

魚菜共生系統之原理與應用方法

楊清富

行政院農業委員會台南區農業改良場助理研究員

cfyang@mail.tndais.gov.tw

摘要

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。既能營造宜人景觀，也能提供家庭新鮮、衛生的蔬果。魚菜共生系統其原理係將養殖物排放至水中的排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做新的養殖用水，因而提高了水的利用效率。本研究建置兩種不同型式的魚菜共生系統進行試驗，結果顯示養殖水可提供作物生長所需的養份，但會有微量元素缺乏的問題，而透過適量補充就能讓作物正常生長，作物能淨化水質讓養殖水得以能不斷的循環利用。因此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。

關鍵字：魚菜共生系統、水耕、硝化作用

前言

3000 多年前阿茲提克印第安人發現河水含有豐富的養份，而發展出人工浮島的耕作方式。早期農民引河水灌溉，魚苗因而流入水田形成共生系統，田裡的魚除了取食農民所投的餌料也會以昆蟲、雜草為食。魚的排泄物成為天然的肥料，形成魚與作物間互利共生的關係，而農民額外多了魚獲。中國珠江三角洲地區，早期為充分利用土地而創造的一種挖深魚塘，墊高基田，塘基植桑，塘內養魚的高效人工生態系統稱為桑基魚塘。將養蠶產生的廢物作為魚的餌料，魚排泄物沈入塘底成為營養豐富的腐植質塘泥，可作為桑樹肥料。這些先人的智慧做法上或許各有不同，但都是生態農業的最佳寫照。近代對魚菜共生系統的研究始於 1970 後期，並逐漸演進成現代的生產系統。1980~1990

年間因生化過濾及最佳魚菜比率的研究⁽⁶⁾而有長足的進步，使得系統內的水能不斷循環使用，並持續提供作物生長所需的養份。魚菜共生是結合循環水養殖與水耕的一種農魚綜合生產系統，利用硝化菌將魚的排廢物經硝化作用轉換成植物可利用的營養鹽，如圖 1 所示。能降低水中對魚有毒的代謝廢物，也能提供植物生長所需的營養，因此植物和硝化菌形同過濾器，不但能去除魚的排廢物，還能淨化水質使養殖水能循環再利用。近年來水資源匱乏的情形日益嚴重，不但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的重要性，因此魚菜共生系統成爲近年來頗受關注的話題。劉⁽⁴⁾指出魚菜共生系統具有下述優點：水可循環利用能節約水資源、養殖排泄物可當作植物營養鹽、植物可不必再施肥能減少成本、可共同分擔操作及雜項設施費用、較單獨生產魚與作物使用的水量少、可避免養殖排放水汙染環境水域。魚菜共生的水耕系統使用養殖池的水，據研究顯示其中包含有各種植物所需的營養鹽，僅須就鉀、鈣、鐵三種較欠缺的元素定期補充⁽³⁾。水是魚菜共生系統的命脈，它是傳輸營養鹽的介質，也是魚類汲取氧氣的來源。水質的主要參數包括溶氧、pH、水溫、總氮。台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爲生態教育，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(台北市)、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台灣魚菜共生學會、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，自然成爲關注的焦點。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。則此系統實爲一種能同時達到節能、省水、省肥的生產系統。

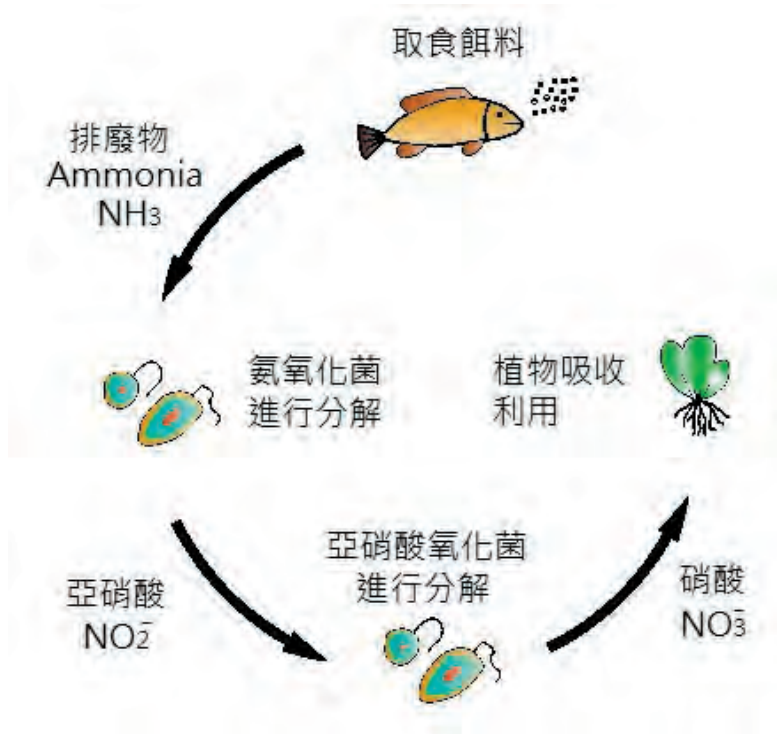


圖 1. 魚菜共生之氮循環

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，如圖 2 所示。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。

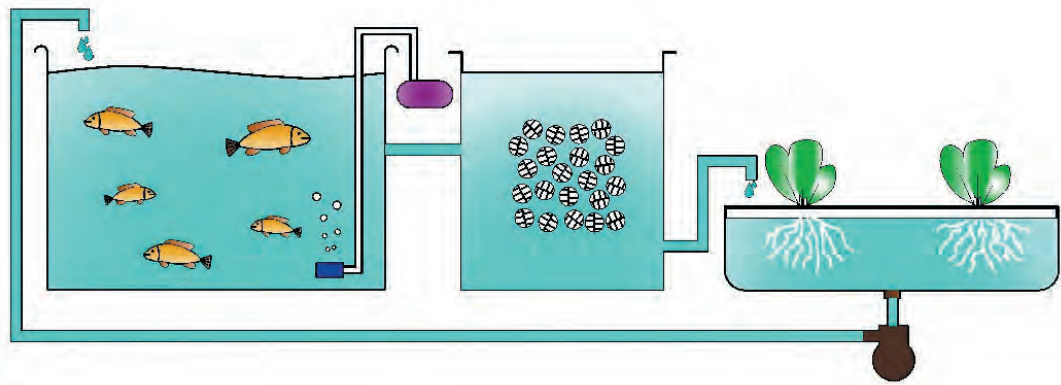


圖 2. 深水栽培系統

(二) 潮汐型 (FAD)

包括養殖桶、過濾系統、栽培槽以及水、空氣幫浦，如圖 3 所示。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浸在水中，能提供作物根系水份，也能提供硝化反應所需的氨給硝化菌。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。

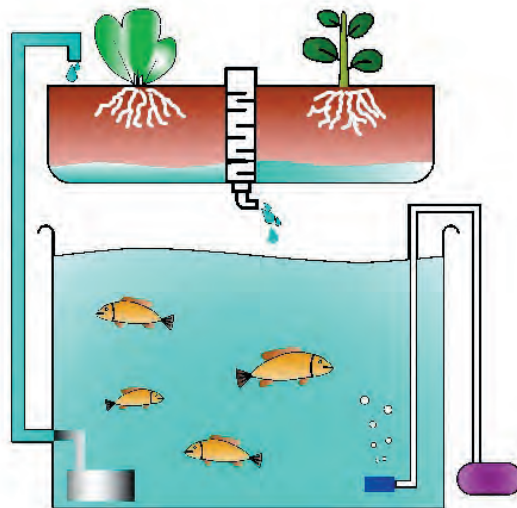


圖 3. 潮汐型系統

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入水中，增加水中溶氧量。Somervill 等⁽⁵⁾ 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 6.0~6.5 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份，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，導致水中的氨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為害。

(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。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 (TN)

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⁽⁵⁾。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份，較佳的硝酸濃度為 5~150 mg/L⁽⁵⁾。

(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⁽¹⁾：溫度在 25~30℃、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。硝化菌非常微小無法直接肉眼觀察，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⁽⁵⁾，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。

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

察到魚的行爲及沉澱物累積的情形。養殖桶上方必須覆蓋以免藻類滋生，也可避免魚隻跳出或雜物掉入桶內。養殖桶須有防止人爲操作錯誤、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示裝置。一般而言，新設的系統會有所謂的“新缸症候”，主要是因爲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，因爲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。因爲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。生化過濾器利用硝化菌可將氨轉換成硝酸，而降低水中氨的濃度。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、生化棉及毛刷等。對於有栽培介質的系統 (FAD) 則不需要生化過濾器，因爲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。維持一個健康的生化過濾器最重要之參數，就是足夠的表面積和適當的水質⁽⁷⁾。菌群會附著在各種材質上，如根系、養殖桶桶壁、管路管壁等，附著面積的範圍端看菌群能夠代謝多少氨。水的 pH 值對硝化菌將氨轉換成氮素有極大的影響，對一般硝化菌而言 pH 值最適的範圍爲 6~8.5，但對魚菜共生系統而言較適合的範圍在 6~7，一般而言硝化菌生長和繁殖最適當的溫度範圍約在 17~34°C⁽¹⁾，如低於 10°C 則其繁殖力會降低 50%。硝化作用是一個好氧反應，因此硝化菌需要適當的溶氧，最佳的溶氧值爲 5~8 mg/L⁽¹⁾。溶氧量不足可能造成別的菌種生長，

甚至會將有用的硝酸轉換成無法吸收的分子態氮。生化過濾器的大小與每日餵食的量有關，其最主要的考量是過濾器的型態與表面積。較大的表面積可以聚集較多的硝化菌因此能更快速的將氨轉換成硝酸鹽。

(四) 栽培植床

1. DWC 系統

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，基本上是一個有進水口、出水口不漏水的栽培槽。栽培槽的材質有 FRP、強化塑膠、保利龍或以木板釘製再鋪防水布等。栽培槽的寬度須配合定植板，深度至少需 30 cm。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。

2. FAD 系統

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。在魚菜共生系統中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須達 30cm，而栽培小葉菜類質厚度僅需 15~20cm。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 8~20mm)、發泡煉石 (粒徑約 8~20mm)、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，還能提供額外養份供植物利用，同時藉由蚯蚓的生長狀況可瞭解介質的環境狀態，如蚯蚓大量逃逸或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，如圖 4，每層各有不同的微生物相。在介質最上層的 2~5cm 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滋生。另一個重要的影響，就是能覆蓋其下的乾濕區降低水份的蒸散。乾濕區位於乾區下方，厚度約 10~20cm，大部分的生物活動如有益菌的繁殖、根系的發展及微生物活動都集中在這個

區域，植物及微生物能在此區域獲得養分及水份。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 3~5cm，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。

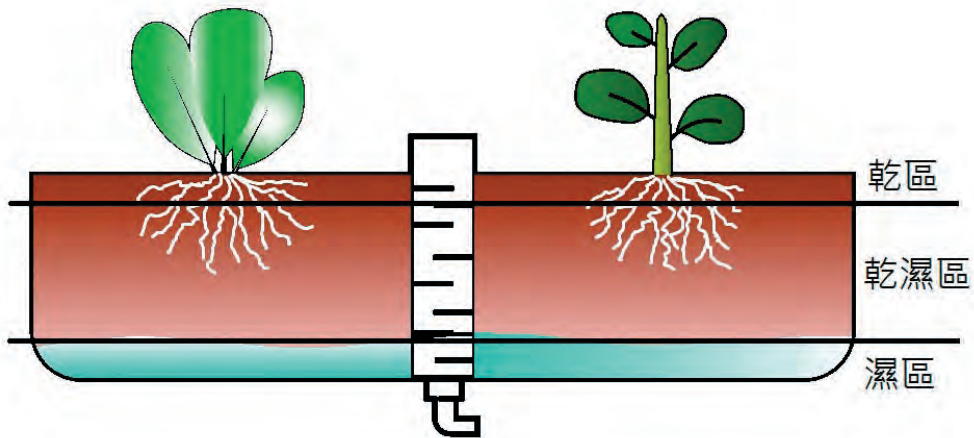


圖 4. 潮汐式系統介質植床的三個分區

(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，如圖 5 所示，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” 管出水口製作鐘形虹吸裝置時，可用 1” PVC 管為立管，高度為介質表面下 2~3cm。鐘形管可用 2.5” PVC 管以管帽封住單邊，而在另一端切出高度約為 3cm 的入水口。至於外管則可利用 4” 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。

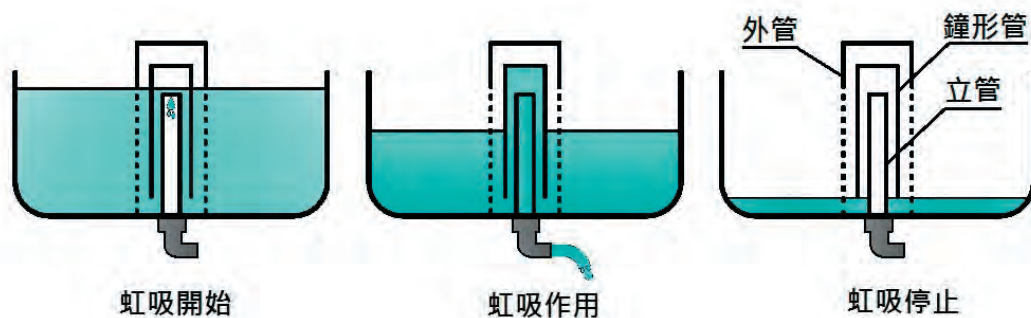


圖 5. 虹吸排水原理

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 NFT 系統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 kg 的魚最為適合⁽⁵⁾。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 DWC 系統甚為重要，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，防止藻類大量滋生也是不容忽視的課題。系統水體養份濃

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率，而硝酸的濃度高於 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殖物、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（圖 6）檢測較為簡單經濟，檢測項目建議包括：pH、氨、硝酸及亞硝酸。



圖 6. 水質試劑（左：亞硝酸；中：硝酸；右：氨）

為維持水質穩定降低對養殖物的衝擊危害，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，而影響作物生長，需配合作物適當補充。魚菜共生系統水份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⁽⁵⁾，包括吳郭魚、鯉魚、鱧魚、草魚、金目鱸、寶石鱸、鯰魚、鮭魚、莫瑞鱈及大口鱸。在臺灣地區適合養殖的魚種⁽²⁾，食用魚有：吳郭魚、紅尼羅魚、七星鱸、銀鱸、曲腰魚、鯰魚、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 40~50g 的飼料，而每平方公尺果菜類每日約需餵食 50~90g 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% 的餌料。體重大於 50g 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，可增加養殖桶排汗的頻率並適度換水。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。

(七) 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餌料，因此在計算栽培數量均以投餌量為基準。假設 DWC 系統以 1T 的水養 20kg 魚，每日需餵食飼料 $20000\text{g} \times 1\% = 200\text{g}$ 。可種葉菜面積 $200\text{g}/40\text{g}/\text{m}^2 = 5\text{ m}^2$ 。栽培槽水量 $= 5\text{m}^2 \times 0.3\text{m}(\text{深度}) = 1.5\text{m}^3$ 。過濾系統容積為養殖桶容積 10~30%。總水量計算如下：

$$\text{總水量} = 1\text{T}(\text{魚桶}) + 1.5\text{T}(\text{水耕槽}) + 0.2\text{T}(\text{生化過濾器容量}) = 2.7\text{T}$$

(八) 飼料的氮轉換

影響水中氮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。魚取食餌料後約有 30% 的蛋白質會留在魚體內，因此 70% 的氮會排放到水中，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。大約會有 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 200g 飼料 (32% 蛋白質) 計算，會產生 7.5g 的氨，計算式如下：

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

(九) 生化過濾面積計算

硝化菌消耗氮的速率約 $0.2\text{-}2\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$ ⁽⁵⁾ 但與水量、水溫、鹽度、pH、溶氧有關，

爲了簡化複雜的計算通常使用較保守的轉換率即 0.57 g/m²/day。因此 7.5g 的氮每日須有 13.2m² 的硝化菌面積才能完全轉換成硝酸鹽，計算式如下：

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

5.10 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，常用的生化過濾資材如表 1 所示。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、持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) 爲例，僅需 22L 的生化球就能滿足每日 200g 餵食量的硝化反應需求，計算式如下：

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

表 1. 生化過濾資材及用量計算 (以 32% 蛋白質的飼料爲基準)

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 爲本文新增)

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、蕓菜及豆科植物。

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⁽²⁾，如以季節可分為：

春：皇宮菜、秋葵、空心菜、甜羅勒、甜椒、小黃瓜、山苦瓜、紫蘇。

夏：絲瓜、蒲瓜、玉米、芹菜、碗豆、羅勒、茄子、空心菜。

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。

(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，以維持水質穩定。在 DWC 系統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 FAD 系統盡量選擇大苗栽培，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(主要為鐵)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⁽⁵⁾。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。

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，猝倒病成爲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），是可行的防治策略。
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、番茄刺皮癭蟻、蚜蟲、薊馬、銀葉粉蝨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、粉蝨及薊馬等）進行控制。

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爲，但仍須定期關注以免系統失衡，检查工作依周期長短可分爲：

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。

結論與建議

- (一) 魚菜共生系統中作物經常會有缺鐵的現象而影響作物生長，因此適量的補充鐵是必需的，通常在水中添加 2 mg/L 的螯合鐵 (EDTA、DTPA 或 EDDHA) 就能改善之。
- (二) 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。
- (三) 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。
- (四) 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。潮汐式系統通常以每小時 1~2 次的頻率進行運作。
- (五) 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。
- (六) 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。
- (七) 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為害。
- (八) 魚菜共生系統對於養殖物、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。

- (九) 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殖物的衝擊危害。
- (十) 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。

參考文獻

1. 柯清水，2002。硝化細菌與水產養殖問答集。養魚世界雜誌社。
2. 魚菜共生健康農場，2015。魚菜共生：現採現吃！從地下室到樓頂，從零開始實踐的新型態懶人農法。城邦文化事業股份有限公司 麥浩斯出版。
3. 楊明樺、鄭金華，2011。Aquaponics 養殖雨水耕複合式系統簡介。水試專訊第 33 期，P36-38。
4. 劉富光，2014。淺談綜和水產養殖模式與養殖水耕系統，水試專訊第 46 期，P10-14。
5. Somervill C., M. Cohen, E. Pantanella, A. Stankus, 2014, Small-scale aquaponic food production Integrated fish and plant farming, FAO Fisheries and Aquaculture Technical paper 589.
6. Rakocy J. E., D. S. Bailey, R. C. Shultz, E. S. Thoman, *Update on Tilapia and Vegetable Production in the UVI Aquaponic System*, 2004, New Dimensions on Farmed Tilapia: Proceedings of the Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture, P676-690.

The Principle and Application Method of Aquaponics System

Ching-Fu Yang

Assistant researcher, Tainan District Agricultural Research and Extension Station, COA.

cfyang@mail.tndais.gov.tw

Abstract

In recent years, aquaculture and farming combined with the concept of aquaponics, it is gradually extending to every corner of the world. Many people in the building's roof, living room corner and home of the balcony, set up relying on fish water irrigation plants of the ecosystem. Not only to create a pleasant landscape, but also to provide fresh, healthy fruits and vegetables. The principle of the aquaponics system is the fish waste that is discharged into the water and is absorbed by the crop after nitrification. The water is purified by the crop and then recovered as fresh aquaculture water, thus improving the water use efficiency. In this study, two different types of aquaponics system were designed, the results show that aquaculture water can provide the nutrients needed for crop growth, but there will be a shortage of microelements, by appropriate supplement can make the crop normal growth, and crops can purify the water so that aquaculture water can be recycled. So as long as the control of the appropriate stocking density, the amount of feeding and with the season to select crops, as well as the right amount of nutrients needed to replenish the crop, this system can be regarded as a production system that can achieve energy saving, water saving and provincial fertilizer at the same time.

Key words: Aquaponics system, Hydroponics, Nitrification