

# 貝類漁電共生養殖模式之經濟效益分析

許中駿<sup>1</sup>·張峻齊<sup>2</sup>·宋嘉軒<sup>3</sup>·陳威克<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>財團法人臺灣經濟研究院研究一所

<sup>2</sup>財團法人農業科技研究院產業發展中心

<sup>3</sup>行政院農業委員會水產試驗所企劃資訊組

## 摘要

臺灣土地資源有限，在國家土地利用政策未有完整而周延的規劃之前，為避免影響到漁業及水產養殖用地的原始利用和糧食安全的維護，因此，如何透過推動新型態的漁業綠電生產共構共享產業模式，將是平衡能源政策與漁業發展產生競爭的解決途徑。本研究主要針對漁業與綠能產業結合進行經濟效益評估，並聚焦在「魚塢文蛤光電養殖」及「立體化貝類育苗溫室光電示範」兩個課題，瞭解貝類養殖及綠能共構關鍵技術在產業推動上的潛力，透過財務及經濟發展的觀點，提供研發團隊進行技術產品應用與開發策略的參考。透過漁電共生的成本、效益、風險等評估項目之貨幣化轉換分析，估算成本效益及現金流量，相關財務指標結果亦將提供決策者及漁電共生投資者參考，希冀協助從事漁電共生產業相關的利害關係人，有效降低投入的時間、資金成本及縮短學習曲線。

關鍵詞：漁電共生、文蛤、貝類育苗溫室光電、經濟效益

## 前言

在我國修法推動非核家園後，發展綠色能源已成為國內能源政策的軸心。臺灣的土地資源有限，推動再生能源政策時，勢必會影響到農（漁）業用地的利用，「補貼制度」使得近年來「假種田、真種電」的爭議現象也不斷浮出檯面。為找出能夠平衡能源政策與農（漁）業發展的解決方案，行政院農業委員會（下稱農委會）透過篩選出合適農（漁）電共構下的作物品項與栽培套組技術，期望能提供農（漁）友與再生能源業者參考與依循，以避免國家土地利用政策未有完整而周延的規劃及配套之前，影響到農（漁）業用地的原始利用和糧食安全的維護。因此，就農（漁）業部門而言，如何透過科技研發新型態的農（漁）業綠電生產共構共享模組及產業模式，將是解決平衡能源政策與農（漁）業發展產競和的首要選項。

彙整農（漁）能投資者常見問題，以光電為

例，國內現行農（漁）業生產與光電設施結合經營樣態，主要依據「申請農業用地作農業設施容許使用審查辦法」，可區分為營農型和非營農型太陽光電綠能設施。附屬於農業設施之營農型，以屋頂型光電設施為現行多數既有案場樣態，然而農（漁）能投資者通案的問題，為常未依照經營計畫進行農（漁）業使用而未符合慣行態樣，另外普遍有太陽能板遮蔽率過高的現象，因此需朝既有屋頂型光電設施案場作物栽培或養殖調適，進一步輔導改善措施，以協助農（漁）能投資者導向符合農地農用原則；非附屬於農（漁）業設施之營農型，為現行預期創新營農型光電設施模式，創新地面立柱型應用在水產養殖，優化養殖生產環境，建立漁業綠能共構共享營運模式，並由地方政府提出整體規劃計畫，經中央政府專案審查核定，再由地方政府受理審查申請案件及核定，符合現行所推動的由下而上之作業機制。惟水產養殖與光電結合使用還在試驗研究階段，全臺魚塢的施行箭在弦上，農委會以促進養殖產業升級轉型創造附加價值為最大化目標，吸引漁電共生投資者的投入。至於非營農型太陽光電綠能設施，通案問題則為申請件數少、偏遠區位投資成本

\*通訊作者 / 基隆市和一路 199 號; TEL: (02)2462-2101  
轉 2517; FAX: (02)2462-4627; E-mail:  
wkchen@mail.tfrin.gov.tw

高，應可建立農（漁）業經營農（漁）地復育策略與措施，透過示範場域進行生態環境土壤監測，對於不利農（漁）業經營農（漁）地，由政府主導整治復育回復地力於農（漁）業使用，提高太陽能業者的配合參與意願。

本研究探討的文蛤，是臺灣重要的食用貝類之一，除了是臺灣家庭常見的家常料理外，亦是天然營養的保健食品（鄧, 2017）。近年來文蛤的養殖環境負荷力大幅下降，而文蛤養殖受環境（土壤、水質、空氣等）氣候差異、養殖技術與養殖密度的不同而有所影響，為降低近年來氣候異常造成的文蛤養殖死亡率，解決傳統養殖業所面臨看天吃飯的難題、及市場供需失衡的問題，農委會水產試驗所配合政府能源轉型及綠色能源推動，逐步發展漁電共生，以農委會水產試驗所海水繁養殖研究中心臺西試驗場（下稱水試所臺西試驗場）漁電共生研究發展的實體營運，將基地打造為智慧化漁電共構創新養殖產業之育成據點，期透過漁電共構減緩天災衝擊調適作用，並帶動傳統養殖產業轉型養殖科技化，改善漁民養殖作業環境。

有關農（漁）能長期經營的商業運作模式，一般有兩種常見模式，模式一：設置者為農（漁）民及農（漁）民團體由綠能系統承裝業者，進行系統安裝及售後服務，並向銀行或農業金庫貸款，取得貸款資金後，給付綠能系統承裝業者工程款，農（漁）民及農（漁）民團體透過躉售臺電電力，取得 20 年固定費率賣電收入作為分期償還銀行貸款來源，同時享有穩定綠能發電收入；模式二：綠能系統承裝業者向農（漁）民或農（漁）民團體租地及向銀行融資設置綠能設施，透過躉售臺電電力，取得 20 年固定費率賣電收入作為分期償還銀行貸款來源外，其售電收入部分繳納租金給農（漁）民或農（漁）民團體，同時享有穩定綠能發電收入。

農（漁）能共構共享具有多元發展的可能與潛力，因此也衍伸了許多新型態的經營商業模式及綠能服務相關新創產業的形成，除了上述常見兩種商業運作模式外，也有農（漁）民或農（漁）民團體參與共同投資共享售電收入、其它非綠能業者及地主的投資者參與投資、新型態的維運服務公司成立並與租賃公司合作投資農（漁）能共構案場等多元化發展的經營模式。本研究依據市

場上常見之不同經營模式，以水試所臺西試驗場示範案例作為研究主體，透過成本效益經濟分析，探討貝類養殖之漁電共生模式的經濟可行性，對業者及社會大眾提供重要的經濟訊息與環境效益，以實際反映漁電共生內部及外部效益，可提供相關投資者在評估投資效益的參考依據。

## 材料與方法

本研究成本效益的範圍與分類，可歸類為財務面、經濟面、環境面等三種面向。財務面屬於內部成本效益，即貝類養殖之漁電共生開發建置本身所產生的成本效益；而經濟面和環境面則屬於外部成本效益，意即因貝類養殖之漁電共生的開發建設，衍生出透過市場機制運作和非透過市場行為所產生的外部性成本效益。

### 一、成本參數資料蒐集

#### （一）魚塢文蛤光電養殖成本參數

本研究以水試所臺西試驗場的示範案場為評估基礎，以太陽光電遮蔽率 40% 情境下進行成本效益參數蒐集及評估，並考量生物性變數、生產成本變數、養殖活存率獲利變數、太陽光電設置變數、文蛤養殖風險及影響因子，建立成本效益評估模型。

#### 1. 養殖區生物性變數

生物性變數為文蛤的生存環境及自身條件，例如：空間範圍、文蛤大小等將影響養殖場生產能力。參考黃（2019）的文蛤生物性變數選定，以活存率、養殖面積、放養密度、放養規格、養殖週期為主，探討對投入與產出的影響。依據業者經驗，文蛤養殖活存率超過九成以上者，其放養密度低且為大苗，而各養殖區域活存率亦會受各地環境（土壤、水質、空氣等）氣候差異、養殖技術與養殖密度的不同而有所影響，有些養殖池可達 7 成活存率、部分則只有 1 成。依據黃等（2018）指出近年來文蛤養殖普遍活存率偏低，全臺平均活存率 46%，彰化地區僅 33%，考量生產成本投入及近年的概況，故一般活存率大多集中在 30 - 49%。農委會水試所配合政府政策，推動文蛤池結合光電之新養殖模式，在文蛤養殖池建立立柱形

**Table 1** Biological variables of clam aquaculture

Item	Parameter	Description
Survival rate (%)	60	Based on the assumption of the survival rate after the solar is set
Breeding area (ha)	3.0	Refer to Huang's clam questionnaire survey, based on the average aquaculture area corresponding to a 60% survival rate
Stocking density (grain /ha)	1,000,000	Refer to Huang's clam questionnaire survey, based on the average stocking density corresponding to a 60% survival rate
Stocking size (grain /china-catty)	500	Refer to Huang's clam questionnaire survey, based on the stocking size corresponding to a 60% survival rate
Breeding cycle (month)	11	The average breeding cycle in Taiwan

式的光電設施，池塘上方可覆蓋太陽能板發電，同時可避免夏季陽光直射，有效降低極限水溫發生的機率，且不怕雨季期間因雨量過多而使池水的鹽度變化太大而影響文蛤的成長。水試所臺西試驗場，在設置太陽光電設施後其活存率可達 60 - 70% 以上。

全臺文蛤養殖面積多為 1 - 3 公頃，參考黃 (2019) 文蛤問卷調查，依據活存率所對應的養殖面積，並參採水試所臺西試驗場調查設置太陽能設施後活存率的結果，假設為 3 公頃；文蛤養殖放養密度，受到文蛤可上市體型之養殖週期、活存率等人為操作因素影響，因此依據 60% 活存率所對應的平均放養密度為 1,000,000 粒/公頃。黃等 (2018) 指出文蛤養殖初期放養規格 500 - 800 粒/斤養至上市規格 50 粒/斤，依據假設之 60% 活存率所對應的放養規格為 500 粒/斤；文蛤養殖週期與放苗規格大小、放養密度及養殖環境有關，由北至南縣市，養殖週期逐漸縮短，平均養殖週期為 11 個月 (Table 1)。

## 2. 生產成本變數

生產成本變數為考量文蛤生產所應投入的成本花費，包括：整池/曬池、種苗成本、飼料成本、水電成本、人事成本、其他成本等。整池係以挖土機在池塹四周挖掘深溝，並以抽水機將滲入溝內之水抽出，讓池底晒乾至龜裂，此後施作底肥 (茶粕) 藉以毒殺池中螺類、雜魚、蝦等，並於底肥 (茶粕) 發酵後再排水及曬池，再以耕耘機翻鬆表層土，繼續曝曬 1 - 2 星期，然後注水放苗。另一方面，太陽光電立柱埋設上講求基座的安全性及穩固性，其埋設深度需達一定的池體底土

量，而池體底土將影響文蛤養殖收穫量，故在整池/曬池階段即克服此問題，使其不列為文蛤養殖的風險因子。依據水試所臺西試驗場提供的整池/曬池成本參數為 83,000 元/ha，其包含了挖土機費用、曬池抽水機電費、茶粕。至於種苗成本、飼料成本、水電成本、人事成本、其他成本，參考黃 (2019) 所提之成本參數如 Table 2 所示，採 60% 活存率所對應的各單位成本投入。

## 3. 養殖活存率獲利變數

依據漁業署養殖漁業放養查詢平臺資料，可計算獲得全臺文蛤平均放養密度約為 1,762,631 粒/ha (漁業署, 2021)；依據中研院臺灣貝類資料庫，臺灣上市之文蛤，其帶殼之全重平均值為 16.5 g (中研院, 2021)；故全臺文蛤平均放養密度可換算為 29,083 kg/ha。參考黃 (2019) 文蛤調查結果，60% 活存率的平均收成量為 7,200 kg/ha，故參採此數值。銷售單價參考臺肥公司出版之文蛤技術介紹 (邱, 2019)，並參考漁產品交易行情網站，採池邊價 90 元/kg (農委會, 2021)。至於單位收益，參考黃 (2019) 所提 60% 活存率所對應的平均單位獲利能力為 648,000 元/ha。折現率在文蛤養殖約 5 - 10%，太陽光電依據能源局再生能源躉購費率訂定為 5.25%，故通採 5.25%。臺灣的通貨膨脹，每年大多落在 1 - 2% (Table 3)。

## 4. 太陽光電設置變數

太陽光電設置變數，包括建置容量、日照時數、遮蔽率、躉購費率、建置費用、臺電線路補償費、環保回收費、土地容許回饋金、維運費、租金、太陽能板功率率衰減等。依據營農型綠能設施規

**Table 2** Variables of production costs of clam aquaculture

Item (NTD/ha)	Parameter	Description
Set-up pond/ sun-dried of the pond	83,000	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excavator costs: 50,000 NTD/ha</li> <li>• Electrical and mechanical expenses for drying pond pumping: 5,000 NTD/ha</li> <li>• 1,000 kg/ha of tea meal: 28,000 NTD/ha</li> </ul>
Seedling cost	100,000	
Feed cost	33,600	
Hydropower cost	33,800	Refer to the cost parameters mentioned in Huang (2019) and adopt the cost input of each unit corresponding to the 60% survival rate
Full-time personnel costs	57,700	
Temporary personnel costs	41,200	
Other costs	20,100	
Total production cost variables	369,400	Sum of all costs

**Table 3** Variables of production costs of clam aquaculture

Item	Parameter	Description
Yield (kg/ha)	7,200	Refer to Huang (2019) clam survey results.
Unit price (NTD/kg)	90	Poolside price
Unit income (NTD/ha)	648,000	Refer to the average unit profitability corresponding to the 60% live deposit rate mentioned by Huang (2019).
Discount Rate (%)	5.25	The discount rate of clam farming is about 5%-10% ; Solar has a discount rate of 5.25% based on the renewable energy bulk purchase rate of Bureau of Energy (BOE).
Inflation Rate (%)	1	Inflation in Taiwan is mostly at 1%-2% every year.

定，於農業設施屋頂附屬設置綠能設施，其農業生產之產量標準認定，依種植之品項，須達農業統計年報最近三年平均產量之七成以上，並不論申請案件之受理審查、許可後之列管查核，從地方到中央，均秉持農地農用原則，農業設施附屬設置綠能設施，不得超過屋頂面積 40%，此法亦適用於非附屬於農業設施之營農型，如：水產養殖。本研究假設之 3 ha 養殖面積，太陽能板總設置容量為 4,500 kW，依據法規規定考量 40% 遮蔽率，故文蛤養殖太陽能設置量為 1,800 kW。

日照時數為考量文蛤養殖場集中在中南部地區，故以中南部一般日照時數 3.5 hr 計算。躉購費率為參採 109 年度經濟部能源局公告之費率 4.3914 元/kWh 計算，其包含了第二期上限費率、外加模組回收費、外加併聯電業特高壓供電線路費。太陽能建置費用依據一般行情價，每瓦建置費用約 45,000 元，故總建置費用約為 81,000,000 元。臺電線路補償費因各地區饋線情況不同，需視實際案場情況斟酌考量是否需要拉線路，故本

研究暫不納入考量。環保回收費依據能源局與環保署共同訂定太陽能板回收基金，每瓦 1,000 元，故環保回收費總計 1,800,000 元。土地容許回饋金為一般農牧用地回饋金是公告地價的 50%，即土地面積乘上公告地價的 50%，因各地區公告地價受市場行情影響，故需視實際案場為準，在此暫不納入考量。每年維運費均值約占售電收益的 10%。租金假設 300,000 元/ha，3 ha 共計 900,000 元。太陽能板功率衰減假設效率值會隨著太陽能板的功率衰減及材料老化每年會有 1% 的下降，將反應在售電收入上 (Table 4)。

##### 5. 太陽光電文蛤養殖風險或影響因子

影響因素主要為遮蔽效應因子，即太陽能板裝設前後對於文蛤養殖的影響。文蛤養殖池建立立柱形式的光電設施，池塘上方可覆蓋太陽能板發電，同時可避免夏季陽光直射，有效降低極限水溫發生的機率。理論上太陽能板對魚塢的遮蔽率將造成綠藻生成量下降，導致以綠藻為食的文

**Table 4** Solar setting variables

Item	Parameter	Description
Total capacity (kW)	4,500	According to the solar energy setting capacity of 3 hectares of clam farm (Does not consider the occlusion rate).
Estimated sunshine hours (hr)	3.5	Assume that the average sunshine hours in the central and southern regions is 3.5 hours.
Occlusion rate (%)	40	According to regulations
Clam culture establishment capacity (kW)	1,800	40% of total capacity
Feed-in-Tariff (NTD/kWh)	4.3914	
Construction cost per kW(NTD)	45,000	General market price hypothesis
Total construction cost (NTD)	81,000,000	Construction cost per kW * Clam culture establishment capacity
Taipower line compensation fee	--	Taipower's line compensation fees are different in feeder conditions in different regions, and it is necessary to consider whether the line needs to be pulled according to the actual situation at the site. Therefore, this study will not be considered for the time being
Environmental Recycling Charge (NTD)	1,800,000	The calculation basis is 1,000 NTD/kW
Allowable Land Rebate (NTD)	--	Land area * 50% of the announced land price (Sunk cost, not taken into consideration)
Average annual maintenance fee (%)	10%	About 10% of electricity sales revenue
Rent	908,822	Rent assumes 300,000 NTD per hectare (9% of electricity sales revenue)
Power attenuation	1%	The efficiency value will decrease by 1% every year with the power attenuation of the solar panel and the aging of the material

蛤增重比例也下降，但經水試所臺西試驗場研究結果發現，即便有太陽能板遮蔽，亦有發生綠藻生成量很高的情形，不影響以綠藻為食的文蛤，倘若綠藻生成量太高，文蛤會閉殼。另一方面，在有太陽能板遮蔽後，較不怕雨季期間因雨量過多導致池水的鹽度變化太大而影響文蛤的成長，至於不同水質項目如：氨、鈣、氧化還原電位 (ORP) 等，水試所臺西試驗場正進行不同遮蔽率對於不同水質項目變化的試驗比較。整體來說，遮蔽效應影響因子的綜合考量有日照直射影響、綠藻生成量、水質變化等，依據水試所臺西試驗場提供設置太陽能板前、後的文蛤重量差異，太陽能設置前文蛤每粒重量約 5.29 g、太陽能設置後文蛤每粒重量約 6.38 g。本研究將此影響因子加以貨幣化換算，回到投入產出的現金流計算。

近年來氣候變遷加劇，天災頻傳，太陽能板架設後對於文蛤養殖場遭受到天災的衝擊應有所

減緩調適作用。水試所臺西試驗場初步試驗，在 40% 的遮蔽率下，文蛤的生長狀況不受影響，而太陽能板遮蔭、遮雨功能，則可以減少氣候變化帶來的損失，故本研究對於天災減緩後的衝擊損失盡可能貨幣化。參考行政院研究發展考核委員會之「養殖漁業保險制度之研究」(周, 2011)，其針對不同魚類別試算 10 年經驗保險費率，在文蛤方面，受天災影響之下，平均每公頃損失 6,578 元。本研究假設太陽光電架設後可擋掉 90% 的天災影響，使損失降低至每公頃 658 元 (Table 5)。

## (二) 立體化貝類育苗溫室光電示範場成本參數

位於水試所臺西試驗場的立體化貝類育苗溫室示範場占地 310 m<sup>2</sup>，內部共計有四套系統，從源頭的浮游苗孵化系統及立體化育苗模組，到貝類變態成熟後的立體式渠道養殖系統，及飼料的

**Table 5** The risk or influencing factors of clam farming

Item	Parameter	Description
Shadowing effect factor	Before PV setting: 5.29 g/ Clam	Before and after the installation of solar energy, comprehensively consider the impact of direct sunlight, the amount of green algae produced, and the changes in water quality
Hazard mitigation factor (NTD/ha)	After PV setting: 6.38 g/ Clam	With reference to the "Study on the Farming Fisheries Insurance System" of the Research and Development Evaluation Committee of the Executive Yuan, clams suffered an average loss of 6,578 NTD per hectare under the influence of natural disasters. This study assumes that 90% of the impact of natural disasters can be blocked after the solar photovoltaic is installed, reducing the loss to 658 NTD per hectare

藻類培養室一應俱全。外部則架設 28 kW 光電板，提供白天電力所需。育苗種類選定小眼花簾蛤，其因為區域性特色水產養殖的考量，透過小眼花簾蛤執行的綠能環控溫室之貝類立體養殖技術成果顯示，嚴格控管水質與溫度，可讓貝類存活率達到 80% 以上，且透過立體多層架的養殖方式，育苗量可達 480 萬粒/m<sup>2</sup>，將近是傳統育苗的 10 倍。

本研究在成本效益分析情境上，將臺西貝類育苗場分為五種類型之情境探討，分別為「無綠能設置模式」、「現行漁電示範」、「太陽能自投自發自用模式」、「太陽能自投躉購售電模式」、「太陽能租地躉購售電模式」。無綠能設置模式即為溫室不裝設太陽能設施，採傳統養殖經營模式。現行漁電示範為臺西貝類育苗場現況，太陽能板由廠商贊助設置，不進行躉購售電、不收地租，惟每年可能會衍伸維護費用，太陽能發電自發自用節電，並做為養殖技術試驗研究用途。太陽能自投自發自用模式為育苗場自行投資太陽能設施，並僅作自行發電自己使用的用途，以節電為考量，不進行躉購售電。太陽能自投躉購售電模式為育苗場不採租地給太陽能業者，並自行投資太陽能設施，躉購售電收入作為投資回收及賺取售電利潤，開發養殖外的獲利來源。太陽能租地躉購售電模式為育苗場提供溫室場域並租地給太陽能業者設置太陽能板，所產生的電全權由業

者進行躉購售電，並且售電收入予以育苗場一定比例的租金或回饋金，亦為養殖外的獲利方式。

#### 1. 育苗場建置成本參數

在育苗階段，每平方公尺放置四層的小眼花簾蛤飼育槽，每槽大約可育成 120 萬粒的沉底苗，共計 480 萬粒。育苗場溫室空間計有 310 平方公尺，育苗設備有溫室 (15 m×20 m)、環控系統 (2 組)、藻類培育模組 (4 組)、溫控藻類培養室 (4.7 m×4.4 m)、育苗玻璃纖維水槽 (24 t)、立體無沙育苗模組 (4 組)。整體設施的投入成本約 600 萬元，可長時間穩定種苗生產。渠道式的貝類養殖重量成長有 2.5 倍，單價為 108 年價格每億粒 50 萬元、三批次產量 (6 個月)，估算育苗室投報 (Table 6)。

#### 2. 太陽光電設置成本參數

太陽能板設置採營農強固型搭建於溫室上，因溫室內有環控系統設備，故無遮蔽率考量問題。太陽能建置容量 28 kW，因建置規模較小，故設置成本提高，假設 50,000 元/kW，總建置費用為 1,400,000 元，若有承租予太陽能業者設置，亦因設置規模較小因而租金的回饋比例較少，假設約為售電收入的 6%。太陽能板環保回收模組回收費用原則分 10 年徵收，回收費每年 28,000 元。躉購費率 4.3914 元/kWh，節電量相當於太陽能發電量，平均每年 32,567 kWh (Table 7)。

**Table 6** Cost parameters for the construction of a three-dimensional shellfish nursery greenhouse

Item	Parameter	Description
Greenhouse (NTD)	3,770,000	310 m <sup>2</sup>
Environmental control system (NTD)	349,000	2 teams
Algae Cultivation Module (NTD)	349,900	4 teams
Temperature controlled algae cultivation room (NTD)	445,000	20.68 m <sup>2</sup>
24 tons of seedling glass fiber sink (NTD)	287,910	6×4 ton
Three-dimensional sand-free nursery module (NTD)	715,680	4 teams
Overall facility investment cost (NTD)	5,917,490	The total cost of equipment such as greenhouses, environmental control systems, algae cultivation modules, temperature-controlled algae cultivation rooms, seedling glass fiber sinks, and three-dimensional sandless seedling modules
Nursery module area (m <sup>2</sup> )	24	
Nursery volume (Clam/ m <sup>2</sup> )	4,800,000	
Unit price (NTD/ 100 million)	500,000	2019 unit price
Three batches (month)	6	

**Table 7** Solar photoelectric setting cost parameters

Item	Parameter	Description
Total capacity (kW)	28	
Estimated sunshine hours (hr)	3.5	
Occlusion rate (%)	100	Robust environmental control greenhouse
Clam nursery establishment capacity (kW)	28	
Electricity price (NTD/kWh)	2.6	Refer to the electricity price announced by Taipower
Average annual electricity saving (kWh/year)	32,567	
Construction cost per kw (NTD)	50,000	
Total construction cost (NTD)	1,400,000	Initial investment
Environmental Recycling Charge (NTD/year)	28,000	1,000 NTD/kW
Average annual maintenance fee (%)	10	Calculated as the proportion of electricity sales revenue
Rent (NTD/year)	9,425	6% of electricity sales revenue
Power attenuation (%)	1	
Discount rate (%)	5.25	
Feed-in Tariff (NTD/kWh)	4.3914	

## 二、財務決策指標

本研究採用之財務決策指標主要為淨現值法 (NPV)、益本比 (B/C) 等，將不同方案所產生之效益項目與成本項目貨幣化，以茲比較。為進行漁電共生財務評估，首先需計算整體專案之總投

入成本與可能收入，再進行現金流量分析。現金流量分析為產品使用年限中各年度的現金流，再將各年的現金流折現，最後計算出漁電共生的淨現值。

淨現值是評估投資漁電共生在未來期間內現金流出量和流入量，再將這些現金流量以預估的

**Table 8** Analysis of the costs and benefits of clam breeding

	NPV (NTD)	B/C	Average annual net income (NTD/ha)
Income from clam farming before the installation of solar power	12,609,380	1.53	365,702
The income of clam farming after the installation of solar power	27,644,115	2.19	788,106

折現率折現，最後再加總各期的現金流量折現值，即可得到投資漁電共生的淨現值。若淨現值為正，代表投資漁電共生在給定的折現率下具有投資誘因。淨現值之計算公式如下，其中  $R_t$ ：第  $t$  年之效益值， $C_t$  為第  $t$  年之成本值， $i$ ：折現率， $N$ ：評估年期。

$$NPV = \sum_{t=1}^N \frac{(R_t - C_t)}{(1+i)^t}$$

益本比係指投資計畫之收入現值與成本現值之比值，一般來說，當投資計畫可以分割或重複執行時，則可採益本比。首先需計算各年度的總成本與收入估算現金流，再將各年的現金流折現，最後計算出漁電共生的益本比。若比值大於 1 具經濟可行性。其計算公式如下，其中  $R_t$ ：第  $t$  年之效益值、 $C_t$ ：第  $t$  年之成本值、 $i$ ：折現率（參考經濟部能源局公告之再生能源躉購費率所使用參數，以 5.25% 計算）、 $N$ ：使用年限。

$$B/C = \frac{\sum_{t=1}^N \frac{R_t}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^N \frac{C_t}{(1+i)^t}}$$

## 結果與討論

### 一、魚塢文蛤光電養殖成本效益分析

在太陽光電文蛤養殖收入方面，平均每年太陽光電躉售電力收入為 9,193,901 元，文蛤養殖租金收入約占售電收益的 9%，即 908,822 元；文蛤銷售收益考量產量、銷售單價、養殖面積、通膨率，經計算平均每年為 2,172,798 元；太陽光電遮蔽效應促使文蛤養殖重量增加 20%，故貨幣化轉換增加了銷售額度，約為 294,300 元。在太陽光電文蛤養殖支出方面，太陽光電建置及維運費用為 83,809,802 元；平均每年文蛤生產成本為 1,108,200

元；太陽光電設置前、後的天災風險，予以貨幣化轉換，設置前平均每年可能的支出為 19,734 元，設置後假設減少 90% 的支出，平均每年為 1,974 元。經財務指標計算結果，太陽光電設置前之文蛤養殖收益，20 年期淨現值 12,609,380 元、益本比 1.53、每年平均淨收益約 365,702 元/ha；太陽光電設置後之文蛤養殖收益，20 年期淨現值為 27,644,115 元、益本比 2.19、每年平均淨收益約 788,106 元/ha (Table 8)。不論在經濟可行性、投入效果、獲益性等，太陽光電設置後的文蛤養殖效益均優於設置前的效益。

本研究另進行文蛤養殖的銷售價格敏感度分析 (Table 9)，進行太陽光電設置前後於文蛤銷售價格的操作性探討。當文蛤銷售單價為 90 元/kg 時，則不管有無設置太陽光電，文蛤養殖均具經濟可行性，但有光電設置後其收益上表現更佳；當文蛤銷售單價為 55 元/kg 時，無設置太陽光電的文蛤養殖達經濟可行邊界，但有太陽光電設置的文蛤養殖經濟表現，仍達不錯的經濟可行效果；當文蛤銷售單價為 47 元/kg 時，無設置太陽光電的文蛤養殖經濟效果已呈現不可行，但有太陽光電設置的文蛤養殖經濟表現仍具經濟可行性；當文蛤銷售單價為 14 元/kg 時，為有太陽光電設置的文蛤養殖之經濟可行邊界，若價格再調降，則光電文蛤將為經濟不可行。

在環境效益方面，陳 (2017) 指出 1 公頃的文蛤養殖場的固碳量相當於 792 棵樹；而每 1,000 kg 的貝殼約可固化 440 kg 的二氧化碳。故本研究養殖面積 3 公頃、產量 21,600 kg 的文蛤，約可固化 9.5 公噸的二氧化碳。此外，文蛤養殖場設置太陽光電的外部效益方面，考量本案場假設太陽光電之設置規模、臺灣整體電力碳排放係數，可計算本研究太陽光電可減少之二氧化碳年排放量為 1,226 公噸；在考慮臺電購入燃煤單價、燃煤燃耗

**Table 9** Sensitivity analysis of sales price of photoelectric clams farming

Unit price of clams (NTD/kg)	90	55	47	14
Photoelectric clam profit ratio (B/C)	2.19	1.68	1.57	1.09
Clam farming benefit ratio (B/C)	1.53	1.09	0.99	0.58
Economic feasibility	Both are economically feasible, but the photoelectric clam performs better	Economically feasible boundary of clam farming	Clam farming is economically infeasible	The economically feasible boundary of photoelectric clam

**Table 10** Environmental benefit analysis

Environmental improvement index	External benefit	Remark
Carbon sequestration of clam culture	9.5 tons	
Solar photovoltaic annual power generation	2,299,500 kWh	Daily power generation 3.5 kWh/kW·day
Annual CO <sub>2</sub> emissions that can be reduced by solar photovoltaics	1,226 tons	
Solar energy can save coal consumption	959,351 kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>The unit price of coal purchased by Taipower in 2019 is 2.55 NTD/kg</li> <li>The coal consumption rate is 0.4172 kg/kWh</li> </ul>
The amount of coal consumption that solar can save	2,446,346 NTD	--
Solar energy can save electricity bills	6,093,675 NTD/year	Based on electricity price 2.65 NTD/kWh

率，太陽光電可節省之燃煤消費量為 959,351 kg、可節省之燃煤消費金額為 2,446,346 元；太陽光電可節省之電費每年為 6,093,675 元 (Table 10)。

## 二、水試所臺西試驗場立體化貝類育苗溫室光電示範場成本效益分析

本研究以漁民育苗溫室設置的觀點為主，進行不同情境的分析 (Table 11)。現行漁電示範之太陽能板設置為業者贊助而不需投資太陽能設備，僅需支付後續的維運保養費用，另考量太陽能所發電力提供溫室節電，故進一步將節省的電費內部化計算，亦即節電就是賺錢，其所獲得之成本效益結果為所有情境中最高。採取太陽能租地躉購售電模式，亦有不錯的成本效益結果，僅次於現行漁電示範，亦為目前農電漁電共構所採行的主流商業模式，即為漁民零出資、政府零補助、

出租私場域的方式，創造漁電共構的額外金流。

至於太陽能自投躉購售電模式，以現行的溫室太陽能設置規模，較難彰顯其成本效益，須更大的經濟規模案場以提高整體效益，該模式適合作為未來溫室漁電推動的方向。太陽能自投自發自用模式則為目前最不推薦的情境，若未來太陽能設置成本可再更降低至少一半以上的設置成本，則該情境才較符合成本效益。而現階段我國電業自由化的推動亦將有助於該情境在未來實現，但需時間調適；無綠能設置模式則為一般情境，作為綠能加值結果的對照比較。

整體來說，未來若能增加太陽光電的綠能利用率，就可以進一步縮短投資成本，立體的層架也可以增加，單位面積產量有提高的空間。室內養殖在地狹人稠的臺灣將成為未來趨勢，不僅穩定貝類品質避免大量死亡風險，更能調節產季，平均市場供需。

**Table 11** The results of a cost-benefit analysis of a green energy photoelectric three-dimensional environmentally controlled shellfish nursery greenhouse in different situations

Scenario	Green energy photoelectric three-dimensional shellfish seedling nursery environmental control greenhouse				
	No green setting mode	Fishery and electricity symbiosis demonstration	Solar self-investment, self-generation and self-use mode	Solar self-investment and FiT mode	Leasing land and FiT mode
Income					
Nursery	3,540,000	3,540,000	3,540,000	3,540,000	3,540,000
Save electricity bills	-	84,675	84,675	-	-
Electricity sales income	-	-	-	157,080	-
Rent	-	-	-	-	9,425
Nursery	3,540,000	3,540,000	3,540,000	3,540,000	3,540,000
Outcome					
Input cost of nursery facilities	5,917,490	5,917,490	5,917,490	5,917,490	5,917,490
Electricity cost	250,000	250,000	250,000	250,000	250,000
Miscellaneous supplies	150,000	150,000	150,000	150,000	150,000
Solar energy equipment investment and operation and maintenance	-	14,302	1,485,914	1,485,914	-
Average annual net profit	2,831,626	2,901,999	2,816,599	2,874,940	2,841,522
B/C	1.156	1.171	0.845	0.887	1.164
Economic feasibility ranking	3	1	5	4	2

## 結論

文蛤養殖分布在彰化、雲林、嘉義、臺南，各區域地理、氣候、水質狀況不盡相同，且文蛤生長條件要考量的變數多，亦不只是單單環境的影響，故要計算出一套適用於各案場的通用太陽光電文蛤養殖成本效益模式相對困難。另外，文蛤光電模式的推動，甫以前年才開始，故試驗階段的成本效益評估，較難考慮到光電設置後，文蛤養殖收穫持續七成以上、及養殖生長環境條件改善進而降低文蛤死亡率的再現性問題。因此，成本效益的客觀性，需仰賴多方蒐集參數、佐證數據，以使結果能夠貼近現況。本研究在漁電經

濟效益評估上，係以產業端的角度進行資料蒐集分析，並輔以水試所臺西試驗場的訪談，了解文蛤養殖風險上的課題，以調整經濟評估模型。

文蛤光電養殖在財務計算的角度上，由於收益方的角色不同而會有不同的計算方式，例如：租金在漁民方屬於收入，但對太陽能業者來說是支出；售電整體收入屬於太陽能業者，但漁民僅占其 8 - 10% 之間；天災風險，在太陽能業者方面會有保險的支出，至於在漁民方面，農委會漁業署於 106 年即展開試辦養殖漁業天然災害保險，但漁民申辦保險上仍不普遍，故另納入天災損失的考量。至於貝類育苗溫室光電，浮游苗成長所需的餌料以微細藻類為主，且大多利用戶外

池來培養。因此，常受制於天候因素而無法穩定而大量培養與供應，以致影響育苗成功率，甚或延長育苗期。種貝生產時間主要靠天吃飯，在水質與溫度沒有控管的情況下，漁民的收穫不甚理想。貝類的溫室養殖不同於傳統戶外的塢養，室內型設施育苗的優點可同時解決近年來的極端氣候與病原問題，雖然需投入的成本較高，但利用空間增加單位面積產量，達成產業高質化精緻化，不但可改善勞動環境，且若能結合綠能設施，將可降低電力成本，導入智能監控管理，減少勞力密集工作。

## 謝 辭

感謝行政院農業委員會水產試驗所 109 年度計畫“農業綠能產業化推動服務體系建立”與合作團隊財團法人農業科技研究院研究經費之挹助及支持，使本文得以順利完成，謹致謝忱。

## 參考文獻

- 中央研究院 (2021) 臺灣貝類資料庫. 中央研究院, 臺北. <https://shell.sinica.edu.tw/> (引用日期2021/5/8)
- 邱仕彰 (2019) 活力漁寶1號與鎂鈣肥應用於文蛤技術介紹 (上篇). 臺肥季刊, 2019年7月號.
- 周林毅 (2011) 養殖漁業保險制度之研究. 委託研究報告RDEC-RES-099-003, 行政院研究發展考核委員會編印, 210 pp.
- 陳君如 (2017) 貝類養殖產業. 科學發展, 535: 4-5.
- 黃振庭 (2019) 文蛤養殖成本分析. 文蛤科學化養殖, 行政院農業委員會水產試驗所, 基隆市, 67-74.
- 黃振庭, 陳玉家, 劉秉忠, 林正輝, 蕭堯仁, 陳詩璋, 莊慶達 (2018) 臺灣文蛤養殖生產經濟及運銷經濟分析. 海大漁推, 48: 67-82.
- 農委會 (2021) 漁產品交易行情. 行政院農業委員會, 臺北. (引用日期2021/5/8) <https://m.coa.gov.tw/Transaction/AquaticTrans/Index>.
- 漁業署 (2021) 養殖漁業放養查詢平臺. 行政院農業委員會漁業署, 臺北. (引用日期 2021/5/1) <https://fadopen.f.a.gov.tw/fadopen/service/listLicenseAddUpWeeklyReport.htmx>
- 鄧晶瑩 (2017) 養殖文蛤細菌性疾病之探討. 農政與農情, 300: 58-62.

## Analysis of the Economic Benefits of the Aquavoltaics Model of Shellfish Farming

Chung-Chun Hsu<sup>1\*</sup>, Chun-Chi Chang<sup>2</sup>, Chia-Hsuan Sung<sup>3</sup> and Wei-Ke Chen<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Research Division I, Taiwan Institute of Economic Research

<sup>2</sup>Business Promotion Center, Agricultural Technology Research Institute

<sup>3</sup>Planning and Information Division, Fisheries Research Institute

### ABSTRACT

Taiwan's land resources are limited. The previous high-level national land-use policy had a complete and comprehensive plan to avoid impacts on land originally used for fisheries and aquaculture and to maintain food security and promote new types of green fishery. The shared industrial model of electricity generation and fishery is a solution to balance the competition between energy policies and fishery development. This study used economic benefit evaluation of the combination of fishery and green-energy production to focus on two topics—photoelectric farming of clams and demonstration of a three-dimensional photoelectric shellfish nursery hothouse—in order to understand the key technologies of shellfish farming and green energy co-development. This study has the potential, from the perspective of financial and economic development, to provide R&D teams with references for technology product application and development strategies. Cost was estimated through monetization conversion analysis of the costs, benefits, risks, and other parameters of the fishery and electricity symbiosis. The results of the analysis of benefits, cash flow and related financial indicators will provide decision-makers and investors in the symbiosis with a reference to assist stakeholders engaged in fishery and electricity co-production to effectively reduce investment time and capital costs and shorten the learning curve.

**Key words:** Aquavoltaics, *Meretrix lusoria*, photoelectric shellfish nursery greenhouse, economic benefits

---

\*Correspondence: 199, Hou Ih Road, Keelung 20246, Taiwan. Tel: (02)2462-2101 ext. 2517; Fax: (02)2463-3110; E-mail: wkchen@mail.tfrin.gov.tw