漁電共生展望

郭裔培、林天生、楊順德
水產試驗所淡水繁養殖研究中心

前言

臺灣天然能源缺乏，為提升我國能源自主，2025 年能源配比的目標為燃氣 50%、燃煤 27%、再生綠能 20%、其他 3% (包含核能、燃油及抽蓄水力)。其中太陽能具有乾淨、安全的特點，被視為最具發展潛力的綠能。國際能源署 (international energy agency, IEA) 2019 年 3 月公布的統計資料顯示，2018 年全球的總太陽能發電量為 570.8 TWh (百萬兆瓦時)，預估 2030 年的發電量可提升至 3,268 TWh，年平均發電成長率為 16%。

我國國土面積狹小，陸地可架設光電模組的面積無法達到綠能發展目標，必須考量將水域納入光電架設區。臺灣內陸魚塭總面積約 3.38 萬公頃 (漁業年報，2016)，根據「申請農業用地作農業設施容許使用審查辦法所規範」之最高覆蓋率 40% 計算，約可提供 1.35 萬公頃供光電架設。在不影響農業生產的前提下，結合水產養殖和太陽能光電，有助國家整體綠能政策之推動，還能增加漁民薹電收益，以下就漁電共生的優劣勢進行分析。

優勢

一、提高發電效率

太陽能光電的原理是當太陽光照射太陽能板，足夠能量的光子會在 P 型和 N 型兩種半導體的接觸面破壞 P-N 共價鍵，產生電子和電洞，正電電洞往 P 型半導體移動，負電電子往 N 型半導體移動，形成電位差，再以導線連接即可產生電流。

太陽能光電裝置兩端不接負載時的電壓稱為開路電壓，兩端短路時的電流稱為短路電流，當溫度升高，半導體的能隙和阻抗值變小，造成開路電壓下降，短路電流上升，而電壓的下降值又明顯大於電流上升值 (圖 1)。根據電功率公式：電功率 = 電流 × 電壓，可得當溫度提高，太陽能光電效率降低，以溫度係數 (%/℃) 表示每單位溫度上升所降低的轉換效率，一般常用的矽太陽能板溫度係數為 0.2－0.5。

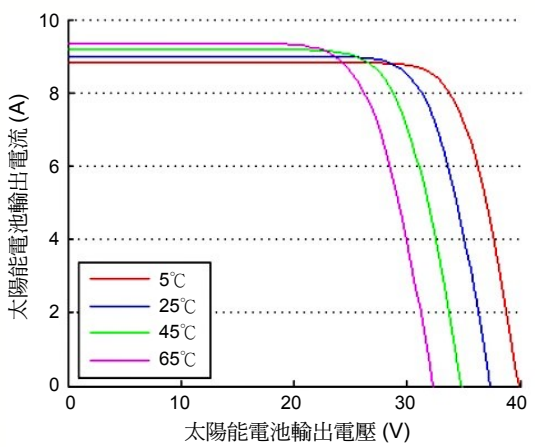

圖 1　不同溫度條件下電流-電壓圖 (McFadyen, 2015)

裝置太陽能光電於水上，能夠透過水比熱大的特性降低表面溫度，在模擬條件下，光照強度 1,000 W/m^2、氣溫 30℃、水表層溫度 25℃，陸上和水上光電模組的最高溫度分別為 58.5 和 54℃，推算水上模組的發電效率較陸上提高 1.58－2.00% (Liu et al., 2017)。

此外，本中心在 2019 年模擬 40% 遮蔽率對水溫的影響如圖 2 所示，水面架設光電模組，在高溫期的水溫較對照組低，以最高溫發生日來看，對照組 35.8℃，處理組水溫為 33℃，降溫效果達 2.8℃，顯示漁電共生的養殖模式對減緩熱緊迫有正面效益。

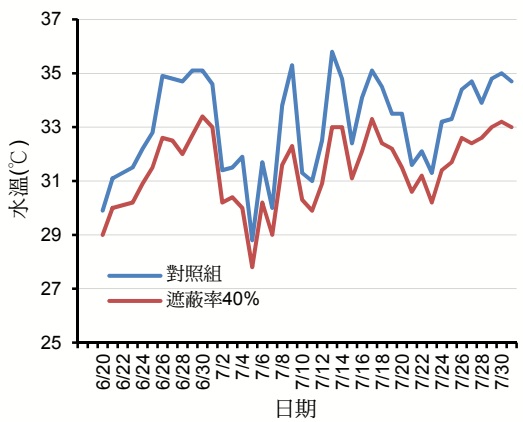

圖 2　遮蔽率 40% 在高溫期對養殖池水溫的影響

二、節省水資源

太陽能的單位發電量所需耗水量低，僅需少量的水用於清洗，比較太陽能、核能、燃煤的發電耗水量，分別為 15、1,500、2,600 L/MWh，太陽能低耗水量的優點有助於克服氣候變遷帶來的水資源缺乏。此外，太陽能光電裝置能達到遮蔽水表的效果，降低日照造成的水自然蒸發量，根據國外實驗，水上光電模組約可降低 70－85% 的水蒸發散逸 (Pringle et al., 2017)，保留陸上水資源。

三、設備成本降低

根據國際能源署的統計資料，建設光電模組的成本可分為光電模組、變頻器、固定平衡設備、安裝工程和其它等五大項，近年來由於技術開發和商業化量產，光電模組的成本大幅降低，預估在 2020 年，太陽能光電建置成本和 2010 相比降低 61% (圖 3)。

劣勢

一、光競爭

太陽能板的光競爭對不同養殖物種的成長影響不同，本中心在 2018 年進行浮動式太陽能板結合七星鱸養殖試驗，結果顯示，太陽能板能降低水溫，提高七星鱸的成長速率；而國外研究指出太陽能板會造成大閘蟹脫殼緩慢，抑制成長。現行規範要求農業用地裝設綠能設施，生產量必須達到原有的 70% 以上，因此有必要針對不同養殖物種進行太陽能板遮蔽試驗，作為光電模組可裝設面積之參考依據。

二、生物附著

微生物會分泌胞外聚合物 (extracellular polymeric substances, EPS) 包覆，在光電模組表面形成生物附著 (biofouling)，並分泌小分子訊息傳遞物進行群聚感應 (quorum sensing)，調控族群如分泌外毒素、蛋白質酵素、提高抗生素抗藥性等，造成病原菌的致病力提高。國外已有研究使用二氧化鈦光觸媒或藍色 LED 殺菌，防止光電模組表面微生物附著 (Yeh et al., 2015; Pringle et al., 2017)。

三、影響作業

養殖池中的光電模組可能會影響投餵、

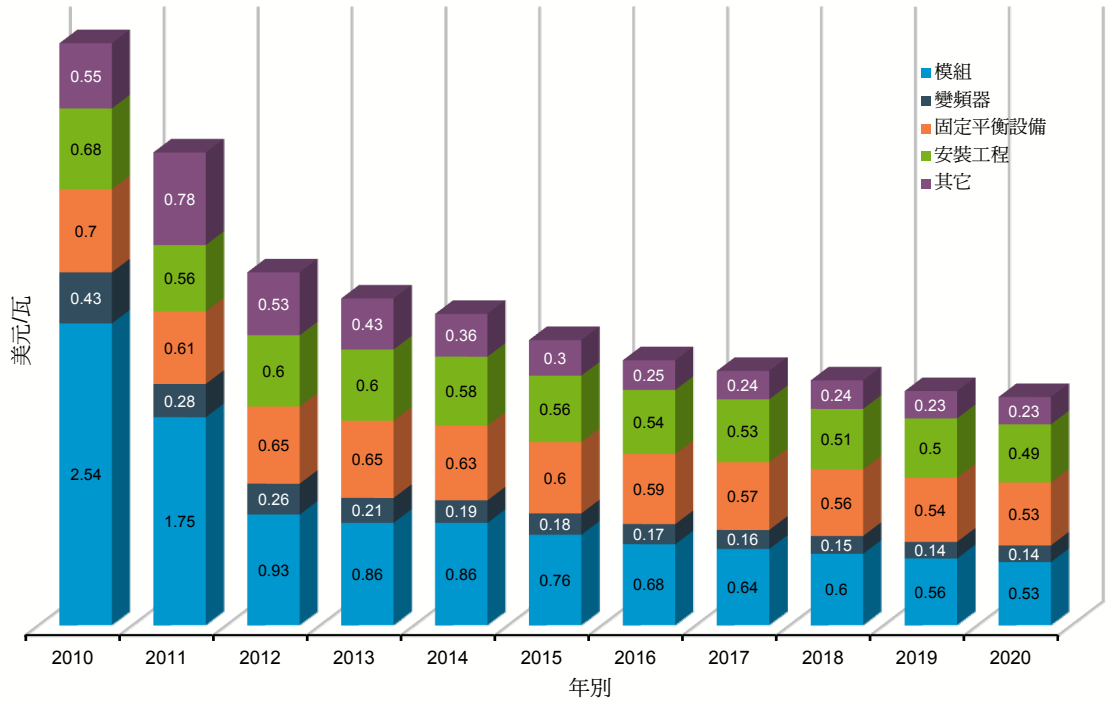

圖 3　太陽能光電建置成本

捕撈和整池作業，設計漁電共生工程時須考量養殖生物的特性。以中國江蘇省北部的鯽魚漁電共生為例，養殖池面積一般 4 公頃以上，因面積較大，為避免光電模組干擾網具作業，而將光電模組裝設在養殖池中央，養殖池四周挖回字型深溝，養殖期間魚可在全池活動，收成時將水位抽低，驅趕魚集中在回字深水區進行捕捉；另外也有採行輪捕輪放的養殖模式，收成時在投餵區以抬網捕撈達上市規格的個體 (劉等，2014；宋，2016)。

四、發電穩定度

太陽能光電系統受限於日照時數，在陰雨天和夜晚停止發電，因此如何有效率的儲存電能是一項重要的課題，儲電方法包括化學電池、抽蓄水力、熱儲能、壓縮空氣等。其中，壓縮空氣法係利用白天光電模組產生的多餘電能壓縮空氣後，儲存於氣瓶，夜晚再將壓力釋出發電，具有低環境衝擊、低成本、單位體積儲能量高、轉換效率佳的優點，且在漁電共生系統中，儲氣瓶可放置於水中，有助於熱交換，能源轉換效率可達 80% 以上 (Cazzaniga et al., 2017)。和鋰電池之成本相較，鋰電池和壓縮空氣儲電系統的周邊設備成本分別為 400 和 700 美元/千瓦，儲存設備成本分別 600 和 5 美元/千瓦時，可充放電循環次數分別為 4,000 和 25,000 次 (Schoegun, 2011)。

研究現況

黃顙魚 (*Pelteobagrus fulvidraco*) 為底棲鯰魚，對光照敏感，瞿等 (2015) 以鋼管

和遮光網模擬光電模組，研究 0、25、50、75、100% 的遮蔽率對黃額魚養殖的影響，結果顯示，試驗期間的攝食量以 0% 組最低，50% 組最高，顯示適當遮蔽能提高黃額魚的攝食；單位面積產量以 75% 組最高，50% 組最低；餌料係數以 0% 組的 1.49 最低，其次為 75% 組的 1.6，而以 50% 組的 1.74 最高。綜合上述試驗結果，黃額魚養殖的最佳遮蔽率為 75%，其餌料係數為各實驗組中最低，且能提高單位面積產量。

進一步探討遮蔽率對黃額魚養殖池的浮游生物相影響，藻類方面：不同遮蔽率對藻的種類數無明顯影響；生物量以 75% 最高，50% 最低；密度以 25% 最高，50% 最低；生物多樣性指數 (Shannon's diversity index) 以 25% 最低，其餘各組相近。浮游動物方面：以遮蔽率 50 和 100% 的種類較多；生物量以 0 和 25% 最高，100% 次之，75% 最低；密度以 25% 最高，其餘各組相近；生物多樣性指數則以 25% 最低，其餘各組相近。二氧化碳濃度和遮蔽率呈正相關，50% 以下各組無明顯差異，濃度為 200 ppm，75% 為 225 ppm，100% 為 300 ppm。比較各組浮游生物相，黃額魚最佳遮蔽率 75% 組的藻類生物量最高，但浮游動物生物量最低。

徐等 (2014) 以 1 kg/畝的密度放養河蟹大眼幼體，光電模組遮蔽率約 60%，養殖 1 年，結果顯示架設光電模組會顯著降低河蟹成長，試驗池達 8.33 g 規格以上的比例為 15.75%，對照池為 45.84%；試驗池和對照池的單位面積產量分別為 5.6 和 9.4 kg/畝。推測可能是因為光電模組遮蔽導致溶氧和水溫降低，造成脫殼緩慢、水流動受阻礙，在水面形成油膜導致蟹體色和腮絲發黑。相似的實驗結果如馮等 (2016) 比較光電模組對河蟹苗的成長，放養密度 1 kg/畝，蟹苗體重約 6.67 mg，光電板間隔 3 m，養殖 1 年，實驗組平均收成體重 5.08 g，控制組平均收成體重 12.81 g。

何等 (2015) 以 55% 光電模組遮蔽率養殖澳洲淡水小龍蝦，共計試驗 11 池，平均放養密度 5,000 尾/畝，平均活存率 69%，養殖 4 個月達 50 g 上市規格的平均比例為 85%，顯示光電模組的遮蔽可以符合澳洲淡水小龍蝦偏好低光照的環境，並能充分利用養殖池空間，提高養殖收益。

結語與展望

許多研究證實環境光照會影響養魚類的生理調控，包括成長、繁殖、免疫、種內競爭關係、抗緊迫 (Thaís et al., 2013; Marques and Volpato, 2013; Wang et al., 2013; Yıldırım et al., 2013; Ganesh and Mokashi, 2015)，適當的遮陰能達到較好的養殖效益，目前中國進行遮蔽率研究的黃額魚、河蟹以及澳洲淡水小龍蝦皆為夜行性底棲生物，考量水產養殖的物種繁多且習性迥異，尚須針對各物種進行試驗評估。光照除了直接影響養殖生物的生理以外，還牽涉到藻類、水生植物、浮游動物、微生物的交互關係，此外，漁電共生亦須考慮光電模組對於養殖池水溫、溶氧、風阻等物理影響，有必要針對各養殖物種進行田間試驗，建立相關資料庫作為漁電共生系統架設依據，以同時兼顧養殖生產和綠能發展。