

魚菜共生 系統原理與方法



行政院
農業委員會
臺南區農業改良場

編印

中華民國 105 年 9 月

序

魚菜共生 (Aquaponic) 具有永續農業精神，除了有效利用水資源外，可同時提供蛋白質與蔬果，因此世界糧農組織在2014年出版「小規模魚菜共生糧食生產－整合魚場與農場」(Small-scale aquaponic food production-integrated fish and plant farming)，鼓吹魚菜共生栽培技術，並在世人普遍的永續思維下，不同的魚菜共生系統研究發展在各地陸續展開。

魚菜共生系統因氣候條件不同，魚類養殖與作物生產均有其差異性，農委會水產試驗所最早進行此方面研究。農委會科技處在2014年啟動了Top-Down的科技發展基金計畫，由水產試驗所研提「建立養殖水培系統試驗計畫」，參與單位除水產試驗所，亦包含桃園區農業改良場及本場。桃園區農業改良場利用桃園地區養殖埤塘搭配浮筏進行水耕栽培試驗，本場則進行庭園院型系統的測試分析。藉著水試所循環水養殖系統的經驗，本場庭園型系統適用於屋頂及陽台。

國外已進行多年的魚菜共生系統開發，例如美國在地農場 (FarmedHere) 獲得美國農部有機認證的室內農場，號稱是世界最大的魚菜共生農場；荷蘭的都市農夫公司 (UrbanFarmers) 利用飛利浦在海牙的廢棄工廠建立屋頂溫室，而魚類養殖則在第6樓層，已在今年營運，同時建立商業模式。本場研發團隊則到澳洲參訪商業營運的魚菜共生公司，實地考察各型農場經營模式，考察心得也在本書中分享，希望能提供更客觀及正確的資訊，縮短學習曲線。

魚菜共生是跨領域的產業，將水產養殖及作物水耕栽培結合，兩者雖然可以互補形成永續的栽培系統，但如何兼顧兩種產品的品質與產量是很大的挑戰。本書整理本場的實驗成果及所面臨的問題，期待能提供有志從事本項產業者參考，進而達到在地生產、鮮美直送的都市農業。

行政院農業委員會臺南區農業改良場
場長

 謹識

中華民國105年9月

目錄



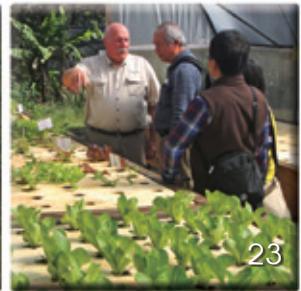
7



12



16



23

壹	前言	2
---	----	---

貳	魚菜共生系統型式	3
一、	深水栽培系統 (DWC)	3
二、	潮汐型系統 (FAD)	3
三、	水質主要參數	4

參	魚菜共生系統的主要構成	6
一、	養殖桶	6
二、	過濾系統	6
三、	生化過濾系統	6
四、	栽培植床	7
五、	虹吸排水裝置	9

肆	魚菜共生養殖與水質管理	10
---	-------------	----

伍	作物選擇	15
---	------	----

陸	系統維護	18
---	------	----

柒	他山之石	18
---	------	----

捌	結論與建議	24
---	-------	----

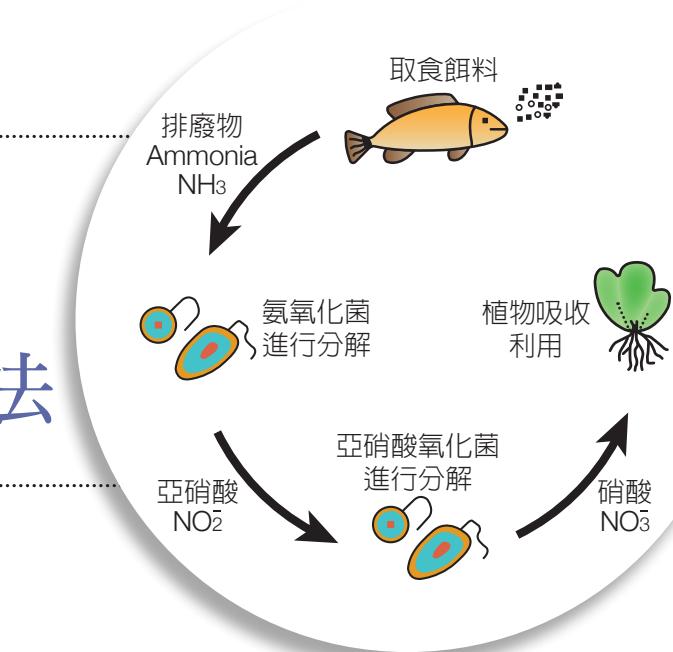
魚菜共生 系統原理與方法

壹 前言

近年來透過水產養殖和農耕結合之魚菜共生的概念，正慢慢延伸到世界的各個角落。許多人紛紛在大廈的屋頂、客廳角落及居家的陽台設立靠著養魚水灌溉植物的生態系統，既能營造綠色景觀，建立生趣盎然的生態景緻，並提供家庭新鮮的蔬果。

魚菜共生系統的原理係將養植物排放至水中的廢物，經硝化作用後由作物吸收，藉由作物將水淨化後再回收當作新的養殖用水，因而提高了水的利用效率，是一種低耗能並對環境友善的生產方式。如能控制合適的放養密度，適量的投餌餵食並配合季節選擇作物，以及適時適量的補充作物所需的養分，則此系統實為一種能同時達到節能、省水、省肥的生產系統。

臺灣近年來魚菜共生的議題不斷的延燒，不單多數學校以魚菜共生系統作為生態教育，民間魚菜共生的農場亦如雨後春筍般不斷推



出，如AVATA魚菜共生農場（烏來）、水水世界（埔里）、城田魚菜共生健康農場（臺北市）、瀚頂生技公司（屏東）、思原魚菜共生農場（旗山）。而推動魚菜共生所成立的組織有社團法人臺灣魚菜共生學會、中華民國魚菜共生推廣協會等。會有這麼多單位、團體競相投入魚菜共生的領域，主要的原因不外乎體認到水資源匱乏日益嚴重，對養殖業造成重大的衝擊，對農業的影響更不在話下。同時環保意識抬頭，大家紛紛意識到對環境友善之農耕法及永續農業的重要性。而魚菜共生系統的高用水效率，及養殖廢棄物的資源再利用，自然成為關注的焦點。

魚菜共生是養殖、作物栽培及微生物高度整合的系統，使各系統保持在準平衡狀態，是維持魚菜共生系統運轉首要之務。本文透過實際建置的魚菜共生系統進行試驗研究，希望能提供更客觀、更實用的系統參數與方法。

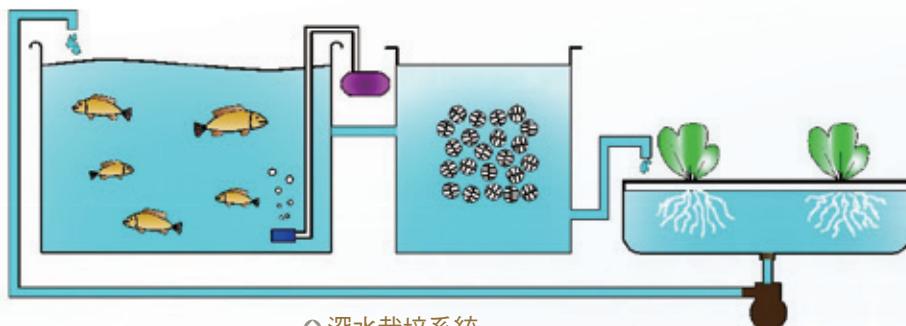


貳 魚菜共生系統型式

魚菜共生系統主要的型式包括：深水栽培系統 (Deep water culture, 簡稱DWC)、薄膜栽培 (NUTRIENT FILM TECHNIQUE, 簡稱NFT)、潮汐栽培 (Flood and Drain, 簡稱FAD)。薄膜栽培設置費用較高，且水體營養鹽控制技術較高，相對其他魚菜共生系統而言門檻較高。因此本文僅就DWC及FAD系統進行說明。

一、深水栽培系統 (DWC)

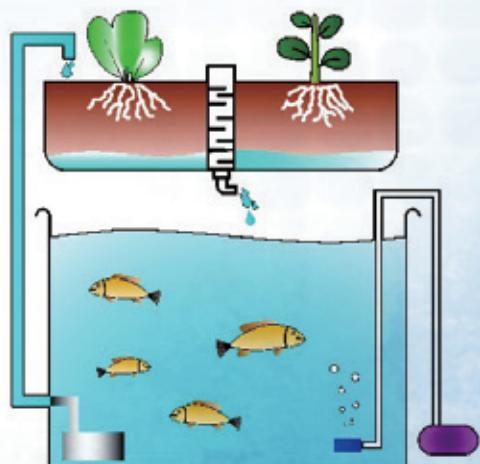
包括養殖桶、生化過濾槽、栽培植床以及水、空氣幫浦。系統中水流方向為：養殖桶→生化過濾槽→抽水馬達→栽培槽→重力回流至養殖桶。養殖桶主要是提供魚類生長的場所，在高密度的養殖環境下必須適度打氣提高溶氧量，以防魚隻死亡。生化過濾槽內填充生化球、毛刷等材料供硝化菌棲息繁衍，以將水中的氨轉換成植物可利用的硝酸離子。栽培植床以一般水耕栽培的方式將作物定植於浮板上，作物吸收水中的營養鹽而生長，而淨化後的水回流至養殖桶，水的循環利用大幅提高用水的效率。



● 深水栽培系統

二、潮汐型系統 (FAD)

包括養殖桶、過濾系統、栽培槽以及水、空氣幫浦。FAD的特性是栽培槽內填充介質，一方面可供作物根系發展，另一方面亦扮演菌床的功能，供硝化菌棲息繁衍及進行硝化反應。藉由虹吸立管及鐘形管開口高度，可設定最高及最低水位。透過虹吸裝置可使栽培槽內的水位自動呈潮汐式的升降，因此栽培槽內的水能完全在系統內循環，不會有滯留的情形。在高水位的狀態，槽內介質大部分會淹



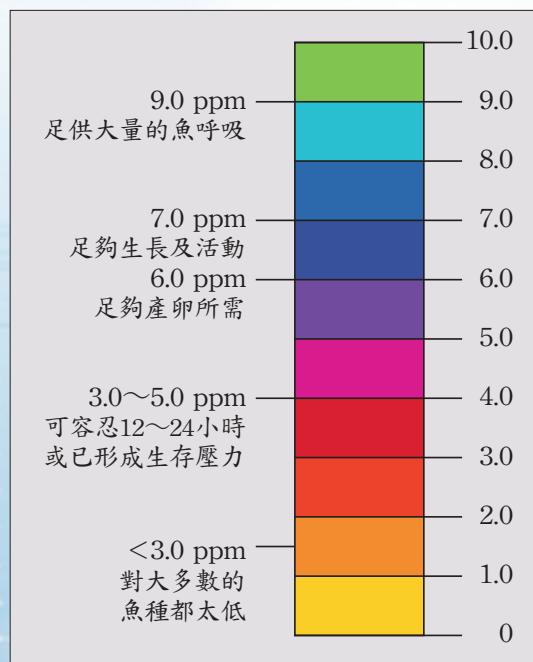
● 潮汐型系統

浸在水中，能提供作物根系水分，也能提供硝化反應所需的氮給硝化菌。在低水位狀態，空氣會進入介質的空隙間，能提供空氣給作物根系。潮汐式水位控制可確保植物的根圈有足夠的營養鹽和空氣，也能使介質保持濕潤，並讓硝化菌繁衍。潮汐型系統通常以每小時1~2次的頻率進行運作。

三、水質主要參數

(一) 溶氧 (DO)

溶氧過低可能導致魚類在數小時之內死亡。在開放的池面通常氧氣可直接溶入水中，魚隻不易有缺氧的情形。但在高密度養殖系統中，水中的溶氧量通常是不足的，可藉由水幫浦產生流動的水流，或利用空氣幫浦將氣泡打



魚類對溶氧的耐受度 (摘自FAO FISHERIES AND AQUACULTURE TECHNICAL PAPER)

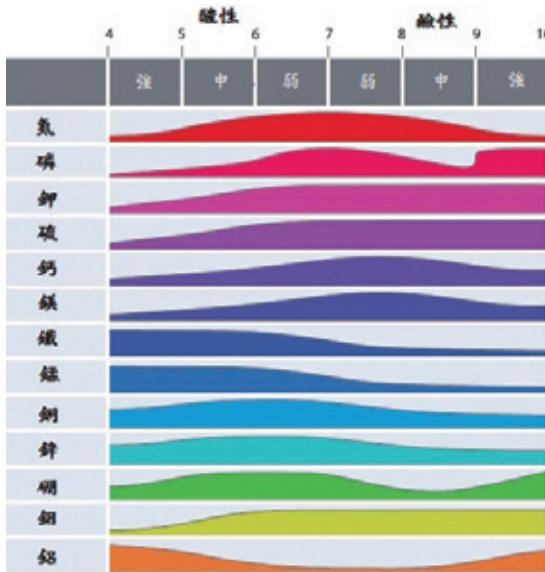
入水中，增加水中溶氧量。根據FAO (聯合國糧食及農業組織) 的研究，最佳的溶氧量約在5~8 mg/L。對某些魚種如鯉魚、吳郭魚雖可容忍2~3 mg/L的低溶氧，但在魚菜共生系統裡，安全的溶氧量必須比2~3 mg/L高一些。

(二) pH

水的pH值對魚菜共生系統有顯著的影響，尤其對作物及硝化菌影響更鉅。pH值影響作物吸收養分的能力，pH在5.8~6.5所有的養分均能快速的被吸收，但高於或低於這個範圍，作物就難以利用水中的養分，導致微量元素如鐵、磷及鎂的缺乏。硝化菌在pH值低於6.0的環境，會降低活力而影響其將氨轉換成硝酸鹽的效率，導致水中的氮含量增加，對魚產生毒性。因此魚菜共生系統水體最好呈略微偏酸，pH值在6~7為最佳值，如pH值低於5或高於8，則會對整個系統產生立即性的危害。

(三) 水溫

水溫會影響整個系統的效能，水溫控制在18~30°C對魚、硝化菌及作物都是可接受的範圍。水溫過高會降低水中的溶氧，因此水溫升高或夏季高溫時，必須利用打氣提高溶氧量。水溫過低可能造成魚的死亡，也會使硝化菌停止代謝。不同的魚種及作物會有不同適合生長的溫度範圍，因此選擇適合當地氣候的魚種與作物非常重要。臺灣地區普遍養殖的魚菜共生魚種說明如下：美洲大口鱸生存溫度的範圍在2~34°C，生長適溫為12~30°C，屬廣溫性魚類。生長環境適合時攝食旺盛，成長率也佳，但水溫太高 (30°C以上) 容易感染造成死亡。



◎ pH對植物養分利用的影響（摘自FAO FISHERIES AND AQUACULTURE TECHNICAL PAPER）

吳郭魚具有成長快速、抗病力強、對環境忍受性強等優點，適合生長溫度在16~35°C，該魚種對pH、氨、低溶氧忍受度皆相當強，惟當水溫低於8~12°C以下時，吳郭魚往往無法生存。錦鯉魚對於水溫度沒有嚴格的要求，生存溫度在2~40°C，生長適溫為20~25°C，屬於廣溫性魚種。食慾旺盛，色彩鮮豔觀賞性佳，如不考慮食用性，此魚種頗適在魚菜共生系統中放養。

(四) 總氮

養殖水中氨主要是從魚體直接排出，及由耗氣性微生物分解有機氮化物所產生。氨對魚具有毒性，對鯉魚及吳郭魚而言，氨離子濃度達1.0 mg/L就會造成氨中毒，會傷害魚的神經系統及影響鰓的功能，導致魚窒息或痙攣。高濃度的氨也會嚴重降低硝化菌的活性，當氨

濃度高於4 mg/L，會大幅降低硝化菌的轉換效率。亞硝酸離子對魚的毒性與氨相似，對魚類所造成的傷害主要有：使血液攜帶氧的能力逐漸喪失及影響代謝功能。亞硝酸離子濃度超過0.25 mg/L就會對魚的健康產生影響，濃度0.5~2.0 mg/L的亞硝酸甚至會導致魚的快速死亡。硝酸對魚的毒性較低，一般而言魚可忍受300 mg/L的濃度。硝酸態氮是植物最容易利用的養分，較佳的硝酸濃度為5~150 mg/L。

(五) 硝化菌

硝化菌是一種好氣性(喜歡氧氣)細菌，在其生命活動過程中，不斷進行著特有的生化反應，能將氨氧化成亞硝酸，或將亞硝酸氧化成硝酸。硝化菌最佳的生長條件是：溫度在25~30°C、pH值在7.5~8.0，溶氧保持在2~5 mg/L。光線對硝化細菌的生長有抑制作用，因此硝化細菌的生長狀況在黑暗中會比光照好得多。提高硝化細菌數量最好的方法，就是在養殖桶中為硝化細菌塑造一個理想的生活及繁殖場所，也就是在養殖系統中增設或安置大量表面積的固定物供其附著，硝化細菌就會迅速的附著在這些固定物的表面並開始繁殖。硝化菌非常微小不能用肉眼觀察，但可透過間接的方法瞭解硝化菌的生長狀態，藉由檢測水中氨、亞硝酸、硝酸的濃度就可得知其活動及繁衍的情形。一個平衡的魚菜共生系統中，氨及亞硝酸須經常保持在0~1 mg/L，一旦測出更高的濃度則表示硝化菌的活動出現問題。通常原因為生化過濾器太小或魚的數量太多、水質不佳及溫度太低導致硝化菌活力下降。



參 魚菜共生系統的主要構成

包括養殖桶、過濾系統、生化過濾系統、栽培植床、虹吸排水裝置。

一、養殖桶

必須保持不漏水，配管及排水閥必須經常檢視，以免水完全流失造成魚隻死亡。養殖桶桶形會影響水的流動，不規則形狀的桶形會形成水無法流動的死角，造成排泄物聚集而產生毒素，故以圓桶平底較佳。圓形桶使水的循環較為均勻，且能使沉澱物藉由離心力集中於圓心方便排出。養殖桶的材質以強化塑膠或玻璃纖維為佳，因其耐久性較佳、重量較輕且容易安裝。養殖桶內面的顏色以白色或淡色為佳，因為這類顏色容易觀察到魚的行為及沉澱物累積的情形。養殖桶上方必須覆蓋以免藻類孳生，也可避免魚隻跳出或雜物掉入桶內。養殖桶需有防止人為操作錯誤、排水閥故障或管路破裂等造成水意外漏光的安全機制。如馬達抽水口不要插到桶底而保持一安全水位、排水管管口與桶底保持一段距離，或安裝低水位警報裝置。一般而言，新設的系統會有所謂的“新缸症候”，主要是因為新系統中菌相及藻相尚未達到平衡，導致水質不穩定。因此新系統必須經常注意水質，只要不偏離標準值太多也不必給予太多的干涉調整，通常約需1~1.5個月就能漸趨穩定。

二、過濾系統

主要用以將固態或懸浮的排泄物從水中分離出來，因為這些排泄物如在養殖桶內分解，將會產生有害的成份，且大量的排泄物可能造成管路堵塞影響水流。過濾的型式有很多種，最簡單的方式就是利用篩網，但篩網必須經常清洗，才能避免阻塞。也可利用填充特殊材料的過濾桶來進行過濾。透過過濾系統大約能移除60%的固態排泄物，能降低有機質在系統內累積，對水質維護有極大的幫助。

三、生化過濾系統

部分魚的排泄物會碎散或直接溶解在水中，而無法透過機械式過濾移除。因為這些排泄物主要是氨態氮，不但無法被植物所利用，甚至對魚產生毒性。生化過濾器利用活菌可將氨轉換成硝酸鹽，生化球具有特殊的形狀，有非常大的體表面積，是生化過濾器最普遍使用的材質，以生化球填充在生化過濾器內，能提高硝化反應的效率。其他可用的材質有火山岩、陶瓷環、發泡煉石、尼龍網、生化棉、毛刷。對於有栽培介質的系統(FAD) 則不需要生化過濾器，因為植床介質本身就是形同一個生化過濾器，但仍有必要裝設過濾器將固態排泄物濾除，以免介質內累積太多有機物，造成分解時產生有毒物及堵塞管路系統。



①生化球
②火山岩
③陶瓷環

④發泡煉石
⑤安裝毛刷的
生化過濾器

四、栽培植床

(一) 深水栽培系統 (DWC)

DWC的作物栽培系統基本上與一般浮筏式的水耕栽培系統相似，是一個有進水口、出水口不漏水的栽培槽。栽培槽的材質有F R P、強化塑膠、保利龍，或以木板釘製再舖防

水布等。栽培槽的寬度須配合定植板，深度至少需30公分。定植部分則以保利龍定植板及水耕花飛碟最為普遍。為改善栽培槽水體的溶氧量，可在槽內佈放空氣管並放置氣泡石。



❶ DWC系統栽培槽鋪設防水布



❷ 保麗龍定植板

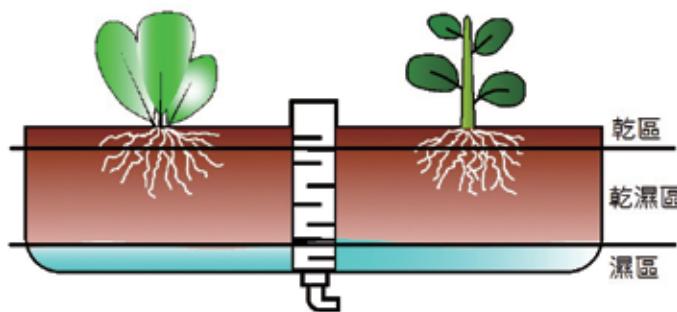
(二) 潮汐型系統 (FAD)

在植床填充粒狀物質做為栽培介質，能使作物根系有較好的支撐，因此可栽培的作物種類也比較多。在魚菜共生系統植槽中所填充的顆粒，同時具有機械過濾及生化過濾的功能。但對於養殖密度較高的系統，在植槽入水口最好再設置一個初級過濾器，攔截一部份的固態排泄廢物，以免阻塞介質間的孔隙。而初級過濾器則須定期清洗，以免失去過濾功能。如栽培果菜類作物介質厚度最好需達30公分，而栽培小葉菜類質厚度僅需15~20公分。介質的選擇以表面積大且容易透水透氣的材質為主，酸鹼度以接近中性為佳。一般常用的材質有火山岩 (粒徑約8~20公釐)、發泡煉石 (粒徑約8~20公釐)、卵石、椰纖、鋸屑及稻殼等，但有機資材一旦變質就必須立即移除，以免產生毒素。如在介質內養殖蚯蚓，不但有助於消耗多餘有機質，還能提供額外養分供植物利用，而藉由蚯蚓的生長狀況可瞭解介質的環境狀態，如蚯蚓大量死亡可能為介質排水異常，或介質內累積太多有毒物質。

FAD系統可藉由虹吸立管及鐘形管開口高度，設定最高及最低水位，介質植床會依深度形成乾區、乾濕區及濕區三種不同的區域，每層各有不同的微生物相。在介質最上層的2~5公分為乾區，乾區主要的作用是用以形成光屏障及避免太陽輻射直接對水加溫，對光敏感的有益菌形成保護，也能避免真菌及有害菌類孳生。另一個重要的影響，就是能覆蓋其下的乾濕區降低水分的蒸散。乾濕區位於乾區下方，厚度約10~20公分，大部分的生物活動如有益



❸ FAD栽培系統



❶ 潮汐型系統介質植床的三個分區

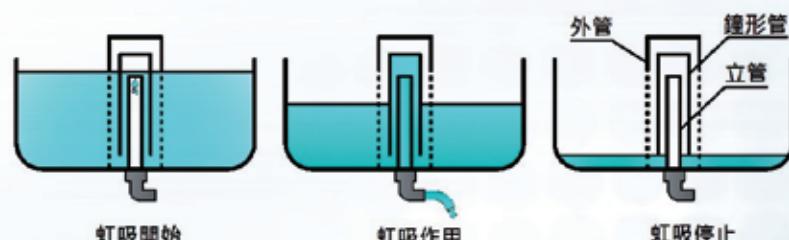
菌的繁殖、根系的發展及微生物活動都集中在这个區域，植物及微生物能在此區域獲得養分及水分。如在介質中加入蚯蚓，有助於分解魚的排泄物及其他廢棄物，而此區為其主要的活動區域。濕區位於植槽底部上方3~5公分，經常維持在恆濕的狀態，細小的顆粒及淤泥會累積在其中，因此亦為礦化作用的主要區域。潮汐式灌溉可確保植物的根圈有足夠的營養鹽和空氣，也能使介質保持濕潤，並讓硝化菌繁衍。FAD系統通常以每小時1~2次的頻率進行運作。

五、虹吸排水裝置

鐘型虹吸主要是利用流體力學的虹吸作用，使介質自動週期性的淹灌及排水，動作週期與水流入植槽的流率及介質粒徑有關。其作用原理為水由進水管以固定流率流入介質植槽，當水位達到立管頂端即開始流入管內。如果沒有鐘形的內管，此裝置

只形同一個溢流管，使水位保持在固定高度而已。有了鐘形內管則當水由立管流出時，會在內管內產生真空吸力，使管內吸入更多的水，而內管一旦充滿水，則開始產生虹吸作用，快速將槽內的水排出。當水位低於鐘形管的

入水口，就會吸入空氣使虹吸作用中斷而停止排水，因此透過這種鐘型虹吸裝置，能達到潮汐式的水位控制。配合1吋管出水口製作鐘形虹吸裝置時，可用1吋PVC管為立管，高度為介質表面下2~3公分。鐘形管可用2.5吋PVC管以管帽封住單邊，而在另一端切出高度約為3公分的入水口。至於外管則可利用4吋PVC管在管壁大量橫切長條形開口，再將之套在鐘形管外側即可。



❷ 虹吸原理



❸ 虹吸管組件



❹ 安裝虹吸裝置



肆 魚菜共生養殖與水質管理

一、水體體積

在魚菜共生系統中，不斷流動的水能將營養鹽送到作物的根系，使其吸收而淨化水質，也能藉由水流將魚的排泄物濾除，維持水的潔淨。一旦水停止流動，首先影響的就是溶氧的降低，時間一久就會導致魚的死亡，對於薄膜栽培系統(NFT)會在短時間內乾涸使作物萎凋。水體大小直接關係到養殖數量，如以魚的重量計算，每一噸的水容納20公斤的魚最為適合。養殖密度過高務必在水中打氣，維持適當的溶氧。養殖桶容積如小於500公升，則養殖密度必須再減半。

二、投餌餵食

餵食時間以白天為主，每日下午4時以後避免餵食，以免夜間魚活動量減少造成消化不良。餵食時投餌後30分鐘如果仍剩餘餌料，即表示餵食量太多，須將剩餘餌料撈除以免影響水質。魚的健康與索餌活動息息相關，因此如



① 自動餵食器

果索餌情形變差或停止進食，則必須停止餵食。魚索餌情形也與水溫相關，因此水溫大幅下降時，需調降投餌量甚至停止餵食。利用自動餵食器定時、定量餵食，可以簡化餵食工作。

三、水質檢測

魚菜共生系統中，溶氧對深水栽培系統(DWC)甚為重要，密植的水耕植槽，作物根系吸收氧氣會造成溶氧不足，進而導致根系褐化。因此DWC系統植槽水體必須維持至少5 mg/L的氧氣濃度，最簡單的方法就是直接在植槽中放入打氣石。因藻類也會消耗水中的氧氣，使水中的溶氧產生變化，防止藻類大量孳生也是不容忽視的課題。系統水體養分濃度可透過控制餵食量進行調整，如水中硝酸態氮濃度低於5 mg/L，就可慢慢增加每日的餵食量，而硝酸鹽的濃度高於150 mg/L，就必須降低餵食量或進行換水。氨及亞硝酸濃度高於1 mg/L 則表示硝化菌的活動出現問題，必須進行換水或停止餵食。總體而言魚菜共生系統對於養植物、作物及硝化菌最理想的條件為：溫度18~30°C；水的pH值6~7；氨濃度小於1 mg/L；亞硝酸濃度小於1 mg/L；硝酸濃度5~150 mg/L；水中溶氧大於5 mg/L。水的pH值偏高時，即使硝酸鹽濃度已維持穩定，作物仍可能發生微量元素缺乏。因此水在加入系統前務必檢測水質，尤其酸鹼度偏離中性太多時，需先調整後再使用。在魚菜共生系統中，微量元素的補充不但無法避免，不同作物也會有不同的



❶ 溶氧計



❷ pH/EC/Temp meter



❸ 水質試劑 (左：亞硝酸；中：硝酸；右：氨)

需求。一般除了透過水質檢測外，管理者也可透過作物葉色表現，判斷是否有微量元素缺乏的現象。水質檢測有現成的儀器可供利用，但價格十分昂貴且需經常校正。部分項目可利用試劑檢測較為簡單經濟，檢測項目建議包括：pH、氨、硝酸及亞硝酸。

為維持水質穩定、降低對養植物的衝擊危害，作物栽培最好分批種植、分批採收。雖然自來水是最容易取得的清潔水源，但其中的氯對魚有毒性，因此自來水使用前必須先儲水至少3~5天，使水中的氯逸去，如用氣泡石進行打氣，則可縮短儲水時間。但使用自來水可能導致部分微量元素缺乏，影響作物生長，需配

合作物適當補充。魚菜共生系統水分消耗主要原因為蒸發或被植物吸收，平均耗水僅約一般土耕栽培的10%，是十分節水的生產方式，但實際耗水量會因作物種類及地區而異。

四、養殖魚種

魚菜共生系統中魚的選擇非常多樣，包括吳郭魚、鯉魚、鰱魚、草魚、金目鱸、寶石鱸、鯇魚、鱈魚、莫瑞鱈及大口鱸。

在臺灣地區適合養殖的魚種，食用魚有：吳郭魚、紅尼羅魚、七星鱸、銀鱸、曲腰魚、鯇魚、鰻魚、大口鱸。觀賞魚則有：朱文錦、金魚、錦鯉、玉如意、蓋斑鬥魚、血鸚鵡、孔雀魚。



五、投餌與栽培參數

以一般標準含32%蛋白質的飼料而言，每平方公尺葉菜類每日約需餵食40~50公克的飼料，而每平方公尺果菜類每日約需餵食50~90公克的飼料。作物栽培密度：葉菜類每平方公尺為20~25株，果菜類每平方公尺為4~8株。養殖初期魚的體重較小，每日約可攝食體重10%的飼料。體重大於50公克的魚，每日的攝食量約為其體重的1~2%。

六、水溫過高／過低

夏季水溫經常超過30°C，容易導致溶氧不足，因此需要適度增加打氣量。同時高溫的環境容易使魚類發生細菌性的感染，可增加養殖桶排污的頻率並適度換水。冬季寒流容易發生寒害造成魚隻死亡，以慈鯛科的吳郭魚、紅尼羅魚而言，養殖的條件並不嚴苛，但低溫(低於10°C)卻會發生嚴重寒害造成死亡。因此寒流來襲之際，必須要有加溫或利用塑膠布防風的禦寒措施，才能降低損失。



❶ 寒害造成魚隻凍死

七、藻類孳生

藻類孳生通常無可避免，有藻類對養殖而言並非全然無益，但過多的藻類會影響水色，增加過濾系統的負擔，同時可能與作物競爭養分。解決之道可在養殖桶上方以透氣材質覆蓋，避免陽光直射，栽培槽上的水面也儘可能利用浮板或作物遮蔽。

八、搖蚊(紅蟲)孳生

搖蚊成蟲幾乎不取食，雖然不會叮人但繁殖速度驚人，其幼蟲為一般所稱的紅蟲，其食物一般為沉積物中的有機物碎屑、藻類、細菌、水生動植物殘體等。在養殖桶內通常會成為魚的食料，而在過濾系統及栽培槽內則會大量孳生。密度太高時會造成過濾系統阻塞，並影響觀瞻。除了可利用防蟲網遮蓋水面之外，也可放養孔雀魚、大肚魚、蓋斑鬥魚或紅球等魚種進行捕食。

九、計算栽培面積及水量

魚菜共生系統中作物主要的養分來源為餵食的飼料，因此在計算栽培數量均以投餌

量為基準。假設DWC系統以1噸的水養20公斤魚，每日需餵食飼料 $20,000\text{g} \times 1\% = 200\text{g}$ 。可種葉菜面積 $200\text{g} / 40\text{g/m}^2 = 5\text{m}^2$ 。栽培槽水量 $= 5\text{m}^2 \times 0.3\text{m}$ (深度) $= 1.5\text{m}^3$ 。過濾系統容積為養殖桶容積 $10\sim 30\%$ 。

總水量計算如下，

$$\begin{aligned}\text{總水量} &= 1\text{噸(魚桶)} + 1.5\text{噸(水耕槽)} + 0.2\text{噸} \\ &\quad (\text{生化過濾器容量}) = 2.7\text{噸}\end{aligned}$$

十、飼料的氮轉換

影響水中氨濃度的因子包括飼料中蛋白質及胺基酸的質與量，飼料的消化性、魚種、溫度及系統移除魚排泄物的性能。約有30%的蛋白質會留在魚體內，因此70%的氮會流失到水中，其中15%是無法消化或存於固態排泄物及殘留的飼料中。所以魚的消化過程會有55%的氮轉換成氨，約有60%的固態排泄物會被過濾系統移除，其餘40%會降解成氨留在水體中，總體而言餵食的飼料大約會有61%的氮會變成氨存在水中。蛋白質含氮量約16%，每公克氮會產生1.2公克氨。以200公克飼料(32%蛋白質)計算，會產生7.5公克的氨，計算式如下：

$$200\text{g 飼料} \times 32\% \times 16\% \times 61\% \times 1.2 = 7.5\text{g}$$

十一、生化過濾面積計算

硝化菌消耗氨的速率約 $0.2\sim2\text{g/m}^2/\text{day}$ ，但與水量、水溫、鹽度、pH、溶氧有關，為了簡化複雜的計算，通常使用較保守的轉換率，即 $0.57\text{g/m}^2/\text{day}$ 。因此7.5公克的氨每日須有 13.2 m^2 的硝化菌面積，才能完全轉換成硝酸鹽，計算式如下：

$$7.5\text{g 氨}/0.57\text{g/m}^2/\text{day}=13.2\text{m}^2/\text{day}$$

十二、生化濾材體積計算

過濾資材能提供給硝化菌棲息的面積，與體面積比(specific surface area(SSA))有關，計算所需資材量時，將所需硝化菌棲息的面積除以SSA，即得所需的介質體積。選用SSA較大的過濾資材能降低資材的使用量，但這類資材使用後容易造阻塞，不但影響水流也會影響硝化菌的生長，因此資材的選用必須針對水質、養殖密度、耐久性及操作性進行綜合考量。在FAD系統中作物栽培介質的量遠大於硝化反應所需的資材量，但卻有助於在不利的環境下維持足夠的硝化反應。以生化球(SSA=600)為例，僅需22L的生化球就能滿足每日200公克餵食量的硝化反應需求，計算式如下：

$$13.2\text{m}^2/600\text{m}^2/\text{m}^3=0.022\text{m}^3=22\text{L}$$

十三、生化過濾資材及用量計算 (以32%蛋白質的飼料為基準)

資材種類	SSA (m^2/m^3)	每公升資材所能處理的飼料量(g)	每日餵食100g飼料所需資材體積(L)
粗砂 (0.6~0.8 mm)	5 000	75.0	1.3
生化球	600	9.0	11.1
泡棉	400	6.0	16.7
纖維網墊	300~400	4.5~6.0	16.7~22.2
波紋浪板	150~400	2.3~6.0	16.7~44.4
火山岩	300	4.5	22.2
發泡煉石	200~250	3.0~3.8	26.7~33.3
粗礫石	150	2.3	44.4
陶瓷環a	500	7.7	13
毛刷b	100	1.5	66.8

(摘自FAO FISHERIES AND AQUACULTURE TECHNICAL PAPER; a、b為本文新增)



伍 作物選擇

如以需肥量的高低可分為：

- ◆**低需肥量作物**：葉菜類、草本植物、萵苣、羅勒、薄荷、歐芹、芫荽、小白菜、蕹菜及豆科植物。
- ◆**中需肥量作物**：甘藍、花椰菜、青花菜、甜菜根、芋頭、青蔥、紅蘿蔔。
- ◆**高需肥量作物**：番茄、茄子、小黃瓜、夏南瓜、草莓、辣椒。

在臺灣地區適合魚菜共生系統栽種的作物，如以季節可分為：

- 春：宮菜、秋葵、空心菜、甜羅勒、甜椒、小黃瓜、山苦瓜、紫蘇、青椒、青蔥。
- 夏：絲瓜、蒲瓜、玉米、芹菜、碗豆、羅勒、茄子、蕹菜。
- 秋：辣椒、草莓、西洋芹、高麗菜、花椰菜、青花菜、小松菜、羅蔓。
- 冬：茼蒿、韭菜、甜菜根、結球萵苣、萵苣。



◎ 蕓菜

◎ 萝蔓



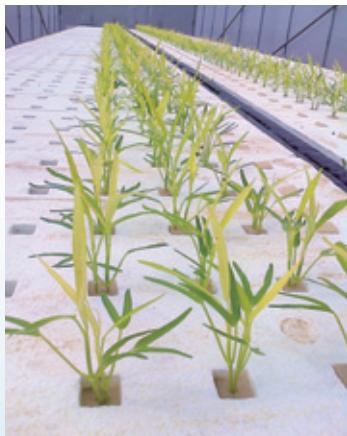
◎ 小松菜



◎ 羅蔓



◎ 茄子 ◎ 西洋芹



◎ 蕃菜缺鐵



◎ 芫荽缺磷

一、作物栽培作業要領

配合季節選擇適栽作物，作物栽培避免一次性的採收，最好分批種植分批採收，可維持水質穩定。在深水栽培系統 (DWC) 一般採育苗後再移植至浮板進行栽培，可大幅縮短栽培時間。在潮汐型系統 (FAD) 盡量選擇大苗栽培，可縮短栽培時間並提高成活率。作物栽培盡量利用設施 (溫室) 降低病蟲害發生機率。魚菜共生系統基本上可提供作物生長所需的氮肥，但部分微量元素卻無法從系統中獲得，因

此微量元素缺乏成為魚菜共生系統無法避免的屏障。透過在水中添加微量元素可改善生長情形，如水中添加控制 2 mg/L 濃度的EDTA-Fe即可改善缺鐵的問題。另外，水的pH值影響作物對微量元素的吸收甚鉅，因此做好水質管理亦可改善營養不良的問題。

二、病蟲害的管理

魚菜共生系統中植物栽培模式與水耕栽培相近，病蟲害相亦相同，也就是說一般土耕或介質耕中相同的作物會發生的病蟲害，亦會發

生在魚菜共生系統中。為避免化學藥劑(農藥)對養殖系統造成影響，在魚菜共生系統中，病蟲害的管理以不使用農藥的綜合管理策略進行。

1. 溫網室栽培： 覆蓋塑膠布可隔絕雨水，避免病原菌藉由雨水飛濺傳播；利用防蟲網防止害蟲入侵。建構溫網室時，要注意室內的日照及通風，雖然網目越細的防蟲網，對於小型昆蟲的阻絕效果越佳，但會降低室內通風，提高相對濕度，營造病害發生的有利環境。部分瓜果類(如蒲瓜)，因溫室內無授粉昆蟲，需透過人工授粉提高著果率。



2. 選擇適宜的作物種類：高溫期間由腐黴菌所造成的猝倒病，是較為普遍發生的病害，如萵苣類蔬菜進入四月以後，因溫度升高，猝倒病成為生產體系中的限制因子，在無法使用藥劑控制的情況下，更換適宜夏季栽培且不易罹病的作物種類(如蕹菜)，是可行的策略。

3. 田間衛生：隨時清除罹病蟲之植物組織，可以有效降低栽培環境中的病蟲源密度。

4. 輔以非農藥防治資材：病蟲害種類因氣候及作物種類而有所變動，如番茄晚疫病、萵苣葉斑病、番茄刺皮癟蟻、蚜蟲、薊馬、銀葉粉蟲等，均曾於本場試驗期間出現於魚菜共生系統中。選用適宜的非農藥防治資材，如礦物油、蘇力菌、枯草桿菌、亞磷酸鉀、黃(藍)色黏紙等，可將病蟲害的危害程度降低，也可利用生物防治法(如草蛉防治蚜蟲、粉蟲及薊馬等)進行控制。

- ①猝倒病
- ②黑斑病
- ③蚜蟲為害
- ④草蛉幼蟲





陸 系統維護

魚菜共生系統一旦穩定後，不需要投入太多精準的控制作為，但仍須定期關注以免系統失衡，檢查工作依周期長短可分為：

每日工作：

- 檢查水、空氣泵浦是否正常，並清理入口。
- 檢查水流情形。
- 檢查水位，如蒸散太多進行補充。
- 檢查養殖桶有無洩漏。
- 檢查水溫。
- 投餌餵食或檢查自動餵食器，並觀察魚有無異樣。
- 檢查作物有無蟲害。
- 撈除死魚、移除作物病株。
- 清潔濾網。

每週工作：

- 檢測水體之pH、氨、亞硝酸、硝酸。
- 檢查作物營養元素缺乏的情形並適量補充。
- 清除桶底及生化過濾器底部的雜汙。

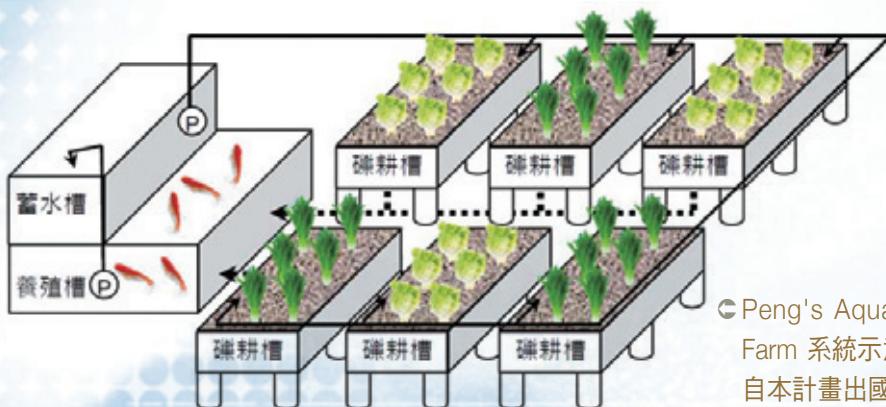


柒 他山之石

澳洲在養殖水耕的開發極具成熟度，養殖水耕相關網站點閱率的前五名就有兩個澳洲網站。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熱門。本場藉由出國研習，參訪澳洲不同型式的魚菜共生系統，以瞭解不同系統的經營理念、操作管理方式、收益情形及發展性等。茲將澳洲幾個參訪點所見所聞進行說明及分析。

一、Peng's Aquaponics Farm

此農場位於墨爾本近郊，規模屬於小型家庭式生產。其設施為簡易溫室結構，從結構外觀判斷應屬於自行搭建而非農業標準溫室。溫室內除了排風扇外並無任何環控設施，因此除了遮風避雨，基本上並無法進行微氣候調整。魚菜共生的部分在系統分類屬於FAD系統，主要分為作物栽培槽及養殖槽，栽培槽內填充粒徑約2公分的卵石或火山岩碎塊，填充高度約30~40公分。利用抽水泵浦將水由養殖桶抽送至作物栽培槽，並透過虹吸排水裝置達到潮汐



© Peng's Aquaponics Farm 系統示意圖 (摘自本計畫出國報告)



①溫室內部一隅

②摻和卵石和火山岩碎塊的介質床

③養殖槽飼養鯽魚及鯉魚

④虹吸排水裝置

⑤堆肥處理桶 (前) 及雨水回收槽 (後)

式的灌溉方式。因為水只有蒸發及作物的蒸散而少量消耗，大部份的水均可循環使用。養植槽內放養紅鯽魚 (*Carassius auratus red var.*) 及鯇魚 (*Tandanus tandanus*)。至於魚與菜的比例，農場主人表示無法有標準的公式可資利用，因魚與菜兩者皆為動態系統很難匹配得很

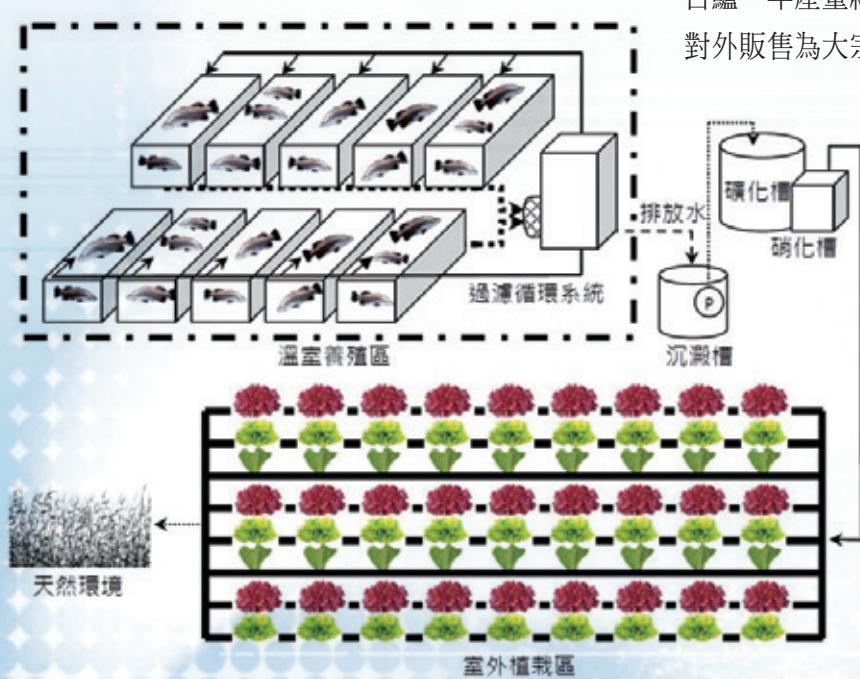
完美，反而經驗可以避免掉許多錯誤。栽培的作物包括：葉用甘藷、甜椒、辣椒、番茄、莧菜、萵苣、青蔥、扁豆等。為使作物正常生長正常，依照不同作物的需求，適時添加微量元素。而在水溫20°C以下、pH值下降不利魚隻成長時以生石灰調整，對於蟲害則以蘇力菌進

行防治。據農場主人表示，因生產的蔬菜是在無化學藥劑、化學肥料且對環境不會造成汙染的狀態下所生產的類有機蔬菜，因此販售價格較高，葉菜販售價格約澳幣10元/公斤(相當於臺幣250元/公斤)，莖菜販售價格約澳幣8元/公斤(相當於臺幣200元/公斤)。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。在這個農場處處可看到自給自足、對環境友善、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魚菜系統使用、栽培槽內的介質採用可重複使用不會造成汙染的卵石及火山岩、利用菜葉殘渣進行堆肥、栽培槽利用木板釘製無環境汙染問題。這個農場目前的規模僅能供應一個家庭自給自足無法進行量產，但就一個居家型的系統而言，這已是一個技術成熟的案例。

二、Tailor made fish farms

此農場位於新堡(New Castle)近郊，是一處養魚、種菜及餐廳複合經營的農場。主要以循環水養殖金目鱸(*Lates calcarifer*)為主、水耕蔬菜為輔的系統。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，並進行商業化生產的公司。農場主人Nick Arena曾受聘為亞洲生產力組織(APO)講師來臺灣授課，整個農場大概可區分成三大部分：室內養殖場、露天蔬菜栽培區及餐廳。室內養殖場是一個四面以浪板密閉，屋頂為雙層透明塑膠布的建物。其用意為利用太陽光及溫室效應進行加熱，使魚場內溫度維持在26~30°C每年達9個月之久，而最低溫亦能維持在24°C以上。養殖魚種主要為金目鱸，魚場面積約1,500m²，每週約可生產1~1.2噸的金

目鱸。年產量約40噸，所生產的魚以對外販售為大宗，少量供應自家餐廳使用。蔬菜採露天栽培，栽培面積約1,650m²，栽培系統



● Tailor made fish farms系統示意圖(摘自本計畫出國報告)

為薄膜栽培系統 (NFT)。NFT的水並未回流魚場使用，因蒸發及作物蒸散所消耗的水由魚場排出的水進行補充，補水率約10%。流出NFT的水當作農場草皮的澆灌水。為了使蔬菜生長更好，在水內添加藥劑調整pH值，並添加作物所需的氮肥及微量元素。種植的蔬菜種類主要為菊科及十字花科的菜種。每五至六週可生產約22,000棵萵苣，一年可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。農場自家經營的餐廳是綜合經營休閒農園的一部分，農場主人認為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。餐廳料理以中式料理為主，

除平時營業外亦承接婚宴及派對等餐會。主要食材之魚、菜均為農場自產。農場的營收狀況約80%來自販魚，20%來自餐廳營收，蔬菜營收則顯得微乎其微。每年營收利潤約20~30萬澳幣。

就魚菜共生的精神而言，Tailor made fish farm並不算一個完整的Aquaponics系統。因為養殖水的氨並未利用足夠的硝化菌床，進行轉化為植物可利用的硝酸，而植物根系也未對養殖水產生淨化作用。但就複合式農場經營而言，Tailor made fish farm可謂成功的經營模式，其自產自銷的生產模式不但能大幅降低運輸

- ①室內養殖場
- ②露天蔬菜栽培區
- ③活魚販售
- ④養液調整

成本、穩定食材供應、確保食材衛生



1



2



3



4



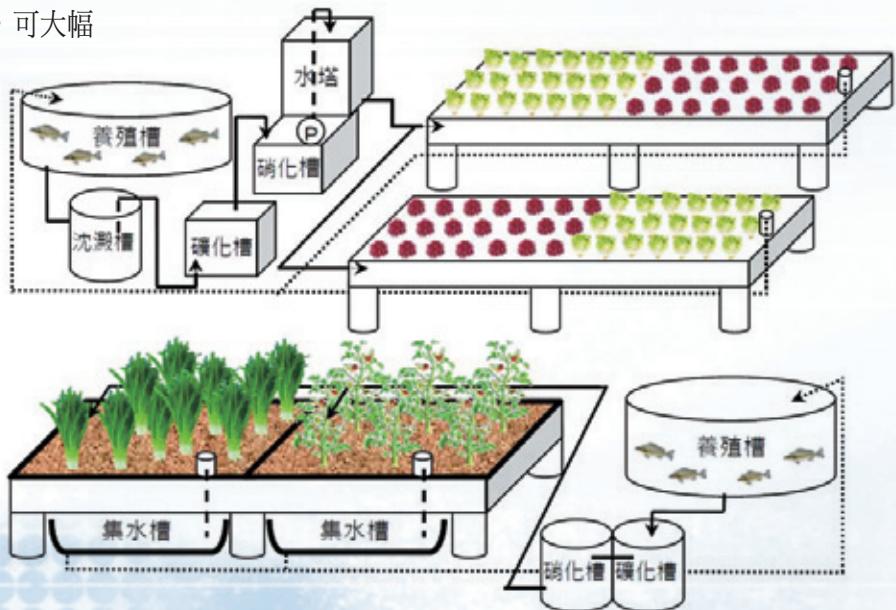
◎ 農場自營餐廳

安全，整個場區怡人的景緻凸顯了農場的特點。就能源利用而言，利用太陽及溫室效應能對魚場進行加熱，不但提升魚的生長率，也大幅降低加溫成本。就水資源利用而言，其養殖水10%的換水率供給作物栽培使用，完全沒有水資源浪費的問題，且水耕的水未流回養殖區，可大幅降低水處理的費用。農場主人對水資源利用的獨特觀點，不但簡化了水處理的操作，更成就其成功的經營模式。

◎ Practical Aquaponics 系統示意圖 (摘自本計畫出國報告)

三、Practical Aquaponics

Practical Aquaponics 位於布里斯本近郊，是一個以教學為主，推廣經營魚菜共生的教學農場，農場主人為Murray Hallam。經營型態主要以教學為前提，農場規模不大。種植作物種類多樣，有不同品種的萵苣、十字花科蔬菜、韮菜、青蔥、葉用甘藷、茄科作物如番茄、青椒、茄子，蘿勒、草莓、玉米、木瓜、芋等。溫室結構計有兩款，一為木材搭建，另一種為鋸管搭建。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。經詢農場主人如何控制蟲害，他表示利用瓢蟲捕食蚜蟲，並定期噴灑大蒜水進行驅蟲。所有從栽培槽回流的水均匯集到養殖槽，養殖水經由溢流管流至前置處理槽。經由打氣增加水中溶氧，再流至養液調整槽進行調製。



到較高的暫存桶，暫存桶內的水則靠重力流到各個栽培槽。期間定期(每週)測量水質維持在pH6.5~7，使養魚與種菜都能在可接受的範圍，當pH值降至6.2以下時，添加氫氧化鉀調升至pH 7。除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(K、Ca、Fe、Mg、B等)則每月補充一次。養殖魚種主要為銀鱸(*Bydianus bidyanus*)、寶石鱸(*Scortum barcoo*)、莫瑞鱈(*Maccullochella peelii* *peelii*)及鯇魚。養殖水溫度約在17°C，每年約可收獲150尾，銀鱸每尾約300公克。栽培系統分為兩類，一種為DWC系統，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FAD系統，利用卵石等材料作為栽培介質，主要用於茄果類及其他生长期較長的作物。每個溫室約可種植2,000棵蔬菜。

Practical Aquaponics農場規模並不小，但卻有大量介紹的影片上傳在YOUTUBE上，而能吸引全世界人們的目光。Practical Aquaponics並非以生產為導向，而是以教學為主的農場，因此在系統運作的論述上極為完整，但若以經濟生產的觀點來看，場域規模仍有不足之處。





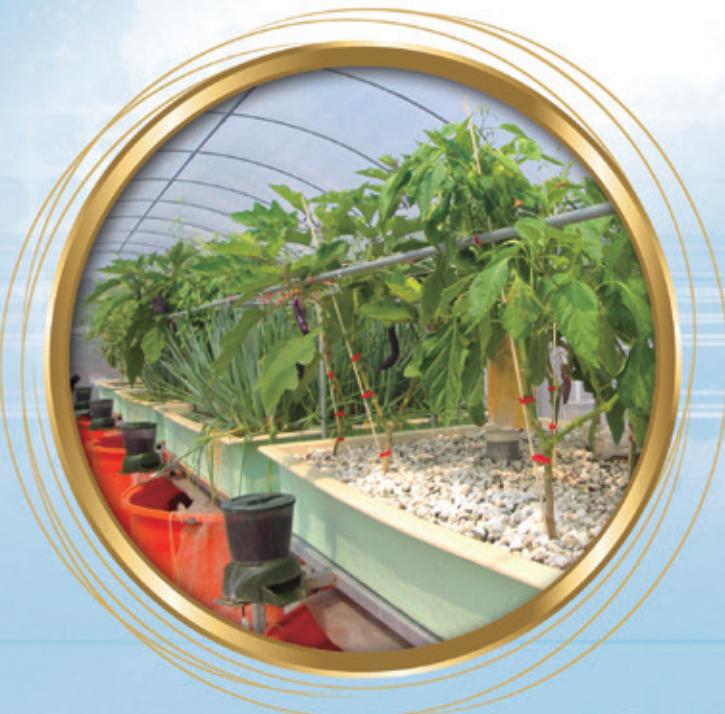
捌 結論與建議

1. 魚菜共生系統中水體的EC值遠低於一般水耕栽培，但試驗作物如皺葉萵苣、半結球萵苣等並無明顯缺肥現象，而蕹菜則有明顯缺鐵現象，在水中添加EDTA-Fe就能改善之。
2. 猝倒病為水耕栽培經常發生的病害，在高溫的環境更容易發生，發病後即使移除病株，病原菌已散播在水體中，會再繼續感染後續的作物，除非使用化學藥劑否則難以清除。但化學藥劑可能對養殖系統造成嚴重傷害，因此魚菜共生系統通常不會考慮種作法。比較好的方法是改種其他不易被感染的菜種如蕹菜、青蔥。
3. 作物的蟲害與防蟲網的網目數及溫室管理有關，防蟲網網目越小能阻絕越小的害蟲，但會影響通風效果，溫室的門也必須經常維持在關閉的狀態。另外可配合生物防治法減少蟲害，如施放草蛉防治蚜蟲、利用黏蟲板防治其他害蟲等。
4. 潮汐型 (FAD) 系統可確保植物的根圈有足夠的營養鹽和空氣，也能使介質保持濕潤並讓硝化菌繁衍。潮汐型系統通常以每小時1~2次的頻率進行運作。
5. 深水栽培 (DWC) 系統適合種植短期葉菜類作物。而FAD系統除可種植葉菜類外，也適合果菜類作物。
6. 檢測水中氮含量有助於瞭解系統是否平衡，如果硝酸的濃度低於5 mg/L，就必須慢慢增加每日的餵食率，如果硝酸的濃度高於150 mg/L，就必須進行換水。如果氨及亞硝酸濃度高於1 mg/L，則表示硝化菌的活動出現問題，可進行換水或降低餵食量。
7. 魚菜共生系統水體最好略微偏酸，pH值在6~7為最佳值，如pH值低於5或高於8，則會對整個系統產生立即性的危害。
8. 魚菜共生系統對於養植物、作物及硝化菌最理想的條件為：溫度18~30°C；水的pH值6~7；氨濃度小於1 mg/L；亞硝酸濃度小於1 mg/L；硝酸濃度5~150 mg/L；水中溶氧大於5 mg/L。
9. 作物栽培避免一次性的採收，最好分批種植分批採收，可維持水質穩定，降低對養植物的衝擊危害。
10. 魚菜共生系統平均耗水約1~3%，但視作物種類及地區而異，水的流失主要是由於蒸發或被植物吸收，因此必須定期補水。
11. 由澳洲參訪的經驗來看，臺灣魚菜共生的技術層次不低，但能達到商業化量產的仍屈指可數，仍有待基礎參數的建立以及經驗的累積。



書名 | 魚菜共生系統原理與方法
作者 | 楊清富、鄭安秀
審稿 | 嘉義大學顏永福
發行人 | 王仕賢
主編 | 王裕權、黃惠琳
出版機關 | 行政院農業委員會臺南區農業改良場
地址 | 712 臺南市新化區牧場70號
網址 | <http://www.tndais.gov.tw>
臉書粉絲頁 | <https://www.facebook.com/tndais>
電話 | (06)5912901
印刷 | 農世股份有限公司
出版年月 | 105年9月
編印本數 | 3,000本
定價 | 45元
展售書局 | 國家書坊台視總店
臺北市松江路209號1樓 TEL:(02)25180207
五南文化廣場
臺中市中山路6號 TEL:(04)22260330轉36

G P N | 1010501891
I S B N | 978-986-05-0079-0 (平裝)



ISBN: 978-986-05-0079-0

A standard linear barcode representing the ISBN 978-986-05-0079-0.

9 789860 500790

GPN:1010501891

定價：新臺幣 45 元