

OAC-NKUST-111-07 (研究報告)

大型藻類的碳捕捉評估研究--以海木耳為例
(正式報告)

學校：國立高雄科技大學

指導教授：洪明昌

學生：郭秋慧

研究期程：中華民國111年05月至111年11月

研究經費：新臺幣7萬元

海洋委員會補助研究

中華民國 一一一年九月

「本研究報告僅供海洋委員會施政參考，並不代表該會政策，
該會保留採用與否之權利。」

目 次

| | |
|-----------------|----|
| 表次 | 1 |
| 圖次 | 2 |
| 摘要 | 3 |
| 第一章 前言 | 4 |
| 第一節 背景介紹 | 4 |
| 第二節 大型藻類固碳的應用 | 4 |
| 第三節 大型藻類運用於糧食替代 | 6 |
| 第四節 大型藻類在產業運用 | 6 |
| 第二章 研究方法及過程 | 8 |
| 第三章 結果與討論 | 10 |
| 第四章 結論 | 17 |
| 參考資料 | 18 |

表 次

| | |
|--|----|
| 表一，大藻類固碳文獻回顧..... | 5 |
| 表二，大型藻類-海木耳(<i>Sarcodia sua</i>)之水質分析..... | 13 |

圖 次

| | |
|--|----|
| 圖一，2019年不同國家的全球二氧化碳排放量..... | 6 |
| 圖二，海木耳 (<i>Sarcodia suae</i>) | 7 |
| 圖三，研究之實驗流程圖 | 8 |
| 圖四，大型藻類-海木耳 (<i>Sarcodia suae</i>) 的色澤變化..... | 10 |
| 圖五，大型藻類-海木耳 (<i>Sarcodia suae</i>) 之控制組重量變化..... | 11 |
| 圖六，大型藻類-海木耳 (<i>Sarcodia suae</i>) 之空氣組重量變化 | 11 |
| 圖七，大型藻類-海木耳 (<i>Sarcodia suae</i>) 之空氣組+魚廢水重量變化..... | 12 |
| 圖八，大型藻類-海木耳 (<i>Sarcodia suae</i>) 之控制組溫度變化..... | 14 |
| 圖九，大型藻類-海木耳 (<i>Sarcodia suae</i>) 之空氣組溫度變化 | 15 |
| 圖十，大型藻類-海木耳 (<i>Sarcodia suae</i>)之空氣組+魚廢水溫度變化..... | 16 |

摘要

關鍵詞：大型藻類、海木耳、碳捕捉

一、研究緣起

目前全球氣候變遷主要之成因為溫室氣體的排放，隨著溫室氣體自工業革命以來的遽增，海水酸化、極端氣候的頻繁出現，導致全球各國，尤其經濟大國得擬定出如何針對溫室氣體的減量及去化，因此也投入許多資源在此方面的技術，甚至因此造成傳統工業的革命，如電動車崛起的新興產業，同時在食品工業上，如人造肉的推廣，也都成了未來食品上的新趨勢。在面對如何有效減量和去化溫室氣體，以培植海洋生物為主的策略，大型藻類成為一個受到矚目的對象，除了在生長過程中建立的大量纖維所需的碳源，以及可以發展成植物肉所需的蛋白質，大型藻類的開發利用也受到重視。然而目前臺灣具經濟規模而推廣的本土產大型藻類並不多，故從廠商已有開發之大型藻類進行盤點。

二、目的

我們以目前已開發至末端衍生性附加產品的海木耳為研究對象，目的以立體式滾動培養海木耳 (*Sarcodia suae*) 進行大型藻類計算出最佳培養密度的可持續性，並以此計算其碳捕捉之效益，進而未來替養殖戶進行碳稅開發上的基礎，建立工業碳稅需求—功能性食品—養殖物種新開發的多贏面向，利用此種子計畫試圖競爭力。

三、研究方法及過程

本研究旨在是使用生命週期評估方法以立體式滾動培養海木耳 (*Sarcodia suae*) 進行大型藻類生產生物能源的可持續性，本實驗所使用之海木耳 (*Sarcodia suae*)，藻種購自屏東養殖戶每組以100g進行飼養，先以過濾海水沖洗乾淨後，打氣培養以1 μ m 孔徑的水質過濾袋 (water filtration bag, Chuan Kuan, Taiwan) 過濾後的海水蓄養池，中光強度250—280 μ E/m²/s 以20°C，分別為控自組、打氣組、打氣+魚廢水，利用魚廢水產生的有機營養鹽加速生長，同時也移除魚池中累積的氮磷等。

四、重要發現

發現打氣+魚廢水組生長的海木耳產量是最多。

五、結論與展望

本研究計畫目的一建立生命週期評估方法以立體式滾動培養海木耳 (*Sarcodia suae*) 進行大型藻類可以大規模複製的養殖模式。以立體式滾動培養海木耳 (*Sarcodia suae*) 以計算最佳培養密度。比較大型藻類-海木耳 (*Sarcodia suae*) 的碳足跡。

第一章 前言

第一節 背景介紹

對化石燃料使用對環境的影響和生產成本的日益關注導致人們越來越關注從生物質中獲取能源。所以一開始從植物獲得生質能源成為藻類或植物的重點研究發向。然而，由於高能量投入和不利的環境影響，從生物質中回收能源的可持續性經常受到批評 (Hall, Balogh, and Murphy 2009)。至今仍有相當的研究獲得可正在尋找可以可持續種植並轉化為能源的新型生物質原料 (Antizar-Ladislao and Turrion-Gomez 2008)，而藻類是目前引起廣泛關注的一個例子 (Aitken and Antizar-Ladislao 2012)。藻類是一群最簡單、最古老的低等植物，其種類繁多，分布領域極廣。而根據生長習性，可分為兩大類：由多細胞所組成的大型藻類以及單細胞藻體的微藻。藻類根據色素、生殖方式、化學成分、營養儲存方式等特性，分成四大門，分別為紅藻門、褐藻門、綠藻門、藍藻門。而因為海藻的海洋養殖通常不需要陸上耕地或肥料，生長所需的元素通常在沿海環境中找到 (Langlois et al. 2012)。此外，由於生物生產力高，大型藻類在生長季節的生物量產量可能高於大多數陸生作物 (Hughes et al. 2012)。

第二節 大型藻類固碳的應用

除了生質能源的開發，近年來周等人 (2007) 指出，在相同的基準下，水中光合生物的固碳率 (carbon fixing rate) 高於陸生植物，且水中光合生物對日光利用率 (5%) 也遠高於陸生植物 (0.2%)，而水生光合生物在固碳後，所產生的生質可製成生質柴油等再生能源，其潛力遠高於陸生植物 (Dent, Han, and Niyogi 2001)。因此以水中光合生物行光合作用回收再利用二氧化碳，為未固碳之趨勢。無論是栽培的還是野生的大型藻類，被證明是人為 CO₂ 排放，正確使用大型藻類可以成為排放碳和溫室氣體排放的重要選擇 (Chung et al. 2011)。海洋大型藻類是一種具有高碳捕獲潛力的生物，可將高水平的無機碳轉化為生物質 (Moreira and Pires 2016) 碳捕獲增加了海洋生物精煉廠的概念，因此，兩者都經過優化可以對此類藻類精煉廠的捕獲潛力產生強大的影響 (Laurens, Lane, and Nelson 2020)。但在碳捕捉方面，大型藻類作為大型藻類生物質生產的主要因素，其 CO₂ 水平不足。

Takagi (Takagi, et al. 2006) 及 Fuller (Fuller et al. 2006) 均指出海洋藻類被認為是解決全球暖化問題的重要角色，因為海洋藻類具有高光合反應能力，有利於二氧化碳的固定。且藻類所產生的氫氣或生物量作為液態燃料，此能源可以幫助減少二氧化碳排放。周等人指出，在相同的基準下，水中光合生物的固碳率 (carbon fixing rate) 高於陸生植物，且水中光合生物對日光利用率 (5%) 也遠高於陸生植 (0.2%)，而水生光合生物在固碳後，所產生的生質可成為生質柴油等再生能源，其潛力也遠高於陸生植物 (Dent, Han, and Niyogi 2001)。預計到 2005 年底將上升 2-6°C 本世紀。圖二顯示了 2019 年世界各國在全球碳排放中所佔的百分比 (Bose, Chanda, and Engineering 2019)，因此以水中光合生物行光合作用回收再利用二氧化碳，為未來固碳之趨勢。

藻類為地球上重要植物之一，藉由吸收二氧化碳與光，釋放出氧氣，供給大氣中重要元素；另藻類每年生產約 520 億噸的有機碳，相當於地球每年碳排放量之一半。

大型藻類無論是栽培的還是野生的，都被證明是人為 CO₂ 排放，正確使用大型藻類能成為排放碳和溫室氣體排放的重要選擇 (Chung et al. 2011)。這些物種已經是成熟的生物能源選擇，經常進行厭氧消化和發酵。但從海藻中生產生物燃料並不高。即便如此，提供主要優勢在非耕地和營養缺乏的地區也具有高生產力，從而避免了激烈的食物與燃料的爭論。海洋大型藻類是一種具有高碳捕獲潛力的生物，可將高水平的無機碳轉化為生物質 (Moreira and Pires 2016) 碳捕獲增加了海洋生物精煉廠的概念，因此，兩者都經過優化可以對此類藻類精煉廠的捕獲潛力產生強大的影響 (Laurens, Lane, and Nelson 2020)。由於在碳捕捉方面，大型藻類作為大型藻類生物質生產的主要因素，其 CO₂ 水平不足。儘管已經有研究廣泛了解碳偏好及碳量如何影響大型藻類的生長，但尚未量化海洋大型藻類的用途。大型藻類物種可以與燃煤和燃油發電站相結合，以廢水和煙氣為原料生產生物質，從而生產生物油和其他相關產品，其主要優勢是大型藻類具有更高的生產力和碳捕捉效率 (Roberts et al. 2015)

在國內外已有許多企業及公司利用養殖藻類來達到減碳之目的。紐西蘭水流生物經濟公司 (Aquaflo Bionomic Corporation) 與波音 (Boeing) 公司合作，計畫利用污水處理廠中獲得的藻類，生產飛機燃料用油 (jet fuel) (劉建宏, 2014)。工業發展之後，溫室氣體所造成氣候變遷及化石能源的匱乏，是當前所要面臨的問題。海木耳可利用工業排放的二氧化碳做為生長碳源，利用工業廢水培養綠藻，達到固碳、減碳之目的並可利用藻體做為能源，因此，目前各國將紅藻固定二氧化碳作為減緩溫室氣體的方式之一。

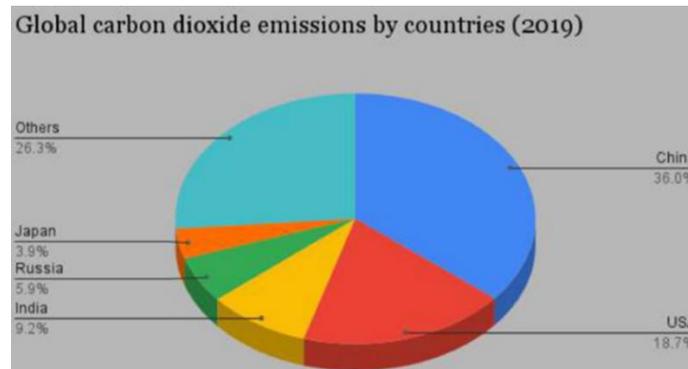
表一，大型藻類固碳文獻回顧

| 作者 | 內容 | 年分 |
|-----|---|------|
| 黃瑤 | 龍鬚菜 (紅藻) 石蓴 (綠藻)、鼠尾藻和海黍子 (褐藻) 為研究對象，研究了添加氮營養鹽和充 CO ₂ 氣體對大型藻類光合固碳作用的影響，分析了大型藻類光合作用對海水無機碳體系的影響。研究結果表明，大型藻類能夠顯著改變海水中無機碳的濃度，現場實驗中添加營養鹽和充 CO ₂ 對大型藻類的光合固碳作用影響不同。 | 2013 |
| 歐官用 | 以 11 種大型海藻 (2 種綠藻, 2 種紅藻和 7 種褐藻) 進行研究, 探討其碳彙能力對光的響應差異, 並初步了解該 11 種大型海藻在漁業碳匯中的作用。結果表明, 光合固碳速率存在種間差異, 表現為海帶 > 萱藻 > 鼠尾藻 > 珊瑚藻 > 銅藻 > 許苔 > 瓦氏馬尾藻 > 蜈蚣藻 > 石蓴 > 鐵釘菜 > 羊栖菜。 | 2017 |

人口的增長意味著對於食物 (動物性蛋白質) 的需求旺盛。依據聯合國農糧組織 (Food and Agriculture Organization, FAO) 數據顯示，2050 年時肉類消耗總量將上升 73%，因此「人造肉」成為了熱門議題，依技術可以分為植物類 (大豆，豌豆，鷹嘴豆等)，細胞類 (體外或培養的肉類) 和發酵類 (微生物、真菌蛋白等)。近幾年的研究還包括其他蛋白質來源，例如從螺旋藻中萃取的

藻類蛋白 (Percival et al.2019) 和從昆蟲中分離的蛋白 (Megido et al. 2016) 。然而，目前還沒有系統可以大規模地從海木耳 (*Sarcodia suae*) 生物質中培養和獲取能量。

本研究的目的是使用生命週期評估方法是以立體式滾動培養海木耳 (*Sarcodia suae*) 進行大型藻類大型藻類計算出最佳培養密度及生物能源的可持續性，由於研究處於相對較新的狀態，未來能夠有大規模複製的價值。



圖一，2019年不同國家的全球二氧化碳排放量。

第三節 大型藻類運用於糧食替代

藻類被用來做為開發食品的研究已經很長一段時間，然而，真正人類商業化培養藻類技術的發展，是近幾十年才開始發展，藻類由於含高成分之蛋白質，並具有完整食物中胺基酸組成，這些綠藻的胺基酸成分能提供所有動物，也包含人類，足夠的必需胺基酸。紅藻的醣類組成多元，而且豐富，占總細胞乾重的12~57%（行政院國家科學委員會）。這些醣類包含澱粉、葡萄糖、蔗糖等，藻類脂質含量占總細胞乾重的8%，主要包含甘油及醣類脂化的飽和與不飽和脂肪酸，可以見得紅藻具備所有的營養素可供工作為食物。

海木耳可提供某種程度的糧食替代方面，主要是因為藻類成分的含量比例，海木耳乾藻的成分組成，粗蛋白質含量17%，粗脂質為0.12%，粗纖維為2%，水分為9%，灰分為30%，碳水化合物為43%，紅藻不僅含有蛋白質比例高的優勢條件，再加上紅藻生長得快速，使得紅藻被認為是未來糧食危機的解決方法選項之一。

在國內外，紅藻以不同的形式商品化，把紅藻添加入休閒食品中，像是海藻養生茶、海藻優格、海藻冰淇淋等，甚至歷史紀錄英國的船員也有用紅藻預防壞血病等。

第四節 大型藻類在產業運用

由於人工養殖海藻的興起，生產過程比陸生植物快速，故這十年來，海藻養殖蓬勃發展。根據聯合國糧食及農業組織 (FAO) 2016 年報導指出，2014 年全世界海藻產量約為 2730 萬噸，商業價值達 56 億美元。海藻特有的黏多醣、蛋白質、不飽和脂肪酸以及類胡蘿蔔素，不但能作為食品添加劑或著色劑外，還可表現出有益的生物活性，如抗發炎、抗氧化、抗癌症、抗病毒、抗肥胖、等功效。

藻類中含有人體所需營養成分，必需胺基酸、維生素、礦物質鈣、鎂、硒、鐵、碘、鋅等微量元素及膳食纖維，能調節身體生理功能。其中膳食纖維還能增加腸道產生機械性蠕動效果外，水溶性膳食纖維可以減緩營養物的吸收、抑制糖類快速吸收、預防糖尿病、吸附及代謝膽汁酸、預防動脈硬化等功能。

海木耳(*Sarcodia suae*)屬於 *Sarcodiaceae* 科的海洋紅藻屬(*Sarcodia*) 廣泛分佈於印度西太平洋地區 (Rodríguez-Prieto et al. 2011), *Sarcodia* 目前包含14種 (Guiry and Guiry 2016), 其特點是具有多軸生長模式和由背斜細絲外層皮質組成的葉狀葉片, 皮層下形成二級凹坑連接細胞的多層網絡和由細長的根狀細絲和一些髓質星狀細胞組成的鬆弛髓質 (Womersley and Bonnemaisoniales 1996)。由於大多數 *Sarcodia* 種類單純為多重不規則的叉狀分枝葉片組成, 因此從葉狀體型態分離不同物種較為困難。其生存環境為生長於低潮線附近、潮下帶 15 公尺深之礁岩上, 2至月為盛產期, 目前水產試驗所建立了陸上槽式海木耳養殖技術, 利於掌控養殖環境。海木耳具有成長快速、採收方便、產量可靠及品質較佳等優點, 海木耳的藻體直立, 葉膜較寬, 質地革質或軟, 高約 8~15 公分, 葉呈 3~4 回叉狀或不規則狀的分枝, 整體外觀似心形或鹿角形, 藻體也因顏色與外形像木耳, 因此稱為「海木耳」。藻體基部較上部窄, 且細小, 有粗短莖狀部, 以一盤狀固著器, 附著於岩石上。成熟後的有性個體, 具有突起的生殖構造。外觀年輕的海木耳藻體外觀色澤為紅色、紅褐色, 葉片外型全緣, 表面光滑, 成熟的海木耳藻體外觀則呈暗棕色或深黃綠色, 葉片成熟後表面有小突起, 邊緣有副出枝。

一般而言, 海木耳培養系統以立體式滾動培養為主軸, 東港水試所於 2012 年領先全球成功開發海木耳陸上槽式養殖技術; 本年度跨領域整合養殖與海洋天然物研究團隊, 進行整合型魚藻養殖系統開發, 以量產海木耳。

本研究的目的是以立體式滾動培養海木耳(*Sarcodia suae*)進行大型藻類計算出最佳培養密度的可持續性, 並以此計算其碳捕捉之效益, 進而未來替養殖戶進行碳稅開發上的基礎, 建立工業碳稅需求—功能性食品—養殖物種新開發的多贏面向, 利用此種子計畫試圖競爭力, 已達到循環經濟養殖的效能。

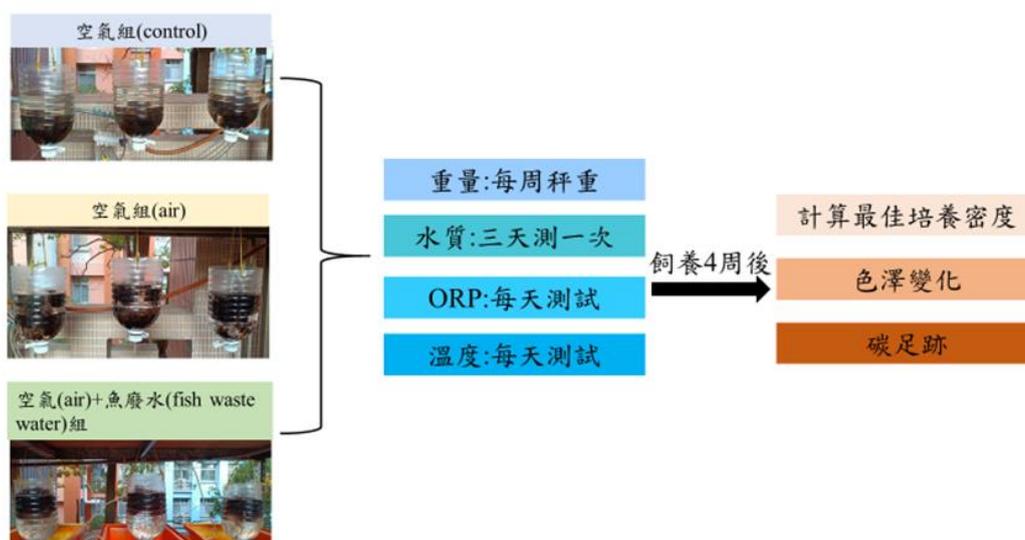


圖二, 左圖為海木耳(*Sarcodia suae*)。右圖為以立體式滾動培養海木耳之方式。

第二章 研究方法及過程

實驗設計

本研究旨在是使用生命週期評估方法以立體式滾動培養海木耳 (*Sarcodia suae*) 進行大型藻類生產生物能源的可持續性，本實驗所使用之海木耳 (*Sarcodia suae*)，藻種購自屏東養殖戶每組以100g 進行飼養，先以過濾海水沖洗乾淨後，打氣培養以1 μ m 孔徑的水質過濾袋 (water filtration bag, Chuan Kuan, Taiwan) 過濾後的海水蓄養池，中光強度250–280 μ E/m²/s 以20°C，分別為控制組、打氣組、打氣+魚廢水，利用魚廢水產生的有機營養鹽加速生長，同時也移除魚池中累積的氮磷等。詳細流程如下圖所示：



圖三，研究之實驗流程圖

為達成本研究目的，依據實驗設計設需完成下列實驗，分別如下：

重量分析

每周秤各組的藻體鮮重，並記錄數值。

水質分析

本研究將海木耳 (*Sarcodia suae*) 之水質進行分析，每組取樣後，以注射器取3 mL 水樣，注入磁盤中，將磁盤置入水務自旋分光速測儀中進行測試，並記錄檢測參數:鹼、氮、鈣、鎂、硝酸鹽、亞硝酸鹽、pH、磷酸鹽。

溫度分析

將電極以蒸餾水潤洗後，將儀器插入水質中讀取數值，並記錄。

碳足跡分析

本研究將取海木耳 (*Sarcodia suae*) 之重量，置於含有250 L 過濾海水的500 L 氣密缸中，以太陽光做為光源，每周換一次水並秤藻體鮮重，各注入空氣（缸內氣體壓力約為 2.24~2.52 atm），記錄二氧化碳變化情形，於實驗第八周，取出並記錄藻體鮮重。

統計分析

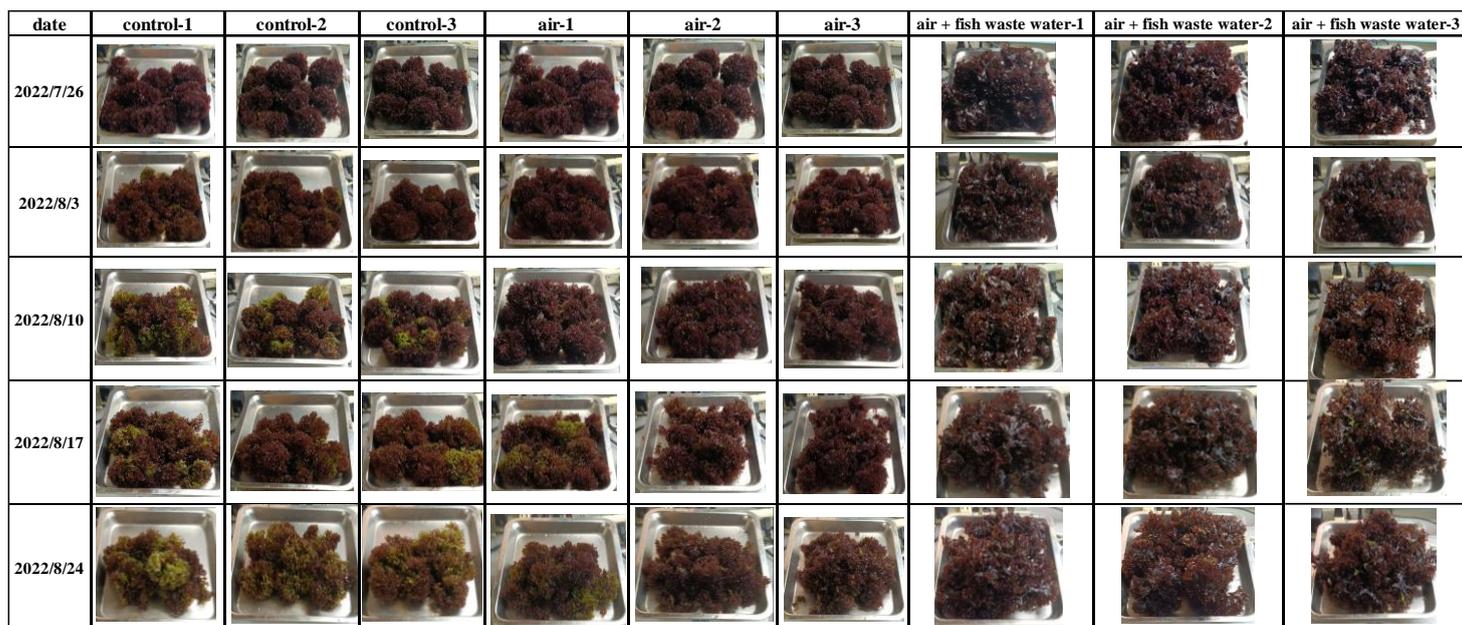
以 SPSS 分析套組，單因子變異數分析 (one-way ANOVA)，進行資料解析，當組間存在顯著差異，再以鄧肯新多重差距檢定進行分析 (Duncan's multiple range test)，顯著水準設定為 $p < 0.05$ 。

第三章 結果與討論

研究發現與成果

1. 大型藻類-海木耳 (*Sarcodia suae*) 之色澤變化

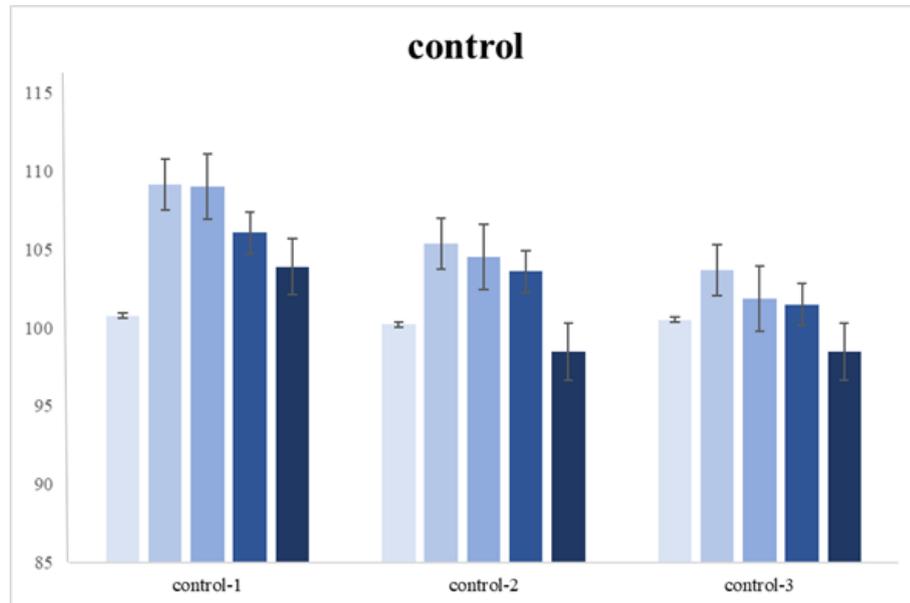
將海木耳 (*Sarcodia suae*) 分別以控制組(control)、空氣組(air)、空氣(air)+魚廢水 (fish waste water) 組進行飼養四周，研究發現控制組 (control) 在第二周開始轉成綠色，直到飼養第四周後藻種數量已經變少，而空氣組 (air) 第三周開始轉成綠色，空氣(air)+魚廢水 (fish waste water) 飼養四周的顏色都維持紅色且生長數量比其他兩組多 (圖四)。



圖四，大型藻類-海木耳 (*Sarcodia suae*) 之色澤變化

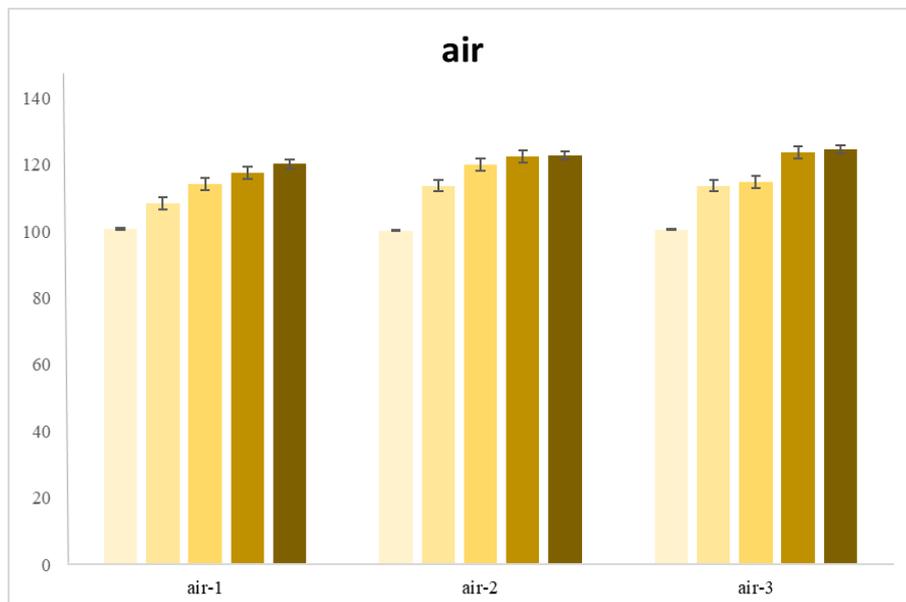
2. 大型藻類-海木耳 (*Sarcodia suae*) 之重量變化

在控制組(control)養殖一周後發現每組藻種重量飼養一周後有上升現象，而第二周開時，每組藻種的重量呈現下降狀態(圖五)。



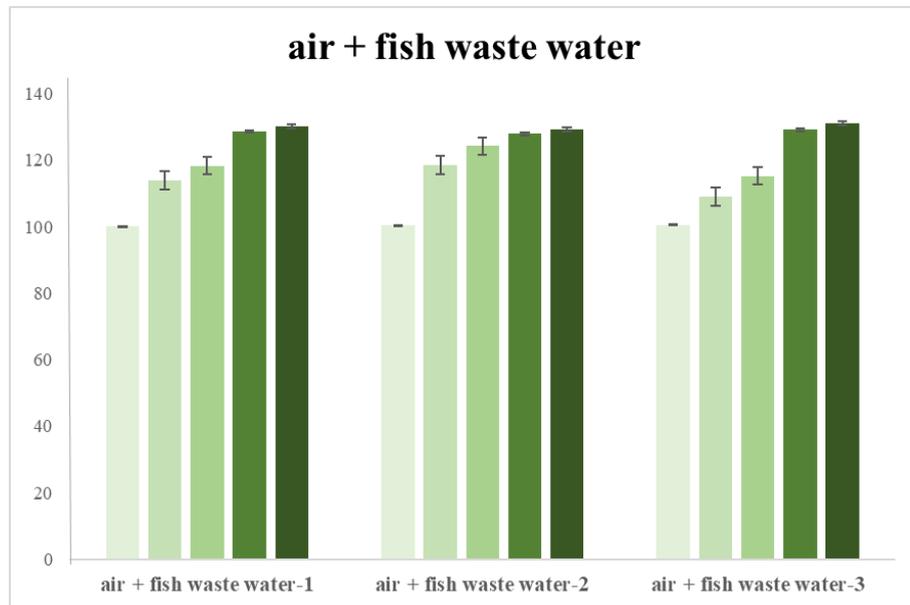
圖五，大型藻類-海木耳 (*Sarcodia suae*) 之控制組重量變化

在空氣組 (air) 養殖一周後發現每組藻種重量都呈現都有增加的現象(圖六)。



圖六，大型藻類-海木耳(*Sarcodia suae*)之空氣組重量變化

在空氣組+魚廢水組 (fish waste water) 養殖一周後發現每組藻種重量都呈現上升狀態，和空氣組 (air) 相比較發現有加於廢水的海藻重量長得比較多 (圖七)。



圖七，大型藻類-海木耳 (*Sarcodia suae*) 之空氣組+魚廢水重量變化

表二，大型藻類-海木耳(*Sarcodia suae*)之水質分析

| Control | pH | 磷酸鹽 | 鎂 | 氨 | 亞硝酸鹽 | 硝酸鹽 |
|-----------|-----|-----|-----|---|------|-----|
| 2022/7/29 | 7.7 | 0 | 415 | 0 | 3.2 | 0 |
| 2022/8/1 | 7.7 | 1.7 | 402 | 0 | 3.2 | 66 |
| 2022/8/4 | 7.7 | 0.1 | 388 | 0 | 3.2 | 65 |
| 2022/8/7 | 7.7 | 0.5 | 414 | 0 | 3.2 | 0 |
| 2022/8/10 | 7.7 | 1.3 | 509 | 0 | 3.2 | 66 |
| 2022/8/13 | 8.1 | 1.2 | 391 | 0 | 3.2 | 63 |
| 2022/8/16 | 7 | 1.7 | 315 | 0 | 3.2 | 62 |

| Air | pH | 磷酸鹽 | 鎂 | 氨 | 亞硝酸鹽 | 硝酸鹽 |
|-----------|-----|-----|-----|---|------|-----|
| 2022/7/29 | 7.7 | 0 | 423 | 0 | 3.2 | 65 |
| 2022/8/1 | 7.7 | 0 | 413 | 0 | 3.2 | 66 |
| 2022/8/4 | 7.7 | 0 | 422 | 0 | 3.2 | 66 |
| 2022/8/7 | 7.7 | 0 | 416 | 0 | 3.2 | 0 |
| 2022/8/10 | 7.7 | 0 | 510 | 0 | 3.2 | 66 |
| 2022/8/13 | 7.7 | 0 | 333 | 0 | 3.2 | 65 |
| 2022/8/16 | 7.7 | 0 | 431 | 0 | 3.2 | 65 |

| Air+魚廢水 | pH | 磷酸鹽 | 鎂 | 氨 | 亞硝酸鹽 | 硝酸鹽 |
|-----------|-----|-----|-----|---|------|-----|
| 2022/7/29 | 7.7 | 0 | 0 | 0 | 3.1 | 16 |
| 2022/8/1 | 7.7 | 0 | 0 | 0 | 3.2 | 20 |
| 2022/8/4 | 7.7 | 0 | 337 | 0 | 3.2 | 65 |
| 2022/8/7 | 7.7 | 0 | 338 | 0 | 3.2 | 66 |
| 2022/8/10 | 7.7 | 0 | 417 | 0 | 3.2 | 66 |
| 2022/8/13 | 7.7 | 0 | 371 | 0 | 3.2 | 66 |
| 2022/8/16 | 7.7 | 0 | 397 | 0 | 3.2 | 66 |

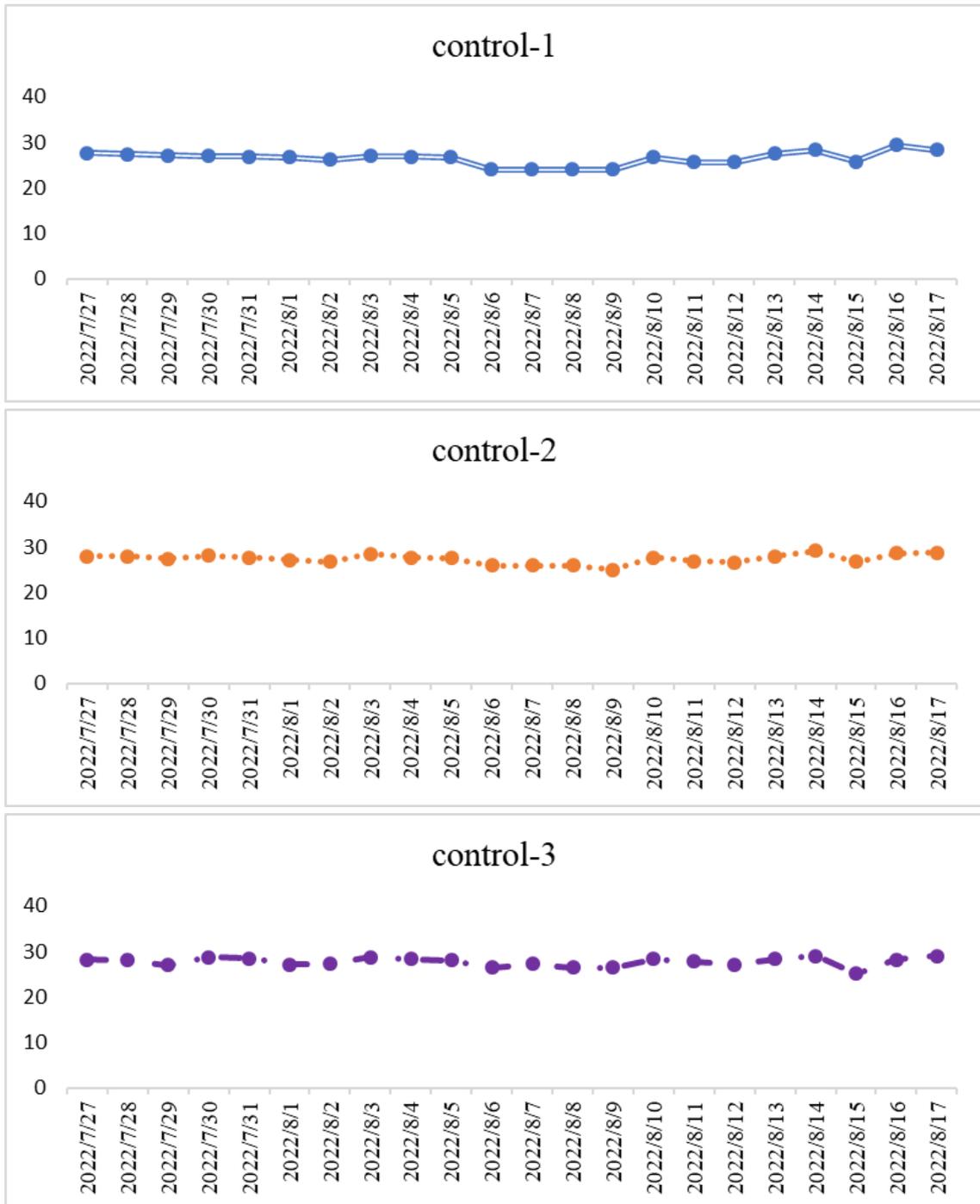
控制組(Control)的pH維持在7.7-8.1，磷酸鹽在飼養第7天後開始增加，鎂數值0.5-1.7之間，氨維持在0，亞硝酸鹽維持在3.2，硝酸鹽維持0-66。

空氣組(air)的pH維持在7.7，磷酸鹽維持在0，鎂數值333-510，氨數值為0，亞硝酸鹽維持在3.2，硝酸鹽維持0-66。

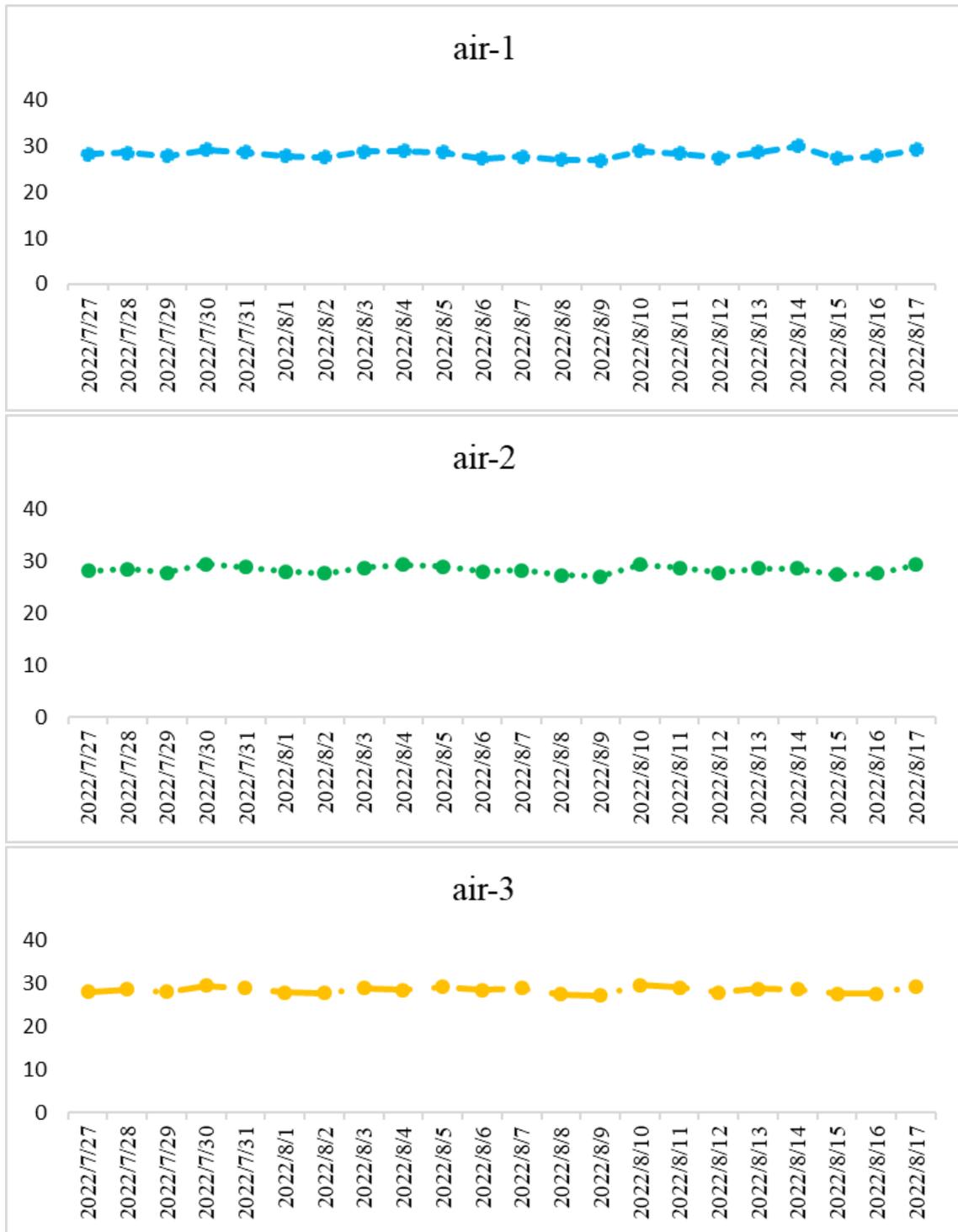
空氣組+魚廢水組(fish waste water)的pH維持在7.7，磷酸鹽維持在0，鎂數值337-417，氨數值維持在0，亞硝酸鹽維持在3.2，硝酸鹽維持0-66。

3. 大型藻類-海木耳 (*Sarcodia suae*) 之溫度變化

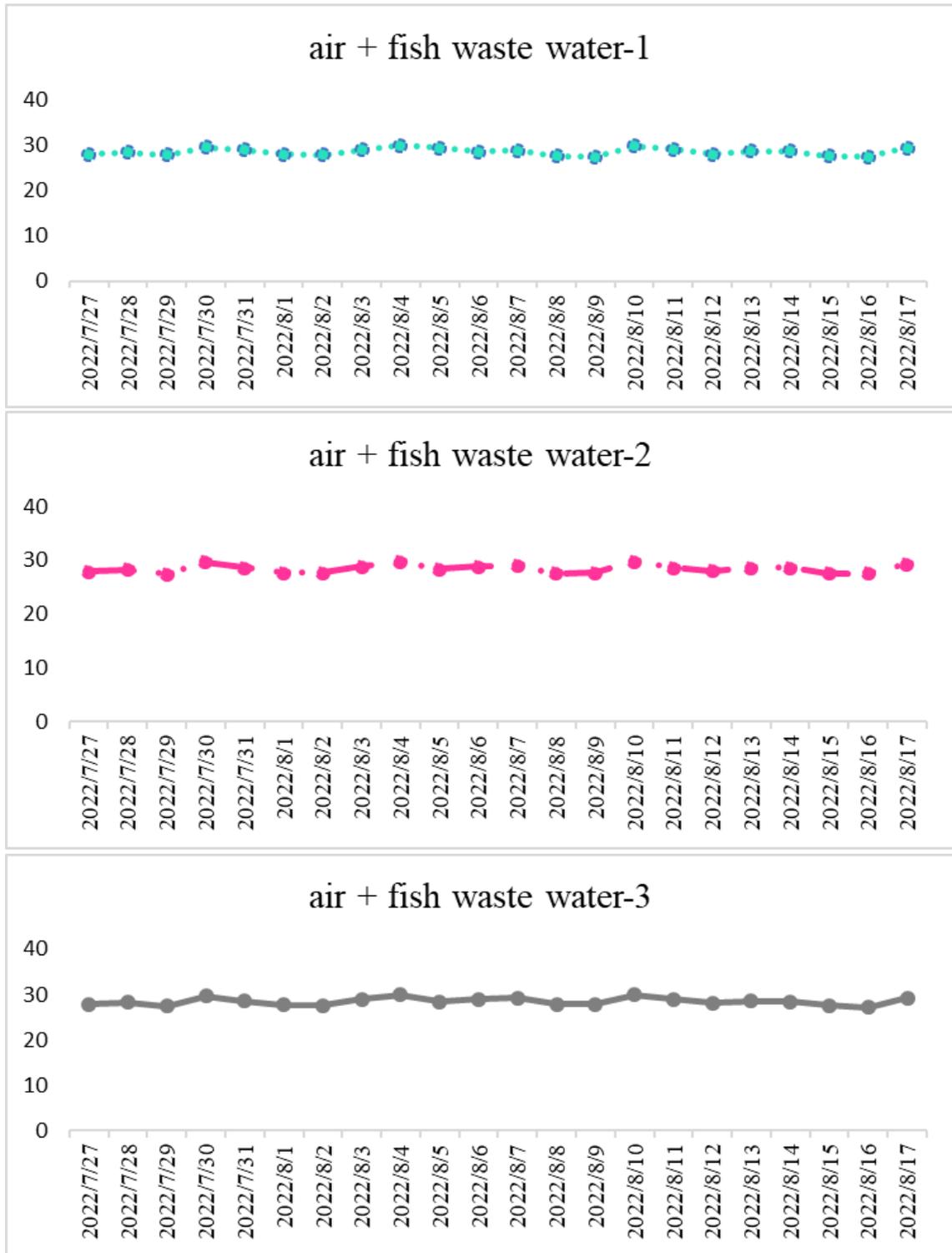
在控制組 (control) (圖八) 養殖溫度中在第三周開始溫度呈現下降的狀態，其他兩組溫度都維持26.9-30.0之間，因此藻種數量都有增加，而空氣組+魚廢水組 (fish waste water) (圖十) 組的生長比空氣組 (air) (圖九) 的重量較多。



圖八，大型藻類-海木耳 (*Sarcodia suae*) 之控制組溫度變化



圖九，大型藻類-海木耳 (*Sarcodia suae*) 之空氣組溫度變化



圖十，大型藻類-海木耳 (*Sarcodia suae*) 之空氣組+魚廢水溫度變化

第四章 結論

大型藻類-海木耳 (*Sarcodia suae*) 的色澤變化

本實驗計畫將海木耳 (*Sarcodia suae*) 分別為控制組、打氣組、打氣+魚廢水，利用魚廢水產生的有機營養鹽加速生長，同時也移除魚池中累積的氮磷等。控制組隨著飼養時間的增加，外觀顏色逐漸變綠色，打氣組中在飼養第三周後顏色開始慢慢轉為綠色，而打氣+魚廢水組別飼養四周顏色都維持原來紅色的狀態，因此飼養海木耳最佳的為打氣+魚廢水組，因魚廢水中富含有機營養源能加速海木耳 (*Sarcodia suae*) 之生長速度。

大型藻類-海木耳 (*Sarcodia suae*) 之重量變化

在三種飼養環境中，在空氣組+魚廢水組 (fish waste water) 養殖一周後發現每組藻種重量都呈現上升狀態，和空氣組 (air) 相比較發現有加於廢水的海藻重量長得比較多，而控制組養殖一周後發現每組藻種重量飼養一周後有上升現象，而第二周開時，每組藻種的重量呈現下降狀態，因此飼養海木耳最佳的產量環境為空氣組+魚廢水組 (fish waste water) 組。

大型藻類-海木耳 (*Sarcodia suae*) 之水質分析

在水質分析中控制組 (Control) 的pH維持在7.7-8.1，和其他兩組比較不穩定，氮的數值都維持0、鎂數值是空氣組較其他兩組高、磷酸鹽數值都維持3.2，而硝酸鹽每組都維持0-66

大型藻類-海木耳 (*Sarcodia suae*) 之溫度變化

在控制組 (control) 養殖溫度中在第三周開始溫度呈現下降的狀態，其他兩組溫度都維持26.9-30.0之間，因此藻種數量都有增加，而空氣組+魚廢水組 (fish waste water) 組的生長比空氣組 (air) 的重量較多，因此空氣組+魚廢水組 (fish waste water) 組條件較好。

未來展望

未來目標將空氣組+魚廢水組 (fish waste water) 組進行放大飼養，同時建立出最佳飼養條件，將有助於海木耳 (*Sarcodia suae*) 放大培養環境，對於未來飼養紅藻具有重大貢獻。

參考資料：

- Aitken, Douglas, and Blanca %J Energies Antizar-Ladislao. 2012. 'Achieving a green solution: limitations and focus points for sustainable algal fuels', 5: 1613-47.
- Antizar-Ladislao, B, and JL Turrion-Gomez. 2008. "Second-generation biofuels and local bioenergy system. Biofuels Bioprod Biorefin 2: 455–469." In.
- Bose, D, CK %J Reference Module in Materials Science Chanda, and Materials Engineering. 2019. 'Challenges of Employing Renewable Energy for Reducing Green House Gases (GHGs) and Carbon Footprint'.
- Chung, Ik Kyo, John Beardall, Smita Mehta, Dinabandhu Sahoo, and Slobodanka %J Journal of applied phycology Stojkovic. 2011. 'Using marine macroalgae for carbon sequestration: a critical appraisal', 23: 877-86.
- Dent, Rachel M, Michie Han, and Krishna K %J Trends in plant science Niyogi. 2001. 'Functional genomics of plant photosynthesis in the fast lane using *Chlamydomonas reinhardtii*', 6: 364-71.
- Fuller, Nicholas J, Colin Campbell, David J Allen, Frances D Pitt, Katrin Zwirgmaier, Florence Le Gall, Daniel Vaultot, and David J %J Aquatic Microbial Ecology Scanlan. 2006. 'Analysis of photosynthetic picoeukaryote diversity at open ocean sites in the Arabian Sea using a PCR biased towards marine algal plastids', 43: 79-93.
- Guiry, MD, and GM Guiry. 2016. "AlgaeBase. World-wide electronic publication. Galway: National University of Ireland, 2016." In.
- Hall, Charles AS, Stephen Balogh, and David JR %J Energies Murphy. 2009. 'What is the minimum EROI that a sustainable society must have?', 2: 25-47.
- Hughes, Adam D, Maeve S Kelly, Kenneth D Black, and Michele S %J Biotechnology for biofuels Stanley. 2012. 'Biogas from Macroalgae: is it time to revisit the idea?', 5: 1-7.
- Langlois, Juliette, Jean-François Sassi, Gwenaëlle Jard, Jean-Philippe Steyer, Jean-Philippe Delgenes, Arnaud %J Biofuels Hélias, Bioproducts, and Biorefining. 2012. 'Life cycle assessment of biomethane from offshore-cultivated seaweed', 6: 387-404.
- Laurens, Lieve ML, Madeline Lane, and Robert S %J Trends in biotechnology Nelson. 2020. 'Sustainable seaweed biotechnology solutions for carbon capture, composition, and deconstruction', 38: 1232-44.
- Moreira, Diana, and José CM %J Bioresource technology Pires. 2016. 'Atmospheric CO₂ capture by algae: negative carbon dioxide emission path', 215: 371-79.
- Roberts, David A, Nicholas A Paul, Michael I Bird, and Rocky %J Journal of environmental management de Nys. 2015. 'Bioremediation for coal-fired power stations using macroalgae', 153: 25-32.

- Rodríguez-Prieto, Conxi, Showe-Mei Lin, Wendy A Nelson, and Max H %J European Journal of Phycology Hommersand. 2011. 'Developmental morphology of *Sarcodia montagneana* and *S. grandifolia* from New Zealand and a phylogeny of *Sarcodia* (Sarcodiaceae, Rhodophyta) based on rbc L sequence analysis', 46: 153-70.
- Takagi, Mutsumi, Toshiomi %J Journal of bioscience Yoshida, and bioengineering. 2006. 'Effect of salt concentration on intracellular accumulation of lipids and triacylglyceride in marine microalgae *Dunaliella* cells', 101: 223-26.
- Womersley, HBS %J Gracilariales, Rhodymeniales, Corallinales, and Bonnemaisoniales. 1996. 'The marine benthic flora of southern Australia. Part IIIB'.
- 劉建宏、余鳳兒、謝治民、謝啟發、Liu, Chien-hung、Yu, Feng-er、Hsieh, Chih-min、Hsieh, Chi-fa (民103), 藻類在能源及生質材料之應用, 新新季刊, 頁65-75。
- 黃瑤. (2013). 大型藻類光合固碳作用及對鮑, 參供餌力的研究 (Doctoral dissertation, 上海: 上海海洋大學).
- 歐官用, 王鑫杰, 楊安強, 柯愛英, & 關萬春. (2017). 大型海藻碳匯能力的種間差異. 浙江農業科學, 58(8), 1436-1439.