

太陽能光電板遮蔽率對臺灣文蛤養殖環境及底棲動物之影響

黃元照¹ · 黃大駿² · 黃宇璇³ · 陳高松^{4*}

¹ 國立成功大學水利與海洋工程學系

² 私立嘉南藥理大學環境資源管理學系

³ 國立臺南大學生態暨環境資源學系

⁴ 行政院農業委員會水產試驗所企劃資訊組

摘要

近年來，政府啟動國家能源轉型，積極發展潔淨能源，並推動結合太陽能光電及水產養殖的「漁電共生」計畫，但因為光電板遮蔽率可能會直接影響到養殖環境及臺灣文蛤 (*Meretrix taiwanica*) 產量，因此本研究在行政院農業委員會水產試驗所海水繁殖養殖研究中心臺西試驗場進行文蛤養殖的三種遮蔽率 (0%、40%及 70%) 實驗，並於養殖前期 (2020.05 - 10) 及養殖後期 (2021.01 - 06) 分別採集水質、底質及底棲動物進行養殖環境品質狀態評估，以探討對文蛤養殖最適合的光電板遮蔽率。結果指出，遮蔽率與水體的生化需氧量、葉綠素 a、氨氮及硝酸鹽濃度呈現負相關趨勢，但在養殖前期與底質有機質含量呈現正相關趨勢。遮蔽率 0%與 40%兩組的底棲動物群聚結構相似度較高，而 40%組有相對較高的物種歧異度和豐富度。此外，遮蔽率 0%及 40%組別，其環境健康指標生物 (腺帶刺沙蠶, *Neanthes glandicincta*) 數量明顯多於 70%組。遮蔽率達到 40%後，水質開始出現明顯變化，尤其 70%組的變動最為明顯。養殖前期遮蔽率 70%組的底質累積最多的有機質。不同遮蔽率所造成的養殖環境差異，影響到底棲無脊椎動物群聚結構及多樣性。整體而言，環境資料及指標生物結果皆說明遮蔽率 0%及 40%的組別仍可維持文蛤健康養殖環境，亦符合政府太陽能板遮蔽率規範。

關鍵詞：太陽能光電板、遮蔽率、文蛤養殖、水質與底質、底棲無脊椎動物、指標生物

前言

為了減緩氣候變遷、減少化石燃料使用與二氧化碳排放，全球開始高度重視環保綠能。政府於 2016 年啟動國家能源轉型，提高能源效率，積極發展環保能源，太陽能電便是其中重要的項目之一。由於臺灣西南沿海的水產養殖區，正好也是日照最充足的地區，為了使太陽光電設置更加順利，不影響土地原有用途的漁電共生，一直是地面型光電主推的設置方式之一。而臺灣文蛤 (*Meretrix taiwanica*) 養殖範圍廣大，評估可作為結合太陽能光電發電的最佳場所 (周和陳, 2019)。文蛤為我國主要的經濟性養殖貝類，產區集中在西南各縣市沿海區域 (彰化縣、雲林縣、

嘉義縣及臺南市)。近年來因為文蛤在食用上的需求逐漸增加，為了提高收成率，其放養密度逐漸提高。由於文蛤養殖區域的進排水系統不甚完善，提高放養密度的結果常造成養殖池環境的嚴重劣化，再加上極端氣候的頻繁發生，文蛤養殖經常發生大量異常死亡的事件，影響漁民收益 (周, 2017; 陳等, 2019)。

二枚貝為濾食性生物，主要食物來源以水體中有機碎屑、矽藻、鞭毛藻等浮游微細藻類及原生動物為主。而且文蛤養殖成效深受養殖水體、所攝食的微藻種類及水中微藻細胞濃度等因素影響。然而，藻類相變化又受光照及水質影響。因此，文蛤養殖管理首重於養殖池的水質變化 (周與陳, 2019; 周等, 2021)。此外，文蛤棲息的底質狀態惡化亦攸關生物活動、成長及生存，底質管理也有其相對必要性。隨著養殖時間增長，底質狀態會隨之改變，長期累積的死亡藻類、糞便和飼料殘餌等殘留有機物質，經由微生物分解時會導致底質高耗

*通訊作者 / 基隆市和一路 199 號; TEL: (02) 2463-2101 ext. 2519; FAX: (02) 2462-4627; E-mail: kschen@mail.tfri.gov.tw

氧及發展成還原狀態。再加上厭氧分解的產物如氨、硫化氫、甲烷及有機酸，都會直接影響到養殖環境，進而危害到底質內生存的蝦、蟹及貝類等養殖生物及其他伴生底棲動物，因此底質的有機質含量亦被認定為養殖環境品質重要指標 (周與葉, 2017; 謝等, 2020)。養殖魚塭 (黃, 2016; 黃等, 2018) 及海洋箱網養殖 (Tomassetti *et al.*, 2009; Huang *et al.*, 2012a) 的底棲動物組成會因為底質有機質含量的多寡而有所差異，說明底棲動物能直接反映出底質環境污染的變化。其中的優勢種環節動物多毛類的種類對於底質環境的耐受度異有所不同，其物種分布及群聚結構亦能解釋底棲環境品質的差異性 (Tomassetti and Porrello, 2005; Deans, 2008)。整體而言，多毛類是可作為評估底質環境品質變遷之重要指標生物之一。

文蛤養殖範圍廣大，結合立柱型太陽能光電設施不僅能發電轉賣，或提供養殖池用電，更能有較降低養殖池內因水溫及鹽度劇烈變化而造成的養殖收益損失。在能增加養殖生產效能的漁業綠能共構產業模式之下，不失為一種創新的漁業經營模式 (陳等, 2019)。不過，濾食性的文蛤食物來源以藻類為主。太陽能光電板架設之後，勢必直接減少養殖池內的陽光照度，間接影響水質、藻類的分布與組成，進而造成底質改變及底棲動物群聚結構的變動，最後影響文蛤成長。根據農委會所制定的《申請農業用地作農業設施容許使用審查辦法》(農委會, 2003)，光電板覆蓋遮蔽率不得超過申請設施所坐落之農業用地土地面積之 40%。此外，非附屬置於農業設施之綠能設施，申請免與農業經營使用相結合，其設施總面積不得超過申請設施所坐落之農業用地土地面積 70% (行政院農業委員會, 2003)。因此本研究依據上述規範內容，進行設置三種太陽能光電板遮蔽率 (0%、40%、70%) 試驗比較，並探討遮蔽率差異性對養殖池水質、底質及底棲無脊椎動物的群聚組成及動態消長影響，更進一步利用環境指標生物來評估養殖環境品質的優劣狀態。期盼能藉此找出文蛤養殖池設置太陽能光電板的最適遮蔽度，以作為未來文蛤漁電共生養殖管理的參考依據。

材料與方法

本研究於行政院農業委員會水產試驗所海水

繁養殖研究中心臺西試驗場進行，太陽能光電板遮蔽率分別為 0%、40%、70%，每個遮蔽率分組下有兩個戶外文蛤養殖池，每池放養臺灣文蛤 12 萬粒 (放養密度為 120 萬粒/公頃)，另每池放養 100 尾虱目魚及 100 尾金錢魚作為清除大型藻類的工作魚，投餵量為放養文蛤總體重的 2%，每週投餵 2 次，共 6 個養殖池，每月採集一次。因 2020 年 11 - 12 月間，氣溫驟降時段頻繁，文蛤遭受劇烈水溫變化，為避免採集作業踩踏底質干擾文蛤養殖，因此採樣時間分為養殖前期：2020 年 5 - 10 月，以及養殖後期：2021 年 1 - 6 月，共進行 12 次採集。

一、水質採集與分析

水質調查方法依據水質檢驗方法總則 (環檢所, 2005a) 進行採樣及調查。水質溶氧量 (dissolved oxygen, DO) 以 YSI (Pro ODO, USA) 現場測定 (環檢所, 2012)。為避免單一養殖池內不同區域間的水質差異，本研究採樣時將池內的前、中及後區域內的水樣進行混合，之後做進一步的水質檢測分析。檢測參數包含懸浮固體 (suspension solids, SS) (環檢所, 2013)、生化需氧量 (biochemical oxygen demand, BOD) (環檢所, 2011)、化學需氧量 (chemical oxygen demand, COD) (環檢所, 2007)、氨氮 ($\text{NH}_3^+\text{-N}$) (環檢所, 2005b) 與葉綠素 *a* (Chlorophyll-*a*) (環檢所, 2002a)、總磷 (Total phosphate, TP) (環檢所, 2005c)、硝酸鹽氮 ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) (環檢所, 2006)、亞硝酸鹽氮 ($\text{NO}_2^-\text{-N}$) (環檢所, 2002b) 等水質重要指標，檢驗方法皆依據環境保護署環境檢驗所提供之標準方法分析。

二、底質採集與分析

每次採集為瞭解養殖池內底質的差異變化，單一池內分前、後區域兩個採樣點進行採集。因此，每個遮蔽率分組則可以取得 4 個底泥樣品進行分析。每個採樣點以內徑 3 cm 壓克力管進行表層底質 (深度 5 cm) 的採集。底質環境分析參數為：有機質含量 (%)、含水量 (%)、粒徑 (mm)、粉泥 / 黏土含量 (%) 及評定底質顆粒均勻分布狀態的篩選係數等五項環境因子。底質物理特徵的粒徑、粉泥 / 黏土含量及篩選係數分析方法使用濕篩法，以網目 0.5 - 0.062 mm 的多層篩網及 0.0012 mm 濾

紙 (Wentworth) 進行底質顆粒分級過篩，並藉由所得數值計算底質樣本的環境參數 (Folk, 1966; Buchanan and Kain, 1971; 謝等, 1993; Blott and Pye, 2001)。底質化學特徵的有機質含量以灰化法 (loss-in-ignition) 測定 (陳等, 1998)，以及行政院農業委員會農業試驗所土壤有機質測定方法 (農試所, 2013) 為依據。由於坩鍋容量可裝填約 30 g 底泥，本研究則每次取出適量約 15 - 20 g 的底泥樣本置於坩鍋內 (Wp 為空坩鍋重量)，置於 60°C 烘箱內烘乾 12 hr (W60) 至恆重，測定減少的重量即可得到底泥含水量。計算公式為：

$$\text{含水量}(\%) = \frac{(\text{濕重}) - (\text{乾重})}{(\text{濕重})} \times 100\%$$

最後將樣本置於 500°C 的高溫灰化爐中灰化 4 hr (W500)，即可將底泥中的總有機物完全灰化，計算其減少的重量百分比 (Co%) (公式 1)，為此樣本的有機質含量。

$$Co = \frac{W60 - W500}{W60 - Wp} \times 100\% \dots \dots \dots \text{(公式 1)}$$

三、大型底棲無脊椎動物採集與分析

以 15×15 cm² 艾克曼採泥器 (Ekman Dredge) 挖取養殖池深度約 10 cm 的表層底泥，底棲動物採樣點的選擇方式與底質相同，每個遮蔽率分組可取得 4 個動物樣品，總採樣面積為 0.09 m²。以網目 0.5 mm 孔徑的篩網進行初步篩選。再將留在篩網上的底泥及生物樣品沖倒至塑膠罐。先以薄荷腦 (menthol) (Snowpeak Brand) 麻醉，再以 5% 福馬林 (Formalin) (Burnett) 固定。樣品固定且裝罐後攜回研究室，分析時再次倒在 0.5 mm 孔徑的篩網上，以清水沖洗，去除福馬林，然後進行挑蟲、鑑定及計數的工作 (謝等, 1993; 陳等, 1998)。大型底棲無脊椎生物鑑定主要到科為主，部分常見種類則可鑒定至屬或種。此外，由於目前臺灣的環節動物多毛綱生物相關研究與鑑定資料較少，因此物種名稱與鑑定條件主要參考中國相關圖鑑 (吳等, 1997; 孫與楊, 2004, 2014)。

生物的多樣性通常以生物群聚的歧異度 (species diversity) 變化來瞭解，而歧異度是以生物種類組成的結構關係，可用來表示自然集合群聚的變化情形。本研究使用 Shannon 物種歧異度指數 (Shannon's diversity index, H')、均勻度指數

(Pielou's evenness index, J) 及種數的豐富度指數 (species richness index, SR) 來進行分析與評估。各種指數之計算公式表示如下：

(一) Shannon 多樣性指數 (H')

綜合反映一群聚內生物種類之豐富程度及個體數在種間分配是否均勻。此指數越大時表示此地群落之物種越豐富，即各物種個體數越多越均勻，代表此群落歧異度較大 (公式 2)。

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \dots \dots \dots \text{(公式 2)}$$

式中，Pi 為各生物出現之頻度，S 為物種種類數。

(二) 均勻度指數 (J')

$$J' = \frac{H'}{\ln(S)} \dots \dots \dots \text{(公式 3)}$$

式中，H' 為 Shannon Index，S 為種數。J' 指數數值範圍為 0 - 1 之間，表示的是一個群落中全部物種個體數目的分配狀況，即為各物種個體數目分配的均勻程度 (公式 3)。當此指數愈接近 1 時，表示此調查環境的各物種其個體數越平均，優勢種越不明顯。

(三) 種類豐富度指數 (SR)

SR 值表示群聚內種類數的豐富情形，指數值愈大則群聚內生物種類數愈多 (公式 4)。

$$SR = \frac{(S - 1)}{\ln N} \dots \dots \dots \text{(公式 4)}$$

式中，N 表示所有生物種類之總個體數；S 表示所出現生物之種數。

以上分析使用 PRIMER 6.0 (Plymouth Marine laboratory, Plymouth, UK) 套裝軟體。

四、統計分析

養殖前後期作為時間比較基準，再針對光電板遮蔽率分組的差異性進行統計解析。養殖池水質環境資料先以獨立樣本 t 檢定 (Independent sample t test) 作為養殖前後期的差異比較。再以多變量判別分析 (canonical discriminant analysis) 解

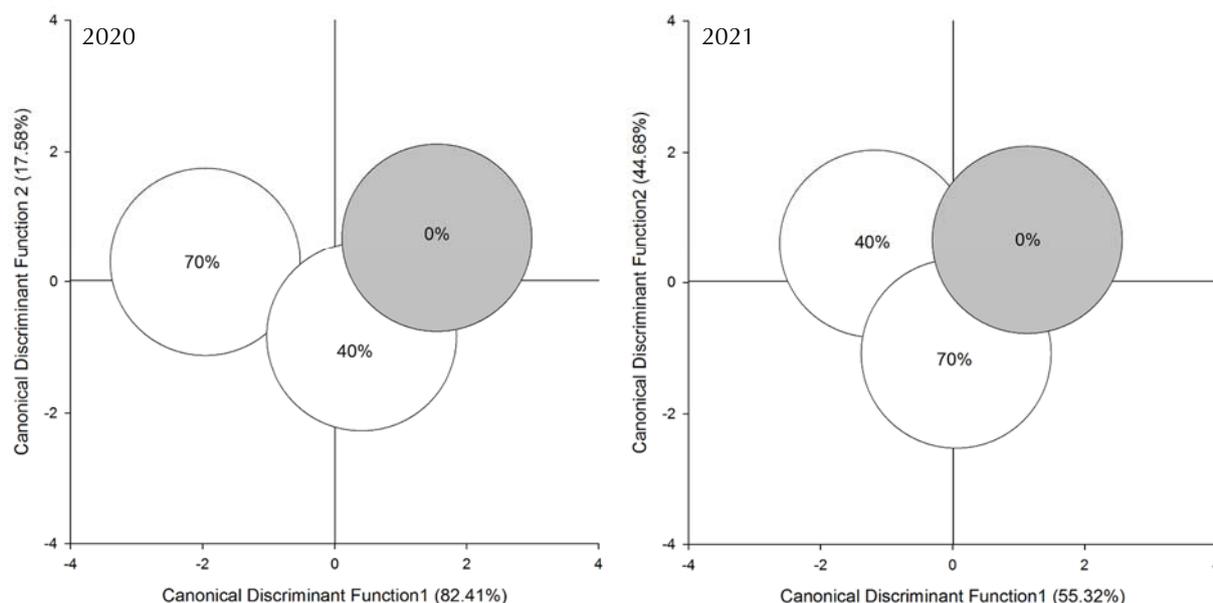


Fig. 1 Canonical discriminant analysis of the water quality in the three clam ponds with 0%, 40%, and 70% shading rates between 2020 and 2021.

析於不同光電板遮蔽率影響下的變化情況。由於分析結果中的結構係數值 (total canonical structure coefficients) 為區別變項 (discriminant variables) 與區別函數 (canonical discriminant functions) 的相關，相關數值絕對值愈大，表示個別區別變項對區別函數的貢獻度及重要性愈高。由於結構係數並沒有提供統計顯著性檢定，因此只能自行根據其係數絕對值高低來判別其與區別函數的相關程度 (吳, 2009)。此外，底質環境參數、生物多樣性指數使用二因子多變量變異數分析法 (Two-way MANOVA)，環境指標生物則使用二因子單變量變異數分析法 (Two-way ANOVA) 進行分析。若顯著水準 $p < 0.05$ ，再以 Duncan's test 進行事後檢定。此外，大型底棲無脊椎動物群聚結構相似程度則使用群集分析 (cluster analysis) 解析遮蔽率分組之間的差異。

結 果

一、水質環境參數

養殖前後期之間，各個遮蔽率分組下的水質環境參數結果顯示 (Table 1)，由於不同覆蓋率下的水質參數在養殖前後期間的比較上有所差異，為說明參數整體性的變化，本研究藉由平均值來說明前後

期的相對差異性。以三個遮蔽率分組的溶氧量、化學需氧量、葉綠素 a、正磷酸鹽及總磷的平均值來看，養殖後期皆相對高於養殖前期。而生化需氧量、氨氮、硝酸及亞硝酸含量則是前期相對高於後期。

以典型判別分析法解析各遮蔽率分組的差異結果得知，養殖前後期的水質環境參數皆呈現出統計上的差異 ($p < 0.05$)。養殖前期 (2020 年) 的典型判別函數軸 1 可解釋整體變異數的 84.06% ($p < 0.05$)，其典型相關係數為 0.84；典型判別函數軸 2 可解釋整體變異數的 15.94% ($p = 0.29$)，其典型相關係數為 0.56。養殖後期 (2021 年) 的典型判別函數軸 1 可解釋整體變異數的 55.32% ($p < 0.05$)，其典型相關係數為 0.69；典型判別函數軸 2 可解釋整體變異數的 44.68% ($p = 0.07$)，其典型相關係數為 0.65 (Fig. 1)。由於養殖前後期的典型判別函數軸 2 在統計上皆無呈現顯著性差異，因此本研究僅採用典型判別函數軸 1 作為說明。整體而言，遮蔽率 0% 的水質參數在養殖前後期皆與其他兩組有顯著性差異。養殖前期 (2020 年) 遮蔽率 0% 與 40% 的整體水質狀態較為接近，明顯與 70% 有差異 (Fig. 1)，依照 Table 1 的典型結構係數 (total canonical structure coefficients) 所提供絕對值 (含正負相關性) 排名前四項的水質參數得知 (Table 2)，遮蔽率 0% 內相對較高含量的葉綠素 a 和氨氮，低含量的硝酸鹽氮及亞硝酸鹽氮，是造成前期分組差異的主

Table 1 Water quality for the 3 clam ponds with shading rates of 0%, 40% and 70% between 2020 and 2021

Water quality parameter	0%		40%		70%	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Dissolved Oxygen (mg/L)						
Range	5.70-6.70	5.18-8.64	6.10-7.26	5.43-8.03	5.32-6.82	5.10-8.61
Mean ± standard error	6.33±0.10	6.67±0.35	6.51±0.12	6.70±0.24	6.28±0.13	6.74±0.30
significant (p)	-		-		-	
Chemical Oxygen Demand (mg/L)						
Range	34.00-88.00	35.00-106.00	35.00-89.00	62.50-215.00	36.00-91.00	58.00-94.00
Mean ± standard error	64.50±5.89	78.17±5.73	69.80±5.30	93.75±11.78	63.60±5.69	74.88±3.24
significant (p)	-		*		-	
Biochemical oxygen demand (mg/L)						
Range	1.20-14.52	0.80-3.30	0.96-15.00	1.00-8.10	1.02-14.31	0.20-8.40
Mean ± standard error	7.670±1.82	1.99±0.23	7.17±2.06	3.50±0.62	6.23±1.98	2.47±0.66
significant (p)	**		**		**	
Suspended solids (mg/L)						
Range	26.50-113.0	29.00-151.00	33.50-104.00	22.00-119.00	12.5-203.5	19.50-203.00
Mean ± standard error	57.80±7.27	70.96±13.04	56.90±8.52	50.38±9.55	56.75±18.05	52.50±14.67
significant (p)	**		-		-	
Chlorophyll-a (mg/m³)						
Range	1.17-6.80	0.89-19.25	1.12-6.40	2.07-47.89	0.24-4.80	0.74-27.03
Mean ± standard error	4.21±0.62	7.20±1.69	3.20±0.54	13.08±4.08	2.33±0.53	6.40±2.08
significant (p)	**		**		-	
NH₃⁺-N (mg/L)						
Range	0.12-1.64	0.17-1.12	0.05-0.70	0.16-0.87	0.10-0.80	0.20-0.73
Mean ± standard error	0.52±0.14	0.45±0.10	0.41±0.07	0.34±0.06	0.36±0.07	0.32±0.04
significant (p)	-		-		-	
NO₂⁻-N (mg/L)						
Range	0.003-0.088	0.004-0.020	0.002-0.070	0.004-0.015	0.009-0.555	0.004-0.011
Mean ± standard error	0.03±0.01	0.01±0.00	0.02±0.01	0.01±0.00	0.11±0.06	0.01±0.00
significant (p)	**		**		**	
NO₃⁻-N (mg/L)						
Range	0.01-0.70	0.00-0.06	0.01-0.09	0.00-0.02	0.02-0.165	0.01-0.02
Mean ± standard error	0.03±0.01	0.01±0.00	0.04±0.01	0.01±0.00	0.05±0.02	0.01±0.00
significant (p)	**		**		**	
PO₄⁻ (mg/L)						
Range	0.04-0.56	0.37-1.95	0.03-0.60	0.38-1.85	0.03-0.88	0.4-1.94
Mean ± standard error	0.16±0.06	0.93±0.15	0.21±0.06	0.94±0.14	0.27±0.10	1.07±0.14
significant (p)	**		**		-	
TP(mg/L)						
Range	0.01-0.60	0.37-2.66	0.01-0.75	0.33-2.27	0.02-0.93	0.25-2.30
Mean ± standard error	0.35±0.07	1.14±0.18	0.34±0.08	1.09±0.17	0.43±0.09	1.21±0.17
significant (p)	*		*		-	

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; ns: non-significant

要水質參數 (t test, $p < 0.05$, Table 1)。在養殖後期，遮蔽率 0%與其他分組的整體水質狀態差異變小 (Fig. 1)。遮蔽率 40% 有相對較高含量的化學需氧量和葉綠素 *a*，以及 0%相對較高含量的懸浮顆粒和氨氮則是造成後期分組差異的主要水質參數 (t test, $p < 0.05$, Table 1)。綜合養殖前後期間水質參數

結果得知，葉綠素 *a* 和氨氮含量的變化是造成遮蔽率分組差異的主要參數。

二、底質環境參數之變化

底質分析結果 (Table 3) 指出，各個遮蔽率養

Table 2 Total canonical structure coefficients between canonical discriminant functions (CDF1 and CDF2) and discriminant variables (water quality parameters) in three clam ponds with 0%, 40%, and 70% shading rates between 2020 and 2021. The top four absolute values are highlighted in bold

Water quality parameter	2020		2021	
	CDF1	CDF2	CDF1	CDF2
DO (mg/L)	0.07	0.47	-0.01	-0.03
BOD (mg/L)	0.09	0.01	-0.27	0.22
COD (mg/L)	0.03	0.28	-0.36	0.07
SS (mg/L)	0.01	-0.01	0.21	0.12
Chl-a (mg/m ³)	0.37	-0.12	-0.28	0.21
NH ₃ ⁺ -N (mg/L)	0.16	-0.40	0.20	0.20
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	-0.20	-0.10	0.19	-0.03
NO ₂ ⁻ -N (mg/L)	-0.30	-0.32	0.11	0.32
PO ₄ ⁻ (mg/L)	-0.18	0.01	0.00	-0.16
TP (mg/L)	-0.13	-0.16	0.04	-0.09
Canonical correlation coefficient	0.84	0.56	0.69	0.65
Eigenvalues	2.42	0.46	0.91	0.74
Cumulative variance explained (%)	84.06	15.94	55.32	44.68
Significant (<i>p</i>)	*	ns	*	ns

p* < 0.05; ns: non-significantTable 3** Sediment parameters for the three clam ponds with shading rates of 0%, 40%, and 70% between 2020 and 2021

Sediment parameter	0%		40%		70%	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Organic matter (%)						
Range	3.52-8.76	3.01-3.90	3.18-7.50	2.96-4.40	2.58-7.98	2.95-4.77
Mean ± standard error	4.35±0.28	3.59±0.04	4.63±0.25	3.67±0.09	4.86±0.34	3.70±0.07
Moisture (%)						
Range	21.78-26.84	21.70-27.59	20.14-34.91	21.21-39.48	22.11-31.46	22.63-33.79
Mean ± standard error	24.35±0.33	24.81±0.27	24.26±0.67	25.58±0.74	24.74±0.51	25.83±0.52
Grain size (mm)						
Range	0.18-0.27	0.20-0.34	0.17-0.29	0.17-0.30	0.20-0.31	0.15-0.31
Mean ± standard error	0.24±0.01	0.24±0.01	0.24±0.01	0.24±0.01	0.25±0.01	0.25±0.01
Silt/clay (%)						
Range	0.10-0.74	0.12-0.57	0.06-1.56	0.02-1.75	0.01-1.35	0.05-2.89
Mean ± standard error	0.32±0.04	0.25±0.02	0.38±0.07	0.41±0.08	0.33±0.07	0.55±0.14
Sorting coefficient						
Range	0.63-0.83	0.61-0.78	0.64-0.85	0.33-0.81	0.57-0.85	0.58-0.91
Mean ± standard error	0.71±0.01	0.69±0.01	0.71±0.02	0.69±0.02	0.70±0.02	0.71±0.02

殖池的有機質含量範圍落在 2.58 – 8.76% 之間，含水量則是介於 20.14 – 39.48% 之間。底質粒徑平均值分佈在 0.15 – 0.34 mm 之間，在粒度分類表裡屬於細砂 (0.13 – 0.25 mm) 及中等粗砂等級 (0.25 – 0.50 mm) (Folk, 1966)。而各養殖池內的粉泥/黏土比例含量介於 0.01 – 2.89% 之間，屬於砂質含量極高，粉泥/黏土含量相對較低的環境。此外，

底質篩選係數範圍為 0.33 – 0.91，在評定底質顆粒均勻分布狀態的分類等級上，介於極佳 (<0.35) 以及尚佳 (0.71 – 1.00) 等級之間。統計結果說明，底質環境參數在各個遮蔽率分組間並沒有顯著性差異 (Fig. 2)。而養殖前期的有機質含量明顯高於後期 ($F=4.67, p<0.05, n=144$)，是唯一在養殖前後期間有統計上差異的底質參數。

Table 4 Numbers of benthic macroinvertebrate communities for the three clam ponds with shading rates of 0%, 40%, and 70% between 2020 and 2021

Benthic macroinvertebrates	0%		40%		70%	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Annelida						
Polychaeta						
<i>Capitella</i> sp.	532±189	332±67	176±54	279±113	283±188	264±164
<i>Lysidice</i> sp.						24±124
<i>Neanthes glandicincta</i>	102±102	99±77	312±213	161±21	4±4	4±4
<i>Scoloplos marsupialis</i>	859±303	843±146	138±51	215±44	86±29	229±60
<i>Laonome albicingillum</i>	44±44	44±12	294±162	1001±583	101±101	79±46
<i>Polydora cornuta</i>	851±163	446±179	567±531	145±69	101±96	218±63
Arthropoda						
Insecta						
<i>Chironomus</i> sp.	30±30	6±2	64±38	7±5		20±13
Mollusca						
Gastropoda						
<i>Cerithidea cingulata</i>	2±2	9±5				

*Mean±SE, individual/m²

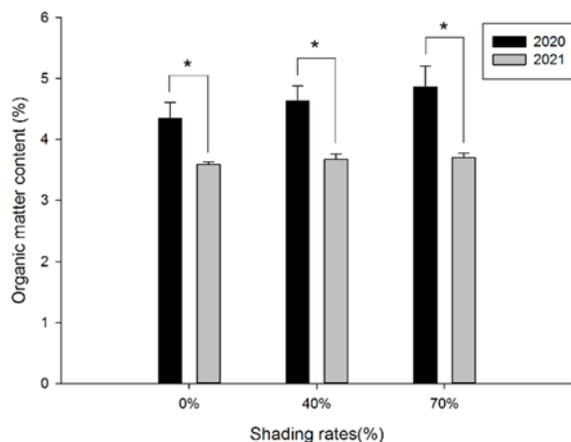


Fig. 2 The comparison of sediment organic matter concentrations in ponds with shading rates of 0%, 40%, and 70% between 2020 and 2021. Analyzed through two-way ANOVA. * $p < 0.05$ for two survey period.

三、大型底棲無脊椎動物群聚之變化

不同遮蔽率下，大型底棲無脊椎動物在養殖前後期間的群聚分佈結果說明 (Table 4)，主要優勢物種為環節動物門 (Annelida) 多毛綱 ((Polychaeta) 物種，豐度由高而低依序為：錐頭蟲科 (Orbiniidae) 膜囊尖錐蟲 (*Scoloplos marsupialis*)、小頭蟲科 (Capitellidae) 小頭蟲屬 (*Capitella* sp.)、海稚蟲科 (Spionidae) 角才女蟲 (*Polydora cornuta*)、纓鰓蟲科 (Sabellidae) 白腺纓鰓蟲 (*Laonome albicingillum*)、沙蠶科

(Nereididae) 腺帶刺沙蠶 (*Neanthes glandicincta*) 及磯沙蠶科 (Eunicidae) 襟松蟲屬 (*Lysidice* sp.) 等。經由群集分析結果指出，大型底棲無脊椎動物群聚結構在養殖前後期間皆呈現相同的分群趨勢：遮蔽率 0%與 40%組別之間的相似性程度 (similarity) 較高 (前期 2020 年：72.63；後期 2021 年：85.62)，並且與遮蔽率 70%有明顯差異 (Fig. 3)，而造成分群的主要因素為優勢多毛綱物種的豐度差異。

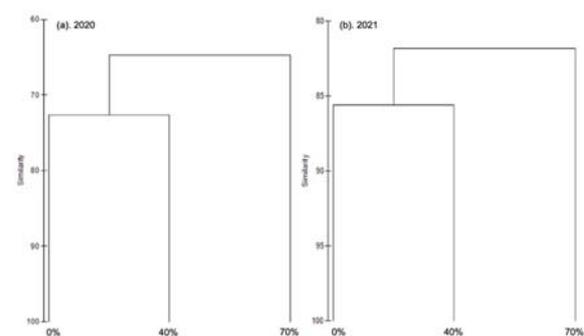


Fig. 3 Cluster analysis of the community structure of benthic macroinvertebrates in a pond with shading rates of 0%, 40%, and 70% between 2020 (a) and 2021 (b).

大型底棲無脊椎動物生物多樣性指數的統計結果指出，種類豐度指數的養殖前後期與遮蔽率分組皆具有顯著性差異 (Table 5)，遮蔽率 40%的指數最高 ($F=6.08, p < 0.05$) (Fig. 4a)。不同遮蔽率

分組間的均勻度指數則沒有統計上的差異 ($F=1.01, p=0.38$)，但是養殖前期數值高於後期 (Fig. 4b)。而 Shannon 多樣性指數則是遮蔽率 0% 與 40% 高於遮蔽率 70% ($F=8.10, p<0.05$)，養殖前後期則沒有統計上的差異 (Fig. 4c)。

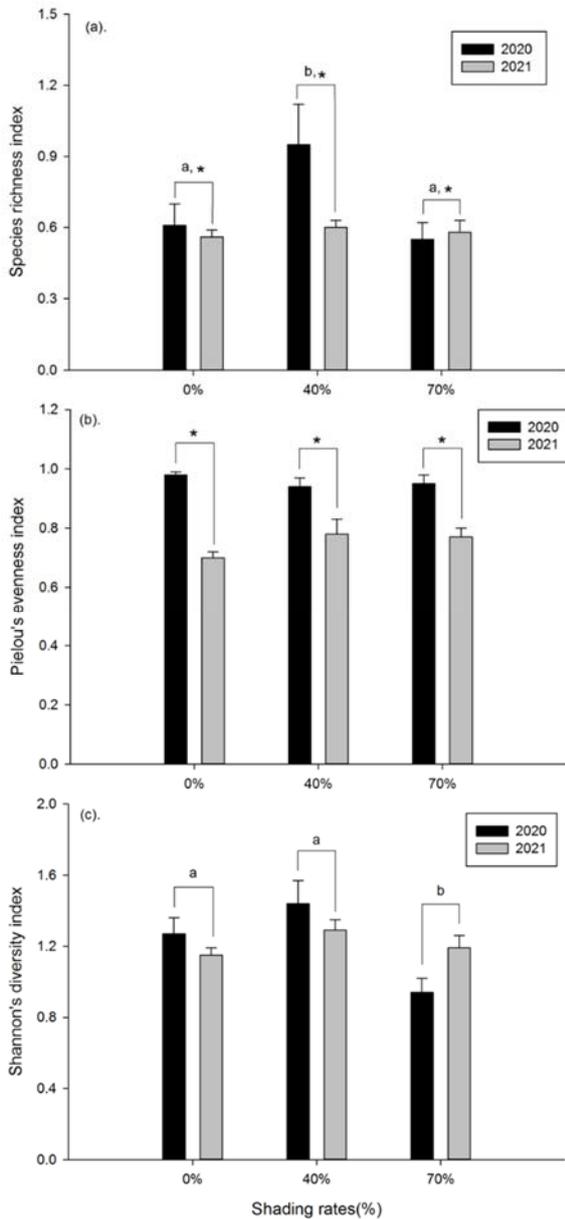


Fig. 4 Means + SE ($n = 24$) of benthic macroinvertebrate diversity index in a pond with shading rates of 0%, 40%, and 70% between 2020 and 2021. (a) Species diversity (b) Species Diversity (c) Shannon's index of diversity. Analyzed through two-way ANOVA. a, b: $p<0.05$ for Duncan's test of three shading rates. * $p<0.05$ for two survey period.

以兩種環境指標生物的平均豐度進行統計分析，結果顯示作為環境劣化指標生物的食碎屑多毛類 (膜囊尖錐蟲、小頭蟲屬、角才女蟲、白腺纓鰓蟲) 遮蔽率 0% 的平均數量明顯高於 70% ($F=4.41, p<0.05$) (Fig. 5a)，但是在養殖期間上沒有顯著性差異 ($F=0.02, p=0.89$) (Table 6)。而掠食性多毛類 (腺帶刺沙蠶與襟松蟲屬) 的平均豐度在養殖期 ($F=0.01, p=0.91$) 及遮蔽率 ($F=2.66, p=0.09$) 間並沒有顯著性差異 (Table 6)，但是遮蔽率 0% 與 40% 分組的平均數量則是相對高於 70% (Fig. 5b)。

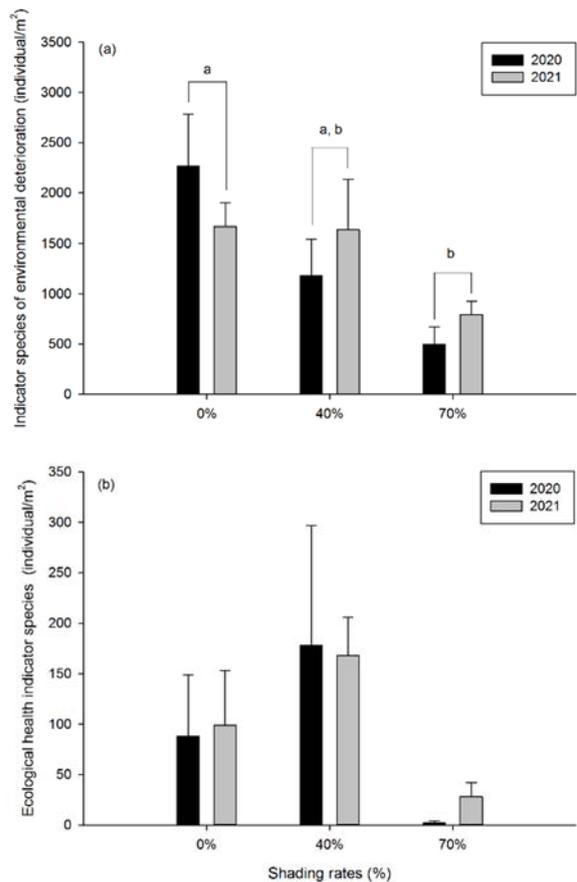


Fig. 5 Means + SE ($n = 24$) of benthic environmental indicator species in ponds between 2020 and 2021 shading rates. (a) Species serving as indicators of environmental degradation (b) Species that serve as ecological health indicators. Analyzed through two-way ANOVA. a, b: $p<0.05$ for Duncan's test of three shading rates.

討論

一、水質環境參數

Table 5 Two-way ANOVA of the biodiversity index (species richness index, Pielou's evenness index, and Shannon index) for the three clam ponds with 0%, 40%, and 70% shading rates between 2020 and 2021

Source of variation	Species Richness Index				Pielou's Evenness Index				Shannon Index			
	df	MS	F	p	df	MS	F	p	df	MS	F	p
Period	1	0.65	14.94	**	1	0.07	4.64	*	1	0.16	2.55	ns
Shading rates	2	0.27	6.08	**	2	0.02	1.01	ns	2	0.52	8.09	**
Period*Shading rates	2	0.02	0.41	ns	2	0.00	0.30	ns	2	0.00	0.03	ns

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; ns: non-significant

Table 6 Results of 2-way ANOVA for polychaeta environment indicator species in the three clam ponds with 0%, 40%, and 70% shading rates between 2020 and 2021

Source of variation	Indicator species of environmental deterioration				Ecological health indicator species			
	df	MS	F	p	df	MS	F	p
Period	1	19555.56	0.02	ns	1	343.32	0.01	ns
Shading rates	2	4796713.29	4.41	*	2	65457.46	2.66	ns
Period*Shading rates	2	889219.96	0.82	ns	2	1254.12	0.05	ns

* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; ns: non-significant

藻類是養殖貝類重要食物來源，光照及水質管理則會影響水中藻類相變化 (Carmichael *et al.*, 2004; Hondula and Pace, 2014)。本研究的結果發現，夏秋季的文蛤養殖前期，遮蔽率 0% 分組的葉綠素 *a* 含量相對高其他兩組。由於其養殖水體受到的日照量最高，高溫度適合浮游植物及藻類生長並進行光合作用，反之，葉綠素 *a* 含量則隨著遮蔽率提高而逐漸減少。而在養殖後期階段，因為浮游植物及藻類的逐漸生長與累積，遮蔽率 0% 與 40% 的葉綠素 *a* 含量在統計上明顯高於前期 (Table 1)，但是遮蔽率 70% 的含量則是沒有出現顯著性變化。這驗證出光電板高遮蔽率 70% 會直接限制養殖池中的藻類生長。

此外，水產養殖的池水會因為養殖期間的有機質增加，進而造成水體 BOD 和 COD 隨著養殖時間的增加而呈現上升的趨勢 (Amirkolaie, 2008; Chen *et al.*, 2020)。在養殖前期，本研究中遮蔽率 0% 及 40% 的 BOD 含量差異在統計上明顯高於遮蔽率 70% 分組，推測可能是因為遮蔽率 0% 及 40% 的光照度仍可足量提供藻類生長，但是相對多量的藻類死亡分解後，所形成的有機碎屑可能會是造成 BOD 含量顯著增加的主要因素，進而影響到養殖後期遮蔽率 0% 的水體懸浮物體含量有明顯較高的狀況。

光照為文蛤養殖與管理的重要影響因子，同時也會直接或間接影響到水質營養鹽的變化 (周, 2017; 周和陳, 2019)。水中氨氮的主要來源為飼料殘餌、水中死亡個體、底質有機物經細菌分解而釋出，或是養殖生物成長的代謝物 (李等, 2019)。本研究結果顯示，遮蔽度 0% 分組中的水體氨氮含量為三個分組中最高。由於遮蔽度 0% 中文蛤成長最佳且個體較大，同時死亡率也最低，因此推測水中氨氮偏高與養殖文蛤的代謝物有明顯的關係。文蛤池正磷酸鹽主要來自飼料殘餌及底泥有機物 (李等, 2019)。研究中的亞硝酸鹽氮、硝酸鹽氮、正磷酸鹽與總磷含量在遮蔽率增加時會出現明顯升高的情形，而此情形推測應是遮蔽度提高後，對水中藻類的生長與光合作用產生負面影響。此外，由飼料殘餌較多，首先造成水體氨氮濃度變高，並且進一步轉變成亞硝酸鹽氮及硝酸鹽氮，導致過多營養鹽殘留於水體中。因此，長期的投餌過多會使得 BOD、氨氮、亞硝酸鹽氮及硝酸鹽氮均會呈現偏高的情況。不過，間歇性的投餌過多會暫時性導致的氨氮、或是亞硝酸鹽氮及硝酸鹽氮等營養鹽偏高的情況。整體而言，殘餌問題會造成遮蔽率 70% 分組的藻類密度較低遮蔽率組別低，導致水中營養鹽偏高的狀況發生。而這樣低光照狀況，但水體營養鹽偏高的

現象與 Lorenzen *et al.* (2008)、Liu *et al.* (2017)及 Huang *et al.* (2020) 的研究均有類似結果。

二、底質環境參數之變化

養殖環境的底質有機質主要來自於水體中的殘餌及養殖動物排泄物等 (Mayor *et al.*, 2010; Huang *et al.*, 2012a; Culha and Karaduman, 2020)。研究指出，養殖動物的殘餌及排泄物會隨著養殖時間增加而逐漸沈積在養殖池底，池底也常因為微生物分解有機物而消耗大量氧氣，使底質逐漸缺氧。而當池底有機物於缺氧環境分解時，產生的有機酸、還原有機硫化物、及硫化氫等有毒物質，將導致養殖動物生長受到影響，以及底棲投機物種大量繁生 (Wu *et al.*, 1994; Tomassetti, 2009; Huang *et al.*, 2012a)。在養殖前期，本研究的底質有機質含量隨著遮蔽率增加而有逐漸上升的趨勢，推測原因為養殖池的飼料過量添加導致殘餌累積池底。由於文蛤養殖過程僅能藉由養殖經驗來觀察水色進行投餌及實驗，容易因為過量投餌導致池底有機物堆積 (周和葉, 2017)。因此，在日照強度較高的夏秋季養殖前期，由於放養初期的文蛤個體較小、生長慢且攝食能力較弱，過多的殘餌逐漸累積在池底導致有機質出現明顯較高的現象。一般而言，底質內有機質含量的逐漸降低，是因為經過微生物的耗氧分解作用，形成營養鹽釋放到水體 (Schultz and Urban, 2008; 李等, 2019)。養殖後期間，各遮蔽率分組間有機質含量不但沒有顯著性差異，而且明顯低於養殖前期。因此推測養殖後期底質有機質含量的減少有可能是微生物大量分解所導致的。

此外，在整體養殖期間，不同遮蔽率養殖池內的底質環境物理參數 (如含水量、粒徑大小、砂質含量百分比及篩選係數) 差異性不大。因為在環境封閉的養殖系統內，自身的水體流動緩慢，僅有來自外部區域的海水進行養殖池水體的交換。因此，池內的底質物理性特徵無法如天然海域環境會隨著時間變化及環境波動而有所變動。

三、大型底棲無脊椎動物群聚之變化

物種多樣性指數為評估群聚結構的重要指

標。不但展現生物群聚對於環境變遷之適應程度與穩定性，多樣性高之生物群聚更因為物種間的互補性，還有對於環境改變較佳的適應能力而能有相對高的生態穩定性 (林與陸, 2012)。由於本研究遮蔽率 0%與 40%分組的大型底棲無脊椎動物群聚組成的相似性較高，再加上多樣性指數結果也明顯高於 70%。以底棲動物群聚的生物多樣性角度來看，遮蔽率 0%與 40%的養殖池底質環境比 70%相對適合作為生物棲息的環境。

周與葉 (2019) 指出，文蛤養殖池常出現的底棲生物包含燒酒海蜷 (*Batillaria zonalis*)、褐皮粗米螺 (*Didontoglossa koyasensis*)、似殼菜蛤 (*Mytilopsis sallei*) 及孔雀蛤 (*Perna spp.*) 等。黃 (2016) 對於七股文蛤養殖池進行底棲動物相調查得知，多以腺帶刺沙蠶及褐皮粗米螺等多毛類及螺貝類為優勢物種。一般而言，少數碎屑食性的多毛綱優勢物種被視為底質環境中的投機物種 (Tomassetti and Porrello, 2005; Deans, 2008)。所謂的環境投機物種定義為物種個體小且以碎屑為食 (deposit feeder)，生活史及壽命較短，並且繁殖力強，對於環境的耐受度較高。在有機污染濃度最高的地點，當其他物種不耐環境劇烈變化而消逝時，該類族群可以在短時間內快速增加，總個體數量可以達到高峰，進而佔據該棲地環境 (謝, 1980; 陳等, 1998)。本研究所記錄的多毛綱生物屬於文蛤養殖池內的大型底棲無脊椎動物優勢種，而其中的優勢物種，如小頭蟲屬、膜囊尖錐蟲、白腺纓鰓蟲及角才女蟲等碎屑食性多毛類，都是被視為底質環境中的投機物種，也就是底質環境劣化指標生物。邱等 (2011) 研究指出，當七股潟湖部分區域的底質因過多懸浮顆粒的長期累積，進而形成大量有機物堆疊狀態時，碎屑食性的小頭蟲成為優勢投機物種。而當底質環境逐漸改善後，優勢物種則由腺帶刺沙蠶所取代。因此，本研究所記錄到的多毛綱的偏肉食性生物-腺帶刺沙蠶及襟松蟲屬則可被視為環境相對健康指標生物。因此，以上述兩類多毛綱生物作為評估養殖池底質環境優劣指標生物的分析結果來看，儘管遮蔽率 0%與 40%的碎屑食性與掠食性多毛類數量並無顯著性差異，亦反映出這兩組養殖池為相對健康的養殖環境。但是遮蔽率 40%的掠食性多毛類平均數量相對高於其他兩組，因此推論該組的養殖環境健康狀態略優於 0%分組。遮蔽率

70%則是同時存在這兩類型相對較低數量的多毛類，這也直接說明了高遮蔽率所造成的長期低光照狀態，可能會導致養殖環境逐漸劣化的現象發生。

結 論

綜合水質、底質有機質與大型底棲無脊椎動物群聚的分析結果得知，文蛤養殖池的遮蔽率達到 40% 之後，養殖水質環境即開始出現明顯的變化，其中遮蔽度 70% 分組的各項水質變動在本研究中最為明顯。養殖前期的底質可能受到飼料殘餌過多及高遮蔽率影響水中浮游植物及藻類的生長，而進而堆積較多的有機質於池底。藉由底質健康狀態及生物多樣性的角度來評估，遮蔽率 0% 及 40% 的養殖池底質具有適中含量的底質有機質，除了能提供充足的食物來源，更是能維持較高底棲動物多樣性的養殖環境。遮蔽度 70% 養殖池底質則是顯現出環境趨於劣化，且生物多樣性相對偏低的現象。建議未來進行檢視區域漁電共生可行性及友善養殖環境時，水質、底質環境資料及環境指標生物可列為參考評估工具。

參考文獻

行政院農業委員會 (2003) 申請農業用地作農業設施容許使用審查辦法。92年12月15日農授中字第0921070714號令。

行政院農業委員會農業試驗所 (2013) 土壤有機質測定方法 - 燃燒/紅外線測定法 (TARI S201.1B)。中華民國102年7月25日農試化字第1022130858號函發布。

行政院環境保護署環境檢驗所 (2002a) 水中葉綠素 a 檢測方法 - 乙醇萃取法 (NIEA E508.00B)。中華民國91年04月17日環署檢字第0910024279號公告。

行政院環境保護署環境檢驗所 (2002b) 水中亞硝酸鹽氮檢測方法 - 比色法 (NIEA W418.53C)。中華民國104年7月29日環署檢字第1040061044號公告。

行政院環境保護署環境檢驗所 (2005a) 水質檢測方法總則 (NIEA W102.51C)。中華民國94年3月2日環署檢字第094001591號公告。

行政院環境保護署環境檢驗所 (2005b) 水中氨氮檢測方法 - 靛酚比色法 (NIEA W448.51B)。中華民國94年5月12日環署檢字第0940035925A號公告。

行政院環境保護署環境檢驗所 (2005c) 水中總磷之手動消化流動注入分析法 - 比色法 (NIEA

W444.51C)。中華民國94年5月5日環署檢字第0940034033B號公告。

行政院環境保護署環境檢驗所 (2006) 水中硝酸鹽氮檢測方法 - 分光光度計法 (NIEA W419.51A)。中華民國95年8月8日環署檢字第0950062980號公告。

行政院環境保護署環境檢驗所 (2007) 水中化學需氧量檢測方法 - 重鉻酸鉀迴流法 (NIEA W515.55A)。中華民國107年11月22日環署檢字第1070007386號公告。

行政院環境保護署環境檢驗所 (2011) 水中生化需氧量檢測方法 (NIEA W510.55B)。中華民國100年1月27日環署檢字第1000009050號公告。

行政院環境保護署環境檢驗所 (2012) 水中溶氧檢測方法 - 電極法 (NIEA W455.52C)。中華民國101年1月2日環署檢字第1010000416號公告。

行政院環境保護署環境檢驗所 (2013) 水中總溶解固體及懸浮固體檢測方法 - 103 - 105 °C (NIEA W210.58A)。中華民國102年1月15日環署檢字第1020004998號公告。

吳明隆 (2009) SPSS操作與應用：多變量分析實務。五南圖書出版有限公司。

吳寶鈴，吳啟泉，丘建文，陸華 (1997) 環節動物門多毛綱 (一) 葉鬚蟲目。中國動物志：無脊椎動物第9卷，科學出版社。

李安進，陳淑美，劉秉忠，林正輝，秦宗顯 (2019) 文蛤之養殖。文蛤科學化養殖 (秦宗顯，劉秉忠主編)，水產試驗所特刊，26: 19-38。

邱英哲，沈子耘，黃家勤，王一匡，許晉榮，葉信利 (2011) 七股潟湖潮間帶底棲多毛類群聚及其與環境因子之關係。台灣生物多樣性研究，13(2): 135-151。

林朝欽，陸聲山 (2012) 生物多樣性指數 - Shannon 公式探源。台灣生物多樣性研究，14 (1-2): 41-50

周昱翰 (2017) 文蛤的養殖與管理。科學發展，535: 14-17。

周昱翰，葉信利 (2017) 文蛤養殖過程的底土管理。水試專訊，58: 43-48

周昱翰，陳高松 (2019) 文蛤池結合太陽能光電之新養殖模式開發。文蛤科學化養殖 (秦宗顯、劉秉忠主編)，水產試驗所特刊 26: 75-82。

周芷儀，周昱翰，吳豐成 (2021) 覆蓋光電板之養殖池中的微藻對溫度耐性及文蛤 (*Meretrix lusoria*) 的養殖成效研究。水產研究，29 (1): 59-67。

孫瑞平，楊德漸 (2004) 環節動物門多毛綱 (二) 沙蠶目。中國動物志：無脊椎動物第33卷，科學出版社。

孫瑞平，楊德漸 (2014) 環節動物門多毛綱 (三) 纓鰓蟲目。中國動物志：無脊椎動物第54卷，科學出版社。

陳章波，林志高，吳俊宗，楊平世，謝蕙蓮，邵廣昭，龐元勳 (1998) 淡水河系生物相調查及生物指標手冊建立。行政院環保署研究計畫成果報告 (EPA-88-G108-03-301)。

- 陳威克, 張峻齊, 余峰維, 許晉榮 (2019) 文蛤養殖與綠能管理問卷分析. 水試專訊, 68: 44-49.
- 黃書彥 (2016) 七股地區淺坪虱目魚塢及文蛤池底棲動物相之研究. 台灣生物多樣性研究, 18(4): 281-294.
- 黃元照, 陳高松, 黃大駿 (2018) 不同遮光率差異性對於文蛤養殖池內底質與大型底棲動物群聚變動之影響. 水試專訊, 62: 16-21.
- 黃元照 (2020) 很陌生又很熟悉的多毛類. 科學發展, 56(5): 56-62.
- 謝蕙蓮 (1980) 臺灣多毛類研究之回顧及其在環保應用之展望. 生命科學, 33(1): 103-116.
- 謝蕙蓮, 黃守忠, 李坤瑄, 陳章波 (1993) 潮間帶底棲生態調查法. 生物科學, 36: 71-80.
- 謝淑秋, 王俊堯, 林志訓, 黃致中, 葉信利 (2020) 底土硫化物對養殖文蛤的影響. 水試專訊, 69: 55-56.
- Amirkolaie, K. (2008) Environmental impact of nutrient discharged by Aquaculture wastewater on the Haraz River. Fish Aquac. Sci., 3(5): 275-279.
- Blott, S. J. and K. Pye (2001) GRADISTAT: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. Earth Surf. Processes Landforms, 26: 1237-1248.
- Buchana, N. B. and J. M. Kain (1971) Measurement of the physical and chemical environment. In Methods for the Study of Marine Benthos (A. Eleftheriou ed.), Blackwell Publishing, Ltd., 30-58.
- Carmichael R. H., A. C. Shriver and I. Valiela (2004) Changes in shell and soft tissue growth, tissue composition, and survival of quahogs, *Mercenaria mercenaria*, and softshell clams, *Mya arenaria*, in response to eutrophic-driven changes in food supply and habitat. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 313: 75-104.
- Chen K. S., Y. H. Chou, Y. C. A. Huang and D. J. Huang (2020) Effects of different shading rates on the growth and water quality of hard clam (*Meretrix lusoria*) aquaculture. J. Fish. Soc. Taiwan, 47(2): 87-94.
- Culha S. T. and F. R. Karaduman (2020) The influence of marine fish farming on water and sediment quality: Ildir Bay (Aegean Sea) Environ. Monit. Assess., 192.
- Danuta D., M. Krystyna, M. Jakub, K. Małgorzata, M. Maciej, S. Agnieszka, P. Przemysław and S. Tomasz (2020) Fish pond sediment from aquaculture production current practices and the potential for nutrient recovery: a Review. Int. Agrophys, 34(1): 33-41.
- Dean, H. K. (2008) The use of polychaetes (Annelida) as indicator species of marine pollution: a review. Revista de Biología Tropical 56(4): 11-38.
- Folk, R. L. (1966) A review of grain-size parameters. Sedimentology, 6: 73-93.
- Hondula, K. L. and M. L. Pace (2014) Macroalgal support of cultured hard clams in a low nitrogen coastal lagoon. Mar. Ecol. Prog. Ser., 498: 187-201.
- Huang, Y. C. A., S. C. Huang, P. J. Meng, H. J. Hsieh and C. A. Chen (2012a) Changes in sedimentation, sediment characteristics, and benthic macrofaunal assemblages around marine cage culture under seasonal monsoon scales in a shallow-water embayment, Taiwan. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 422-423: 55-63.
- Huang, Y. C. A., S. C. Huang, P. J. Meng, H. J. Hsieh and C. A. Chen (2012b) Influence of strong monsoon winds on the water quality around a marine cage-culture zone in a shallow and semi-enclosed bay in Taiwan. Mar. Pollut. Bull., 64: 851-860.
- Liu, X., X. Hou, Y. Zhang, H. Zou, C. Tian, G. Cheng, Z. Wu and S. Liu (2017) Development and experiment of movable pond aquaculture water quality regulation machine based on solar energy. T. Chinese Soc. Agr. En., 30(19): 1-10.
- Lorenzen, K., J. Struve and V. J. Cowan (2008) Impact of farming intensity and water management on nitrogen dynamics in intensive pond culture: A mathematical model applied to Thai commercial shrimp farms. Aquacult. Res., 28(7): 493-507.
- Mayor, D. J., A. F. Zuur, M. Solan, G. I. Paton and K. Killham (2010) Factors affecting benthic impacts at Scottish fish farms. Environ. Sci. Technol., 44: 2079-2084.
- Schultz, P. and N. R. Urban (2008) Effects of bacterial dynamics on organic matter decomposition and nutrient release from sediments: a modeling study. Ecol. Model, 210:1-14.
- Tomassetti, P. and S. Porrello (2005) Polychaetes as indicators of marine fish farm organic enrichment. Aquacult. Int., 13 (1-2): 109-128.
- Tomassetti, P., E. Persia, I. Mercatali, D. Vani, V. Marusso and S. Porrello (2009). Effects of mariculture on macrobenthic assemblages in a western Mediterranean site. Mar. Pollut. Bull., 58: 533-541.
- Wu, R. S. S., K. S. Lam, D. W. MacKay, T. C. Lau and V. Yam (1994). Impact of marine fish farming on water quality and bottom sediment: a case study in the sub-tropical environment. Mar. Environ. Res., 38: 115-145.
- Quayle, D. B. and G. F. Newkirk (1989). Farming Bivalve Molluscs: Methods for Study and Development. World Aquaculture Society, 294 pp.

Environmental and Benthic Fauna Effects of Solar Panel Installation on *Meretrix taiwanica* Aquaculture

Yuan-Chao Angelo Huang¹, Da-Ji Huang², Yu-Xuan Huang³ and Kao-Sung Chen^{4*}

¹Department of Hydraulic and Ocean Engineering, National Cheng Kung University

²Department of Environmental Resources Management, Chia Nan University of Pharmacy and Science

³Department of Ecology and Environmental Resources, National University of Tainan

⁴Planning and Information Division, Fisheries Research Institute

ABSTRACT

This research investigated the effect of solar panel installation on the water quality, sediment, and benthic macroinvertebrates of clam culture ponds. The ponds were located at the Taixi Fisheries Research Institute's Mariculture Research Center. The period of cultivation lasted from May 2020 to June 2021. In this study, *Meretrix taiwanica* was cultured at three different shading rates: 0%, 40%, and 70%. During the initial culture period, the shading rates were negatively correlated with biochemical oxygen demand, chlorophyll-*a*, ammonia, and nitrate concentrations in water, but positively correlated with organic matter concentrations in sediment. The 40% shading rates had relatively higher species abundance and biodiversity indices, but the community structures were comparable to those of the 0% shading rates. In addition, ponds with shading rates between 0 and 40 percent were deemed relatively healthy due to the presence of numerous polychaeta *Neanthes glandicineta* as an indicator species. The recommended shading rates for solar panels in hard clam ponds were therefore 0% and 40%.

Key words: solar panels, shading rates, *Meretrix taiwanica*, water quality, sediment, benthic fauna, indicator species

*Correspondence: 199 Hou-lh Road, Keelung, Taiwan. TEL: (02) 24622101 ext. 2519, E-mail: kschen@mail.tfrin.gov.tw