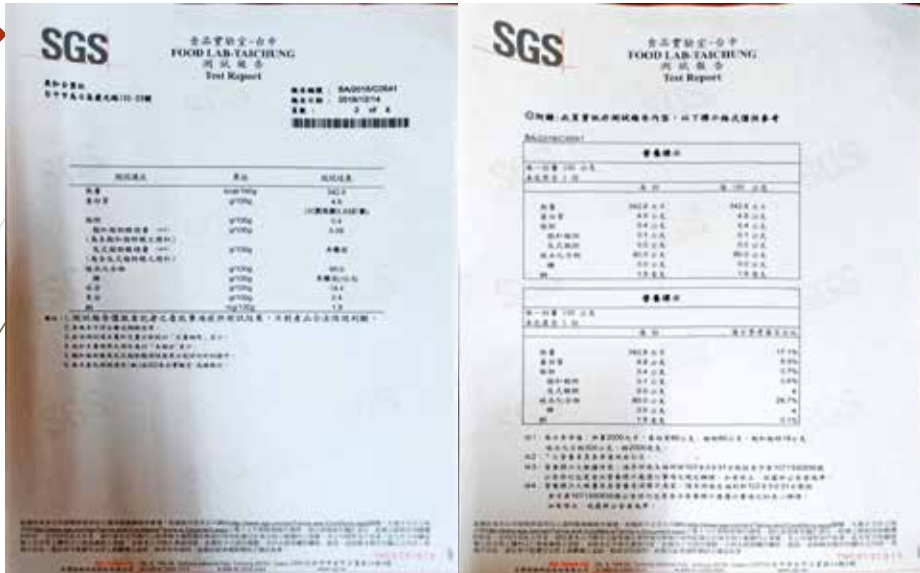
3、防治蟲害：

防治蟲害主要以柑橘類酵素為主，一週一次，曬田後開始施以噴灑柑橘類酵素，980公升水兌45公升+4公升木醋液，當年蟲害若嚴重可+噴蘇力菌，防治蟲害類保守估計達6-7成以上。

4、液肥

曬田完成後，一週一次綜合發酵液，一分地約45公升放水流淹田。

21



22

驗收成果：

- 第一期產量一分地900台斤
- 第二期產量一分地1,100台斤
- 第三期產量一分地600台斤
(此期全台病蟲害嚴重，所以降至600斤)
- 第四期產量一分地1,180台斤
- 第五期產量一分地1,300台斤



成分分析優於其它方式種植法，附上SGS成分分析表，口感優於其它方式種植法。
 整個5期實驗是在貧瘠沙地河床上，肥力流失快，如果是一般農地相信有更好的成果展現。

環保酵素液應用於水稻實驗1

可明顯看到酵素液用於養土後
栽種水稻對比的明顯差異。

實驗二在產量雖尚不及慣行農法
但每期均有明顯的成長，口感也
是倍受肯定的矚目焦點。



25

環保酵素作物生產之應用實驗結語

- 環保酵素作物生產應用於多樣性作物實驗後，結果是顛覆一般傳統的種植印象的。

顛覆1、不用化肥、不用農藥、不用除草劑也可種出又大又漂亮農作物。

顛覆2、環保酵素發酵液經肥力檢測，數據顯示微乎其微，但正確應用於作物上卻可見驚人的快速成長速度，瀕臨死亡營養不良的絲瓜藤蔓，一夜之間可長大一尺。

顛覆3、使用環保酵素液種植，可避免農業化肥使用過多造成的土壤和水的環境污染。

顛覆4、降低連作障礙。

顛覆5、酵素發酵液可輕鬆防寒、防熱障礙……等等好處不勝枚舉。

**環保酵素發酵液綜合多樣性作物應用實驗，確實值得推廣應用於作物上。
在環境永續經營發展上更是值得推薦應用。**

26



感謝聆聽

與自然共生的樸門永續設計

花蓮縣樸門永續生活協會

顏嘉成



David Holmgren



Bill Mollison

Source: <http://www.thisweekinthegarden.co.uk/wp-content/uploads/2014/09/Permaculture-is-a-word-originally-coined-by-Bill-Mollison-and-David-Holmgren-in-the-mid-1970's-to-describe-an-integrated-evolving-system-of-perennial-or-self-perpetuating-plant-and-animal-species-useful-to-man-Mollison-B.-and-Holmgren-D.png>

- 經由生態學和設計來創造永續的人類居所，樸門永續設計是一門土地使用的哲學與途徑，它將微氣候、一年生多年生植物、動物、土壤、水管理與人類需求交織連結在複雜的生產性社區內。（Bill Mollison, Introduction to Permaculture）



Source: http://www.greenschool.org/wp-content/uploads/2010/07/gs_hoi_where.jpg

- 樸門永續設計是……與自然合作而不是對抗，……注重系統的全部效用而不是只有一種產出；讓系統自行進行演替。

樸門設計的主要特色



- 綜合傳統知識與新科技，讓鄉村或城市皆能同時應用受惠。
- 遵循自然，以自然為模範來設計永續的環境，以提供人類基本需求、社會與經濟設施，這三者來回饋來支持我們的永續環境。
- 鼓勵並提供我們能力與機會，讓我們在面對本土或全球許多難題時，滙集成有覺知的解決方法。

(Rosemary Morrow, Earth user's guide to permaculture)

設計一個農場

你會考慮的有哪些事？

樸門裡強調「設計」

2 整體 規劃	所有級別	1. 規劃前，對農地現況做充分調查，做扇型分析。
		2. 使用樸門永續設計原則做農場分區規劃。
		3. 採用低投入、低廢棄、資源充分利用之規劃。
		4. 對現狀儘可能的保護與利用。
		5. 採加速生態演替策略

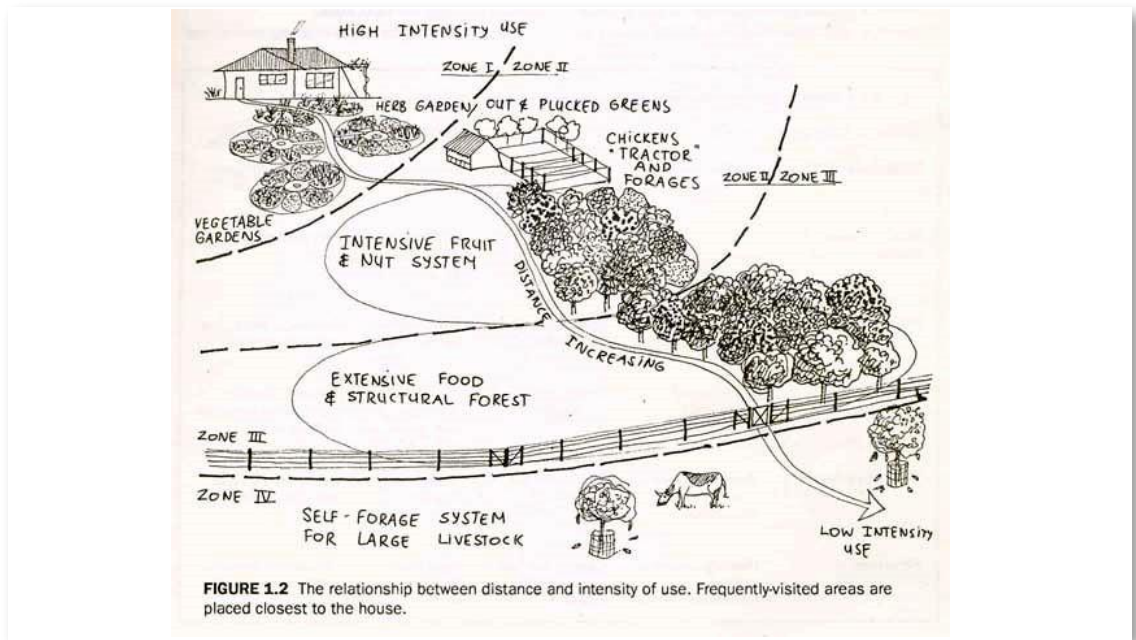
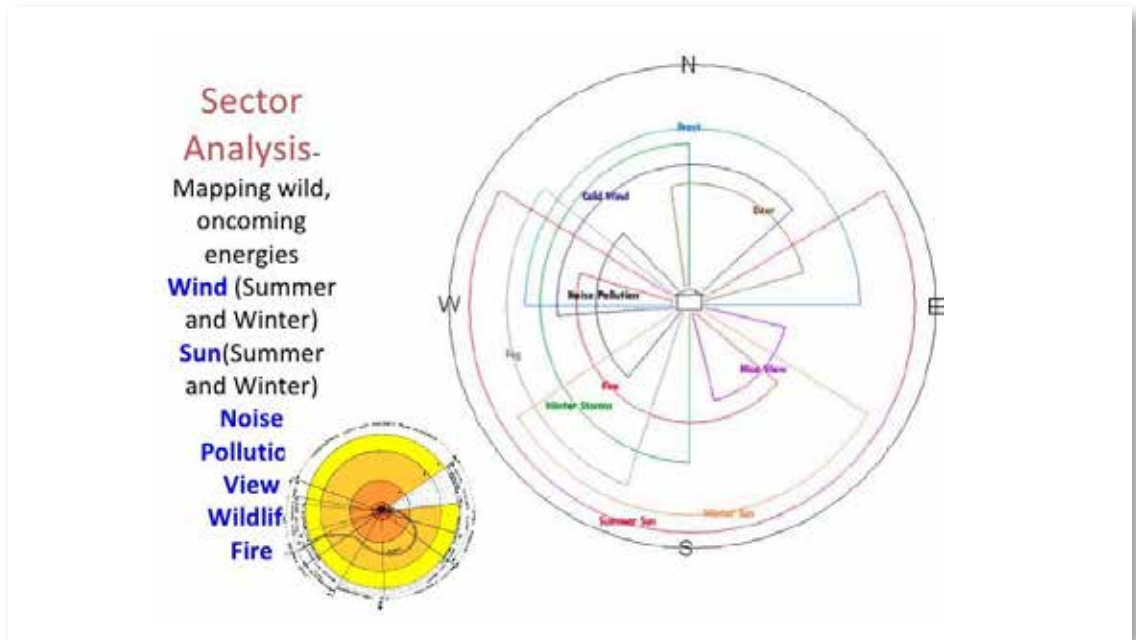
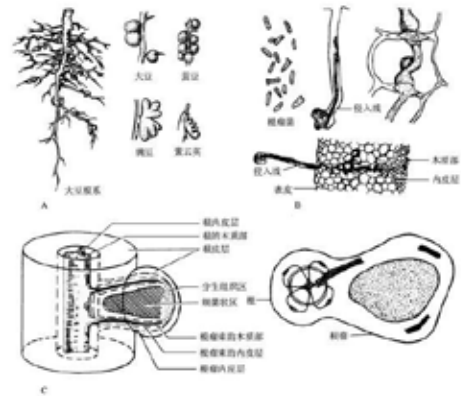


FIGURE 1.2 The relationship between distance and intensity of use. Frequently-visited areas are placed closest to the house.

肥料 養分觀點

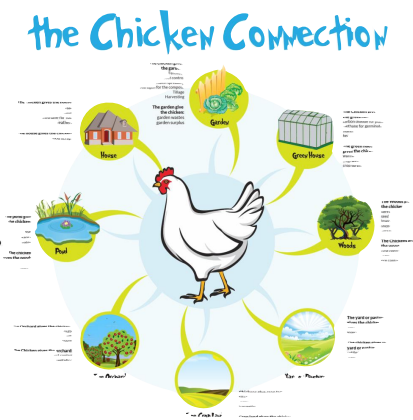
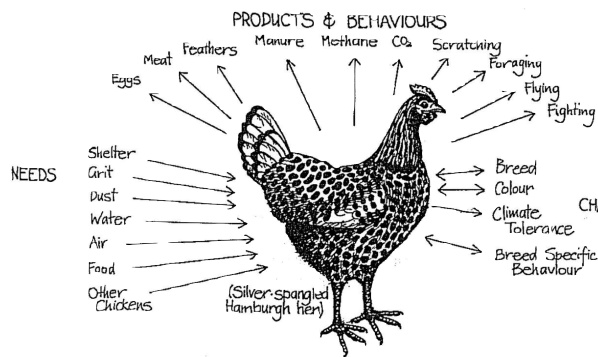
3 土地資源	入門級	1. 購買或自製植物性或健康養殖動物性原料製成之商用肥或堆肥。
		2-1 旱田 - 表土不裸露，耕作時期全覆蓋，非耕作期使用綠肥作物覆蓋。
		2-2 水田 - 以綠肥、輪作保持地力，休耕期種豆科為主之多樣性綠肥。
	精進級	3. 減塑策略(不使用塑料抑草蓆)；自有農業廢棄物循環利用(不露天燃燒秸稈)。
		4. 自製以鄰近區域材料做成之堆肥或微生物資材，使用固氮植物進行土地改良。
	典範級	5. 減少翻耕。
		6. 自製以農場內材料做成之堆肥或微生物資材，栽種固氮植物，形成資源封閉循環的系統。
		7-1 旱田：不翻耕或不以機械翻耕。
		7-2 水田：引進動物系統，維持地利，增加生物多樣性。





生物性資源

4 生物性資源	入門級	1-1 旱田：保留 5% 次生林或自然林(含鄰近森林)。
		1-2 水田：水田設有生態水池且田埂採多樣性草生。
		2-1 旱田：農林混作/間作/多層種植。
		2-2 水田：間作/輪作/多層種植。
	精進級	3 使用忌避作物或共伴作物。
		4 保留 10% 次生林或自然林 / 水田：鄰近土地有也算。
	典範級	5 使用天敵與微生物系統。
		6 保留 20% 次生林或自然林 / 水田：鄰近土地有也算。
		7 善用動物系統之整合設計。
		8 種苗使用自家留種、自育苗木或農友交換為主。



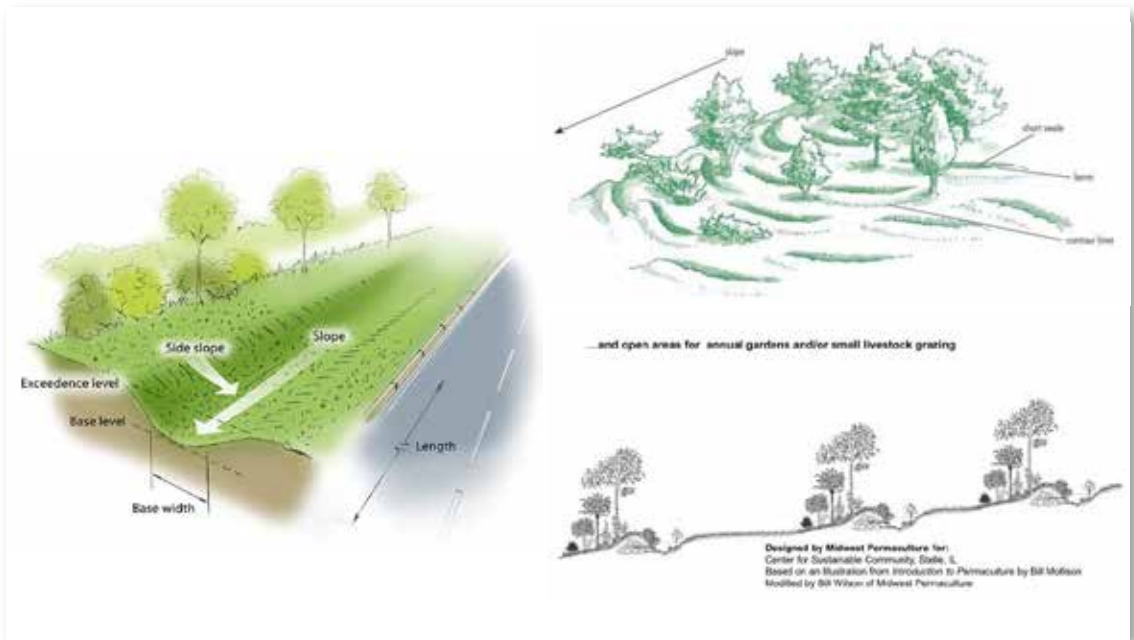
多層次種植



時間多層次 空間多層次

水資源

5 水 資 源	入門級	1. 不以地下水為主要灌溉水源。
		2. 設置水儲留系統，調節外來灌溉用水。
		3. 坡面採等高線種植。
		4. 在發生逕流沖蝕地區之沖蝕溝做逕流處理(線狀)
	精進級	5. 使用節水設施。
		6. 貯留地面雨水面積達農場的 1%。
	典範級	7. 貯留地面雨水面積達農場的 5%。
		8. 不抽取地下水澆灌。
		9. 具生活廢水之污水處理或灌溉水淨化之設計。





這些跟有益微生物及養分管理
有什麼關係？

如果我們只注重加入了些什麼
而忘了塑造原來可形成韌性的環境
那麼良好的棲地將不在

簡報結束
敬請指教



蛇糞生產技術及其應用

梁世祥¹、李佳馨²、廖曉涵²、王思涵²

¹ 行政院農業委員會畜產試驗所

² 行政院農業委員會畜產試驗所新竹分所

摘要

前瞻性農業生物黑水虻（Black soldier fly，學名：*Hermetia illucens*）能將各種有機資源物轉變為更有價值的幼蟲生物質和蛇糞。幼蟲生物質可做為動物性蛋白質資源應用，蛇糞富含幼蟲蛻皮，為半醱酵腐熟的營養物質，是繼蚯蚓糞之後，可規模化生產的土壤改良資材。研究顯示蛇糞的營養組成受有機資源物種類影響，其化學組成分析與市售堆肥僅在電導度、鈉和磷元素含量有顯著差異（ $p < 0.05$ ）；進一步比較施用蛇糞和化學肥料各半的處理組，與完全施用化學肥料的對照組，在甘蔗產量上並沒有顯著差異。蛇糞由於仍具營養成分和豐富微生物菌相，做為水產動物吳郭魚（*Tilapia*）的飼料原料，添加比例可達飼糧之 30%，能增加幼魚的成長速率、蛋白質利用率、提升吳郭魚免疫能力、增加吳郭魚對黃桿菌和豬鏈球菌的抵抗力等。蛇糞會隨著餵養黑水虻食物材料基質的不同，具有不同的料源特性，依其料源特性可利用做為肥料化、能源化、材料化和飼料化之應用。透過現有資料的整理，釐清蛇糞本身的特性與應用的優缺點，期望能做為未來深入研發蛇糞應用。

關鍵詞：黑水虻、蛇糞、土壤改良資材

前言

蛇糞是由英文的 frass 參照而來，以 frass 作為關鍵字查詢美國農業部（United States Department of Agriculture，USDA）的資料庫，定義為可做昆蟲幼蟲隧道的材料和飼料，類似鋸木屑狀的物質或排泄物，英文語詞 frass 較為廣義，適用於各種昆蟲吃過的任何東西的排出殘留物，可稱之為蟲糞，故蛇糞在中文是一個新的語詞，定義為各種有機資

源物經黑水虻處理過後殘留的殘餘物質。虻糞會隨著餵養黑水虻食物材料基質的不同，具有不同的料源特性，依其料源特性可將虻糞利用做為肥料化、能源化、材料化和飼料化之應用。將虻糞直接做為土壤改良資材使用，或堆肥化製成有機質肥料，提供作物生產栽培所需營養或改善土壤物化性質使用，即肥料化應用；將虻糞直接固化造粒製成固態衍生性燃料燃燒發電，即能源化應用；將虻糞轉化為生物降解材料或直接做為栽培介質材料，如一次性包材或栽培板材，即材料化應用，將虻糞直接或間接藉由混拌、青貯或氨化等調製處理，製成動物飼料使用，即飼料化應用。虻糞研發應用隨著有機資源物處理和虻蟲生物質飼料化應用日趨蓬勃發展，逐漸開始受到關注，其價值主要在於真正實現零廢棄物的永續農畜循環經營管理。

前瞻性農業生物黑水虻能將各種有機資源物轉變為更有價值的幼蟲生物質和虻糞，行政院農業委員會參照歐盟 Commission Regulation 2017/893 條例，依據飼料管理法第三條，修正可供家畜、家禽、水產動物之飼料規定，在 108 年 12 月 26 日農牧字第 1080044178A 號公告發布施行，將原 2.9 項下水虻刪除，改增列為 2.10 項水虻粉（限以 1. 植物性飼料餵養所長成之蟲體製成者），明確限定以植物性飼料餵養黑水虻，其蟲體經適當加熱、乾燥等程序製成蟲粉後，始得做為動物性飼料原料應用。虻糞即應用黑水虻消化處理有機資源物後的殘餘物，如美國 Enviroflight 黑水虻公司以威士忌酒廠的酒糟粕做為餵養黑水虻的植物性食物基質，消化處理後剩餘的虻糞，做為吳郭魚的飼料原料，可取代麥粉、玉米粉和玉米油，添加比例可達飼糧之 30%，能增加幼魚的成長速率、蛋白質利用率、提升吳郭魚免疫能力、增加吳郭魚對黃桿菌和豬鏈球菌的抵抗力等（Yildirim-Aksoy *et al.*, 2020）。韓國應用黑水虻處理餐廚餘收穫虻糞，經檢驗分析其物化特性與市售堆肥商品，僅在電導度、鈉和磷元素含量有顯著差異，虻糞供做白菜作物栽培的肥料使用為處理組，也與施用市售堆肥商品的對照組，在葉片長度、寬度、產量和乾物質含量均無顯著差異（Choi *et al.*, 2009）。2017-2018 年印尼在甘蔗園進行為期一年的產量試驗，對照組為完全施用化學肥料，處理組為施用化學肥料和黑水虻液態肥料各半，處理組間無顯著差異，這個結果顯示應用黑水虻液態肥料能替代一半的化學肥料使用（Pakpahan *et al.*, 2020），有助於減緩因肥料生產對全球暖化潛勢造成的影響，同時能避免土壤逐漸劣化，讓土壤生態系慢慢恢復。

全球規模化養殖的昆蟲工廠正在蓬勃發展，透過昆蟲將各類有機資源物營養轉化

加值為可再利用的生物質和蟲糞，除了黑水虻外，其他如麵包蟲、蟋蟀和蟑螂等各類昆蟲，也都能產出有價值與可觀的蟲糞，因而逐漸受到重視而成為研究的主題。蟲糞的生產與應用具有三項優勢，包括 1. 應用昆蟲快速的轉化有機資源物，藉由幼蟲生物質將有機資源物中的營養回收再利用，如蛋白質和脂質，相較於傳統堆肥的產品，具有較高的經濟價值（Chia *et al.*, 2019），2. 越來越多的觀察發現蟲糞對土壤微生物相和植物行為改變不同於傳統堆肥產品，這可能反應在蟲糞富含昆蟲衍生物，例如幼蟲蛻皮的甲殼素和幼蟲殘體的多胺類化合物（施，2008），這可能讓與蟲糞接觸的植物獲得實質性的好處（Poveda *et al.*, 2019），3. 在多個環境衝擊的指標上，與傳統的堆肥和沼氣生產方法相比，蟲糞的生產較具有可持續性；與化學氮肥生產相較，蟲糞生產對陸域、水域的酸化和溫室氣體的排放顯然也少了許多（Smetana *et al.*, 2019）。黑水虻相較於麵包蟲、蟋蟀和其他種類的昆蟲，具有不與人爭糧、不與糧爭地和不與魚爭水的生產優勢，同時不是作物害蟲、不會傳播畜禽病原菌，也不會干擾人類生活的特性，使得黑水虻昆蟲工廠正快速發展，蛇糞的生產和相關的應用，在可預見的未來將會投入更多的研究。

透過現有資料的整理，釐清蛇糞本身的特性與應用的優缺點，期望能做為未來深入研發蛇糞應用項目之參考。

內容

1. 蛇糞生產技術

蛇糞生產所使用的黑水虻西湖品系（XiHu line）自苗栗縣西湖鄉野外誘引獲得，經鑑定比對確認，在行政院農業委員會畜產試驗所新竹分所實驗室內飼養繼代培養超過 10 代以上，以維持其族群供試驗使用。經繼代培養之黑水虻幼蟲，是飼養在生長箱（溫度約 27 ± 1 °C；光照 16L：8D）。麩皮和玉米粉按 4:1 比例混合（含水率 65%）的人工飼料進行餵養。1 至 6 齡黑水虻幼蟲，置於 380 號塑膠密盆（長 36.4 cm × 寬 28.5 cm × 高 7.8 cm）中集中飼養，並將 380 號密盆置於 500 號密盆中，待 6 齡幼蟲將進入預蛹期時，會自行爬出 380 號密盆，落入 500 號密盆中，聚集於 380 號密盆下方與 500 號密盆之夾縫中，待其蛻皮成為預蛹後收集，將收集的預蛹集中另置於 380 號密盆中，並於密盆中置放一紅磚（長 20 cm × 寬 10 cm × 高 5 cm），讓預蛹有空間隱蔽化蛹，待其蛻變為蛹後，收集置放於繁殖網室（長 3 m × 寬 2 m × 高 1.8 m）內的置物架（長 60 cm × 寬

45 cm × 高 90 cm) 上，架上最上層另置誘引產卵的物質 (內含養殖幼蟲的 380 號密盆) 與瓦楞紙板，以供成蟲羽化交尾後產卵，同時方便黑水虻卵團的收集。收集的黑水虻卵團置於透明塑膠冰淇淋杯 (直徑 9 cm × 高 9 cm) 380 號密盆中飼養，待脫皮至 3 齡後，則改以 380 號密盆飼養。在飼養期間，亦不定期自田間採集野生種源與實驗室培養的族群進行雜交，避免供試蟲源生長勢衰弱。用於虻糞生產時，選取脫皮至 3 齡後的黑水虻幼蟲，將其置入 380 號密盆，加入待處理的有機資源物做為飼料基質，來源包括乳牛場固液分離後的乳牛糞、畜牧場固液分離後的豬糞，畜禽場的蛋雞糞、酒糟粕和廚餘等，經過 5 天後，將黑水虻幼蟲與虻糞進行振動過篩分離，收集到的虻糞和幼蟲經烘乾 (85°C, 48 hrs) 後，研磨成粉狀送中興大學土壤檢驗中心和畜產試驗所飼料化驗中心進行堆肥檢驗項目和基本營養組成分析。

2. 虻糞應用

(1) 虻糞做為土壤改良資材之肥料化應用

畜試所新竹分所乳牛糞經過固液分離後，做為餵養黑水虻的飼料基質，經黑水虻處理後，過篩分離得到虻糞 (圖 1) 做為土壤改良資材之肥料化應用，將虻糞採樣烘乾後送中興大學土壤調查試驗中心進行雜項堆肥品項檢驗，結果為有機質含量達 81.8%，全氮含量為 2.21%，全磷酞含量為 2.15%，全氧化鉀含量為 1.18%，有害元素砷、汞、鎘、鉻、銅、鎳、鉛和鋅，含量分別為 0.91 mg/kg、0.0162 mg/kg、<0.25 mg/kg、17.6 mg/kg、50.8 mg/kg、16.9 mg/kg、3.04 mg/kg 和 255 mg/kg，水分含量為 14.3%，酸鹼值為 7.14，氮碳比為 18.5，檢驗結果顯示虻糞做為土壤改良資材施用於友善農業耕作田區是可行的，除了鋅含量稍高但仍在標準範圍 (500 mg/kg) 內。在 2017 年 1 期水稻栽培前即估算虻糞含氮量做為減少化學用量之依據，將虻糞做為土壤改良資材施用於田間以取代基肥，在 8 月收穫時，統計施用虻糞做為土壤改良資材之試驗組，每公頃稻穀收穫量為 4,517 kg，施用商用有機質肥料的對照組，每公頃稻穀收穫量為 4,835 kg，試驗組稻穀收穫量較對照組少了 6.5%。透過本次先期試驗，可知乳牛糞經黑水虻處理後的虻糞，由於質地細緻較輕，雖然虻糞施用於田間有翻犁至土壤中，但少部分虻糞在翻犁過程中，又重回土壤表面，導致在水田灌水時會隨著水流移動，這些漂移的虻糞，除了造成施用效果不均勻，也因漂流出試驗組田區而造成產量上的差異，致使試驗區組稻穀收穫量

較對照組少，因此後續進行水田試驗，應考慮使用造粒後的蛇糞顆粒化土壤改良資材，因其質量較緊實，便於沉於水中或留置於土壤內，使蛇糞不致於隨灌溉水流到處移動，達到試驗的正確可信。



圖 1、乳牛糞經過黑水蛇處理後的殘餘物之蛇糞樣態。 圖 2、蛇糞經膠合製板做為蘭科或蕨類植物的栽培介質應用。

(2) 蛇糞做為栽培介質之材料化應用

畜試所新竹分所乳牛糞經過固液分離後，做為餵養黑水蛇的飼料基質，經黑水蛇處理後，過篩分離得到蛇糞做為栽培介質之材料化應用，將蛇糞經過滅菌與烘乾處理後，混入環氧樹脂膠均勻混合後，將混合物倒入模具內整平，再連同模具一起置於擠壓機內以 100 kg/cm^2 的壓力進行定壓壓製，脫模後的草纖板再鑽孔用以固定吊繩，製作完成的草纖板長為 32 公分，寬為 21 公分，厚度為 2 - 3 公分，重量約 0.5 kg，其結構強硬，不易破裂，目前仍在觀察其耐候強度與壽命，其處理後之 pH 值為 6.8，電導度值為 0.8 dS/m，可做為蘭科或蕨類植物的栽培應用（圖 2），另以盆栽為模具，進行不同盆栽容器的製作，顯示蛇糞也可做為栽培容器之材料（圖 3），其應用性與市場經濟性則仍需充分評估，以實現蛇糞做為板狀栽培介質或盆栽容器的可分解性生物材料。

(3) 蛇糞做為動物飼料之飼料化應用

從豆腐食品工廠取得豆渣，做為餵養黑水蛇的飼料基質，經黑水蛇處理後，過篩分離得到蛇糞做為動物飼料之飼料化應用，將蛇糞收集後，直接或間接藉由混拌或青貯調製處理，做為肉牛、肉羊、放山土雞和鴨的飼糧。其中肉牛相對較不挑

食，肉羊對食物氣味較敏感，放山土雞則偏好從蛇糞中尋找黑水蛇幼蟲，鴨較雞禽顯得較不挑食（圖 4），顯示以植物性原料做為黑水蛇飼料基質，收穫的蛇糞經適當調製後，仍有做為飼料化應用的價值，對降低動物飼料成本與提升飼料自給率能有幫助。



圖 3、蛇糞經膠合製盆做為可分解盆栽容器。



圖 4、蛇糞做為放山土雞和鴨的飼糧。



圖 5、蛇糞做為固態衍生燃料材料之能源化應用樣品。

（4）蛇糞做為固態衍生燃料之能源化應用

乳牛糞經固液分離後，將固形物直接做為固態衍生燃料之原料，常因含水率高增加乾燥成本，另有餘粒狀污染物和氮氧化物高於排放標準的疑慮，若固形物先做為餵養黑水蛇的飼料基質，經黑水蛇處理後，過篩分離得到蛇糞做為固態衍生燃料之材料（圖 5），能減少乾燥成本，同時能降低餘粒狀污染物或氮氧化物含量，使符合排放標準，有助於蛇糞做為能源化應用的產業推動。

結語

應用黑水虻轉換農畜剩餘資源，提升副產物附加價值，是循環農業的新藍海產業，需要產官學密切合作，透過行政管理部門的支持，建立適合產業發展的法規進行管理，使新產業能健全充分的萌芽開展，符合政府與各界的期待。蛇糞在黑水虻產業應該受到更多的關注，其多樣化的應用潛力，能重新連結不同產業，創造新的生物經濟價值，蛇糞具有從食物鏈和人類生活的循環中，將氮和磷有效率的再利用回到土壤，能減少額外的化學肥料使用，使土壤微生物族群和植物行為往好的方向改變，達到減少化肥生產與使用對環境的衝擊。黑水虻產業價值目前仍未受到足夠的重視，在農業實踐和農業發展政策仍存在困難，如何在城鄉之間建立緊密循環的農業經濟結構，讓農村的糧食和農產品能流入城市，讓城市的過剩或過期的食物資材和有機資源物回到農村再利用，使城市到農村的循環系統得以完善建立，讓資源永續循環，而不再產生廢棄物污染我們的土地、水源和空氣（Pakpahan *et al.*, 2020），是未來需要重視的永續農畜經營管理的課題。

參考文獻

1. 施劍鏐。2008。功能性有機資材之綜合利用及其對永續有機作物生產的重要性。行政院農業委員會農業試驗所特刊 136: 25-38。
2. Chia S. Y, C. M. Tanga, J. J.A. van Loon, and M. Dicke. 2019. Insects for sustainable animal feed: inclusive business models involving smallholder farmers. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 41: 23-30.
3. Choi Y. C., J. Y. Choi, J. G. Kim, M. S. Kim, W. T. Kim, K. H. Park, S. W. Bae, and G. S. Jeong. 2009. Potential usage of food waste as a natural fertilizer after digestion by *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Int. J. Ind. Entomol.* 19: 171-174.
4. Pakpahan A., R. Widowati, and A. Suryadinata. 2020. Black soldier fly liquid biofertilizer in Bunga Mayang sugarcane plantation: Form experiment to policy implications. *MOJ Eco. Environ. Sci.* 5: 89-98.
5. Poveda J., A. Jiménez-Gómez, Z. Saati-Santamaría, R. Usategui-Martín, R. Rivas, and P. García-Fraile. 2019. Mealworm frass as a potential biofertilizer and abiotic stress tolerance-inductor in plants. *Appl. Soil Ecol.* 142: 110–22.

6. Smetana S., M. Palanisamy, A. Mathys, and V. Heinz. 2016. Sustainability of insect use for feed and food: life cycle assessment perspective. *J. Cleaner Prod.* 137: 741–51.
7. Yildirim-Aksoy M., R. Eljack, C. Schrimsher, and B. H. Beak. 2020. Use of dietary frass from black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, in hybrid tilapia (Nile x Mozambique, *Oreochromis niloticus x O. mozambique*) diets improves growth and resistance to bacterial diseases. *Aquaculture reports* 17: 100373.

The production technology and application of frass of black soldier fly

Shih-Hsiang Liang¹, Chia-Xin Lee², Hsiao-Han Liao², Szu-Han Wang²

¹Animal Industry Division, Livestock Research Institute, COA

²Hsinchu Branch, Livestock Research Institute, COA

Abstract

The forward looking agricultural creature black soldier fly can transform various organic resources into more valuable larval biomass and frass. The larval biomass can be used as an animal protein resource. The frass was rich in larvae molting and was a semi-fermented nutrient substance. The frass was a soil improvement material that can be produced on a large scale after earthworm compost. The studies have shown that the nutrient composition of frass was affected by the types of organic resources, and its chemical composition analysis was significantly different from that of commercially compost only in electrical conductivity, sodium and phosphorus content. Compare the treatment groups that use frass and chemical fertilizer with half that was no significant difference in sugarcane yield with control group completely applied with chemical fertilizers. The frass has rich microbial phase and nutrient content that was used as a feed composition for aquatic animal tilapia. The application ratio of frass can reach 30%, which can improve the growth and protein utilization rate of juvenile fish and promote tilapia innate immune system activity. Increase the resistance of tilapia to *Flavobacterium columnare* and *Streptococcus iniae* infections. The frass will have different material source characteristics according to the different food material substrates, and can be used as fertilizer, energy, material and feed application according to the characteristics of the material source.

Key Words: Black soldier fly, Frass, Soil improvement material

蚓糞製作及使用

潘佳辰、黃瑞彰

行政院農業委員會臺南區農業改良場

摘要

蚓糞為透過蚯蚓處理廢棄物所得到的產物。蚓糞製作包含前處理、製作過程及蚓糞收集，期間需注意廢棄物的選擇、預先堆肥、盡量縮小廢棄物體積、適度維持墊料水分以及觀察蚯蚓生長狀況等。蚓糞製作所選用之廢棄物種類會直接影響到產品的酸鹼值、水分、碳氮比及養分成分等。施用蚓糞到土壤中有助於提升土壤物理、化學及生物性，例如提升土壤空隙度、降低總體密度、增加養分及具有類似植物荷爾蒙的成分以促進作物生長。

關鍵詞： 蚓糞製作、蚓糞品質、土壤指標

前言

人類利用蚯蚓最早的文獻紀錄在 18 世紀，主要是蚯蚓作為蛋白質來源。而達爾文於 1881 年首度於文獻中披露蚯蚓應用於分解有機物的功能，進一步促進養分循環。往後開啟了一系列利用蚯蚓處理有機廢棄物的應用以及相關研究。根據農業委員會綠色國民所得帳農業固體廢棄物歷年表所示，2018 年共產生 5,016,651 噸之農業廢棄物，在廢棄物處理方式包含就地翻耕、焚燒、作為墊料、堆肥處理、飼料等，而以 2018 年統計結果顯示約有 49% 之農業廢棄物作為堆肥以及 33% 則就地掩埋，而就地掩埋之品項以稻稈為多數。堆肥化處理為透過調整碳氮比、水分、高度，利用微生物作用將農業廢棄物加值為堆肥，並依照養分特性施用到不同作物及土壤中。適當的堆肥化作用，將有助於去化農業廢棄物。利用蚯蚓處理有機廢棄物的過程稱為 *vermicomposting*，在常溫狀態下，有機廢棄物經過蚯蚓取食經過腸道處理後，過程中會使得有機廢棄物碳氮比下降

並且增加有機廢棄物的表面積，以利微生物進行分解。目前有許多民眾及業者選擇利用蚯蚓去化農業廢棄物，其去化之種類包含太空菇包、禽畜糞、咖啡渣及蔬果殘渣等，種類及來源相當多元。而根據前人研究底泥、造紙廠產物、生活廢棄物等皆可透過蚯蚓處理。在 2000 雪梨奧運及 2008 北京奧運時，皆提到利用蚯蚓處理選手村中每天所產生的生活廢棄物。由於循環農業及都市農業之議題興起，利用蚯蚓處理有機廢棄物亦成為討論話題之一，然而仍有部分議題需要釐清以及討論，本文擬就以下幾項議題分項討論：

1. Vermicompost(ing) 之名詞定義；
2. 蚓糞之操作流程；
3. 蚓糞品質指標；
4. 蚓糞的應用；
5. 使用蚓糞對於土壤及作物的效應；

1. Vermicompost(ing) 之名詞定義；

在市面上常見到蚓糞相關商品，其名稱有蚓糞肥、蚓糞堆肥、蚓糞土等等。究竟該使用哪一種名稱最能恰如其名？Vermicast 是蚯蚓取食有機物後所排放出來的產物；而根據 vermicomposting 的操作型定義，是利用蚯蚓處理有機廢棄物的過程，且過程中使得有機物逐漸穩定 (stabilization) 及腐植化 (humification)。一般來說最終產物會存在蚓糞以及較大顆粒的有機物，故建議使用 vermicompost 一詞較為妥當。

2. 蚓糞之操作流程；

進行蚓糞製作過程中，通常可以將流程區分為三個階段：1. 前處理、2. 堆肥期間及 3. 蚓糞收集：

(1) 前處理

前處理包含了墊料及食料的選擇以及食料處理。墊料，為蚯蚓提供蚓糞堆肥製作過程中的空間。墊料之作用包含調整蚓糞堆肥成分、調整水分、以及提供蚯蚓避風港。蚓糞製作為在常溫下利用蚯蚓處理有機廢棄物，在某些情況下有機廢棄物所含有的酸性物質或是氨氣皆對蚯蚓有負面影響；除此之外，由於缺乏傳統堆肥所到達之高溫狀態，蚯蚓處理有機廢棄物過程後仍有可能存有雜草種子或是病害。故在國內各項與蚓糞相關研究，不論墊料或食料通常建議先進行堆肥化作用，消除

潛在有害因子，詹（2014）提出若以豬糞與廢菇包混合物為材料，進行 0、1、2、3 週之預堆，結果顯示以預堆三週之幼蚯蚓數較多。

食料選擇上，建議多採用蔬果殘渣（菜葉或是果皮）餵食蚯蚓，並且避免肉類、豆類等以免產生異味。在嘗試新的食料前，建議應先少量餵食，觀察蚯蚓穩定取食後，再大量投入。若是大量處理禽畜糞須確認重金屬是否符合國家相關規定，避免投入後造成環境污染。

食料的處理除了前文提到預先進行堆肥外，若是能盡量縮小食料體積將有助於加快蚯蚓處理速度並可提升蚯蚓族群擴大。表 1 所示為將葉菜廢棄物進行切片及磨碎後進行蚓糞製作，試驗結果顯示葉菜經磨碎處理能可提升蚯蚓的總重及數量。

表 1. 瓜果及蔬菜類廢棄物經切塊及磨碎處理對蚯蚓總數及重量之影響。

	20150428	20150626	增加倍數
---Number of earthworm/ pot---			
Used mushroom sawdust(UMS)	10	48.3±17.6	4.8
UMS +CV	10	74.3±14.7	7.4
UMS +SV	10	129.3±48.7	12.9
--- Weight of earthworm, g/ pot---			
Used mushroom sawdust(UMS)	5±0.4	6.3±1.4	1.3
UMS +CV	4.1±0.5	16.3±3.7	4.0
UMS +SV	4.4±0.4	30.7±10.6	7.0

UMS: 菇包堆肥 ; C: 切片 , S: 磨碎 ; V: 葉菜廢棄物

(2) 堆肥期間

製作期間需注意蚯蚓密度、環境溫度及保持墊料濕度。建議將蚯蚓投入密度設定在每平方公尺 500-1000 公克蚯蚓，若為初次進行蚓糞堆肥製作者，則需要更低的投入密度。環境溫度建議 30°C 以下，最適為 20-25°C。製作過程中的墊料濕度建議在 60-70%。

值得注意的是當蚯蚓出現在表面、整團聚在一起以及集體逃離飼養箱或是場域時，應立刻確認是否為添加的食料造成影響，並將蚯蚓移到安全的墊料中。

而根據美國農部之國家有機計畫文件建議（USDA NOP 5021），若是以露天進行，則處理時間需要 6-12 個月；若是室內箱養則處理時間需要 2-4 個月；若是利用連續式水平養殖系統，則處理時間需要 30-60 天。

(3) 收集

蚓糞堆肥收集通常佔據較多時間及成本，收集方式包括利用篩網以人工或是機械方式，將蚯蚓及蚓糞堆肥分離；或是以光照法或是食物引誘方式將蚯蚓移往新的環境。國內業者約有 7 成以上是以引入機械過篩輔助蚓糞堆肥收集，採收時會將蚓糞堆肥部分陰乾，再進行過篩。亦有民眾自製滾筒或是篩網進行過篩。

3. 如何界定蚓糞品質指標

進行蚓糞時，如何界定產品的品質是一件重要的課題。而影響後端品質的因子包含原料、製作方式、預堆方式及時間、製作過程中是否有添加物、使用的蚯蚓品種、飼養密度以及產品儲存方式等，皆應該在生產紀錄中詳細的記載下來。本文擬節錄 Edwad(2010) 所提供之品質指標供讀者參考：

(1) 濕度 (Moisture content)

在蚓糞製作過程中，建議維持在 75-90%。由於蚯蚓需要水分進行一系列生理反應以維持基本生存，故製作環境一定要維持適當的濕度，避免蚯蚓脫水。而成品收集後，通常需要一段時間的風乾降低濕度，以符合國家肥料管理法中對於有機質肥料的規定。

(2) 酸鹼值 (Acidity)

原料會直接影響成品的酸鹼值，其種類及產品酸鹼值整理成下方表：

表 2. 不同原料之成品酸鹼值。

原料	成品酸鹼值	出處
羊糞	8.6	Gutierrez-Miceli <i>et al.</i> , 2007
牛糞	6.0 6.7	Jordao <i>et al.</i> , 2002 Alves <i>et al.</i> , 2001
豬糞	5.3 5.7	Atiyeh <i>et al.</i> , 2001 Atiyeh <i>et al.</i> , 2002
底泥	7.2	Masciandro <i>et al.</i> , 2002
菇包	7.7	潘等。未發表之數據

由於原料將直接影響產品酸鹼值結果，故施肥前須先了解當地土壤狀況，再進一步選擇適合的產品。

(3) 碳氮比 (Carbon:Nitrogen ratio)

當產品碳氮比偏高時，若直接施到土壤當中容易造成土壤微生物消耗土壤中所有之氮源，嚴重時可能與作物根系競爭氮源造成缺氮。一般而言，建議蚓糞產品之碳氮比為 15-25，另須依據肥料管理法所示相對應品目之碳氮比規定進行調整，以符合法規。

(4) 養分含量 (Plant nutrient content) :

產品養分含量會隨著添加物不同而出現不同的結果。筆者曾經利用瓜類及蔬菜殘渣進行試驗分析（如表 3），添加瓜類處理會使得產品鉀含量提高。故最終的養分是依據投料而產生變化。

表 3 不同添加物對蚓糞成品養分之影響。

	EC (dS/m)	pH	C (%)	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
洋香瓜	2.87	8.54	35.43	2.60	0.92	2.01	7.86	0.52
夏南瓜	2.76	7.15	35.71	2.36	0.89	1.91	7.77	0.52
菜渣	2.91	8.34	35.31	2.62	0.43	1.07	4.97	0.50
菇包	4.25	7.78	33.19	2.66	0.48	0.57	9.80	0.67
菇包 (未處理)	1.34	8.27	41.80	1.20	0.29	0.41	5.36	0.33

4. 蚓糞的應用

蚓糞可以直接使用到土壤中或是製作成液體肥料進行土壤澆灌。由於蚓糞的基礎材料大多為廢棄菇包、牛糞或是豬糞，在使用上建議可以做為基肥施用，施用量建議依據土壤肥力分析報告進行用量評估。另一方面也可以將蚓糞製作成液體肥料進行土壤澆灌。

5. 使用蚓糞對於對於土壤及作物的效應

(1) 土壤物理性 (Soil physical property)

大多數蚓糞肥是以菇包或是牛糞做為基礎，將蚓糞施用到土壤後等同於將有機質施用到土壤當中。施用蚓糞後有助於改善土壤物理性質 (Lim *et al.*, 2014)，例如提升土壤孔隙率及土壤排水能力、降低總體密度及土粒密度與穩定土壤團粒構造並且有助於作物根系發展。在早期的研究中發現，蚓糞具有豐富的多醣體 (polysaccharide)，多醣體有助於促進團粒化作用穩定土壤團粒，進而增加土壤通氣性、保水能力。

表 4. 施用蚓糞後對土壤物理性質的影響 (節錄自 Manivannan *et al.*, 2009)

土壤性質	黏壤土 (Clay loam soil)				CD values
	對照組 (不施肥)	施用化肥 (20:80:40 kg ha ⁻¹)	施用蚓糞 (5 tn ha ⁻¹)	半量化肥 + 半量蚓糞	
孔隙率 (%) Pore space	35.41	34.27	38.68	36.87	5.87
總體密度 (Mg m ⁻³) Bulk density	1.13	1.17	0.98	1.09	0.14
土壤含水量 (%) Water holding capacity	83.80	81.60	94.80	92.30	0.68
陽離子交換容量 (cmol(+) kg ⁻¹) Cation exchange capacity	24.30	24.00	28.70	26.90	0.26

(2) 土壤化學性 (Soil chemical property)

蚓糞肥屬於緩釋肥的型態，在土壤當中會隨著時間及環境變化逐漸將肥分釋放於土壤環境當中。蚓糞製作完成後的碳氮比 (C/N ratio) 通常在 15-20，適合作為土壤有機質來源。在筆者以及前人研究中皆有發現蚓糞當中的硝酸態 (NO₃⁻) 氮為主要的無機態氮型態，進入土壤後可以直接被作物根系使用；另一方面蚓糞當中含有的磷肥中，有一部分屬於可直接被作物根系利用的磷肥 (Available phosphorus)，施用於土壤後可以迅速供應作物所需。

(3) 土壤生物性 (Soil biological property)

在前人研究當中蚓糞亦含有類似植物荷爾蒙的物質，包含 Auxin、Gibberellins

及 Cytokinin 等。這些類植物荷爾蒙將會促進種子發芽及作物生長，故在蚓糞的應用，有些會添加於栽培介質當中，藉以促進作物生長。研究指出蚓糞之所以會含有類植物荷爾蒙，是源自於蚓糞製作過程中經由微生物所轉化而來。除此之外，蚓糞當中所含有的腐植酸亦有助於作物生長及促進根系發展。

結語

隨著循環經濟觀念日益高漲，經過適當的處理往往可以將有機廢棄物加值為新一代的綠金。利用蚯蚓處理有機廢棄物提供另一條處理的解方。透過科學化的管理有助於使得處理流程更加流暢，也有助於提升品質。

參考文獻

1. 潘佳辰、黃瑞彰、江汶錦。2017。提高蚓糞堆肥製作效率之因子探討。臺南區農業改良場研究彙報 第 69 號。
2. 詹明泓。2013。不同預堆時間之豬糞與菇類養殖廢棄包的混合物對蚯蚓生長及蚓糞堆肥的影響。國立中興大學土壤環境科學系碩士論文。
3. Edwards, C.A., Q.A. Norman, and L.S. Rhonda. 2010. Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management. CRC Press.
4. Lim, S.L., T.Y. Wu, P.N. Lim and K.P.Y. Shak. 2015. The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics. J. Sci. Food Agric. 95, 1143-1156.
5. Manivannan, S., M.Balamurugan, K. Parthasarathi, G. Gunasekaran and L.S. Ranganathan. 2009. Effect of vermicompost on soil fertility and crop productivity-beans (*Phaseolus vulgaris*). J Environ Biol 30:275-281.

Vermicompost: how to make and use it

Chia-Chen Pan, and Jui-Chang Huang

Tainan District Agricultural Research and Extension Station, COA

Abstract

Vermicomposting is a way to manage waste. The process of vermicomposting including pretreatment, monitoring and harvesting. The source of waste, water content of bedding material and the growth of earthworm should be concerned and monitored during vermicomposting. The quality of vermicompost was influenced by the source of waste. Vermicompost could not only enhance soil physical, chemical, and biological properties but also enhance the growth of crop.

Key Words: Vermicomposting, Vermicompost quality, Soil quality

羽毛生物堆肥開發和應用

曾宥紘、郭雅紋

行政院農業委員會臺中區農業改良場

摘要

本試驗探討相對高氮之羽毛生物堆肥（PIF-N）及相對高磷與鈣含量之羽毛生物堆肥（PIF-P）應用為甜椒介質試驗，堆肥接種菌株 *Arthrobacter ureafaciens* K10 及 *Streptomyces* sp. CP3。介質處理為 PIF-N、PIF-P 及其分別與椰纖 1:1 體積比混拌，栽培期間不額外供肥以生產甜椒，試驗結果顯示甜椒種植於 PIF-P 處理組其單果重及累積產量皆為各處理最佳，具統計差異，顯示，調整羽毛堆肥之磷與鈣含量有助於提高堆肥品質及其應用於提高連續採收作物之產量。本試驗另探討 3 種不同來源或型態之羽毛生物堆肥（雞毛堆肥、鴨毛堆肥及羽毛土堆肥）於洋香瓜介質之應用效益。此 3 堆肥成品呈弱酸性，EC 值（1:10）介於 7.3-8.8 dS/m，以鴨毛堆肥之水溶性鈣及鎂濃度較其他 2 種堆肥高，而銨離子濃度較低，7 種介質處理為此 3 種堆肥及其與椰纖 1:1 混拌（V/V），另以純椰纖為對照，栽培期間區分成不額外追肥及定時定量滴灌化學養液，試驗調查結果顯示，（1）羽毛堆肥經與椰纖混拌後，栽培期間需額外給肥，可生產具市場價值之果實，（2）純羽毛堆肥栽培期間不額外給肥，其單果重與純椰纖介質額外供給化學肥料處理組無顯著差異（3）雞毛及鴨毛堆肥處理組，栽培期間額外供給化學肥料，其果實重量為各處理最佳，且與純椰纖介質額外供給化學肥料處理組達顯著差異，而果實糖度介於 15.6-16.3 度。結果顯示羽毛生物堆肥雖具高 EC 值，卻可直接應用為栽培介質，不額外施肥具生產力，額外供給肥料亦有提高作物產量及品質之潛力。

關鍵詞：羽毛生物接種堆肥、無土介質、長肥效、果菜類作物

前言

堆肥化為有機物經微生物分解與聚合反應，生成穩定腐植物質，而堆肥過程中除調整適宜之堆肥材料以利堆肥進程，若添加適用於此堆肥材料之微生物菌種，則具有加

速堆肥腐熟之功效（蔡等，2009；蔡與陳，2012）。無土栽培有利於病害控制、肥料管理及節省水分供應，常用介質除泥炭與椰纖外，許多研究提及農業廢棄物經適當堆肥後，可應用為栽培介質（Hernández-Apaolaza *et al.*, 2005; Herrera *et al.*, 2008; Bustamante *et al.*, 2008; Jayasinghe, 2014），且堆肥與栽培介質如泥炭或椰纖混拌後，可提高介質環境品質，增進作物生產（Grigatti *et al.*, 2007; Ruiz and del Carmen Salas, 2019; Zeng *et al.*, 2018）。

本試驗將探討羽毛生物堆肥直接應用為栽培介質或經與椰纖混拌後，作為甜椒及洋香瓜介質之研究，另探討應用為毛豆肥料試驗，以突顯羽毛廢棄物增值再利用於農業生產之功效。

內容與討論

紅龍果枝條羽毛生物堆肥應用於甜椒介質試驗

本試驗產製相對高氮（PIF-N）及高磷（PIF-P）之羽毛堆肥，高氮含量之羽毛堆肥其原料佔比為羽毛含 18.8%、木屑 62.4%、紅龍果枝條 18.8%；而高磷含量之羽毛堆肥其原料佔比為羽毛佔 4.8%、磷礦粉 4.8%、木屑 47.6%；紅龍果枝條 42.8%。堆肥製作時添加 1L 菌液含 *Arthrobacter ureafaciens* K10 及 *Streptomyces* sp CP3 於 200 L 自來水，並與堆肥材料混合。菌液為培養羽毛分解菌 *Arthrobacter ureafaciens* K10 及纖維分解菌 *Streptomyces* sp CP3 於含有 10%（w/v）紅龍果枝條塊（cut into 1-cm pieces）及 1% 羽毛（w/v）之液態培養基，培養 4 天後使用。堆肥腐熟後進行養分分析及甜椒介質試驗。

高氮及高磷之羽毛堆肥養分分析如表一所示，其中高氮羽毛堆肥其 pH 較低而 EC 值及氮含量顯著較高，高磷羽毛堆肥因添加較多量之紅龍果廢棄枝條，及額外添加磷礦石粉，可顯著提高堆肥成品之磷、鉀、鈣及鎂含量，此兩堆肥之小白菜種子發芽率皆達 90% 以上。為探討羽毛堆肥直接應用為長肥效栽培介質之可行性，以此兩堆肥及其與椰纖以體積比 1:1 混拌（PIF-N:Fiber 與 PIF-P:Fiber），以籃耕方式種植（百合球莖藍），每處理 3 籃，每籃定植 2 株甜椒幼苗（黃彩 5 號，稼嬌種子），試驗期間僅進行水分管理，不額外追施肥料，試驗期間為 105 年 2 月 13 日 -7 月 12 日。

甜椒試驗前介質水溶性養分分析如表二所示，羽毛堆肥與椰纖混拌後，會降低 EC 值、硝酸態氮、鈣及鎂含量。以 PIF-N 堆肥之水溶性氮含量最高，且磷含量亦較 PIF-P

堆肥高，顯示額外添加磷礦石粉有助於提高堆肥總磷含量，但成品中仍有許多磷屬於非水溶性磷，添加磷礦石粉有助於提高堆肥之水溶性鈣含量。整體而言高磷 PIF-P 羽毛堆肥之水溶性鈣及鎂含量較 PIF-N 羽毛堆肥高。

甜椒採收調查結果如表三所示，種植於 4 種介質中，根系生長未受抑制（圖 1），仍具甜椒生產量，其中種植於 PIF-P 堆肥其單果重最重，累積產量最高，甜椒於 PIF-P 堆肥之產量較 PIF-N 堆肥為佳，可能原因有，PIF-N 堆肥之 EC 值較高、 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 或 $\text{K}^+/\text{Ca}^{+2}$ 比例較高所致。而甜椒種植於 PIF-P 堆肥較 PIF-P:Fiber 生產量較高，可能為介質之可利用性氮、鈣及鎂含量較高，且 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 與 $\text{K}^+/\text{Ca}^{+2}$ 比例較低所致。如同前人研究提及 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 與 $\text{K}^+/\text{Ca}^{+2}$ 過高對作物生長有不利效應（Ben-Oliel *et al.*, 2004; Taylor *et al.*, 2004; Jakobsen, 1993）。試驗結果顯示，羽毛堆肥具有長肥效特性，不額外施肥具生產甜椒效果，雖堆肥具高 EC 值，仍不影響根系生長，考量甜椒為連續採收作物且果菜類作物對鈣及鎂需求高，額外添加磷礦石粉之羽毛堆肥，有助於提高甜椒產量。

表一、羽毛生物堆肥之養分特性

Table 1. Nutrient characteristics of microbial inoculated feather composts

Treatment	pH	EC	N	P	K	Ca	Mg	C/N	Germination
		1:10							rate
	1:10	dS/m			%				%
PIF-N	4.8	10.0	3.53	0.75	0.79	0.93	0.45	10.6	94.4
	±0.3	±2.1	±0.41	±0.03	±0.08	±0.1	±0.04	±1.2	±5.1
PIF-P	5.6	7.0	2.62	3.50	1.27	6.04	0.79	11.6	96.7
	±0.2	±1.4	±0.11	±0.02	±0.07	±0.15	±0.02	±0.4	±3.3

Mean±S.D.

表二、甜椒試驗前介質之水溶性養分分析

Table 2. Water soluble nutrients of culture media before sweet pepper planting

Treatment	pH	EC	NH_4^+	NO_3^-	P	K	Ca	Mg
			mg/L					
		dS/m						
PIF-N	4.8b	10.0a	5628.7a	4493.3a	3422.3a	7359.3a	1098.0c	1611.0b
PIF-N:Fiber	4.5b	8.3b	3785.7b	2884.0b	3144.3a	7866.0a	744.0d	1068.0c
PIF-P	5.6a	7.0c	532.7c	4256.0a	2055.0b	7270.7a	1999.3a	2333.0a
PIF-P:Fiber	5.7a	6.6c	302.3c	318.3c	1862.0b	7714.0a	1461.3b	1655.7b

Significant in comparison with control at P = 0.05 (LSD test)

表三、不同介質處理之甜椒果實性狀調查

Table 3. Fruit characteristics of sweet pepper in different culture media

Treatment	Fruit weight g	Accumulated weight /2 plant g	circum cm	length cm	width cm	TSS Brix	Hardness kg
PIF-N	155.9b	2793.1b	27.3ab	7.7ab	8.3a	6.4a	4.8a
PIF-N:Fiber	163.8b	2529.8b	26.5b	7.6b	8.0a	6.9a	4.2a
PIF-P	217.7a	3702.0a	28.8a	9.0ab	8.7a	6.3a	4.7a
PIF-P:Fiber	169.7b	2765.8b	26.3b	9.2a	8.4a	6.6a	4.2a

Significant in comparison with control at P = 0.05 (LSD test)



圖 1、甜椒生長於 A: PIF-P、B: PIF-P:Fiber、C: PIF-N 及 D: PIF-N:Fiber 之根系生長情形

Fig. 1. Root appearance of sweet pepper cultured in A: PIF-P, B: PIF-P:Fiber, C: PIF-N and D: PIF-N:Fiber after final harvest

雞毛、鴨毛及羽毛土堆肥應用為洋香瓜介質試驗

本試驗為探討不同羽毛來源或型態，對羽毛堆肥成品特性及應用性之影響，選用雞毛、鴨毛及羽絨產業經風選最輕之廢棄物（羽毛土），進行堆肥製作，另考量紅龍果廢棄枝條雖具高鉀、鈣及鎂含量，然而多刺特性及高水分含量，回收成本高，因此本堆肥不添加紅龍果廢棄枝條。雞毛、鴨毛及羽毛土之養分特性如表四所示，氮含量約 12-14%，雞毛與鴨毛特性差異不大，羽毛土則磷、鉀及鈣含量較高。堆肥製作流程如上節所述，僅更改分別培養菌株 K10 及 CP3 於 1 升含有 1% 糖蜜及 0.5% 菜籽粕分別經 4 天

及 6 天培養後，進行堆肥接種。雞毛堆肥（CF）、鴨毛堆肥（DF）及羽毛土堆肥（FD）成品養分如表五所示，堆肥成品呈弱酸性，EC 值及磷與鉀含量以鴨毛堆肥最高，堆肥之小白菜種子發芽率皆達 80% 以上。

表四、堆肥原料之養分特性

Table 4. Nutrient characteristics of raw materials for compost manufacture

Materials	pH 1:10	EC 1:10 dS/m	N	P	K	%			
						Ca	Mg	OM	OC
Sawdust	6.03	2.08	1.56	0.71	0.69	0.71	0.53	74.23	43.06
Duck feather	6.50	0.66	13.65	0.09	0.01	0.26	0.07	75.04	43.52
Chicken feather	5.64	0.21	12.78	0.07	0.03	0.21	0.04	82.45	47.82
Feather dust	6.48	0.93	12.06	0.25	0.1	0.68	0.09	61.67	35.77

表五、雞毛堆肥、鴨毛堆肥及羽毛土堆肥之養分特性

Table 5. Nutrient characteristics of chicken feather compost (CF), duck feather compost (DF) and feather dust compost (FD)

Treatment	pH	EC 1:10 dS/m	N	P	K %	Ca	Mg	C/N	Germination rate
									%
CF	5.4a	8.6b	2.42a	1.48b	1.89b	1.88a	1.08a	14.68a	84.6a
DF	5.3a	8.8a	2.63a	1.69a	2.01a	1.92a	0.95a	13.00a	87.9a
FD	5.4a	7.3b	2.79a	1.54ab	1.87b	1.77a	0.82a	12.53a	86.2a

Significant in comparison with control at P = 0.05 (LSD test)

介質試驗於福興鄉溫室進行 3 種羽毛堆肥及其與椰纖 1:1 (V/V) 混拌作為洋香瓜 (臺南 13 號) 生長介質試驗，另以純椰纖為對照組，試驗於 109 年 3 月 9 日定植於槽體 (長 62 公分、寬 18 公分、高 18 公分) 採單槽雙株種植，每處理 10 槽，其中 5 槽栽培期間不額外施肥，另 5 槽從定植至採收適時滴灌營養液肥 (20-20-20)、硝酸鈣及硫酸鉀，總計每株洋香瓜施用氮素 6.3 克、磷 6.2 克、氧化鉀 7.3 克。試驗於 5 月 26 日採收，並於 6 月 1 日進行果實性狀調查。試驗前介質水溶性養分分析如表六所示，羽毛堆肥及其與椰纖混拌，彼此間之 pH 值差異不大，但顯著高於椰纖介質之 pH 值。三種羽毛堆

肥與椰纖混拌後有降低其 EC 值之效果，椰纖（Fiber）之 EC 值為各處理間最低。堆肥之銨離子則以雞毛堆肥（CF）最高，其次為鴨毛堆肥（DF）而羽毛土堆肥（FD）最低，除鴨毛堆肥外，與椰纖混拌會降低銨離子濃度。3 種羽毛堆肥之硝酸態氮濃度彼此間無顯著差異，且僅以 FD 與椰纖混拌後會降低硝酸態氮濃度。水溶性磷含量以雞毛堆肥及鴨毛堆肥較羽毛土堆肥高，三種羽毛堆肥分別與椰纖混拌後，水溶性磷濃度未顯著降低。鉀含量於各處理間無顯著差異。鈣及鎂含量則以鴨毛堆肥最高，堆肥與椰纖混拌皆會降低鈣及鎂含量。純椰纖介質除鉀含量外，其他養分含量為各處理間最低。

表六、洋香瓜試驗前介質水溶性養分分析

Table 6. Water soluble nutrients of culture media before melon seedlings planting

Treatment	pH	EC dS/m	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	mg/L			
					P	K	Ca	Mg
CF	5.4b	8.6a	752.3a	1511.3ab	3112.7a	15556a	1116.3b	1876.0b
CF:Fiber	5.1d	7.9bc	636.3b	593.0bc	3044.3a	15319a	497.3d	1475.0e
DF	5.3bc	8.8a	369.3c	1450.0ab	3096.7a	14746a	1278.3a	2277.0a
DF:Fiber	5.2cd	7.7cd	402.3c	750.7bc	2908.3a	15081a	261.7c	1669.7c
FD	5.4b	7.3d	271.1d	2587.3a	2383.0b	15557a	482.0d	1437.0e
FD:Fiber	5.6a	6.5e	200.0e	956.7bc	2304.7b	13775a	401.3e	1014.0f
Fiber	4.9e	3.8f	184.3e	44.3d	238.7c	8391.7a	284.7f	129.7g

Significant in comparison with control at P = 0.05 (LSD test)

本試驗洋香瓜生育情形如圖 2 所示，洋香瓜種植於不同介質額外滴灌營養液，皆有提高洋香瓜果實重量效果（表七），其中以羽毛堆肥與椰纖混拌處理組，額外滴灌營養液，其果實重量皆較未額外滴灌營養液處理組佳且達統計差異（如 CF:Fiber 及 CF:Fiber+；DF:Fiber 及 DF:Fiber+；FD:Fiber 及 FD:Fiber+），果實重量約可增加 228.4-404.5 g，其中以 FD:Fiber+ 處理組之果重較椰纖介質額外滴灌營養液（Fiber+）處理組佳，雖 CF:Fiber+ 及 DF:Fiber+ 處理組之果重與 Fiber+ 處理組無顯著差異，然而卻有增產趨勢，顯示，羽毛堆肥與椰纖混拌後，可提高椰纖介質之應用價值。

純羽毛堆肥應用為洋香瓜介質，額外滴灌營養液（CF+、DF+、FD+），其果實鮮重皆較種植於椰纖介質搭配滴灌營養液處理組（Fiber+）為佳，顯示高肥分含量及高 EC 值之羽毛堆肥應用為栽培介質，額外滴灌營養液，不僅不限制洋香瓜生育反而可增進果實生產，顯示羽毛堆肥之緩衝性及調節養分之特性。另比較洋香瓜種植於羽毛堆肥不

額外給肥條件下，其果實重量與種植於椰纖介質搭配滴灌營養液處理組並無顯著差異（CF、DF、FD 及 Fiber+），顯示羽毛堆肥具長肥效特性，不額外施肥仍具一定生產力。

本試驗以雞毛堆肥、鴨毛堆肥及羽毛土堆肥與椰纖 1:1 混拌，搭配滴灌營養液，果實重量最重（CF+、DF+ 及 FD:Fiber+）。洋香瓜種植於羽毛土堆肥額外滴灌營養液（FD+），其果實重量未如 CF+ 及 DF+ 處理組佳，可能因為羽毛土堆肥之總體密度為此三種羽毛堆肥中最高者，當其與椰纖混拌後，增加的通氣性有助於提高根系對營養液的吸收，然而，此處理組（FD:Fiber+）之洋香瓜果實糖度最低。果實糖度以雞毛堆肥處理組（CF）最高且與 CF:Fiber、FD:Fiber+ 及 Fiber+ 處理組達顯著差異。整體而言以雞毛堆肥及鴨毛堆肥搭配滴灌營養液，果實重量最佳且糖度可維持 16 度左右。

本試驗結果顯示，羽毛生物堆肥具（1）長肥效特性，雖具高 EC 值，可直接應用為栽培介質，不額外施肥具生產力且果實糖度佳，未來可應用於減少施肥頻率及用量（如本試驗發現 Fiber+ 與 CF、DF 及 FD 處理組之洋香瓜果實重量無顯著差異），（2）羽毛生物堆肥雖 EC 值高，額外施肥仍可提高洋香瓜果實重量。（3）羽毛生物堆肥應用於與椰纖混拌，似有提高椰纖介質之應用性，可應用於提高洋香瓜果實重量且除羽毛土堆肥外，有提高果實糖度之趨勢。

表七、不同介質處理之洋香瓜果實性狀調查

Table 7. Melon fruit characteristics in different culture media

Treatment	Fruit weight g	Pulp weight g	Cross length cm	Cross width cm	Pulp thickness cm	TSS ^a Brix
CF	1050.5abc	899.9abc	12.2ab	12.1bcde	3.3abc	16.6a
CF+	1206.5a	1038.3a	12.4ab	13.0a	3.6a	16.3ab
CF:Fiber	786.5d	699.9d	11.0cd	11.3ef	3.0c	15.2bc
CF:Fiber+	1042.5abc	924.9abc	12.1ab	12.3abcd	3.3abc	15.7abc
DF	1049.1abc	920.7abc	12.1ab	12.4abcd	3.4ab	15.8abc
DF+	1207.7a	1055.2a	12.9a	13.0a	3.5ab	15.6abc
DF:Fiber	800.6d	696.3d	10.8d	11.4ef	3.1bc	16.4ab
DF:Fiber+	1029.0abc	909.9abc	12.1ab	12.1bcde	3.4ab	16.0abc
FD	964.8bcd	847.7bcd	11.9abc	12.0cde	3.3abc	15.8abc
FD+	1152.2ab	1004.2ab	12.5ab	12.6abc	3.3abc	15.5abc

Treatment	Fruit weight g	Pulp weight g	Cross length cm	Cross width cm	Pulp thickness cm	TSS ^a Brix
FD:Fiber	770.1d	667.9d	10.7d	11.1f	3.0c	15.8abc
FD:Fiber+	1174.6a	1032.3ab	12.7a	12.8ab	3.5ab	14.9c
Fiber+	907.1cd	796.2cd	11.7bcd	11.8def	3.1bc	15.1bc

CF: chicken feather compost, DF: duck feather compost, FD: Feather dust compost
 :Fiber mean compost mixed with coconut fiber in 1:1 volume ratio
 + mean additional fertilizer application during melon growth
 Significant in comparison with control at P = 0.05 (LSD test)



圖 2、不同介質及滴灌養液 (+) 與否之洋香瓜生育情形，A: CF、B: CF+、C: CF:Fiber、D: CF:Fiber+、E: DF、F: DF+、G: DF:Fiber、H: DF:Fiber+、I: FD、J: FD+、K: FD:Fiber、L: FD:Fiber+、M: Fiber 及 N: Fiber+

Fig. 2. Melon production in different media with nutrients dropping (+) or not, A: CF, B: CF+, C: CF:Fiber, D: CF:Fiber+, E: DF, F: DF+, G: DF:Fiber, H: DF:Fiber+, I: FD, J: FD+, K: FD:Fiber, L: FD:Fiber+, M: Fiber, and N: Fiber+

羽毛分解菌 *Bacillus megaterium* TCPiA 及鴨毛生物堆肥應用於毛豆生產

本試驗於彰化縣芳苑鄉進行毛豆(高雄 11 號)肥料試驗,試驗為 4 處理,分別為(1)不施氮肥處理組(0-60-30)(N0)、(2)施用 60 公斤氮素/公頃之處理組(60-60-30)(N60)、(3)基肥施用羽毛堆肥(DF),每公頃 10,000 公斤(DF)(4)基肥施用羽毛堆肥每公頃 10,000 公斤,搭配種子接種羽毛分解菌 *Bacillus megaterium* 菌株 TCPiA (DF-TCPiA)。菌株 TCPiA 接種於 1% 糖蜜及 0.5% 菜籽粕培養基,經 4 天培養後備用。施肥用量依小區面積換算,試驗每小區長 1.7 m、畦寬 95 cm,單畦雙行種植,播種距離為 8.5 cm,每處理 4 重複,採 RCBD,氮、磷及鉀肥施用硫酸銨、過磷酸鈣及氯化鉀,於 2020 年 3 月 24 日施基肥,處理(1)及(2)施用全量磷鉀肥而處理(3)及(4)施用鴨毛堆肥(2.6-1.7-2.0),並耕犁入土。3 月 26 日作畦,3 月 27 日進行播種,處理(4)之種子先浸泡菌株 TCPiA 之菌液 30 分鐘後播種。處理(2)於 4 月 17 日及 5 月 6 日分別施用 30 公斤氮素/公頃之硫酸銨,6 月 15 日進行採收調查。

羽毛分解菌株 TCPiA 具生成 IAA 及溶磷能力,培養於磷酸三鈣液態培養基 5 天,可溶出 156.0 ± 16.0 mg/L 水溶性磷;培養於含有色胺酸(Trp)之 nutrient broth 培養基 1 天,可生成 16.8 ± 1.9 mg/L 的 IAA。於 200L 發酵槽進行 150L 之羽毛水解(圖 3),培養 14 天可分解 5% 羽毛,羽毛分解率為 94.5%,水解液之 pH 8.9、EC 12.0 dS/m、氮 0.6%、磷 0.04% 而鉀 0.11%,顯示,菌株 TCPiA 之多功能特性。

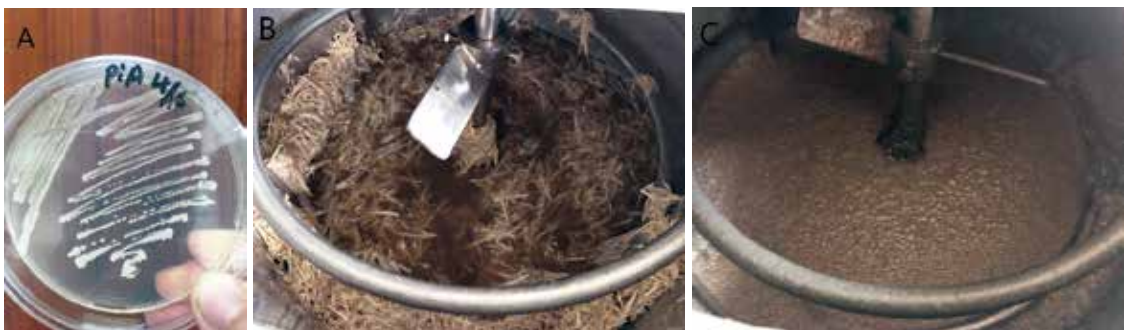


圖 3、菌株 TCPiA 應用於羽毛水解 A: 菌株 TCPiA 之菌落型態、B 及 C 羽毛水解過程。

Fig. 3. Application of *B. megaterium* TCPiA in feather hydrolysis, A: Colony of strain TC3-1S, B and C: feather hydrolysis process

毛豆試驗調查如表八所示,不施氮肥處理組毛豆株高、合格莢數及莢重皆最低。毛豆種子接種羽毛分解菌株 TCPiA 之 DF-TCPiA 處理組,其合格莢數及莢重皆為各處理

最佳，與 N60 處理組無顯著差異，毛豆於旱作栽培條件下，土壤水分含量可能影響羽毛養分釋放，種子額外接種菌株 TCPiA 或有助於促進毛豆生長或經由分解羽毛，提高毛豆之養分吸收利用。此外，DF-TCPiA 處理組符合友善農耕肥培管理，施用羽毛堆肥因製肥原料含有菇類培植廢棄木屑，長期施用於土壤或有助於增加土壤有機質含量進而改善土壤環境。

表八、不同肥料處理之毛豆採收調查

Table 8. Edamame characteristics in different fertilizer treatments

Treatment	Plant height cm	Height for the first pot cm	Number of one seeded pot	Number of two seeded pot	Number of three seeded pot	Weight of one seeded pot g	Weight of two seeded pot g	Weight of three seeded pot g	Graded pot number	Graded pot weight g
N0	65.5b	5.7b	3.1a	6.7c	2.5b	5.3a	19.1b	10.0a	9.3b	29.1b
N60	73.2a	8.8a	4.1a	8.3bc	2.5b	7.8a	28.7ab	11.4a	10.9ab	40.2a
DF	74.0a	6.9ab	3.4a	9.6b	2.6ab	5.0a	24.5ab	9.9a	12.2ab	34.4ab
DF-TCPiA	74.4a	5.3b	3.7a	12.5a	3.5a	5.3a	30.7a	12.4a	16.0a	43.1a

Significant in comparison with control at P = 0.05 (LSD test)

參考文獻

1. 蔡宜峯、陳俊位、陳榮五 2009. 落葉廢棄物製作堆肥技術之研究 臺中區農業改良場 研究彙報 103: 53-62。
2. 蔡宜峯、陳俊位 2012. 農業廢棄物資源化微生物之研究 農業生技產業季刊 32: 52-59。
3. Ben-Oliel, G., S. Kant, M. Naim, H. D. Rabinowitch, G. R. Takeoka, R. G. Buttery, and U. Kafafi. 2004. Effects of ammonium to nitrate ratio and salinity on yield and fruit quality of large and small tomato fruit hybrids. *J. Plant Nutr.* 27: 1795-1812.
4. Bustamante, M. A., C. Paredes, R. Moral, E. Agulló, M. D. Pérez-Murcia, and M. Abad. 2008. Composts from distillery wastes as peat substitutes for transplant production. *Resour. Conserv. Recycl.* 52 (5): 792-799.

5. Grigatti, M., M. E. Giorgioni, and C. Ciavatta. 2007. Compost-based growing media: Influence on growth and nutrient use of bedding plants. *Bioresour. Technol.* 98 (18): 3526–3534.
6. Hernández-Apaolaza, L., A. M. Gascó, J. M. Gascó, and F. Guerrero. 2005. Reuse of waste materials as growing media for ornamental plants. *Bioresour. Technol.* 96 (1):125–131.
7. Herrera, F., J. E. Castillo, A. F. Chica, and L. López Bellido. 2008. Use of municipal solid waste compost (MSWC) as a growing medium in the nursery production of tomato plants. *Bioresour. Technol.* 99 (2): 287–296.
8. Jakobsen, S. T. 1993. Nutritional disorders between potassium, magnesium, calcium, and phosphorus in soil. *Plant soil* 154:21-28.
9. Jayasinghe, G. Y. 2014. Utilization of agricultural waste compost as an alternative potting media component with coir dust for leafy vegetable *IPOMOEA ACQUATICA*. *J. Plant Nutr.* 37:1601-1611.
10. Ruiz, J. L., and M. del Carmen Salas. 2019. Evaluation of organic substrates and microorganisms as bio-fertilisation tool in container crop production. *Agron.* 9 (11): 705.
11. Taylor, M. D., S. J. Locascio, and M. R. Alligood. 2004. Blossom-end rot incidence of tomato as affected by irrigation quantity, calcium source, and reduced potassium. *HortScience* 39(5): 1110-1115.
12. Zeng, Y. H., Y. W. Kuo and H. T. Chen. 2018. Higher yield of cherry tomato grown in culture medium with microbially inoculated feather compost without fertilizer application. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*

Development and application of microbial inoculated feather compost

You-Hong Zeng and Ya-Wen Kuo

Taichung District Agricultural Research and Extension Station, COA

Abstract

Two microbial (*Arthrobacter ureafaciens* K10 and *Streptomyces* sp. CP3) inoculated feather composts, one with relative high nitrogen content (PIF-N) and the other one with relative high contents of phosphorous and calcium (PIF-P) were used as culture media for sweet pepper production. Four media included PIF-N, PIF-P, and the two composts respectively mixed with coconut fiber in 1:1 volume ratio. During cultivation period, no further fertilizer was applied. The fruit weight and accumulated yield of sweet pepper in the PIF-P treatment were significantly higher than other treatments that implied the phosphorous and calcium content in feather compost is adjustable and important for continuous harvested fruit vegetables. Another experiment focused on understanding the benefits of three different microbial inoculated feather composts include chicken feather compost (CF), duck feather compost (DF) and feather dust compost (FD) used as culture media for melon production. Slight acidity and EC range from 7.3-8.8 dS/m of the three composts were determined. The higher concentration of water soluble calcium and magnesium but lower concentration of ammonium were determined in the DF compared with the other two composts. Seven media as CF, DF, FD, coconut fiber, and the three composts respectively mixed with the coconut fiber in 1:1 volume ratio were used as media for melon production. During the melon cultivation, with or without chemical nutrients dropping were applied. Results showed (1) While melons respectively cultured in the three feather composts mixed with coconut fiber, further fertilization was necessary for producing fruits with market values. (2) While melon respectively planted in the three feather composts without fertilization, these fruit weight was no significant difference with those planted in the coconut fiber with further nutrients dropping. (3) The heaviest fruit weight was found in treatments of the CF and DF with further nutrients dropping and showed significant difference with the treatment of the coconut fiber with further

nutrients dropping. The fruit TSS planted in the CF and DF with further fertilization was 16.3 and 15.6 ° Brix respectively. High EC value of the microbial inoculated feather composts used as culture media not only not constrain root growth but also can maintain basic yield without further fertilization, except that, further fertilization can increase crop productivity and quality.

Key Words: Microbial inoculated feather compost, Soilless medium, Long-lasting fertility, Fruit vegetable

叢枝菌根菌接種技術 及田間應用

張廖伯勳¹、林永鴻²、張耀聰^{1*}

¹ 行政院農業委員會高雄區農業改良場、* 通訊作者。

² 屏東科技大學農園生產系

摘要

木瓜 (*Carica papaya* L.) 幼苗階段接種叢枝菌根菌能使根系共生形成菌根，並具有有效促進幼苗生長及礦質養分吸收，且能增強對連作田區環境因子之抵抗性。本研究應用 3 種菌根菌接種技術，建立育苗菌根化作業，試驗另將木瓜苗接種 6 種叢枝菌根菌調查菌根化幼苗生長情況，菌根化木瓜苗試驗結果顯示，木瓜幼苗接種 *Archaeospora trappei*、*Diversispora spurcum* 及 *Funneliformis mosseae* 處理之株高、地徑寬、全株乾重及壯苗指數皆顯著高於對照組；田間管理作業對木瓜苗菌根化試驗結果顯示，接種菌根菌處理之木瓜幼苗移植存活率均高於對照組，其中未整地處理以單獨接種 *Claroideoglossum etunicatum* 及 *F. mosseae* 處理，幼苗移植存活率顯著高於對照組，分別為 70 %、55 % 及 23.33 %，顯示木瓜接種菌根菌提升環境因子限制之耐受性，此外在苗高生長表現方面則以接種 *Acaulospora kentinensis*、*Rhizophagus intraradices* 處理顯著高於對照組。此外木瓜接種叢枝菌根菌定植於連作田，可提早果實 13 天採收，並降低始花位置及採果高度。

關鍵詞：叢枝菌根菌、木瓜、接種技術

前言

根據聯合國估計 2050 年世界總人口將達到 94 億，為避免糧食危機發生及環境過度負荷的情況下，世界糧食生產及技術必須有效提升 (Fitter, 2012; United Nations, 2019)。目前土壤養分管理以設法提高化學肥料利用率、利用土壤微生物改變養分可利

用性、改善土壤微生物菌相增加作物產量及減少投入成本，為最具可行性及效益之策略（Verbruggen *et al.*, 2012）。分子分類研究指出，叢枝菌根菌（Arbuscular mycorrhizal fungi, AMF）為地球上最早且廣泛與陸地植物產生共生作用的真菌，並與 80 % 陸地植物根部形成共生（Oehl *et al.*, 2011; Smith and Read, 2008），藉由接種菌根菌，可明顯改善根系對不易移動養分和水分吸收能力、減少根部及食葉性病蟲危害、提高作物對生長逆境之耐受性及提升作物產量，在作物育苗及生產上具有發展潛力（Abdalla and Abdel-Fattah, 2000; Jakobsen *et al.*, 2002; Kaya *et al.*, 2003; Druege *et al.*, 2006; Gange and West, 1994）。

木瓜原名番木瓜（*Carica papaya* L.），為臺灣重要經濟果樹之一，但近年來木瓜栽種及生產深受氣候因素的影響，導致產銷失衡現象日趨嚴重，且主要栽種區域有由南向中部移動趨勢，而其中氣候因子以颱風、豪雨及高溫為主要的影響關鍵。在未來極端氣候影響作物生產將日趨劇烈，故穩定生產的關鍵因子，則如何在作物幼苗期育成健壯植株，對於達到穩定生產及優質果品的目標有實質的助益。

本研究主要目的是藉由接種技術應用、木瓜接種不同叢枝菌根菌菌株及田間管理作業，來評估叢枝菌根菌在木瓜生長的影響，以期提供育苗菌根化及栽植前作業之參考依據。

材料方法

本試驗主要分三部分探討叢枝菌根菌與木瓜作物之共生關係，及接種後定植田間生長效益評估：

第一部分以叢枝菌根菌接種技術應用，實驗室將野外採集土壤樣本，以濕篩傾倒法（Gerdeman and Trappe, 1974）和糖液離心法（Daniels and Skipper, 1982）分離孢子，光學顯微鏡下觀察孢子形態構造，並依據 Schenck Perez（1990）所建議之步驟進行孢子鑑定，另分離之菌株以盆栽法純化增殖，待孢子數生長每公克 1×10^2 以上則貯存備用。

第二部分以接種試驗評估菌根化木瓜苗之生長效益，以及田間管理作業對木瓜菌根化生長之影響。菌根化木瓜苗試驗，以木瓜（台農二號）組培苗培育於高溫高壓滅菌後（ 121°C ， 1.2 kg/cm^2 ）之培養土，苗高達 3 cm 後以沾附法分別接種 6 種菌根菌菌株（*Archaeospora trappei*、*Acaulospora kentinensis*、*Diversispora spurcum*、*Rhizophagus*

intraradices、*Funneliformis mosseae* 及 *Claroideogloium etunicatum*) (圖 1)，並以不接種菌根菌為對照組，每組處理 6 重複，第 3 週染色檢查叢枝菌根菌感染狀況 (Koske and Gemma, 1989)，達 6 週後量測株高、地徑寬、全株乾重及壯苗指數 (計算公式 [(莖粗 / 株高 + 地下部乾重 / 地上部乾重) × 全株乾物重 (g)])；田間管理作業菌根化木瓜苗試驗，試驗點高雄縣六龜區木瓜連作田區，栽植作業前以施用氰氨化鈣 (100 kg/0.1 ha) 後整地，並湛水 15 天進行土壤消毒，作為整地處理組，另以不施用氰氨化鈣為不整地處理組，4 週後定植菌根化之 *A. trappei*、*A. kentinensis*、*D. spurcum*、*R. intraradices*、*F. mosseae* 及 *C. etunicatum* 木瓜苗及未接菌木瓜苗 (6 週齡苗)，每組處理 10 重複，定植達 8 週後調查植株死亡率、株高及始花高度。試驗數據以 PASW 19.0 進行單因子變異數分析 (One-way ANOVA)，事後檢定採 Scheffe 法檢定。

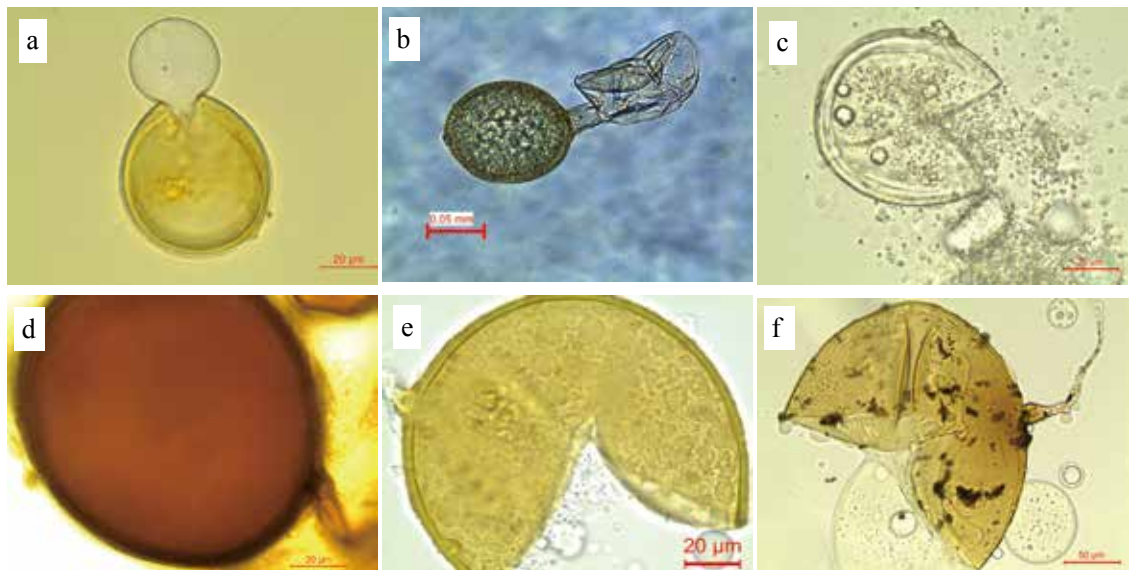


圖 1. 叢枝菌根菌之孢子型態 a. *Archaeospora trappei*；b. *Acaulospora kentinensis*；c. *Diversispora spurcum*；d. *Rhizophagus intraradices*；e. *Funneliformis mosseae*；f. *Claroideogloium etunicatum*。

第三部分，混合 5 種叢枝菌根菌 (*A. kentinensis*、*D. spurcum*、*R. intraradices*、*F. mosseae* 及 *C. etunicatum* 簡稱 AMF) 於台農二號木瓜實生苗播種階段即進行接種，並於播種 6 週田間定植前，逢機抽樣進行根片段染色，確認根系感染菌絲後，再將幼苗移入高樹地區木瓜連作田中定植，試驗園區於木瓜定植前徹底進行清園工作，但以原畦不重新整地方式進行定植，本試驗木瓜幼苗分為對照組 (不接種 AMF) 及接種叢枝菌根

菌 2 種處理，每處理 4 重複，以逢機完全區集排列（Random completed blocked design, RCBD），每小區 20 株。另於幼苗定植階段，使用鑽孔機挖深植穴（直徑 20 cm，深 40 cm）後，再施入完全腐熟之有機質肥料（1 kg/pt），覆土後將試驗幼苗定植於植穴內。另於木瓜定植 3 個月後記錄木瓜生長特性（始花高度、開始採果高度等），另於每月進行土壤及植體採樣分析，而試驗數據以 PASW 19.0 進行單因子變異數分析（One-way ANOVA），事後檢定採 Scheffe 法檢定。另採用 Pearson 相關性分析，進行土壤肥力與植體養分間之相關性比較。

結果與討論

叢枝菌根菌與作物的共生原理，主要途徑是當菌根菌孢子、含菌根菌之介質或菌根感染之根系菌絲片段生長接觸到作物根部後（Douds and Nagahashi, 2000），菌絲侵入根部表皮層或根毛，根內菌絲於根部皮層組織的細胞間延伸，及細胞腔內形成叢枝體與植物進行養分交換及訊號傳遞，根外菌絲則因含磷酸脂酶、較根毛細小，可深入土壤團粒間隙吸收不易移動之水分及營養元素，大幅提升肥料及水分之利用率（Aggarwal *et al.*, 2011; Moebius-Clune *et al.*, 2013）。本研究應用大量繁殖菌根菌之菌土，建立幼苗期接種菌根菌方法：

1. 三明治接種法

臺灣育苗產業以穴盤苗為大宗，育苗過程為固定且限制穴盤空間，操作方法以少量的介質（培養土、土壤）平鋪至穴盤底部，約達 1/3 穴盤總容量，添加 1g 菌土（菌量為 1×10^2 spores/ g soil）及欲播種之種子後（圖 2.），剩餘空間再以介質填充平鋪，待種子發芽後植株根系可立即感染菌根菌。此方法適合育苗業者，操作容易、節省菌土及菌根感染率高，移植至田間不必再接種菌根菌。

2. 根沾法

適用一般農民購買已生長穴盤苗或軟盆苗，操作方法以取出盤苗或軟盆苗，土球底部以沾附菌土（菌量為 1×10^2 spores/ g soil）（圖 3.），再將幼苗放至容器內，待 2-4 週後菌土孢子發芽，即可與植物根部形成共生。此方法適合農民使用，操作容易、菌根感染率高，移植至田間亦不必再接種菌根菌。



圖 2. 三明治法施用菌土於穴盤內。



圖 3. 定植前土球底部沾附菌土進行接種。

因應培育健壯幼苗及提高環境耐受性，幼苗階段進行菌根菌接種試驗，結果顯示，菌根苗之苗高、地徑、全株乾重皆顯著高於對照組，而其中則以 *A. trapepei*、*F. mosseae* 及 *D. spurcum* 處理有最佳之壯苗指數，並顯著優於對照組（表 1.），顯示在幼苗階段，可藉由菌根菌的共生提升幼苗品質，且健壯的菌根化植株有助於幼苗對環境之耐受性（Turnau and Haselwandter, 2002）。

於六龜地區連作田之菌根化木瓜苗試驗結果顯示，不論在整地處理及未整地處理接種 *R. intraradices* 及 *A. kentinensis* 株高顯著高於對照組，接種 *F. mosseae* 則有最低之始花高度，顯著低於對照組（表 2），顯示菌根菌接種能提高木瓜作物礦質養分吸收，進而表現在株高生長及及植株較早開花，王均琍（2018）調查研究也觀察到相同現象；另外在土壤進行氰氨化鈣處理之木瓜田區試驗結果顯示，所有木瓜幼苗田間定植 6 週後之存活率皆為 100%，故良好的田間衛生管理，可有效避免土壤病害發生及提高幼苗存活率，與林益昇等人（1987）試驗土傳性病害也觀察到相同現象；此外，未整地處理則以 *C. etunicatum* 及 *F. mosseae* 存活率顯著高於未接菌之對照組，分別為 70 %、55 % 及 23.33 %（表 3），故叢枝菌根菌可應用於育苗階段提高幼苗之品質，菌根經由根外菌絲可幫助植物對土壤礦物養分、水分之吸收，並在根部、土壤佈滿菌絲及菌根分泌物（茉莉酸、水楊酸、酚類化合物），間接可降低根系受病原菌入侵之機會（Turnau and Haselwandter, 2002; Khaosaad *et al.*, 2007）。由以上試驗結果可知，木瓜幼苗接種 *F. mosseae* 菌種，能提高作物壯苗指數及移植存活率，並具有較低之始花高度，為促進木瓜生長之良好菌種。

表 1. 接種菌根菌對木瓜苗生長性狀之影響

處理	株高 (cm)	地徑寬 (mm)	全株乾重 (g)	壯苗指數
CK	7.33c	2.47b	0.21b	0.16b
Ce	12.27b	3.73a	0.45a	0.28ab
Ri	13.07b	3.76a	0.44a	0.29ab
Fm	14.13ab	4.20a	0.52a	0.34a
Ds	13.63b	3.82a	0.50a	0.35a
At	17.17a	4.26a	0.63a	0.34a
Ak	14.80ab	3.72a	0.52a	0.31ab

註： mean(n=10)。不同英文字母表示不同菌種處理比較 ($p \leq 0.05$)。CK：對照組、Ce：*Claroideoglossum etunicatum*、Ri：*Rhizophagus intraradices*、Fm：*Funneliformis mosseae*、Ds：*Diversispora spurcum*、At：*Archaeospora trappei*、AK：*Acaulospora kentinensis*

表 2. 木瓜不同整地作業及接種處理田間定植 8 週後株高及始花高度調查

處理	整地處理		未整地處理	
	株高 (cm)	始花高 (cm)	株高 (cm)	始花高 (cm)
CK	157.25b	94.25a	128.08b	98.44a
At	159.75b	87.25ab	149.44a	98.00a
Fm	167.25ab	80.00b	139.73ab	82.00b
Ce	162.25b	85.50ab	142.70ab	88.60ab
Ri	177.00a	81.25b	146.79a	98.14a
Ds	159.50b	88.50ab	124.33b	92.15ab
Ak	177.50a	80.50b	157.14a	98.00a

註： mean(n=10)。不同英文字母表示不同菌種處理比較 ($p \leq 0.05$)。CK：對照組、Ce：*Claroideoglossum etunicatum*、Ri：*Rhizophagus intraradices*、Fm：*Funneliformis mosseae*、Ds：*Diversispora spurcum*、At：*Archaeospora trappei*、AK：*Acaulospora kentinensis*

表 3. 木瓜不同整地作業及接種處理田間定植 8 週後存活率調查

處理	整地處理	未整地處理
CK	100a	23.33b
At	100a	45.00ab
Fm	100a	55.00a
Ce	100a	70.00a
Ri	100a	25.00b
Ds	100a	28.33b
Ak	100a	31.67b

註： mean(n=10)。不同英文字母表示不同菌種處理比較 ($p \leq 0.05$)。CK：對照組、Ce：*Claroideoglossum etunicatum*、Ri：*Rhizophagus intraradices*、Fm：*Funneliformis mosseae*、Ds：*Diversispora spurcum*、At：*Archaeospora trappei*、AK：*Acaulospora kentinensis*

另外在高樹地區木瓜連作田試驗方面，木瓜育苗期接種混合之 AMF 菌劑 6 週後，進行根部染色觀察，由圖 4 及圖 5 可觀察到未接種 AMF 之對照組，其根系並無菌絲感染情形，而接種 AMF 處理之木瓜幼苗根已有 AMF 菌絲穿入根系，顯示 AMF 已成功感染木瓜幼苗。

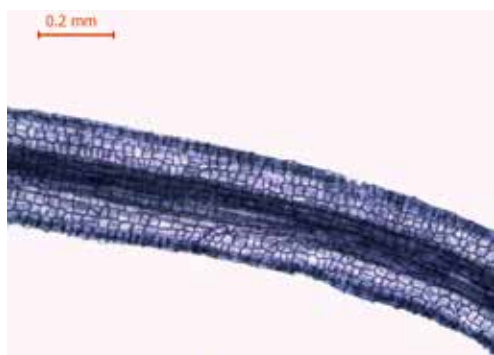


圖 4. 對照組木瓜幼苗根系染色（無 AMF 感染）。

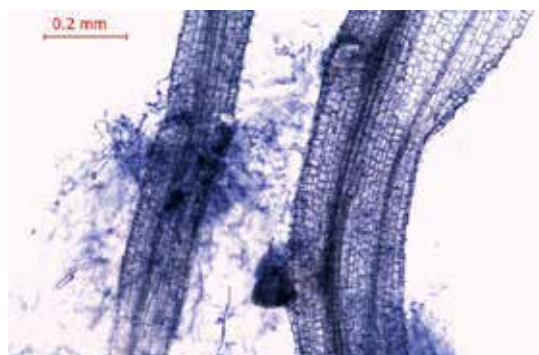


圖 5. 木瓜幼苗接種 AMF 6 週後根系菌根感染情形。

表 4. 木瓜作物進行不同接種處理初期果實生長性狀調查 (n=12)

處理	開始採收天數	始花高度 (cm)	開始採果株高 (cm)	果長 (cm)	果寬 (cm)	果重 (cm)	可溶性固形物 °Brix
對照組	190±4 ^a	66.8±1.4 [*]	193.3±5.2	22.7±1.4	9.7±1.00	802.2±121.9	13.8±0.66
接種組	177±3 ^b	65.6±1.6	184.5±3.9	22.6±0.7	9.8±0.58	808.3±48.2	13.9±0.85

*Mean±SE; 同列英文字母不同表示，差異顯著 ($p \leq 0.05$)，無標列英文字母表示差異不顯著。

在木瓜初期果實生育性狀方面，調查結果顯示（表 4），接種 AMF 之處理，木瓜在始花高度及開始採果株高表現上，相對位置均比對照組低，且在開始採收木瓜天數上，時間較短，約可提早對照組 13 天，顯示接種 AMF 處理能有效促進木瓜作物提早開花及採收，但在果實初期性狀表現上，並無顯著之差異。

此外，將每月定期採樣分析之土壤主要礦質養分元素與木瓜葉片養分濃度進行相關性分析，由表 5 可知，在對照組方面，土壤有機質 (OM) 與土壤之 K、Ca、Mg 及葉部之 P、K、Ca 養分濃度呈顯著正相關；而在土壤 K 與土壤 Mg 及葉部養分 K 與 P 呈現顯著正相關；土壤中之 Ca 與 Mg 則顯示極顯著正相關。另外在葉部養分濃度部分，葉部 N 與葉部 P 及 Mg 呈顯著正相關，而葉部 P 則與葉部 Ca 及 K 呈顯著正相關，而葉部 K 與葉部 Mg 呈顯著負相關性。

表 5. 木瓜對照組定植於連作田土壤主要礦質養分及植體葉片養分濃度相關性分析

	pH	OM	P	K	Ca	Mg	葉 N	葉 P	葉 K	葉 Ca	葉 Mg
pH	1										
OM	-0.313	1									
P	-0.172	0.539	1								
K	-0.503	0.714**	0.015	1							
Ca	0.252	0.775**	0.459	0.516	1						
Mg	-0.041	0.733**	0.015	0.834**	0.794**	1					
葉 N	-0.312	0.377	0.503	0.075	0.124	0.032	1				
葉 P	-0.402	0.880**	0.431	0.606*	0.526	0.534	0.654*	1			
葉 K	-0.204	0.580*	-0.254	0.764**	0.414	0.669*	-0.078	0.594*	1		
葉 Ca	-0.380	0.705*	0.270	0.432	0.325	0.412	0.064	0.577*	0.333	1	
葉 Mg	0.126	-0.134	0.167	-0.382	-0.086	-0.142	0.585*	-0.012	-0.590*	-0.053	1

** . 表示相關性極顯著 ($p \leq 0.01$)。* . 表示相關性顯著 ($p \leq 0.05$)。葉 N 為葉部氮濃度含量，以此類推。

表 6. 木瓜接種叢枝菌根菌於連作田土壤主要礦質養分及植體葉片養分濃度相關性分析

	pH	OM	P	K	Ca	Mg	葉 N	葉 P	葉 K	葉 Ca	葉 Mg
pH	1										
OM	-0.014	1									
P	0.313	0.659*	1								
K	-0.070	0.889**	0.552	1							
Ca	0.451	0.691*	0.651*	0.662*	1						
Mg	-0.068	0.491	0.456	0.455	0.649*	1					
葉 N	-0.696*	0.274	0.290	0.220	-0.085	0.401	1				
葉 P	0.077	0.852**	0.523	0.800**	0.871**	0.671*	0.194	1			
葉 K	0.005	0.618*	0.431	0.332	0.498	0.630*	0.196	0.546	1		
葉 Ca	0.477	0.209	-0.019	0.031	0.449	0.206	-0.636*	0.290	0.601*	1	
葉 Mg	0.639*	-0.310	-0.251	-0.337	0.250	-0.054	-0.851**	-0.053	-0.025	0.727**	1

** . 表示相關性極顯著 ($p \leq 0.01$)。* . 表示相關性顯著 ($p \leq 0.05$)。葉 N 為葉部氮濃度含量，以此類推。

在接種 AMF 處理方面 (表 6)，土壤 pH 與葉部 N 養分呈顯著負相關性，與葉部 Mg 則呈顯著正相關性；土壤有機質 (OM) 與土壤 P、K、Ca 及葉部之 P、K 養分濃度呈現顯著正相關；而土壤 P 則與土壤 Ca 成正相關性；土壤 K 則與土壤 Ca 及葉片 P 呈

顯著正相關性；土壤 Ca 則與土壤 Mg 及葉片 P 含量呈顯著正相關，而土壤 Mg 則與葉片 P、K 呈顯著正相關。在葉片 N 方面，則與葉片 Ca、Mg 呈顯著負相關；而葉部 K 及葉部 Ca 呈顯著正相關，而葉部 Ca 及葉部 Mg 則呈極顯著正相關。

由表 5、表 6 結果可知，當土壤礦物之鹽基離子含量增加時，能有效提升作物葉片營養中 P 之吸收，而當 P 吸收增加時，亦能同時促進木瓜作物 K 及 Ca 之吸收，但在接種 AMF 處理時，葉部之 N 濃度過高時，將抑制木瓜 Ca 及 Mg 之吸收，但在對照組葉部 N 之增加反而 Mg 亦隨之增加，此部分兩處理間，則有不同之養分濃度吸收方式，值得進行後續相關之研究探討。

結語

由於叢枝菌根菌接種木瓜後，可使幼苗根群發育健壯顯著提高幼苗品質，定植至田間後亦可促進植物生長、發育及增加幼苗存活率，但亦可藉由良好的田間衛生管理避免土壤病害發生。此外在木瓜連作田中，接種叢枝菌根菌處理在始花位置及果實採果高度均比對照組低，並可提早果實 13 天採收，且接種叢枝菌根菌處理對於土壤磷肥之有效性及植體葉片之吸收，均優於對照組，顯示木瓜接種叢枝菌根菌定植於連作田中，能促進植體對土壤磷肥之吸收，及提升木瓜生育品質。

參考文獻

1. 林益昇、羅朝村 1987 土壤添加物防治豌豆萎凋及根腐病之研究。中華農業研究 36 (4) : p432-444.
2. 王均琍 2018 互利共生拓商機，微生物肥料菌根菌適用作物廣泛接菌苗成活率、次級代謝產物含量明顯提升，具持續研發潛力。豐年雜誌 68 (8) : p82-88.
3. Abdalla, M. E. and G. M. Abdel-Fattah. 2000. Influence of the endomycorrhizal fungus *Glomus mosseae* on the development of peanut pod rot disease in Egypt. Mycorrhiza 10: 29-35.
4. Aggarwal, A., N. Kadian, A. Tanwar, A. Yadav and K.K. Gupta. 2011. Role of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in global sustainable development. Journal of Applied and Natural Science 3: 340-351.

5. Daniels, B. A. and H. D. Skipper. 1982. Methods for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil. In "Methods and principles of mycorrhizal research" (Schenck, N. C., ed.) The American Phytopathological Society. 20-45.
6. Douds, D. D. and G. N. 2000. Signaling and recognition events prior to colonization of roots by arbuscular mycorrhizal fungi. *Curr. Adv. Mycorrhizae Res.* 1:11-19.
7. Fitter, A. 2012. Why plant science matters. *New Phytologist* 193: 1-2.
8. Gange, A. C. and H.M. West. 1994. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and foliar-feeding insects in *Plantago lanceolata* L. *New Phytologist* 128: 79-87.
9. Gerdemann, J. W. and J. M. Trappe. 1974. The Endogonaceae in the Pacific Northwest. *Mycologia Memoir* 5: 76.
10. Jakobsen, I., S. E. Smith and F. A. Smith. 2002. Function and diversity of arbuscular mycorrhizae in carbon and mineral nutrition. In "Mycorrhizal ecology" (van der Heijden M. G. A. and I. R. Sanders, eds.) Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 75-92.
11. Kaya C., B. E. Ak and D. Higgs. 2003. Response of salt-stressed strawberry plants to supplementary calcium nitrate and/or potassium nitrate. *Journal of Plant Nutrition* 26 (3) : 543-560.
12. Khaosaad T., Garcia-Garrido J. M., Steinkellner, S. and Vierheilig, H. 2007. Take-all disease is systemically reduced in roots of mycorrhizal barley plants. *Soil Biology and Biochemistry* 39:727-734.
13. Koske, R. E. and J. N. Gemma. 1989. A modified procedure for staining roots to detect VM mycorrhizas. *Mycology Research* 94 (4) : 486-505.
14. Moebius-Clune, D. J., B. N. Moebius-Clune, H. M. van Es and T. E. Pawlowska. 2013. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with a single agronomic plant host across the landscape: Community differentiation along a soil textural gradient. *Soil Biology and Biochemistry* 64:191-199.
15. Oehl, F., E. Sieverding, J. Palenzuela, K. Ineichen and G. Alves. 2011c. Advances in Glomeromycota taxonomy and classification. *IMA Fungus* 2: 191-199.

16. Schenck, N. C. and Y. Perez. 1990. Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi. INVAM, Gainesville. Florida.
17. Smith, S. E. and D. J. Read. 2008. Mycorrhizal Symbiosis. 3rd. Academic Press, San Diego.
18. Turnau, K. and K. Haselwandter. 2002. Arbuscular mycorrhizal fungi, an essential component of soil microflora in ecosystem restoration. p. 137-149. In mycorrhizal technology in agriculture. Birkhauser Basel, Basel.
19. United Nations. 2019. World Population Prospects. p. 234. In World Population Prospects, Population Division, Department of Economic and Social Affairs, United Nations, New York.
20. Verbruggen, E., M. G. A. Van Der Heijden, J.T. Weedon, G.A. Kowalchuk and W.F.M. Roeling. 2012. Community assembly, species richness and nestedness of arbuscular mycorrhizal fungi in agricultural soils. *Molecular Ecology*. 21:2341-2353.

Arbuscular Mycorrhizal Fungi Inoculation Techniques and Field Applications

Po-Hsun Chang Liao¹, Yong-Hong Lin², Yao-Tsung Chang^{1*}

¹. Kaohsiung District Agricultural Research and Extension Station, COA.

* Corresponding author

². Department of Plant Industry, National Pingtung University of Science and Technology.

Abstract

The inoculation of papaya (*Carica papaya* L.) seedlings with mycorrhizal fungi can form symbiotic mycorrhizal roots, which can effectively promote the seedlings growth and minerals absorption, as well as enhance the resistance against environmental factors in continuous cropping fields. In this study, three mycorrhizal inoculation techniques were applied to establish a "seedling mycorrhizalization operation". We also inoculated papaya seedlings with six mycorrhizal fungi and evaluated their growth performance. The seedling mycorrhizalization operation results showed that the height, width and diameter, whole plant dry weight and seedling growth index of the seedlings inoculated with *Archaeospora trappei*, *Diversispora spurcum* and *Funneliformis mosseae* were significantly higher than those of the control group. The result of field management toward seedling mycorrhizalization shows that the transplanting survivability of seedlings inoculated with mycorrhizal fungi were all higher than the control group (23.33 %), especially for *Claroideoglossum etunicatum* and *F. mosseae* treatment in non-soil preparation field (70 % and 55 %, respectively). It demonstrated that inoculation with mycorrhizal fungi can enhance the tolerant ability of papaya against environmental restriction factors. In addition, the seedling height performance of *Acaulospora kentinensis* and *Rhizophagus intraradices* treatment was significantly better than the control group. The papaya fruit can be harvested 13 days earlier. And reduce the flowering and fruit position height.

Key Words: Arbuscular mycorrhizal fungi, *Carica papaya* L., Inoculation techniques

液化澱粉芽孢桿菌 Tcb45 菌株 應用於微生物肥料之開發

郭建志、林煜恒、張世杰、羅佩昕、廖君達

行政院農業委員會臺中區農業改良場

摘要

微生物肥料的開發對於臺灣永續農業的發展扮演重要的角色，同時也是國內農業研究重要的發展項目之一。國內農友長期依賴化學肥料進行農作物栽培管理，容易造成土壤劣化、產量降低或出現連作障礙，甚至病害產生等問題，更對環境造成負面影響。因此，本研究自土壤中篩選出多株有益微生物菌株，其中 1 株 Tcb45 菌株經由分子技術鑑定為液化澱粉芽孢桿菌 *Bacillus amyloliquefaciens*。經由檢測分析，Tcb45 菌株具有溶磷 (phosphate solubilization) 與嵌鐵物質 (siderophore) 活性，並可產生澱粉、蛋白質與纖維素分解酶，且具有耐鹽能力，培養於 7% 氯化鈉之培養條件下，菌量仍可達 10^8 CFU/mL 以上，顯示可與化學肥料混合使用之潛力。將此菌株產製成發酵液後施用於多種蔬菜作物如甘藍、白菜及萵苣等，於蔬菜苗期進行根部澆灌及生長期進行葉面噴施 4~6 次，便可有助於蔬菜根系之發育與生長，顯著提升產量 10 - 20 % 之功效。在田間結球白菜化學肥料減量試驗結果，使用 70 % 化學肥料量搭配 Tcb45 菌株施用，與慣行全量施用的處理相比，其產量並無減少情形。Tcb45 微生物菌株及其量產技術，目前已技術移轉給業者及商品化，可應用於慣行栽培管理，後續進一步可應用於友善及有機栽培模式中，期能成為有助於農業的永續發展及友善環境耕作的利器。

關鍵詞：微生物肥料、液化澱粉芽孢桿菌、溶磷作用

前言

臺灣地處於熱帶與亞熱帶區域，為高溫多雨及溫暖潮濕的氣候型態，國內農作物種植種類繁多，加上多屬於小面積栽培，在長期集約耕作模式下，部分農友及栽培業者為了維持高產，進行田間耕作管理之時，會偏施化學肥料進行田間肥培管理，並追求單位面積產量提升以及複種次數。長期使用化學肥料，對於肥料使用種類及用量若無控管的情形下，容易造成許多負面影響，包括土壤酸化或鹽化、土壤養分分布不均勻、土壤有益微生物族群失衡、有機質含量減少、土壤劣化引發連作障礙、甚至土壤傳播性病害產生等問題，進而影響農作物產量與品質(楊，2006)。

為避免農友偏施過多化學肥料及施用方式不當，國內農試改良場所長期輔導農友進行合理化施肥，降低化學肥料的用量、添加有機質肥料促進地力改善及施用微生物肥料，增加作物根圈有益微生物族群，強化植物根部對於養分的吸收及促進作物生長。近年來國內推行友善環境耕作及有機農業之農業政策，對於微生物肥料、有機質肥料及農田地力改良肥料資材及生物防治資材的購買均有補助政策。針對國產有機質肥料每公頃補助上限 12,000 元、微生物肥料與生物防治資材亦可獲得購買憑證金額二分之一，每公頃最高補助 5,000 元；而農田地力改良資材可補助購買金額三分之一，每公頃最高補助 3,000 元，顯示未來微生物肥料產業規模相當具有前景(林等，2018；張，2018)。

土壤中具有豐富的微生物資源，有益微生物的菌種多元，其中在作物生長促進的根圈微生物族群(Plant growth promoting rhizobacteria, PGPR)中，具有溶磷能力(phosphate solubilization)的微生物總稱「溶磷菌」，可將土壤中的無效性磷轉變為有效性磷，且具有多種功能特性，可以分為促進作物生長，增加作物對於土壤肥分的有效利用，協助改善土壤劣化問題，此類微生物菌種可開發成為微生物肥料(楊，2011)。微生物肥料係指含有活性微生物或休眠孢子，例如細菌、放線菌、真菌及藻類等及其他代謝產物的特性製劑，應用於作物生產具有提供植物養分、促進植物吸收養分之利用率及促進作物生長(楊，2006)。若其功能特性具有可以抑制病原菌生長，降低作物病害發生，保護作物根圈及改善連作障礙的微生物菌種可開發成為微生物農藥，甚至有些微生物兼具微生物肥料及微生物農藥之特性(Compant *et al.*, 2005; Timmusk *et al.*, 2018)。依據市場研究公司 Grand View Research 指出在 2019 年全球生物肥料市場規模約 10.0 億美元，並預期全球生物肥料市場自 2020-2027 的年複合成長率可達 12.8 %。

國內近年開始推動友善耕作的農業形式，主要定義包括：(1) 維護水土資源、(2) 保持生態環境及生物多樣性、(3) 促進農業友善環境及資源永續利用及 (4) 農業生產過程中不使用合成化學物質、基因改造生物及其產品。友善耕作就是友善自然環境的一種農作物管理方式，同時也是不使用除草劑、化學農藥及化學肥料的耕作模式，透過友善耕作不僅能增加生態系的穩定性，也能提高生態系中的生物多樣性，有助於自然環境的保護作用。此外，除了推動友善耕作外，國內有機農業促進法已於 107 年 5 月 30 日公布，並於公布後 1 年開始施行，為促進有機農業永續發展，增進有機農產品品質，以維護國民健康與兼顧生產者及消費者權益，並達到環境有機生態、農民有機生產及消費者有機生活之目標 (黃，2018)。

此外，近年來，植物生物刺激素 (Plant biostimulants) 受到世界各國的關注及快速發展，目前對於植物生物刺激素產品依照主要成分共分為七大類，其中微生物類亦包括在內。目前歐盟、美國及大陸對於植物生物刺激素的定義略有不同，其中歐盟則是把植物生物刺激素納入肥料的管理範圍。普遍的定義為：是一種包含活性物質或微生物成分，應用於植物上，可以提高作物的生長與發育，施用於植物或根圈附近，可以刺激植物的生理代謝反應、間接增強和提升營養物質的吸收、提高植物營養的利用率、提升植物抵抗非生物逆境的能力及提高產量與品質 (Kumar and Verma, 2018; Woo and Pepe, 2018; Yang *et al.*, 2009)。國內各農試改良場所亦開始研發微生物應用於作物耐非生物逆境 (高溫熱障礙、低溫寒害、強降雨淹水、乾旱及鹽分等) 之研究，國內相關法規對此類產品界定仍不完全，但此產品對於作物栽培具有正向的影響成效，可作為國內後續研發的方向之一，並配合日後國內對於植物生物刺激素的法規完善，可以提供給農友在栽培管理上的新選擇。

內容

一、微生物肥料功能特性

土壤中可促進植物生長之根圈微生物 (PGPR)，具有多功能特性，可做為微生物肥料 (biofertilizers)、植物生長調節劑 (phytostimulators)、根圈修復 (rhizoremediators) 及微生物農藥 (biopesticides)。而部分 PGPR 可研發成為微生物肥料，對於作物促進生長的機

制可分為直接影響及間接影響 (楊, 2014; Ahemad and Kibretb, 2014; Kundan *et al.*, 2015; Stamenković *et al.*, 2018)。有益微生物族群透過直接以及間接機制促進作物生長及降低病害, 直接影響作物生長的機制包括以下幾點:

1. 固氮作用 (Nitrogen Fixation): 主要是由固氮菌進行, 主要將氮氣固定為氨氣, 再轉化成胺基化合物提供給作物利用。固氮菌可分為游離固氮菌、協生性固氮菌及共生性固氮菌三類, 其中寄主專一性最高的為共生性固氮菌 (楊, 2014)。目前具有固氮作用的微生物菌種, 常見的有 *Azospirillum*、*Alcaligenes*、*Arthrobacter*、*Bacillus*、*Burkholderia*、*Enterobacter*、*Pseudomonas*、*Rhizobium* 及 *Serratia* 等 (Kundan *et al.*, 2015)。
2. 溶磷作用 (Phosphate solubilization): 具有溶磷作用的微生物可分為共生性溶磷菌及非共生溶磷菌。共生性溶磷菌主要為菌根真菌, 對於作物具有促進生長、增加苗期存活率、提高產量以及幫助作物抵抗逆境之能力 (林與吳, 2005)。此外, 非共生溶磷菌主要由細菌、真菌以及放線菌為大宗, 其中研究溶磷細菌中以芽孢桿菌屬 (*Bacillus* spp.)、根瘤菌屬 (*Rhizobium* spp.) 以及螢光假單孢菌屬 (*Pseudomonas* spp.) 最多 (Kundan *et al.*, 2015), 目前國內微生物肥料的產品多以芽孢桿菌為主。
3. 產生植物激素: 根圈微生物中具有合成轉化生成植物激素, 例如生長素 Indole-3-acetic acid (indole acetic acid, IAA)、激勃素 (Gibberellic acid, GA) 及細胞分裂素 cytokinin, 可促進根系發育以及養分的吸收利用 (楊, 2014; Kundan *et al.*, 2015)。
4. 產生 ACC 脫氨酶: 某些微生物菌株可以生產 ACC 脫氨酶 (1 aminocyclopropane 1 carboxylatedeaminase), 藉此降低乙烯 (ethylene) 之生成, 以促進根系生長, 協助作物抵抗逆境之能力 (楊, 2014; Ahemad and Kibretb. 2014; Kundan *et al.*, 2015)。

微生物除了可直接影響並促進作物生長外, 另可以間接影響作物生長, 其作用包含產生嵌鐵物質 (siderophores production) 及多種分解酵素 (lytic enzymes) 競爭營養空間, 產生抗生物質 (antibiotic) 及氰化氫 (HCN production) 抑制病原菌的生長以及誘發植物產生抗病性 (Induced systemic response, ISR), 降低病害的發生, 有助於作物生長及產量的維持 (楊, 2014; Ahemad and Kibretb. 2014; Kundan *et al.*, 2015)。

二、國內微生物肥料登記現況

近年來，由於國內推動永續農業、有機農業及友善耕作，並鼓勵農友施用有機質肥料及微生物肥料，減少化學肥料的施用量，因此微生物肥料為目前重要的農業發展方向之一。現階段大專院校及各農試改良場所均有研發團隊進行土壤有益微生物菌種菌株篩選、功能特性分析、溫室與田間功效驗證、試量產發酵以及商品化之研究。目前國內將微生物肥料依照功能特性進行產品區隔，分為六大類，分別為一、豆科根瘤菌肥料 (品目編號 8-01)；二、游離固氮菌肥料 (品目編號 8-02)；三、溶磷菌肥料 (品目編號 8-03)；四、溶鉀菌肥料 (品目編號 8-04)；五、複合微生物肥料 (品目編號 8-05) 及六、叢枝菌根菌肥料 (品目編號 8-06) (李，2014)。為簡化肥料業者申辦微生物肥料登記證程序，農委會評估審查微生物肥料菌種安全性，於 100 年 6 月 3 日公告「已被鑑定為安全之微生物肥料菌種」，可免做生物毒性 (動物毒理試驗)，包括細菌 8 個、真菌 4 個及酵母菌 4 個，計 16 個微生物肥料菌種。目前國內正研議擴增微生物肥料的安全菌種名單，期能增加微生物肥料的研發量能。目前國內微生物肥料共取得 64 張登記證，登記情形如 (表一)，以溶磷菌肥料登記數量最多，共有 59 項產品，19 家業者；溶鉀菌肥料共有 3 項產品，2 家業者；叢枝菌根菌肥料共有 2 項產品，2 家業者。菌種分析如 (表二)，溶磷菌肥料大多以芽孢桿菌屬為主，分別為 *Bacillus amyloliquefaciens* (液化澱粉芽孢桿菌)、*B. licheniformis* (地衣芽孢桿菌)、*B. mycoides* (蕈狀芽孢桿菌)、*B. safensis* (沙福芽孢桿菌)、*B. subtilis* (枯草桿菌) 與 *B. velezensis* (貝萊斯芽孢桿菌)，共 6 個菌種及 1 個酵母菌 *Candida guilliermondii* (季也蒙假絲酵母菌)。溶鉀菌肥料目前以 *B. amyloliquefaciens* 及 *B. mycoides* 為主。叢枝菌根菌肥料主要菌種為 *Glomus mosseae*。目前國內微生物肥料以固氮菌為主之肥料品目尚未商品化，而國外已有多種產品，後續可作為研發的方向之一。

表一、現階段臺灣微生物肥料登記品目現況

	微生物登記品目		
	8-03 溶磷菌肥料	8-04 溶鉀菌肥料	8-06 叢枝菌根菌肥料
產品數量	59	3	2
業者數量	19	2	2

(資料來源 - 肥料管理整合資訊系統，統計至 109 年 8 月 10 日)

表二、臺灣微生物肥料產品之菌種分析

肥料品目	菌種名稱	產品數量
溶磷菌肥料	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (液化澱粉芽孢桿菌)	13
	<i>Bacillus licheniformis</i> (地衣芽孢桿菌)	7
	<i>Bacillus mycodies</i> (蕈狀芽孢桿菌)	1
	<i>Bacillus safensis</i> (沙福芽孢桿菌)	21
	<i>Bacillus subtilis</i> (枯草桿菌)	14
	<i>Bacillus velezensis</i> (貝萊斯芽孢桿菌)	2
	<i>Candida guilliermondii</i> (季也蒙假絲酵母菌)	1
溶鉀菌肥料	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (液化澱粉芽孢桿菌)	1
	<i>Bacillus mycodies</i> (蕈狀芽孢桿菌)	2
叢枝菌根菌肥料	<i>Glomus mosseae</i>	2
總數		64

(統計至 109 年 8 月 10 日)

三、微生物肥料 - 液化澱粉芽孢桿菌 Tcb45 之研發及應用

(一) 微生物肥料 Tcb45 菌株篩選及鑑定

本研究自本場有機區土壤取樣，利用土壤系列稀釋法篩選有益微生物菌株，其中 1 株 Tcb45 菌株初步鑑定為革蘭陽性菌。將此菌株利用移植環純化於 NA 培養基上，待菌落長出後，再純化 1 次，之後刮取單一菌落於 5 mL LB broth 中，置於 30°C 定溫箱中，無光照處理，以 125 rpm 轉速震盪培養 24 小時後，利用「Tissue & cell Genomic DNA Purification Kit」抽取其核酸 DNA。接著進行 16S rRNA 及 *gyrB* 核酸序列增幅，利用 16S rRNA 引子對 27F/1492R (Brosius *et al.*, 1978) 及 *gyrB* gene 之引子對 *gyrB*-41F 與 *gyrB*-44R (Wang *et al.*, 2007; Yamamoto and Shigeaki, 1995) 進行 PCR 反應。所得之專一性片段委由源資國際生物科技股份有限公司進行定序，所得序列透過網際網路送至 National Center for Biotechnology Information (NCBI; <http://www.ncbi.nlm.nih.gov>)，以 BLAST 2.0 之程式進行網路基因庫進行比對 (Schaad *et al.*, 2001)。後續將 Tcb45 菌株之 16S-rRNA 及 *gyrB* 基因之序列，與 NCBI 基因庫中各 *Bacillus* 屬細菌 16S-rRNA 及 *gyrB* 序

列進行系統親緣性分析，最後比對結果，將 Tcb45 菌株鑑定為液化澱粉芽孢桿菌 (*Bacillus amyloliquefaciens*)，菌落形態如圖一。

(二) 液化澱粉芽孢桿菌 Tcb45 菌株功能特性分析

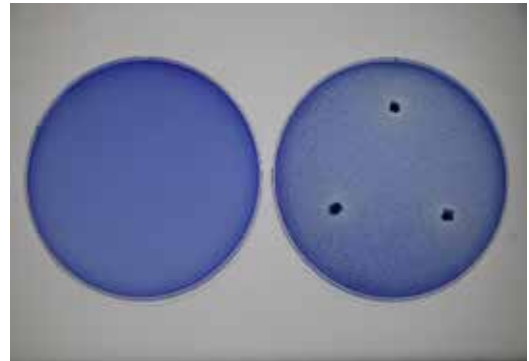
1. 微生物肥料溶磷活性能力分析

將所篩選之微生物 Tcb45 菌株進行純化培養，並挑選單一菌落接種至 5ml 的 LB Broth 培養 1 天後，自 LB Broth 中取出 500 μ l (OD₆₂₀=0.3) 至液態磷酸三鈣、磷酸鐵及磷礦石粉 (Rock-P, CCM FERTILIZER Sdn Bhd) 培養基中，經培養 4 天後以鉬藍法 (Watanabe and Olsen, 1965) 進行水溶性磷含量分析，分析其可溶性磷含量 (μ g/ml/day)。磷酸三鈣、磷酸鐵及磷礦石粉培養基之配方參照肥料檢驗方法 (方法編號 AFS3183-1)。溶磷分析結果，Tcb45 菌株培養 4 天後，檢測磷酸三鈣、磷酸鐵及磷礦石粉之可溶性磷為 872.0 μ g/ml/day、588.83 μ g/ml/day 及 17.18 μ g/ml/day。此外，配製含有溴酚藍 (bromophenol blue) 的溶磷平板 (Dissolve Phosphorus Agar, DPA)，將 Tcb45 菌株挑選單一菌落接種於平板上，經過 48 小時後觀察菌落周圍可產生黃暈及透化圈 (圖二)。



圖一、液化澱粉芽孢桿菌 Tcb45 於 NA 培養基上菌落形態

Fig. 1. *Bacillus amyloliquefaciens* Tcb45 strain colony morphology on the NA medium.

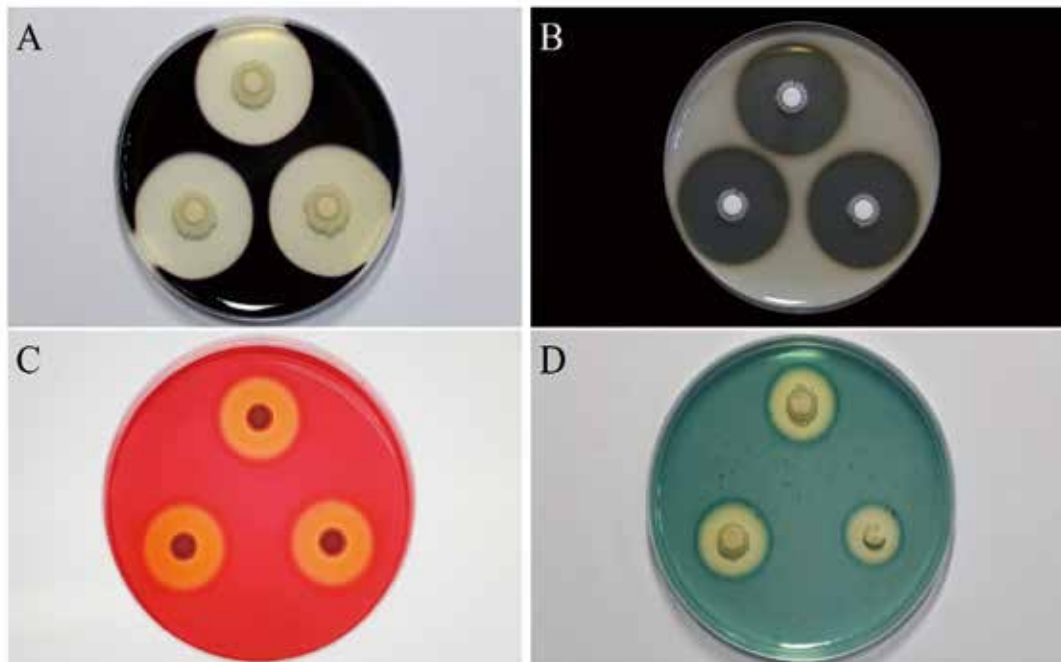


圖二、Tcb45 菌株於溶磷平板上之透化情形

Fig. 2. Tcb45 colonies forming a clear halo zone around each colony on the dissolve phosphorus agar.

2. 分解酵素活性及嵌鐵物質分析

本試驗測試 Tcb45 菌株是否具有澱粉分解酵素 (amylase)、脂肪分解酵素 (lipase)、蛋白分解酵素 (protease)、纖維素分解酵素 (cellulase) 及嵌鐵物質 (siderophore production) 之活性。培養基配置參考前人研究 (Cheng and Yang, 1995 ; Suzuki *et al.*, 2001 ; Sacherer *et al.*, 1994 ; Magnelli *et al.*, 1997 ; Husen, 2003), 將測試菌株以移植環沾取單一菌落, 接種於 5 ml 之 NB 液態培養基, 利用震盪培養 (28°C, 125rpm) 24 小時後, 取原液 20 μ l (調整 OD₆₂₀=0.3) 滴入含有濾紙片之上述各培養基上, 置於 30°C 定溫箱中培養, 無光照處理, 依照各測試培養天數及染色條件。Tcb45 菌株具有澱粉酶、蛋白酶、纖維素酶及嵌鐵物質之活性 (圖三)。



圖三、Tcb45 菌株分解酵素能力測定, 於 (A) 澱粉、(B) 蛋白質、(C) 纖維素及 (D) 嵌鐵培養基上之分解透化結果, Tcb45 菌落外圍空白表示分解透化圈

Fig. 3. The evaluation of Tcb45 strain enzyme hydrolysis activity using a different selective medium, (A) amylase, (B) protease, (C) cellulase, and (D) siderophore production. The outer limit of the zone with Tcb45 bacterial colony indicate the hydrolysis clearance zone.

3. Tcb45 菌株耐鹽能力分析

此外，本研究亦測試 Tcb45 菌株對於不同鹽分濃度之耐鹽性分析，配製含有 0%、3%、5%、7% 及 10% 氯化鈉 NaCl 之 Nutrient Broth (NB) 培養基，將 Tcb45 菌株以移植環刮取單一菌落，接種於上述配製之不同氯化鈉濃度 NB 培養基，每個濃度 3 重複，放置於 28°C 之震盪培養箱中，以 125 rpm 震盪培養 24 小時後，分別測定培養基之酸鹼值 (pH)、鹽度 (EC) 及培養基中 Tcb45 孢子濃度，結果如下表。添加 Tcb45 可以提高 NB 培養液之 pH，0~10% NaCl 均有相同的趨勢，推測可能 Tcb45 具有分解蛋白質或產氨能力的關係 (曾等，2016；Dastager *et al.*, 2014)。EC 值的部分，隨著添加 Tcb45 後，分析 NaCl 之 EC 值，其值與對照組 (未加菌) 的趨勢相同。檢測 Tcb45 菌量的部分，未添加 (0%) 之菌量為 2.63×10^9 CFU/mL，3%、5% 及 7% NaCl 濃度下，Tcb45 菌量仍可達 10^8 CFU/mL 以上，而添加至 10% NaCl 之處理則無法檢測出 Tcb45。綜合以上結果，Tcb45 菌株仍顯示具耐鹽特性，後續應可與化學肥料進行混合施用於作物之潛力。

表三、液化澱粉芽孢桿菌 Tcb45 菌株培養於不同濃度之氯化鈉 NB 培養基 24 小時後之 pH、EC 及菌量分析

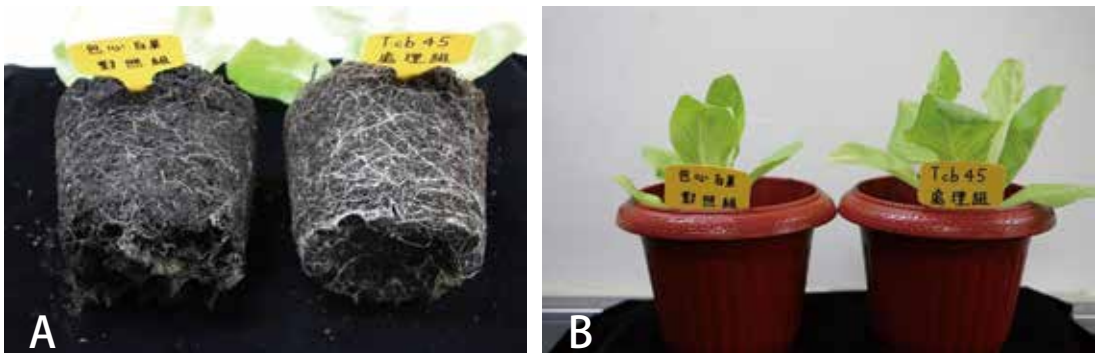
Table 3. The analysis of pH, EC and bacterial spores number of NB with different concentration of NaCl at 24 hours after inoculated with Tcb45 strain

Conc. of NaCl (%)	pH		EC (mS/ cm)		Tcb45 cell number (x 10 ⁸ CFU/ ml)
	Control	Tcb45	Control	Tcb45	
0	7.32±0.03	8.25±0.11	1.28±0.20	2.13±0.11	26.33±5.86
3	6.29±0.12	7.62±0.32	39.30±1.14	45.10±2.00	9.33±0.58
5	6.28±0.04	7.05±0.34	64.20±2.11	65.73±2.06	1.67±0.38
7	6.31±0.08	7.28±0.30	80.20±1.59	83.80±1.65	1.33±0.15
10	6.29±0.21	6.94±0.29	103.80±2.81	109.00±2.17	--*

*not detected

(三) Tcb45 菌株促進作物生長及田間試驗

本研究利用 Tcb45 菌株進行蔬菜苗期試驗，可促結球白菜根系發育及生長勢相較於未處理具有促進生長效果(圖四)。此外，於本場有機試驗田區進行小規模微生物肥效試驗，於苗期定植前澆灌 1 次 Tcb45 菌株之 200 倍稀釋液，定植後連續澆灌 3-4 次，其結果與對照組相比，在半結球萵苣、不結球白菜、甘藍的測試結果，具有促進生長及提升產量的效果(圖五至圖七)。



圖四、利用液化澱粉芽孢桿菌 Tcb45 菌株於結球白菜苗期處理，可促進根系發育(圖四 A)及生長情形(圖四 B)

Fig. 4. *B. amyloliquefaciens* Tcb45 could promoting root development (Fig. 4A) and plant growth (Fig. 4B) by application on chinese cabbage seedling



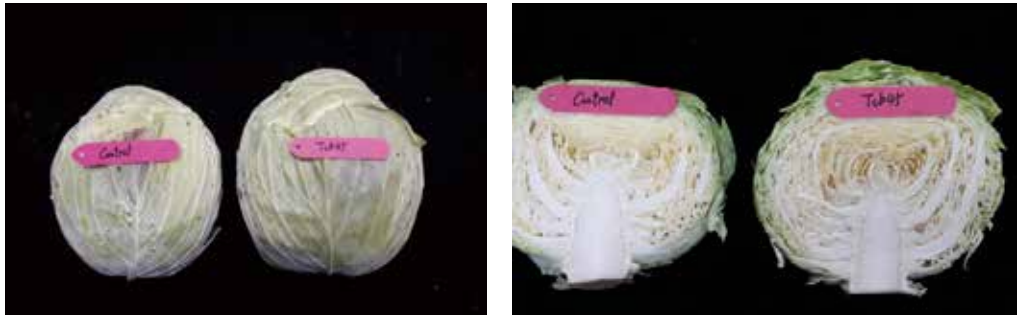
圖五、應用 Tcb45 菌株於半結球萵苣之促進生長試驗結果，對照組(圖左)，處理組(圖右)

Fig. 5. The results of growth promotion test by Tcb45 applied on lettuce, control (left) and treatment (right)



圖六、應用 Tcb45 菌株於不結球白菜之促進生長試驗結果，對照組(圖左)，處理組(圖右)

Fig. 6. The results of growth promotion test by Tcb45 applied on non-heading cabbage, control (left) and treatment (right)



圖七、應用 Tcb45 菌株於甘藍之促進生長試驗結果，對照組（圖左），處理組（圖右）
Fig. 7. The results of growth promotion test by Tcb45 applied on on cabbage, control (left) and treatment (right)

經由田間小規模測試結果，證實 Tcb45 菌株確實具有促進作物生長之功效，進一步試驗對於化學肥料減量的田間測試。於彰化縣溪州鄉進行結球白菜田間肥效試驗，分為處理組施用 70% 化學肥料並搭配 Tcb45 發酵液澆灌與葉噴及對照組施用 100% 化學肥料。處理組以 Tcb45 發酵液 500 倍稀釋液，於定植 7 天開始進行根部澆灌，連續澆灌 2 次，後續改由葉噴處理 2 次。待採收後分析其結果，其全株總重、單球重及球高結果如表四，在化學肥料量的施用降低 30% 的情形，Tcb45 處理組結果與對照組相比雖有增加，但無顯著差異（圖八），顯示應用微生物肥料搭配減量化學肥料的條件，仍可維持原有的產量，有助於減少化學肥料的使用及友善環境的目的。

表四、應用液化澱粉芽孢桿菌 Tcb45 菌株發酵液之 500 倍稀釋液，施用於結球白菜，與對照組相比之全株總重、單球重及球高結果

Table 4. The result of chinese cabbage total plant weight, single ball weight and ball height after applying *B. amyloliquefaciens* Tcb45 fermentation broth 500-fold dilution compared with the control

No.	total plant weight (kg)	single ball weight (kg)	single ball height (cm)	Chemical fertilizer application amounts (%)
Control	1.42a*	0.814a	30.50a	100
Tcb45	1.45a	0.876a	34.33a	70

* Means with different letter are significantly from each other at $P \leq 0.05$ by LSD test.



圖八、應用 Tcb45 菌株 500 倍發酵液於結球白菜之肥效試驗結果，對照組 (圖左)，Tcb45 處理組 (圖右)

Fig. 8. The result of fertilizer test by application Tcb45 500-fold dilution of fermentation broth in chinese cabbage results, control group (left), Tcb45 treatment (right)

結語

國內微生物肥料的研究已發展多年，對於促進作物生長之機制明確，可以協助農友栽培時，減少化學肥料的使用、促進作物對於土壤中養分的有效利用、緩解土壤酸化及劣化、增加土壤中微生物族群多樣性、甚至可幫助作物抵抗逆境之能力，其產品對於環境友善。從 2014 年至 2020 年間，微生物肥料登記產品從 13 種增加至 64 種，從原本溶磷作用為主，至目前已經有溶鉀菌產品，菌根菌產品以及酵母菌產品，顯示微生物肥料產業正快速成長。本場近年著重於微生物資材的開發，對於菌株的篩選研發多管齊下，亦開發許多有助於農作物栽培管理時可用的微生物資材，包括微生物堆肥、微生物液肥、羽毛分解菌、微生物肥料及微生物農藥等產品，可以提供農友及栽培業者導入期栽培管理模式中，減少化學肥料與農藥的使用量，調適土壤劣化及酸化情形，本研究研發之液化澱粉芽孢桿菌 Tcb45 菌株具有溶磷能力，並可產生多種分解酵素、嵌鐵物質，並具有耐鹽能力，經由試驗證實用於多種蔬菜作物可促進生長，提高產量。可與化學肥料共同施用並降低化學肥料的施用量，Tcb45 菌株及量產技術已經技術移轉，並商品化，產品為溶磷微生物肥料「活力美」，可導入慣行栽培管理中，未來進一步提供給有機栽

培及友善耕作使用。微生物肥料產業的發展有助於國內農業的永續經營，達到友善環境及穩定作物優質生產的目標。

參考文獻

1. 李英明 2014 微生物肥料管理現況與展望 農業生物資材產業發展研討會論文集 行政院農業委員會臺中區農業改良場 特刊 121:13-21。
2. 林素禎、吳繼光 2005 微生物肥料在合理化施肥之應用 合理化施肥專刊 行政院農業委員會農業試驗所特刊 121:289-304。
3. 林秀芬、周涵穎、邱安隆、李英明 2018 臺灣微生物農藥與微生物肥料產業發展現況 行政院農業委員會 農政與農情 317。
4. 黃俊欽 2018 推動有機新農業 有機及友善耕作研討會論文集 行政院農業委員會臺中區農業改良場 特刊 135:1-8。
5. 曾宥紘、郭雅紋、陳鴻堂 2016 放線菌 *Arthrobacter enclensis* TCC-2 之多功能羽毛分解特性及促進有機栽培萵苣生長之研究 臺中區農業改良場研究彙報 131:57-68。
6. 張忠賀 2014 國內微生物肥料產業的發展現況與展望 農業生物資材產業發展研討會論文集 行政院農業委員會臺中區農業改良場 特刊 121:163-175。
7. 張耀聰 2018 友善環境農業資材應用介紹 高雄區農業專訊 108: 5-7。
8. 楊秋忠 2006 微生物肥料在綠色農業之研究與發展 生物技術與綠色農業研討會專刊 行政院農業委員會農業試驗所特刊 127: 11-17。
9. 楊秋忠 2011 微生物肥料：溶磷菌的應用及要領 苗栗區農業專訊 53。
10. 楊秋忠 2014 微生物肥料在作物生長的作用機制 農業生物資材產業發展研討會論文集 行政院農業委員會臺中區農業改良場 特刊 121:59-68。
11. Ahemad, M. and M. Kibretb. 2014. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective. J. King Saud Univ.Sci. 26:1-20.
12. Brosius, J., J. L. Palmer, H. P. Kennedy and H. F. Noller. 1978. Complete nucleotide sequence of a 16S ribosomal RNA gene from *Escherichia coli*. Proc. Natl. Acad. Sci. 75:4801-4805.
13. Compant, S., B. Duffy, J. Nowak, C. Cle'ment and E. A. Barka. 2005. Use of plant growth-

- promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future prospects. *Appl. Environ. Microbiol.* 71(9):4951-4959.
14. Cheng, C, W. and S. S. Yang. 1995. Amylase production of *Streptomyces rimosus* TM-55 and their 2-deoxyglucose resistant mutants. *Zhonghua Min Guo Wei Sheng Wu Ji Mian Yi Xue Za Zhi.* 28: 109-116.
 15. Dastager, S.G., Q. Liu, S. K. Tang, S. Krishnamurthi, J. C. Lee and W. J. Li. 2014. *Arthrobacter enclensis* sp. nov., isolated from sediment sample. *Arch. Microbiol.* 196(11): 775-82.
 16. Husen, E. 2003. Screening of soil bacterial for plant growth promotion activities *in vitro*. *Indonesian J. Agric. Sci. Technol.* 4(1):27-31.
 17. Kumar, A. and J. P. Verma. 2018. Does plant-Microbe interaction confer stress tolerance in plants: A review? *Microbiol. Res.* 207:41-52.
 18. Kundan, R., G. Pant, N. Jadon and P. K. Agrawal. 2015. Plant growth promoting rhizobacteria: mechanism and current prospective. *J. Fertil. Pestic.* 6(2): 1-9.
 19. Magnelli, P. E., A. Martinez and O. A. Mercuri. 1997. Simple method for determining cellulolytic activity in fungi. *Rev. Argent. Microbiol.* 29:210-214.
 20. Sacherer, P., G. Defago and D. Haas. 1994. Extracellular protease and phospholipase C are controlled by the global regulatory gene *gacA* in the biocontrol strain *Pseudomonas fluorescens* CHA0. *FEMS Microbiol. Lett.* 116:155-160.
 21. Schaad, N. W., J. B. Jones and W. Chun. 2001. Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria. 3rd edition. APS Press, St. Paul, 373.
 22. Stamenković, S., V. Beškoski, I. Karabegović, M. Lazić and N. Nikolić. 2018. Microbial fertilizers: A comprehensive review of current findings and future perspectives. *Span. j. agric. res.* 16 (1):1-16.
 23. Suzuki, T., T. Nakayama, T. Kurihara, T. Nishino and N. Esaki. 2001. Cold-active lipolytic activity of psychrotrophic *Acinetobacter* sp. strain no. 6. *J. Biosci. Bioeng.* 92:144-148.
 24. Timmusk, S., L. Behers, J. Muthoni, A. Muraya. and A. C. Aronsson. 2017. Perspectives and challenges of microbial application for crop improvement. *Front. Plant Sci.* 8:49.

25. Wang, L. T., F. L. Lee, C. J. Tai and H. Kasai. 2007. Comparison of *gyrB* gene sequences, 16S rRNA gene sequences and DNA-DNA hybridization in the *Bacillus subtilis* group. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 57(8):1846-1850.
26. Watanabe, F. S., and S. R. Olsen. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soil. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 29:677-678.
27. Woo, S. L. and O. Pepe. 2018. Microbial Consortia: Promising Probiotics as Plant Biostimulants for Sustainable Agriculture. *Front. Plant Sci.* 9: 1801.
28. Yamamoto, S. and H. Shigeaki. 1995. PCR amplification and direct sequencing of *gyrB* genes with universal primers and their application to the detection and taxonomic analysis of *Pseudomonas putida* strains. *Appl. Environ. Microbiol.* 61:1104-1109.
29. Yang, J., J. W. Kloepper and C. M. Ryu. 2009. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. *Trends Plant Sci.* 14(1):1-4.

The Research and Development of *Bacillus amyloliquefaciens* Tcb45 as Microbial Fertilizer

Chien-Chih Kuo, Yu-Heng Lin, Shih-Chieh Chang, Pei-Hsin Lo and Chung-Ta Liao
Taichung District Agricultural Research and Extension Station, COA

Abstract

The development of microbial fertilizers plays an important role in the development of sustainable agriculture and research in Taiwan. Farmers relied on chemical fertilizers for crop cultivation and management for a long time, which could cause problems such as soil degradation, reduced yields, continuous cropping obstacles, soil diseases and had a negative impact on the environment. Therefore, in this study, we isolated and screened a number of beneficial microbial from the organic soil, one of Tcb45 strain was identified as *Bacillus amyloliquefaciens* by molecular technology. Tcb45 strain had phosphate solubilization and siderophore activities, and could produce starch, protein and cellulolytic enzymes through the detection and analysis. Tcb45 strain had salt tolerance ability, the bacteria number count can still reach more than 10^8 CFU/mL under 7% sodium chloride culture conditions after 24 hours. It showed Tcb45 strain have the potential of being mixed with chemical fertilizers. We made Tcb45 strain fermentation broth and applied to a variety of vegetable crops, such as cabbage and lettuce. During the vegetable seedling stage by root irrigation and foliar spraying 4-6 times during the growth period, it could promote growth of vegetable roots and significantly increase the yield by 10-20%. In the field study of Chinese cabbage, the yield for plants that were given 70% of the chemical fertilizer plus Tcb45 strain was equivalent to the yield for the plants that were given full amount of chemical fertilizer. The Tcb45 microbial strain and its mass production technology have been technology transferred to the biotechnology company and commercialized, and can be applied to conventional farming, furthermore it could application to friendly and organic cultivation in the future. It is expected to promotion of sustainable agriculture and friendly environment farming.

Key Words: Microbial fertilizer, *Bacillus amyloliquefaciens*, Phosphate solubilization

「魚芋共生」整合式有機栽培 模式建立

林文華¹、楊大吉²

¹ 行政院農業委員會花蓮區農業改良場蘭陽分場

² 行政院農業委員會花蓮區農業改良場

摘要

為開發魚芋整合之有機生產模式，以宜蘭地區常見高畦芋田為基礎，建立魚芋共生模場。模組設計除高畦芋田原有之高畦、畦溝，並設置深度 30 cm 之魚溝，做為田區限水時維持魚隻生存之水體用。三種密度紅尼羅魚 (*Oreochromis* sp.) 放養於有機檳榔心芋 (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) 田區，以評估魚芋共生方式對有機檳榔心芋生產的影響。結果顯示三種密度放養處理及不放養對照區的芋年產量為 3,744 - 4,513 kg/ha，以 2,500 尾 /ha 處理表現較佳。紅尼羅魚放養 4.5 個月後以 1,250 尾 /ha 及 2,500 尾 /ha 處理成活率 61.2 - 65.1 %、魚重增加約 17.2 - 20.2 % 表現較佳。本次試驗之總體淨收益以放養 2,500 尾 /ha 處理 227.2 千元 /ha 表現最佳，淨收益最高，可較無放養紅尼羅魚對照模式增加 44 % 左右的獲利。

關鍵詞：紅尼羅魚、檳榔心芋、共生栽培、有機、密度

前言

花宜地區近年積極推動有機農業，然生產規模不如中南部大產區，市場競爭條件較為受限，需開發具獨特性產業以提升競爭力。宜蘭地區農友近年嘗試檳榔心芋有機栽培，然而產量低，營收不如預期。為解決上述問題，花蓮區農業改良場以建立「魚茭共生」有機生產模式經驗為基礎，進行「魚芋共生」整合式有機栽培模式開發，透過經營

模式調整以提高獲利，增加農民從事有機生產意願。另亦探討魚隻放養密度對該模式之影響，以期獲得較佳魚隻放養模式，增加魚芋共生模式可行性。

魚芋共生場域設計

一、魚芋共生整合模式田區設計

檳榔心芋為臺灣重要作物，全省各地均有種植，其中以臺中、屏東、苗栗、花蓮等地為主要產區；慣行種植方式以水田湛水種植為主。不同於慣行之水田種植模式，宜蘭地區芋農慣用做畦方式離水栽培檳榔心芋，植株定植於畦面上，僅畦溝湛水。本場規劃設計魚芋共生田區參採當地高畦栽培模式，畦高約 40 cm，畦寬約 120 cm，畦面寬約 90 cm，畦溝寬約 80 cm。為符合魚隻放養及活動所需水體條件，田區靠灌溉水入水口一側挖設一寬 4 m，深約 30 cm 之深溝，做為田區之中水深較深，可供魚隻休憩之區域，稱之「魚溝」；對向有排水口一側則挖設一寬約 2 m，深約 30 cm 之魚溝。魚溝走向與芋畦走向垂直，並與各畦溝連通（圖 1）。灌溉水由入水口進入魚溝，再經由畦溝流至後端魚溝，再由排水口流出。

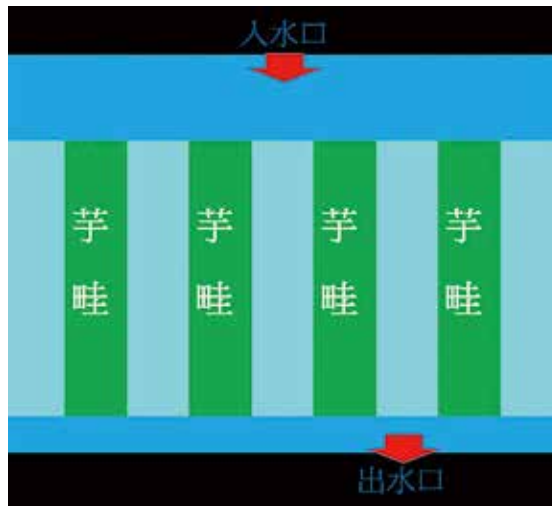


圖 1. 魚芋共生試驗田區規劃。長條狀色塊為芋畦，上方為入水口一側之改良式魚溝，下方為排水口一側之改良式魚溝。

二、魚芋共生田區水體管理

檳榔心芋生育時期維持畦溝水深約 30 cm，此時除畦面外，全部田區均湛水，魚溝水深約 60 cm。魚隻可在畦溝、魚溝自由活動。7 月中下旬檳榔心芋生育後期

田區排水使畦溝水深降至 10 cm 以下，芋株基部充分離水以利養分回流，此時畦溝水淺，魚隻無法在此活動，魚溝水深約 40 cm，可容納魚隻在此休憩。8 月下旬檳榔心芋採收，採收完成後畦溝回復水深 30 cm 以上，魚隻可再行於畦溝活動(圖 2)。以田區水體計算，檳榔心芋生育時期及採收後，魚隻可運用之水體包含畦溝及魚溝，水體大小約為 2,240 m³/ha；生育後期畦溝水深較淺，魚隻活動之理想水體僅有魚溝區域，大小約 240 m³/ha(表 1)。紅尼羅魚放養時間以 4 月下旬至 5 月上旬間較佳，然因試驗年度梅雨季降雨極少，改至 6 月中旬連數日降雨後放養。



圖 2. 魚芋共生田區各時期湛水狀態。檳榔心芋生育期及採收結束後全區湛水，魚隻活動有效水體包含畦溝與魚溝(左圖)；生育後期及採收期田區限水，魚隻活動有效水體僅有魚溝(右圖)。

表 1. 試驗區水體計算方式

測試時期	水體大小 (m ³)		
	魚溝	畦溝	合計
芋生育期	360 ^z	1,880 ^x	2,240
芋生育後期	240 ^y	---	240
芋採收期	240 ^y	---	240
採收期後	360 ^z	1,880 ^x	2,240

^z 魚溝於芋生育期及採收期水體大小計算方式為：入水口側魚溝寬×深×長=4 m×0.6 m×100 m=240 m³；排水口魚溝寬 2 m，水體為 120 m³，兩者合計為 360 m³。

^y 芋生育後期及採收期魚溝水體大小：入水口側魚溝寬×深×長=4 m×0.4 m×100 m=160 m³；排水口魚溝寬 2 m，水體為 80 m³，兩者合計為 240 m³。

^x 畦溝水體於芋生育期：溝寬×深×長×畦溝數=1 m×0.4 m×94 m×50 畦=1,880 m³。

魚隻放養密度對魚芋共生模式之影響

本次試驗場域設置於宜蘭縣三星鄉行健村有機田區，面積約 0.3 公頃，場域依圖 1、圖 2 模組規畫設置。試驗處理以每公頃 1,250 尾、2,500 尾及 5,000 尾等三種密度於有機檳榔心芋田中放養紅尼羅魚，以評估紅尼羅魚放養密度對宜蘭地區高畦栽培有機檳榔心芋田區魚隻成活、檳榔心芋生產及田區產值的影響。三種放養密度依表 1 各時期田區水體大小估算，各時期水體魚隻密度如下：

- (一) 高密度放養：放養 5,000 尾 /ha。檳榔心芋生育前期及採收之後田區水體魚密度約 2.2 尾 (1.3 kg)/m³；芋生育後期至採收期約 20.8 尾 (12.5 kg) /m³。
- (二) 中密度放養：放養 2,500 尾 /ha。檳榔心芋生育前期及採收之後田區水體魚密度約 1.1 尾 (0.7 kg)/m³；芋生育後期至採收期約 10.4 尾 (6.2 kg) /m³。
- (三) 低密度放養：放養 1,250 尾 /ha。檳榔心芋生育前期及採收之後田區水體魚密度約 0.6 尾 (0.3 kg)/m³；芋生育後期至採收期 5.2 尾 (3.1 kg) /m³。

除三種放養密度處理外，另設一未放養魚隻對照區，對照區未設置魚溝及放養魚隻，僅設置芋畦種植檳榔心芋，芋畦規畫與其他處理組相同。放養紅尼羅魚重約 550~590 g，放養時間為 6 月中旬，魚隻收穫時間為 10 月下旬。

一、放養密度對魚隻成活與生育之影響

在有設「魚溝」的田區，每公頃放養 1,250、2,500 及 5,000 尾紅尼羅魚處理之成活率分別為 65.1 %、61.2 % 及 51.5 %。以每公頃放養 1,250 及 2,500 尾紅尼羅魚處理成活率較高，5,000 尾處理成活率最低，顯示在本年度宜蘭縣三星鄉供水較缺乏的狀態下，每公頃放養 5,000 尾的魚隻密度過高。

本次試驗魚隻死亡時間主要集中在放養 2 週內，故推測放養初期環境適應不良會導致魚隻死亡較多。另於夏季供水缺乏、水體較小時亦有較多魚隻死亡。共生田區於前、後端各設置 4 m 及 2 m 寬，深度 30 cm 的魚溝，於供水不足時可見魚隻主要集中在該處活動，水量充足時觀察魚隻停留在魚溝的時間較其他區域如畦溝為長，因此設置魚溝對魚隻成活有明顯助益。惟魚溝深度影響魚芋共生場域水體大小甚鉅，特別在檳榔心芋生育後期及採收期需降低田區水深，此時魚隻活動區域僅限

於魚溝，魚溝深度對魚隻活動空間影響更大，因此魚溝深度需求對魚隻的影響，仍需進一步探討。

本次魚芋共生試驗，因有機田區是否適合投入市售魚飼料仍不明確，故不餵飼並觀察魚隻在未人工餵飼下的生育情形，僅放養初期約每週投放有機米糠作為飼料，1,250、2,500 及 5,000 尾 /ha 處理各投放約 50、100 及 200 kg/ha 2 次。由試驗結果得知，於共生田區放養 4.5 個月之後，放養 1,250、2,500 及 5,000 尾 /ha 處理之魚隻重量分別為 670.1 g/尾、651.3 g/尾、及 661.5 g/尾，處理間無顯著差異；而魚體分別增重 20.2 %、17.2 % 及 15.6 % (表 2)，以 1,250 尾處理稍高，2,500 尾處理其次，5,000 尾處理較低。

表 2. 檳榔心芋田中不同紅尼羅魚 (*Oreochromis* sp.) 放養密度處理之魚成活率、放養魚重、收穫魚重及魚重成長率。

Table 2. The survival rate, weight of fish when putting in the field and harvesting, and weight increase rate of different red tilapia (*Oreochromis* sp.) culture density in organic taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) field.

放養密度 (尾 /ha)	成活率 (%)	放養魚重 (g/尾)	收穫魚重 (g/尾)	魚重成長 ^y (%)
1,250	65.1	557.5	670.1 a ^z	20.2
2,500	61.2	581.5	651.3 a	17.2
5,000	51.5	572.3	661.5 a	15.6

^z Means within each column followed by the same letters are not significantly different at P<0.05 by Fisher's protected LSD test.

^y The data was the result of fish weight when putting in the field/ fish weight when harvesting.

二、放養密度對檳榔心芋的影響

檳榔心芋採收調查於 9 月中旬進行，結果顯示共生田區每公頃放養 1,250 尾、2,500 尾及 5,000 尾紅尼羅魚三種處理及未養魚對照組之檳榔心芋採收率分別為 37.3 %、42.7 %、37.5 % 及 40.3 %，處理間無顯著差異；採收不良品比率各處理為 66.7 %、70.0 %、62.5 % 及 65.7 %，亦無顯著差異；採收單粒重各處理分別為 203.8 g、211.4 g、199.7 g 及 209.8 g，亦無顯著差異；年產量方面，各處理分別為 3,800.9 kg/

ha、4,513.4 kg/ha、3,744.4 kg/ha 及 4,227.5 kg/ha，以 2,500 尾 /ha 處理稍高，其次為對照組；在採收球莖乾物量方面，各處理乾物重佔鮮重比例分別為 33.3 %、30.3 %、31.0 % 及 34.3 %，以對照組稍高，2,500 尾 /ha 處理較低 (表 3)。在採收球莖剖面觀察方面，三個處理及對照組檳榔心芋採收球莖均不大，外觀多呈不規則狀，非檳榔心芋市場接受度佳之橢圓形，而縱剖之後觀察內部紫色紋路，各處理均呈現均勻分布，未有明顯差異 (圖 3)。由試驗結果可知，以高畦離水方式種植有機檳榔心芋，並於每公頃田區放養 1,250、2,500 及 5,000 尾約 570 g 重的紅尼羅魚，其所生產檳榔心芋單粒重、產量均與未放養魚隻的高畦有機栽培模式相當，甚至每公頃放養 2,500 尾紅尼羅魚的處理的芋產量更高於未養魚對照組 (表 3)，可見放養紅尼羅魚對本次魚芋共生田區有機檳榔心芋生產並未有顯著負面影響。

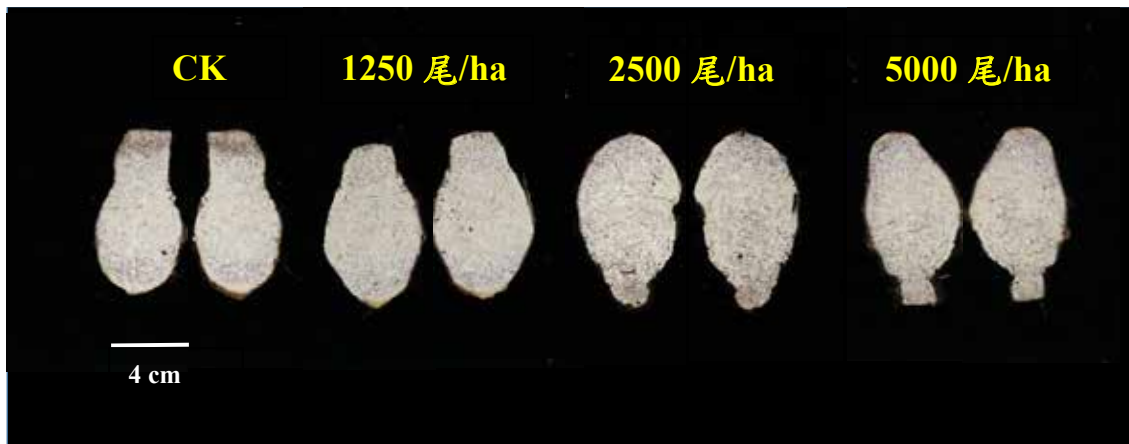


圖 3. 三種紅尼羅魚放養密度處理及對照組之檳榔心芋採收外觀。

Fig.3. The appearance of harvested Bin-lang-xin taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) cultivated with 3 red tilapia (*Oreochromis* sp.) culture density in fish and taro integrated farming module and the check.

表 3. 紅尼羅魚 (*Oreochromis* sp.) 放養密度對魚芋共生模式之芋採收率、年產量、單粒重及乾物量的影響。

Table 3. The effect of red tilapia (*Oreochromis* sp.) culture density on harvest rate, defective corm rate, annual yields, harvested corm fresh weight and dry matter percentage of Bin-lang-xin taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) cultivated with fish and taro integrated farming module.

放養密度 (尾/ha)	採收率 ^z (%)	不良品率 ^y (%)	單粒重 (g)	產量 ^x (kg/ha)	乾重 ^w (%)
0	40.3 a ^v	65.7 a	209.8 a	4,227.5	34.3 a
1,250	37.3 a	66.7 a	203.8 a	3,800.9	33.3 ab
2,500	42.7 a	70.0 a	211.4 a	4,513.4	30.3 b
5,000	37.5 a	62.5 a	199.7 a	3,744.4	31.0 ab

^z Harvest rate were calculated with dividing no. of plant with salable corm by total plant no. of every treatment.

^y Defective corm rate were calculated with dividing no. of harvested corms with rot parts or apparent wormholes by total harvested corms.

^x Annual yields of all the treatments were calculated by crossing 50,000 (plants per hectore) with harvest rate and harvested corm fresh wt. of every treatment respectively.

^w Dry matter (%) were calculated with dividing harvested corm fresh wt. by dry wt. of every treatment respectively.

^v Means within each column followed by the same letters are not significantly different at P<0.05 by Fisher's protected LSD test.

三、魚隻放養對魚芋共生產值的影響

針對本試驗中每公頃放養 1,250 尾、2,500 尾及 5,000 尾紅尼羅魚等三種處理及不放養魚對照組進行生產效益分析，在檳榔心芋收益方面，依據 2017 年度三星鄉行健村有機芋農售價 80 元/kg 估算，對照組檳榔心芋收益為 338.2 千元/ha，而每公頃放養 1,250 尾、2,500 尾及 5,000 尾紅尼羅魚等三種處理的檳榔心芋收益分別為 304.1、361.1 及 300 千元/ha。在紅尼羅魚收益方面，三種處理的魚隻成活率分別為 65.1%、61.2% 及 51.5%，放養 4.5 個月後魚隻重分別為 670.1 g、651.3 g 及 661.5 g，換算後三種處理之收穫魚重分別為 545.3、996.5 及 1,703.4 kg/ha。雖然目前市面上尚未有正式驗證之有機水產品，但以合作農友前幾年進行魚茭共生後之紅尼羅魚試銷價 250 元/kg 作為計算基準，三種處理紅尼羅魚收益分別為 136.3、249.1 及 425.9 千元/ha(表 4)。

在各處理的成本估算方面，分別納入魚種、芋種苗、有機肥、蟲害防治及人力部分。在魚種部分，各放養處理放養魚隻約為 570 g 重，以紅尼羅魚市價約 133.3 元 /kg 計算，每公頃放養 1,250 尾、2,500 尾及 5,000 尾的魚隻成本分別為 95、190 及 380 千元 /ha，對照組則無魚隻成本。在檳榔心芋種苗部分，各處理均需 50,000 株種苗，以每株 1.7 元計算，成本均為 85 千元 /ha。在有機肥部分，每公頃施用 2,000 kg，成本 25 千元，各處理均相同。蟲害防治僅防治福壽螺，不放養魚對照組施用苦茶粕 400 kg/ha，成本 8 千元，其它處理則無。在人力成本方面，扣除植株及魚隻田間管理等自家人力成本後，各處理及對照組在芋苗定植、芋頭採收部分人力成本約為 63 千元 /ha(以每工 1,500 元 / 天計算)，而在魚放養及收穫人力成本方面，每公頃放養 1,250 尾、2,500 尾及 5,000 尾三種處理及對照組分別為 0、15、20 及 25 千元 /ha(表 4)。

由表 4 內容可知，每公頃放養 1,250 尾、2,500 尾及 5,000 尾紅尼羅魚三種處理及對照組的總收益分別為 440.4、610.2、725.9 及 338.2 千元 /ha，而成本則分別為 283、383、578 及 181 千元 /ha，以總收益扣除成本之後，各處理的淨收益分別為 157.4、227.2、147.9 及 157.2 千元 /ha。由此結果可知，本次有機檳榔心芋田區放養紅尼羅魚測試，以放養 2,500 尾 /ha 處理表現最佳，淨收益最高，可較無放養紅尼羅魚對照模式增加 44 % 左右的獲利，然本次試驗期間氣候及供水異常導致檳榔心芋產量及紅尼羅魚成活率均受影響，需再進一步探討。

魚芋共生的機會與挑戰

「魚芋共生」生產模式整合魚隻放養與檳榔心芋栽培於同一田區，除可採收有機芋頭，亦可增加魚獲收入，可提高有機芋田經營效益。本次試作以本場開發魚芋共生田區模組放養 2,500 尾 /ha 紅尼羅魚，總體淨收益可較未放養魚之對照模式增加 44 %。另以本場推廣「魚茭共生」有機生產模式經驗，透過紅尼羅魚等導入田區，頗適合發展農業休閒體驗活動，對整體經營效益頗有助益。在市場競爭條件較為受限的花宜地區，或可發展成一結合生產與休閒之獨特產業。

然而將魚隻養殖導入有機芋生產田區，亦有不少問題須克服。首先田區供水量與穩定性即為決定性因素。檳榔心芋生產對灌溉水供應短缺有較大的容忍度，而魚隻放養

表 4. 魚芋共生有機生產效益分析

魚放養密度 (尾 /ha)	0	1,250	2,500	5,000	備 註
收 益 (千元 /ha) (檳榔心芋 + 紅尼羅魚)	338.2	440.4	610.2	725.9	
檳榔心芋					
收 穫 量 (kg/ha)	4,227.5	3,800.9	4,513.4	3,744.4	
單 價 (元 /kg)	80	80	80	80	
收 益 (千元 /ha)	338.2	304.1	361.1	300.0	有機檳榔心芋 80 元 /kg。
紅尼羅魚					
成 活 率 (%)	----	65.1	61.2	51.5	
收 獲 魚 重 (g/尾)	----	670.1	651.3	661.5	
魚 獲 量 (kg/ha)	----	545.3	996.5	1,703.4	
單 價 (元 /kg)	----	250	250	250	有機農友試銷有機田區養殖魚，售價 250 元 / 公斤
收 益 (千元 /ha)	0	136.3	249.1	425.9	
成 本 (千元 /ha)	181.0	283.0	383.0	578.0	
魚 種	0	95.0	190.0	380.0	魚種 = 放養尾數 x 0.57kg/尾 x 133.3 元 /kg
檳榔心芋種苗	85	85	85	85	以每株 1.7 元計算，50,000 株 /ha。
有機肥	25	25	25	25	100 包 (2,000kg)/ha x 250 元 / 包
蟲害 (福壽螺) 防治	8	0	0	0	苦茶粕 20 包 (400kg)/ha x 400 元 / 包
人力 (檳榔心芋定植)	31.5	31.5	31.5	31.5	以每工 1,500 元 / 天計算，共 7 天，每天 3 工。
人力 (檳榔心芋採收)	31.5	31.5	31.5	31.5	以每工 1,500 元 / 天計算，採收 7 天，每天 3 工。(不包含田間管理部分之自家人力成本)。
人力 (魚放養 / 收穫)	0	15	20	25	
淨收益 (千元 /ha) (收益 - 成本)	157.2	157.4	227.2	147.9	

後，灌溉水供應失衡產生的田區水體變化過大，則對魚隻產生立即性危害，因此在場域篩選上，須挑選水源充足且穩定，不易受附近水利設施、耕作制度影響供水的區域較佳。

此外，檳榔心芋生育後期須限水以利養分回流，因此畦溝須排水，魚隻僅能在魚溝活動，此時為夏秋之際，水體溫度易過高，除提供穩定充足灌溉水補注魚溝外，加深魚溝為有效的解決方法，本場亦持續進行魚溝深度相關試驗，以期解決相關問題。

魚芋共生模式須挖設魚溝、購買魚種，初期成本較單純有機檳榔心芋栽培高，田區養魚亦須提高巡田頻率，可能增加人力成本，建議所生產作物與魚獲須進行市場區隔，強調生產方式差異性為產品加值，並導入農業休閒體驗等，以利產值提升。

參考文獻

1. 王錦堂 黃祥慶 賴惠珍 1992 有機農法相關技術之研究 I . 共榮作物之利用 臺中區農業改良場研究彙報 37:1-9。
2. 呂秀英 呂椿堂 陳烈夫 1999 水芋收穫指數的動態模式 中華農業研究 48(2):8699。
3. 林文華 2009 水生植物食用價值之開發運用 水生植物多樣性開發與利用研討會專刊 花蓮區農業改良場 p.127-140。
4. 林文華 2013 「魚茭共生」有機茭白筍栽培新模式 農友 64(11):6-8。
5. 林文華 2014 魚茭共生 - 與環境和諧相處的產業模式 有機誌 88:82-85。
6. 林文華 2016 新型態有機休閒組合 - 「魚茭共生」有機栽培農法農業專訊 98:1316。
7. 陳烈夫 1996 水芋收穫指數與乾物質生產分配之關係 中華農業研究 45(2):174-185。
8. 黃祥益、黃賢喜 1995 芋 台灣農家要覽 農作篇 (二) 豐年社編印 p.295-300。
9. 楊大吉、林立、葉育哲、陳任芳、游之穎、張同吳、劉啟祥、楊素絲、林文華、邱淑媛、許志銘、劉興榮 2014 東部有機產業與休閒樂活廊道之建構 (宜蘭、花蓮地區) 行政院農業委員會花蓮區農業改良場 103 年度科技計畫研究報告。
10. Chen C.T. and W.H. Lin. 2013. Innovative management of ecological agriculture in R.O.C. p.14-19. In: Center of Excellent on Green Productivity, Asian Productivity Organization, China Productivity.

Development of Fish and Taro Integrated Organic Farming Module

Wen-Hwa Lin¹ and Da-Chi Yang²

¹Lan-Yang Branch Station, Hualien District Agricultural Research and Extension Station, COA

²Hualien District Agricultural Research and Extension Station, COA

Abstract

Taro-and-fish integrated organic farming module was developed based on high-ridge taro field which was distinctive but traditionally used in Yilan district. Besides high ridge and furrow that were used in Yilan-style taro field, the module added "fish ditch", which was 30 cm in depth, to maintain the sufficient waterbody for fish during irrigation-limited period for taro plants. Three densities of red tilapia (*Oreochromis* sp.) were cultivated in organic taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) field to evaluate the effect on production of taro and red tilapia in taro-and-fish integrated organic culture method. The results demonstrated that the yearly yields of organic taro of all the treatments and the check were 3,744 - 4,513 kg/ha and the treatment with 2500 fish/ha performed the best. The better performance of red tilapia survival rate and fresh weight increase rate were gained from the treatments with 1250 and 2500 fish/ha for 61.2 - 65.1 % and 17.2 - 20.2 % respectively after 4.5 months in organic field. The treatment with 2,500 fish/ha performed the best in net profit of 227,200 NTD/ha, which was around 144 % the value of the check.

Key Words: Red tilapia, Taro, Integrated cultivation, Organic, Density

魚茭共生資源循環之友善環境 經營模式

藍玄錦、王茗慧、陳俊位

臺中區農業改良場埔里分場

摘要

整合茭白栽培之土壤改良、病蟲害防治及水資源利用技術，以建立友善環境之經營模式。利用蚵殼粉等水產生產剩餘物質進行田區處理後，其產量為 3,231.2 公斤 /0.1 公頃，高於土壤酸化之田區（對照組）產量為 2,316.8 公斤 /0.1 公頃，其可有效改善土壤酸化之問題，回復地力。利用茭白之吸收能力，將養殖後之廢棄水排入茭白筍田區後，其氨態氮及硝酸態氮皆可經茭白之吸收而降低，淨化養殖漁業廢棄水之水質。另於田區進水口處設置一水池，進行鯉魚、青魚、泰國鯰、鰲或泥鰍等雜食性魚種放養，經調查顯示可有效防止田區福壽螺的危害，田區之福壽螺卵塊皆少於未放養魚隻之田區。再者，搭配有益微生物如木黴菌之使用，可加速茭白筍栽培過程中剝除下來並棄置於暗溝中之老葉的分解，分解後所產生之肥分可循環再利用於茭白生長之所需。經由上述之技術整合後建立魚茭共生模式，整合為一友善環境、永續農業之生產模式，維護水田自然生態，提升茭白筍及漁業養殖產能之效益。

關鍵詞：茭白筍、魚菜共生、微生物製劑、生產剩餘物質、循環利用

前言

茭白筍為臺灣重要之莖菜類蔬菜，產地集中於南投縣埔里鎮及魚池鄉，兩鄉鎮之種植面積約占全臺 85 % 以上。茭白筍採收季節夏季，時值高溫多濕及多颱風豪雨之際，此時期蔬菜作物大多栽培不易，因而茭白筍成為臺灣重要的夏季蔬菜之一。除夏季外，一年四季皆可品嚐到其滋味，主因為茭白筍栽培管理技術成熟，如電照、刈頭等產期調

節技術及採收後易搬運及耐貯藏等特點，使得茭白筍幾乎無供應問題。但由於土地面積有限，農友往往採用連作方式，使得耕地土壤少有休息機會，而慣行農法操作上農民習慣性大量使用化學肥料，使土壤理化特性變差，加上長年淹水易造成元素缺乏及土壤通氣性下降，以及近年氣候變遷等因素，都間接造成茭白筍產量年年下降之趨勢。另一方面，茭白生產過程及配合調節產期需大量灌排地下水或泉水，水資源利用效率低，且影響水資源利用之永續性；臺灣地狹人稠、高山林立，除可耕地面積受限外，水資源不易保留，加上近年來氣候劇烈變遷，使得水資源之分配失去平衡，導致傳統農業遭受巨大考驗。因此，希望整合茭白栽培之土壤改良、病蟲害防治及水資源利用節水技術，以矽酸鈣或是蚵殼粉等水產生產剩餘物質等改善土壤酸化問題，並利用茭白之吸收能力，淨化養殖漁業廢棄水之水質。另一方面，搭配有益微生物之使用，建立魚茭共生模式，整合為一友善環境、永續農業之生產模式，維護水田自然生態，提升茭白筍及漁業養殖產能之效益並改變現有慣行栽培之瓶頸。

水產生產剩餘物應用於茭白筍土壤改良

利用蚵殼粉進行土壤改良，可有效協助農友解決土壤酸化問題，使田區恢復產能。經試驗結果顯示，利用每 0.1 公頃施用 200 kg 之蚵殼粉，可將原土壤 pH 值 4.65-4.90 改善至 pH 值約 5.61-6.03(表 1)。第一期作三次調查結果如表 2，以蚵殼粉處理之茭白筍株高分別為 84.4 cm、169.6 cm、200.8 cm，顯著優於對照組田區之 77.2 cm、160.0 cm 及 194.0 cm，預備進入產筍期之第三次生育調查之分蘗數，蚵殼粉處理為 35.3 支，顯著高於對照組之 30.5 支。第二期作蚵殼粉第一次生育調查之株高則為 63.2 cm 顯著優於對照組之 56.3 cm，第二及第三次之株高則分別為 173.5 cm、212.8 cm，顯著優於對照田區之 157.4 cm 及 184.9 cm。預備進入產筍期之分蘗數，蚵殼粉處理為 36.2 支，顯著高於對照組之 33.2 支。筍長及單筍重，兩期作皆以處理蚵殼粉之田區最佳(表 3)，顯著優於土壤酸化之對照組，但於筍徑、筍肉重、筍肉率上則無顯著差異。再與同樣管理方式，但未有酸化情形且未處理蚵殼粉之田區進行比較，本試驗處理田區之茭白筍性狀皆與該田區無顯著差異。全年產量比較上，土壤酸化之田區(對照組)產量為 2,316.8(1,203.7+1,113.1) 公斤 /0.1 公頃，無酸化之田區產量為 3,017.4(1,817.6+1,199.8) 公斤 /0.1 公頃，蚵殼粉處理之產量為 3,231.2(1,821.5+1,409.7) 公斤 /0.1 公頃，依據上述結果顯示，蚵殼粉之處理

可有效改善土壤酸化之問題，回復地力。

表 1 未處理前之田區及蚵殼粉處理後之田區土壤營養成分表

	pH	EC _(1:5) dS m ⁻¹	OM %	全氮	磷	鉀 -%-	鈣	鎂	銨態氮 -ppm-	硝態氮	
試驗區	取樣點 1	4.68	0.63	4.09	0.23	200	72	739	107	97.3	0.0
	取樣點 2	4.65	0.77	4.49	0.22	190	62	979	134	79.8	16.1
	取樣點 3	4.90	0.71	4.71	0.24	231	68	929	113	96.6	15.4
	平均	4.74	0.70	4.43	0.23	207	67	882	118	91.2	10.5
蚵殼粉	取樣點 1	5.61	1.22	3.94	0.33	202	80	1133	111	100.5	14.8
	取樣點 2	6.03	0.97	4.33	0.23	195	60	1254	135	89.9	17.2
	取樣點 3	5.70	1.01	4.51	0.20	235	59	1320	125	88.2	14.5
	平均	5.78	1.07	4.26	0.25	211	66	1236	124	92.9	15.5

表 2 茭白筍田區生育性狀調查

		第一次生育調查		第二次生育調查		第三次生育調查	
		株高 (cm)	分蘖 (株)	株高 (cm)	分蘖 (株)	株高 (cm)	分蘖 (株)
第一期作	蚵殼粉	84.4a ^z	18.0a	169.6a	31.8a	200.8a	35.3a
	對照	77.2b	16.0a	160.0b	29.4a	194.0b	30.5b
第二期作	蚵殼粉	63.2a	17.0a	173.5a	29.8a	218.8a	36.2a
	對照	56.3a	15.0a	157.4b	28.4a	184.9b	33.2b

^z The same lowercase letters in the same column are not significantly different at the 5% level of probability by T test.

表 3 蚵殼粉及矽酸鈣處理對茭白筍性狀及產量之影響

		筍長	筍徑	單筍重	筍肉重	筍肉率	產量 kg
		(cm)	(cm)	(g)	(g)	(%)	ha ⁻¹
第一期作	蚵殼粉	20.3 a ^z	3.8 a	98.3 a	50.3 a	51.2 a	1821.5
	對照	18.7 b	3.8 a	93.1 b	46.1 a	50.0 a	1203.7
	無土壤酸化之田區	20.8 a	3.9 a	102.0 a	50.5 a	50.0 a	1817.6
第二期作	蚵殼粉	18.2 a	3.9 a	95.5 a	48.3 a	50.5 a	1409.7
	對照	16.3 b	3.9 a	90.2 b	43.1 a	47.8 a	1113.1
	無土壤酸化之田區	17.1 a	3.9 a	94.3 a	45.5 a	48.3 a	1199.8

^z The same lowercase letters in the same column are not significantly different at the 5% level of probability by LSD test.

魚菱共生

魚菜共生為近年來新興的一種農業操作模式，其結合作物栽培及水產養殖，可有效利用水資源，並形成一氮循環系統，使養分循環再利用。魚菜共生的原理係將養殖物排放至水中的排泄物或餵養後所殘餘之殘餌(圖1)，經分解作用後形成可供給植物吸收之養分型態，再藉由作物將水淨化後回收作為新的養殖用水，達到水資源再利用之目的，是一種對環境友善的生產方式。魚菜共生系統藉由養殖密度的控制、投餌量多寡及作物種類等之組合，可延伸出不同之系統模式(楊等人，2016；Rakocy，1989)。



圖 1、餵養過程中之殘餌，易造成水質快速劣化

南投縣埔里鎮及魚池鄉是國內茭白筍栽培面積最大的區域，且因水源充沛且清澈，故有許多高經濟魚種之養殖戶，如鱒龍魚、鱒魚等。統計結果顯示，每 30 立方公尺之養殖池，每日排放之廢棄水約 3-5 噸，養殖後之廢棄水多直接排放至溪底裡，實為浪費。

臺中區農業改良場(以下簡稱本場)建立之魚茭共生系統，係為利用上述養殖後之廢棄水，進行茭白筍田灌溉，再行排放。經調查及水質監測結果顯示(表4)，養殖池之排放水 pH 值介於 7.12-8.00、DO 值(溶氧量)為 4.74-6.93 ppm、氨態氮及硝酸態氮分別介於 0.53-1.42 ppm 及 2.32-6.80 ppm 之間，經由排入茭白筍田區後其水質數據則為 pH 6.98-7.94、DO 值 4.23-6.07 ppm、氨態氮 0.35-1.04 ppm 及硝酸態氮 0.87-1.76 ppm。養殖後之廢棄水排入茭白筍田區後，其氨態氮及硝酸態氮皆可經茭白之吸收而降低，除可提供茭白筍栽種期間之養分外，亦可達到淨化水質之效果，減少因養殖廢棄水中高含量氮造成溪流優養化之問題。

表 4 魚茭共生試驗場域之水質監測數據

	3/23	4/15	5/21	6/17	6/18	7/15	8/19	9/23	10/27	
pH	7.12	8.00	7.44	7.65	7.53	7.61	7.41	7.35	7.30	
養殖池排 放水	DO 值 (ppm)	5.59	4.74	6.93	5.13	4.84	5.42	5.11	5.61	5.32
	氨態氮 (ppm)	1.10	0.83	0.80	1.31	1.42	1.22	0.53	1.05	1.34
	硝酸態氮 (ppm)	3.50	3.56	4.98	3.74	2.32	4.54	3.69	2.33	6.80
----- 施肥										
取水 點 2	pH	7.12	7.94	7.58	7.32	6.87	6.98	7.13	7.31	7.22
	DO 值 (ppm)	5.44	5.47	4.39	5.42	3.99	4.33	5.19	6.07	4.23
	氨態氮 (ppm)	0.64	0.54	0.35	0.62	4.27	0.45	0.41	0.39	1.04
	硝酸態氮 (ppm)	1.05	1.32	0.87	0.95	3.98	1.26	1.59	1.60	1.76

魚茭共生之生物防治

福壽螺為大型的淡水螺物種，繁殖能力強，為雜食動物，喜歡吃幼嫩的植物，對水稻、茭白筍等水田作物危害很大(廖等人，2002)。傳統農業操作中多以 Niclosamide(耐克螺)或是苦茶粕等作為防治手段，但上述兩項資材會因氣候溫度條件及操作方式影響成效。如耐克螺施用時須有一定之水位高度，方能見效。而苦茶粕於低溫下效果不佳，且兩者於防治之效果皆無選擇性，對於水田中其他生物亦具有毒害，進而破壞生態(蔡等人，2015)。再者福壽螺會隨著灌溉水流移動，即使原田區內之福壽螺已清除，但難保灌溉水源不再挾帶。

利用魚隻進行生物防治是一有效的方法，目前多數茭白農會直接於茭白田區進行魚隻放養，其能有效防治福壽螺的危害，然田區水位高低，會因茭白生長時期而進行調整，如初期生長為促進分蘖，水位高度僅維持約 10 公分，此時無法放養魚隻 (圖 2)，甚至於休耕、整地或收割結束後之刈頭處理時，田區多為無水狀態，此時農友會將魚群捕撈至他處暫放，此作業程序增加農事工作量，且捕撈過程中常有漏網之魚，造成損失。鑒於上述之問題，建議可於田區進水口處設置一水池，進行魚隻放養，該水池出水口處再以鐵網遮蔽，可防止魚隻游出，方便管理，此時若福壽螺順著灌溉水流移動時，於進水口處會先被魚群捕食，可有效防止田區福壽螺的危害 (圖 3)，目前也有多數茭白農友採行此方式，經調查顯示以此方法進行管理之田區，其田區之福壽螺卵塊皆少於未放養魚隻之田區 (圖 4)。魚種之選擇可利用鯉魚、青魚、泰國鯰、鰲或泥鰍等雜食性魚種，其皆具有一定之防治效果。當魚隻吃完福壽螺後排出之排泄物，則可作為茭白筍田區之養分，達到農業循環目的。



圖 2、茭白種植初期為促進分蘖，故水位較低，不宜放養魚隻



圖 3、茭白筍田區入水口處可設置之水池(左)，經由放養魚隻清除福壽螺，減少福壽螺進到茭白筍田區之機率(中)，為防止魚隻進入田區可於水池出口處架設鐵網避免放養魚隻逃逸(右)

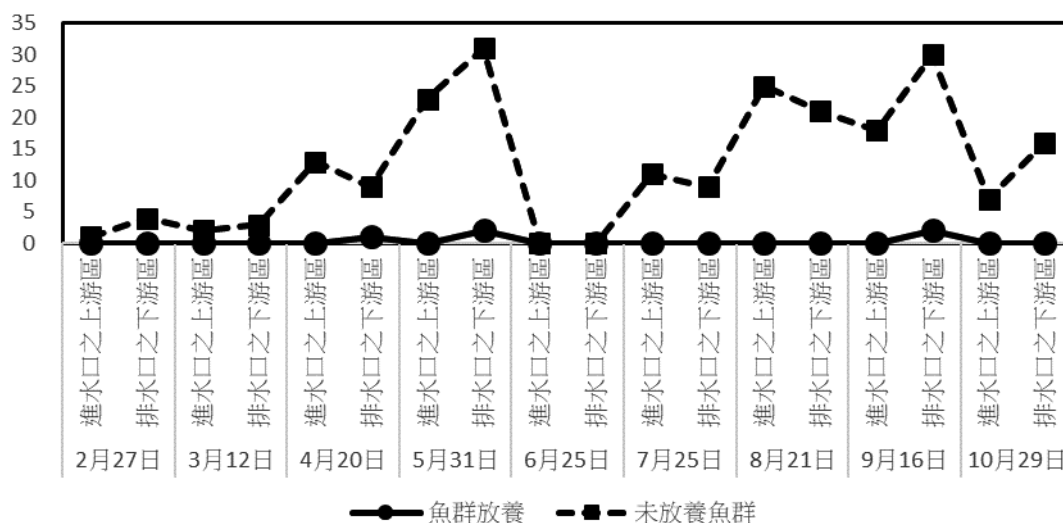


圖 4、茭白田區放養魚群之有無對福壽螺卵塊數量之比較

茭白筍生產剩餘物應用性

茭白葉片及葉鞘佔總生質量 50-70%，每公頃茭白筍葉(殼)生產剩餘物鮮重可達 7-10 公噸，且茭白葉鞘及葉片中含 K_2O 各約 3 - 4 %、5 - 7 %，及含有鈣、鎂、錳、銅、鋅等微量元素(俞，2008)，為一理想的農業循環用之堆肥材料來源。茭白筍栽種過程中，多需進行老葉或病害葉剝除之田間操作，以促進分蘖生長、促進通風、避免害蟲隱蔽，以利病蟲害防治管理。然茭白筍葉(殼)多堆置於田間暗溝，發酵腐爛過程中產生厭氧性細菌阻礙根部呼吸，且老葉攜帶之病蟲害，尚殘存於其上，除影響田內水流外，亦成為田間病蟲傳播源之一，如困擾茭白農許久之基腐病，其造成危害之病原菌即為 *Pythiogenon* sp. 及 *Enterobacter cloacae* 等兼性厭氧菌所引起(廖等人，2002)，其會於棄

置田區中的植株殘體繁殖生長，並藉由水流進行傳播，再由因採收、剝葉等田間操作所造成之植株傷口侵入，染病之植株，會由莖基部開始腐爛，並向上擴展，腐爛之部分會散發惡臭味。但農民朋友於田間操作時，若再將剝除後之老葉移出田區，對於勞力上是一大負擔，因此必須尋求一適宜處理的方法，避免將茭白筍葉(殼)丟置於田間或是加速其分解，減少病蟲害繁殖之棲所，進而克服栽種之問題，並達到農業循環之目的。

微生物製劑及菇草生產剩餘物質於茭白筍友善栽培或水產養殖上之應用

1. 液態微生物製劑使用

本場開發之微生物製劑係利用乳清蛋白、海草粉、矽藻土、蝦蟹殼粉及糖蜜等所製成，將木黴菌 (*Trichoderma spp.*) 及上述資材投入濾袋中後，再添加適量之水，每日攪拌，待 10-14 日後，即可取出使用。微生物製劑之施用，可加速栽培過程中剝除下來並棄置於暗溝中之老葉的分解 (圖 5)。此外尚可做為有機液肥施用於植株，並依據作物生長時期及類別可選擇以根灌、葉噴等方式以及依據生長時期進行不同稀釋倍數等施用，若以茭白筍為例，其可以稀釋倍數 200-500 倍進行葉面施用 (藍等人, 2016)。水田作物，則可直接於田區進水口處施用，使其順著田間水流佈滿田區，以利植株吸收。茭白筍田區則可以每次每 0.1 公頃施用 20-30 公升之量進行操作。



圖 5、微生物製劑可加速茭白筍葉(殼)分解，經試驗比較結果顯示，處理一個月其已達到完全分解之情形(左)，以手輕捏可完全粉碎成細末，未處理組則僅脫水軟化(右)

2. 菇蕈生產剩餘物質再利用

利用菇蕈類作物生產後之剩餘物質，以木黴菌堆肥發酵接種劑進行接種後，可快速分解，並調製成具抑病能力之介質，供栽培上使用。另一方面其具有相當之肥效，以及其內含之木黴菌可加速有機物質之分解，運用於茭白筍栽培上可提供養分供植株吸收，亦可加速栽培過程中剝除下來並棄置於暗溝中之老葉的分解，分解後所產生之肥分可循環再利用於茭白生長之所需。於施用時，因菇蕈生產剩餘物質開發之產品質量較輕，若直接施灑於田區，會浮於水面，並隨水流沖走，故可以不織布之肥料袋包裝後，直接放置於田區進水口處（圖 6），用量為每分地 20-30 包，並依據田區之形狀及水流之方向進行放置方式之調整。



圖 6、經微生物發酵處理後之農業生產剩餘物質，以肥料袋包裝後，於袋上穿刺小洞，再置於田間入水口處，養分可順著水流佈滿田區，內含之微生物可加速田間副產物分解，亦可減少施肥用量及人力，節省成本及達到省工之目的

3. 液態微生物製劑應用於水產養殖使用

現階段在水產養殖生產中應用較多的益生菌主要有光合細菌、芽孢桿菌、硝化菌、乳酸菌等等。其功能主要是將其作為水質淨化處理或是池底土改良等之用途，強化養殖環境中自淨能力，將池內的有機質如飼料殘餌、排泄物、藻類及無機物如硫化氫、亞硝酸等轉化成無機鹽類、二氧化碳及水等，維持良好水質。本場開發之微生物製劑於養殖

運用上，其菌種為自行篩選之木黴菌及芽孢桿菌菌種 (圖 7)，而後利用乳清蛋白、海草粉、甲殼素、糖蜜等進行配方調製，再應用於養殖池中，配方調製的發酵過程中，經微生物之作用會生成相關之分解酵素，如脂肪、蛋白質分解酵素等，能直接快速分解有機質 (陳等人，2015)。經發酵後之微生物製劑，會誘發乳酸菌，施用於養殖池中後，能有效調整水產動物腸道的菌群平衡，抑制病原微生物，分泌乳酸，產生多種消化酶，可幫助魚類消化吸收，促進生長 (圖 8)。

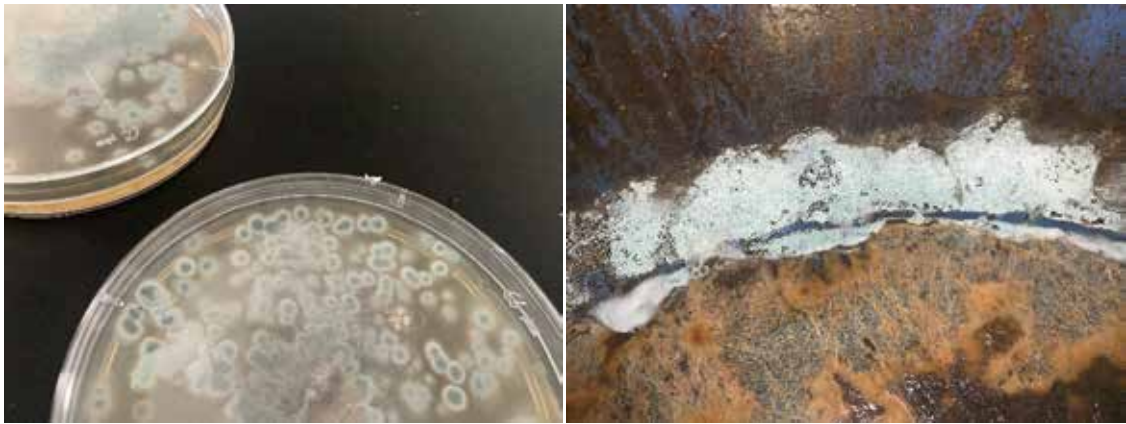


圖 7、實驗室內篩選可應用於水產養殖之木黴菌及其他微生物菌種



圖 8、以乳清蛋白、海草粉、甲殼素及糖蜜等配方進行發酵後之微生物製劑，可應用於水產養殖水質淨化、飼料混拌等用途，亦可作為作物之有機液肥使用

結語

經由上述之技術整合後進行茭白筍栽培，經調查結果顯示 (表 5 及圖 9)，單位面積產量可較慣行之栽培方式提高 30%，並增加筍肉可溶性固形物之含量，提高品質 (圖

10)。經農家收入及支出統計結果換算，此生產模式可減少 1/3 茭白筍栽種過程中需使用之肥料用量，意即每 0.1 公頃可減少施肥量約 80-100 公斤左右，以每公斤 10-15 元再加上肥料施用人力費用 (1,500 元 / 日 / 工) 之換算，每期作 (一年兩期) 可減少農戶 0.1 公頃之支出成本 6,800 - 7,500 元左右。產量之增加則可增加茭白筍農戶每期作、每 0.1 公頃收入 35,000 - 70,000 元不等，總計可增加盈收 41,800 - 77,500 元。

本場建立之魚茭共生生產模式 (圖 11)，係整合茭白筍田之土壤改良，並利用茭白筍之吸收能力，淨化養殖漁業之廢棄水之水質，另一方面，搭配有益微生物之使用，減少廢棄物的產生，整合為一友善環境、永續農業生產之栽培模式，以維護水田之自然生態並提升茭白筍及漁業養殖產能之效益。

表 5. 魚茭共生生產模式及傳統栽培模式之茭白筍生育性狀及產量比較

Treatment	株高 (cm)	分蘗數	單筍重 (g)	總產量 (kg/0.1 公頃)
傳統栽培模式	172.3 a	17.3 a	77.3 b	2369.5 b
魚茭共生示範組	190.0 a	19.8 a	90.2 a	3070.0 a

²The same lowercase letters in the same column are not significantly different at the 5% level of probability by T test.



圖 9、茭白筍以循環生產模式之田區生長情形 (右) 及對照組 (左)

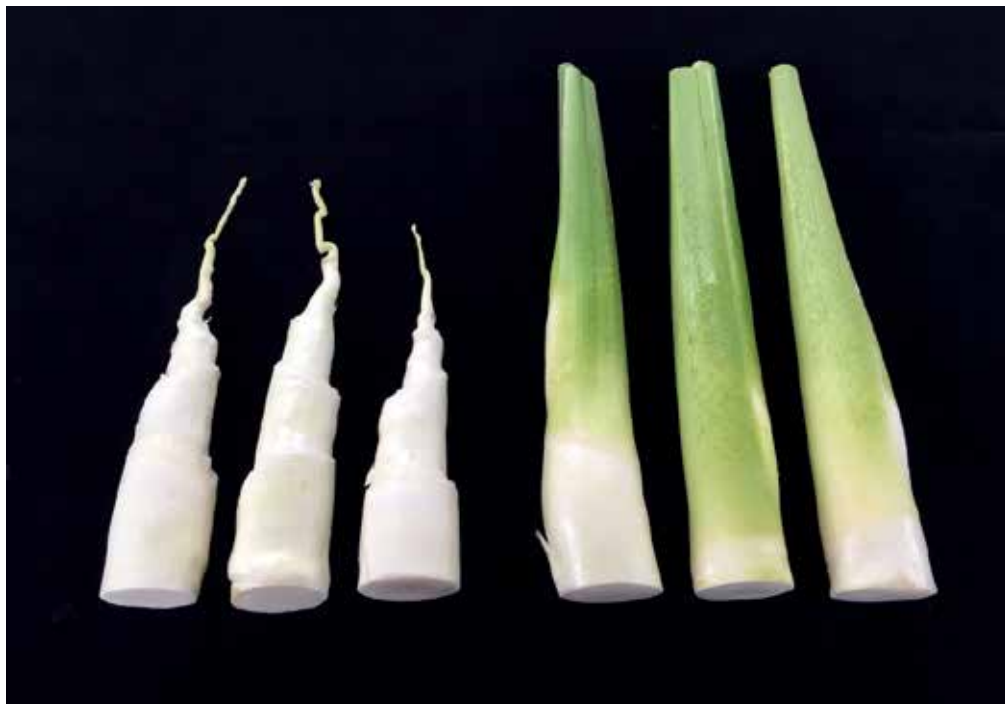


圖 10、以臺中區農業改良場建立之魚茭共生模式其生產之茭白筍品質優良

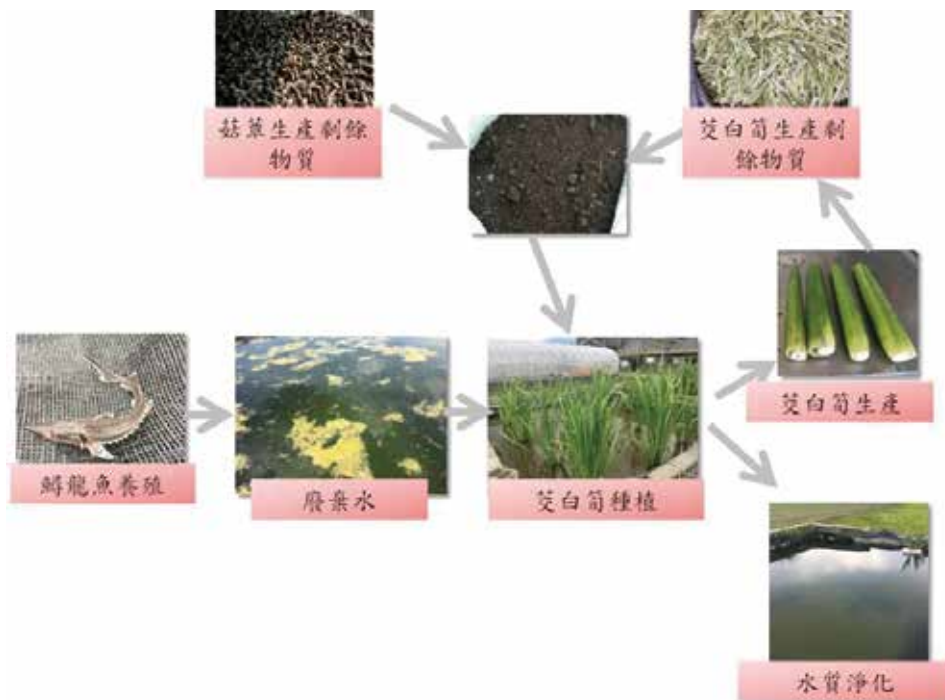


圖 11、魚茭共生循環模式示意圖

參考文獻

1. 俞曉平 2008 茭白鞘葉的主要成分分析 p. 133-135 茭白高效安全生產大全 中國農業出版社 中國北京。
2. 陳俊位、鄧雅靜、蔡宜峯。2014。木黴菌在作物病害防治的開發與應用。農業生物資材產業發展研討會專刊 p. 87-115。
3. 楊清富、鄭安秀。2016。魚菜共生系統原理及方法。臺南區農業改良場技術專刊第 165 期。
4. 廖君達、林金樹、陳慶宗。2002。臺灣茭白筍病蟲害種類及發生消長調查。臺中區農業改良場研究彙報 75: 59-72。
5. 蔡依真、翁崧夏、謝文棟。2015。茶皂素在植物保護方面之應用。花蓮區農業專訊第 91 期。
6. 藍玄錦、林煜恒、陳俊位 2018 有機資材應用對茭白筍生長發育及產量之影響 臺中區農業改良場研究彙報 138: 37-51。
7. Rakocy, J. E. 1989. Vegetable hydroponics and fish culture-a productive interface. World Aquaculture 20: 42-47.

A friendly environment management model of fish and water bamboo symbiosis resource recycle

Hsuan-Chin Lan, Ming-Hui Wang, Chein-Wei Chen
Puli Branch, TDARES, COA

Integrate the technology of soil improvement, pest control and water recycle for the cultivation of water bamboo to establish a friendly environment business model. After using oyster shell powder and other water to produce surplus materials for field treatment, the yield was 3,231.2 kg/0.1 hectare, which was higher than the soil acidified field (control group) and the yield was 2,316.8 kg/ 0.1 hectare, which can effectively improve soil acidification and restore soil fertility. Utilizing the absorptive capacity of water bamboo, the waste water after aquaculture is discharged into the bamboo shoots area of water bamboo, and the ammonia nitrogen and nitrate nitrogen can be absorbed by water bamboo to reduce the water quality of the waste water from aquaculture. In addition, a pool is set up at the inlet of the field to stock omnivorous fish species such as carp, herring, catfish, turtle or loach. Investigations show that it can effectively prevent the apple snail in the field. Field area for stocking fish. In addition, with the use of beneficial microorganisms such as *Trichoderma*, it can accelerate the decomposition of the old leaves that are peeled off during the cultivation of water bamboo and discarded in the dark ditch. The old leaves decomposition can produced fertilizer be to recycled and reused in the water bamboo cultivation. After the above-mentioned technical integration, a fish and water bamboo plant symbiosis model is established to integrate into a friendly environment and a sustainable agricultural production model, to maintain the natural ecology of field, and to increase the production efficiency of fish and water bamboo.

Key Words: Water bamboo, Aquaponics system, Microbial agents, Surplus materials, Recycle

家庭式魚菜共生 系統設計

Aug 2020

TY Chen 陳登陽

TAPA

系統的種類和形式



系統的種類和形式



系統的種類和形式

■ 以場所區分

- 桌上型
- 屋頂型
- 陽台型
- 院子型
- 地面農場型
- 室內型

■ 以植床的形式區分(一般採多樣混合)

- 介質式
- 浮筏式
- 管耕、吊盆、疊盆
- 桶耕

■ 以其它方式區分

- 潮汐或溢流；自然或人工光源



TAPA

系統設計前的準備

■ 理解基本知識

- 魚菜共生(Aquaponics)的精義
 - ✓ 循環經濟，生態環保，安全健康，永續農業
- 基本養殖、種植知識
- 硝化作用
- 礦化作用
- 魚菜比例
- 水質數據檢測和判讀



■ 場所的選擇

- 充足的日照(>半日照)
- 水源、電源
- 夏天冬天的高低溫
- 強風(屋頂)
- 可能的蟲害
- 虹吸管、抽水馬達、打氣機的可能噪音
- 樓地板的安全承重(一般住宅 200kg/m²)



TAPA

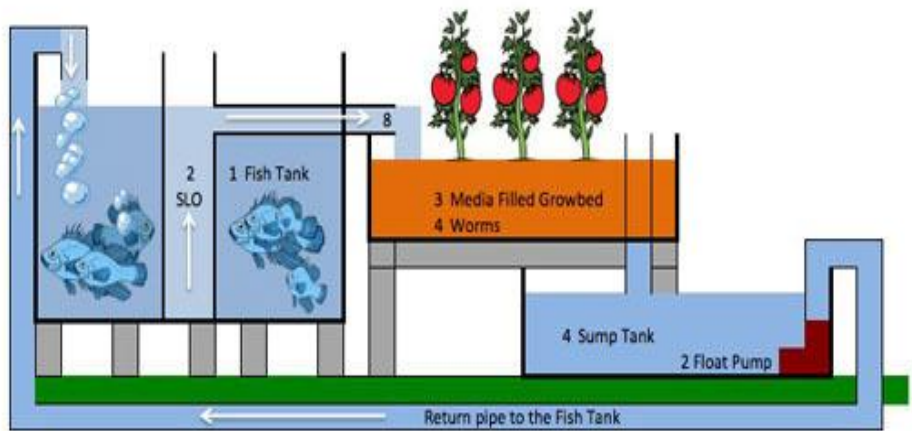
系統設計前的準備

■ 系統設計

- 形式和面積
- 平面、立體配置圖
- 硬體(環保無毒的材質)
 - ✓ 設備: 養殖桶、植栽床、(物理/生化過濾槽)、(集水桶)、沉水馬達、打氣機、檢測儀器或試劑
 - ✓ 資材: 介質、浮板、濾材、遮光網、防水布、防蟲網、育苗泡棉、操作工具、添加物、粗鹽
 - ✓ 管料: 水電材料
- 軟體(來源)
 - ✓ 魚、菜(植物)、微生物、水質、(蚯蚓、黑水虻)、養水(培菌)

TAPA

系統設計 CHIFT PIST



CHIFT PIST=constant height in fish tank, pump in sump tank.
Also called CHOP=constant height, one pump

TAPA

系統設計後的維護

■ 每天

- 餵魚(自動餵食器)+觀察魚的活動力
- 檢查蟲害跡象+觀察植物生長情形(是否有缺肥的徵兆)
- 檢查抽水馬達, 打氣機等是否正常運作
- 檢查集水桶水位(可以判斷補水是否正常, 管路是否有滲漏)
- 檢測基本溫溼度
- 育苗、採收

■ 每周

- 量測pH (6.8)
- 量測 NH_3/NH_4 (<0.5ppm), NO_2 (<0.5ppm)

■ 每月

- 量測 NO_3 (20-100ppm)
- 檢查、清理抽水馬達
- 檢查、清理魚桶裡的沉積

TAPA

合理的水質數據

- pH(Per Hydrion酸鹼值) 7 (6.8)
- Ammonia (NH_3/NH_4 , 阿摩尼亞) 0~0.5ppm
- Nitrite (NO_2 , 亞硝酸) 0~0.5ppm
- Nitrate (NO_3 , 硝酸鹽) 20~60 ppm
- DO(溶氧) 養殖桶6~7ppm, 筏式植床4ppm
- EC(電導度) 0.3~1.0 ms/cm

TAPA

魚菜共生 演進的趨勢

魚稻共生



Chinampas



桑基魚塘



自然、開放、粗放



小型溫室農場



大型溫室農場



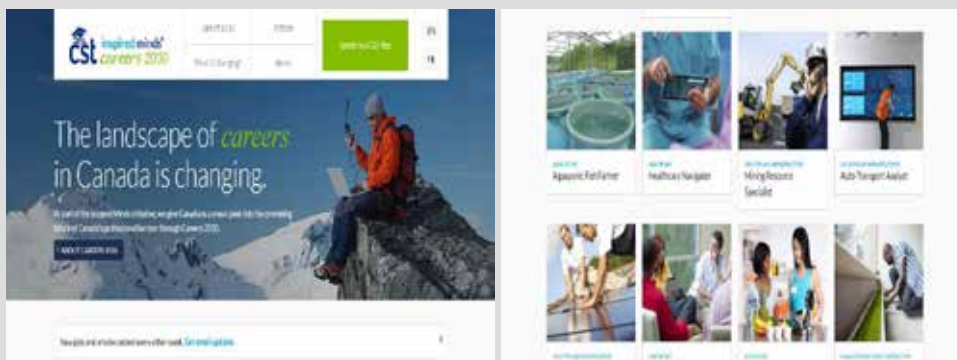
室內型農場

設施、安全、高品質

魚菜共生

■ 預測為2030新興的職業之一

<http://careers2030.cst.org/>



TAPA

魚菜共生



TAPA

魚菜共生



TAPA

魚菜共生



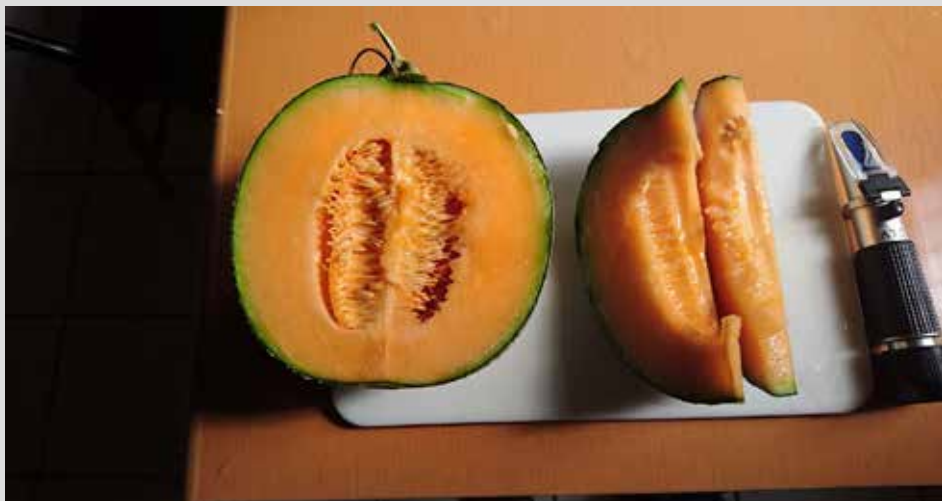
TAPA

魚菜共生



TAPA

魚菜共生



TAPA

國家圖書館出版品預行編目 (CIP) 資料

有益生物在作物養分管理之應用研討會論文輯 = Proceeding of symposium on application of beneficial organisms in crop nutrient management / 郭雅紋等主編 . -- 第一版 . -- 彰化縣大村鄉 : 農委會臺中農改場, 民 109.08

面 ; 公分

ISBN 978-986-5449-34-6(平裝)

1. 農作物 2. 肥料 3. 有益生物 4. 文集
434.207

109013250

書 名：有益生物在作物養分管理之應用研討會論文輯

編 者：郭雅紋、洪紹耘、白桂芳、李紅曦

執行編輯：郭雅紋

發行人：李紅曦

出版機關：行政院農業委員會臺中區農業改良場

地 址：51544 彰化縣大村鄉田洋村松槐路 370 號

網 址：<https://www.tdais.gov.tw/>

電 話：04-8523101

傳 真：04-8525841

出版日期：中華民國 109 年 8 月

版 次：第一版 第一刷 500 本

定 價：新臺幣 300 元整

展售書店：五南文化廣場臺中總店 • 400 臺中市中山路 6 號 • 04-22260330

國家書店松江門市：104 臺北市中山區松江路 209 號 1 樓 • 02-25180207

國家網路書店：<http://www.govbooks.com.tw>

GPN：1010901248

ISBN：978-986-5449-34-6

版權所有，翻拷必究