

2021 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 100037
參展科別 工程學
作品名稱 開發低水體高水壓養殖系統以優化養殖成果
得獎獎項 大會獎 四等獎

就讀學校 國立彰化高級中學
指導教師 王涵青、楊姍錚
作者姓名 粘恩睿

關鍵詞 精緻養殖、水深與壓力、水質管理

作者簡介



我是粘恩睿，目前就讀於國立彰化高中二年級，很榮幸能參與此次國際科展，在國中老師的啟蒙下開始對環境保育及科學研究產生興趣，每次參與科學展覽會都帶給我深刻及難得體驗。此次應用水深與壓力的關聯性進行水產養殖的研究及實驗，研究過程中曾遇到許多問題及挫折，感謝學校的支持及成功大學王涵青教授與安南校區前瞻蝦類養殖國際研發中心的老師們提供很多協助和指導，讓我可以更確定自己的研究方向、繼續向前邁進。近年來氣候變遷、地球資源過度被利用造成環境及人類極大的影響與衝擊，傳統產業常常是人類賴以維生的重要產業卻容易被忽視，期望能為傳統產業帶來創新與改進，是我未來想繼續努力投入的地方。

摘要

水產養殖已成為本世紀重要的水產品供應源，多數水生生物需生長在一定的水壓下，才可穩定成長進而達到性成熟及產生子代，而陸池養殖無法產生相對應的水深壓力環境，導致水生生物成長及性成熟困難的困境。本研究提出創新的低水體(水深 10.5 公分、容量 14 公升)模式，使用加壓調壓器材、水冷機、過濾系統等自製一個密閉、具穩定調控高水壓、可觀測生物、穩定水溫及水質淨化再利用的循環養殖系統。以本系統進行高水壓(1 kg/cm²; 約 10 公尺深)及次高水壓(0.5 kg/cm²; 約 5 公尺深)分別養殖淡水螯蝦及海水白蝦，結果顯示這些生物皆呈現體色較深及成長速率較快的現象，證明此高壓系統有利其生長。本研究以環境友善為出發點，採用低水體壓力調控方式，營造水生生物適合的水壓環境，未來可應用於水生生物的性成熟養殖操控或特殊養殖等研究，預期將可多元發展且極具發展潛力。

Abstract

Climate changes are due to the increasing world population. Marine resources have been exploited a lot by human activities. The demand of aquaculture has exceeded that of capture marine fishing. Therefore, aquaculture industry would be an important area for development in the future. Many aquatic organisms require a certain depth of water for optimal growth. Besides, pressure of water is a key factor that promotes sexual maturity and breeding in aquatic animals. However, maintaining water pressure in aquafarms is a major challenge that has to be addressed nowadays.

Our research is to create a high-pressure water culture system with the less water requirement. This culture system requires 14 liters of water, pressure pump and a pressure regulating valve in an enclosed space. This system can control the pressure stably as well as observe the circulatory system of aquatic organisms. It is an eco-friendly system, because the water can filter waste and can be recycled. The water can be reused by the disposal of sewage from wastewater using the principle of siphonage filter. We then performed animal experiments by rearing crayfishes at water pressure at 1kg/cm², in 10 meters depth, and also reared white shrimps at 0.5g/cm² water pressure, in 5 meters depth. Interesting we noted that both crayfishes and white shrimps showed dark coloration with faster and better growth rate.

This study is cost effective, with less consumption of water and environmental-friendly way, to create a sustainable environment suitable for aquatic animals. This culture system can be applied in the future for breeding or to improve sexual maturity of aquatic organisms in the field of aquaculture.

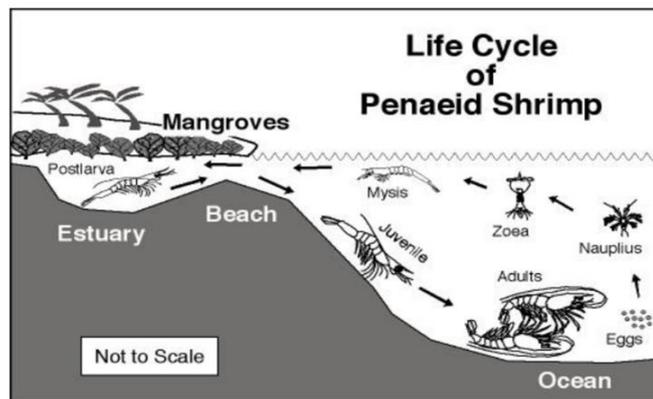
壹、前言

一、研究動機

全球人口持續成長，對糧食的需求亦隨之增加。當前漁業面臨海洋資源枯竭的情況下，水產養殖被公認為在海洋資源枯竭後，可取代捕撈漁業的重要趨勢產業。然而臺灣目前養殖發展卻不如世界趨勢所預期，因高成本、環境惡化及收益率不穩定或繁殖技術困難等因素，導致養殖產量無法穩定正向發展。

以對蝦養殖為例，我發現蝦類具有複雜的成長史，會隨著不同的成長階段移動到不同深度的水域，當成蝦性成熟後，種蝦會來到較深的海域大約水深 70 公尺（相當於 $8\text{kg}/\text{cm}^2$ 的水深壓力）開始交配、產卵及孵化(如圖 1)。但以臺灣水產養殖設施規範養殖池深度以堤頂向下 3 公尺內為原則，而一般室內集約式養殖其深度大約在 0.8~1.5 公尺，其水深都無法產生相對應的水壓，也自然造成性成熟及繁殖產卵的困難性。

因此本研究應用水深與壓力的關聯性，使用加壓馬達設計及自製一個密閉具有壓力調控功能的養殖循環系統，實際進行養殖設備操控與實驗，以創新環保的養殖方式降低養殖風險、減少環境污染，改善陸池養殖無法突破的瓶頸，應用在未來的養殖發展上。



【圖 1】 Life Cycle of Penaeid Shrimp 對蝦的生命週期
(資料來源：<https://reurl.cc/Lde54a>)

二、研究目的

為了探討利用壓力調控養殖之可行性，在自製低水體密閉調壓循環水系統的設置下，可以達到以下的養殖所需的條件：

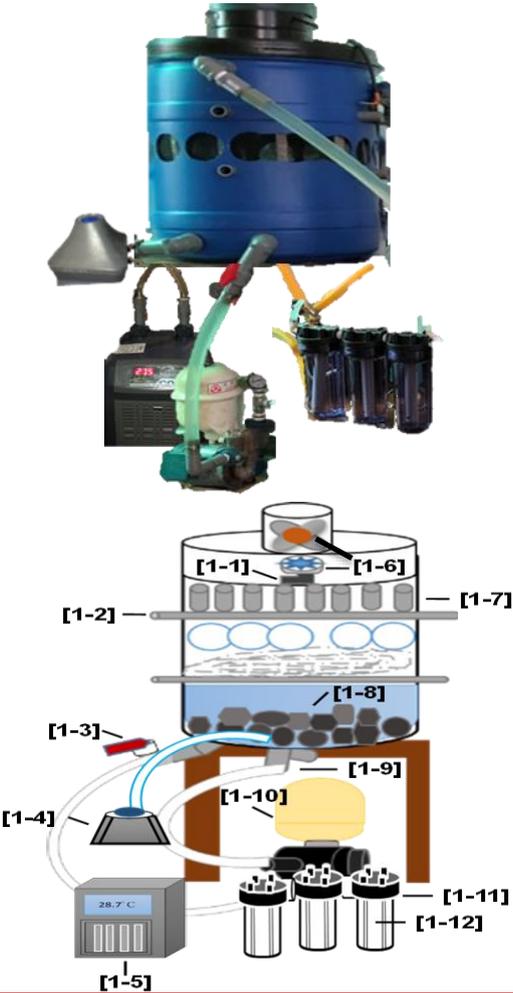
- (一)循環運作時可達到預期及穩定的壓力。
- (二)進行良好的排汗處理。

- (三)具有水質淨化再利用的功能。
- (四)在具有壓力的密閉環境下可進行投餌。
- (五)自動控制系統定時循環時間。
- (六)證實低水體高水壓養殖之可行性及優化性。

貳、研究方法或過程

一、研究設備及器材

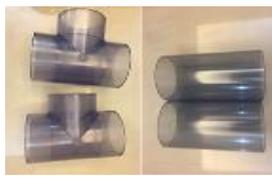
(一)水質淨化組

<p>【1-1】灑水噴頭</p> 		<p>【1-12】生化綿活性碳珊瑚石</p> 		
<p>【1-2】淨水桶</p> 		<p>【1-11】過濾器</p> 		
<p>【1-3】開關閥組</p> 		<p>【1-10】加壓馬達</p> 		
<p>【1-4】打氣機</p> 		<p>【1-9】水管配件</p> 		
<p>【1-5】水冷機</p> 		<p>【1-6】風扇</p> 	<p>【1-7】自製通氣水管</p> 	<p>【1-8】培菌石</p> 

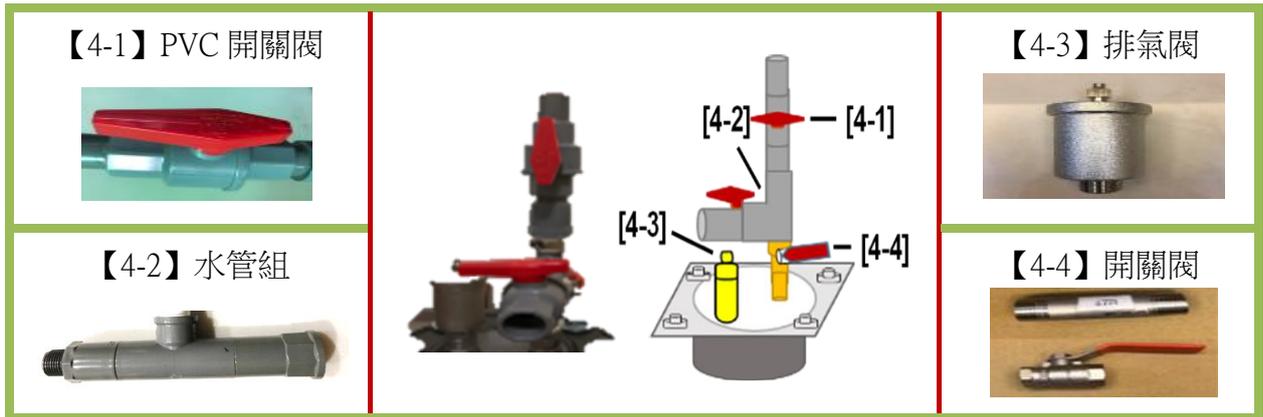
(二)壓力控制組

<p>【2-1】電磁閥</p> 		<p>【2-3】減壓控制閥</p> 
<p>【2-2】水錘</p> 		<p>【2-4】流量控制閥</p> 

(三)養殖槽觀測組

<p>【3-1】壓克力板</p> 	<p>【3-2】法蘭</p> 	<p>【3-3】法蘭墊片</p> 	<p>【3-4】蝶閥</p> 
<p>【3-5】自製排汗組</p> 	<p>【3-6】進水、排汗管</p> 	<p>【3-7】透明水管</p> 	<p>【3-8】螺絲組</p> 

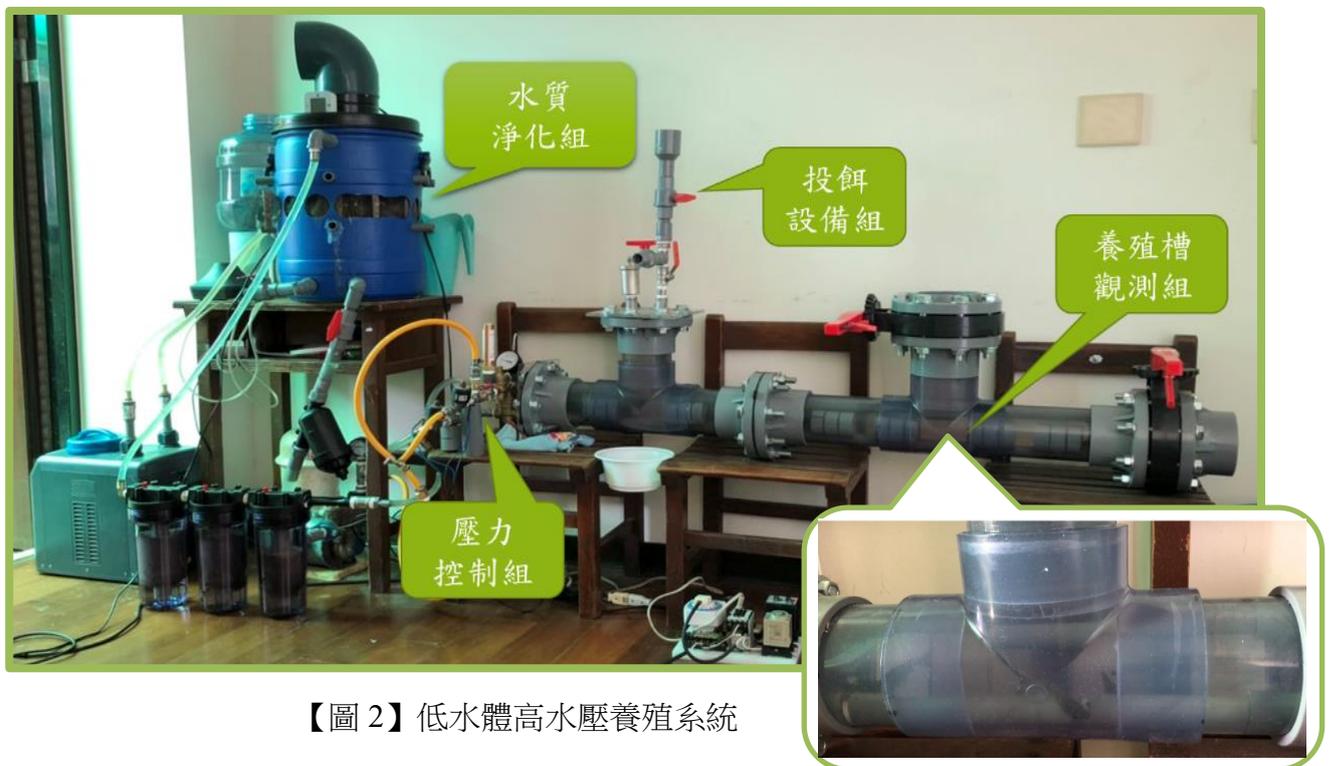
(四)投餌設備組



(五)水質檢測器材組



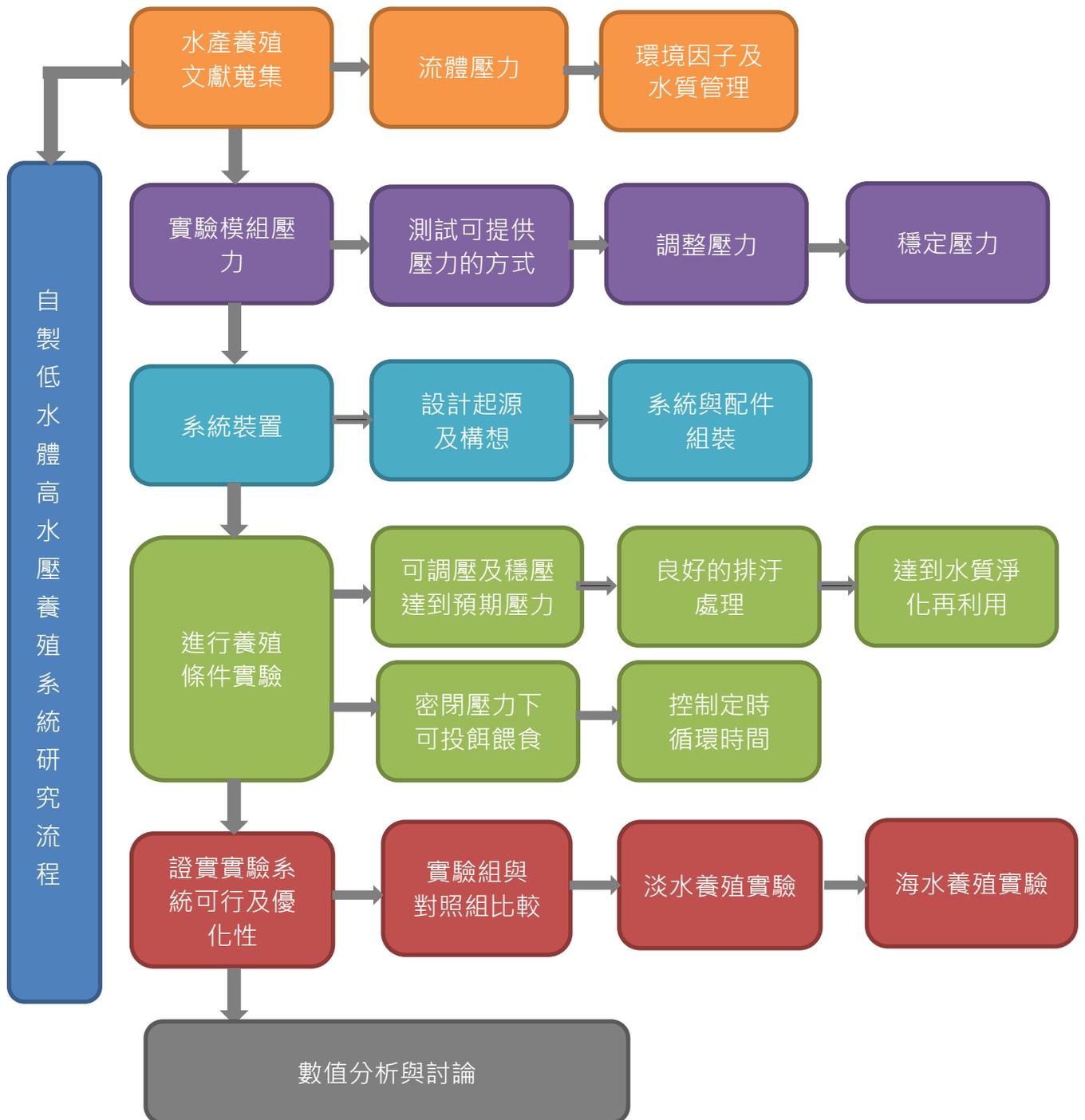
(六)研究設備組裝完成實品圖



【圖 2】低水體高水壓養殖系統

二、研究架構

本研究流程(如圖 3)分為五個步驟，分別為文獻探討、實驗模組壓力測試、設計並自製實驗系統裝置、進行各項養殖條件之實驗及證實低水體高水壓養殖之可行性及優化性。

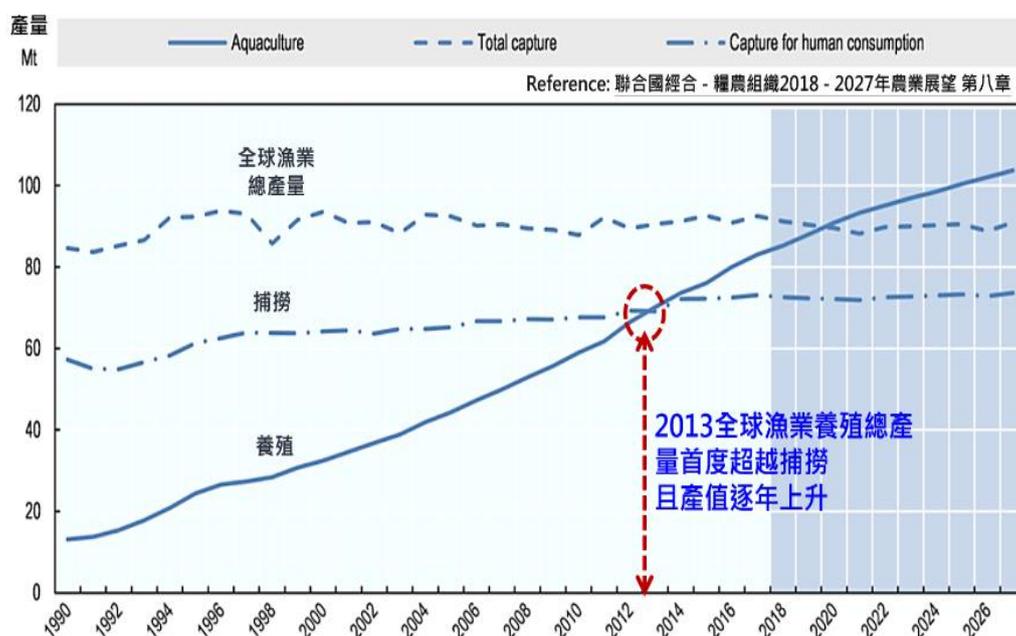


【圖 3】研究流程圖

三、文獻探討

(一)水產養殖的發展與困境

根據聯合國糧食及農業組織 FAO 的統計資料指出，全球海洋漁業資源日漸枯竭，水產養殖產量在 2013 年已超過捕撈量(如圖 4)，水產養殖成為未來全球致力發展的重要議題與產業，而水產養殖水產品亦成為重要蛋白質提供的主要來源。

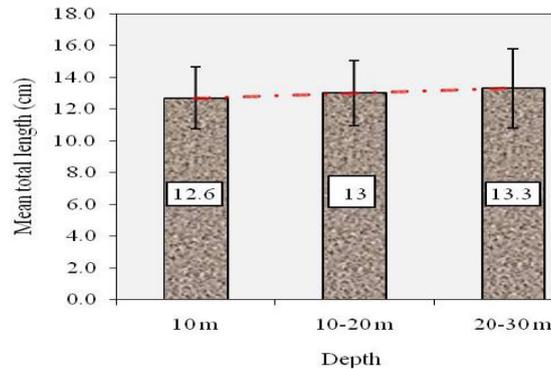


【圖4】全球漁業養殖總產量趨勢圖

(資料來源：經合組織-糧農組織2018-2027年農業展望)

臺灣水產養殖方式主要區分為內陸魚塭養殖、淺海養殖、海洋箱網養殖及室內集約式養殖。雖然過去臺灣曾有養蝦王國的成就，然而水產養殖的本質也與其他高度利用自然資源與環境的產業一般，會帶來一些負面的環境衝擊，特別是地下水的過度抽取，種苗和飼料、殘餌與排泄物的釋出以及養殖過程中施用化學藥物等，都可能造成環境影響及海洋污染的潛在因子。而現今水產養殖面臨的困境與威脅包含：

- 1.水深壓力不足影響水生生物的成長：根據2012 *AJB*(非洲生物技術雜誌) [Moslem Daliri](#) 等提出深度變化對綠虎蝦的體長大小及捕獲率的相關性研究，結果發現以ANOVA測試淺層捕獲率和深層捕獲率之間未觀察到有差異，但綠虎蝦的大小組成受深度變化的影響並且與深度呈正相關(如圖5)，海域深度越深，捕獲蝦的體長越長，也顯示蝦會依其不同的成長階段移動到較深的水層。



【圖5】三隻綠虎蝦在波斯灣沿海水域深層的平均長度（±SD）

2.性成熟培育困難：根據2015國際水生生物學雜誌(IJAB)Naser Uddin等在對蝦繁殖學的研究中指出對蝦成熟後需在40-80米深度的海中才能產卵(Spawning takes place in the sea at 40-80 m depth.)，而水產養殖的陸池其水深不足以能產生足夠的水壓，故形成性成熟及自然繁殖產卵的困難。

3.疾病感染的無法預期：FAO (聯合國糧食及農業組織)養殖水生生物計劃中指出，沿海區域蝦疾病流行率較高，在誘導種蝦性成熟的過程中最好選擇較深的深度(60-80 m)或者離岸距離超過20英里的種蝦，因為深度海域的蝦疾病患病率較低。

➤ **本研究應用**：綜合以上文獻研究顯示水生生物的成长需在不同的水深壓力下，水壓對水生生物有其重要影響性，如能調控適合水生生物的水壓環境，提供良好的水質環境管理，減少對環境及海洋的破壞，水產養殖才能是一個對環境友善及永續經營的產業。

(二)流體壓力

流體壓力是流體中物體或密閉容器表面上單位面積上力的量度。該壓力可由重力加速度或密閉容器外部的力引起的。由於流體沒有確定的形狀，因此其壓力會在所有方向上施加。流體壓力也可以通過液壓機構和流體速度的變化來放大。

1.壓力與流體深度的關係

平均壓力強度 $P = F$ 【作用在面積A上之垂直作用力(N) / A (力量作用面積 (m²))】

壓力 $P = F/A$ (Pa) 【 (1 Pa = 1 Newton/m²) 】, 推導公式：

= W/A (因為正向力 F 就是容器中液體的重量 W)

= Vd/A (因為重量 W 的數值和質量 M 一樣大，而質量為體積乘以密度 $M=Vd$)

= hAd/A (因為體積 V 為高度 h 乘以底面積 A) = hd

- 2.大氣壓：在海平面上溫度為攝氏零度時，大氣壓與 760mm.水銀柱之壓力相等，此時之大氣壓稱為標準大氣壓。故一大氣壓力=10.33m.(34ft)高之水柱=760mm(30in)之水銀柱高= $1.0333\text{kg/cm}^2 = 14.7 \text{ lbf/in}^2$ (psi)。
- 3.水深與壓力：海水的深度 (db)。1db差不多等於一米的海水深度。由於大氣在平均海平面上的氣壓為1.013巴，稱為一大氣壓，所以10db等於一大氣壓，也就是10米深的壓力有一大氣壓。當一公里深的地方承受的壓力有100大氣壓之多。
- **本研究應用：**根據 $P=hxd$ ，水密度 1g/cm^3 ，水銀密度 13.6g/cm^3 。1 atm = 1 kg/cm^2 ，水深每增加 10 公尺，壓力約增加 1 atm。反推本研究實驗使用壓力設備增加 1.0 kg/cm^2 (約為一大氣壓力)，則水深增加 10 公尺，若壓力設備給予 5.0 kg/cm^2 (約為五大氣壓力+一大氣壓力)，則水深等於 50 公尺。
- 5.虹吸現象：是一種流體現象，根據伯努利原理(Bernoulli's principle) 水位差產生水的靜壓力，靜壓力將產生出水口的流速，因此如果不考慮大氣壓力的差別(極微小)，水位差可決定出水口流速，所以只要有高度差存在，管內的水會持續流出。
- **本研究應用：**根據虹吸原理，水高處往水低處流動，水壓大的往水壓小的地方流動。利用養殖槽內壓力較大，藉由虹吸作用配合自製排汗管平均多孔鑽洞的方式來增加壓力點輸出，將槽內的水排出。

(三)環境因子及水質管理

環境改變對生物體是種刺激，當外在環境改變時，便藉由神經及內分泌系統的調控表現出對應的反應。若持續棲息在緊迫的環境中，生理改變無法克服緊迫的反應，則會導致健康狀態下降，甚至死亡。

良好的水環境是養殖生物健康生長的基礎，對於水體環境有效的維持與保護，除有助於養殖環境管理，更是生態保育及環境保護上不可或缺的。主要影響的因素包括：水溫、溶解氧、鹽度、pH值、氨氮、硫化氫等。根據物理化學的基本定律亨利定律(Henry's law)，亨利常數隨溫度改變，氣溫越高溶氧越低，水中氧氣含量會受到溫度與壓力影響。

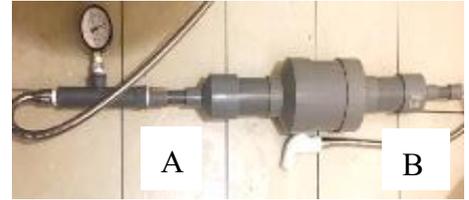
- **本研究應用：**本系統以曝氣方式，利用灑水噴頭將水噴灑於空氣中，增加水與空氣接觸的表面積，增加氧氣進入水體，穩定溫度提高溶氧量。

四、實驗模組壓力測試

(一)確認養殖槽內可提供壓力的方式及可使用的加壓器材。

1.測試方法(如圖 6)：

- (1)自製長 50 公分、4 英吋的 PVC 水管模組，一方 A 端(入水口)，一方 B 端(出水口)。
- (2)A 端前加裝壓力錶並連接水管至加壓馬達。
- (3)B 端連接水管並連接可控制開關的灑水噴頭。
- (4)開啟加壓馬達，觀察壓力錶的變化。



【圖 6】自製模組

2.測試結果：

- (1)使用加壓馬達，模組內的壓力由 0 kg/cm^2 上升至 3 kg/cm^2 ，確認加壓馬達為可使用之加壓器材(低於 2 kg/cm^2 開啟，高於 3 kg/cm^2 關閉)。
- (2)當灑水噴頭開關半開出水時，發現壓力錶會下降至 2 kg/cm^2 、全開出水時壓力錶則下降至 1 kg/cm^2 。實驗顯示流量會影響壓力，加壓馬達壓力控制開關無法調整壓力。

(二)測試可調整及控制壓力大小的方式。

1.測試方法(如圖 7)：

- (1)入水口加裝減壓控制閥。
- (2)出水口加裝流量控制閥。
- (3)開啟加壓馬達及灑水噴頭開關，觀察壓力錶的變化。



【圖 7】控制閥裝置

2.測試結果：

- (1)單加減壓控制閥並配合灑水噴頭控制水量，模組內的壓力可由 3 kg/cm^2 微調至 0 kg/cm^2 ，但灑水噴頭無法做水量微調。
- (2)加裝流量控制閥配合灑水噴頭控制水量，模組內的壓力則可由 3 kg/cm^2 微調至 0 kg/cm^2 。

(三)測試可緩衝及穩定壓力大小的方式。

1.測試方法(如圖 8)：

- (1)加裝加壓馬達壓力錶。
- (2)在加壓馬達連至減壓控制閥的水管中加裝水錘穩定器，觀察壓力錶的變化。



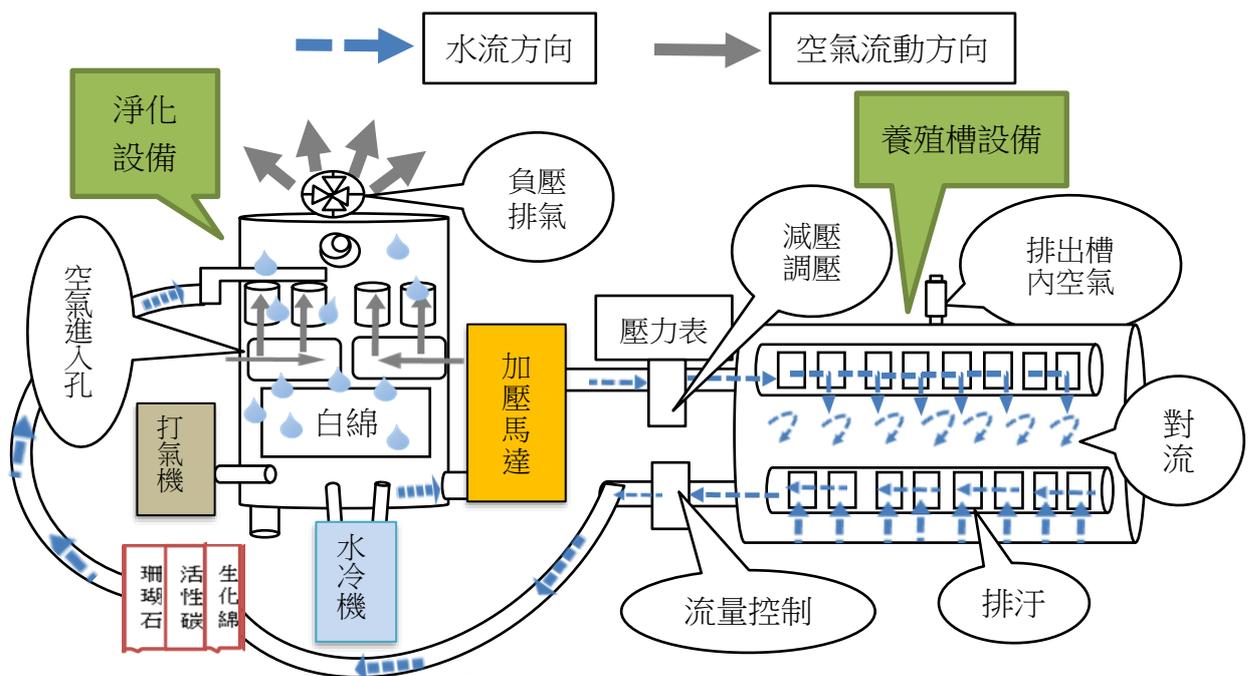
【圖 8】水錘裝置

2.測試結果：在加壓馬達啟動與關閉時，瞬間壓力起伏的現象可獲得改善。

五、系統裝置設計圖

(一)設計源由及構想：(如圖9)

1. 養殖槽觀測組：以透明圓柱體組裝成密閉的養殖環境，可不易受外界因素影響。圓柱體在結構上最適合抵抗水的靜壓力(一般的水管約可承受 9 kg/cm^2 的壓力)且水流可快速繞至槽內，有助於使水充分混合，產生均勻的水質。
2. 壓力設備：蒐集與壓力管路有關之加壓調壓器材後，使用加壓馬達來提供壓力，配合調壓閥、流量控制閥及水錘，可使壓力更加穩定。
3. 水體設計：以深度10.5公分之低水體及容量14公升之低用水量，使用少量的水，調控所需的水深壓力，模擬高水壓養殖。
4. 排汗處理：利用養殖槽圓柱體側邊的弧度可快速集中沈積固體，藉由虹吸管各個出水壓力點，將排泄廢棄物排出進行曝氣。
5. 物理過濾：水經由曝氣後與空氣結合，將水中不好的氣體隨風扇排出，透過白綿、生化綿、活性炭及珊瑚石四道過濾系統，淨化再使用。
6. 溫控增氧設備：藉由水冷機達到理想的溫度控制，利用打氣機增加溶氧量，得以加壓方式進入養殖槽內，提高氧氣濃度。
7. 投餌設備：使用 PVC 水管自製投餌組，以密閉一開一關的方式將餌料投入。



【圖 9】系統裝置設計圖

六、組裝系統裝置

(一) 養殖槽主體組裝(如圖 10)

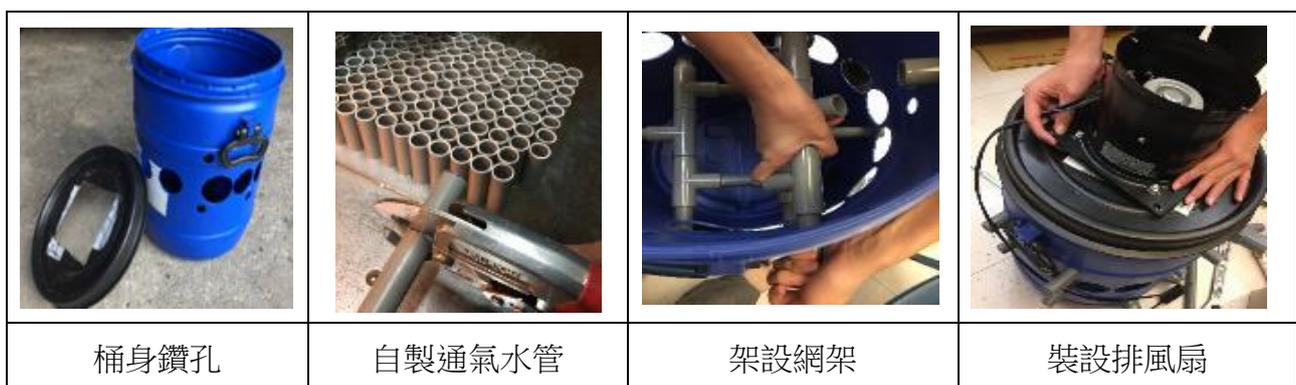
1. 組裝透明水管組 A、B 兩組與法蘭結合。
2. A 組左方安裝壓克力板並鎖上進水管，上方安裝壓克力板並鎖上排氣閥及投餌組
3. B 組右方及上方各裝上蝶閥，以便養殖生物投入與取出。
4. 將 A 組的進、出水管導入 B 組，完成 A 組及 B 組兩組結合。

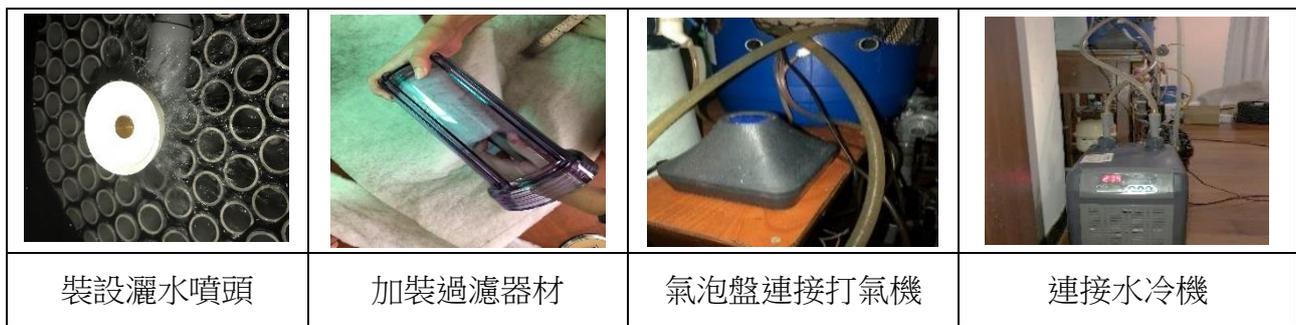


【圖 10】養殖槽主體組裝情形

(二) 淨水桶組裝(如圖 11)

1. 桶身鑽設空氣進入口，並在其兩側鑽洞安裝噴灑器，底部鑽設出水孔及排水孔。
2. 空氣進入口上方架設網架，放製自製通氣水管；下方架設網架，上方放置白綿。
3. 裝設灑水噴頭曝氣，使水分子變小。
4. 上蓋裝孔並裝設排風扇。
5. 加裝過濾器材：生化綿、活性炭、珊瑚石。
6. 淨水桶底部加裝氣泡盤連接打氣機，增加水溶氧。
7. 淨化桶連接水冷機，調設溫度在 26~27°C。





【圖 11】淨水桶組裝情形

(三)安裝調壓流量控制閥(如圖 12)

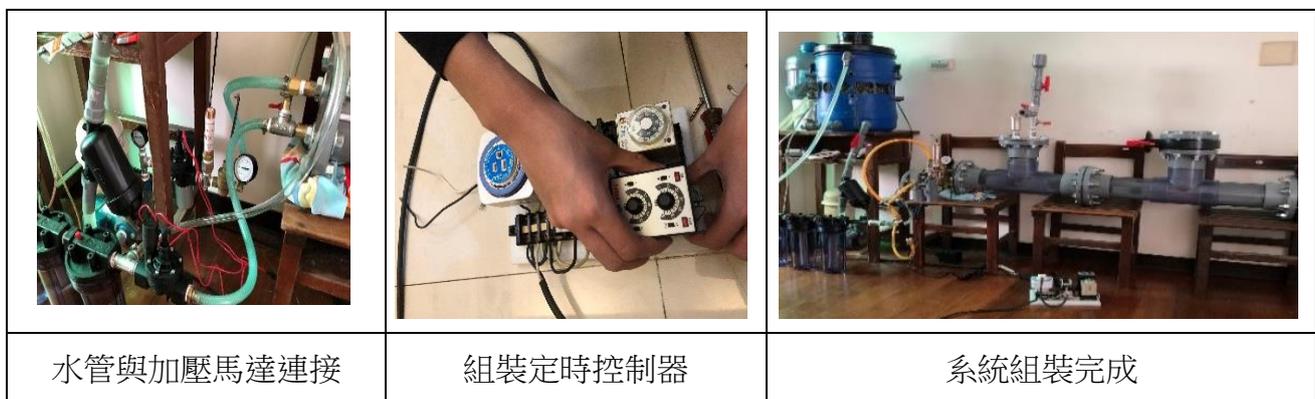
- 1.在出水口前安裝流量控制閥、開關閥及出水電磁閥。
- 2.在進水口前安裝調壓控制閥、水錘、開關閥及進水電磁閥。



【圖 12】調壓流量控制閥安裝情形

(四)系統組合(如圖 13)

- 1.養殖槽進水電磁閥前水管與加壓馬達連接。
- 2.養殖槽出水電磁閥與淨化水桶灑水噴頭連接。
- 3.組裝定時控制裝置。
- 4.進水電磁閥與出水電磁閥連接定時裝置，系統完成。



【圖 13】各系統組裝完成

七、研究實驗

(一)實驗 1：循環運作時可達到預期及穩定的壓力。

1.實驗說明：經由模組壓力測試前置實驗後，發現使用加壓馬達及減壓控制閥與流量控制閥可調整並穩定壓力，將此方式應用於本次研究之低水體密閉調壓循環水系統中，觀察養殖槽在循環時是否可以達到預期及穩定的壓力。

2.方法：

- (1)將自製養殖槽內的水 14 公升注滿、淨水裝置桶的水加到預定水位。
- (2)裝製排氣閥，啟動加壓馬達打開水開關，利用壓力錶測量養殖槽內壓力。
- (3)利用減壓閥將養殖槽的壓力調整至 0.1 kg/cm^2 、流量控制閥開啟出水運轉。
- (4)調整減壓閥使養殖槽內壓力在 $0.2 \text{ kg/cm}^2 \sim 2 \text{ kg/cm}^2$ 之間，觀察系統有無漏水現象。
- (5)加裝水錘，觀察進出水啟閉時壓力的穩定度。
- (6)測試及記錄養殖槽內壓力穩定狀況(如圖 14)。



【圖 14】各調整減壓閥測試(每次調整 0.2 kg/cm^2)

(二)實驗 2：進行良好的排汗處理。

1.實驗說明：養殖生物時殘餌及糞便的堆積會導致池底有機物含量過高，惡劣的底質環境容易導致缺氧或疾病的發生。本研究為有效的排汗處理，自製平均鑽孔的排汗管，進行實驗組與對照組的比較，觀察養殖槽內沉澱物的排汗狀況。

操縱變因：有、無裝設自製排汗管(如圖 15)



【圖 15】排汗處理實驗

2.方法：

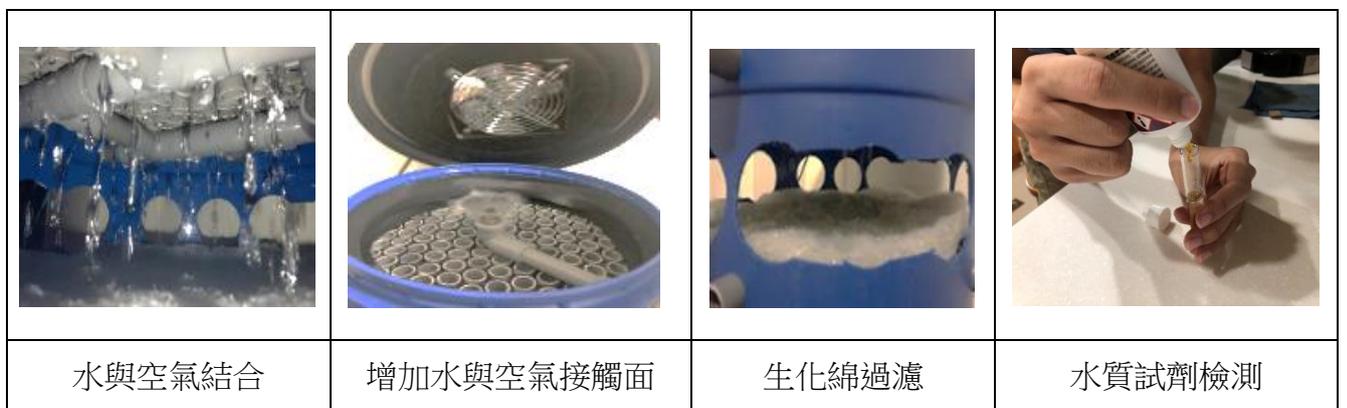
- (1)將壓力調至 0.5 kg/cm^2 循環運作。
- (2)將實驗組(有裝置自製排汗管)及對照組(無裝置自製排汗管)各加入具有沉澱物之水質(家中水族箱過濾桶)靜置沉澱二小時。
- (3)每隔 30 分鐘觀察養殖槽內的沉澱物變化，觀察二小時共計四次。
- (4)比較並記錄實驗組與對照組養殖槽內的沉澱狀況，是否可有效進行排汗處理。

(三)實驗 3：具有水質淨化再利用的功能。

1.實驗說明：水體環境的好壞會直接表現在養殖生物的健康狀態上。本研究使用正壓排水曝氣、自製通氣水管，並經由過濾系統達到過濾再利用。每日測量水的溫度變化，開始養殖生物實驗後，定期進行水質檢測。

2.方法(如圖 16)：

- (1)將壓力調至 0.5 kg/cm^2 循環運作。
- (2)淨水桶曝氣後將水中不好的氣體與新鮮空氣交換排出，水自然落下時，利用第一道過濾-白綿將殘餌與較大的廢棄排泄物隔離，減少過濾負擔。
- (3)利用自製通氣水管，平均加強汗水與空氣的接觸面積。
- (4)開啟上蓋裝置風扇，透過通氣水管提升水與空氣的交換，將不好的氣體排出。
- (5)淨水桶底部放至培菌石，進行生物過濾
- (6)以紅外線溫度計測量及紀錄室外溫度與養殖槽之溫度。
- (7)進行生物養殖實驗期間，定期進行溶氧度、鹽度及水質試劑檢測。



【圖 16】水質淨化及檢測

(四)實驗 4：在具有壓力的密閉環境下可進行投餌。

1.實驗說明：本系統為密閉具壓力的養殖槽如何在壓力中進行投餌，實驗一使用外來加壓方式，在預留的投餌孔加裝牛油槍嘴裝置，但無法順利投餌。進行改良實驗二，製作另一個密閉空間將餌料投入。

2.方法(如圖 17)：

(1)製作密閉放置餌料空間：使用 PVC 水管連接，組合一個 L 型的投餌管件。



【圖 17】投餌組

(2)預留投餌孔設置開關閥，上方連接投餌管件末端再裝設開關閥。

(3)將餌料投入投餌管內，管件末端的開關閥關閉，下方投餌孔的開關閥打開，觀察餌料投入養殖槽內的情形。

(4)餌料投入時，測試養殖槽內的壓力是否正常穩定。

(五)實驗 5：自動控制系統定時循環時間。

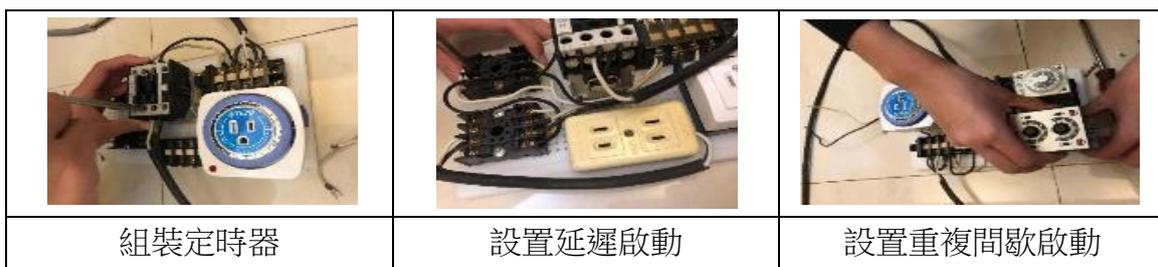
1.實驗說明：加壓馬達無法 24 小時連續運作，為確保加壓設備之安全性並達節能效果，增設自動循環時間控制。本次實驗使用大井泵浦自動加壓機，最大水量可達 40L/min，而自製養殖槽水量為 14L，以最小的出水量，不需持續加壓即可達到每 5 分鐘循環一次的效果。

2.方法(如圖 18)：

(1)定時器設定加壓馬達每啟動一小時，停止 15 分鐘。

(2)加壓馬達一開始運轉時，設定間計定時器(延遲啟動)開啟 30 秒，確保開啟時有足夠水及壓力供應養殖槽內所需壓力。

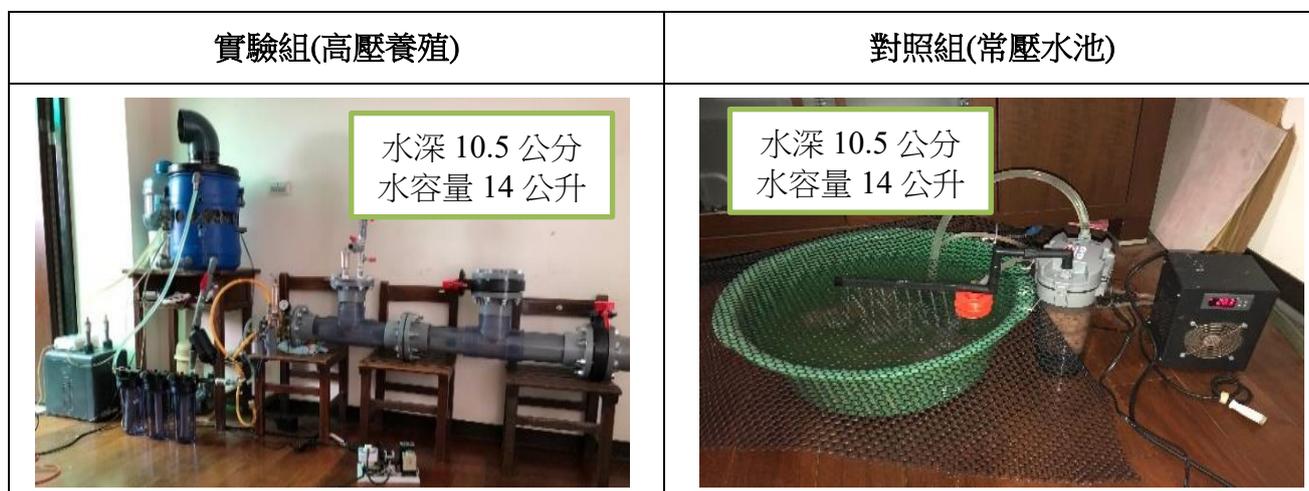
(3)加壓馬達運轉期間，設定雙調定時器(重複間歇啟動)，使進出水口電磁閥配合風扇，每啟動 5 分鐘停止 5 分鐘，觀察及記錄系統定時器運作狀況。



【圖 18】自動循環時間控制實驗

(六)實驗 6：證實低水體高水壓養殖之可行性及優化性。

1.實驗說明：為確認自製密閉調壓養殖系統的可行性、穩定性及多樣性，進行實驗 6-1 淡水養殖及實驗 6-2 海水養殖，以相同的水體及設備(如圖 19)進行實驗組(高壓養殖)及對照組(常壓水池)的比較。



【圖 19】實驗組及對照組設備圖

(因應夏季炎熱，進行海水白蝦養殖實驗前同時增加水冷機、打氣機及過濾器設備)

2.實驗 6-1：淡水養殖

實驗生物：澳洲淡水螯蝦

實驗時程：109.1.10~109.04.12

實驗方式：(1)澳洲淡水螯蝦養殖條件對照表(如表 1)

【表 1】澳洲淡水螯蝦養殖條件對照表 (註：室內溫度 18~24°C)

控制變因	實驗組(高壓養殖)	對照組(常壓水池)
水位	水深 10.5 公分	水深 10.5 公分
水量	淡水 14 公升	淡水 14 公升
溫度	密閉隔離 22~26°C	隨室內溫度變化 17~23°C
水質淨化	使用過濾系統	使用過濾系統
養殖數量	5 隻	5 隻
投餌(總重 8%)	3g/天	3g/天
操縱變因	實驗組(高壓養殖)	對照組(常壓水池)
壓力	0.2~1.0 kg/cm ² (定壓)	常壓

(2)澳洲淡水螯蝦高壓養殖過程(如圖 20)。

(3)養殖後進行實驗組與對照組之成長比較及記錄。

		
蝶閥打開放入淡水螯蝦	啟動循環設定壓力	淨水桶瀑氣循環
		
投餌後將滯留的水排出	觀察淡水螯蝦進食、活動及排汗情形	

【圖 20】澳洲淡水螯蝦高壓養殖過程

2.實驗 6-2：海水養殖

實驗生物：白蝦

實驗時程：109.8.1~109.9.30

實驗方式：(1)至成功大學(前瞻蝦類養殖國際研發中心)取海水及養殖實驗生物-白蝦。

(2)調整養殖槽的水質、鹽度及溫度。

(3)標記每隻白蝦編號，進行身長及重量量測，以拍照紀錄外觀顏色。

(4)進行實驗組(高壓養殖)與對照組(常壓水池)養殖實驗，條件對照表(如表 2)。

【表 2】白蝦養殖條件對照表 (註：室內溫度 30~34°C)

控制變因	實驗組(高壓養殖)	對照組(常壓水池)
水位	水深 10.5 公分	水深 10.5 公分
水量	海水 14 公升	海水 14 公升
溫度	水冷機控溫 26~27°C	水冷機控溫 26~27°C
水質淨化	使用過濾系統	使用過濾系統
養殖數量	10 隻	10 隻
投餌(總重 8%)	1.5g/天	1.5g/天

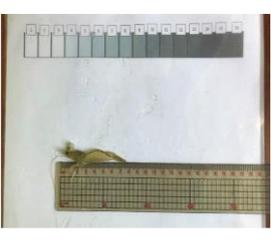
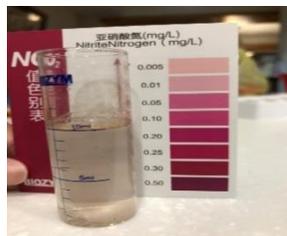
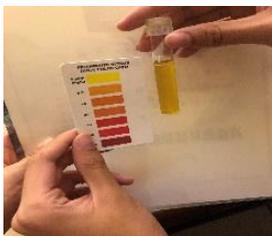
操縱變因	實驗組(高壓養殖)	對照組(常壓水池)
壓力	0.2~0.5 kg/cm ²	常壓

(5)實驗組(高壓養殖)啟動循環並設定壓力，因為幼蝦階段以循序漸進方式調高壓力至 0.5kg/cm²。

(6)水質檢測及記錄：溫度(每日)、溶氧量及 Salinity 變化(每二天)，NH₃/NH₄、NO₂-、NO₃-及 pH 檢測(每週)。

(7)白蝦高壓養殖過程(如圖 21)。

(8)每月進行實驗組與對照組之成長比較及記錄。

			
使用海水	水質鹽度檢測	標記白蝦編號	測量白蝦重量
			
量測身長及比色	將白蝦放入	開啟循環調控壓力	定期溶氧量檢測
			
定期各項水質檢測		觀察海水白蝦進食、活動及排汗情形	

【圖 21】白蝦高壓養殖過程

參、研究結果與討論

一、研究結果

➤ 實驗 1：循環運作時可達到預期及穩定的壓力。

(一)實驗過程：使用加壓馬達、出水開關、減壓閥、流量控制閥及水錘，測試是否可以穩定調控養殖槽內的壓力，壓力調控結果 (如表 3)。

【表 3】養殖槽內壓力調控結果表

調控養殖槽內 壓力 使用器材	0.2kg/cm ²	0.4kg/cm ²	0.6kg/cm ²	0.8kg/cm ²	1.0kg/cm ²	<1.0kg/cm ²
1.加壓馬達	x	x	x	x	v(註 1)	x
2.加上→出水開關	x	x	x	x	x	v(註 2)
3.再加上→減壓閥	v(註 3)					
4.再加上→流量控制閥	v(註 4)					
5.再加上→水錘	v(註 5)					

註：1.開啟加壓馬達維持在 1 kg/cm²左右，無法減壓及調壓。

2.加上出水開關未開啟時，壓力在 3 kg/cm²左右，開啟後仍維持在 1 kg/cm²左右，無法減壓及調壓。

3.再加上減壓閥壓力可以調降，但壓力起伏變動，呈現不穩定狀況。

4.再加上流量控制閥，壓力起伏小於 0.1 kg/cm²。

5.再加上水錘，壓力起伏更小，可小於 0.05 kg/cm²。

(二)實驗結果：

1.使用加壓馬達只可提供養殖槽內的壓力，需配合減壓閥、流量控制閥來改變節流面積，使流速及流體動能改變而損失壓力，最後加上水錘的使用，能使養殖槽內的壓力控制更加穩定，實驗顯示以相同水容量及深度的低水體養殖，可因調控不同的壓力，而營造出不同的水深壓力(如表 4)。

【表 4】壓力調控及水中深度對應表

水量/水位	調壓閥調控	壓力錶	相對水中深度
14 公升/10.5 公分	0.1 kg/cm ²	0.1 kg/cm ²	1M
14 公升/10.5 公分	0.3 kg/cm ²	0.3 kg/cm ²	3M
14 公升/10.5 公分	0.5 kg/cm ²	0.5 kg/cm ²	5M
14 公升/10.5 公分	1.0 kg/cm ²	1.0 kg/cm ²	10M

2.藉由升高水壓後，經減壓閥損失壓力來調降控制槽內的壓力，也會造成溫度上升，故槽內溫度的調控也是本研究需注意處理的地方。

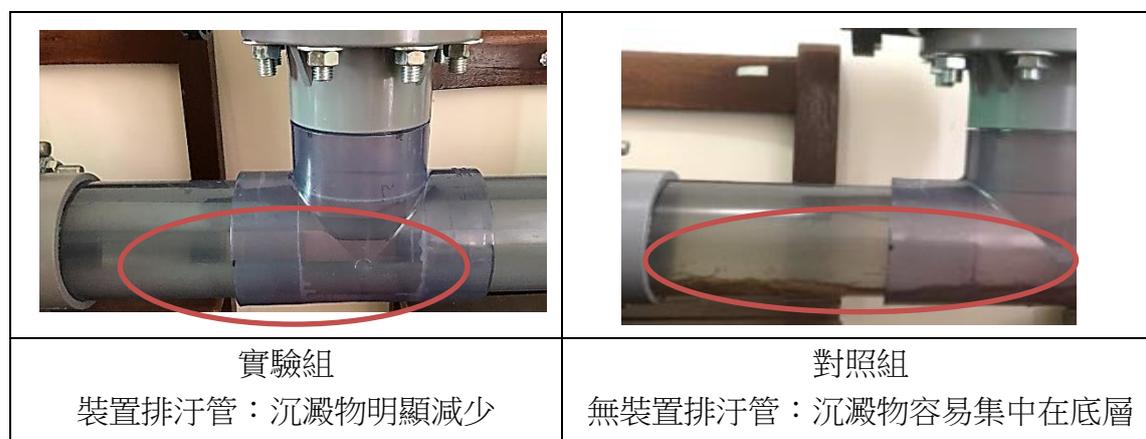
➤ **實驗 2：進行良好的排汙處理。**

(一)實驗過程：使用實驗組及對照組進行實驗比較，觀察單獨運用虹吸原理將水排出時沉澱物的排出狀況及加上自製排汙管的裝置後是否更具有功能性，可將養殖槽內的沉澱物有效排出，沉澱物存留狀況(如表 5)及(如圖 22)。

【表 5】養殖槽內沉澱物存留表

循環運作時間 排汙管裝置	30 分鐘後	60 分鐘後	90 分鐘後	120 分鐘後
1.實驗組 有使用自製排汙管裝置	60%	40%	20%	10%
2.對照組 無使用自製排汙管裝置	80%	70%	60%	60%

(二)養殖槽內沉澱物存留狀況(如圖 22)。



【圖 22】沉澱物存留狀況

(三)實驗結果：

- 1.藉由水管圓柱體側邊呈圓弧狀，確實養殖槽內的沉澱物可更集中於底部。
- 2.水由壓力大往壓力小的地方流動，養殖槽內壓力大於外界壓力，可將水排出。
- 3.自製排汗管具有功能性，上方平均鑽取出入水口後可更平均將遠端的沉澱物以虹吸方式循環排出，運作二小時後只剩下 10%的沉澱存留物。

➤ **實驗 3：具有水質淨化再利用的功能。**

(一)實驗3-1：溫度監測

1.實驗過程：影響水中溶氧的主要因子包括水溫、氣壓及鹽度等，海水溶氧略低於淡水，水域處於低水溫高氣壓時，溶氧狀況最佳。本實驗進行冬季(1~3月)室內溫度、淡水養殖槽及一般水池的溫度測量；及進行夏季(6~9月)室內溫度、海水養殖(加裝水冷機)及一般水池(加裝水冷機)的溫度測量。

2.實驗結果：

(1)冬季(1~3月)溫度記錄表(如表6)

【表 6】 冬季(1~3 月)溫度記錄表(擷取部分資料)

測量點 測量時間	室內	養殖槽(淡水)	一般水池(淡水)
1/18	18°C	22.2°C	17.6°C
1/23	17°C	23.1°C	16.8°C
2/2	19°C	24°C	19°C
2/16	21°C	24.6°C	20.3°C
3/2	24°C	26°C	23.4°C
3/15	23.5°C	26.3°C	23.1°C

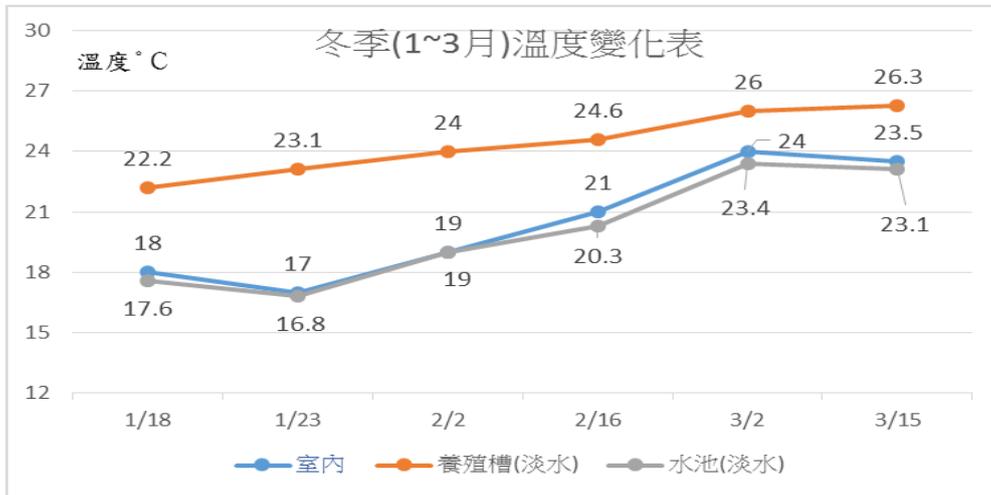
(2)夏季(6~9月)溫度記錄表(如表7)

【表 7】 夏季(6~9 月)溫度記錄表(擷取部分資料)

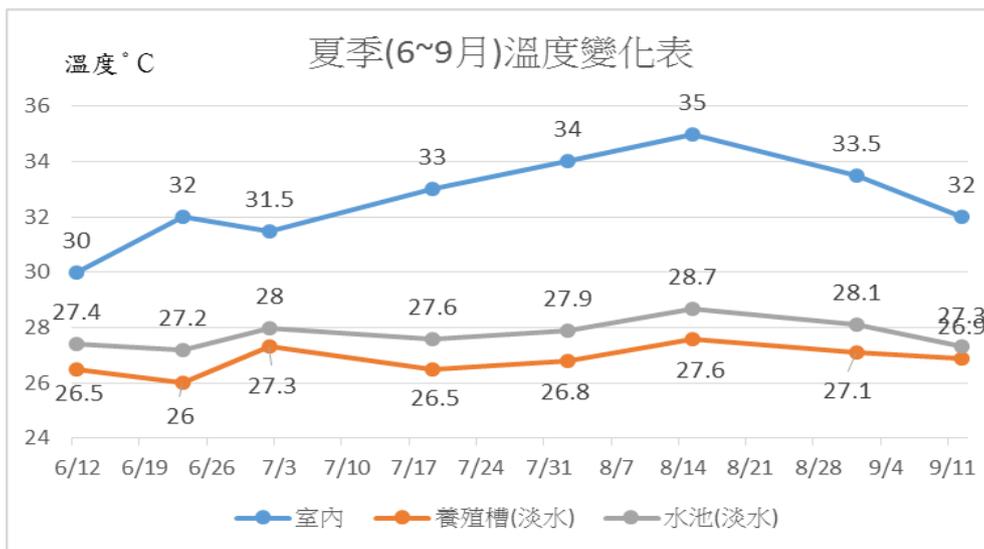
測量點 測量時間	室內	養殖槽(海水)	一般水池(海水)
6/12	30°C	26.5°C	27.4°C
6/23	32°C	26°C	27.2°C
7/2	31.5°C	27.3°C	28°C
7/19	33°C	26.5°C	27.6°C
8/2	34°C	26.8°C	27.9°C

8/15	35°C	27.6°C	28.7°C
9/1	33.5°C	27.1°C	28.1°C
9/12	32°C	26.9°C	27.3°C

(3)冬季(1~3月)溫度變化圖(如圖23)及夏季(6~9月)溫度變化圖(如圖24)。



【圖 23】冬季(1~3 月)溫度變化圖



【圖 24】夏季(6~9 月)溫度變化圖

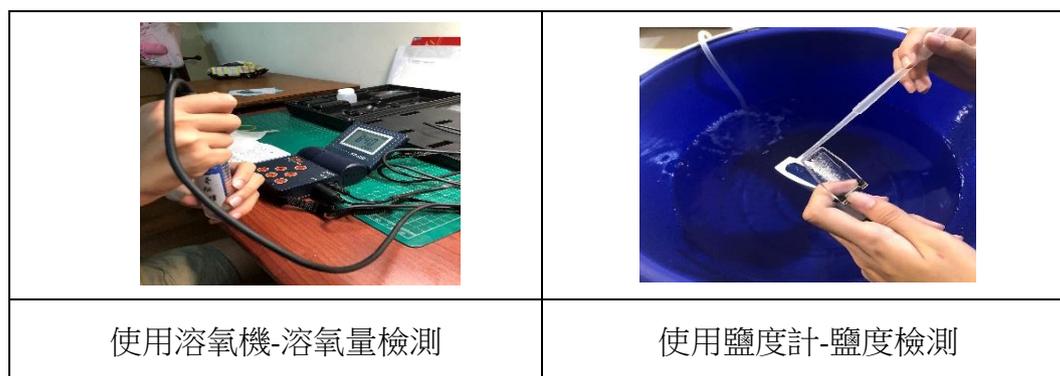
(4)從表5冬季溫度表中顯示，養殖槽為密閉環境，養殖生物不易受氣候溫度驟變的影響。

(5)從表6夏季溫度表中顯示，臺灣夏季炎熱，溫度過高會影響水中溶氧度及生物的生存，加裝水冷機後溫度可以調控適合的溫度，也符合目前養殖實驗生物白蝦適合的生長溫度(23-30°C)，圖中顯示水池溫度因會受外界氣候影響，溫度較養殖槽略高1~2°C。

(二)實驗3-2：水質鹽度及溶氧量檢測(如圖25)

1.實驗過程：進行海水養殖實驗前，需先將養殖設備的水質與取回的養殖水質進行鹽度

(25‰)及溫度(28°C)的比對與調整，才能將白蝦投入。養殖期間每二天檢測溶氧量及鹽度確保白蝦生長狀況，同時與一般水池進行實驗組與對照組的比較與分析。



【圖25】水質鹽度及溶氧度檢測圖

2.實驗結果：

(1)水質鹽度及溶氧量檢測紀錄(如表 8)。

【表8】水質鹽度及溶氧量檢測紀錄表(擷取部分資料)

項目 日期	實驗組(高壓養殖)			對照組(常壓水池)		
	溶氧量 (mg/L)	氧氣濃度 (%)	鹽度 (‰)	溶氧量 (mg/l)	氧氣濃度 (%)	鹽度 (‰)
8/7	6.08	76.8	21	5.7	73.9	28
8/18	6.3	84	24	5.4	74.3	27
9/1	6.54	84.6	25	5.92	79.2	26
9/8	6.13	78.9	25	5.8	75	25
9/13	6.58	79.5	25	5.41	71	26

(2)由表 8 顯示實驗組與對照組的溶氧量及氧氣濃度都符合正常標準(一般建議 4 mg/L)

以上，養殖槽溫度控制穩定，溶氧量及氧氣濃度較優於一般養殖。

(3) 8/1 自成功大學(前瞻蝦類養殖國際研發中心)取回的海水鹽度為 25‰，由表 8 發現 8/7 一週後養殖槽的鹽度下降至 21‰、水池的鹽度上升至 28‰，分析原因應為海水經由淨化桶曝氣時流量太大，造成蒸散過度海水流失過快，過量補給一般水時成鹽度下降；水池則因為海水蒸散時，未及時補水而造成鹽度上升。

(4)問題改善：在淨水桶曝氣的噴頭上方加裝阻隔籃，減少水氣流失；在水池上標註警戒線，當水位下降時隨時補一般水。每二天檢測鹽度時，發現養殖槽鹽度維持良好，

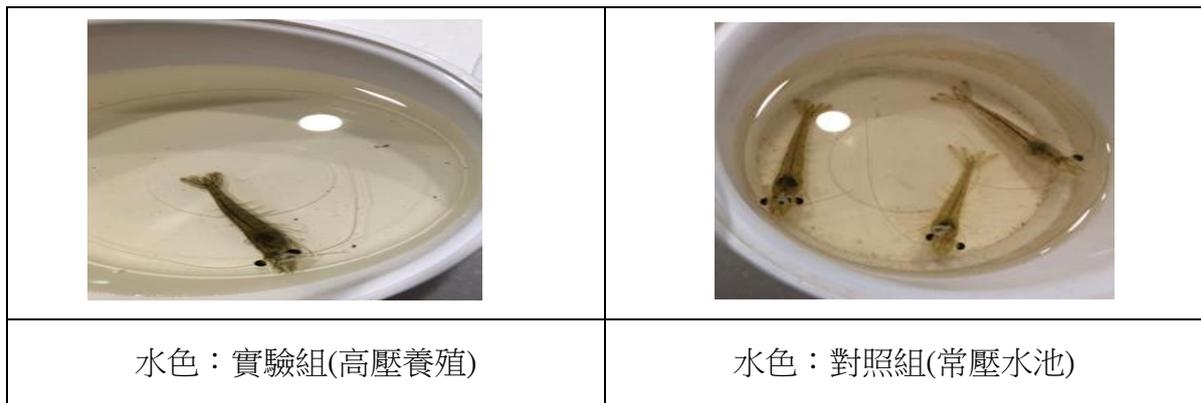
水池鹽度較易上升，需加強補水維持。

(三)實驗 3-3：水色觀察及水質 NH_3/NH_4 、 NO_2^- 、 NO_3^- 及 pH 檢測。

1.實驗過程：每週以水質試劑進行水質項目的比色及檢測，檢驗養殖受汙染的情況，確認本系統是否可以水質淨化再利用。

2.實驗結果：

(1)水質顏色比較(如圖 26)：高壓養殖槽內的水外觀較透明清澈，而一般常壓水池的水顏色則較混濁。



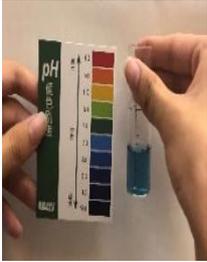
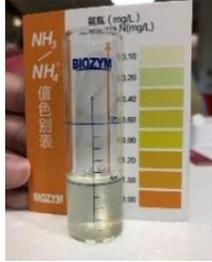
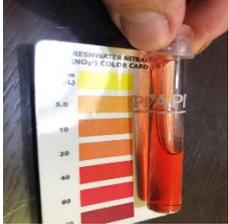
【圖 26】水質顏色比較圖

(2)水質 pH、 NH_3/NH_4 、 NO_2^- 及 NO_3^- 檢測紀錄(如表 8)。

【表8】水質pH、 NH_3/NH_4 、 NO_2^- 及 NO_3^- 檢測紀錄表(擷取部分資料)

項目 日期	實驗組(高壓養殖)				對照組(常壓水池)			
	pH	NH_3/NH_4 (mg/L)	NO_2^- (mg/L)	NO_3^- (mg/L)	pH	NH_3/NH_4 (mg/L)	NO_2^- (mg/L)	NO_3^- (mg/L)
8/8	7.6	0.10	0.005	10	7.6	0.10	0.005	10
8/22	7.6	0.10	0.005	10	7.6	0.20	0.005	40
9/5	7.6	0.10	0.005	5	7.6	0.10	0.01	20
9/12	7.6	0.10	0.005	5	7.6	0.20	0.01	10

(3)水質 pH、 NH_3/NH_4 、 NO_2^- 及 NO_3^- 檢測結果(如圖 27)。

			高壓養殖 	常壓水池 
pH結果 (標準值7.0~8.2)	NH ₃ / NH ₄ 結果 (標準值0.2 ↓)	NO ₂ -結果 (標準值0.2 ↓)	NO ₃ 檢測結果比較 (標準值40 ↓)	

【圖 27】水質質 pH、NH₃/ NH₄、NO₂-及 NO₃-檢測結果

(3)由表 8 顯示實驗組與對照組的 pH 值、NH₃/ NH₄ 及 NO₂-都符合正常標準，顯示過濾系統良好，可將廢棄排泄物排出及過濾，8/22 同時檢測時發現常壓水池組的 NO₃-數值超標至 40~80 mg/L。而高壓養殖槽都在標準範圍內，其水體環境的穩定性優於一般養殖，確定本系統可達水質淨化再利用。

(4)問題改善：高壓養殖水質各項檢測皆在標準範圍內，而常壓水池的 NO₃-數值超標，顯示水池的硝化作用不良，重新更換 1/3 的海水並加入海水專用的硝化菌後，NO₃-數值可降至 20 mg/L，顯示高壓養殖相較一般的常壓養殖，水質良好穩定可達減少換水之功能。

➤ 實驗 4：在具有壓力的密閉環境下可進行投餌。

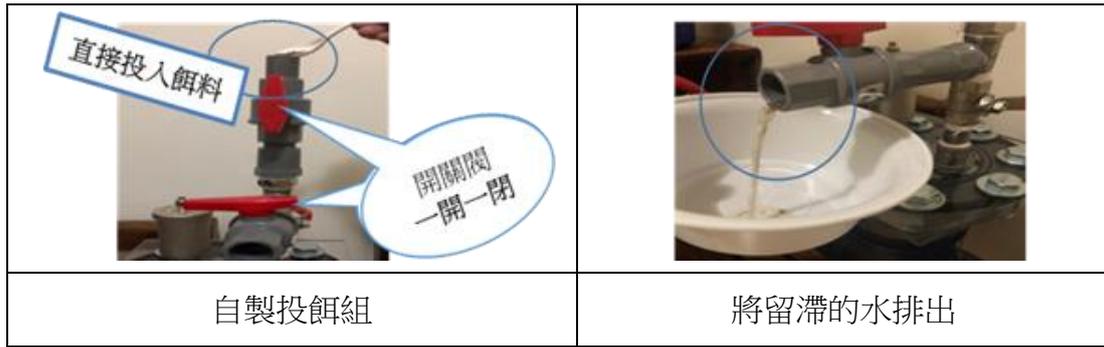
(一)實驗過程：本系統為密閉具壓力的養殖槽無法直接進行餵食，使用直接外來加壓方式及另製一個密閉空間進行實驗。

(二)實驗 4-1：直接外來加壓方式投餌(如圖 28)



【圖 28】直接外來加壓方式投餌

(三)實驗 4-2：另製一個密閉空間投餌(如圖 29)



【圖 29】另製密閉空間投餌

(四)實驗結果

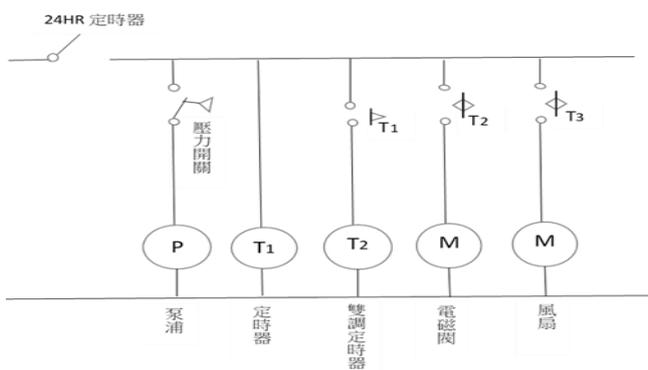
- 1.使用牛油槍嘴外來加壓方式將餌料以膏狀後注入，但因養殖槽內的壓力太高，不易注入且會有水噴出的現象，顯示此方式失敗，進行改良第二次實驗。
- 2.另製一個密閉投餌組，將餌料放入後利用開關閥一開一關的方式，可避免壓力外洩並將餌料投入，過程中會出現因槽內壓力過大而出現小許的水量回流，加裝 T 形水管，在投餌後讓回流的水排出，可使下一次的投餌組有足夠的投餌空間。

➤ 實驗 5：自動控制自製系統的定時循環時間。

(一)實驗過程：為確保加壓設備之安全性並達節能效果，設計及裝置自製系統定時循環自動控制設計圖。

(二)實驗結果：

- 1.自製系統定時循環自動控制設計圖(如圖 30)及實品裝置圖(如圖 31)。



【圖 30】定時循環自動控制設計圖



【圖 31】定時循環自動控制實品圖

- 2.實驗證明依需求設置定時循環時間，加壓馬達不需持續加壓即可達到每 5 分鐘循環一次的效果，用電量更省，可達節能效果。

➤ 實驗 6：證實低水體高水壓養殖之可行性及優化性。

(一)實驗過程：進行實驗 6-1-澳洲螯蝦淡水養殖及實驗 6-2-白蝦海水養殖實驗。

(二)實驗結果：

1.實驗 6-1-澳洲螯蝦淡水養殖：

- (1)本次實驗養殖槽壓力設定自 0.1kg/cm²循序漸進至 1kg/cm²後採定壓養殖，澳洲淡水螯蝦活動量及進食量良好穩定。
- (2)因本實驗未作澳洲淡水螯蝦個別的記號標記，且養殖時有選用類似大小與重量相似螯蝦進行實驗，故以實驗組及對照組的外觀顏色及各組的總重量(如圖 37)作為比較。
- (3)澳洲淡水螯蝦的外觀(如圖 32)：外觀無明顯差異，但高壓養殖組外觀顏色略深。



【圖 32】澳洲淡水螯蝦外觀顏色比較

- (4)實驗組及對照組總重量比較(如圖 33)：高壓養殖組的澳洲淡水螯蝦成長的速度及重量皆優於水池一般養殖 30%以上，顯示本低水體高水壓養殖系統之可行性及優化性。



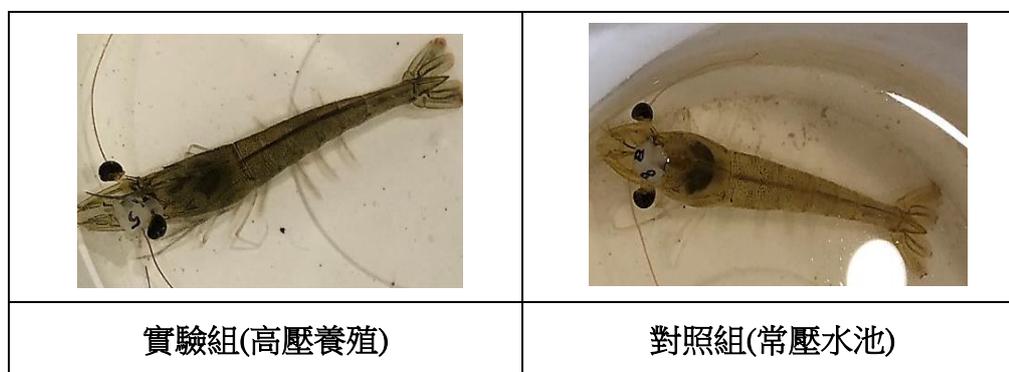
【圖 33】澳洲淡水螯蝦總重量比較圖

2.實驗 6-2-白蝦海水養殖：

(1)本次實驗考量養殖的白蝦為幼蝦，故養殖槽壓力設定自 0.1 kg/cm^2 循序漸進至 0.5 kg/cm^2 後採定壓養殖。為讓實驗數據更加準確，本次白蝦養殖前已完成個別的記號標記，因白蝦與海水變異性較多，故定期進行水質檢測，確定養殖水體環境適合白蝦成長。

(2)研究設備測試階段，曾發現部份白蝦活動量及食慾變差而死亡，探究原因可能因排泄物造成電磁閥阻塞，影響入水流量，造成壓力不穩定，解決方式為更換電磁閥並在電磁閥前加裝過濾器來避免阻塞，改善之後白蝦成長穩定。

(3)白蝦外觀比較(如圖 34)：外觀無明顯差異，但高壓養殖的白蝦外觀顏色仍顯示較深。



【圖 34】白蝦外觀顏色比較

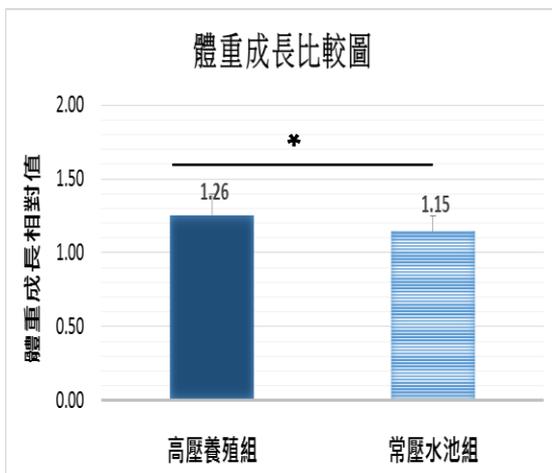
(4)白蝦實驗組及對照組重量及身長紀錄表(如表 9)。

【表9】白蝦實驗組及對照組重量及身長表

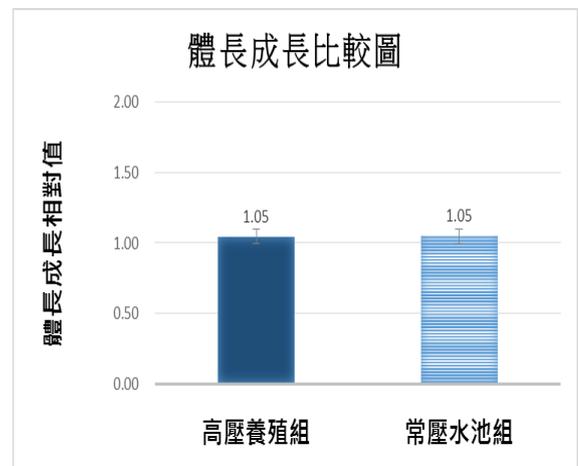
實驗組(高壓養殖)							對照組(常壓水池)						
日期 編號	重量(g)			身長(cm)			日期 編號	重量(g)			身長(cm)		
	9/1	9/12	比例	9/1	9/12	比例		9/1	9/12	比例	9/1	9/12	比例
#1	3.00	3.70	1.23	7.70	8.10	1.05	*1	5.00	5.70	1.14	9.30	9.50	1.02
#2	4.50	5.10	1.13	9.10	9.30	1.02	*2	3.80	4.30	1.13	8.30	8.50	1.02
#3	3.00	4.10	1.37	7.80	8.00	1.03	*3	2.80	3.40	1.21	8.20	8.60	1.05
#4	4.50	6.70	1.49	9.70	10.20	1.05	*4	3.50	3.50	1.00	8.40	8.50	1.01
#5	6.70	7.20	1.07	9.40	10.00	1.06	*5	4.10	4.80	1.17	9.20	9.80	1.07
#6	4.00	4.80	1.20	8.40	8.70	1.04	*6	3.50	3.90	1.11	8.20	9.00	1.10

#7	3.80	5.60	1.47	8.50	9.20	1.08	*7	3.80	4.60	1.21	8.60	9.20	1.07
#8	3.60	4.50	1.25	8.80	9.20	1.05	*8	4.00	4.20	1.05	8.50	9.00	1.06
#9	2.90	3.40	1.17	8.00	8.30	1.04	*9	2.80	3.80	1.36	8.50	9.00	1.06
#10	3.60	4.20	1.17	8.50	8.80	1.04	*10	2.70	2.90	1.07	8.70	8.90	1.02

(5)以 t 檢定：兩個母體平均數差的檢定，假設變異數相等。結果體重成長率 P 值=0.03(< 0.05)，表示有顯著差異。而體長成長率 P 值=0.39(> 0.05)，表示無顯著差異。白蝦實驗組及對照組體重成長比較圖(如圖 35)、體長成長比較圖(如圖 36)。



【圖35】海水白蝦體重成長比較圖



【圖36】海水白蝦體長成長圖

(6)本系統以 0.5 kg/cm^2 壓力調控方式進行白蝦養殖，水溫調控在 $26\sim 27^\circ \text{C}$ 間，依白蝦總重 8%計算投餌量每日投餌二次，並定期進行水質與溶氧量的檢測，實驗結果顯示白蝦生長狀況穩定呈正向成長，本次養殖時程約 2 個月，體長成長比率略為良好但尚未發現有顯著之差異，而體重成長比率則顯示本系統高壓養殖組明顯優於一般常壓水池養殖組。

(7)本系統以開發密閉之低水體調壓循環水系統進行養殖實驗，除養殖生物成長狀況優於水池養殖外，在水質管理方面，水質溶氧量及檢測數值皆在正常範圍內具有水質淨化再利用之效，且養殖槽內的排泄廢棄物可藉由虹吸方式排出不需換水處理。實驗證明本研究之高水壓養殖系統可達優化養殖之成果。

二、討論

(一)循環運作時可達到預期及穩定的壓力。

- 1.本次研究使用加壓馬達作為加壓設備，加壓馬達的壓力設定開閉為 $2 \text{ kg/cm}^2 \sim 3 \text{ kg/cm}^2$ ，因各類型馬達的出廠數值都顯示會有 1 kg/cm^2 的正負水壓差，故無法穩定壓力，若使用可恆壓輸出控制的馬達，也會因無法微調壓力而無法達到調控。本次進行壓力測試實驗時，發現在未開啟出水時測到的管內壓力為 3 kg/cm^2 ，將水全開後管內壓力則為 1 kg/cm^2 以下無法再進行調壓，顯示加壓馬達可作為增壓設備，但需克服水流量影響壓力及調控壓力的方法。
- 2.為使水壓穩定，參考高樓供給用戶水源的方式，是藉由集中水塔再由高壓馬達經減壓控制後分配給所需的樓層，並不會因樓層的壓力而破壞管件。故本系統同樣加裝減壓閥和流量控制閥來進行壓力調控，實驗顯示管內壓力可以微調壓力至 0.1 kg/cm^2 。
- 3.實驗中發現當管件內存有空氣未排出時，容易出現壓力不穩定的現象，將養殖系統上方加裝排氣閥進行測試，結果可有效將水中的空氣排出後，壓力調控正常。
- 4.一般水管常見的水錘效應，同樣出現在本次實驗中，進行壓力測試中，微調測試時發現受到加壓啟閉的影響，管內壓力會有少許的跳動(約 $0.05 \sim 0.1 \text{ kg/cm}^2$)，使用水錘裝置後，壓力調控確實可以更加穩定。
- 5.考量流體作用於容器之內部壓力(即水槽所能承受之最大壓力)，本系統的養殖槽選用為 PVC 圓柱體管件(可承受 10 kg/cm^2 的工作壓力)，在安全範圍內進行養殖。
- 6.本研究以低水體水深 10.5 公分、低水容量 14 公升的養殖槽進行養殖壓力研究，若壓力調控 1 kg/cm^2 ，系統循環運作時相等於 10 米(約四層樓地板高)的水深壓力。
- 7.在進行低水體高水壓養殖時增壓調控壓力後產生的溫度，在氣候低溫時可利用來增溫，在氣候高溫時，本實驗中增設水冷機即可達到預期的溫度。

(二)進行良好的排汗處理。

- 1.本系統養殖槽以圓柱體為設計主體，實驗顯示利用圓形側邊的圓弧形當作底部，可將排泄廢棄物更加集中處理。
- 2.本次實驗利用養殖槽內的壓力大於外界壓力，藉由虹吸方式將槽內的排泄廢棄物排出。但發現因本系統使用長型的圓柱體作為生物養殖槽，距離出水口較遠端的地方則無法排出處理。為改善此問題，設計延長養殖槽上方的進水管及下方的排汗管，並在管上平均鑽多個小孔來增加壓力點(如圖 37)，使水壓大的往壓力小的地方流動增加水循環

將排泄廢棄物排出。實驗顯示裝了排汗管增加壓力點確實可以更平均將遠端的排泄廢棄物排出，二小時約可排出 90%，顯示排汗處理效果較佳。



【圖 37】自製多孔排汗管

(三)具水質淨化再利用的功能。

1.本淨水桶設置參考冷卻水塔的原理，將水曝氣後向下集中，當氯或氨等不良的氣體附著在水分子上時，利用系統所設置的灑水噴頭及風扇可以讓不好的的氣體藉由曝氣自然分離排出，結果顯示水質 NH_3/NH_4 檢測結果幾乎為 0，曝氣效果良好。

2.藉由養殖槽內的壓力將水排出曝氣，配合灑水噴頭使水分子變細小增加溶氧量，結果顯示水質溶氧量檢測結果都在 6mg/L 以上，水中溶氧佳。

3.進行海水養殖實驗時，容易因曝氣過量造成鹽度流失太快，故在淨水桶曝氣的噴頭上方加裝阻隔籃(如圖 38)，可使水氣不會直接被風扇帶出，就由自製通氣水管讓水滴落可增加與空氣的接觸面積。



【圖 38】加裝曝氣阻隔籃

4.海水具有多樣的微生物容易增加耗氧量，故在進行海水養殖實驗時增設打氣機配合氣泡石產生微氣泡，供加壓馬達加壓後注入養殖槽，提高溶氧量及氧氣飽和度。過濾系統則增加生化綿、活性炭及珊瑚石並添加海水專用硝化菌加強過濾效果，水質檢測結果 NO_2^- 及 NO_3^- 數值都在標準範圍內。

5.本實驗採密閉式養殖，冬季不會受外界天候影響而使水溫產生急遽的變化。為因應夏季天氣炎熱溫度過高，故加裝水冷機調控溫度。觀察高壓養殖槽加淨水桶及過濾系統的水容量，總水量約為 30L，配置 200 瓦的水冷機；常壓水池養殖加過濾系統的水容量約為 20L，配置 120 瓦的水冷機。當溫度設置 26°C 時，因養殖槽為密閉隔離，溫度控制穩定都在 26°C ±1 以內，水池因屬開放式養殖，故溫度較易受外界影響，溫度控制會在 26°C ±2 以內。

6.本研究每週進行水質測試一次，水質測試結果皆在生物養殖適合的範圍內；實驗證明當

養殖槽內的壓力調控穩定，淨水設備循環良好，水中的溫度及壓力維持穩定時可達到水質淨化及提升水中溶氧度，並可提高用水效率，達到水可循環再利用的功能。

(四)在具有壓力的密閉環境可進行投餌。

- 1.實驗中發現在一個具壓力的密閉空間內，若內部壓力大於外界所施加給予的壓力時，外來直接加壓法是無法對抗內部的壓力，也無法使用外力加入物體。
- 2.第一次實驗時使用與鋼珠筆的頭很相似的牛油槍嘴來進行外來加壓方式，但將餌料以加壓管注入，發現槍嘴會出現少許養殖槽內的水溢出，且實驗過程發現若將養殖槽內的壓力調高至 0.2kg/cm² 時，則槍嘴無法承受壓力，會出現水噴出的現象。
- 3.第二次實驗時另製一個密閉餌料裝置設備，利用開關閥的控制，使養殖槽都能維持在一個密閉的狀況下，順利將餌料投入，但實驗過程中發現養殖槽內的壓力會部分的水排出到密閉的餌料裝置中，故加裝三通 T 管連接開關閥，投餌後將管內積留的水順利出，使投餌組不會有水積留與變質。

(五)自動控制自製系統的定時循環時間。

- 1.加壓馬達若持續進行 24 小時的連續運轉會降低安全性，當氣候高溫時，容易使水溫升高，影響溶氧量。
- 2.本實驗測試養殖槽循環時間(如表 10)，當開啟循環最小壓力 0.1kg/cm²時，養殖槽內 14 公升的水完全流出時間為 4 分 45 秒。實驗顯示啟動最小的壓力循環及最小的出水量，5 分鐘即可完成一次循環，故循環啟動應可採用間歇性循環。

【表 10】養殖槽循環量

調控壓力(kg/cm ²)	一次循環時間
0.1	4 分 45 秒
0.2	2 分 15 秒
0.4	1 分 50 秒
0.6	1 分 40 秒
0.8	1 分 28 秒
1.0	56 秒

3.本系統使用一般的定時器，其閉啟時間設定最小單位為 15 分鐘，無法適用本次實驗需有間歇性循環的需求。加裝雙調定時器設定進出水口電磁閥的啟閉，在加壓馬達運轉期間每循環 5 分鐘停止 5 分鐘，即可達到間歇性循環的需求，一小時可完成 6 次循環。達到省電及節能的效果。

(六)低水體高水壓養殖之可行性及優化性。

- 1.本系統裝置穩定後進行淡水及海水養殖實驗，希望透過不同的水質及生物確定本系統養殖之可行性及多樣性。
- 2.淡水與海水的特性不同，海水溶氧度較差且具有多樣的微生物，水質控制變因較多，也需考慮鹽度問題，本系統經實驗證明可進行淡水及海水水生生物的養殖。
- 3.本研究自今年一月開始進行實驗養殖，經歷不同的季節變化並因應不同的天候加裝不同的設備來調控生物適合的溫度，水質及溶氧量檢測皆優於標準範圍。
- 4.本研究淡水養殖生物選用澳洲淡水螯蝦，而海水養殖生物選用白蝦，兩者特性不同，澳洲淡水螯蝦容易互鬥攻擊而受傷，故使用自製水管裁切作為遮蔽，白蝦則容易因為水質或溶氧問題或脫殼失敗而生病死亡，本系統養殖設備經調控改善與測試後，水質管理更顯良好穩定。
- 5.本研究進行淡水與海水養殖生物之實驗，以密閉之低水體高壓方式進行養殖並與一般常壓水池養殖進行比較，結果證實本系統之澳洲淡水螯蝦及海水白蝦其成長速度及穩定性都優於一般水池常壓養殖，同時實驗過程中發現使用本系統高壓養殖的生物，不管是澳洲淡水螯蝦或海水白蝦其外觀顏色都比一般水池養殖的顏色深，根據參考文獻顯示蝦的血漿是由血細胞和各種液體元素組成的其中由酚氧化酶（ProPO）系統構成的黑色素則形成無脊椎動物的主要先天防禦系統，高壓養殖的外觀顏色較黑，是否與免疫力及黑色素化反應有關，將持續養殖實驗再作進一步的探討。

肆、結論與應用

一、結論

- (一)本研究以創新之低水體(水深 10.5 公分、容量 14 公升)調控模式，使用加壓及調壓器材自製一個密閉、具穩定調控高水壓功能、可觀測生物的循環養殖系統，透過壓力調控營造水生生物所需的水深壓力，改善陸池養殖無法產生之相對應水壓。
- (二)本系統養殖槽採密閉隔離可不受外界及天候的影響，當氣溫高時增加水冷機可維持預期理想的溫度，使養殖環境更加穩定性，同時可避免感染源的接觸，降低疾病傳染發生，節省人員消毒的資源。
- (三)本研究進行淡水及海水不同的養殖水體實驗，分別養殖淡水螯蝦及海水白蝦，實驗過程顯示本高壓養殖系統運作穩定，養殖生物成長狀況優於一般常壓養殖，證實本系統之多樣性及穩定性。
- (四)本系統利用高低水壓差所產生的虹吸作用達到水體回收循環，其汙水經由曝氣分離增加水與空氣的接觸面積過濾達到水質淨化再利用。本系統養殖過程海水鹽度變化穩定、水中溶氧量與氧氣飽和濃度及各項水質檢測都優於標準範圍，顯示水質淨化良好，水資源再利用效能高，兼具環保及節水功能。
- (五)本系統低成本用電分析：本次研究使用家中既有的 1/4HP 加壓馬達(352W)作為壓力提供，加裝定時器馬達啟動每 1 小時停止運轉 15 分鐘，加上配合雙調定時器每循環 5 分鐘停止 5 分鐘，估算實際每日用電時間約 9.75 小時、用電度數約 3.432 度。每度以 3 元電費計算，每日用電費用約 10 元，為一個節能省電之裝置。未來本系統仍可選用低瓦數的加壓設備，將可更符合環保與經濟效益。
- (六)本研究以環境友善為出發點，以低成本、低耗電量、低用水量及良好的排汙過濾水質管理，減少環境破壞，優化養殖環境及成果。

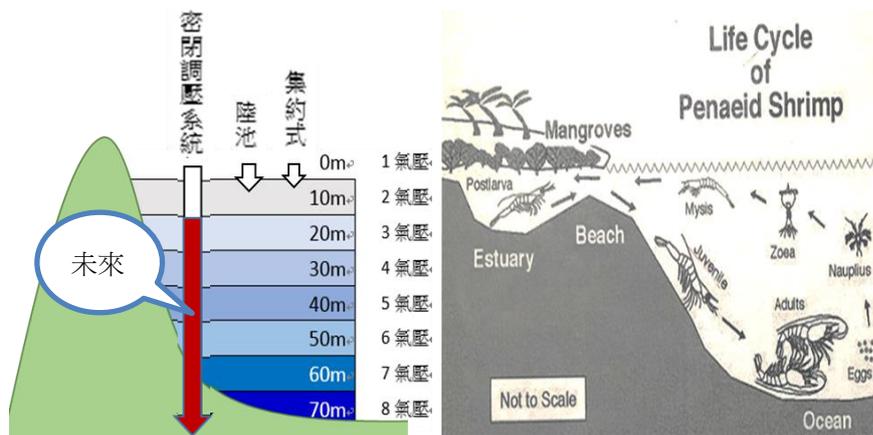
二、未來展望與應用

- (一)本研究提出低水體高水壓系統應用於水產養殖上，未來將以此模組為基礎做進一步的延伸與應用，以深淺自如的養殖環境增加養殖容積率，更可進行精緻性或目標性的特殊養殖。

(二)本研究實驗結果高壓養殖的淡水螯蝦及海水白蝦其成長狀況較優，日後將繼續研究水生生物生長與水深壓力及體型大小之相關性。同時探討不同魚種適合的水深及壓力，依各不同的特性作不同的水深壓力調控實驗。

(三)本研究發現高壓養殖的水生生物其外觀顏色都較一般常壓水池養殖的顏色深，經文獻參考資料顯示較深的海域疾病流行率較少，是否與色素細胞的反應或免疫力有關，將持續觀察與探討。

(四)每一種生物成長階段都有其適合的水層，如文獻資料顯示(如圖 39)成蝦在性成熟之後會到較深的海域成熟及開始交配產卵，成熟後產卵需在 40-80 米深度的海中。目前仍持續進行海水白蝦養殖實驗，研究促進白蝦性成熟及產卵的可能性。



【圖 39】白蝦成長史暨水深與壓力對應圖

伍、參考文獻

- 1.朱鴻鈞(2010) 全球漁業發展現況及未來趨勢分析-兼論台灣漁業發展現況。農業生技產業季刊，22：6-10。
- 2.陳煦森、鄭金華、陳紫嫻(2014) 環境因子對蝦類行為生態的影響。水試專訊，47：24-27。
3. Bob Rosenberry(1988), Shrimp News International. <https://reurl.cc/Lde54a>.
4. Fabricius, (1798), Cultured Aquatic Species Information Programme *Penaeus monodon*.
http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Penaeus_monodon/en
5. FAO FishStat Plus, <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstat/en>。
6. Moslem Daliri¹, Seyed Yousef Paighambari¹, Mohammad Javad Shabani and Reza Davoodi(2013)
The effect of depth variation on size and catch rate of green tiger shrimp, *Penaeus semisulcatus*

- (De Haan,1884) in Bushehr coastal waters, Northern Persian Gulf. African Journal of Biotechnology, 12(20):3058-3063.
7. Naser Uddin Sk, Shubhadeep Ghosh, Joydev Maity(2015) Reproductive biology, maturation size and sex ratio of black tiger shrimp (*Penaeus monodon* Fabricius, 1798) from fishing grounds of Digha coast, West Bengal, India. Iranian Society of Ichthyology Original, 3(6): 372-378.
 8. Justine Ammendolia(2017) ,From behaviour to bathymetric ranges: examining the responses of marine invertebrates to hydrostatic pressure.Department of Ocean Sciences Memorial University of Newfoundland.
 9. Yen-Ling Song,Chun-Iyu,Wen Lien,Chih-Cheng Huang,Min-Nan Lin(2003),Haemolymph parameters of Pacific white shrimp(*Litopenaeus vannamei*) infected with Taura syndrome Virus, Fish & Shellfish Immunology,14:317–331

【評語】 100037

本作品開發低水體高水壓養殖系統，提出創新的低水體水深 10.5 公分、容量 14 公升模式，使用加壓調壓器材、水冷機、過濾系統等自製一個密閉、具穩定調控高水壓、可觀測生物、穩定水溫及水質淨化再利用的循環養殖系統。具備創新特性，且透過實作與學理討論，整體作品符合探究與實作精神。此外討論環境因子與水質管理結合排汙處理與水質淨化，更優化養殖成果落實實際養殖現實環境與操作。用電分析亦是呈現節能省電之效，符合環保與經濟效益。