

# Aquaponics 養殖與水耕複合系統簡介

楊明樺、鄭金華

水產試驗所東港生技研究中心

## 前言

傳統水產養殖須藉由大量換水來維持水質，不僅增加成本，加速水資源耗竭，排出的廢水因富含營養鹽也對河川及海洋造成污染。基於上述原因及生物安全防疫的概念，遂有學者探討零換水或少量換水養殖的可行性，其中，Aquaponics 是同時落實資源再利用與創造最佳收益的複合式生產模式。

## 何謂 Aquaponics ?

Aquaponics 同時結合了水產養殖 (Aquaculture) 與水耕栽培 (Hydroponics) 兩種模式。在零換水或少量換水的養殖條件下，水體中會逐漸累積對養殖生物有害的氮、磷廢棄物。這些廢棄物主要來自投餵的飼料，若不及時移除，將會逐漸累積並對養殖生物產生毒性。而水耕栽培是一種無土栽培，除賴部分介質固定外，尚需龐大水體與添加於其中的豐富營養鹽，其中以氮、磷為主要元素。因此，若能將養殖與水耕作連結，養殖過程產生的營養鹽可提供水耕植物生長，植物根系則有助於吸收、過濾對養殖生物有害的廢棄物，淨化水質，兩者有相輔相成的共生效果。

## Aquaponics 的形式

Aquaponics 由養殖槽與植栽床所構成，養殖槽包含養殖生物的維生系統，主要是供氧與去除懸浮顆粒設備。養殖生物以淡水魚蝦類為主，也可選擇海水魚蝦並搭配大型經濟海藻生產。植栽床沿用傳統的水耕系統，相異點在於使用的水與養殖槽循環流通，所需營養鹽除了部分元素如鉀、鈣、鐵需定期添加外，其餘皆由魚蝦飼料投餵後直接或間接轉換而來，無須添加其它營養鹽與更換水耕液。常見的植栽床有下列 3 種形式：

### 一、浮筏式 (Raft)

植物經育苗後移植於保力龍等聚苯乙烯材質上，使根部浸漬於水面下，水流從養殖槽經過濾系統去除懸浮顆粒後進入植栽床前端，再由植栽床末端回到養殖槽。浮筏式植栽床較適合商業性大面積生產，由於植物的營養大部分來自養殖槽，為避免營養鹽有短缺現象，可分期移植幼苗於植栽床，因浮筏可在水面上移動，當末端浮筏植株採收後，可由前端浮筏取代，形成一端移苗一端收穫的交錯式生產。浮筏式植栽床的另一項優點在於其大量的水體可作為維持養殖槽水質穩定的緩衝點，密佈於根系上的細菌可進行硝化作用，將對養殖生物有害的氨氮轉化成為

利於植物根系吸收的硝酸鹽。

## 二、礫耕式 (Media-filled bed)

植栽床為裝填砂礫或發泡煉石的凹槽，植物採直播或移植幼苗於砂礫上，養殖槽的水可不經過濾直接抽取至植栽床，利用其上的固形物來濾除懸浮顆粒，並可引進蚯蚓來消化分解這些濾出物。植栽床同時是最佳的生物濾床，砂礫表面附著的細菌能對養殖槽排出的有機與無機物行礦化分解或硝化作用，乾淨的水再回到養殖槽。礫耕式植栽床雖然產量較低，但由於所需設備較少，操作簡單，常被一般家庭作為趣味式栽培。

## 三、養液薄膜式 (Nutrient Film Technique, NFT)

此種形式的植栽床通常是狹長且具有斜度的溝槽，富含營養鹽的養殖用水經幫浦運送至植栽床前端，水流藉由地心引力導引至另一端，使植栽床上形成 1–3 cm 的水膜，最後再回到養殖槽。養液薄膜式的優點為植物根系僅部分浸漬於水裡，其餘裸露於空氣中，有利於養分與氧氣的吸收；缺點為不若浮筏式有較龐大水體來穩定水質，而且運送水至植栽床的管路較細小，若流出養殖槽的水過濾不完全則容易阻塞，導致植物枯死。

## Aquaponics 的利基

傳統水產養殖大都採用流水式將魚蝦糞便、過多懸浮顆粒以及溶解於水中的有害物質排放至池外，易污染河川與傳播疾病，即使採用循環水養殖，固形物容易去除，溶解於水中的氮氮廢棄物卻難以掌控，需借助細菌的力量進行硝化與脫氮作用才能徹底移

除。將水產養殖與水耕栽培結合後，收集的懸浮固體可製作堆肥或養殖蚯蚓，溶於水中的氮氮在植栽床裡可被轉換成植物容易吸收的硝酸鹽，乾淨的水再回到養殖池，整個系統只須損耗極少量的水，而且本來對養殖生物有害的物質卻可創造出附加產品，達到能量的充分利用。

傳統農耕的灌溉水與施用的化學肥料容易流失，雖然開發出水耕栽培可節省養分與水分，但從事水耕需具備專業知識來調配營養液，而且養液使用數次後因含有過多根系分泌物與部分元素欠缺須重新配製，廢棄的養液對環境生態也是個隱憂。Aquaponics 的水耕系統用的是養殖池的水，據研究顯示，其中包含各種植物所需營養鹽，僅需就鉀、鈣、鐵三種較欠缺的元素定期補充，並將 pH 值調整在動植物都能接受的 7.0–7.5 範圍內，不需花錢購買各種無機鹽並按配方調製營養液，只需拿著飼料享受餵魚的樂趣，便可同時兼顧動植物的營養需求。

水資源短缺在 21 世紀的今日已是個不爭的事實，省水栽培或省水養殖在台灣的氣候條件與資源限制下，將成為不得不奉行的圭臬，Aquaponics 比傳統農耕或水產養殖節省 80% 以上用水，即使在乾旱地區依然適用。

Aquaponics 具教育、休閒與娛樂性，一般家庭可在自家後院或陽台組裝小型複合式養殖系統，體驗用飼料餵魚，魚的排泄物經細菌轉化後成為營養物質再用來種菜，而菜同時替魚打造良好水質的過程，僅投餵飼料就可以同時收穫魚與蔬菜，親子間一同享受當農夫的樂趣。

## UVI 的 Aquaponics 系統－吳郭魚與蔬菜生產上的革新

此系統由維爾京群島大學 (UVI) 研究 Aquaponics 逾 30 年的 James Rakocy 博士所主導，使用 4 個 7.8 噸桶飼養尼羅與紅色吳郭魚，密度分別為 77 與 154 尾/m<sup>3</sup>，投餵含 32% 粗蛋白的浮性飼料，每桶放養魚苗日期都間隔 6 週，養殖 24 週收穫，收穫後立刻放養一批新的苗。2 種魚的單位產量分別為 61.5 與 70.7 kg/m<sup>3</sup>，FCR 分別為 1.7 與 1.8，年產量分別為 4.16 與 4.78 噸。水耕系統採用浮筏式，水量為養殖桶的 2 倍，面積為 8 倍。養殖桶的水流出後經淨化、過濾、除氣（硫化氫、氮氣等）後進入水耕槽，滯留時間約 3 個小時，接著進入集水槽，此時混合鹼基後由幫浦抽回養殖槽。栽培的植物為甜羅勒與黃秋葵，由於營養從飼料而來，投餵量決定水中營養鹽的多寡，經測試後得到適合的投餵率為 60–100 g/day/m<sup>2</sup> 栽培面積。甜羅勒的年產量以批次式生產（同時種植同時採收）雖然較交錯式來得高（5,341 與 5,008 kg/214m<sup>2</sup>/yr），但批次式在生長後期有營養不足的現象，採收後則有停止消耗水中營養鹽的空窗期。比較甜羅勒與黃秋葵在 Aquaponics 水耕與傳統農耕產量上的差異，結果水耕甜羅勒與黃秋葵分別為土耕的 3 倍與 18 倍。比較吳郭魚與兩種蔬菜的收益，則甜羅勒為吳郭魚的 4.6 倍，吳郭魚是黃秋葵的 3.8 倍（Rakocy, et al, 2004）。

系統中 pH 值以添加 Ca(OH)<sub>2</sub> 與 KOH 調節在 7.0–7.5，藉此補充飼料中 Ca 與 K 兩種元素的不足，並每隔 3 週添加螯合鐵 2 ppm。

檢視養殖槽的水進出水耕槽（種植黃秋葵）時各項水質的差異，結果流出後溶氧增加 33%，總氮降低 40%，亞硝酸鹽降低 51%，硝酸鹽增加 4%。溶氧增加是因為水耕槽裡裝了打氣，總氮與亞硝酸鹽降低是因為植物的吸收，而硝酸鹽不減反增可能是水耕槽裡硝化作用大於植物的吸收。水耕槽的電導度為 0.5 mS/cm，總溶解性固體為 236 ppm，均分別較典型水耕液的 2–4 mS/cm 與 1,000–2,600 ppm 要低；微量元素中僅鋅、銅、鐵濃度等同或較典型水耕液高，其餘元素都偏低。

整個 UVI Aquaponics 系統總水量約 111 噸，已使用 4 年，期間從未大量換水，僅在試驗進行時每日補充總水量 1.5% 的流失水，補充的水來自收集的雨水，換算此系統創造 100 美元產值的用水量，當吳郭魚與高苜搭配生產時為 210 L，與甜羅勒搭配生產時為 85 L，可謂達到最佳省水狀態。

UVI 為了將這套 Aquaponics 的技術與理念推廣出去，已經連續 12 年在該校的農業試驗所舉辦為期 1 週的訓練課程，參與者來自世界各地，有人認為這可成為另類的都市農業，有人認為在未來的糧食危機中這可達到永續生產，也有人已經從中開發出商機。



UVI 的 Aquaponics 系統（圖片取自網路：Update on UVI system PowerPoint 676）