

# 養殖水耕—魚菜共生



行政院農業委員會水產試驗所  
Fisheries Research Institute, COA

# 養殖水耕—魚菜共生



行政院農業委員會水產試驗所  
Fisheries Research Institute, COA

中華民國一〇六年十月  
October 2017



## 序

全球人口預估在 2030 年將超過 80 億，然而氣候變遷導致食物和用水供應的不穩定性卻持續升高，在此雙重壓力之下，如何確保糧食的安全供應，已成為各國政府關注的焦點，也是攸關人類永續生存的大問題。

水產品向來是人類重要的優質蛋白質來源，其需求量隨著人口的成長、生活水準的提昇與健康意識的抬頭持續擴大，每年約以 1.5–3% 的速率節節上升，預估到 2030 年，必須生產將近 1.6 億公噸以上的水產品，才足以滿足全球所需。過去漁撈業為水產品的主要供應來源，惟自 1990 年代以來，其發展陷入停滯，漁獲量趨近飽和；相對之下，可做計畫性生產的水產養殖預期將取代捕撈漁業，成為水產品的主要供應體系。

臺灣的水產養殖從 1960 年代開始迅速發展，是促進我國漁村經濟成長的重要功臣，但另一方面，水源短缺、環境惡化、疫病藥殘等問題也持續衝擊著產業的永續經營，有待研發友善環境的養殖模式加以緩解。再者，由於意識到資源匱乏的急迫性與嚴重性，「循環經濟」已被認為是善待地球的最佳生產方式，也是產業未來的發展主流。因此符合節能、綠色環保、循環再利用之友善環境的

生態養殖模式越來越受到各國重視。

養殖水耕是仿效生態循環的方式，結合水產養殖、水耕蔬菜及微生物分解的技術，以生態平衡、農漁和諧的生產模式，實現養魚不換水、種菜不施肥的共生效應。本所淡水繁養殖研究中心從事養殖水耕研究多年，本技術手冊特將相關研發成果和最新文獻資料彙編成冊，內容涵蓋養殖水耕的系統介紹、養植物種、水質管理、飼料營養、作物種類、系統管理及病害防治等，除供有興趣的民眾參考利用之外，更希望能吸引更多人投入相關設施的研究與開發，終而能夠落實友善環境與資源循環再利用，達成生態與經濟雙贏的目標。

行政院農業委員會水產試驗所

所長

陳君如 謹識

中華民國一〇六年十月



# 目次

# Contents

一、前言	1
二、系統原理架構簡介	4
(一) 系統原理	4
(二) 系統設置	5
三、養殖物種及環境條件	12
(一) 水產養殖物種的選擇	12
(二) 環境水質條件	18
四、飼料與營養	23
(一) 水產動物的特性	23
(二) 飼料營養需求	24
(三) 水產飼料的選擇	27
(四) 系統的氮磷流向	28
五、魚類的疾病與防治	30
(一) 錨蟲病	30
(二) 魚蝨病	30
(三) 白點蟲病	31
(四) 車輪蟲病	31
(五) 吸蟲病	31
(六) 爛尾爛鰭症	32
(七) 爛鰓病	32
(八) 鏈球菌病	32
(九) 水黴病	33



<b>六、植栽作物的種類</b> .....	34
(一) 十字花科植物.....	34
(二) 菊科植物.....	34
(三) 茄科植物.....	35
(四) 葫蘆科植物.....	35
(五) 璇花科植物.....	36
(六) 香草植物.....	36
(七) 其它.....	37
<b>七、作物的營養需求與病蟲害</b> .....	38
(一) 主要元素.....	38
(二) 微量元素.....	39
(三) 系統常見的蟲害.....	40
(四) 植物病害.....	42
<b>八、養殖水耕系統的魚菜比例</b> .....	44
<b>九、植栽的種植規劃</b> .....	46
<b>十、系統的健康管理</b> .....	48
(一) 系統操作維護.....	48
(二) 養殖物種管理.....	49
(三) 作物栽培管理.....	53
<b>十一、結論</b> .....	56



## 一、前言

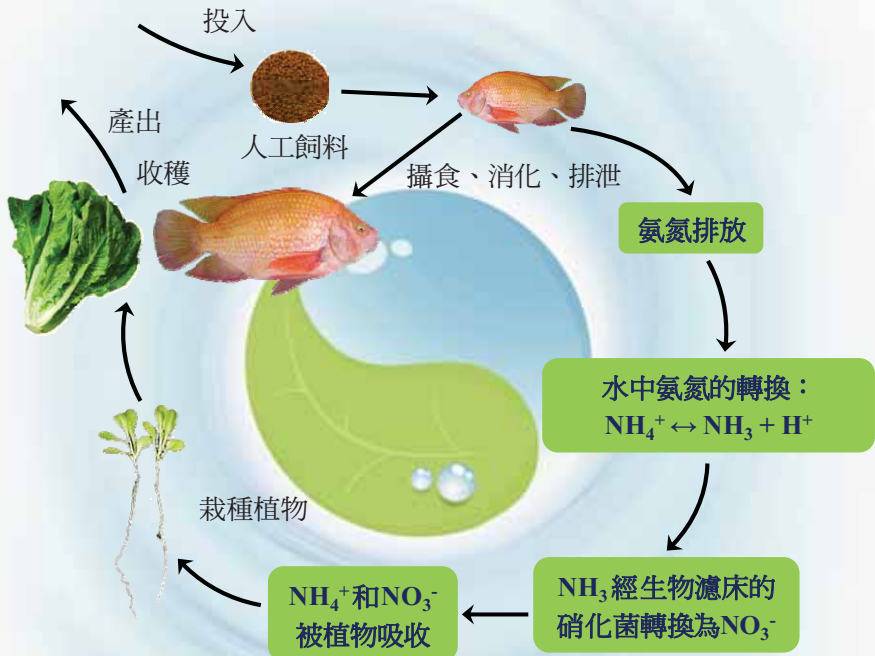
生態、環境、資源和食安是永續糧食供應的核心關鍵，首要之務必須解決氣候異常、土壤肥力流失、天然資源不足和淡水資源短缺等問題，因此，衍生出生態循環農法，效法大自然的生態循環原理，充分利用有限的水土資源，生產安全的農作產品。其中，以養魚不換水、種菜不施肥的概念發展養殖水耕模式，可減少水資源消耗，降低養殖排放水對環境的衝擊，具有資源循環再利用的特色，又能生產安全的動物性蛋白和農作物而日受重視。

養殖水耕 (aquaponics) 因不同系統樣態，亦稱為魚菜共生、養耕共生、養殖水培、複合式養耕等，是結合水產養殖與水耕栽培植物的互利共生生態系統，系統中未被養殖動物充分利用的有機和無機營養，由植栽作物從中獲得生長所需的營養鹽，並將水淨化供給水產動物使用，可減少養殖系統中的有機排泄物堆積，有效率的循環使用養殖用水，降低排放水對環境所造成的衝擊。其收穫除水產養殖物外，養殖期間所收成的農作物也成為系統的副產物，同時由於水資源的循環利用而達到省水的效果。

結合水產動物和植物栽培的複合式農作概念和施作已年代久遠，在一、兩千年前各地主要文明均曾有類似的做法，例如中國或東南亞地區的稻田圈養水生動物，以及中美洲阿茲特克人在淺水湖床上的人工浮島栽種植物而水道中則有魚。嚴格說來，上述的例子似乎較符合魚菜共生一詞，而隨著無土水耕栽培技術的開發，近半個世紀發展出來的養殖水耕系統，則是循環水養殖與水耕植物栽培的結合，就在 1970 年代，深水式水耕和介質式水耕陸續被運用在養殖水耕系統，迄今仍是常見的運作系統。

養殖水耕系統具有省水和資源循環再利用的特點，因為強調生態共生，普遍受到追求飲食安全健康者的喜愛，且在有限的土地空間裡同時生產水產品和農作物，規模可從小型庭院怡情自給自足，放大到商業化生產規模。檢索 Google 網站趨勢分析，發現自 2010 年開始，養殖水耕一詞的搜尋頻度始終維持相當熱門，搜尋偏好地區以澳洲、印尼和美國居前三名，臺灣則從 2013 年搜尋頻度開始升高，熱門度分別以系統主題、水耕栽培和養殖魚種居多。本文彙整本所近幾年的研究結果並融合其他學者的經驗與見解，介紹養殖水耕系統的主要三個元件：水生動物、植栽作物、過濾循環系統及系

統內彼此間的交互關係，本文扼要說明養殖水產動物、植栽作物、系統建置和管理調控等項目，佐以相關試驗研究的結果加以說明，供各界養殖水耕愛好者之參考。

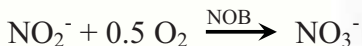
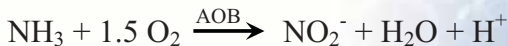
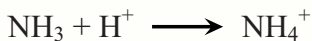


▲ 養殖水耕系統的氮循環

## 二、系統原理架構簡介

### (一) 系統原理

養殖水耕是結合循環養殖和水耕栽培的複合式養殖系統，其原理是以植物、水產動物及微生物三者間的互利循環為主軸，透過水體的傳導，達到同時生產水產動物和植栽作物的目的。投入系統中的飼料經過魚隻的吸收代謝後轉化為氨 ( $\text{NH}_3$ ) 排泄到水中，是毒性較高的含氮廢物，大部分會與水中的氫離子 ( $\text{H}^+$ ) 結合形成毒性較低的銨離子 ( $\text{NH}_4^+$ )，其他則藉由生物濾床中的硝化菌類，如氨氧化菌 (ammonia oxidation bacteria, AOB) 與亞硝酸氧化菌 (nitrite oxidation bacteria, NOB)，在富氧的環境中將其轉換為植物可吸收利用的硝酸鹽類 ( $\text{NO}_3^-$ )，而固態的排泄物也經由異營菌分解供植物吸收利用。水體經由植物吸收淨化後迴流到養殖區循環再利用，有效降低水體中對養殖物有害的代謝產物，且能減少植物成長所需肥份的施用。



## (二) 系統設置

養殖水耕系統循環水設施由養殖槽、沉澱槽、生物過濾床、水耕植栽床等串聯而成，以下各別說明：

### 1. 養殖槽

養殖槽空間需能維持魚類的正常活存和成長，槽形影響水循環效果甚大，通常使用圓形或方形水槽，池底平坦或呈錐形，以避免死角積累太多有機固形物。材質以玻璃纖維或塑膠材質為主，養殖槽的重量輕且易於移動，若地面池設計則以水泥池或鋪防水塑膠布。另外，可用易於取得的塑膠桶或中型散裝容器 (intermediate bulk container, IBC) 等二手容器，但需注意事先清理，避免污染物留存其中。桶槽容器的顏色以白色或輕色系，較易於觀察魚體的外觀、行為和糞便等是否正常，如果設置在室外，槽頂應加蓋防逃，並可避免藻類滋生、樹葉等雜物進入和掠食動物捕食等，一般使用 80—90% 遮光率的黑網。

### 2. 沉澱槽或過濾槽

沉澱槽或過濾槽主要以重力沉降或物理過濾的方式從水中分離出比重較大的顆粒，將養殖槽所產生的固體懸浮物 (糞便、殘餌及微生物碎屑等) 予以移除，以免堵塞系統、干

擾水流、降低溶氧、酸鹼值 (pH) 下降、水質惡化或殘留在槽底行厭氧分解產生有毒物質；再者，如未篩除水中固形物，會附著蓄積在植物根部形成厭氧區而導致缺氧，會阻礙植物吸收水中營養。因此，定期排污是日常管理中極為重要的工作，避免系統累積過多污泥，而破壞設施的正常功能。移除的污泥可做有機堆肥，或將之導引到礦化槽，添加碳源如糖蜜等，在強曝氣的狀況下經 2—4 週的礦化作用 (mineralization) 分解為可溶性營養鹽，再流到植栽床供植物生長所需。



養殖槽



生物濾床



植栽床



礦化槽

▲ 養殖水耕系統重要元件

### 3. 生物濾床

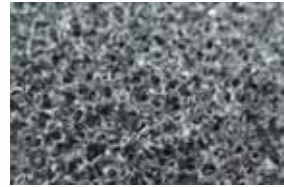
以濾材附著硝化菌形成生物膜，利用好氧性硝化作用將水中氨氮化合物轉換為硝酸鹽。生物濾床的去氨效果取決於能讓硝化菌滋長的可附著表面積，為達生物過濾的最大效率，濾材必須具有多孔性以增加比表面積（面積與單位體積之比），且需具有化學惰性、不易破碎及不會釋出毒化物等特性。常見使用於系統的濾材有：發泡煉石、火山石、牡蠣殼、岩棉、陶瓷環、化學纖維、生化濾棉、生物濾球、塑膠毛刷等。生物濾床需具通透性，避免氧氣不足或過量負載；因日光對於硝化菌有一定程度的危害，系統運作時生物濾床應加蓋遮光裝置，避免日光照射抑制菌類生長。



發泡煉石



陶瓷環



生化濾棉



生物濾球



聚乙烯生物濾球



毛刷

▲生物濾床常見的濾材

在生物濾床中除一般所熟知的硝化菌，還有另外一類可將水中固形物（飼料碎屑、固態排泄物、破碎的植物組織及藻菌死亡後剝落的團塊等）分解的異營性細菌。此外，濾床中還有一些不受養殖水耕管理者歡迎的脫氮菌和致病菌，大多數的脫氮菌屬於厭氧菌，多躲藏於系統中水流的死角或固態廢物沉積的底層，將水中的亞硝酸鹽與硝酸鹽還原為 NO、NO<sub>2</sub> 或 N<sub>2</sub> 等釋放到空氣中，會減少系統中的肥份。為降低脫氮菌的數量，應定期清除系統中的固態廢物並加強水中溶氧的管理。

#### 4. 水耕植栽床

植栽床常見的方式有床架式、地面式、植牆型或水池型，可依地形和實際需求規劃。適當高度的植栽床可提高工作效率，避免因長時間的作業而造成腰酸背痛的情況，同時能夠增加栽培環境的清潔，減少地面上病蟲害、塵土等的接觸。

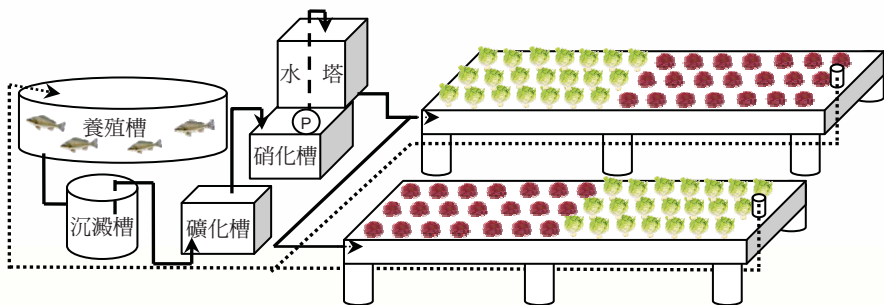
養殖水耕系統會因不同的植栽作物、操作技術、地理條件等因素而有不同的設計，以養殖槽桶搭配不同的水耕栽種模式，大略可分為深水式、介質式、薄膜式等三大類，在水位、流量、保溫、寬度、長度、深度等都有不同設計方式和操作條件。

### (1)深水式栽培 (deep water culture)

深水式栽培主要以保麗龍、泡棉板等浮體材質製成的浮筏，將植株栽植於浮筏上，使作物根部浸泡於水體中，目前廣泛被應用在養殖水耕系統。深水式的優點為操作容易，水下空間足夠，能讓植物的根系自由地發展，適合葉菜類作物；缺點是不易栽種中、大型植物，而且如直接將浮筏放置在養殖槽上，雜食性魚類會啃食作物根系，必須在浮筏下方以圍網保護根系。此外，保麗龍、泡棉板等材質經長時間浸泡曝曬的關係，容易造成污垢堆積或脆化的情況，需視情況清洗換新。

### (2)介質式栽培 (media bed culture)

介質式栽培（介質耕）較常見於庭院型的養殖水耕系統，量產化或商轉型的系統基於成本考量和操作便利性不常

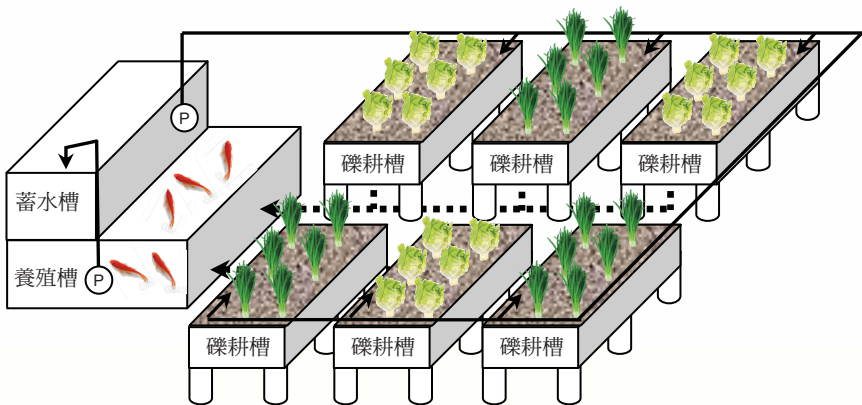


▲深水式栽培

使用。目前廣泛應用的介質有發泡煉石、火山岩、陶粒、岩棉、砂石及合成海綿等無機物，以及經高溫、高壓滅菌處理的有機物栽培介質，鋪設的厚度在 10—30 cm，視植栽物種而定。介質式的優點為介質支撐力較佳，而且介質能讓硝化菌附著，達到過濾分解的效果；缺點是清理耗時費工，在高溫多溼的處所容易發霉。介質耕常見的水流方式為潮汐式的鐘形虹吸，水持續流進植栽床到快淹沒介質時（約表層下 10 cm），運用虹吸原理將水排放，如此週而復始；另為持續式水流，以滴流的方式使水在植栽床中維持一定液面高度。

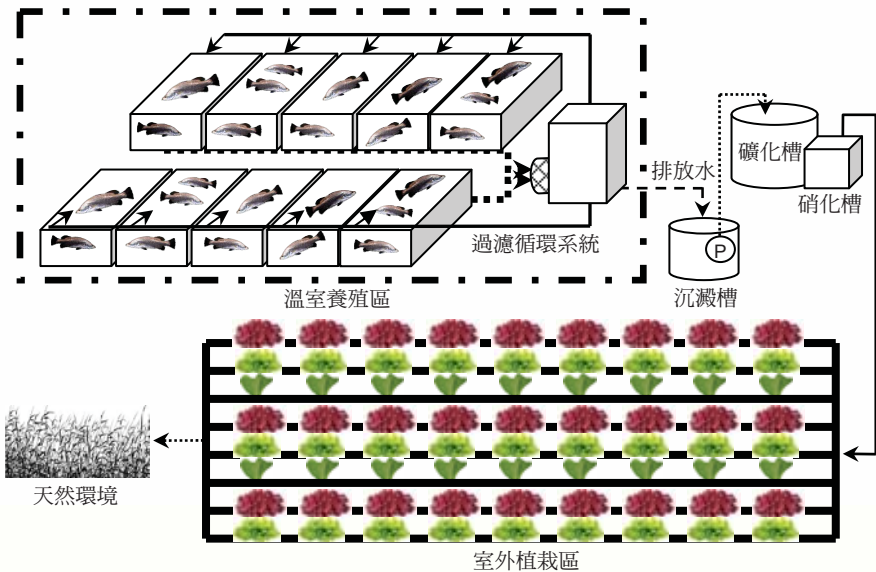
### (3) 薄膜式栽培 (nutrient film techniques culture)

薄膜式栽培亦可稱為管道式或管耕式的栽種方法，是在



▲介質式栽培

管槽上方間隔一定距離鑽洞種植，植物根系懸架於管槽內接觸水流以吸收養分。薄膜式栽種常見於商轉型的水耕栽培，亦為持續式水流，但不像其他系統，水量並不足以淹沒植物根部，因此只適合生長快速的葉菜類植物，不適用於種植較重且根系龐大的大型植物。薄膜式種植可設計為立體階梯式，優點為能在有限的平面空間做立體式栽培，提升作物生產面積。但由於薄膜式管線狀的設計，水體深僅 1—2 cm，相對於深水式水體較少，須多加注意管內水位避免乾涸及清除有機物淤積，同時注意環境溫度變化對管內水體與植體的影響。



▲薄膜式栽培

### 三、養殖物種及環境條件

#### (一) 水產養殖物種的選擇

養殖水耕多採用設施生產，所挑選的養殖物種需考慮系統的大小與構成組件不同、管理方式差異、養殖區域不同及季節等因素所造成的限制。放養密度則視目標物種的特性和系統的容載量而定，規劃良好的循環水系統，每噸水的放養量可達 60—80 kg 以上，而一般庭院型系統因設備簡易放養量可低於 10 kg。至於養殖種類，只要依據不同養殖物種的需求調整合適的養殖環境與管理方式，大多數的淡水物種都可在系統中養殖，如養殖物種為外來種，需做好防逃措施，以免影響生態。

##### 1. 慈鯛科魚類

因親魚有護幼行為而得其名，產於中南美洲、非洲及西印度群島等地，食性為肉食、雜食或草食。因本科魚種體色大都豔麗多變，常見於觀賞水族市場。由於分布於熱帶地區，對於低溫較敏感，在系統中養殖時應注意冬季的保溫工作。除產於中南美洲的品種需養殖於弱酸性水質外，其他較適合養殖於中性至弱鹼性的環境。

本科中最耳熟能詳的魚種就是吳郭魚，原產於非洲地區的魚種，廣鹽性，屬於雜食性魚，對水質的要求不高，可活存的 pH 約在 5.0—10.0 之間，在溶氧偏低 (0.4 ppm) 時仍可活存，是養殖水耕熱愛者入門的魚種。

## 2. 鰱科魚類

銀鱸和寶石鱸兩種都是原產於澳洲的淡水魚，可適應 12 psu 以下的半淡鹹水。銀鱸具有雜食性、成長快速、生性溫和不相互殘食、性喜底棲適合混養、可高密度放養於池塘中且養成率高、易於接受人工飼料且換肉係數佳等優點。較適合的 pH 介於 6.5—8.5 之間，養殖溫度介於 23—28°C，一般魚塭養殖多位於中南部地區，冬季氣溫較高，若在其它地區養殖，須注意系統低溫期之保溫工作。

## 3. 鱸魚

臺灣淡水養殖常見的鱸魚有三種：七星鱸、金目鱸及美洲大口鱸，常被用於控制養殖池中自然繁殖的小魚，前兩者是臺灣沿海常見的海水肉食性魚，經馴化後能夠養殖於淡水中。投銀市售鱸魚配合飼料，成長快速肉質佳，活動性較高，對於水質要求較高，較適合的 pH 介於 6.0—8.5，對低溶氧環境耐受度差 (需高於 3 ppm)，較適合的養殖溫度是 15—28°C

間。低溫時期捕撈移池容易受傷感染，甚或死亡，因此一般多由小魚養殖直到出售為止。

#### 4. 鯉科魚類

本科魚類在臺灣常見的有草魚、鱧魚（白鱧或稱竹葉鱧）、鱮魚（黑鱧或稱大頭鱧）、青魚（烏鯰）、鯉魚（可分為黑鯉、德國鯉、錦鯉）、鯪魚（鯪仔）、鯽魚（土鯽、日本河內鯽）與鯛魚（苦花）等。

本科較常見的養殖種類有俗稱四大家魚的草魚、鱧魚、鱮魚和青魚，以及鯉魚、鯽魚等。多以混養方式放養於池中，草魚棲息在池塘中、底層，屬草食性，以大型水草為主食；鱧魚與鱮魚生活在池塘上層，分別以濾食植物性浮游生物和動物性浮游生物為生；鯉魚和鯽魚屬雜食性，以底棲無脊椎動物及有機碎屑物為主，多棲息於底層；青魚喜食螺、貝類，以咽頭齒咬破其外殼，屬底層魚。

本科魚類對於水質需求不高，較適合的養殖溫度是 25—32℃。養殖時一般多維持溶氧 3—6 ppm，pH 6.8—8.0，對於低溫忍受度較高，如空間夠大是系統養殖時不錯的選擇，但部分種類較會跳躍，須注意防逃。

## 5. 鯰科魚類及鰍科魚類

鯰科魚類的分布從亞洲到歐洲、自溫帶到熱帶，對環境的適應性大，pH 6.5—8.5，溫度從 0—35°C 間都有，因種類而異，較耐低溶氧環境。部分種類因有特化的輔助呼吸器官，可以從空氣中呼吸空氣。食性廣，小魚、小蝦、底棲無脊椎生物、附著性藻類及腐敗的動植物碎屑等，如鯰魚、塘虱魚等。

鰍科魚類在臺灣較常見的就是泥鰍，泥鰍以底棲無脊椎動物、昆蟲等為食，可忍受的水溫介於 2—30°C 間，pH 則介於 7—8.5。除鰓部呼吸外，並可藉由吞入空氣以腸道輔助呼吸。

由於上述兩類的魚種對環境適應力較強，成長快，且對於人工飼料接受度高，可以高密度養殖，十分適合養殖在養殖水耕系統中。

## 6. 甲殼類

淡水養殖的甲殼類有沼蝦、米蝦、淡水蟹類及淡水螯蝦等，常見的有淡水長臂大蝦、貪食沼蝦、溪蝦（日本沼蝦及臺灣沼蝦）、觀賞蝦（琉璃蝦、玫瑰蝦、極火蝦等）、毛蟹及大閘蟹。淡水甲殼類喜歡棲息於水流較緩的水域，多以貝類、

甲殼類、水生昆蟲與幼蟲、水草新芽和嫩莖及水藻等為食，可以混養於系統的底部，撿食其他養殖生物的殘餌及有機碎屑。

甲殼類合適的 pH 為 6.5—9.0，少數觀賞蝦可以生活在 pH 6.0 的環境中，系統 pH 過低不利於脫殼，可添加石灰、苦土石灰或蚶殼粉加以調節，並藉以提高水中鈣的濃度，補充甲殼類與作物生長時之所需。水溫範圍因種類不同而異，可從 13—30°C，一般而言在適合的範圍內，水溫越高成長越快。甲殼類因生理需求，成長過程會有蛻殼（或脫殼）成長的現象，在蛻殼後新殼尚未恢復硬度前，須提供適當的躲藏空間避免受攻擊。

## 7. 其它

除上述養殖物種外，尚有虹鱒、墨瑞鱒、鰻魚、鱒魚、溪流魚類如香魚、溪哥、馬口魚、石鱸以及筍殼魚等也是國內外的商轉型養殖水耕系統或個人玩家的對象種類，由於養殖條件較高、成長較慢、市場銷路或容易逃逸等複雜因素，在此不一一敘述其養殖條件，有興趣的讀者可查閱本所出版之臺灣淡水魚類養殖（上、下冊）。



吳郭魚



銀鱸



泥鰍



美洲大口鱸



鯉魚



泰國長臂大蝦

▲系統常見的養殖種類

## (二) 環境水質條件

水是養殖水耕系統的主角，是養殖物棲身的場所，也是微生物將養殖物的排泄物分解轉換的所在，而作物根系呼吸、吸收養分也需要水體的媒介，因此水質條件對於系統的運作極為重要。水質變化不僅會被系統中養殖物、微生物、植物的吸收排泄所左右，更會受周遭環境（日照、氣溫、空氣、降雨、氣壓等）所影響。管理人員如忽略水質問題，就會使系統運作受阻，甚或造成養殖物與作物的死亡。需經常監控的系統水質因子如下：

### 1. 酸鹼值

pH 是反映水體是否適合養殖物生長的重要指標，通常水產動物較適宜的 pH 是 6.5—8.5，高於 11 破壞養殖動物的鰓組織，低於 4 則影響養殖生物生理功能、生殖功能和生長速度下降。一般而言，水質偏酸（pH 低）大多是水中有機物含量較高所造成，是水質變壞的表現，可能造成養殖物種的缺氧情形。硝化菌在 pH 6.0 以下不易進行硝化作用，生物濾床的功能大幅減低，導致水中氨的累積，然系統酸鹼偏高則增加氨中毒的風險。另一方面，當水體 pH 過高時，會使礦物鹽沉澱，不利植物吸收利用，植物吸收營養鹽的合適 pH 在

6.0—6.5，而養殖水耕系統理想的 pH 在微酸性到中性，至少應監控維持在 6.0—7.5，低於 5.0 或高於 8.0 是整個生態循環系統瀕臨瓦解的警訊。

## 2. 溫度

溫度影響生物體的生化反應，故溫度是維持養殖水耕系統魚菜正常生長的重要因素。如前所述，不同的養殖動物有其合適的生存水溫，通常在適溫範圍內，溫度越高養殖魚成長越快，但高溫時養殖物新陳代謝快耗氧量高，應注意水中氧氣的供給。此外，養殖動物對溫度變化也有一定的適應範圍，魚苗期在短時間內溫差應小於 2°C，養成期溫差不宜超過 4°C，否則易因溫度緊迫而抗病力下降或引起死亡。

作物依種類的不同，也有不同的生長溫度，通常適合植物生長的溫度較養殖魚蝦類來的低。作物如處於較低的溫度下，除生長較慢外，一般的生理現象相對穩定；但在高溫高濕的環境中，作物較易發生疫病感染。養殖物種和植栽作物的搭配亦需符合當令的氣候溫度，例如吳郭魚、鯉魚、鯰魚等暖水性魚種與空心菜、秋葵、地瓜葉和羅勒等較可搭配，而萵苣、菠菜和黃瓜等就適合略低的溫度。換言之，植栽生長的適溫範圍約為 18—30°C，但蔬菜需視生產季節而不同，

如冬季蔬果類 8—20℃，夏季瓜果類多為 17—30℃。

### 3. 溶氧

水中的溶氧只有空氣中的 1/30，而氧氣的擴散速度更只有空氣的 1/8000，因而養殖水耕系統的平時管理要特別注重溶氧量。充足溶氧可抑制和減輕氨氮、亞硝酸鹽、硫化氫對養殖動物的不利影響，促進養殖動物食慾、提高飼料利用率和加快生長發育。由於養殖水耕系統同時生產養殖動物與植栽作物，為使動植物都能順利生長，建議溶氧應維持在 5 ppm 以上。若水中溶氧低於動物所需時，會造成攝餌量低落、活動力下降、甚至浮頭或死亡；而系統中的植物缺氧時，根系會由白皙的顏色轉為黃褐色到黑色，更甚者會造成根系腐爛。

### 4. 硬度與電導度

硬度是指水中所含鈣、鎂、鐵、錳等陽離子之總濃度，國際上以碳酸鈣 ( $\text{CaCO}_3$ ) 的量 (ppm) 表示，水的硬度值可從軟水小於 55 ppm 到極高度硬水大於 300 ppm，一般建議養殖水耕系統水體的硬度值在 75—150 ppm，而雨水因離子含量較少其硬度值很低，故若使用雨水應留意補充鈣、鎂、鐵等。另外，鹼度或稱碳酸鹽硬度則是指水中碳酸鹽及重碳酸鹽的濃度，代表水體對於 pH 的緩衝能力，當鹼度值高時可

避免水質過度酸化而危及養殖物。

電導度代表在一定體積水溶液中離子的導電能力，是養殖水耕檢測系統營養的簡易方式，藉由測量電導度來衡量在單位水體中是否有足夠的營養鹽供植物生長。不過，電導度並不能完全闡釋水體營養狀態，因為有機營養無法由電導計所測得。系統的電導度通常會保持在 300—600  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ，如超過 3,500  $\mu\text{s}/\text{cm}$  可能造成植物毒性，就需考慮降低放養密度、減少飼料投餵和適時換水。

#### 5. 含氮化合物

氮循環是攸關養殖水耕系統運作的肥份關鍵，系統中氮的來源主要來自飼料，養殖動物將所攝食的飼料消化吸收，部分轉化留存在體內做為成長和生理作用所需，未被吸收的部分經代謝後由鰓部、尿液或糞便排放到系統，當然也可能有殘餌直接遺留在系統中。排到系統的氨氮在水中經化學反應轉換成銨鹽 ( $\text{NH}_4^+$ )，經生物濾床的微生物之代謝生成亞硝酸鹽，而最終代謝為硝酸鹽。

水中的總氨氮是未解離氨和離子化銨的和，二者間的動態平衡受水溫和 pH 的影響，高溫和高 pH 會使毒性較強的未解離氨濃度增高。養殖動物在總氨濃度 1 ppm 的環境即有中

毒症狀，長期處於亞中毒濃度則導致緊迫、神經受損、鰓部發炎、容易罹病及數量漸減；為使魚隻正常成長，建議未解離氨應低於 0.02 ppm。亞硝酸鹽是硝化過程的中間產物，魚養在 0.25 ppm 的環境中就有健康問題，2 ppm 即有棕血症導致血液攜氧不足。硝酸鹽是硝化作用的最終產物，魚雖能耐受 300 ppm 的硝酸鹽，但大於 100 ppm 對魚隻成長和飼料利用有負面影響，而硝酸鹽濃度大於 250 ppm 會使植體生長過旺和累積過多硝酸鹽。

硝酸鹽和銨鹽是常見的植物氮肥，用來做為植體成長及種子養分蓄積之用，養殖水耕系統的植栽對硝酸鹽的吸收較佳，至於移除硝酸鹽的效果則因植物種類和植體大小而異。另一方面，系統若有微藻生成會利用水中含氮鹽類，快速增殖致使含氮鹽類濃度下降；而系統若有厭氧區生成時，某些細菌可能進行脫硝作用，而將含氮鹽類轉換成氮氣釋放至空氣中。整體而言，在功能運轉正常且配有合適生物濾床的養殖水耕系統，氨和亞硝酸的濃度理想值應幾近於零，或頂多維持在 0.25 – 1.0 ppm。

## 四、飼料與營養

飼料用以維持養殖動物的正常生長、生理代謝、抗病、和繁殖等，並促進水產物量產。由於養殖種類繁多對於飼料的偏好或選擇性亦有所不同，且飼料的顏色、氣味、嗜口性、形狀和大小以及環境因子均影響水產動物對飼料的攝食。就養殖水耕系統而言，飼料是整個生產系統的重要環節，其品質與用量關係到動物生長和植物栽培的持續性，可說是日常系統管理的要角；換言之，投入系統的飼料必需適量，且含有均衡的蛋白質、脂質、碳水化合物、維生素及礦物質等主要營養素。

### (一) 水產動物的特性

水產動物的代謝機制基本上和家畜等陸上動物差別不大，但因是棲息在水中的變溫動物，由於生理構造及棲息環境的不同，在營養特性上有其獨特性。

在生理構造方面，以魚類為例，其消化道的形態較為簡單，且消化道長度與體長的比值要比哺乳類來得小；另外，在鯉魚和泥鰍等無胃魚的喉部，有發達的咽頭齒藉以磨碎食物；肉食性魚類消化道長度變短，對碳水化合物的利用能力

也變低。一般而言，魚類主要以蛋白質和脂質作為能量來源，而利用碳水化合物的能力較哺乳動物低，所以對於蛋白質的需求量也就比哺乳動物高。

## (二) 飼料營養需求

### 1. 蛋白質

動物利用蛋白質進行生長、組織修復、合成激素和酵素以及作為能量來源等，因而必須不斷提供蛋白質。蛋白質由胺基酸所組成，其中包括十種水產動物無法轉換合成的稱為必需胺基酸，因此討論水產動物對飼料蛋白質需求的前提是胺基酸的組成比例是否符合要求。當然蛋白質需求量會因魚種、體型、飼料蛋白源的營養價值以及養殖環境等而異，大致的範圍約佔飼料乾重的 30—55%；通常，肉食性魚約需 40—55% 的飼料蛋白質，但有些雜食性或草食性魚的最適蛋白質需求也達到 30—40%。同一物種隨著體型增長，蛋白質需求會相對逐漸下降，幼魚需求通常高於成魚。此外，飼料的蛋白質種類與品質，會影響消化吸收的效率。

### 2. 脂質

脂質為能量的重要來源，並提供動物生長所需的必需脂肪酸（在淡水魚為 18:2 $\omega$ -6 和/或 18:3 $\omega$ -3），具有構成生物膜、

激素、減少體熱散失、避免物理傷害與促進脂溶性維生素吸收等重要生理功能。飼料脂質含量不足，會導致代謝紊亂和蛋白質利用效率下降，還可能併發脂溶性維生素缺乏症及必需脂肪酸缺乏症；但飼料中油脂添加量過高，易造成過多脂質蓄積於魚體，同時也不利於飼料的貯藏，因此飼料中脂肪含量須適宜。魚類脂質需求量因魚種、成長階段、水溫、飼料蛋白質含量、能量高低及油脂來源而有所不同，一般淡水魚飼料的油脂含量大概在 5—15% 即可維持最佳的成長且不會造成過量的體脂堆積。

### 3. 碳水化合物

碳水化合物為碳、氫與氧組合而成的化合物，是動物主要的能量來源之一。魚蝦類沒有特定的碳水化合物需求量，但飼料中若缺乏適量的碳水化合物，動物將利用脂質和蛋白質做為能量來源；相反的，若飼料中可消化碳水化合物含量過高，將使肝臟變大而蒼白腫脹。通常魚蝦類對碳水化合物的利用率較陸上動物差，其中淡水或溫水魚類的利用能力較佳，飼料中碳水化合物含量約在 25—56%，若依食性分類，雜食性魚類比肉食性魚類對碳水化合物有較高利用率，如雜食性魚郭魚約為 40—44%。另外，飼料中的澱粉質在製作過

程經糊化作用，可提高養殖魚蝦類對生澱粉的利用率，並且增加粒狀飼料的粘結性。

#### 4. 維生素

維生素雖不是構成動物體的主要成分，也無法提供能量，但在動物體的代謝和生理功能上是必須的，主要以輔酶和催化劑的形式廣泛參與體內代謝的多種化學反應，確保動物體組織器官的細胞結構和功能正常，以維持動物的健康和各種生理作用。維生素通常依據溶解性質分為脂溶性（如維生素 A、D、E、K 等）與水溶性（如維生素 B 群、C、泛酸、菸鹼酸、生物素、葉酸、膽鹼及肌醇等）兩大類。維生素缺乏會引起代謝紊亂，產生各種臨床缺乏症狀，嚴重影響動物健康和生產效能，嚴重時會導致動物死亡。維生素的需求受其效價、飼料組成與成分、飼料加工方式、貯藏時間、養殖方式等多種因素的影響，一般水產飼料中均添加適量的綜合維生素以供生長代謝所需。

#### 5. 礦物質

礦物質為構成骨骼、細胞與組織的重要成分，並維持身體內的代謝調節、電解質平衡和酸鹼平衡等。動物體無法自身合成礦物質，需由食物中攝取，水產動物則可從環境水中

吸收，淡水魚主要由鰓和體表吸收，而海水魚則由腸道和體表吸收。雖從水中可吸收部分的礦物質，但飼料中含量（如磷、鋅等）不足時，卻常會使魚類呈現生長不良、食慾降低及骨骼變形等異常現象，一般水產飼料會添加適量的預拌料以提供水產動物足量的礦物質。水產動物所需的主要礦物質為鈣、氯、鎂、磷、鉀、鈉與硫，次要為鈷、銅、鉻、氟、碘、鐵、錳、鋁、鋅與硒，其中除了鉻、氟、碘及鈉，其餘皆為植物生理所需。

### (三) 水產飼料的選擇

常用之水產飼料有生鮮餌、粉狀飼料、濕式粒狀飼料、沉性粒狀飼料和浮性粒狀飼料，各有其優缺點，但沉性粒狀飼料和浮性粒狀飼料較利於養殖水耕系統的操作管理。使用浮性粒狀飼料在養殖管理上較容易觀察與清除殘餌、有利於了解養殖動物之攝餌狀態，做為調整餵食量參考或提早發現異狀等優點，沉性飼料則較適合底棲型魚類。

市售飼料優點為方便、衛生、易儲存且符合養殖生物營養需求，並有政府頒行之「飼料管理法」規範飼料業製造、輸入、販售、監督與罰則等，可維持一定的飼料品質。原則上應挑選養殖物種之專用飼料，若無飼養魚種專用飼料時，

可以選擇蛋白質需求或食性相近的物種飼料替代。此外，飼料的粒徑選擇，應選擇適合養殖動物口徑之大小，而隨魚隻成長，飼料粒徑也應適之調整。選擇飼料應注意下列幾



▲幾種常見的水產飼料

點：(1)包裝紮實，不可有車縫線不良或包裝袋破裂之現象；(2)飼料成粒良好、顆粒勻稱整齊且外表光滑沒有粉末，呈味要有濃烈的腥香或芳香，硬度適宜，且無發黴現象；(3)考量飼料的水中安定性；(4)營養組成必需均衡，至少須合於國家 CNS 規定；(5)購買不同廠牌的飼料比較其嗜口性及換肉率。

飼料在保存過程中，許多營養成分會隨保存時間的延長而減少營養價值及可利用率，甚至引起飼料質變，對養殖動物造成毒害。飼料不宜大批採購，保存過久或不當的保存狀況如高溫、過濕、強光及微生物等都會引起飼料品質降低。若發現飼料有異味變質時切不可再投餵，以免造成健康危害。

#### (四) 系統的氮磷流向

養殖水耕系統之氮、磷主要來自飼料，魚隻攝食後部分可蓄積為體成分，其餘則排放至水中，而經作物再吸收殘餘

的氮、磷。此外，系統中的氮、磷轉化流向還包括脫氮作用或曝氣的逸散、細菌與藻類的吸收等。以吳郭魚搭配福山萵苣的系統模式為例，首先飼料的原料、品質與粗蛋白含量就會影響試驗魚的氮轉換率及排入水中的氮量，以試驗結果推估，魚隻平均可從攝入的飼料中吸收留存 28.8% 的氮，而萵苣平均可由養殖水耕系統再額外利用約 10.1% 的氮；在磷蓄積方面，魚體平均可吸收 34.5% 的飼料磷，萵苣則可平均再蓄積 5.1% 的磷。換言之，養殖水耕可增加對於飼料投入系統中的氮磷利用，但由於萵苣等葉菜類屬低營養需求的植物，如搭配種植其它對氮磷需求較高的植物，或是由系統生態多樣化的觀點導入其他物種，將可再提高系統的氮磷循環利用率。此外，不同的魚菜搭配組合、飼料品質與系統環境條件亦可能會影響氮磷利用效率。

飼料投入系統的氮磷蓄積情形

	收 支 流 向	氮		磷	
		總重(kg)	比例(%)	總重(kg)	比例(%)
攝入	吳郭魚飼料	2.17	100	0.74	100
轉化	魚體	0.63	28.8	0.26	34.5
	植體	0.22	10.1	0.04	5.1
	水體	0.24	10.8	0.18	24.5
	底泥	0.10	4.8	0.09	11.9

## 五、魚類的疾病與防治

養殖過程中魚蝦因水質不佳、營養不良、緊迫性高等相關因素，疾病會因此而發生，如魚蝨病、錨蟲病、白點病、水黴菌病、爛鰓及爛鰭等，初期可能僅僅造成魚隻不適，如放任不予理會，容易造成養殖物大量死亡，在養殖水耕系統的管理上應多加注重疾病的預防。如果已發病，應盡速洽魚病防治單位確診，對症下藥，以免延誤疫情。養殖動物常見的疾病如下：

### (一) 錨蟲病

又稱針蟲病或箭蟲病，錨蟲是屬於節肢動物，剛孵化的蟲體呈浮游狀態，數日後附著在魚體並鑽入皮層下進行寄生，前端呈錨狀固著，成體數個月後死亡，期間會多次產卵。受寄生的部位會有點狀突起，中心會有一針狀物（蟲體），造成賣相不佳，降低商品價值；如寄生在口腔內，魚隻會無法進食，最後導致死亡。

### (二) 魚蝨病

本病的病原魚蝨也是屬於節肢動物，幼生時期漂浮於水體中，成體呈扁葉形寄生在魚體上，常造成魚隻不適而摩擦

池壁或跳出水面，企圖使體表蟲體脫落，但反而造成多處傷口，會併發細菌或水黴菌等感染而加重病情，造成傷亡。導因於水質不佳或池底蓄積過多有機碎屑所造成，系統在管理時應多加留意。

### (三) 白點蟲病

小型纖毛蟲類所引起，病原蟲寄生於魚類體表，被寄生的魚隻體表黏液增生，覆蓋蟲體而形成白色點狀。嚴重時寄主為去除蟲體多會摩擦池壁，會造成鰓部及體表潰爛，活動力下降及大量死亡。多發生在季節變化時，低溫期尤應特別注意。

### (四) 車輪蟲病

因車輪蟲寄生體表及鰓部所引起，常因水質不佳或底質不良，鏡檢時可以看到魚隻體表附著碟型的蟲體，初期症狀與白點病相近，因發病時程快速，如未能及時治療，恐將造成二次感染，嚴重時會導致死亡。

### (五) 吸蟲病

常見的有指環蟲與三代蟲，多寄生在養殖物的鰓部，叮咬在軟組織上，檢視養殖動物鰓部時會發現黏液增多，寄生部位容易發生潰爛。魚隻在感染初期無特別的症狀，嚴重時，

魚隻常會浮頭，索餌情形不佳，最後併發二次性感染發生潰爛死亡病情，多因有機物淤積過多所造成，加強移除可有效防治本病的爆發。

### (六) 爛尾爛鰭症

因細菌感染所引起，多發生在魚隻搬運後體力變差時，感染時會從鰭的邊緣開始溶失腐爛，最後發展到身體，終至死亡。如魚隻少時可以用鹽浴的方式治療，但須考量魚隻的耐鹽程度，並將系統中養殖區與植栽區的循環管線斷路，以免影響植栽的成長。

### (七) 爛鰓病

爛鰓病主要原因多由寄生蟲、黴菌或細菌等感染所引起，罹病魚鰓部出現灰白色點狀、浮腫及黏液增多等症狀，嚴重時會有鰓絲潰爛、鰓部軟骨外露、鰓絲變白與黴菌附著等症狀，極易引起死亡。多因養殖環境不佳所引發，預防方式為減少水中固形物的量，增加溶氧及減少魚隻緊迫等。

### (八) 鏈球菌病

鏈球菌是金目鱸、吳郭魚、海鱸、烏魚及條紋鱸等常見的疾病，多發生在夏季或高水溫期。病原屬於鏈球菌屬之格蘭氏陽性球菌，外觀上病魚出現體色變黑、游泳異常、浮游

於池面或倦躺於池邊、部分魚隻眼球突出或角膜混濁，部分內臟則有腫大出血的現象。如有發生應速洽魚病防治單位確診用藥，以免疫情擴大。

### (九) 水黴病

是由黴菌感染所造成，以水中腐敗的有機質為營養來源，主要感染養殖動物的表皮、鰓部、傷口或卵，多在養殖動物免疫力下降時發生，故常見於低水溫期、體表有傷口或有機物過多的系統中。感染時體表可見白色棉絮物，會造成體表潰瘍或鰓絲壞死等症狀，對於食用魚可以鹽浴進行治療。



錨蟲



白點



車輪蟲(鄧晶瑩提供)



指環蟲



爛尾



鏈球菌感染(鄧晶瑩提供)

#### ▲ 幾種常見的魚病

## 六、植栽作物的種類

估計全球至少超過 150 種植栽作物被種植於養殖水耕系統中，包括葉菜類、根菜類、莖菜類、果菜類、漿果類、豆類和花等，從商業的角度來看，選擇栽種的物種當然要在有限的面積和最短的時間內能獲得最大的收益。植栽的選擇也要依據系統建置的位置環境、設施架構、溫度、季節性、植物特性、需肥程度和種植期程來考量。

### (一) 十字花科植物

本科植物具 4 枚花瓣，大都呈十字對稱而得名，全世界共有 300 屬，2,500 種以上，廣泛散居全球各地，但以溫帶地區較多，對於高溫耐受性不佳及成長不良。臺灣約有 19 種，如大白菜、小白菜、高麗菜、蘿蔔、花菜、青江菜及芥菜等，通常小型的葉菜種類約 4—6 週即可採收，例如蜜雪兒白菜在冬季利用深水式系統種植 45 天，平均每顆可長到 120 g。本科植物因含有硫配醣體及芥子酶，在食用時會有特殊風味（芥末味）產生，易吸引紋白蝶及小菜蛾等在葉片產卵，栽種時須注意防治。

### (二) 菊科植物

菊科是雙子葉植物中最多屬的一個科，廣泛分布在全世界，熱帶地區種類及數量較少，較適合冷涼氣候栽植。在臺灣常見的高苣類（俗名有大陸妹、A 菜、羅曼、高苣等）、茼蒿、紅鳳菜等皆是本科蔬菜，是養殖水耕系統的入門物種，單位產量因種類而異，例如在冷涼季節以深水式栽種福山高苣和直立高苣，6 週後每平方公尺可收成的量分別為 6 和 5 kg。本科某些作物因具有特殊氣味及苦味不受部分昆蟲喜愛，可以在系統中扮演忌避作物，但在氣候多變的時節，容易發生疫病降低產量。

### (三) 茄科植物

茄科目前已知有 80 屬，約 3,000 種，廣泛分布在熱帶至溫帶地區，例如常見的馬鈴薯、番茄、甜椒、茄子及辣椒等。因較耐熱，且蟲害少，適合系統夏季栽種，但須預防白粉病與病毒病等疫病的發生。在氣溫合適的季節種植茄科植物，如肥份適當待開花結果後，茄子於 105 天每平方公尺約可生產 7 kg，而番茄於 2 個月左右每平方公尺約可生產 23 kg。

### (四) 葫蘆科植物

葫蘆科是僅次於禾本科、豆科和茄科的重要食用植物，主要分布在熱帶及亞熱帶地區。對低溫耐受度不佳，多於溫

暖的季節開花結果，適合在網溫室栽種，但在高溫高濕環境中易感染白粉病，應多加注意。栽植時需架設攀爬網，留意水下根系堵塞進排水口。常見的南瓜、絲瓜、黃瓜、洋香瓜、西瓜、苦瓜及小黃瓜等都是本科的成員。介質耕系統中栽種苦瓜（每株攀爬面積約  $6 \text{ m}^2$ ），夏季 4 個月的生產期間每株可結果 120 顆以上，果實每顆重超過 600 g。

### (五) 瓠花科植物

本科作物分布於各大洲，最主要產地在美洲及亞洲的熱帶及亞熱帶地區。常見的地瓜葉、空心菜都是本科的一員，也常見於養殖水耕系統，具有易於種植的優勢，例如以深水式養殖水耕栽種空心菜或地瓜葉，夏季時每兩週產量約達  $2 \text{ kg/m}^2$ 。本科植物對於高溫耐受性高，且利用扦插可以快速繁衍，極適合作為系統夏季栽種的葉菜種類。

### (六) 香草植物

是指植物的根、莖、葉、花、果實及種子等具有特殊香味，可作為食品、精油及藥劑等，分屬多科如唇形花科、繖形科、馬鞭草科、菊科、芸香科、薑科等。由於具有香氣，常對昆蟲有忌避效用，可與其它科作物混種以減少蟲害。系統中種植羅勒每平方公尺 36 株，四周的試驗期間可收成 4 kg。

## (七) 其它

除上述常見作物外，另外尚有番杏科、莧科及禾本科等多種作物被嘗試在系統中栽種，也都有不錯的成果。以系統混種秋葵為例，種植 1 個月後開始收穫，植株密度每平方公尺 2 株，3 個月內約可收穫  $2 \text{ kg/m}^2$ ；混種芹菜每平方公尺種植 38 株，2 個月可收穫  $2 \text{ kg/m}^2$ 。



蜜雪兒白菜



紅皺葉萵苣



秋葵



地瓜葉



薄荷



芹菜

▲ 幾種養殖水耕常見作物

## 七、作物的營養需求與病蟲害

養殖水耕是利用養殖水產物的「釋出」與栽培作物的「吸收」達成平衡的複合生產系統，基本上投入系統裡主要為飼料和水，其中養殖動物與植栽的營養絕大部分來自飼料，唯現有人工配合飼料皆以魚蝦類生長所需為考量，故對植栽作物會有肥份不均衡或缺乏的現象，除造成植物生長不佳外，也會使植物對於蟲害及病害的抵抗力下降。

一般植物所需的營養素分為主要元素及微量元素等兩大類：

### (一) 主要元素

在植物生長必須的營養素中，碳、氫、氧、氮、磷、鉀、鈣、鎂及硫等 9 種，因植物成長繁衍過程需求量較大以主要元素稱之。在系統中除碳、氫、氧可自空氣和水獲得，其餘須由飼料經魚類吸收代謝後植物才能獲取，但因水產飼料是專為魚蝦類所開發，所以能排出體外供植物吸收的元素有其限制，例如鉀、鈣、鎂需得另外添加，若未及時供應會造成養分缺乏，而有葉色不均、抗病性不佳等現象發生。

氮是否缺乏可由監測水體的含氮量得知，植體的老葉黃

化也是警訊，然氮肥過多使植體柔嫩而易染病蟲害。磷是合成生物體 DNA、細胞膜磷脂質和 ATP 的重要元素，缺乏時葉尖焦枯、老葉泛紫、花芽分化受阻與果實偏小且酸；但系統的磷過量時反而和微量元素結合沉澱影響吸收。鉀是養殖水耕系統主要的限制元素，缺乏時植株軟弱，老葉的葉緣或葉肉呈焦枯褐斑，花芽和果實生長不良，需得另行添加鉀肥。鈣的缺乏也常見於養殖水耕系統，常造成萵苣的葉尖焦枯和果實類植物的蒂腐。鎂的缺乏在養殖水耕系統中較不易察覺，不過可觀察在莖和老葉間的區域是否有黃化的斑點。

## (二) 微量元素

是指在植物體中含量在 0.01% 以下，且是植物體生長所需的元素，包括銅、鉬、錳、硼、氯、鋅、鐵等元素。雖然植物對這些元素的需求量很低，但缺乏或是過量都會對植物造成影響。微量元素的缺乏與補充請參考植物生理的專書介紹，以養殖水耕系統最常缺乏的鐵作說明，鐵是葉綠體和電子傳遞鏈所需的微量元素，與光合作用息息相關，不足時會形成新葉偏黃甚或變白而老葉仍維持綠色，因此系統有必要補充鐵元素，值得注意的是水體 pH 過高時會使鐵沉澱而不易溶解。

對於作物養分的補充與否主要依據系統運作的目的而定，養殖水耕因需求的不同而呈現各種型態，如適合居家和辦公場所紓壓用的微型系統，社區綠美化的小型系統，或是農場的量產型系統等。如為量產供應，可適量添加不足的元素，使植栽作物外觀飽滿健壯，以符合市場賣相；或採取部分添加甚至完全不添加，來生產特殊消費群所需的機能性蔬果等。



▲空心菜缺鐵(左)和辣椒缺鎂(右)

### (三) 系統常見的蟲害

系統植栽受節肢動物或軟體動物的危害，常使收成的作物外觀破損、易受病原感染甚或全數死亡，造成很大的損失，因此架設網溫室或以生物防治法控制，以減少蟲害的發生。

#### 1. 鱗翅目

是指翅膀表面有鱗粉的昆蟲，系統常見的害蟲有白粉蝶及夜盜蛾，白粉蝶對於十字花科植物危害性強，而不同的植物種類也常有不同的夜盜蛾危害，可以考慮使用蘇力菌防治。

## 2. 鞘翅目

常見的甲蟲就是鞘翅目的成員，植栽系統常有其幼生或躲藏在介質中啃食根系（金龜子），或於葉面啃食葉片（金花蟲）。此等蟲類對於植物的偏好性有所不同，如守瓜蟲專門啃食瓜類的幼葉，甘藷龜金花蟲常見於璇花科的地瓜或空心菜。

## 3. 蟎類

蟎類是小型節肢動物，最大不超過 0.5 mm，不同種的蟎類食性各不相同，系統中常見的葉蟎躲藏在葉片背面，以口器吸食植物汁液，使葉面呈現鏽色斑，多於溫網室濕度較低時大量發生。蟎害不易防治，可以噴灑窄域油、放養捕植蟎或提升濕度防治以降低蟲量。

## 4. 蚜蟲、介殼蟲

養殖水耕系統業者應該都有與蚜蟲或介殼蟲交手過，蚜蟲在春季溫暖潮濕的氣候會大量繁衍，介殼蟲則多發生在秋天氣乾燥時，常可在植株上發現牠們的蹤跡。螞蟻為了攝食牠們所分泌的蜜汁，會盡力保護並幫忙搬運移動，造成和

蟎類一樣不易防治。可以使用草蛉、瓢蟲、窄域油、苦參鹼、或菸葉水（系統中有栽植茄科作物不可使用，以免感染病毒病）等防治。

## 5. 水生動物

除來自空中或土壤中的蟲害威脅，系統水中也有一些動物會危害植栽作物，常見的有搖蚊幼蟲及螺類，兩者皆以系統的藻菌膜、有機碎屑或植物根系為食，當大量出現時會破壞菌床或啃斷根系，造成水質變差或植栽凋萎，可在水中放養小型魚類（如胎生鱒魚）或青魚幼魚捕食。

### (四) 植物病害

植物的病害是指植物的生理機能或形態結構受真菌、細菌、病毒、類病毒、植物菌質體或線蟲等侵襲而發生異常的現象，顯現於外部型態的改變，如增生、腫大、變色、矮化、萎凋、腐敗及潰瘍等。

病害的發生需具備發病的有利環境、致病原及感病植株等三個條件，有時暴發疫情失控，常須全面耕鋤及消毒。因此，植物移植入系統前應先仔細觀察檢疫甚或消毒，以防止病原入侵；且系統的植栽環境應盡量保持清潔、乾燥及低溫，以減少植物罹病。



紋白蝶幼蟲



金花蟲



水生螺類



葉蟻



蛞蝓



番茄枯萎病

▲養殖水耕系統的植物病蟲害

## 八、養殖水耕系統的魚菜比例

養殖水耕系統運作效能的關鍵是魚隻的排放量與植物的吸收量間能否達到最佳比例而定，植物栽種面積不足會導致系統營養鹽的累積，負向回饋影響魚隻成長；而植栽面積過大雖可維持水質，但植物將生長不良而降低產量。通常，系統的魚菜比例是以養植物種的餵食量為基準來估算作物的栽種面積，即每日給料量比 (feed rate ratio)，以每單位植栽面積 ( $\text{m}^2$ ) 合適的飼料投餵量 (g) 表示。Rakocy 等人 (2006) 在吳郭魚搭配萵苣、香草和其他作物的交錯輪種深水式系統中 ( $29.3$  顆植株/ $\text{m}^2$ ) 推薦以  $60-100 \text{ g}/\text{m}^2/\text{day}$  為宜，若為介質式或薄膜式的給料量比約為深水式的  $1/4$ 。而 Al-Hafedh 等人 (2008) 的尼羅吳郭魚與葉萵苣  $42$  顆/ $\text{m}^2$  的深水式系統，認為  $56 \text{ g}/\text{m}^2/\text{day}$  的給料量比可維持系統穩定，但如將植栽減至  $25-30$  顆/ $\text{m}^2$  則葉萵苣的品質較佳。最近，Somerville 等人 (2014) 建議葉菜類作物  $20-25$  棵/ $\text{m}^2$  時，合適的給料量比為  $40-50 \text{ g}/\text{m}^2/\text{day}$ ，而果實類作物  $4-8$  棵/ $\text{m}^2$  的給料量比則為  $50-80 \text{ g}/\text{m}^2/\text{day}$ 。

在比較作物栽種密度對系統運作的影響方面，以吳郭魚

搭配種植福山萵苣的試驗模式，在總體積合計 6 噸的 4 個 FRP 桶養殖吳郭魚 480 尾，以水耕床 (26 m<sup>2</sup>) 栽植福山萵苣之密度分別為 19 和 38 棵/m<sup>2</sup>，在同樣的吳郭魚養殖條件下，給料量比約為 32 g/m<sup>2</sup>/day。6 週後低、高植栽密度組的菜收穫量分別為 82.3 與 147.6 kg，每公斤飼料可分別生產 2.1 與 3.6 kg 的萵苣，試驗期間不同植栽密度的水質條件無明顯不良，但低植栽密度組水中氮、磷、鈣和鎂等的濃度略高於高植栽密度組。由每公斤飼料可產生的萵苣量和蔬菜的總產量來看，栽種 38 棵/m<sup>2</sup> 比 19 棵/m<sup>2</sup> 有較佳生產效能。

不同植栽密度對系統生產的影響

	萵苣種植密度(棵/m <sup>2</sup> )	
	19	38
放養量(kg)	73.2	71.6
魚增重(kg)	30.8	27.5
飼料投餵量(kg)	39.1	40.9
飼料效率(%)	78.8	67.2
菜收穫量(kg)	82.3	147.6
菜收穫量/飼料量	2.1	3.6
水中營養鹽濃度		
氮(ppm)	20.2	18.6
磷(ppm)	9.4	7.1
鉀(ppm)	25.6	27.0
鈣(ppm)	11.9	7.8
鎂(ppm)	18.0	17.0
鐵(ppm)	0.03	0.02

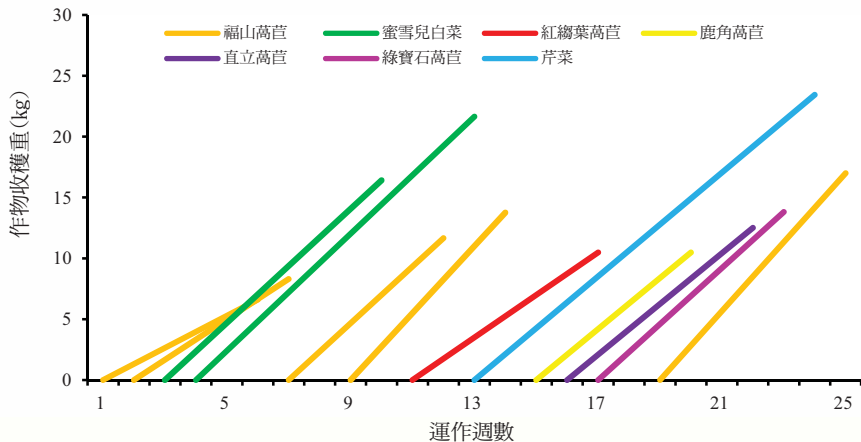
## 九、植栽的種植規劃

養殖水耕系統的維運取決於養殖動物、過濾系統和植栽作物之間的長期平衡，因為水產動物的養殖期間較長，如能做好過濾系統的日常維護管理，那麼種植規劃就是系統長期穩定運作的首要因素，例如當大批植栽作物同時採收以致短時間內水中營養鹽濃度的急驟升高，就會影響系統的穩定性，所以必需對植栽種植和收成事先做好規劃策略。一般水耕蔬菜的栽種收成方式分為交錯輪作 (staggered cropping)、批次收成 (batch cropping) 和間作 (intercropping)，交錯輪作是同時栽種不同生長階段的植作，這樣的系統維運方式可定期採收上市規格的植栽，並能使系統水質持續穩定；批次收成的方式則較適於一次性的季節作物或生長期達 3 個月以上的番茄和小黃瓜等作物；間作的方式則是長期作物與短期作物的結合，比如配合番茄和小黃瓜種植的同時栽種短期作物萵苣，在茄瓜生長到足以遮蓋光線前將萵苣採收。



▲吳郭魚搭配交錯輪種作物

以秋冬季養殖吳郭魚搭配交錯輪種葉菜類試驗為例，養殖槽放養 240 尾總重約 23 kg 的吳郭魚，池水經沉澱槽和毛刷過濾後，流入面積 26 m<sup>2</sup> 的浮筏植栽區，每日約投餵 34 g 飼料可供應每平方公尺 37 株葉菜類所需的營養。在 6 個月的連續運作過程中，系統交錯栽種多種短期葉菜作物，每週種植 160 株，六週種滿 960 株葉菜類的水耕床，開始分批採收後再種植如福山萵苣、蜜雪兒白菜、鹿角萵苣、紅縐葉萵苣、直立萵苣、綠寶石萵苣及芹菜等，每月約可收穫葉菜 42 kg，期間水中氨氮和亞硝酸鹽濃度均在安全範圍內，總氮和磷酸鹽平均濃度分別為 34、28 mg/L。



▲系統輪種運作期間作物收穫情形

## 十、系統的健康管理

養殖水耕系統需對養殖動物、生物菌床和植栽作物有妥善管理，才能持續運作，尤其是水質管理，水之於養殖水耕系統就像血液之於人體循環，不僅將溶氧運載到各系統元件，也把所有的營養元素由養殖槽運送到菌床和植栽床。換言之，營造魚隻健康成長的環境、穩定的生物過濾系統以及植栽順利生長的營養供應，有賴於合適的水質條件為媒介。以下介紹穩定運作的養殖水耕系統所需的日常管理和系統調控，以提供水產動物及栽培作物合適的環境條件，降低病害的機會或減輕疫情，達到有效率和效益的生產。

### (一) 系統操作維護

(1)每日檢查循環系統的供氧設備及抽水設備，是否正常。長時間置於太陽曝曬之處或高溫高濕的場所，容易縮短機械的使用年限，影響控制系統的穩定性，可在控制外部加上外箱保護或是集中於管理室。(2)確保系統的水循環良好，使水體維持足量的溶氧並流動，藉以維護養殖動物、菌床和植物的健康。(3)調節水耕床水位、水量並且留意床架水平，或薄膜式栽種管傾斜角度的準確，避免造成枯萎、缺株或是

生長不良之弊病。(4)定植板定期清洗消毒，目前材料大多以保麗龍為主，長時間的使用，若不維護或更新，很容易造成青苔滋生，間接引起根腐病等疫病。(5)定期清洗各槽體、水管管路、水流通道等，以避免系統阻塞，並檢查打氣石或其他微氣泡零件，以防變質損壞影響供氧。(6)清洗生物濾床及介質，避免阻塞孔洞影響硝化作用的效能。(7)介質耕若利用鐘型虹吸自動週期性的進排水，因經過長時間沉浸下容易造成排水管徑變小，須定期清洗以避免植栽床水位失控。(8)在陽光充足的場域，水中容易滋生藻類，會與水耕植物競爭吸收營養、可能加大系統的日夜 pH 波動以及夜間增加系統的耗氧，絲藻更會阻塞水流管道和附著根部影響植栽的營養吸收。

## (二) 養殖物種管理

### 1. 投餵管理

(1)遵守四定 (定質、定量、定時、定位) 和三看 (看天氣、看水質、看魚況) 的投餌原則。(2)投餵量依不同的養殖物種和體型而定，以當時水溫、溶氧等水質條件等估計每日投餵量，一般而言，成魚每日投餵量約體重的 1—3%，幼魚每日投餵量約體重的 5—8%，以少量多餐為主。(3)池魚放養

密度不宜過度擁擠，較高的放養密度雖可生產較多的養殖動物和植栽作物，但應採取更積極和縝密的管理作為。至於魚類和植栽作物的比例已如前面章節所示，需依飼料投餵量和品質而定。(4)颱風前夕，悶熱無風，大風暴雨，寒流襲擊，搬池、出售前或是罹病時應減少投餵或停餵。(5)投餵後應仔細檢查攝食情況，控制投餵量達到「八分飽」為宜，保持魚隻有旺盛的食慾，可以提高飼料效率。尤應避免過度餵食，並應清除殘餌以免危害養殖動物且導致系統失衡，不僅增加耗氧也容易引起疾病。

## 2. 水質管理

(1)溫度：水溫是影響養殖物種新陳代謝最主要的因素，對攝食量影響更大，一般在適溫範圍內隨溫度的升高而增加。養殖水耕系統適宜的溫度範圍為 18—30℃，溫度過高或過低影響系統正常運作，高溫易造成低溶氧與較多的未解離氨並抑制植物對鈣的吸收。可加裝溫度控制裝置，但需考量所耗能量與成本。(2)溶氧：系統中的養殖動物、硝化菌與植栽作物都需要耗氧，可由製造水流或打氣設備提供，可設置斷電警報器及緊急供氧設備，以便隨時調整溶氧。(3)酸鹼值：系統 pH 以維持在 6.0—7.5 較佳。長期穩定運作的系統

往往會有 pH 偏低（酸化）的現象，可用鉀鹽（如氫氧化鉀或碳酸氫鉀）和鈣鹽（如氫氧化鈣熟石灰或碳酸鈣）交互使用加以調整。(4)營養素：作物所需的營養可透過調整系統 pH 時來進行添加補充，例如鈣和鉀之補充是經由加入的氫氧化鈣、氫氧化鉀、苦土石灰、草木灰、蛋殼、蚶殼粉中取得，鐵則是透過添加螯合鐵來獲得。另一方面，若所栽培的是果樹或其他較長期的作物（例如根莖類或花卉等），則需考量不同作物成長或結果時所需要的特定元素。(5)含氮化合物：定期檢測水體亞硝酸鹽和硝酸鹽濃度，如果系統的溶氧量始終不夠高則檢測頻度應增加；而總氨氮最好能每週測定，新建置系統的硝化菌床未臻穩定，總氨氮濃度容易偏高。一般簡易的檢測試劑（紙）能約略量測水體的總氨氮，至於未解離氨的比例以 26°C 中性環境約佔其 1% 計算。(6)光線：生物濾床的光線不宜過強，以免抑制硝化菌生長，影響過濾水質效果，可使用遮光網或是帆布遮蓋，避免光線進入槽體。

### 3. 魚病防治

(1)養殖魚類在冬季容易發生水黴病，入冬時首需注意氣象預報，特別注意寒流來臨前後之應變，依氣候進行管理措施，調整投餌頻率及餵飼量，並儘量不要撈捕池魚以免體表

受傷感染病害。(2)春、秋兩季為季節交替時期，好發寄生蟲疾病，應加強系統管理工作，並減少水中有機物累積。(3)夏季氣候炎熱，應適時加強打氣，以免魚隻缺氧浮頭。此外，颱風多見於夏、秋兩季，應做好防颱措施，大雨來臨或過後，應注意水質變化過大。

#### 4. 魚病診斷

早期發現與早期治療，能使病害影響降至最低，發現病魚時須立即隔離處理；每日隨時觀察魚隻養殖情況，例如攝餌量、游泳狀況等，外表觀察的重點分別為魚隻體型狀況、軀體外觀及鰓部鰭部等，記錄養殖期間的水質變化。病魚外觀觀察內容：(1)魚隻體型：體軀外表皮膚是否發生受傷潰爛，腹部是否發生異常膨大，魚體肥滿或消瘦（如慢性疾病）。軀體是否發生不正常彎曲（中毒或營養長期不均衡皆會造成魚體彎曲）。(2)魚體外觀：體色變化情形，如變白或變黑，魚眼發生白濁或眼球凸起。體表如寄生水黴菌時外觀呈現水泡狀或疙瘩狀。體表是否出現大量黏液及鱗片脫落。魚體皮膚是否出現潰傷症狀，鰭部是否發生潰爛出血，肛門是否出現紅腫膨大凸出等症狀。(3)鰓部：有無不正常變紅、變白或部分變色。鰓絲是否有缺損或黏液增多，污物附著其上。

### (三) 作物栽培管理

#### 1. 作物種類的選擇

做好植栽作物的健康管理，包括病蟲害防除、最佳營養供應、良好的栽培技術及合宜的環境管控等，才能讓養殖耕系統運轉正維持良好的水質環境。因此，篩選抗病、蟲害較少的優良品種，並慎選健康的種苗及挑選當季水耕栽培之作物，即是系統運作規劃的重要步驟。

植栽作物依其需肥量高低大致分為像葉菜類和香草植物等的低需肥量作物，包括萵苣、芝麻菜、羅勒、薄荷、香菜、青蔥、歐芹、小白菜、地瓜葉、空心菜及豆科植物等；中需肥量作物包括甘藍類和鱗基植物，如羽葉甘藍、花椰菜、青花菜、大頭菜、芋頭、洋蔥、胡蘿蔔和蘿蔔等；高需肥量作物主要為果菜類，如番茄、茄子、小黃瓜、草莓和辣椒。

各季節適合栽種的作物種類參考

季節	作物種類
夏	白菜、空心菜、青江菜、萵菜、青椒、辣椒、秋葵、皇宮菜、地瓜葉、青蔥、苦瓜、絲瓜、九層塔
春秋	白菜、空心菜、青江菜、小松菜、芥蘭菜、萵菜、萵苣、油菜、芹菜、小黃瓜、青椒、辣椒、秋葵、番茄
冬	茼蒿、芹菜、萵苣、甘藍、菠菜、茼蒿

## 2. 植物栽種

植物栽種的方式有播種、扦插和分枝等方式，依植物特性和操作的實際需求而異，通常由育苗場購入較為便利，但需留意苗的健康和檢疫。植物需有合適的光線、氧、二氧化碳、酸鹼值、溫度和營養鹽才能正常生長和抗病，系統開始運作的前幾個月如發現植栽以似乎不太健康，應檢查上述各因素是否正常，一般是水中營養鹽不均衡所致，更有可能是酸鹼值的問題。

適當的植栽密度可提升作物產量，並且營造較為平衡的養殖水耕系統，可參考前述章節以決定合適的植栽種植密度。此外，平時多留意植株的健康度，如葉片的顏色和形狀，從顏色變化、枯萎或其它不正常的徵象，加以判斷是根部、根頸或是莖的問題或是病蟲害所導致。

## 3. 病蟲害防治

一般土耕或水耕的植物病蟲害也會發生在養殖水耕系統，但為避免毒害養殖動物和影響系統菌相，植栽作物的病蟲害防治不應使用化學農藥，基本上可參考有機農法的防治原則。(1)噴灑蘇力菌或白僵菌等微生物製劑，能夠有效地防治小菜蛾、夜盜蟲等有害昆蟲。(2)利用昆蟲的趨色性黏貼誘

蟲黏紙，無農藥殘留之虞，蟲類也不會產生抗藥性。將黏膠平塗於各色紙上，每兩公尺使用一片，平放或垂直懸掛於設施內藉以引誘昆蟲，使其後代逐漸減少，進而降低該蟲害。

(3)運用植物性的有機混合物來降低或避免病原的威脅，如葉噴大蒜液、辣椒水、菸草液、柑橘皮汁和草木灰等，但魚藤和茶粕對魚類具有毒性，不建議在養殖水耕系統使用；肥皂液和乳化油類也有殺蟲效果，但不宜有太多流入水體，以免破壞鰓部細胞膜結構而傷害養殖動物。(4)利用天敵防治害蟲，主要分為捕食性及寄生性兩大類，捕食性天敵以瓢蟲、草蛉、螳螂、椿象較常被利用，寄生性天敵以寄生蜂和寄生蠅為主。(5)性費洛蒙具無毒性、種別專一性及微量即有效之特性，且能緩釋揮發在田間誘蟲持續 1—6 個月，已被商業化運用在大量誘殺或交配干擾來防治害蟲。(6)利用大型風扇或是天窗的設計控制溫室內部環境濕度，並且配合不同作物、季節來進行調控，以免蒸散作用不足，而形成濕度過高、病害滋長或部分離子的吸收不良，造成各種生理症狀。(7)溫室周遭適度修剪整枝，維持溫室內日照充足與通風良好，走道鋪設水泥、碎石子或塑膠地墊等來提高作業環境的清潔，隔離與土壤接觸機會，減少病蟲害攀附。

## 十一、結論

養殖水耕是近數十年發展出來的循環生產體系，與傳統農法和養殖方式相較，可減少農業廢棄物的產生和降低對環境的衝擊，並可透過植栽作物吸收同化養殖排放的有機肥份，有助於減低化學肥料的使用。再者，系統用水有 95% 以上是循環使用，耗水量也遠少於大部分的水產養殖和農作方式，並且是在有限的土地空間裡同時生產水產品和農作物。由於強調資源永續利用和互補優勢，FAO 在 2016 世界漁業和水產養殖現況 (SOFIA) 一書中，將養殖水耕這種複合型農業生產方式列為重要的研發趨勢。

目前國際上已有許多國家地區開發養殖水耕的生產模式，但多以植物的觀點切入，若由水產養殖的觀點來看，養殖水耕應該整體考量的包括養殖動物的攝食與消化吸收、細菌的分解效能和植物的吸收成長，而如何維持系統環境中這三種生物的平衡，以最少的投入、污染和廢棄物得到最大的效能、收益和永續性，將是一個持續研究和改進的課題。



國家圖書館出版品預行編目 (CIP) 資料

養殖水耕－魚菜共生 / 黃德威等著.  
-- 基隆市：行政院農業委員會水產  
試驗所, 民 106.10  
面 ; 公分.--  
ISBN 978-986-05-3876-2 (平裝)  
1.蔬菜 2.栽培 3.養魚  
435.2 106020170



## 養殖水耕－魚菜共生

發行人：陳君如

總編輯：林志遠

編輯委員：張錦宜、曾振德、許晉榮  
葉信明、蔡慧君

著者：黃德威、薛守志、劉于溶  
楊順德

校稿：黃世鈴

編輯：李周陵

出版者：行政院農業委員會水產試驗所

地址：基隆市中正區 20246 和一路  
199 號

電話：(02)24622101

傳真：(02)24629388

網址：<http://www.tfrin.gov.tw>

印刷：紙本館企業有限公司

電話：(02)25322032

出版日期：一〇六年十月

定價：新臺幣 100 元整

展售處：

1. 五南文化廣場臺中總店

臺中市中山路 6 號

(04)22260330

2. 國家書店

臺北市松江路 209 號 1 樓

(02)25180207

<http://www.govbooks.com.tw>

GPN 1010601729

ISBN 978-986-05-3876-2

本書內容保留所有權，非經本所同意，不得重製、數位化或轉載。



ISBN 978-9860538762



9 789860 538762