



第一節

文蛤

周昱翰、葉信利

壹、國內養殖概況與場域規劃原則

依據漁業署漁業統計年報 109 年顯示，面積有 9,165 公頃、年產量 5.22 萬公噸、產值 42.14 億元。臺灣主要的文蛤養殖地區在彰化縣、雲林縣、嘉義縣和臺南市的沿海鄉鎮，其中養殖面積又以臺南 3,479 公頃及雲林 3,322 公頃最多。而文蛤主要養殖地區剛好位於臺灣日照強度較高的區域，因此非常適合發展漁電共生。

文蛤屬二枚貝斧足綱，一般的習性會潛入砂中，並利用進排水管來進水和排水，由鰓部過濾其中的懸浮有機物質，再送入口中，為濾食性動物。由於文蛤的移動力小，收穫時不會像魚蝦四處亂闖，只要以文蛤採收機直線採收即可，因此適合發展立柱型的太陽能光電（圖 3-1-1）。但是在光電設施裝置前應先進行地質探勘確認立柱應埋設的深度，同時也要做好養殖場域規劃，包括：

- 一、光電設施的面積應符合遮蔽率40%的法規規定，同時建築物應蓋在養殖池較高的區域，即排水時最先露出的地方，這樣才不會防礙文蛤池在清池時工作魚的捕捉。
- 二、光電設施應設有排水管路，可將清洗太陽能板的廢水及雨水排放到溝渠，而不會進入養殖池（圖 3-1-2）。



圖 3-1-1 立柱型光電設施



圖 3-1-2 光電設施之排水系統

三、因應養殖作業需求，光電設施結構（支柱）由池底到支柱頂端的高度不得低於 4.5 公尺（圖 3-1-3），這樣的高度也只適合用臂高約 4 公尺的迷你挖土機（6 噸以下）進行整池作業（圖 3-1-4）。由於文蛤收穫機長約 5 公尺加上裝載收穫文蛤的竹筏的長度，因此為了方便文蛤收穫機作業回旋的空間，柱與柱的跨距不得小於 10 公尺（圖 3-1-5）。



圖 3-1-3 支柱的高度





圖 3-1-4 迷你挖土機 (6 噸以下) 進行整池作業



圖 3-1-5 文蛤收穫機作業回旋的空間

貳、場域整池與放苗管理

因為立柱須埋設一定的深度，常會挖掘出底層土塊分散於表層，在文蛤放養前若不清除，在文蛤收成時會夾雜其中影響收穫及分級（圖 3-1-6 及圖 3-1-7）。



圖 3-1-6 文蛤收成時土塊會夾雜其中影響收穫



圖 3-1-7 文蛤收成時土塊會夾雜其中影響分級

文蛤養殖池規模以1～3公頃最多，放養密度約為100～160萬粒/公頃，養成期間為13至15個月，放養量增加會導致養成期間拉長及收成體型變小等情形，養殖期間池水鹽度大多保持在20～25 psu，水深維持在30～60公分。在高密度養殖下，池中自然生產的藻類及有機碎屑不足以供給養殖文蛤所需，須另外以人為方式來補充，常見的作法為投入大量的魚粉、豆粉、下雜魚漿等飼料，或者將這些物質在另一池中先發酵後，再抽入養殖池中，以培養文蛤成長所需的天然餌料。

一、整池與曬池

放養前文蛤池需要「整池」，調整池塘環境以符合未來養殖的需求。傳統上養殖業者收成後將池水排乾，使底土曝露在空氣中，使它乾燥及氧化。為了比較「遮蔽組文蛤池」與「無遮蔽組文蛤池」排乾池水後曬池的效果，底土曝露於空氣和陽光下，每3天採土一次（圖3-1-8），採樣時充分混合以獲得均勻的土壤，取回實驗室測量土壤的易氧化有機物（easily oxidized material, EOM）和底土需氧量（sediment oxygen demand, SOD）。



圖 3-1-8 曬池期間採樣

池塘曬池的 21 天期間，試驗池定期測量底土的 EOM 及 SOD。由圖 3-1-9 及圖 3-1-10 可看出 EOM 及 SOD 都是在 7 天期間急速下降，而在 10 天後趨向穩定，顯示乾燥的效果及池底曝露在空氣中至少需要 10 天，才能保證達到改善池塘底土的效果。由曬池之底土分析結果顯示，只要池水完全抽乾的狀況下使用束井（圖 3-1-11）或挖溝（圖 3-1-12），太陽能光電實體之遮蔽組與無遮蔽組所需的曬池時間沒有差別。

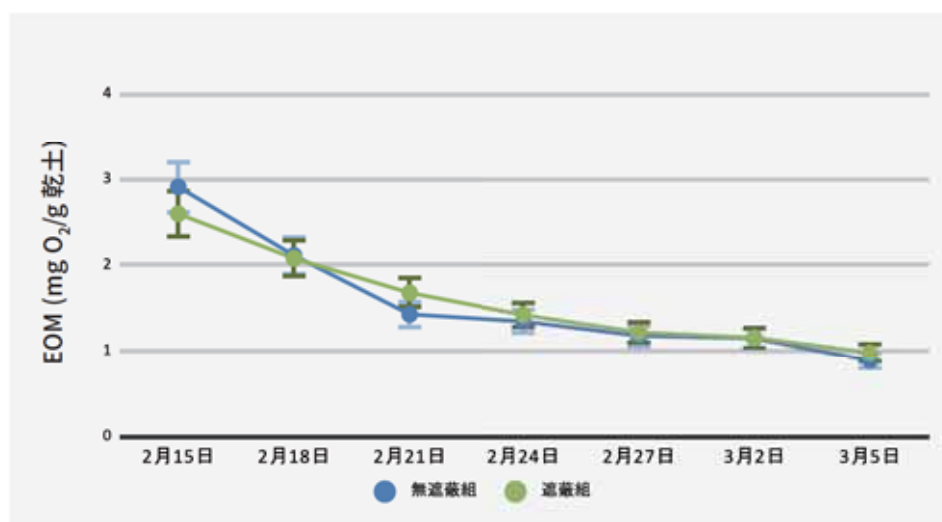


圖 3-1-9 曬池之易氧化有機物量變化

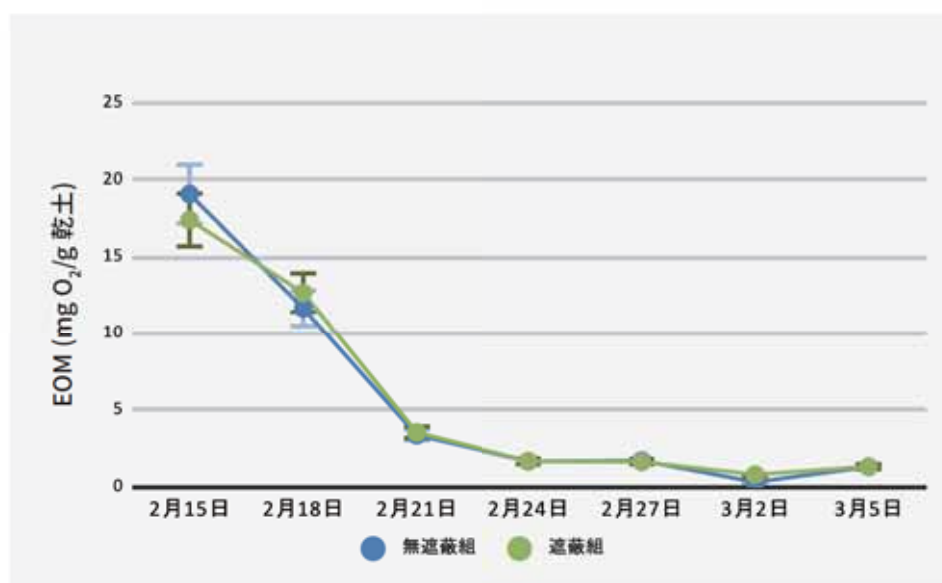


圖 3-1-10 曬池之底土需氧量變化

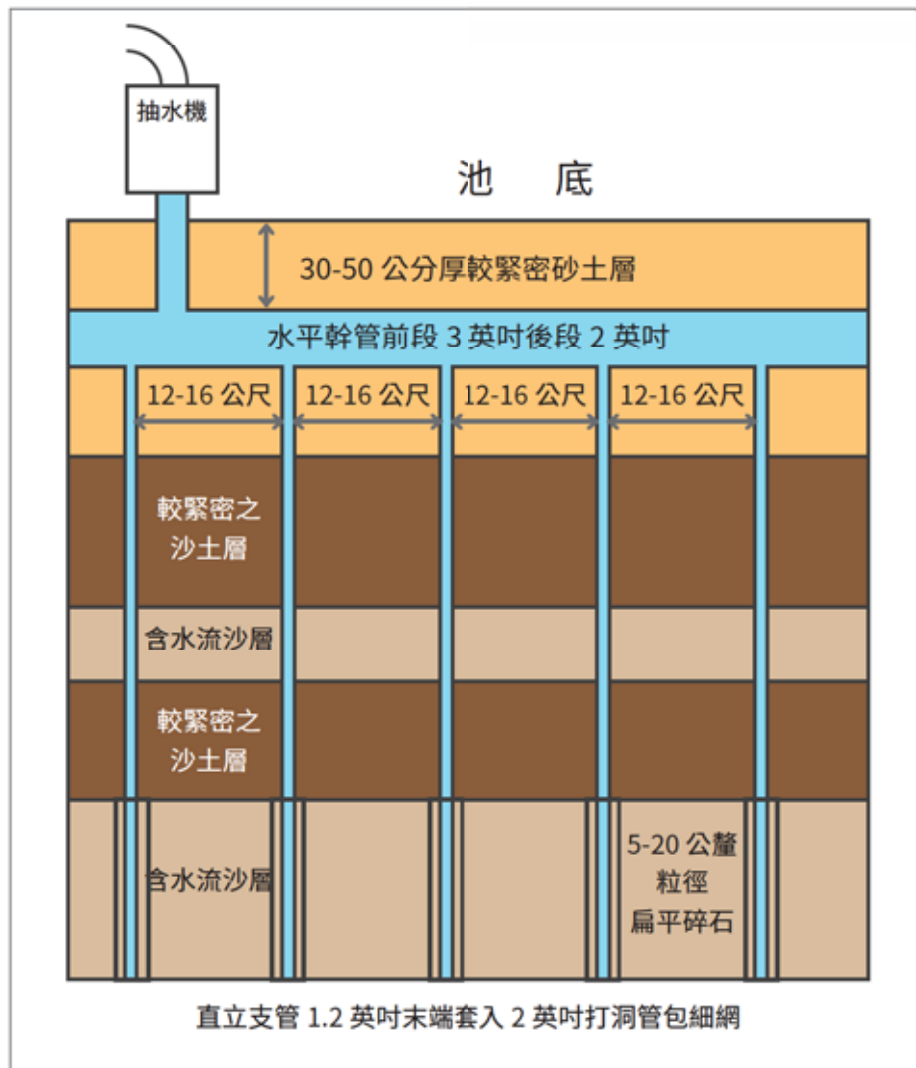


圖 3-1-11 應用池底砂層抽排水(俗稱束井)



圖 3-1-12 文蛤池挖溝曬池

二、添加基肥

各文蛤試驗池進水30公分深，每池加入茶粕100公斤發酵，每3天定期測量池水水溫、溶氧量及底土氧化還原電位變化，直到茶粕發酵沈澱，以比較太陽能光電實體之遮蔽組與無遮蔽組所需的發酵時間。

文蛤試驗池進水30公分深，每池加入茶粕100公斤發酵，水色的變化由開始的透明色到7天後的紅棕色及黑色，21天後再轉變為池水透明而池底紅棕色的沈澱（圖3-1-13）。由2組的池水平均水溫（圖3-1-14）發現對無遮蔽組的池水水溫比遮蔽組高1～2℃。由池水溶氧變化（圖3-1-15）顯示無遮蔽組的發酵作用在第7天時達到最高點，在28天時發酵完成，遮蔽組的發酵作用在第10天時達到最高點，在28天時發酵完成。無遮蔽組發酵完成時間（3月23日）比遮蔽組快3天（3月26日）。



圖 3-1-13 試驗池茶粕發酵完成，池水透明而池底紅棕色的沈澱
（左：無遮蔽組第28天 右：遮蔽組第31天）



圖 3-1-14 茶粕發酵之水溫變化

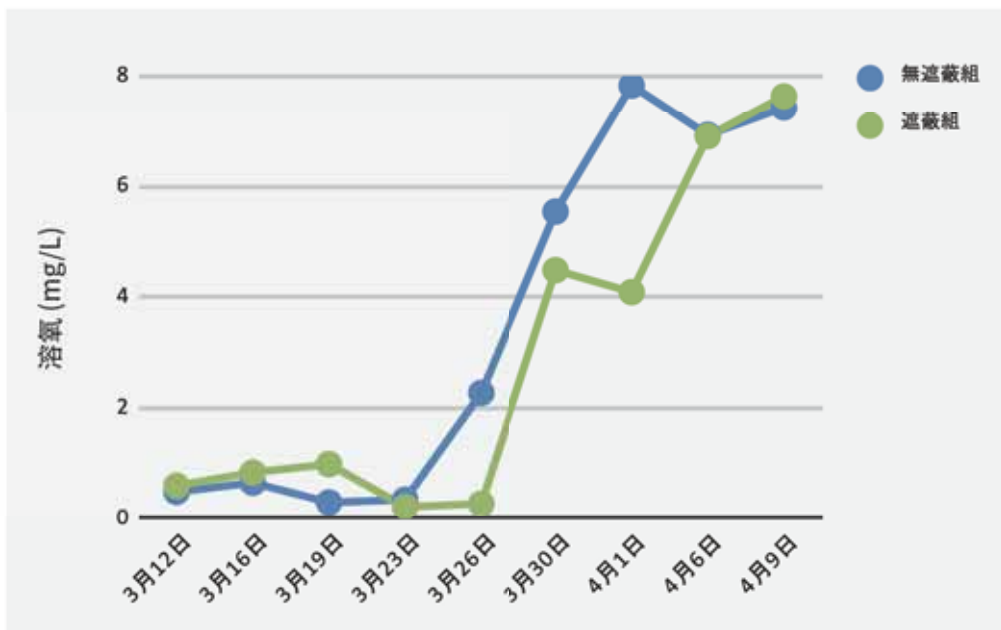


圖 3-1-15 茶粕發酵之池水溶氧變化

發酵完成之後將池水排乾、且使用束井加快底土乾涸，如曬池步驟使底土曝露在空氣中至少 2 星期，讓發酵作用後的有機物質氧化，即可注水準備放養文蛤苗。

三、養殖池注水

整池後放苗前之第一次注水，決定往後養殖之順利與否，因有害水生動物之卵或幼苗（如螺類、貽貝類等），在注水時很容易自公共水道中引入，並在養殖池中快速成長或增殖，與文蛤競爭食物，也會生出足絲纏繞文蛤，最後造成文蛤死亡。當文蛤池進水達到平均水深50公分後，停止進水、同時加次氯酸鈉10 ppm（1公頃池塘平均水深50公分，總水量為5,000噸池水，以次氯酸鈉含量10%的漂白水計算需加入500公斤的漂白水），殺除所有的浮游動物以防貽貝幼生入侵，靜置3至5天後即可放養文蛤苗。

可是在養成期間就無法使用漂白水，因為會傷害池中養殖的文蛤，若想在水門掛長袋形網濾除大型生物之注水方式，上述小型水生動物很容易被引進。因為貽貝類的受精卵大小為60微米左右，而浮游幼生的大小只有150～300微米，無法用濾網將之濾除（塑膠濾網最細的孔徑為0.75公釐×0.75公釐，浮游生物網需用到300目（0.065公釐×0.065公釐）才能將浮游幼生濾除，但如此小的孔徑無法大量進水，會嚴重影響進水量），因此只能以沙層過濾（束井或砂濾桶）的方式引進海水（圖3-1-16），才能完全杜絕似殼菜蛤及孔雀蛤的浮游幼生進入池中，或者分出蓄水池（0.1公頃/公頃文蛤池）引進的海水後，潑灑10 ppm的次氯酸鈉殺死隨海水進入的似殼菜蛤及孔雀蛤浮游幼生，處理後3天再抽入文蛤池，才可完全隔絕公共水道之有害水生動物。

四、文蛤苗放養

一般養成用種苗之大小為每臺斤500粒左右。若池塘含沙率較高（70～90%），可放養較小之幼苗，如小至兩分半或三分苗（900～1,200粒/斤）。若季節不合，且可放養較大型且便宜的苗（200～400粒/斤），養殖期可縮短1至3個月，但需注意愈大的文蛤對環境的適應力較差，放苗後易發生無法潛砂的狀況，因此放苗前應將池水鹽度調整與育苗池相同以減少環境的差異。文蛤的放養密度為100～120萬粒/公頃，為確保文蛤苗均勻撒布，撒苗前先以中空膠條、或在池堤壁面等距噴白漆作為界線標識（圖3-1-17）。



圖 3-1-16 使用砂濾桶處理海水



圖 3-1-17 文蛤苗放養



參、養殖管理與收穫作業

一、工作魚的放養

(一) 池底滋生底藻之處理

文蛤養殖期間，因池水淺且清澈，池壁及池底易生長大型的藻類如絲藻，大型藻類繁生於池底時會覆蓋文蛤，易造成文蛤成長不良及缺氧，並影響其成長及活存率，可放養草食性魚類如 6～8 寸的虱目魚 (1,000～1,200 尾 / 公頃) 或 1～2 寸的金錢魚 (變身苦) (2,000～3,000 尾 / 公頃) 或 1～2 寸的豆仔魚 (3,000～5,000 尾 / 公頃) 等來控制池內的大型藻類。但在冬季由於水溫低，草食性魚類攝食量降低不能清除大型藻類時，可僱工清除或放養其他耐寒性的草食性魚類，如瓜子鱻 (俗稱黑毛)。

(二) 池底螺類、貽貝繁生之處理

螺類、貽貝會與文蛤競爭食物，大量繁生時不但會浪費飼料，並會影響文蛤成長及肥滿度，另貽貝除了在池底繁生之外也會附著於光電設施的支柱 (圖 3-1-18)。可放養黑鯛 (500～1,000 尾 / 公頃)、黃錫鯛 (500～1000 尾 / 公頃) 與黃臘鰻 (俗稱紅衫) (200～300 尾 / 公頃)，也可以同時放養白蝦 (10 萬尾 / 公頃)，吃掉池底螺類及貽貝，但須依池內文蛤大小慎選放養魚的體型，一般在文蛤放養後 2 至 3 個月，才會放養 1 寸大小的黑鯛或黃臘鰻，以免工作魚成長太快會攝食文蛤，若發現池中有文蛤殼的碎片時，應將黑鯛或黃臘鰻以網捕捉清除。



圖 3-1-18 貽貝附著於光電設施的支柱

二、養殖管理

文蛤養殖期間池水鹽度大多保持在 20 ~ 25 psu，池水高度維持在 30 ~ 60 公分。

(一) 池水環境管理

1. 水溫

文蛤屬於廣溫性，存活之溫度範圍為 3 ~ 39°C。文蛤耗氧率呈現先升後降的趨勢，溫度為 30°C 文蛤耗氧明顯高於其他幾個溫度。10 ~ 30°C 隨著溫度的升高，文蛤的耗氧率逐漸升高，當溫度超過 30°C 後，文蛤的耗氧率開始下降。在 20 天的溫度試驗發現當溫度達到 35°C 時，文蛤稚貝開始出現死亡，平均活存率為 $95 \pm 2.3\%$ ；37°C 時開始出現大量死亡，平均活存率 $4.44 \pm 7.7\%$ ；到 41°C 時全部死亡，平均活存率為 0%，利用二點法求出文蛤稚貝半致死溫度為 36.12°C；文蛤稚貝最適生存溫度在 4°C ~ 35°C (曹等，2009)。無遮蔽組的文蛤池，水溫在夏季高溫期常會超過氣溫，在 109 年 7 月 22 日下午 2 點曾測到池水水溫高達 36°C。

因此在夏季高溫期間應增加池水深度，以免陽光直射增加池水溫度影響文蛤成長與活存率。對遮蔽組的文蛤池而言，由於太陽能板阻隔部份陽光的效果，在 108 年夏季高溫期池水平均水溫低於無遮蔽組的文蛤池水溫 3.1°C 。可見覆蓋太陽能板可以減少陽光直射到池塘的面積，進而有效降低極限水溫發生的機率。而冬季嚴防寒流來襲，除了避免虱目魚凍死之外，應注意特別是冬季的 1 至 2 月間，虱目魚因水溫偏低，攝食量下降甚至停止或凍死，無法清除池中的大型藻類，繁生過多時，會覆蓋大面積的池底，妨礙文蛤進食及呼吸，而造成文蛤死亡，因此必須耗費許多人力撈除。

2. 鹽度

文蛤屬於廣鹽性，其成長之鹽度範圍為 10 ~ 45 psu，適合文蛤成長的鹽度範圍在 16 ~ 36 psu，體型較大的文蛤較能適應低的鹽度，文蛤池的鹽度通常維持在 20 ~ 25 psu，文蛤稚貝的適宜生存鹽度為 9 ~ 39.5 psu (楊等，2016)。在雨季或颱風來臨前應將池水鹽度調高到 25 psu，可避免豪大雨使養殖池鹽度下降到 10 psu 以下，造成文蛤體內滲透壓調節機制無法適應時，輕微者會停止攝食，嚴重者則會造成死亡。而在雨季或颱風來臨時，因為光電設施有排水管路可將雨水排出，遮蔽組的池塘鹽度受到雨水的影響較小，與無遮蔽組相比池水鹽度會高出 3 ~ 5 psu。另外在冬天東北季風會使池水蒸發，造成鹽度上升，必須淡水調節池水至適當的鹽度。

3. 酸鹼值 (pH)

在池水 pH 3 ~ 9 範圍內變化對文蛤的活存無顯著影響。正常海水酸鹼度則維持在 pH 8.1 ~ 8.3，且因為海水中含有相當多的鹽類可作為緩衝溶液，因此比較不易改變。但養殖池中 pH 還是很容易改變，主要是因為養殖池中生物的密度或化學濃度都比自然界高出許多。一般池塘水質 pH 過低，可能是有機質過多所造成，文蛤池水 pH 7.5 以下時，必須做適當的處理，可以撒佈農用石灰來調高池水 pH，再潑灑有益性細菌或光合細菌，更可有效的改善水質。而池水 pH 值太高時 (pH 9.5 以上)，簡單的作法是換水，以降低池水藻類濃度。

4. 溶氧量

文蛤池的溶氧的來源：

- (1) 空氣經過水表層以滲透的方式溶入水中。
- (2) 養殖池中的藻類或植物，在白天行光合作用而產生氧氣。
- (3) 以人為方式，如水車攪動水面以增加水體與空氣接觸的面積，來提高水中的溶氧。



文蛤的臨界溶氧量為 1.11 ppm。只要水中的溶氧量在 1.11 ppm 以上，對文蛤而言是處在有氧情形下，文蛤是可以活存的 (Lee et al., 2012)。在夏季或高水溫時，上層的水溫較高，下層的水溫較低，產生水溫躍層的現象，無法產生對流，易造成池底缺氧。一般缺氧狀況可用酌量換水及保持水車轉動來補救。文蛤池在大雨之後，由於鹽度梯度的存在而阻礙池水的對流，易造成池底溫度上升，引起池底缺氧 (Taber, 1981)。一般缺氧狀況可用酌量換水及保持水車轉動來補救。

5. 氨態氮

水中氨態氮濃度在 0.28 ppm 時，會使文蛤幼貝的濾食率降低 50% 而抑制文蛤的生長。氨態氮對文蛤 96 小時的半致死濃度為 3.3 ppm (Colt and Armstong, 1981)。安全濃度是以 96 小時的半致死濃度的十分之一計算，因此池水氨態氮對文蛤的安全濃度為 0.33 ppm，若是池水氨態氮濃度高於 0.33 ppm，就必須進行氨態氮的管理對策：

- (1) 增加溶氧量。
- (2) 使用水質改良劑，如麥飯石、硝化菌來降低池水氨態氮的濃度。
- (3) 避免太多殘餌。
- (4) 換水。



6. 硫化氫

硫化氫為具溶解性、有臭味且毒性很強之氣體，主要是硫化物如硫酸鹽、或有機硫化物，受細菌之嫌氣性分解而生成。硫化氫在水中會解離成 HS^- 和 S^{2-} ，而只有未解離的硫化氫 (H_2S) 具有毒性。硫化氫對文蛤之 96 小時 LC_{50} 為 1.5 ppm。安全濃度是以 96 小時的半致死濃度的十分之一計算，因此池水硫化氫對文蛤的安全濃度為 0.15 ppm。水試所從民國 104 年開始對彰化縣、雲林縣、嘉義縣、臺南市的文蛤養殖池進行現場檢測水質時，發現養殖池池水 H_2S 濃度在 0.3 ppm 以上時，文蛤會出現生長遲緩，而 H_2S 濃度增加到 0.5 ppm 以上則會發生死亡情形 (鄧等，2019)。

檢測池水硫化氫濃度若超過安全濃度 0.15 ppm，則需進行處理以降低池水硫化氫濃度，硫化氫的管理對策：

- (1) 增加溶氧量。
- (2) 使硫化氫轉變為硫化鐵沈澱而消除其毒性。
- (3) 使用益生菌處理 (如光合菌)。
- (4) 避免殘餌。

池水環境管理作業每日測量水溫、鹽度、pH 及溶氧，每週分析水質總氨及硫化物濃度，適時瞭解池水狀況及作為管理作業的依據。



(二) 飼養管理

養殖文蛤的放養密度在 100 ~ 120 萬粒 / 公頃，在高密度的養殖下，池中自然生產的藻類及有機碎屑並不足以供給養殖文蛤所需的餌料，故必須另外以人為方式來補充，常需投入大量的魚粉、豆粉、下雜魚漿等飼料，或者將這些物質在另一池中先發酵後再抽入養殖池中，以培養文蛤成長所須的天然餌料生物。另外在文蛤養殖期間大都憑經驗以目測水色來投飼，容易因為超量投餌導致池底有機物堆積，底層因缺氧而形成還原態。

因此飼養管理可以用葉綠素測量器，在池塘直接測量文蛤池水的葉綠素 a 濃度來作為投餵的依據 (圖 3-1-19)，池水的葉綠素 a 濃度盡可能維持在 30 ~ 60 $\mu\text{g/L}$ ，當葉綠素 a 濃度在 30 $\mu\text{g/L}$ 以下時顯示池中餌料不足，需要投放補充飼料 (每週 2 次，每次粉狀飼料投餵量為 5 ~ 10 公斤 / 公頃，若葉綠素 a 濃度仍低於 30 $\mu\text{g/L}$ 可增加投餵量)，如葉綠素 a 濃度超過 60 $\mu\text{g/L}$ 以上且持續 4 ~ 5 日，則需要換水以降低藻水濃度。

文蛤池的藻類濃度也可以測量池水的透明度來判斷，若透明度等於水深則顯示池中餌料不足，需要投放補充飼料 (每週 2 次，每次粉狀飼料投餵量為 5 ~ 10 公斤 / 公頃，若透明度仍沒有減少可增加投餵量，若透明度有減少則停止投餵)，飼養期間每週應採樣檢視文蛤殼的成長紋路，每月採樣分析文蛤成長及活存率以作為調整投餌量的依據。



圖 3-1-19 測量池水的葉綠素a濃度來作為投餵的依據

(三) 底土管理

1. 底土狀態之評估

在養殖過程中，池底狀況對文蛤非常重要，因為它們棲息在底土，底質惡化會影響文蛤成長或生存。底土狀態的評估方法是每週測量 1 次養殖池底土氧化還原電位 (oxidation reduction potential, ORP)，ORP 是底質有機物質負載程度的指標，在文蛤池現場就可直接測量底土 ORP，將白金電極直接插入養殖池底土 2～3 公分處，經 30～60 秒，數值穩定後即完成測定，養殖戶可以將池塘分成 6～9 個區域，每個區域測量 3～5 點，將測量數值的平均值作為底土的 ORP 值，然後依底土狀態進行養殖管理操作 (圖 3-1-20)。



圖 3-1-20 文蛤池現場就可直接測量底土ORP

2. ORP 值應用在文蛤養殖的管理

由於底土 ORP 值在 $-150 \sim -250$ mV 時 SO_4^{2-} 會還原成 S^{2-} 形成有毒的硫化氫，而底土 ORP 值在 -250 mV 以下時 CO_2 會還原成 CH_4 (甲烷)，顯示底土被有機物嚴重污染，處於極度缺氧狀態。因此將 ORP 值分成三個階段來進行文蛤池的底土管理：

(1) 正常養殖期 (底土 ORP 值在 -150 mV 以上) 的管理

可依據飼養管理進行投餵操作，但應避免過多的殘餌，以免有機物累積於池底而使 ORP 下降，投餵的人工飼料，必須注意適合文蛤攝食的食物顆粒，粒徑為 $5 \sim 25$ 微米，過大或過小的飼料顆粒均無法被文蛤攝食而累積於池底；飼料的投餵量，應視養殖物的狀況而增減，避免殘餌過多，使得底層因缺氧惡化而形成還原態。

(2) 底土改善期 (底土 ORP 值在 $-150 \sim -250$ mV) 的管理

改善底土 ORP 值達 -150 mV 以上，可避免產生對文蛤有影響的還原性有毒物質 (H_2S 及 CH_4)。

改善的方式有以下兩點：

- A. 增加水車數量或運轉時間，使水與空氣充分接觸，溶入氧氣，提供微生物分解有機物所需的氧氣，並使水中氨、二氧化碳等有害氣體逸出水面。



B. 每週定期使用二氧化氯 (0.5 ppm) 或光合菌 (15 ppm) 或益生菌來提高底土的 ORP，減少底土易氧化物 (EOM) 及底土需氧量 (SOD)，使文蛤在優良底土環境下成長，不僅可提升文蛤的成長率也增加文蛤的飼料效率。

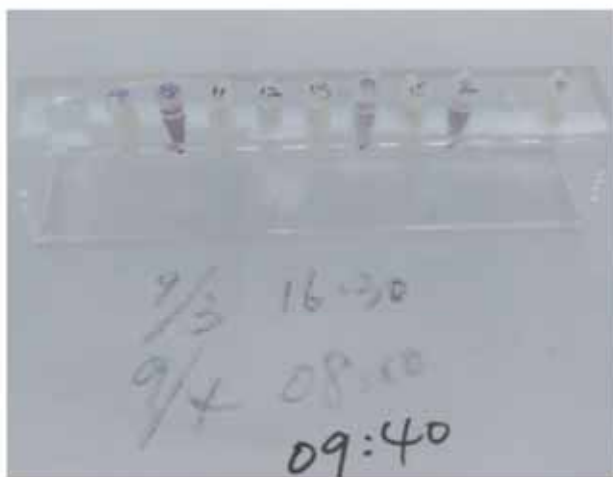
(3) 危險期 (底土 ORP 值在 ~ 250 mV 以下) 的管理

氧化還原電位在 -250 mV 以下時為 CH_4 ，顯示底土被有機物嚴重污染，處於極度缺氧狀態，應立即進行緊急搶救措施，才能避免文蛤大量死亡。而直接有效的緊急搶救措施為池水抽乾，使底土曝曬在空氣中 $2 \sim 4$ 小時，可以快速有效改善 ORP 數值，再增加水車數量或運轉時間，增加池水的溶氧量以持續改善底土狀態。

(四) 池水弧菌數

大多數常見弧菌皆為海水中常在菌，文蛤在濾食時也會將細菌一同攝入，在養殖池通常會具有一定數量的弧菌數，若是遇上季節轉換、下大雨及高水溫期，會使池水弧菌數暴增，加上文蛤受到環境緊迫造成體弱，而增加發病文蛤的死亡率。目前在發病死亡的文蛤中，已分離鑑定出具有多種弧菌屬，如溶藻弧菌 (*Vibrio alginolyticus*)、腸炎弧菌 (*V. parahaemolyticus*)、創傷弧菌 (*V. vulnificus*)、哈維氏弧菌 (*V. harveyi*) 等。同時也有分離出其他種類的革蘭氏陰性菌，如親水性產氣單孢菌 (*Aeromonas hydrophila*) 等。

鄧晶瑩等 (2018) 發現文蛤接種一定數量的創傷弧菌或巴西弧菌 (*V. brasiliensis*) 就會造成文蛤死亡。因此在養殖池水中，弧菌數達到 1,000 CFU/mL 以上，就立即需要用二氧化氯 (0.5 ~ 1 ppm) 消毒，降低池水中的弧菌量，減少文蛤因弧菌影響造成死亡的可能。由於弧菌測量是將試水帶回實驗室後，取 100 ul 試水塗抹於 TCBS 的培養皿上，在 28°C 下培養 24 小時後，目視判數培養皿弧菌的菌落數量後，再換算成池水的弧菌量 (圖 3-1-21)。但養殖戶缺乏相關的技術及器材，自己要測量池水中的弧菌量有所困難。有鑑於此，水產試驗所副所長張錦宜博士開發一種快速簡易的弧菌測試劑，只要加入 1 滴池水到弧菌測試劑中，於常溫下放置 24 小時後，觀察測試劑是否由透明變為紫色，即可判斷池水的弧菌量是否超標 (圖 3-1-22)。



(左) 圖 3-1-21 劃菌培養測量池水弧菌量

(右) 圖 3-1-22 池水弧菌快速測試劑



三、收穫作業

當養殖文蛤達到上市體型 (30 ~ 50 粒 / 斤)，光電設施養成文蛤的收穫方式，與傳統文蛤池養成文蛤的收穫方式是相同的，由文蛤收穫機於池中作業，將文蛤收穫後運送到池邊，再用文蛤分級機將文蛤清洗及分級後裝袋 (圖 3-1-23)。重點是光電設施支柱與支柱的跨距不得少於 10 公尺，因為文蛤收穫機長約 5 公尺，加上裝載收穫文蛤的竹筏的長度，文蛤收穫機作業才有回旋的空間，不會影響收成。



圖 3-1-23 文蛤池養成文蛤的收穫方式



肆、漁電共生養殖影響與效益

文蛤養殖池建立立柱型的光電設施，在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，立柱型的光電設施設有排水系統，因此也不怕雨季期間因雨量過多，而使池水的鹽度變化太大，進而影響文蛤的成長。理論上光電設施遮蔽了池塘 40% 的陽光，光照度下降會影響池塘藻類濃度，進而造成池塘基礎生產力下降，所以需要探討遮蔽對文蛤成長及養殖環境的影響。



一、遮蔽率對池塘環境的影響

(一) 光照度的變化

光電設施遮蔽了池塘 40% 的陽光，光照度必然會下降。在 109 年 6 月至 110 年 5 月試驗期間，陽光以夏季最強，冬季最弱，因此也反應在兩組的池塘光照度，而全年平均光照度無遮蔽組為 $84,330 \pm 3,833$ Lux，遮蔽組為 $49,811 \pm 18,003$ Lux (圖 3-1-24)。顯示遮蔽組因太陽能板遮陽的效果，而降低池塘 40.9% 的光照強度。

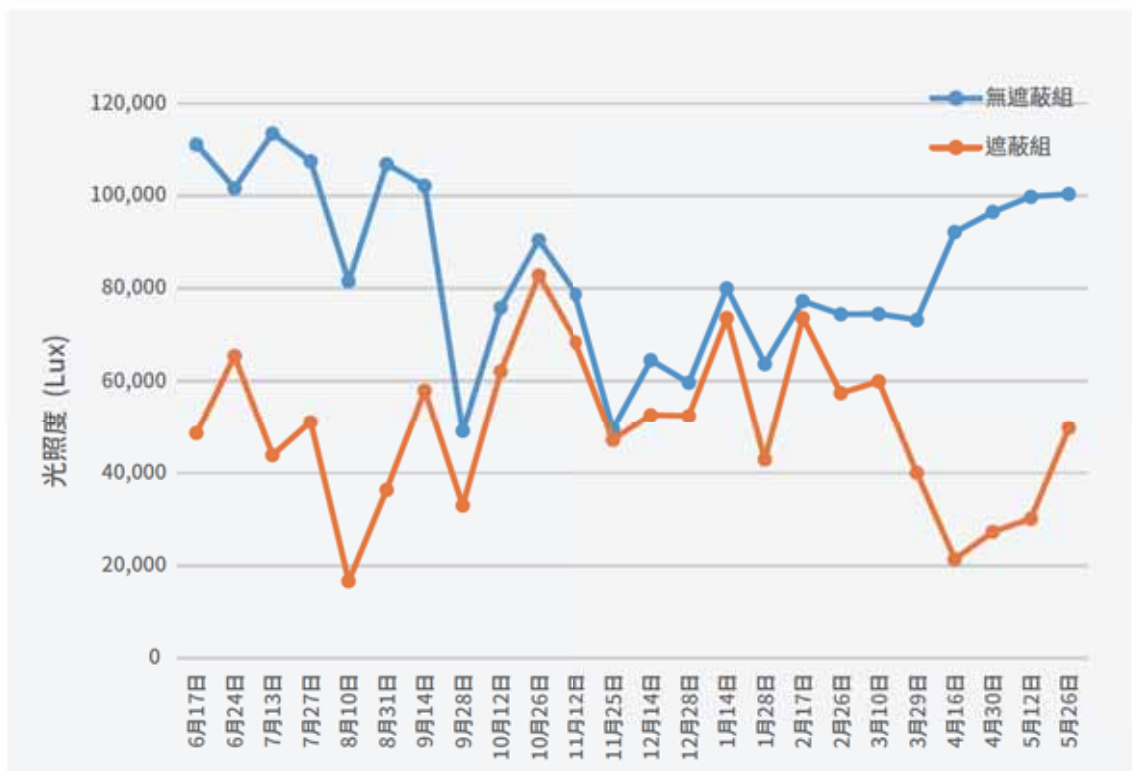


圖 3-1-24 試驗池光照度之變化

(二) 水溫的變化

試驗期間兩組的年平均水溫，無遮蔽組為 $27.9\pm 6.0^{\circ}\text{C}$ ，遮蔽組為 $24.7\pm 5.1^{\circ}\text{C}$ 。由圖 3-1-25 也可發現遮蔽組的水溫均低於無遮蔽組的水溫，以夏季陽光最強時兩組水溫相差最大，冬季陽光最弱則水溫差距較小。無遮蔽組與遮蔽組池水的平均水溫相差 3.2°C ，可見覆蓋太陽能板減少陽光直射到池塘的面積，進而有效降低極限水溫發生的機率。文蛤養殖期間常因氣候問題而遭遇不同的養殖難題，如夏季水溫過高常因日光直射導致池底溫度過高，雖然文蛤屬廣溫性，水溫在 $3\sim 39^{\circ}\text{C}$ 之間具有活動力，但水溫過高除了會減緩文蛤成長之外也會使文蛤不適而死亡。

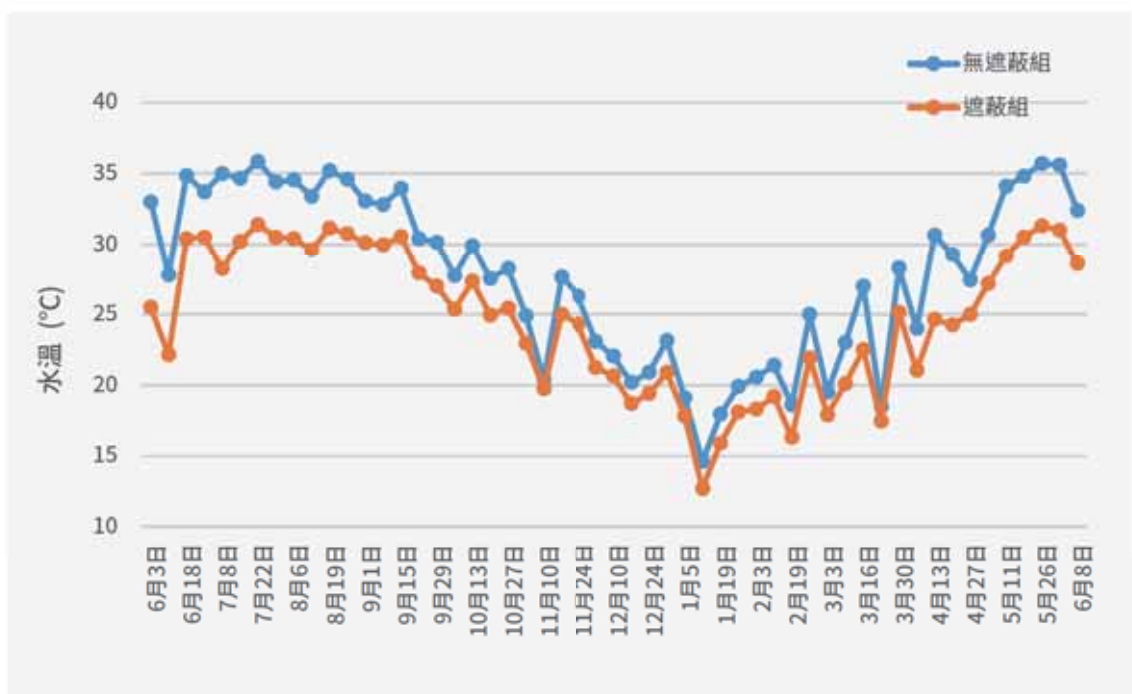


圖 3-1-25 試驗池池水水溫之變化

(三) 池水鹽度變化

13 個月的試驗期間，因雨季影響，各組池水鹽度由 35 psu 下降到 15 ~ 25 psu，遮蔽組的鹽度比無遮蔽組受到雨水的影響小，與無遮蔽組相比會高出 3 ~ 5 psu(圖 3-1-26)。由於遮蔽組藉由光電設施的太陽能板阻攔雨水，再經由排水管路將雨水排出池外，因此在大雨季節時無遮蔽組鹽度常急遽下降。另 110 年 1 月 18 日因淡水管路破裂，造成無遮蔽組的鹽度下降到 15 psu，在修復管路後逐漸回升。試驗期間的年平均鹽度，無遮蔽組為 24.2 ± 4.4 psu，而遮蔽組為 25.6 ± 3.2 psu。雖然文蛤適合的鹽度範圍在 10 ~ 45 psu，無遮蔽組的鹽度並沒有降到文蛤無法忍受的鹽度，但試驗期間池水鹽度因豪雨而急遽下降對文蛤也是一種的緊迫作用。



圖 3-1-26 試驗池之鹽度變化

(四) 池水葉綠素 a 濃度的變化

海水中葉綠素 a 濃度乃浮游生物量的重要的指標。由圖 3-1-27 發現並非是無遮蔽組之池水中葉綠素 a 濃度就會比遮蔽組高。反而是季節性的變化才會影響池水中葉綠素 a 濃度，在春季及秋季，遮蔽組池水的葉綠素 a 濃度均高於無遮蔽組。由年平均葉綠素 a 濃度來看。無遮蔽組為 $19.1 \pm 11.3 \mu\text{g/L}$ ，而遮蔽組為 $27.4 \pm 17.3 \mu\text{g/L}$ ，可發現遮蔽率 40% 的池水葉綠素 a 濃度比較高。另外也發現季節性的變化（夏天日照強，冬天日照弱）也會影響池水中葉綠素 a 濃度。但在冬季兩組水中葉綠素 a 濃度均小於 $30 \mu\text{g/L}$ ，有藻類不足的問題。依據文蛤池相關田間試驗結果，文蛤池水的葉綠素 a 濃度儘可能維持在 $30 \sim 50 \mu\text{g/L}$ 。

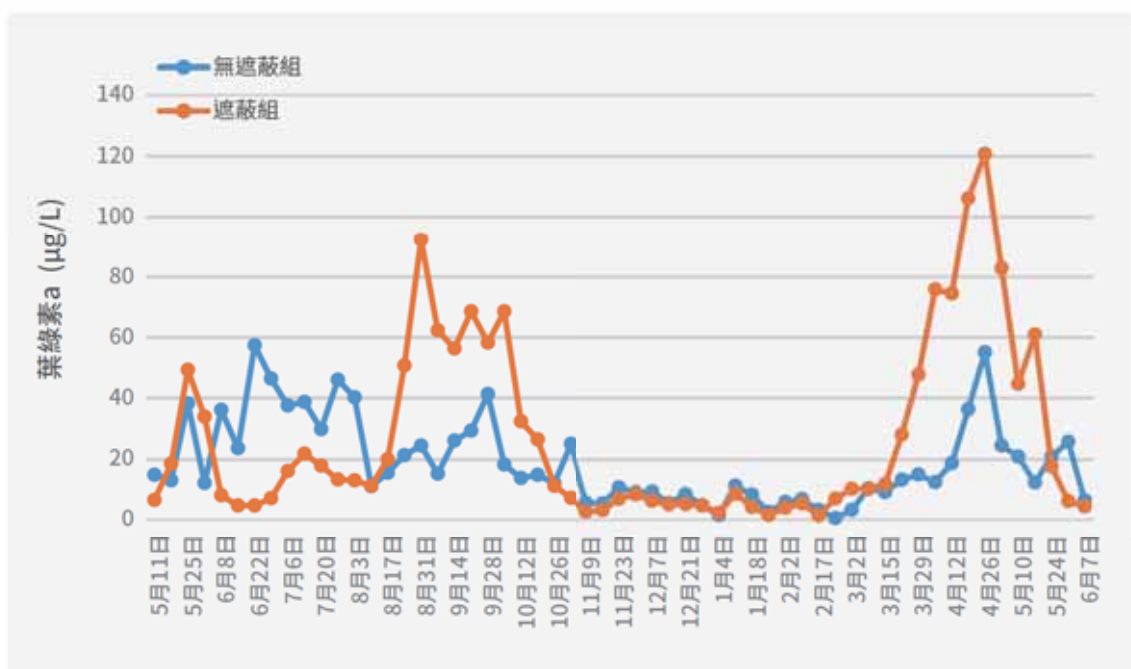


圖 3-1-27 試驗池池水葉綠素a之變化

(五) 池塘初級生產力的變化

初級生產力 (primary production) 是生物利用太陽能將無機物，如二氧化碳、水等，合成為含高能量之有機物的程序，它常和「光合作用」互通使用。生物體之質量累積愈多，即表示初級生產力愈高。通常情況下，單位水面下太陽輻射強度與初級生產量之間存在顯著的正相關。而太陽能板遮陽的效果而降低陽光直射池水的強度必然會影響初級生產量，從 109 年 6 月開始每兩週測量 1 次池塘的初級生產力，應用明暗瓶測量法在早上 10:00 到下午 14:00 測量溶氧的變化，結果發現年平均初級生產力以無遮蔽組的 $1.02 \pm 0.81 \text{ O}_2 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{Day}^{-1}$ 高於遮蔽組 $0.64 \pm 0.53 \text{ O}_2 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{Day}^{-1}$ ，顯示遮蔽組的初級生產力明顯低於無遮蔽組（圖 3-1-28）。

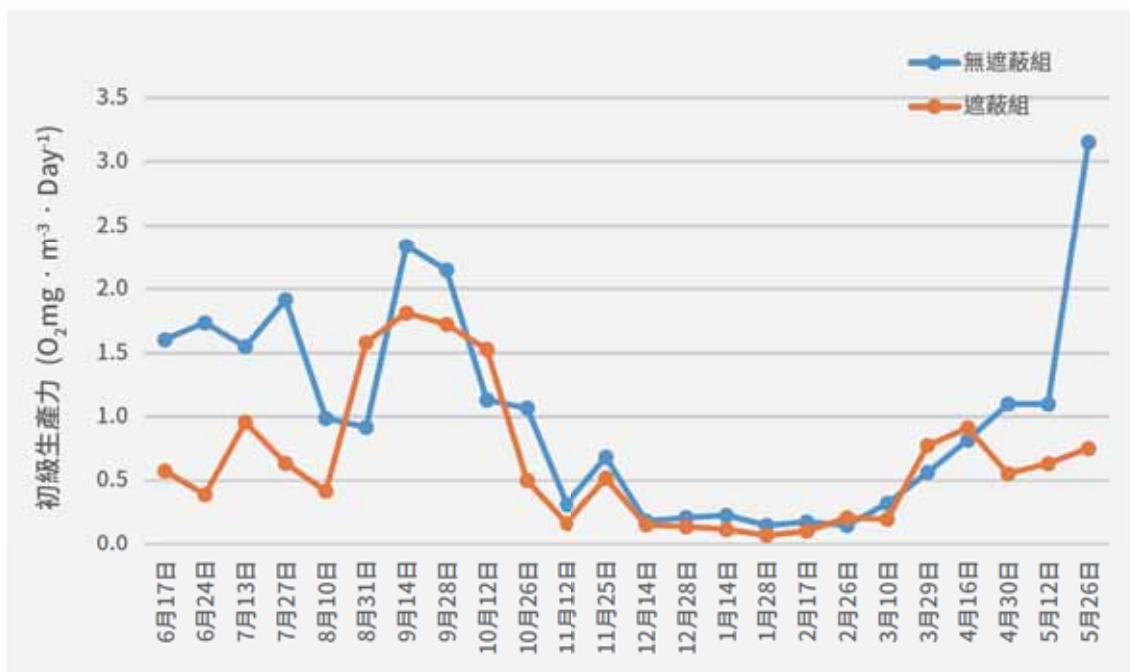


圖 3-1-28 試驗池初級生產力之變化

初級生產力受溫度、光照度的影響，溫度影響細胞內酵素的活性。低溫下，酵素的活性較低，光合作用之效率也就因而較低，所以冬季之海洋初級生產力比夏季低。和水溫比較，光照度在一年四季之差異較大。海水域所承受之光照度會隨著緯度而不同，臺灣地處北半球之亞熱帶和熱帶區域，所承受之陽光以夏季最強，冬季最弱。季節的光照度差異加上溫度的效應，使得臺灣附近海域之初級生產力在夏季（約7～8月）最高，在冬季（約1～2月）最低。而太陽能板的遮蔽也有同樣的效果，因為降低池塘的光照度同時也減少池水水溫的上升，因而只剩下原來池塘初級生產力的62.7%，減少了池中37.3%的初級生產力。



(六) 底土氧化還原電位的變化

氧化還原電位 (ORP) 是底質有機物質負載程度的指標，當有機物減少時耗氧量下降，氧化還原電位會逐漸上升，因此可作為有機物質污染的指標 (Pearson and Stanley, 1979)。兩組底土的平均 ORP 數值以無遮蔽組 83.12 ± 61.71 mV 較高，而遮蔽組為 45.15 ± 92.85 mV。兩組底土的 ORP 數值均高於 -150 mV，顯示試驗期間兩組池塘底土的狀況皆良好 (圖 3-1-29)。

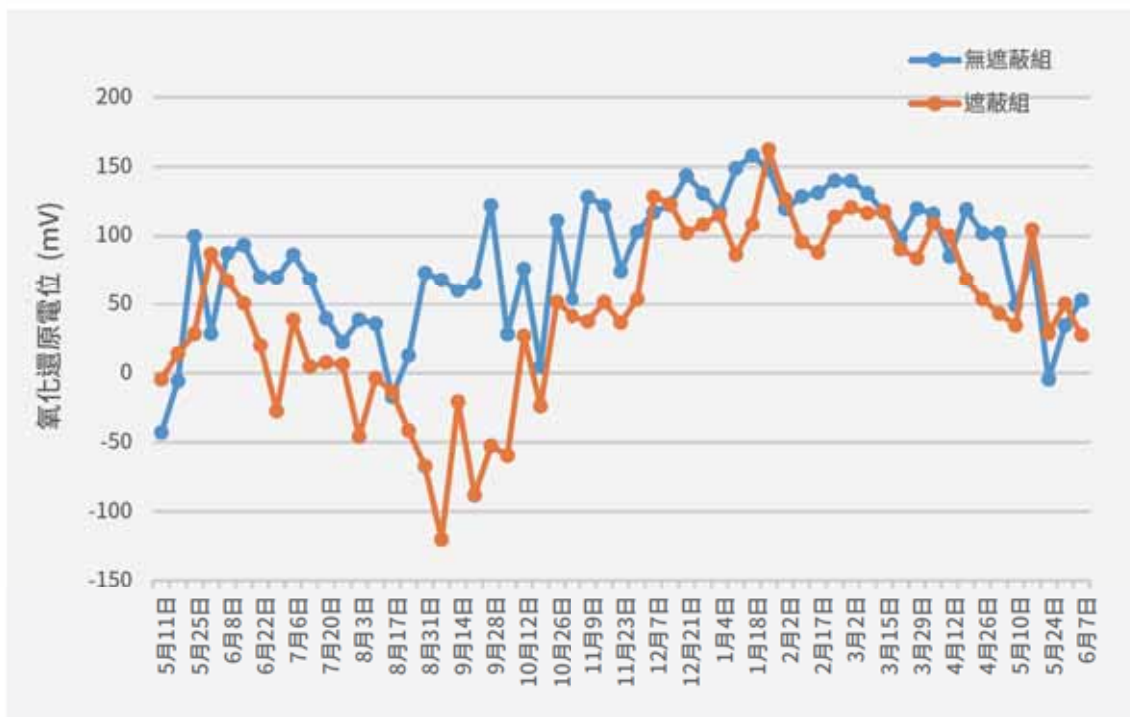


圖 3-1-29 試驗池底土氧化還原電位之變化

(七) 池水硫化物之變化

試驗期間兩組硫化物濃度由 10 ppb 以下逐漸上升到 80 ppb，顯示隨著養殖時間增長因飼料投餵，池塘有逐漸優養化的現象 (圖 3-1-30)。試驗期間無遮蔽組的平均池水硫化物為 16.6 ± 2.3 ppb，遮蔽組為 17.4 ± 1.9 ppb。硫化氫對文蛤之 96 小時 LC_{50} 為 1,500 ppb。安全濃度是以 96 小時的半致死濃度的十分之一計算，因此池水硫化氫對文蛤的安全濃度為 150 ppb。水試所從 104 年開始對彰化縣、雲林縣、嘉義縣、臺南市的文蛤養殖池進行現場檢測水質時，發現養殖池池水 H_2S 濃度在 300 ppb 以上時，文蛤會出現生長遲緩，而 H_2S 濃度增加到 500 ppb 以上則會發生死亡情形 (鄧等，2019)。在缺氧狀態下氨、硫化氫之類的還原物質會逐漸累積在池塘底土 (Avnimelech and Lacher, 1979; Ram et al., 1981)。試驗期間各試驗池硫化物濃度均在 150 ppb 以下。因此試驗期間兩組的硫化物濃度對文蛤沒有影響。



圖 3-1-30 試驗池池水硫化物濃度之變化

(八) 池水總氨態氮之變化

兩組池水總氨態氮在試驗開始到 109 年 12 月期間，氨態氮濃度增高且超過 0.28 ppm，但 110 年 1 月後逐漸回復正常。試驗期間平均池水總氨態氮以無遮蔽組 0.159 ± 0.117 ppm 較高，遮蔽組為 0.111 ± 0.056 ppm (圖 3-1-31)。Colt and Armstong (1981) 發現水中非離子氨態氮濃度在 0.28 ppm 時會使文蛤幼貝的濾食率下降 50%，影響文蛤的成長。且在缺氧的狀況下底土銨的累積會增加 (Avnimelech and Ritvo, 2003)。Reddy et al. (1986) 認為多量氨態氮的釋放是無氧狀態下低能量產出的作用。而在缺氧狀態下氨、硫化氫之類的還原物質會逐漸累積在池塘底土 (Avnimelech and Lacher, 1979; Ram et al., 1981)。

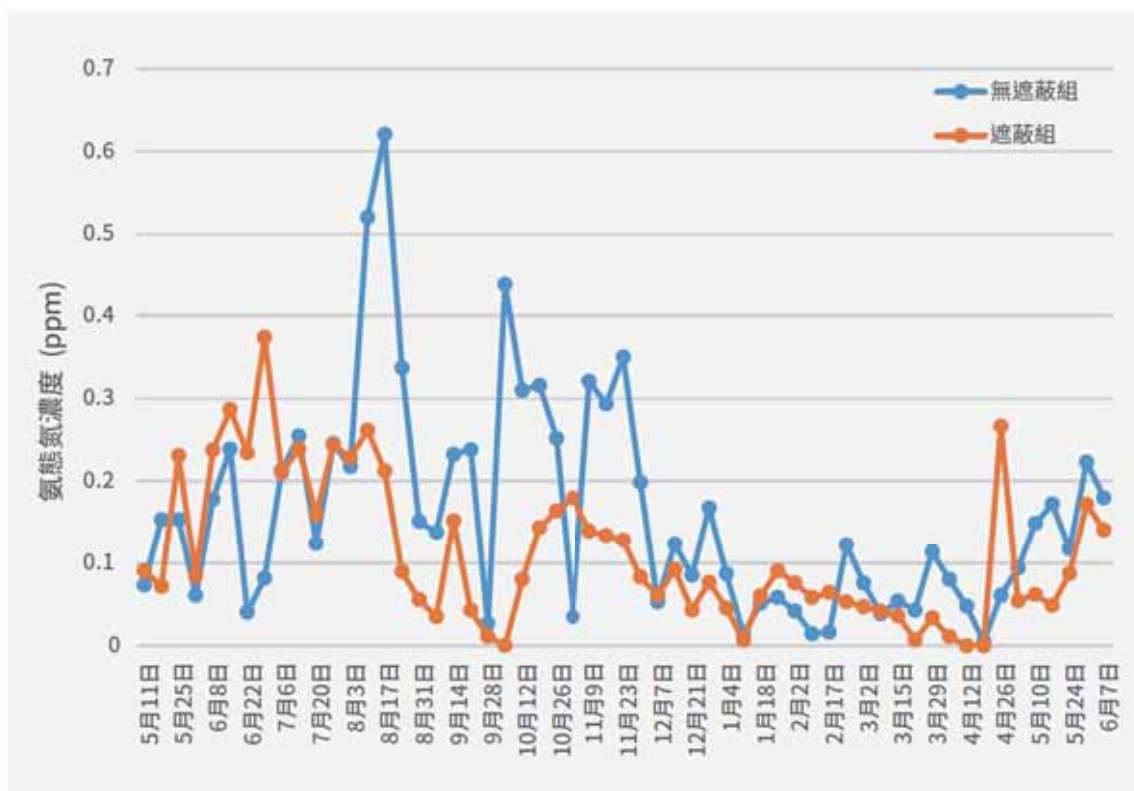


圖 3-1-31 試驗池池水氨態氮濃度之變化

(九) 池水總弧菌數之變化

在試驗期間每星期一會施用二氧化氯 0.5 ppm 進行殺菌消毒，星期二會添加枯草桿菌 300 公克 / 池及星期四添加短小桿菌 600 公克 / 池。從試驗開始到試驗中期兩組池水平均總弧菌數均低於 1,000 CFU/mL (圖 3-1-32)。但試驗後期因飼料投餵的因素，使得兩組池水總弧菌數常會超過 1,000 CFU/mL。雖然平均池水總弧菌數分別為無遮蔽組 621 ± 277 CFU/mL，遮蔽組 851 ± 475 CFU/mL，均低於 1,000 CFU/mL，但在試驗後期池水總弧菌數量對文蛤有一定的威脅存在。

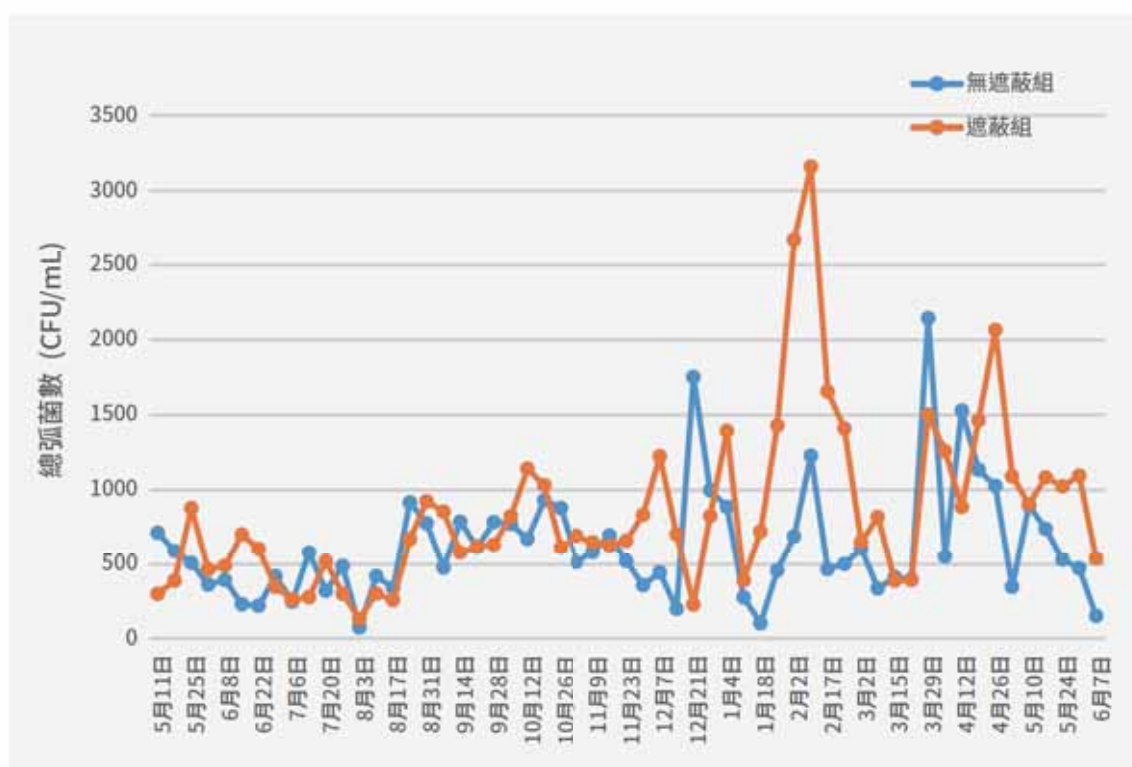


圖 3-1-32 試驗池池水總弧菌數之變化

二、遮蔽率對文蛤育成的影響

各試驗池放養平均體重 1.34 公克 (447 粒 / 斤) 的文蛤苗，每池放養 8.9 萬粒 (養殖密度為 89 萬粒 / 公頃) 進行實體光電設施的遮蔽率實驗。通常情況下，單位水面下太陽輻射強度與初級生產量之間存在顯著的正相關，可見太陽能板的遮蔽率會影響到池塘的初級生產力進而影響文蛤的成長。由 13 個月的飼育試驗，圖 3-1-33 可明顯發現文蛤的成長的變化，110 年 6 月 8 日採樣文蛤，測量各組文蛤的平均體重分別為：無遮蔽組 15.28 ± 4.94 公克及遮蔽組 13.24 ± 0.55 公克，無遮蔽組的文蛤成長高於遮蔽組。圖 3-1-34 是試驗期間兩組的平均活存率變化，110 年 6 月採樣各組的平均活存率：無遮蔽組 $61.95 \pm 9.36\%$ 及遮蔽組 $52.05 \pm 0.64\%$ 。

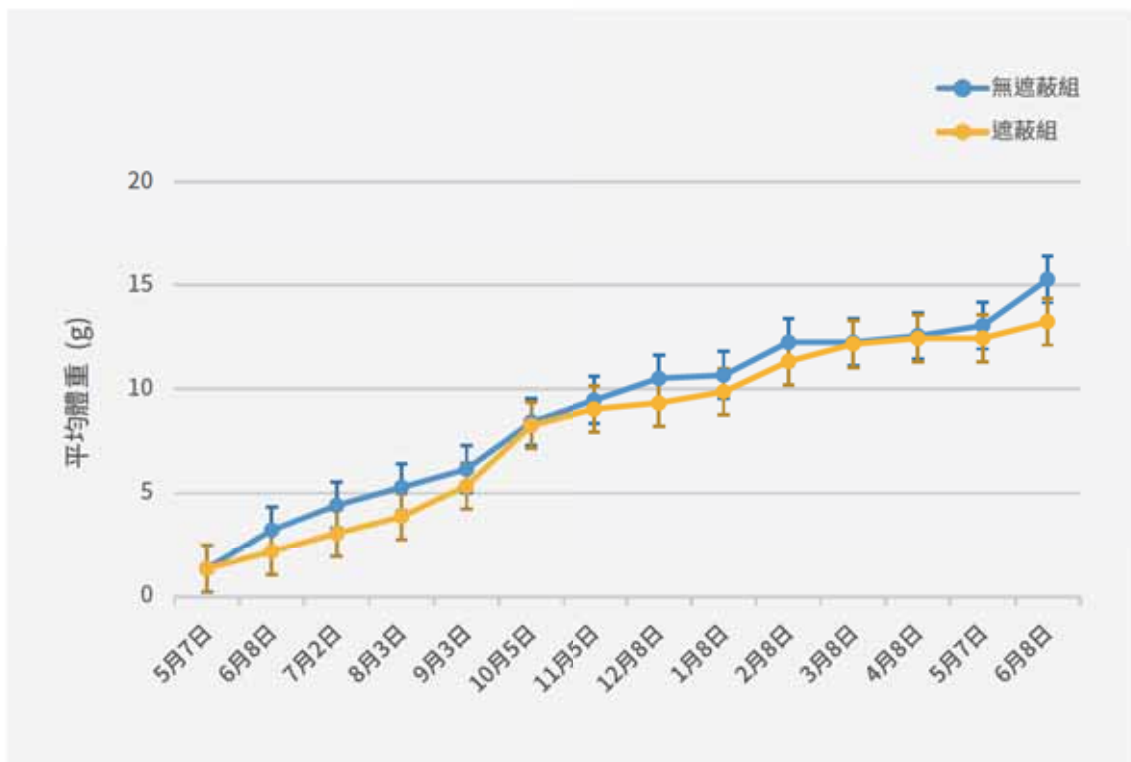


圖 3-1-33 試驗池文蛤平均體重之變化

以平均體重及活存率來估算目前的產量：無遮蔽組為842.5公斤/0.1公頃池及遮蔽組為613.3公斤/0.1公頃池，遮蔽組與無遮蔽組的產量比值為72.8%，符合產量7成的法規規定。試驗結果顯示太陽能板有遮陽及防雨的效果，在遮蔽率為40%的情況下可提供文蛤養殖之相對穩定環境。然而遮蔽率40%之下，池塘因光照度減少使得基礎生產力下降，進而影響文蛤的成長率，因此未來需要探討新的養殖管理技術來改善文蛤的成長率。

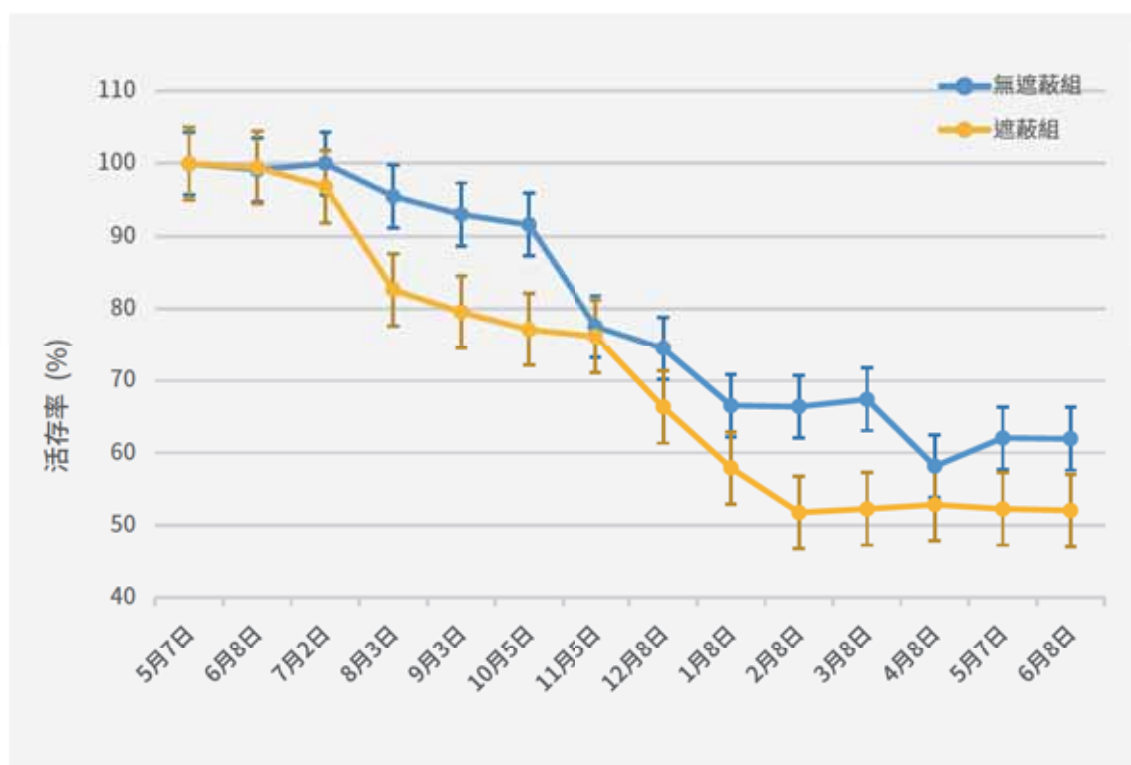


圖 3-1-34 試驗池文蛤平均活存率之變化