

參訪澳洲養殖水耕系統心得

楊順德¹、黃德威¹、楊清富²、鄭安秀²、劉富光³

¹水產試驗所淡水繁養殖研究中心、²臺南區農業改良場、³水產試驗所

前言

有效運用水資源對農業生產和水產養殖都是重要的議題，其中結合改良式循環水養殖與水耕農作的養殖水耕模式 (aquaponics) 在近年來漸受矚目，其原理係利用養殖水體富含的營養鹽，經農作物吸收淨化後再循環作為養殖用水；亦即水資源先用於養殖水產動物，再將排放水用於水耕植物生產，達到資源回收利用、節約能源、維持養殖池水質與增進魚隻生長之多重目的。此外，在一些都會區逐漸興起都市農業的概念，都市圈中的農地作業可為居民提供優良農副產品，作為人們休閒旅遊、體驗農業以及瞭解農村的場所；許多社群網站開始談論養殖水耕概念，認為養魚不換水、種菜不施肥，就是結合水產養殖和農耕的新興綠色產業。

現代養殖水耕較為完整的研究雖肇始於美國，但與美國同為農業研發和生產大國的澳洲，由於地屬乾旱區水資源珍貴，以及嚴格的養殖排放水規定，省水的農作方式普受重視，再加上早期開發有成的水耕作物栽培，而發展出各種不同的養殖水耕方式。查詢 Google 網站可發現自 2010 年開始，aquaponics 一詞的搜尋頻度逐月逐年增加，而搜尋地區熱門度則以澳洲為首；再則，據估計在 2010 年全球大約有 3,500 套的庭園式

養殖水耕系統，其中超過半數就建置在澳洲，澳洲人不僅熱衷養殖水耕的實踐，在運作理念推廣和周邊資材行銷也相當活絡，養殖水耕相關網站點閱率的前五名就有兩個澳洲網站。因此，本次澳洲之行規劃參訪不同型式的養殖水耕系統，以瞭解不同系統的經營理念、操作管理方式、收益情形及發展之可行性等，作為國內執行相關計畫和推廣評估之參考。

庭園式養殖水耕系統

以位於墨爾本的 Peng's Aquaponics Farm 為例，其系統模式如圖 1 所示，面積約 150 m² 的非農業標準簡易溫室結構，溫室內除排風扇外並無任何環控設施，基本上無法進行微氣候調整。在溫室中以 3 × 8 m² 之養殖槽飼養紅鯽魚 (*Carassius auratus red var.*) 及鯰魚 (*Tandanus tandanus*)，投餵人工配合飼料，將養殖槽的水以抽水泵浦送至作物栽培槽，栽培槽內以就近取材的卵石或火山岩碎塊為介質，粒徑約 2 cm，填充高度約 30—40 cm；系統不架設過濾槽，透過鐘型虹吸排水裝置達到消漲式灌溉 (flood and drain type)，因為水只有蒸發及作物蒸散而少量消耗，大部分水均可循環使用。

農場處處可看到自給自足、對環境友

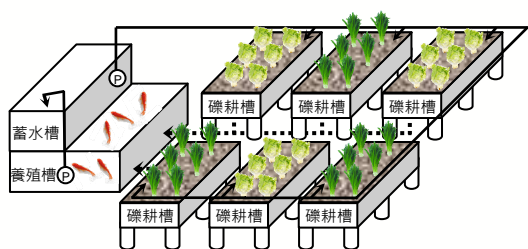


圖 1 庭院式礫耕槽的養殖水耕系統

善、物盡其用的想法溶入生產體系中，例如利用儲水槽收集屋頂雨水供應系統使用、以可重複使用不會造成污染的卵石及火山岩做為栽培槽介質、利用菜葉殘渣製作堆肥、栽培槽利用木板釘製無環境污染問題等。植栽槽中同時放養蚯蚓，可攝食來自養殖槽但被介質攔阻下來的懸浮物，以及部分掉落於植栽槽的殘葉，同時利用蚓糞作為植栽的養分，並可藉由觀察根圈蚯蚓的數量及活動情形，瞭解植床內環境的優劣和系統的運作是否正常。

栽培的作物包括：葉用甘藷 (*Ipomoea batatas*)、甜椒 (*Capsicum annuum*)、辣椒 (*Capsicum annuum*)、番茄 (*Solanum lycopersicum*)、茼蒿 (*Allium tuberosum*)、萵苣 (*Lactuca sativa*)、青蔥 (*Allium fistulosum*)、扁豆 (*Lablab purpureus*) 等，為增加收益目前正嘗試加種十字花科 (*Brassicaceae*)，供應部分超市及少數餐廳。為使植物生長正常，依照不同作物的需求，適時添加微量元素；而在水溫 20°C 以下、pH 值下降不利魚隻成長時會以生石灰調整，對於蟲害則以蘇力菌進行防治。

據農場主人表示，該場是在無化學藥劑、化學肥料且對環境不會造成污染的狀態下生產食用安全蔬菜，因此販售價格較高，植栽作物販售價格約澳幣 8—10 元/公斤（相

當於新臺幣 200—250 元/公斤），夏季每週採收一次可獲利 300 元澳幣，收成後賣相較差的葉片則製作堆肥。其所生產的葉菜因產量不多，只在零售市集販售；養殖魚每年收成一次，供應華人市場。以該場現有面積不易達到經濟生產，目前正建構第二棟溫室以達專業生產的規模。

商業量產型養殖水耕系統

位於新堡地區的 Tailor Made Fish Farms 係以循環水養殖金目鱸 (*Lates calcarifer*) 為主、水耕蔬菜為輔的系統（圖 2），農場佔地約 17 公頃，在澳洲算是較早將水產養殖和水耕蔬菜兩個不同體系結合，進行商業化生產的公司。整個農場大概可區分成三大部分：室內循環水養殖場、露天蔬菜栽培區及餐廳。

室內養殖場面積約 1,500 m²，是一個四面以烤漆板密閉、屋頂為雙層透明塑膠板的建物，利用陽光造成的溫室效應使場內溫度維持在 26—30°C，每年可達 9 個月之久，而冬季最低溫亦能維持在 24°C 以上，讓金目鱸終年成長在適溫範圍內。在循環水養殖系統方面，場內有 8 個大型砂濾缸和四組重力式廢水過濾組循環系統，用以處理總計約 400 公噸的大小 FRP 水槽 50 餘個，養殖水約每小時可循環一次；該場開發出的重力式廢水過濾組，可將濾出的固形物送到室外的地下水泥貯存槽，用以澆灌水耕蔬菜。由於這些來自養殖槽的有機肥份是貯存在打氣的有氧環境，可避免厭氧菌的作用而產生甲烷或硫化氫，且在此處可注入蔬菜所需但養殖系統無法足量供應的微量營養鹽。

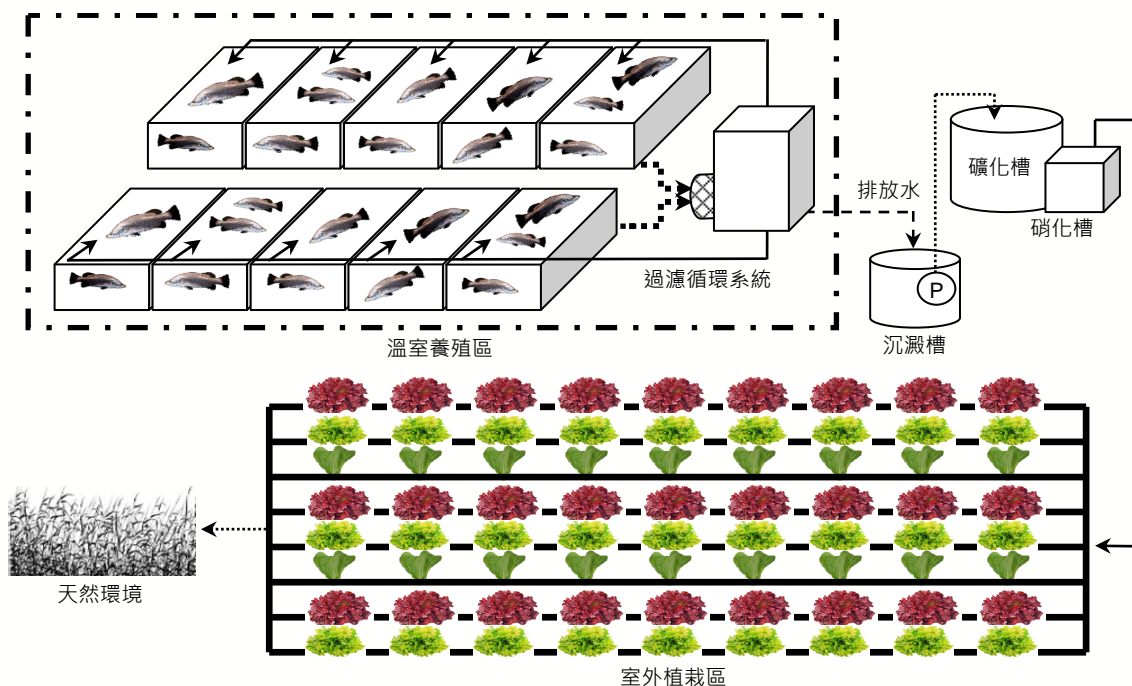


圖 2 循環水養殖和養液薄膜系統的連結

水耕蔬菜採露天栽培，栽培面積約 1,650 m^2 ，栽培系統為養液薄膜法 (nutrient film technique) (圖 3)，因蒸發及作物吸收所消耗的水，由來自於養殖系統的有機排放水補充，補水率約 10%，但流出水耕系統的水並未回流到養殖場，而是當作農場草皮的澆灌水。為使蔬菜生長更好，養殖排放水在流入水耕系統前，進行 pH 值調控，並添加作物所需的肥分及微量元素，種植的蔬菜種類為菊科 (Asteraceae) 及十字花科的菜種。農場主人認為養殖排放水產生的肥分可用於種植作物，而後的水則不循環回收到魚槽，同一水源先養魚再當作植栽二次用水，同樣可達到節約用水的目的；此外，處理水耕系統的 pH 值調整、營養元素補充及病蟲害防治可不考慮對魚的影響。



圖 3 養液薄膜水耕栽培系統

農場每週約可生產 1—1.2 公噸的金目鱸，年產量約 40 公噸，而每 550 m^2 的養液薄膜水耕系統，平均每 5 週可生產約 22,000 棵茼蒿，1 年可 10 穫，產量計約 220,000 棵，所生產的活魚和蔬菜主要銷售給中盤商、超市和餐廳，農場每年營收利潤約 20—30 萬元澳幣。農場自家經營的餐廳是綜合休閒農園的一部分，讓前來庭園餐廳用餐的客人，看

得到魚、摸得到菜，是一大賣點，目前餐廳的收益約佔農場總收益的 20%。參訪當時適逢附近華人餐廳貨車前來運取活魚，農場主人說明，地產地銷降低食物碳足跡，是他們一直在做的事，雖然生鮮活魚的價格是從亞洲各國進口冷凍魚排的 3—4 倍，農場生產的魚還是供不應求。

具推廣教育功能的養殖水耕系統

Murray Hallam's Practical Aquaponics 位於布里斯班，是兼具教育示範功能的養殖水耕系統，推廣經營養殖水耕的教學農場，看起來是以種植為主、養魚為輔的系統。由於以教學為前題，農場規模不大，對於生產的主要方向並未明確，目前場內溫室規模較小，每套系統可操作範圍不大，但加以修改

即可因應各種不同的需求目的，或用於生產或做為社區美化之用。

本場植栽系統分為兩類（圖 4），一種為浮筏式（float rafting type），即利用浮板進行水耕栽培，主要用於一般葉菜的栽培；另一種為消漲式灌溉法，利用卵石等材料作為栽培介質，主要用於茄果類及其它生長期較長的作物，每個溫室約可種植 2,000 棵蔬菜。

場區的溫室結構有兩款，一為木材搭建，另一種為鋁管搭建，結構強度略顯不足，屋頂覆蓋塑膠布，側面被覆防蟲網。溫室入口呈敞開狀態，可能因為主要栽培菊科作物，故蟲害並不嚴重，僅在每棟溫室側牆懸掛黃色粘紙；詢問農場主人如何控制蟲害，其表示利用瓢蟲捕食蚜蟲，並定期噴灑大蒜水等進行驅蟲。因具有推廣性質，農場所栽種的植物種類較多，有不同品種的高苣、十

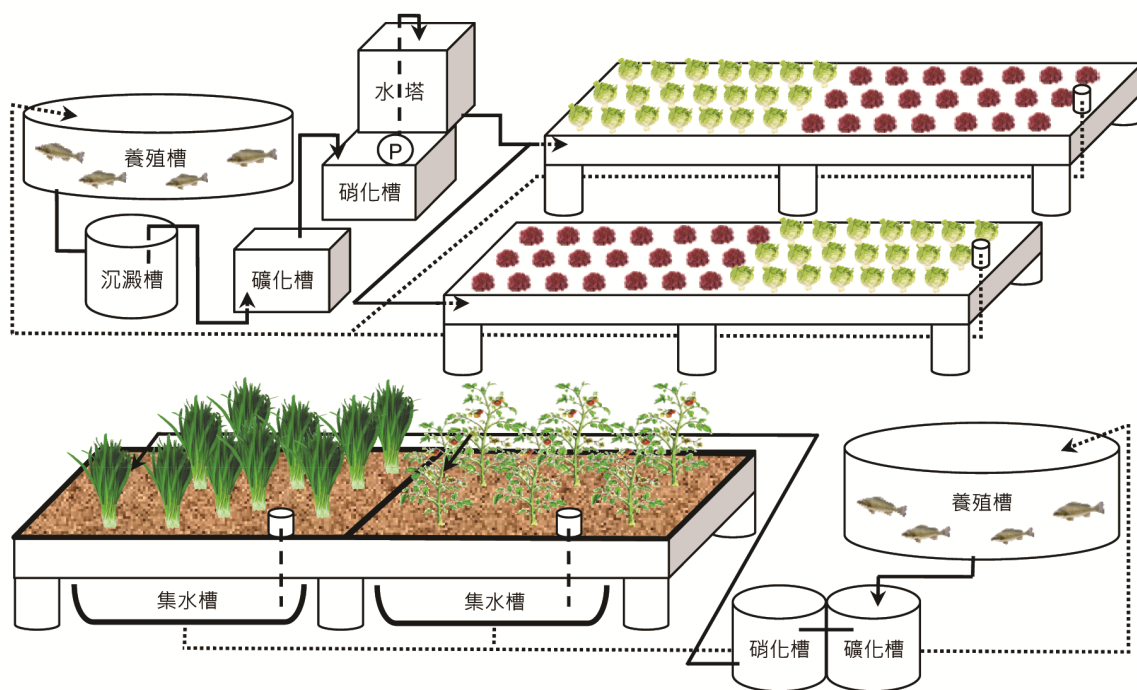


圖 4 浮筏式(上)和碟耕式(下)之養殖水耕系統

字花科蔬菜、莖菜、青蔥、葉用甘藷、茄科作物如青椒 (*Capsicum annuum*)、茄子 (*Solanum melongena*)、蘿勒 (*Ocimum basilicum*)、草莓 (*Fragaria ananassa* Duchesne)、玉米 (*Zea mays*)、木瓜 (*Carica papaya*)、芋 (*Colocasia esculenta*) 等。

在養殖系統方面，數個 2 公噸的 FRP 桶分別放養 150 – 250 尾的銀鱸 (*Bydianus bidyanus*)、寶石鱸 (*Scortum barcoo*)、墨瑞鱈 (*Maccullochella peelii peelii*) 或鯰魚，養殖水經溢流管流至前置處理槽，以打氣增加水中溶氧後，流至養液調整槽進行調製，再由抽水機浦送到較高的暫存桶，暫存桶內的水則靠重力流到各栽培槽，所有從栽培槽回流的水均匯集到養殖槽。每週檢測系統水的 pH 值，當 pH 值降至 6.2 以下時，添加氫氧化鉀調升至 pH 7.0，除可較為符合魚隻生長的酸鹼度，並可供應植栽所需之鉀鹽，而微量元素則每月補充一次。

心得與建議

結合水產養殖和水耕栽種之目的是為充分運用有限的水資源，以及增加生產魚或菜的附加價值，而達到更大的獲益。就養殖魚類而言，可從飼料中吸收利用的營養有限，未被充分利用的營養則排放到水耕系統中，讓植物從養殖排放水獲得生長所需的營養鹽，可減少養殖系統的有機排泄物堆積，有效率的循環使用養殖用水，或至少也可以降低排放水對環境造成的衝擊。就水耕植栽而言，植物需要富有營養源的水幫助生長，而將養殖系統結合水耕系統，可降低肥料使用

量、節約用水成本，並可增加額外收益。上述核心概念放諸任何的養殖水耕系統均可適用，而不同系統組合的差別就在於是以養魚為主還是植物為主？是要自給自足還是規模生產？為了養耕怡情還是技術推廣？在本次的參觀研習過程中，不僅看到不同系統在結構組合、養殖魚種、水耕作物種類和規模大小的差異，農場主人的經營理念也各異其趣。

在庭園式養殖水耕系統，為節省空間，通常使用體積較小之養殖槽或就設置在礫耕槽下方；由於養魚空間受限，水量約為 2 – 3 公噸左右，每公噸水放養生物量約 8 – 30 kg，視放養魚隻大小、尾數和成長階段而定。系統因為魚隻數量有限，偏重於作物生產而以養魚為輔，但養殖魚排放的有機營養不足植物所需，故須注意定期供應植栽的肥分（多為市售的水耕綜合營養鹽）。尤其是多樣化的種植葉菜類和果菜類，不同作物對微量營養素的需求不盡相同，農場主人大致是依據經驗法則或定期檢測 pH 和導電度，來判斷施用水耕肥的時機，比較合宜的 pH 值在 6.5 – 7.5，太低不利於魚的成長，偏高則影響植物對營養鹽的吸收。

在量產型的養殖水耕系統，則是養魚為主，依照放養密度、年生產量和飼料效率推算，該室內養殖場每天至少由循環水系統排出約數十公斤之有機肥分，即使有完整的室內循環水系統，大部分的養殖用水可以循環使用，但是要將所產生的有機固形物和水溶性營養鹽，處理到符合澳洲的環境排放標準，勢必提高額外的生產成本。將這種量產型的室內循環水養殖系統結合室外養液薄膜水耕系統，不僅解決養殖水排放問題，每生

產 1 kg 魚而排放的有機和無機營養還能生產約 8 kg 蔬菜，每年增加數萬元澳幣的額外收入。這樣的系統建構，沒辦法做到零排放的理想，卻也因此無須考慮調整魚和菜比例平衡的問題，而且因水耕用水未回流到養殖區，可進行養液調整確保蔬菜生長，甚至可用藥處理植物病害。

在養殖系統和植栽系統的組合方面，養殖排放水可由養殖槽直接流進植栽槽，溶於水中的營養由植物吸收，而水中固形物可被放養在礫耕槽的蚯蚓當做食物，其排泄物再被當做植物營養；蚯蚓不宜泡水太久，由於礫耕槽採消漲式灌溉，正可避免蚯蚓長時期浸泡在水中的問題。另一種常見的方式是養殖水在進入植栽系統前，先經沉澱槽或過濾槽將水中固形物移除，再經礦化、硝化、曝氣系統等裝置處理後，流入植栽槽，這樣的好處是讓固形物充分分解有利於植物的吸收，亦可避免根系被固形物附著而影響呼吸；通常，如果要補充植物所需的微量營養素，也會在此處加入。

養殖水耕系統的對象魚種通常要具有可高密度養殖和對環境的耐力強等特性，所以世界各地發展出來的系統大多選擇吳郭魚 (*Oreochromis* spp.)，就連常被當作範例的美國維京群島大學的 UVI 養殖水耕系統也是放養吳郭魚；其他被推薦的魚種還包括美洲河魴 (*Ictalurus punctatus*)、大口黑鱸 (*Micropterus salmoides*)、虹鱔 (*Oncorhynchus mykiss*)、淡水白鰱 (*Piaractus brachipomus*)、鯉魚 (*Cyprinus carpio carpio*)、錦鯉 (*Cyprinus carpio, koi*) 和金魚 (*Carassius auratus auratus*) 等。不過，由於澳洲是相當重視環

境保護的國家，業者的養殖魚種都以本地種類為對象，例如銀鱸、墨瑞鱈、寶石鱸、金目鱸和淡水魴等。至於魚和菜的比例，可能是商業機密，更可能是複雜的生物和理化因素而難以簡單的數字呈現。

本次參訪養殖水耕系統中常見的三種植栽方式，包括礫石耕、浮筏式和養液薄膜式水耕系統，何者適於搭配循環水養殖系統，尚無定論，端視栽種植物的種類和數量而定，如浮筏式系統和室外養液薄膜系統多用於小型葉菜類，而礫石耕則可栽種植體較高和深根的作物，但種植數量大概只有浮筏式的 1/3—1/4。室外養液薄膜水耕系統為求量產化，而以生產菊科及十字花科的菜種為主；室內礫石耕槽可種植的種類相當多樣化，有不同品種的萵苣、十字花科蔬菜、莖菜、青蔥、葉用甘藷、番茄、青椒、茄子、蘿勒、草莓、玉米、木瓜、芋等。

農作物病蟲害防治是養殖水耕系統的重要課題，由於溫室的隔離環境、較多元化的作物相及少量的栽培，病蟲害防治較為單純。另外，為避免農藥對養殖魚的毒害，概以生物防治為主，如施用蘇力菌防治夜蛾類害蟲，利用瓢蟲捕食蚜蟲，並定期噴灑大蒜水等進行驅蟲。此行參訪的三個農場所栽植之農作物，病蟲害問題均很輕微，反而是有些植物呈現營養不足所引起的生理障礙；水耕植物需從水中吸收氮、鉀、鈣、鎂、磷和硫等主要元素，以及氯、鐵、錳、硼、鋅、銅和鉬等微量元素，而養殖系統的有機排水能否足量供應水耕植物正常生長所需之元素，則與養殖魚種和數量、投餵飼料、植物種類和數量以及系統大小等因素有關。