

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物科

(鄉土)教材獎

030305

海洋濕地的倒立舞者~仙后水母對環境之耐受性
與趨性探討

學校名稱：高雄市立陽明國民中學

作者： 國二 顏伯丞 國二 陳昀圻 國二 趙羿威	指導老師： 蔡瑞琴 曹嘉修
---	-----------------------------

關鍵詞：仙后水母、耐受性、趨性

摘要

特有的水母湖水母消長變化引發我們展開對仙后水母(倒立水母)的研究。本研究對海洋濕地公園水質與水母分佈做調查，並以實驗探討水母對環境因子的耐受性與趨性，結果發現：仙后水母大多呈現倒立，但會藉傘體收縮游動選擇適合生活的區域；水母分佈受光、水深、含氮鹽、溶氧量等因素影響，對鹽度耐受範圍 20ppt~50ppt，對溫度耐受範圍 15~35°C，縱切二半可各自再生成個體，橫切後的傘體可和共生的蟲黃藻一起再生成新個體但口腕部則無法再生傘體。黑暗中水母會釋放刺絲胞捕食，長期營養不良的水母會自體分解變小、收縮變慢。中大型水母對光和水深有明顯趨性，傘體收縮率在光照、餵食、淺水區時較快。最後將水母的特性對照濕地環境分析提出仙后水母棲地營造之建議。

壹、研究動機

水母不是應該注在海裡嗎?有一天在電視新聞看到有關林園海洋濕地公園裡有水母的報導(文獻一)，讓我們覺得這種特別的環境和生物很值得我們一探究竟。我們和老師討論後決定實地前往觀察也參加當地紅樹林學會導覽解說活動，想對此特殊的”水母湖”做進一步的認識與了解。濕地公園內從日本時代，即有自生的百年紅樹林海茄苳及其伴生的植物，林內常年有各種鳥類，在其間活動與棲息，湖中魚類亦豐富。濕地公園為一潟湖環境，湖水水源為社區排水及養殖戶排放水，屬於鹹水，濕地生物豐富，有許多種類的海洋生物，如海葵、仙后水母、熱帶魚、帆旗摩利魚等；公園海邊亦有海岸貝殼及沙灘生物，種類繁多，突顯出本濕地公園之生物多樣性。尤其是仙后水母更成為本公園明星物種，更是全國所有濕地中最具獨特之生物；經媒體報導後，參觀水母遊客絡繹不絕。

生物課本下冊第四章曾介紹刺絲胞動物門的生物都住在海裡，原本以為只有在海生館、水族館等才能見到的物種，竟然就在我們生活周遭的自然環境中真實的存在著!而這種住在潟湖裡、與我們如此接近的仙后水母，據了解其數量並非很穩定的存在濕地公園的各個區域，也隨季節而有明顯的變動，水母有可能是養殖業者抽海水而帶入此湖，然水母數量隨季節和地點數量變化大，影響遊客數。為了進一步了解海洋濕地公園湖中仙后水母的生態環境以及其行為與族群消長情形的變化，於是我們在林園紅樹林保育協會指導和同意下(如附錄一)，開始展開對海洋濕地公園內仙后水母的調查與研究。



圖 1 新聞報導~煙囪下的淨土!高雄林園水母現蹤(華視新聞 20180908)

貳、研究目的

本研究主要目的針對高雄市林園區海洋濕地公園中的瀉湖水母的形態、生活史、行為及其對環境適應性之探討，藉由實驗設計與水質調查找出林園區海洋濕地公園中水母數量消長之原因，也許就能進行棲地營造，讓瀉湖一年四季都有遊客喜愛的水母。

- 一、 調查與訪查林園海洋濕地附近區域的環境特性
- 二、 調查公園內仙后水母分佈的區域與數量消長情形
- 三、 了解與觀察仙后水母的生活與行為
- 四、 飼養與觀察仙后水母的構造與生理現象
- 五、 探討仙后水母對各種環境因素之耐受性
- 六、 探討仙后水母對各種環境因素之趨性
- 七、 探討傘體在不同環境因素之收縮率
- 八、 找出濕地公園仙后水母消長原因提出棲地營造之建議

參、研究方法

一、 文獻探討

(一) 仙后水母介紹

1.分類: 《臺灣物種名錄- TaiBNET Han Lee 2015-10-01 修訂, 李瀚 2015-10-01 增中文名》

Kingdom Animalia 動物界

Phylum Cnidaria 刺胞動物門

Class Scyphozoa 鉢水母綱(1 目)

Order Rhizostomeae 根口水母目(1 科)

Family Cassiopeidae 仙后水母科(1 屬 1 種)

Genus *Cassiopea* 仙后水母屬

Cassiopea andromeda (Forsskål, 1775) 仙后水母 (國內相關文獻甚少)



2.仙后水母簡介:

仙后水母（學名：*Cassiopea andromeda*），英文俗名為 Upside-down jellyfish，分布於全球熱帶海域，主要棲息於陽光充足且無海流的淺海，如潮間帶至水深 10m 的沙質環境，有時也可見於淺水泥質底、海草床上或瀉湖地形。臺灣地區曾在屏東、綠島、澎湖群島與東沙島瀉湖等地發現過本物種，此水母與一般水母不同，大部分時間傘頂朝下，含有共生藻的觸手朝上，靜靜停在海底對著陽光，又名“**倒立水母**”。(文獻二)

仙后水母停棲於水底層時，會持續收縮傘部，以產生水流來增加物質交換的速率或帶來獵物。當遭遇干擾時，傘部的收縮頻率會加快，以游離原棲息地。目前已知許多鉢水母類的傘部收縮頻率及活動方式，與日週律、溫度、光線、溶氧量及獵物多寡等因子有關；在組織學與生理學的相關研究，已發現仙后水母的棲地需有充足光線供共生藻行光合作用，且體內含有特殊的藍色蛋白質色素（Cassio blue）以吸收紫外線等短波長輻射，避免水母體的組織受到強光傷害。但有關仙后水母行為學方面的研究則非常有限，亟待進一步研究。

(二) 歷年科展仙后水母的研究

1. 第 55 屆全國科展--仙后水母的環境調查與收縮行為初探

仙后水母傘部會收縮引發水流，為水母帶來獵物。研究結果顯示，個體越大收縮次數越少，白天與用手電筒照射的狀況下收縮次數也較多，在餵食豐年蝦的條件下收縮次數也明顯的增加。水母對於亮區也有明顯的移動。在調查中冬季調查水母數量大約 500 多隻左右，但進入夏季時節數量超過 1000 隻，4-5 月為繁殖期大量增長。

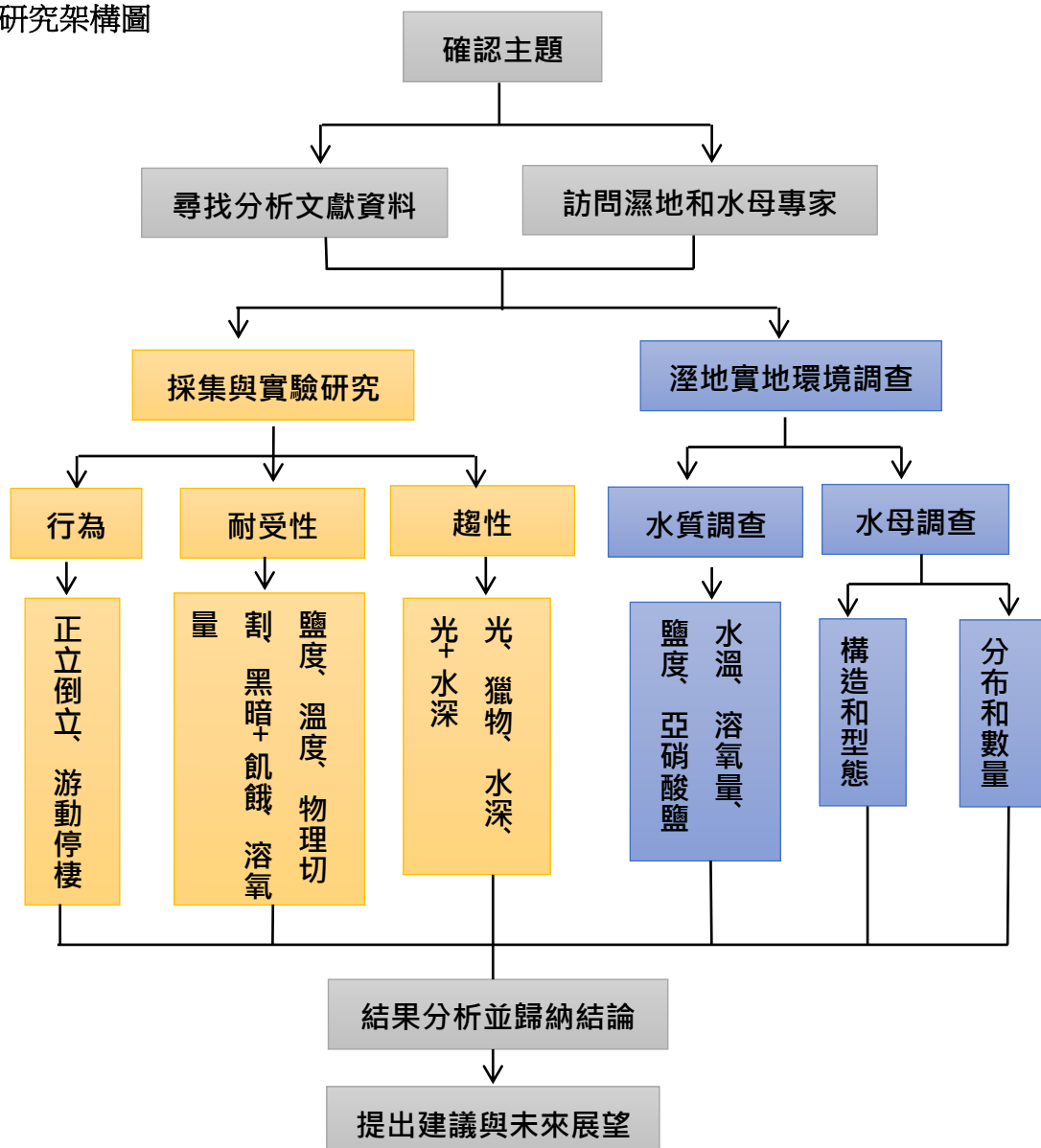
2. 2010 年台灣國際科展--共生性仙后水母(*Cassiopea Andromeda*)之光生物學研

探究各種光環境因子（光強度、日週律、不同波長色光）與仙后水母個體大小、飢餓狀態及有無共生藻等因子，對其傘部收縮頻率的影響，及其異營性攝食與個體耗氧率等基本能量代謝特徵。結果顯示：正常的碟狀體具有明顯的光趨性行為，無共生藻的個體則否。收縮頻率隨體型的增大而降低，在自然光照與餵食的條件下，其收縮頻率有明顯增加的趨勢；黑暗與持續的飢餓狀態其收縮頻率明顯下降。自然光照組的水母個體，其 24 小時內的收縮頻率呈明顯的日週律變化，黑暗組則未見此一現象。以不同色光照射的各組水母，其傘部收縮頻率未見明顯變化，各組無共生藻的個體則明顯低於正常的個體。此外，體型較大的個體，其水體過濾作用與清除率（異營性攝食能力）皆明顯高於小型

個體，無共生藻個體的清除率高於相同體型的正常個體，暗示其異營性攝食能力的增加與能量獲得策略的改變。在黑暗中的耗氧率（基礎代謝率），則以正常的個體較高，單位體重耗氧率皆隨體型的增大而減少，呈現明顯的尺度效應。綜合上述結果可知：光環境因子能明顯影響仙后水母傘部收縮頻率，且可能係透過共生藻的光合作用等相關生理機制進行，進而影響其異營性攝食與光環境選擇能力。

綜合以上分析，我們發現過去的研究多強調以各種實驗變因探討其對水母的收縮率、攝食力及代謝率之影響，很少實地了解仙后水母的生活環境水質及環境變化以推論水母對環境選擇的趨勢，另外我們也好奇水母日常的生長及行為，因此我們決定飼養仙后水母並觀察與設計實驗了解水母對環境因子的耐受性範圍為何？面對環境的劣勢會有何反應？希望能更了解決定仙后水母移動遷移與否之主因為何？

二、研究架構圖



三、研究設備及器材

- (一) 採樣物種：高雄市林園海洋濕地公園內的仙后水母。
- (二) 研究場地：海洋濕地公園、學校實驗室以及有自然照光的廣場。
- (三) 設備與器材：撈網、燒杯、透明水盆(15×18×29cm)、保麗龍盒、養殖業者抽取海水、海水素、打氣設備、保麗龍盒、檯燈、溫度計、尺、標籤紙、空拍機、數位相機、複式顯微鏡、解剖顯微鏡、實驗紀錄本、燒杯、滴管、NO₂ 試紙、pH 儀(GB5011)、鹽度計、水質分析儀(JENCO MODEL3020M)、溶氧量測量儀(WTW Oxi3310)、筆電、webcam 網路攝影機、WebcamCapture 定時拍照程式、movie maker 影音編輯軟體...等。



圖 2 水母室內及戶外飼養並利用網路攝影機拍照軟體定時拍照

四、林園海洋濕地公園環境水質調查:

- (一) 實地走訪林園濕地公園及附近養殖業者，了解濕地公園各湖的成因與環境。
- (二) 實地調查濕地公園中之仙后水母數量和分布情形。
- (三) 以水質分析儀記錄各觀測點以及飼養盆內的水溫、溶氧量、導電度、鹽度、pH 值、含氮量，以了解各觀測點的水質。



圖 3 以 pH 儀、NO₂ 試紙、溶氧量測量儀器、多功能水質測量儀測量水質



圖 4 林園海洋濕地公園採樣點位置

五、水母型態與構造觀察

自海洋濕地公園撈取大、中、小型水母體數隻，以解剖和複式顯微鏡和數位相機觀察攝影水母的身體型態與構造並記錄之。

六、實驗探究

(一)仙后水母對海水鹽度之耐受性探討

1. 以海水素泡製鹽度 15 ‰，20 ‰，35 ‰，40 ‰，50 ‰，60 ‰的海水，以 500ml 燒杯裝 400ml 毫升鹽度不同的海水，並各放入 3 隻大小相近直徑約 7~10mm 的仙后水母。
2. 以檯燈照光、室內飼養、未打氣、不餵食，水溫約 22-25 的方式飼養，一天後觀察水母的存活情形及並計算傘體收縮率。



圖 5 配置 6 種不同鹽度的海水飼養仙后水母

(二)仙后水母在對溫度之耐受性探討

1. 以海水素泡製鹽度 35 ‰的海水，以 500ml 燒杯裝 400ml 毫升海水並各放入 3 隻大小

相近直徑約 5~10mm 的仙后水母。

2. 以檯燈照光、室內飼養、未打氣、不餵食，分別放置在溫度 5°C、15°C、25°C、35°C 的環境，一天後觀察水母的存活情形及並計算傘體收縮率。

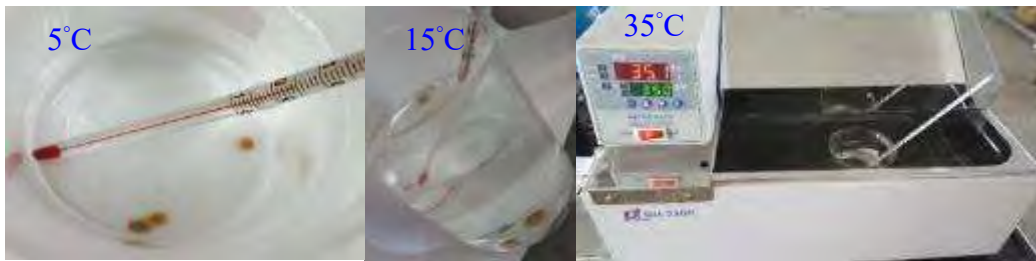


圖 6 置放不同溫度的環境飼養仙后水母

(三)仙后水母在對光照及餵食與否之耐受性探討

1. 以海水素泡製鹽度 35 ‰ 的海水，以 500ml 燒杯裝 400ml 毫升海水並各放入 3 隻大小相近直徑約 5~10mm 的仙后水母。
2. 在室內飼養、未打氣，分別以照光餵食、照光不餵食、黑暗餵食、黑暗不餵食的環境中，連續處理飼養五天後觀察水母的存活情形及並計算傘體收縮率。

(四) 仙后水母對溶氧量之耐受性探討

1. 準備三個 1000ML 燒杯裝海水 900ML，先將其中一杯海水煮沸並密閉為低溶氧組；高溶氧組海水持續打氣維持高溶氧，以溶氧儀器測量並記錄下高低溶氧組溶氧量。
2. 在照光環境下測量水母於不同溶氧組別的收縮率(收縮次數/每 1 分鐘)。
3. 照光組測完後，將水母放回正常溶氧燒杯並將燒杯置入暗室，零溶氧組海水再次煮沸後用保鮮膜密閉，高溶氧組持續打氣至隔天，靜置一天後再測量黑暗環境中二組水母的收縮率。



圖 7 低溶氧組和高溶氧組海水備製與溶氧測量

(五)仙后水母對物理切割之耐受性探討

1. 取 4 隻不同大小的仙后水母，以單面刀片將其中三隻縱切成二半，其中一支橫切分成傘體、口腕觸手二部分。
2. 將被切斷裂後的水母置放於 35 ‰ 的海水，以照光不餵食的環境中，連續處理飼養

20 天後觀察水母的存活及生長、收縮情形。

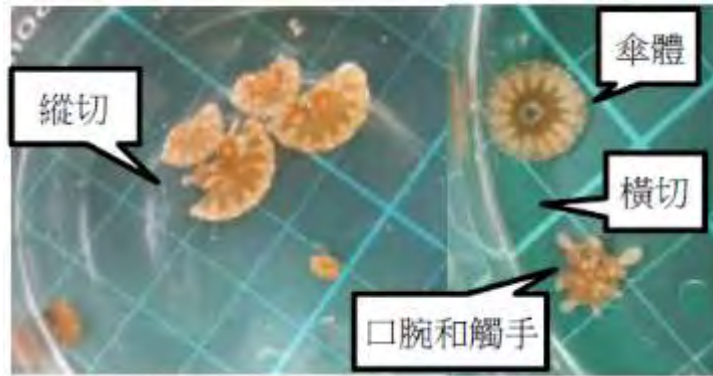


圖 8 將仙后水母縱切和橫切成二部分

(六)仙后水母之趨光行為探討

1. 以不透光的隔板下方挖洞，將含蓋保麗龍盒飼養盒分成黑暗區、靜置區、光亮區(挖洞以白光手電筒照光)。
2. 將 10 隻小型母(直徑 2cm 以下)放置於靜置區，靜置一天後觀察水母的移動情形。



圖 9 小水母的趨光行為測試

3. 中大型水母(直徑超過 2cm 以上)則以大型壓克力水槽(120cmx15cmx60cm)作趨光實驗:



圖 10-1 中大型水母的趨光行為測試

(七)仙后水母水深選擇行為探討

為了解仙后水母對水深是否有感受和選擇趨性，我們大型水槽傾斜 30 度，讓水深度介於 0~30cm 之間，模擬自然湖區有不同深度，然後將 15 隻水母放置於靜置區 5 分鐘後，

打開隔板放置一天後觀察水母的分布情形，裝置如下：



圖 10-2 水母對水深選擇的行為測試

肆、研究結果與討論

一、 林園海洋濕地公園內水母分布和水質調查

(一) 位於林園海岸，面積 6.2 公頃，目前 1.2 公頃為海灘。原為港嘴里與西溪里交界的天然河流，西面河流在出海處形成潟湖，當地有自然生長的海茄苳，後來因養殖漁業興起，抽取海水養殖，將循環海水排放入潟湖中，故湖中鳥類、魚類非常豐富；102 年徵收漁塢，移除墳墓，開闢為林園海洋濕地公園，我們在 12 月份以空拍機拍攝濕地公園，並標示 4 個採樣點，以下為各採樣點的環境描述及水質資料：



(二) 根據 104 年林園海洋濕地公園濕地保育教育推廣計畫調查報告，104 年時水母數量全年都有，夏天最少，一年有五月、十一月為大發生期，然而今年我們現場訪查多次發現只有紅樹林潟湖區(採樣點 3)才有仙后水母出現，人工湖(採樣點 1)、連結水道(採樣點 2)及出海口(採樣點 4)均未發現水母，原因為何尚待進一步探討。

(三) 於是我們調查 4 個採樣點的水質：現場以儀器測量水溫、溶氧量、導電度、鹽度、亞硝酸鹽等五項檢測數據。如下表所示：

表 1 林園海洋濕地水質調查結果

調查日期	水母數量	水溫 (°C)	溶氧量 (mg/L)	導電度 (us/cm)	鹽度 (ppt)	亞硝酸鹽 (mg/L)
107.01.03 108.02.18						
採樣點 1:人工湖(01.03)	無	26.5	2.08	49.2	32.0	2
採樣點 1:人工湖(02.18)	無	24.6	0.79	50.1	32.9	0.75
採樣點 2:連結水道(01.03)	無	25.3	2.11	49.8	32.1	1
採樣點 2 連結水道(02.18)	無	26.1	1.52	50.1	32.7	0.75
採樣點 3-1:紅樹林(西 01.03)	中小型水母多	27.6	3.30	49.5	32.3	1
採樣點 3-1:紅樹林(西 02.18)	多中型水母	25.7	1.82	48.0	31.3	1
採樣點 3-2:紅樹林(北 01.03)	多大型水母	25.0	2.89	48.9	31.9	2
採樣點 3-2:紅樹林(北 02.18)	多大型水母	25.6	1.96	48.1	31.5	1
採樣點 4:出海口附近(01.03)	無	25.0	2.12	45.3	29.3	3
採樣點 4:出海口附近(02.18)	無	25.8	1.59	46.3	30.1	2
無餵食組		21.9	1.03	50.9	33.5	0.5
餵食組 2 天後		23.9	0.34	50.8	33.3	0
乾淨飼養盆 1/14		25.6	2.06	47.3	30.7	0
水質惡化飼養盆 1/31		20.8	0.01	54.5	36.1	0.25

► 發現:

1. 人工湖和出海口附近未發現仙后水母蹤跡；而紅樹林瀉湖西側有許多中小型水母游動，紅樹林北側多大型水母停棲。
2. 根據水質測量數據，有水母數量多的紅樹林瀉湖區溶氧量較其他無水母區來得高，而從空拍的照片來看，瀉湖區湖水和出海口附近水體顏色偏綠色，而人工湖區水體呈淡褐黃色，可能和湖畔的紅樹林植物與水體內的藻類數量有關。
3. 出海口附近水體雖偏綠色但鹽度較低，亞硝酸鹽含量太高，水流速度又快，未發現水母生活於此區。
4. 飼養研究過程中我們發現，若以豐年蝦幼體餵食或長期照光飼養未換水將導致水質惡化、水母分解死亡，最明顯的變化也是溶氧量降低，我們在二月調查時各區溶氧量都較一月來得低，水母數量也較一月份時少，推測溶氧量對水母的存活有關鍵的影響。
5. 根據河川污染指數(RPI)基準值，濕地的海水水質溶氧量屬於中重度汙染，氮鹽和固體懸浮微粒則屬於輕中度汙染，水源為排放養殖水，難免有汙染物，仙后水母能在

此區域長期生活，可見其對環境耐受度高。

表 2 RPI 指標之計算及比對基準

水質/項目	未(稍)受污染	輕度污染	中度污染	嚴重污染
溶氧量(DO) mg/L	6.5 以上	4.6~6.5	2.0~4.5	2.0 以下
懸浮固體(SS) mg/L	20 以下	20~49	50~100	100 以上
氨氮(NH3-N) mg/L	0.50 以下	0.50~0.99	1.0~3.0	3.0 以上

二、仙后水母構造生活行為觀察

(一) 仙后水母的一生

水母的一生有兩型，即水螅型和水母型，並有兩型在有性生殖與無性生殖之間的世代交現象，而我們常見的水母則是有性的水母型，我們這次研究的對象是水母體。

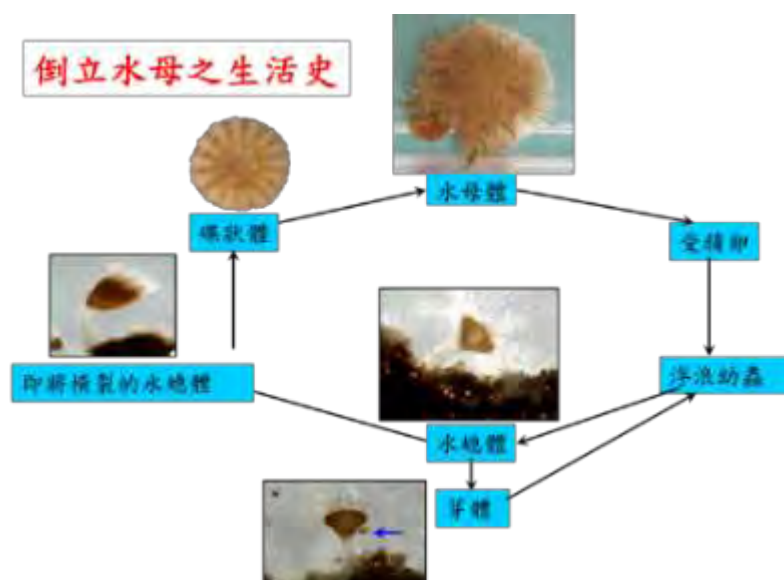


圖 12 水母生活史

(二) 身體構造觀察

1. 成熟後的仙后水母個體大小直徑約 1~30 公分，擁有八個分枝狀**口腕**，體色為褐色、淺褐、灰色或淺綠，表面有時布有斑點或淺色條紋。
2. 水母有三個主要部位：**傘頂**，**觸手**和**口腕**。口腕，功能就像嘴巴，水母藉著傘體擴張然後迅速收縮，通過噴水推進便能向反方向游動。傘頂邊緣有一排**圓形小囊**，當水母向一方過度傾斜的時候，這些囊就會刺激神經末梢來收縮肌肉，並把水母轉到正確的方向上去，水母並不擅長游泳，牠們常常要藉助風、浪和水流來移動。

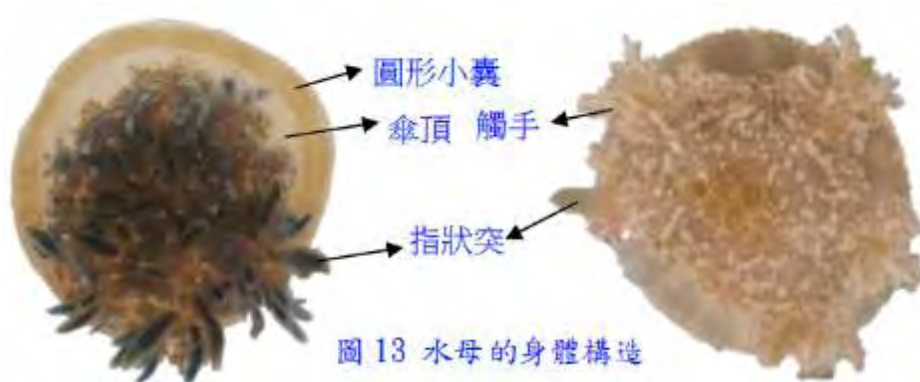


圖 13 水母的身體構造

3. 時常以觸手朝上、傘頂朝下的姿態漂浮於海底，藉「倒立」使共生於其觸手及身體的蟲黃藻 (Zooxanthella) 行光合作用，供應自身能量。

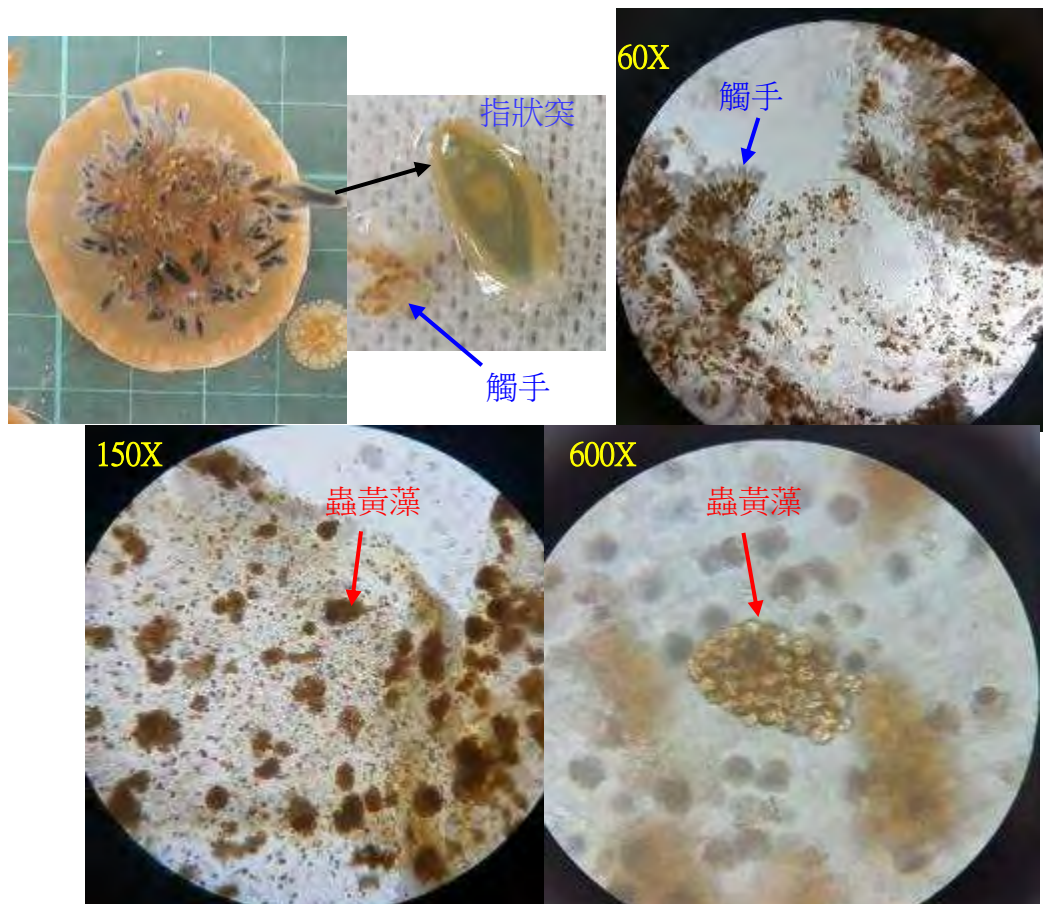


圖 14 水母觸手的顯微構造觀察

4. 我們發現水母在環境有明顯變動時(例如:換新的海水或突然打氣時)會釋放大量的黏液，有一次在採集時回程將摩利魚和水母放在同一水族箱，結果約一小時的路程魚很快死亡，屍體附在水母觸手上飄搖逐漸分解。根據文獻指出，水母的觸手和身體上都布滿刺絲胞，分泌的黏液中亦含有刺絲囊可幫助水母快速螫傷、捕捉或征服獵物。水母亦會捕食小型浮游生物，傘頂上有白色徑向水管輸送養分至水母的身體各部份。

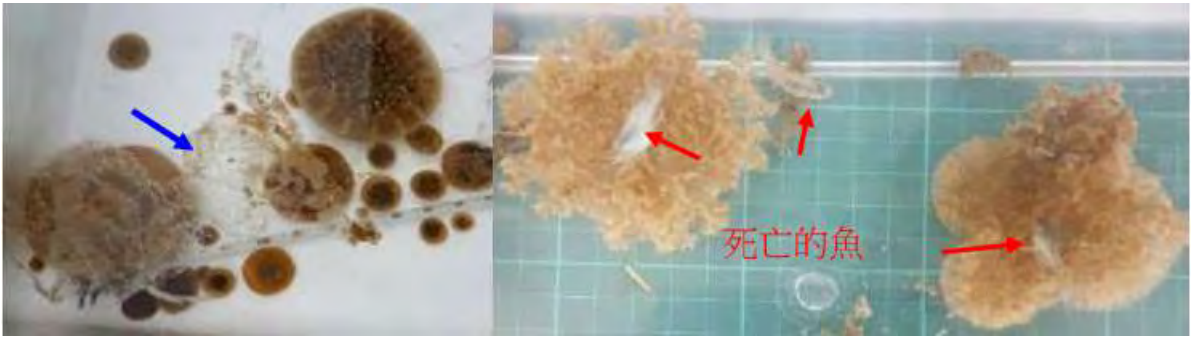
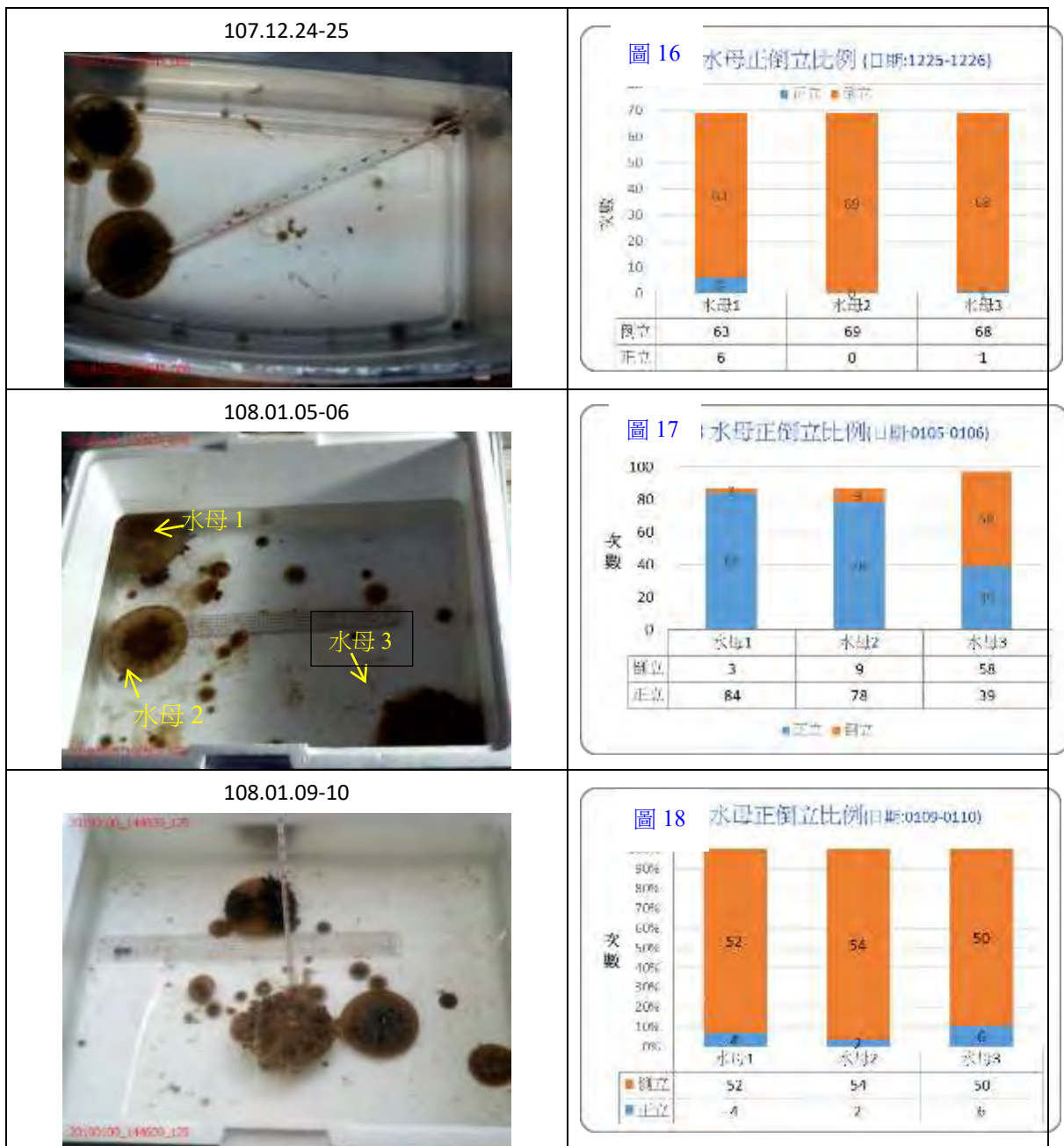


圖 15 水母釋放黏液(如→)可使活生生的摩利魚死亡(如→)

(三)仙后水母的一天

為了知道仙后水母是否一定會呈現倒立，我們以 webcam 網路攝影機配合電腦定時拍照軟體，每 5 分鐘拍攝一張照片，隨機挑選三天的照片，追蹤紀錄其中三隻水母的一天中(如影片)，正立和倒立的次數並做成統計圖表如下：



➤ 發現:

1. 多數的仙后水母大多數時間呈現倒立的狀態，但偶有因游動而呈現正立的情形，如圖 42.44 二天的情況；有時也有少數水母會多數時間呈現正立狀態，偶爾倒立，如圖 43 的水母 1.2 所示。
2. 根據水母的一天錄影紀錄，水母的一天並非一直停在原地不動，會不斷地換位置，夜晚和白天的活動情形並無差異。

三、仙后水母對環境耐受性探討

(一) 鹽度耐受性測試結果

1. 經實驗測試發現仙后水母屬於廣鹽性適應生物，對鹽度耐受範圍在 20ppt~50ppt，20ppt~50ppt 海水中均能存活一天以上。
2. 15ppt 和 60ppt 鹽度海水雖能存活一天，但水母傘體部分呈現杯狀，但肌肉仍能持續收縮，鹽度 7%海水中仙后水母死亡，傘體和口腕脫離的情形。



圖 19 水母在鹽度過高和過低的環境中傘體成杯狀

3. 水母環縱肌對鹽度敏感度不同導致水母呈杯狀，放回 35ppt 海水一天後水母再度呈現圓盤狀態，推論在鹽度 15~60ppt 範圍內尚未導致細胞死亡僅造成暫時性脹縮。
4. 不同鹽度中水母收縮率比較如圖 17，發現鹽度過低水母收縮率下降明顯，高鹽度的海水對水母收縮率影響不大，即使傘體形狀變杯狀，仍會持續穩定地收縮。



(二) 溫度耐受性測試結果

1. 5 °C 環境中水母隔天從冰箱取出觀察已死亡，恢復室溫很快分解，15°C 環境能存活但收縮率變緩慢。
2. 40 °C 收縮速度變快且水母變形稍呈杯狀，其中有一隻傘體和口腕觸手分離，傘體持續收縮至第二天方見死亡，其他在回到常溫後，則回覆正常仍存活。
3. 在 15~35°C 範圍內，水母的收縮率隨溫度增高而增快。

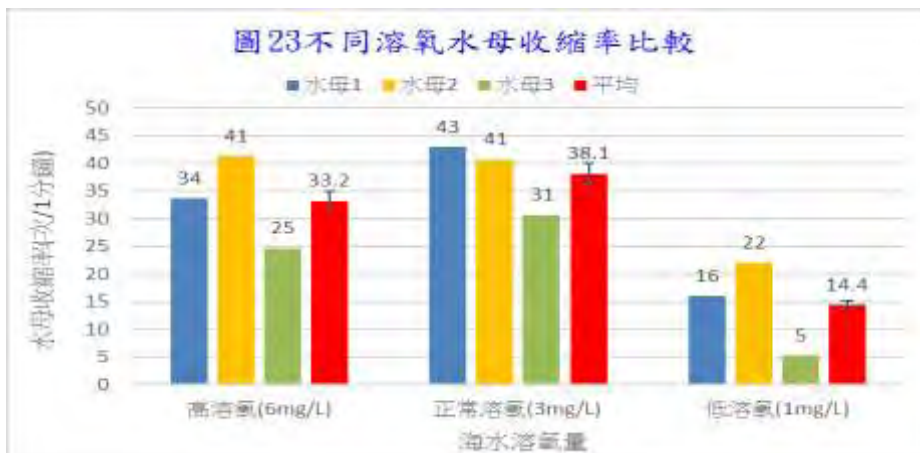


圖 21 水母在溫度過高和過低的環境中的異常狀況



(三) 溶氧耐受性測試結果

1. 在照度約 1000LUX，鹽度 35ppt，水溫約 28°C，三隻水母每分鐘平均收縮率:正常溶氧組 (3mg/L)>高溶氧組(6mg/L)>低溶氧組(1mg/L)，低溶氧組中水母收縮率明顯較其他兩組低推測與減少耗氧速率有關，而在高溶氧環境中水母收縮率比正常溶氧稍微低，如圖 23。



2. 為了進一步測試在光照和黑暗中，仙后水母對水中溶氧的耐受性是否有差異？於是我們將實驗環境改成在暗室中進行(照度約 2~5LUX)，實驗裝置如圖 24，一開始將水母置放於高溶氧環境中，接下來每 20 分鐘測量水中溶氧量並作紀錄，結果發現在黑暗中水中的溶氧下降速率比照光環境中下降快許多，推測與水母體內共生藻的光合作用產氧率和二種生物細胞呼吸作用耗氧率有關。



圖 24 水母在光照和黑暗中溶氧耐受性測試



3. 光照組最後水中溶氧量趨近於 1.5 左右，而黑暗組最鍾水中溶氧趨近於 1 左右，將以上實驗結果跟我們的林園海洋濕地湖區水質調查結果對應，結果發現採樣點 3(紅樹林區)溶氧量介於 2~3.3 之間(中度汙染)水母尚可生活其中，而人工湖區和連結水道有時水中溶氧量降至 2~0.5(嚴重汙染)不利水母生存。

(四)物理切割耐受性測試結果

1. 小型水母(直徑小於 1 公分)縱切二半後各自仍能收縮生長，各自片段都也很有活力，一天後各自仍正常收縮存活，二天後原 1/2 圓形已長到約 3/5 圓，約二週後已長回恢復圓形狀態。



圖 26 小型水母縱切成二半後二週長回圓形

2. 小型水母橫切成傘體和口腕觸手分離二部分，圓形傘體持續收縮游動，觸手微微飄動可存活。二週後各自片段都仍存活，傘體部分明顯生長，觸手沒有增生情形。
3. 橫切的傘體二週後長出新口腕部，且再生的口腕細胞內亦含有藻類，可見蟲黃藻可以隨新生的細胞一起增生；原來的口腕和觸手仍單獨存活但無法收縮亦無法長出傘體，觸手分支明顯減少，藻類濃度也變得較少。

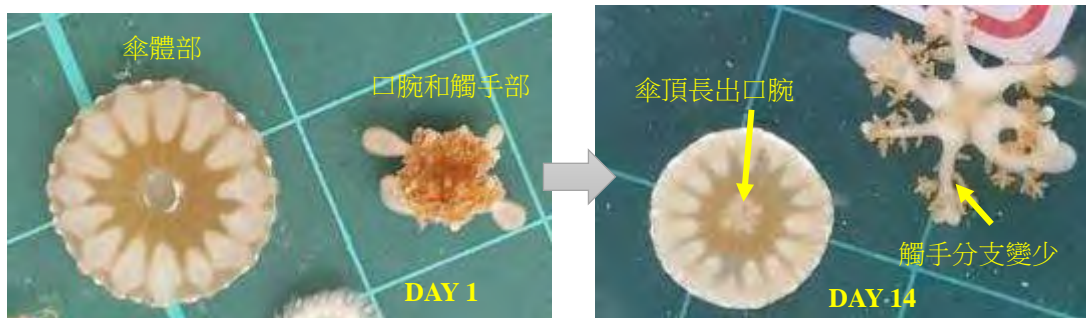


圖 27 小型水母橫切後傘體和口腕、觸手之變化



圖 28 小型水母橫切後傘體長出口腕部之顯微觀察(20X)



圖 29 小型水母橫切後口腕部觸手及藻類之顯微觀察(20X)

體型較大(直徑約 5 公分)的水母縱切二
半，和再切一刀成 1/4 圓後的水母片段，第
一天的傘體收縮率就逐漸下降，一週後均
無法順利存活下來，再生能力和傷口癒合
能力都比小型水母差，死亡後造成整盆水
質變差。



圖 30 大型
水母縱切
後無法順
利再生

(五) 黑暗和饑餓耐受性測試結果

1. 各組水母均可正常存活一星期以上，其中黑暗餵食組的三隻小魚有二隻死亡被分解，照光組三隻小魚都存活著，可見光照充足仙后水母不一定會釋放刺絲胞捕食，而黑暗中仙后水母會捕食以補充養分。
2. 水母傘體的收縮速率: 黑暗餵食>照光餵食>照光不餵食=黑暗不餵食，有放入活小魚餵食的組別無論黑暗照光收縮率均較不餵食組高。且在黑暗餵食組有二隻小魚隔天就死亡了。



圖 31 照光與餵食與否對水母耐受性之觀察



3. 若長期營養不良(不餵食缺乏正常光照)，其實仙后水母並不會死亡，只是其收縮頻率會逐漸變得較小，另外觸手和口腕分支也會變少，推測水母會分解吸收自己的體內成分以維持其生命，如圖 33 所示:

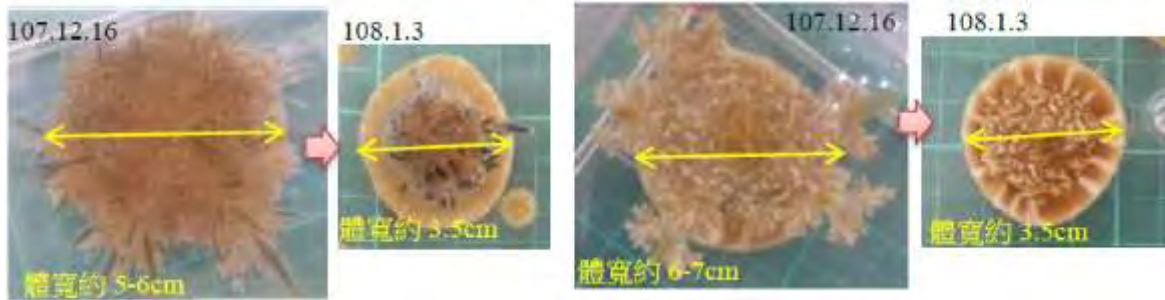


圖 33 長期不餵食缺乏光照仙后水母型態變化

四、 探討仙后水母對環境因素之趨性

(一) 對光趨性測試結果

1. 三次實驗結果顯示小型水母對光沒有明顯趨性，與之前文獻結果不同，有可能是我們用的保麗龍盒太小及不完全黑暗，亦有可能小型水母對光趨性不明顯，於是我們再用更大型的壓克力水槽，並在黑暗區貼上三層黑色塑膠袋外加一層鋁箔，再作趨光性實驗。

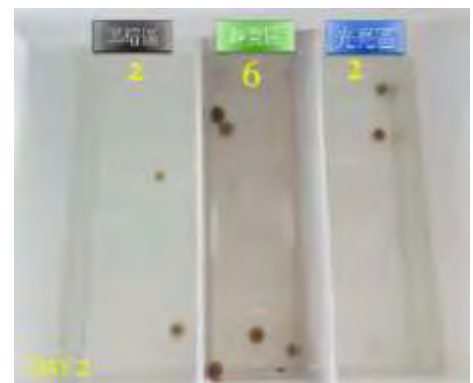
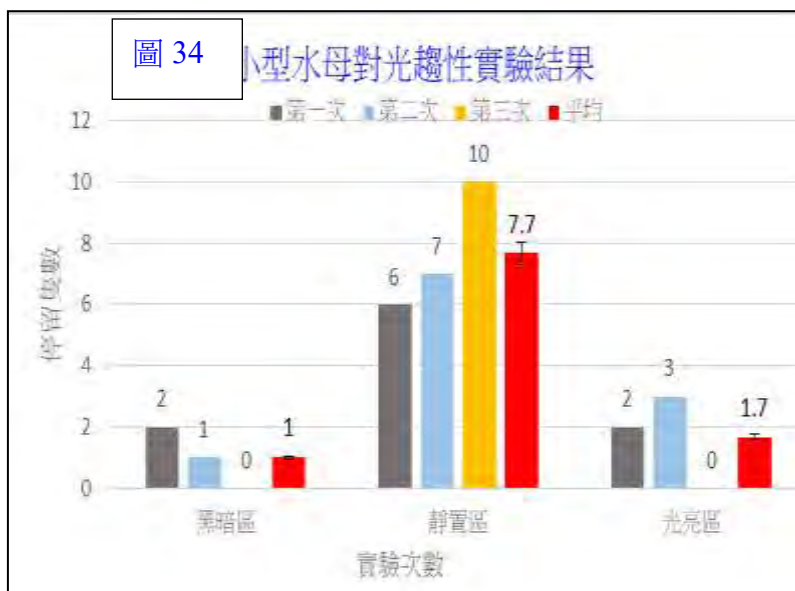
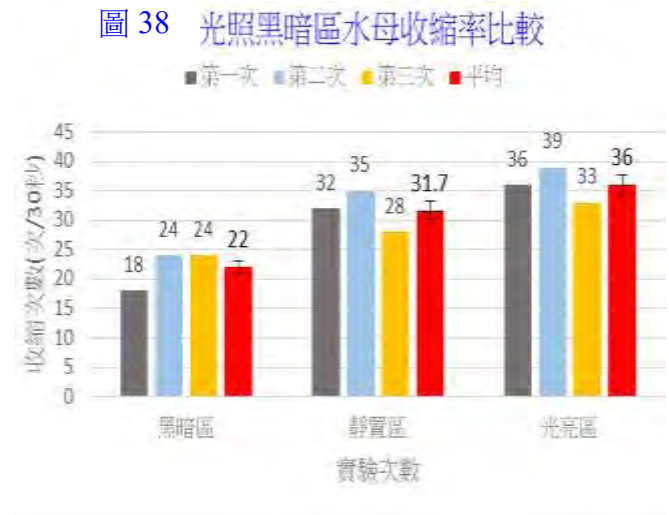
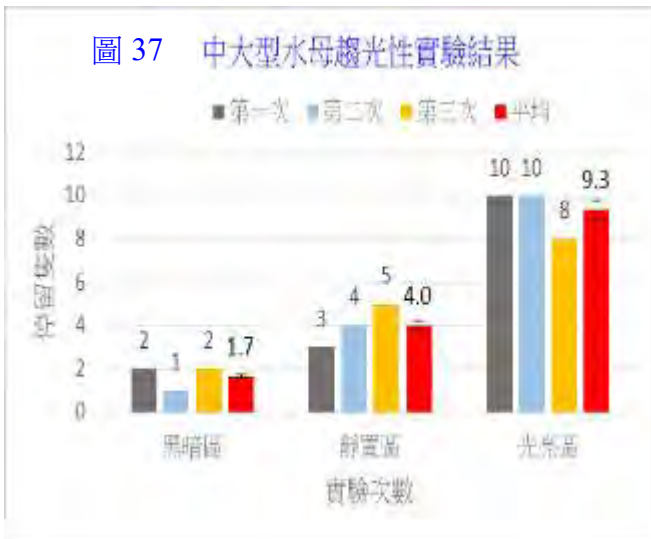


圖 35 小型水母趨光性實驗結果

2. 中大型水母大水槽趨光性實驗結果顯示，停留在光亮區水母數量最多，中大型水母有明顯趨光性，且傘體收縮率光照區>靜置區>黑暗區。



圖 36 中大型水母趨光性實驗裝置和結果



(二) 對餵食的趨性測試結果

1. 我們在餵食區放入冷凍的豐年蝦無節幼體，10 隻小型水母擺放靜置區一天後水母並沒有明顯往餵食區移動的狀況。
2. 中大型水母在餵食摩利魚前後亦不見有明顯趨向餵食區移動的狀況，但在放入游動的摩利魚後，水母的收縮率明顯增加。

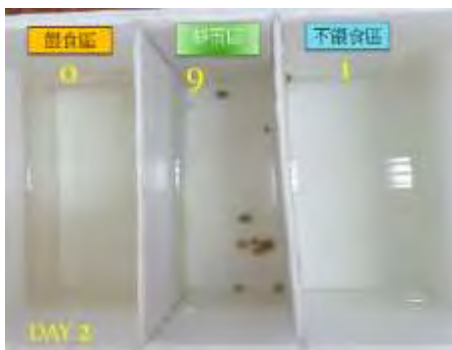
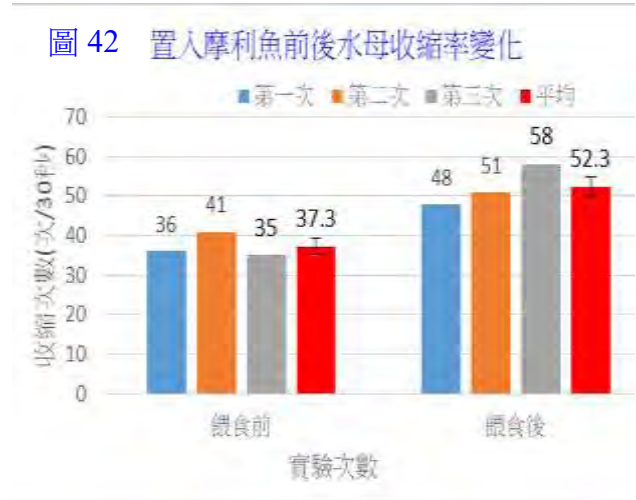


圖 39 小型水母餵食區性實驗結果



圖 40 中大型水母置入摩利魚後收縮率增快



(三) 對水深的趨性測試結果

1. 將 15 隻水母置放水深約 10-15cm 的靜置區，打開通往兩側的隔板靜置一天後，水母多趨向深水區聚集。

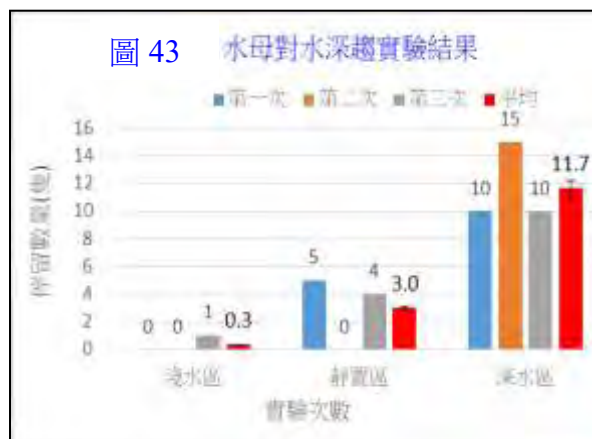
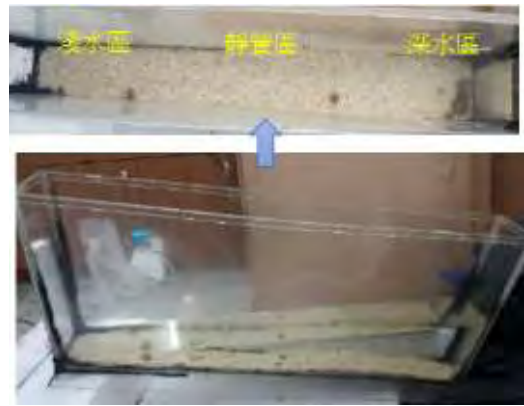


圖 44 水母趨向深水區聚集

2. 由於水槽底部是壓克力材質，所以我們覺得水母也有可能倒立停棲時逐漸滑向深水區，所以我們決定倒入珊瑚礁碎石鋪在底部增加摩擦力，重作水深實驗，結果如圖 45 顯示，水母還是趨向深處居多。



(四) 對光+水深的趨性測試結果

1. 根據前面實驗結果可知仙后水母有趨向光和深水區的趨勢，但若淺水區照光而深水區黑暗的情形下，水母的趨性為何呢?我們一樣實驗了三次，結果如圖 46 顯示水母趨向淺水照光區域或在靜置與照光交界處的數量較深水黑暗區多。
2. 趨向淺水照光區的水母傘體收縮率較靜置區快，黑暗深水區水母的傘體收縮率明顯較慢，如圖 47 所示。

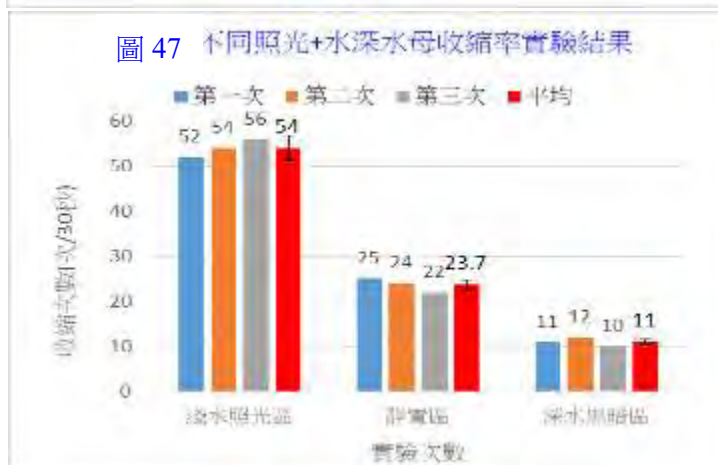


圖 48 趨向淺水照光區的水母收縮率較快

伍、討論與結論

一、水質調查結果:

- (一) 今年度人工湖、連結水道及出海口亞硝酸鹽含量太高，水流速度又快，均未發現水母，只有紅樹林瀉湖區有仙后水母出現，推測溶氧量對水母的存活有關鍵的影響。
- (二) 12 月和 1 月有許多中小型水母在紅樹林西側游動，2 月份多大型水母停棲在紅樹林瀉湖區水深較深區域。
- (三) 此區水源為鄰近養殖業排放水，難免有汙染物，仙后水母能在此區長期生活，對環境耐受度高。

二、構造與行為觀察:

- (一) 水母的一生我們這次研究的對象是有性的水母體，其身體分成傘頂，觸手和口腕三個主要部位。
- (二) 藉倒立使共生於其觸手及身體的蟲黃藻行光合作用，供應自身能量；藉著傘體擴張與收縮，通過噴水推進反向游動。
- (三) 環境有明顯變動時釋放含刺絲胞的黏液，可幫助水母快速整傷、捕捉或征服獵物。
- (四) 大多數時間呈現倒立的狀態，但偶有游動而呈現正立或直立的情形，夜晚和白天的活動情形並無明顯差異。

三、對環境耐受性:

- (一) 對鹽度耐受範圍 20ppt~50ppt，鹽度過高或過低傘體呈杯狀，亦有傘體和口腕脫離的情形，鹽度過低水母收縮率下降明顯。
- (二) 對溫度耐受範圍 15~35℃，傘體收縮率隨溫度增高而增快，溫度過低水母死亡，溫度達 40℃時傘體稍呈杯狀，亦有傘體和口腕觸手分離情形。
- (三) 對溶氧量耐受範圍至少 1.2mg/L 以上，低溶氧狀態水母收縮率明顯降低推測與減少耗氧速率有關，在黑暗中水母生活的水中溶氧下降快速。
- (四) 小型水母縱切二半存活率較大型水母高，可長回圓形狀態；橫切後的傘體可長出新口腕部且蟲黃藻隨新生的細胞一起增生;但口腕部雖存活但顏色變淡觸手分支變少且無法收縮亦無法長出傘體。

(五) 長期**黑暗與飢餓**均可正常存活三星期以上，光照充足不一定捕食，而黑暗中**會捕食**以補充養分。有**餵食**組無論黑暗照光傘體收縮率均較不餵食組高。

(六) 若長期**缺乏營養**，水母體變小、傘體收縮變慢，觸手和口腕分支變少，推測水母分解吸收自體成分以維持生命。

四、對環境因素之趨性:

(一) 小型水母對光趨性較不明顯；中大型水母有**明顯趨光性**，且傘體收縮率光照區>靜置區>黑暗區。

(二) 小型水母對餵食的趨性不明顯；中大型水母在餵食摩利魚後雖**不會趨向餵食區**，但水母的收縮率明顯增加。

(三) 對水深的趨性測試結果顯示，無論是平滑底部或鋪珊瑚礁石增加摩擦力水母多**趨向深水區**聚集。

(四) 對光+水深的趨性測試結果顯示，水母**趨向淺水照光區**或在靜置區與光照交界處，水母對光的趨性較水深明顯。

(五) **傘體收縮率**在光照、餵食、淺水區、溶氧高時較快，黑暗、深水區、溶氧低的環境中收縮率明顯較慢。

五、對濕地公園水母棲地營造之建議:

(一) 比較文獻對濕地水質之監控(104年)與我們今年(108年)的數據後發現，水溫和鹽度變化差異不大沒有超出水母對鹽度或溫度耐受範圍。但今年同時期湖水**亞硝酸鹽含量增加(由 0.05 增加到 2ppm)**、**溶氧量下降(由 3~7 降到 1~3ppm)**，如果溶氧低於 2ppm 以下就可能造成魚類缺氧而死亡，這可能是今年水母數量和分布範圍變小之因，建議當地養殖排放水應作相關**監測與控管**。

(二) 為何今年只有紅樹林瀉湖區有水母存在?根據水母耐受性與趨性實驗結果對照濕地空拍圖推理，原因可能有以下幾點:

1. 人工湖區湖體顏色明顯和紅樹林瀉湖區不同，水體透光度低，**營養鹽、氨鹽濃度高、溶氧低**，缺乏紅樹林植物生態的自然循環與調節，建議適當的以空氣幫泵打氣或滴流曝氣以增加溶氧量，另外減少水體內的養殖水排泄物含量，可避免有機物含量升高導致藻類或細菌等大量繁殖而缺氧，可沿著人工湖邊復育海茄冬等紅樹林植物。

2. 連結水道區的末端的水量不穩定經常是枯竭狀態，影響水質的穩定度；而出海湖區水流速度太強，這二區域不見水母生活，因此建議相關單位能與鄰近養殖業者合作監控湖區各時期的水位，並在枯水期引入適量海水維持水量穩定。
3. 紅樹林瀉湖區水體透光度高、有紅樹林自然循環自淨效果，並有摩利魚剛毛蟲等食物來源充裕，加上環境具水母趨向光並有適宜的水深的特性，有穩定的水量和緩和水流速度可維持一定的溶氧量，因此從空拍圖可見有些區域大量的中大型水母聚集。



圖 49 海洋濕地公園空拍環境與水母分佈說明

陸、研究心得與展望

水母是一種神祕的動物，構造雖然簡單，但國內外關於牠們的資料卻寥寥可數，同時又看到關於林園海洋溼地仙后水母的新聞報導，激發出我們想研究水母的動機。我們從對牠一無所知，到現在對牠有較深入的了解，經過了許多困難，因為我們面對的不是可任意操控的實驗器材和數據，而是有生命，活生生在在海水中舞動著的~仙后水母。

經過這次科展的洗禮，除了更了解水母外，也看到棲息在濕地的其他特殊物種，讓我們見識到平常在教室中看不到的事物。過程中也學到了解決問題的方法，像是如何佈置適合水母生活的飼養環境，如何讓水族箱不會漏水、不透光，更去實地訪查濕地公園的各個湖區，用了定時拍攝軟體紀錄觀察牠們整天的生活。我們也設計實驗了解環境對水母耐受性與趨性的影響，雖然要犧牲很多時間往返濕地和學校做實驗但在過程中我們收穫良多，解決實驗遇到的困難會讓我們很開心，很有成就感；另外當結果不如預期，我們會探討為什麼，並且思考怎麼解決問題。

由於國內研究水母相關的文獻資料不多，遇到困難時曾讓我們浮起放棄的念頭…，還好在研究過程中，我們感受到有許多關心環境的人，例如：在濕地遇到許多前來觀察水母的民眾，也遇到幫助我們的林園紅樹林保護協會蘇主任，他帶我們深入了解溼地環境並拜訪附近的養殖業者，更感謝水母專家正修科大的張教授百忙之中願意花時間帶我們實地訪查和參與實驗討論，還有指導老師帶我們往返濕地和學校、操作空拍機幫我們空拍濕地整體環境和探查水母分布的範圍，這些默默支持的力量讓我們重新找回信心，繼續研究下去。回顧研究過程的點點滴滴讓人體悟到大自然的奧妙，期盼未來有更多人能夠投入濕地保育與研究的工作，幫助美麗的倒立舞者~仙后水母營造適合的棲地環境，為大自然盡一份心力，這應該也是我們研究的最終目標!!



圖 50 海洋濕地瀉湖中美麗的仙后水母(林園紅樹林學會宋先生攝於 108.3)

柒、參考文獻

一、網路資料:

- (一)煙囪下的淨土! 高雄林園水母現蹤...! 華視新聞 20180908
<https://www.youtube.com/watch?v=YiAMyGywduw&feature=youtu.be>
- (二)生態奇景! 林園濕地附近水溝 水母現蹤—民視新聞 <https://youtu.be/yKPVKzLs-Mc>
- (三)潮間帶 林園海洋濕地公園看得到 20160212 公視晚間新聞
<https://www.youtube.com/watch?v=3jxltNSKkp8>
- (四)高雄林園海洋濕地 仙后水母數量破千—民視新聞
<https://www.youtube.com/watch?v=FCK5k0ar1Es>
- (五)鳥瞰林園海洋濕地公園 <https://www.youtube.com/watch?v=Z-EUNrDLEpw>
- (六)林園海洋濕地公園出現水母 成熱門景點—民視新聞
<https://www.youtube.com/watch?v=bR-0hb3FOzc>
- (七)2 個月前才有「藍色仙后」 林園濕地又現「金水母」
<https://www.youtube.com/watch?v=FLXh0FYzxm4>
- (八)台灣物種名錄 http://taibnet.sinica.edu.tw/chi/taibnet_species_detail.php?name_code=430818

二、中文文獻:

- (一) 蘇文華(104 年)。104 年度高雄市林園海洋濕地公園濕地保育教育推廣計畫總成果報告書。
- (二) 蔡函庭等人(104 年)。仙后水母的環境調查與收縮行為初探。中華民國第 55 屆中小學科學展覽會作品說明書。
- (三) 黃興倬等人(102 年)。東沙島周邊指標生物族群調查與復育評估-標本製作與管理。海洋國家公園管理處 102 年委託辦理計畫。
- (四) 沈芮莎(2010)。共生性仙后水母(*Cassiopea andromeda*)之光生物研究。高雄市立高雄女子高級中學。台灣國際科學展覽會優勝作品專輯。
- (五) 呂明毅、張文炳、李展榮、方力行。1999 年。仙后水母的棲地調查與人工飼養之研究。第七屆珊瑚礁生物研討會摘要。
- (六) 任淑仙。無脊椎動物學。初版，台北市淑馨出版社。P152-158。1995 年。

三、英文文獻:

- (一) Ravi D. Nath, Claire N. Bedbrook, Michael J. Abrams, Ty Basinger, Justin S. Bois, David A. Prober, Paul W. Sternberg, Viviana Gradinaru, and Lea Goentoro. (2017). The Jellyfish *Cassiopea* Exhibits a Sleep-like State. *Current Biology* 27, P.2984–2990.
- (二) Aria, M.N. A functional biology of Scyphozoa. London, UK. Chapman & Hall. 316pp. 1997.
- (三) Campbell, N.K. J.B. Reece. *Biology*. 8th ed San Francisco. Pearson Benjamin Cummings P671-673. 2008.
- (四) C.S. Jantzen, C. Wild, C. Rasheed, M. El-Zibdah, M. & C. Richter, 2008. Pumping of pore water nutrients by the upside-down jellyfish *Cassiopea* sp. In coral reefs. 11th International Coral Reef Symposium, 7-11 July 2008, Ft. Lauderdale, USA.
- (五) Matthew, J. M. & J. Jason, 2003. The ontogenetic scaling of hydrodynamics and swimming performance in jellyfish (*Aurelia aurita*), *Journal of Experimental Biology* 206: 4125-4137.
- (六) Mayer, A. G., 1906. Rhythmical pulsation of Scyphomedusae. *Yearbook, Carnegie Inst. Wash.* 4:120-123.

附錄一 林園海洋地公園仙后水母研究切結書

林園海洋濕地公園仙后水母研究切結書

- 一、 學生姓名：、、
- 二、 就讀學校：國民中學
- 三、 作品名稱：海洋濕地的倒立舞者-仙后水母對環境之耐受性與趨性探討
- 四、 研究切結內容：本研究以高雄海洋濕地公園內仙后水母為研究對象，研究期間自107年10月-108年6月於公園內觀察、調查水質及採樣水母，科學研究期間以善待生物及不影響生態為原則，保護生物之生存環境為主要考慮因素，並不會有虐待動物、影響生物生存之行為：
1. 研究之動物為仙后水母，該生物非農委會保育類生物且為無脊椎動物，實驗數量約每次20隻左右，共採集2次。
 2. 在水母研究者正修授及林園紅樹林保育協會長指導及陪同下前往濕地公園觀察、調查和採樣。
 3. 實驗過程中營造適合水母生存的環境並將對水母的傷害減至最低。
 4. 實驗地點：國中校園
- 學校；指導教師簽名：
- 電話：07-3892919
- 地址：
- 五、 林園海洋濕地紅樹林保育協會同意以上切結內容。
-
-
- 立書人簽名：
- 中華民國107年11月20日

【評語】 030305

作品適切地結合學校與林園海洋濕地公園的地方特色加以設計實驗，內容具鄉土教材性及實用價值。環境調查結果發現溶氧量對水母的存活有關鍵的影響，鹽度及水深也影響水母的生長。針對海洋公園空拍環境與水母分佈說明做得清楚明瞭，不過水母大量存在對於當地生態保育是一種正向指標或是負向指標需做多方討論。此外，研究的目的清楚，假說性較弱，屬於環境因子測試生物反應研究，若能有此基礎演變成具有生物學假說式研究，應更具有研究精神與性質。深度實驗宜用梯度平台而非斜坡，不同溫度也會影響溶氧狀態(究竟單純溫度，亦或溫度影響溶氧，進而造成差異，未能排除)，實驗室設計有諸多細節可以更加詳盡考慮。

壹、研究動機

水母不是應該注在海裡嗎？生物課本下冊第四章曾介紹刺絲胞動物門的生物都住在海裡，原本以為只有在海生館、水族館等才能見到的物種，竟然就在我們生活周遭的自然環境中真實的存在著！而這種住在瀉湖裡、與我們如此接近的倒立水母，據了解其數量並非很穩定的存在濕地公園的各個區域，也隨季節而有明顯的變動。水母有可能是養殖業者抽海水而帶入此湖，然水母數量隨季節和地點數量變化大，影響遊客數。為了進一步了解海洋濕地公園湖中倒立水母的生態環境以及其行為與族群消長情形的變化，於是我們開始展開對海洋濕地公園內倒立水母的調查研究。

貳、研究目的

- 一、調查與訪查林園海洋濕地附近區域的環境特性
- 二、調查公園內倒立水母分佈的區域與數量消長情形
- 三、了解與觀察倒立的仙后水母生活與行為
- 四、飼養與觀察仙后水母的構造與生理現象
- 五、探討仙后水母對各種環境因素之耐受性
- 六、探討仙后水母對各種環境因素之趨性
- 七、探討傘體在不同環境因素之收縮率
- 八、找出濕地公園仙后水母消長原因提出棲地營造之建議



圖1新聞報導~煙囪下的淨土!高雄林園水母現蹤(華視新聞20180908)

參、研究方法

一、文獻探討

(一) 仙后水母的分類地位

- Kingdom Animalia 動物界
- Phylum Cnidaria 刺胞動物門
- Class Scyphozoa 水母綱(1目)
- Order Rhizostomeae 根口水母目(1科)
- Family Cassiopeidae 倒立水母科(1屬 1種)
- Genus Cassiopea 倒立水母屬
- Cassiopea andromeda (Forsskål,1775)**
- 倒立水母(國內相關文獻甚少)

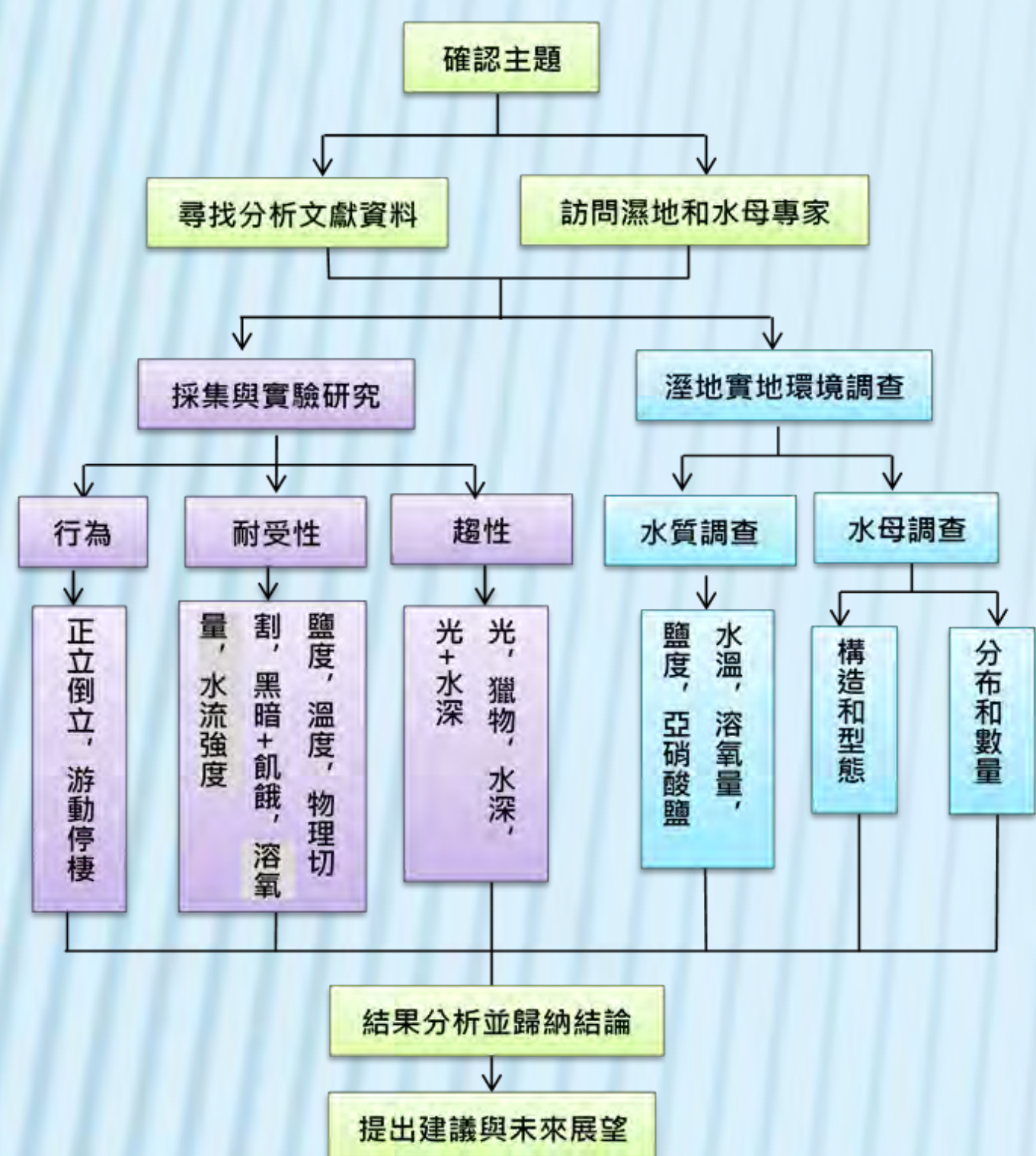


(二) 仙后水母簡介

仙后水母(學名: *Cassiopea andromeda*)，英文俗名為 Upside-down jellyfish，分布於全球熱帶海域，主要棲息於陽光充足且無海流的淺海，如潮間帶至水深10m的沙質環境，有時也可見於淺水泥質底、海草床上或瀉湖地形。臺灣地區曾在屏東、綠島、澎湖群島與東沙島瀉湖等地發現過本物種，此水母與一般水母不同，大部分時間傘頂朝下，含有共生藻的觸手朝上，靜靜停在海底對著陽光，又名“倒立水母”。倒立水母棲於水底層時，會持續收縮傘部，以產生水流來增加物質交換的速率或帶來獵物。當遭遇干擾時，傘部的收縮頻率會加快，以游離原棲息地。目前已知許多水母類的傘部收縮頻率及活動方式，與日週律、溫度、光線、溶氧量及獵物多寡等因子有關；在組織學與生理學的相關研究，已發現倒立水母的棲地需有充足光線供共生藻行光合作用，且體內含有特殊的藍色蛋白質色素(Cassio blue)以吸收紫外線等短波長輻射，避免水母體的組織受到強光傷害。

有關倒立水母行為學方面的研究則非常有限，亟待進一步研究，很少實地了解倒立水母的生活環境水質及環境變化以推論水母對環境選擇的趨勢，因此我們決定飼養仙后水母並觀察與設計實驗了解水母對環境因子的耐受性範圍為何？面對環境的劣勢會有何反應？希望能更了解決定倒立水母移動遷移與否之主因為何？

二、研究架構



三、研究設備與器材

採樣物種：高雄市林園海洋濕地公園內的仙后水母。

研究場地：海洋濕地公園、學校實驗室以及有自然照光的廣場。

設備與器材：撈網、燒杯、透明水盆(15×18×29cm)、保麗龍盒、養殖業者抽取海水、海水素、打氣設備、保麗龍盒、檯燈、溫度計、尺、標籤紙、空拍機、數位相機、複式顯微鏡、解剖顯微鏡、實驗紀錄本、燒杯、滴管、NO₂-試紙、pH儀(GB5011)、鹽度計、水質分析儀(JENCO MODEL3020M)、溶氧量測量儀(WTW Oxi3310)、筆電、webcam網路攝影機、WebcamCapture定時拍照程式、movie maker影音編輯軟體...等。

四、林園海洋濕地公園環境水質調查

(一)實地走訪林園濕地公園及附近養殖業者，了解濕地公園各湖的成因與環境。

(二)實地調查濕地公園中之倒立水母數量和分布情形。

(三)以水質分析儀記錄各觀測點以及飼養盆內的水溫、溶氧量、導電度、鹽度、pH值、含氮量，以了解各觀測點的水質。



圖2水母室內及戶外飼養並利用網路攝影機拍照軟體定時拍照

圖3以 pH 儀、NO₂ 試紙、溶氧量測量儀器、多功能水質測量儀測量水質

五、水母型態與構造觀察

自海洋濕地公園撈取大、中、小型水母體數隻，以解剖和複式顯微鏡和數位相機觀察攝影水母的身體型態與構造並記錄之。

六、實驗研究

(一)探討仙后水母對海水鹽度之耐受性

- 1.以海水素泡製鹽度15‰、20‰、35‰、40‰、50‰、60‰的海水，以500ml燒杯裝400ml毫升鹽度不同的海水，並各放入3隻大小相近直徑約7~10mm的仙后水母。
- 2.以檯燈照光、室內飼養、未打氣、不餵食，水溫約22-25的方式飼養，一天後觀察水母的存活情形及並計算傘體收縮率。



圖5 配置6種不同鹽度的海水飼養仙后水母

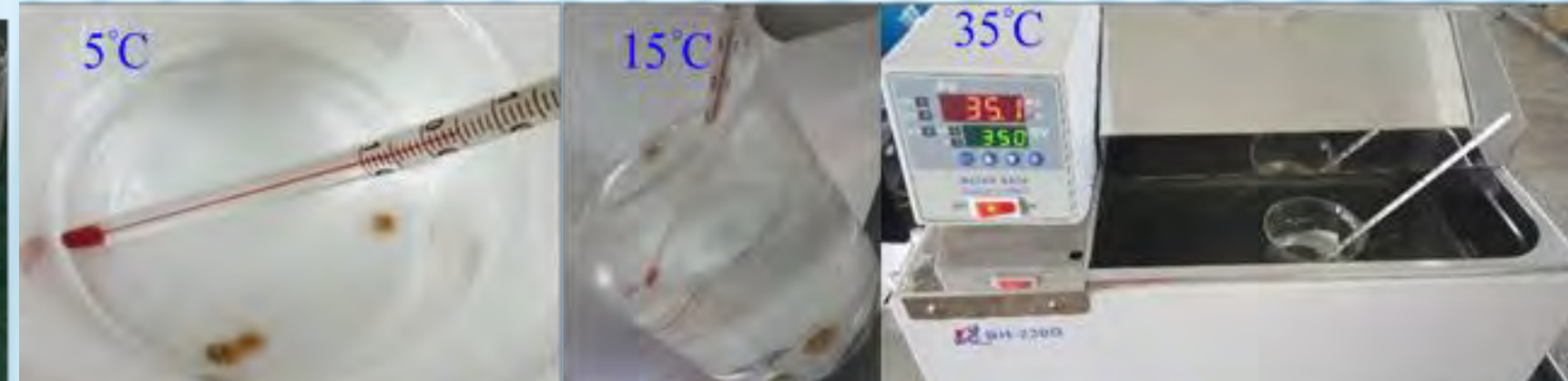


圖6 置放不同溫度的環境飼養仙后水母

(二)探討仙后水母在對溫度之耐受性

以海水素泡製鹽度35‰的海水，以500ml燒杯裝400ml毫升海水並各放入3隻大小相近直徑約5~10mm的仙后水母。以檯燈照光、室內飼養、未打氣、不餵食，分別放置在溫度5°C、15°C、25°C、35°C的環境，一天後觀察水母的存活情形及並計算傘體收縮率。

(三)探討仙后水母在對光照及餵食與否之耐受性

- 1.以海水素泡製鹽度35‰的海水，以500ml燒杯裝400ml毫升海水並各放入3隻大小相近直徑約5~10mm的仙后水母。
- 2.在室內飼養、未打氣，分別以照光餵食、照光不餵食、黑暗餵食、黑暗不餵食的環境中，連續飼養五天後觀察水母的存活情形及計算收縮率。

(四)探討仙后水母對溶氧量之耐受性探討

- 1.準備三個1000ML燒杯裝海水900ML，先將其中一杯海水煮沸並密閉為低溶氧組；高溶氧組海水持續打氣維持高溶氧，以溶氧儀器測量並記錄下高低溶氧組溶氧量。
- 2.在照光環境下測量水母於不同溶氧組別的收縮率(收縮次數/每1分鐘)。
- 3.光組測完後，將水母放回正常溶氧燒杯並將燒杯置入暗室，零溶氧組再次煮沸後用保鮮膜照密閉，高溶氧組持續打氣至隔天，靜置一天後再測量黑暗環境中二組水母的收縮率。



圖7 低溶氧組和高溶氧組海水備製與溶氧測量

(五)探討仙后水母對切割之成功率與生長情形

- 1.取不同大小仙后水母，以單面刀片將其中三隻縱切成二半，其中一橫切成傘體、口腕觸手二部分。
- 2.被切斷裂後水母置放於35‰的海水，以照光不餵食的環境中，連續處理20天後觀察水母的存活及生長、收縮情形。



圖8 將仙后水母縱切和橫切成二部分

(六) 仙后水母之趨光行為探討

- 1.以不透光的隔板下方挖洞，將含蓋保麗龍盒飼養盒分成黑暗區、靜置區、光亮區。
- 2.將10隻小型母(直徑2cm以下)置於靜置區，靜置一天後觀察水母的移動情形。
- 3.中大型水母(直徑超過2cm以上)則以大型壓克力水槽(120cmx15cmx60cm)作趨光實驗：



圖9 小水母的趨光行為測試



圖10-1 中大型水母的趨光行為測試

(七)仙后水母水深選擇行為探討

為了解倒立水母對水深是否有感受和選擇趨性，我們大型水槽傾斜30度，讓水深度介於0~30cm之間，模擬自然湖區有不同深度，然後將15隻水母放置於靜置區5分鐘後，打開隔板放置一天後觀察水母的分布情形，裝置如圖10：



圖10-2 水母對水深選擇的行為測試

肆、研究結果與討論

一、林園海洋濕地公園內水母分布和水質調查

(一)位於林園海岸，面積 6.2 公頃，目前 1.2 公頃為海灘。原為港嘴與西溪里交界的天然河流，西面河流在出海處形成潟湖，當地有自然生長的海茄苳，後來因養殖漁業興起，抽取海水養殖，將循環海水排放入潟湖中，故湖中鳥類、魚類非常豐富；102 年徵收漁塭，移除墳墓，開闢為林園海洋濕地公園，我們在 12 月份以空拍機拍攝濕地公園，並標示 4 個採樣點。



圖 11 海洋濕地公園空拍機拍攝濕地公園，並標示 4 個採樣點。

(二)根據 104 年林園海洋濕地公園濕地保育教育推廣計畫調查報告，104 年時水母數量全年都有，夏天最少，一年有五月、十一月為大發生期，然而今年我們現場訪查多次發現只有紅樹林潟湖區(採樣點 3)才有倒立水母出現，人工湖(採樣點 1)、連結水道(採樣點 2)及出海口(採樣點 4)均未發現水母，原因為何尚待進一步探討。於是我們調查 4 個採樣點的水質：現場以儀器測量水溫、溶氧量、導電度、鹽度、亞硝酸鹽等五項檢測數據。如下表所示：

表 1 林園海洋濕地水質調查結果

調查日期	水母數量	水溫 (°C)	溶氧量 (mg/L)	導電度 (us/cm)	鹽度 (ppt)	亞硝酸鹽 (mg/L)
107.01.03	無	26.5	2.08	49.2	32.0	2
採樣點 1-人工湖(01.03)	無	24.6	0.79	50.1	32.9	0.75
採樣點 2-連結水道(02.18)	無	25.3	2.11	49.8	32.1	1
採樣點 3-紅樹林(01.03)	中小型水母多	27.6	3.30	49.5	32.3	1
採樣點 3-1-紅樹林(02.18)	多大型水母	25.7	1.82	48.0	31.3	1
採樣點 3-2-紅樹林(01.03)	多大型水母	25.0	2.89	48.9	31.9	2
採樣點 3-2-紅樹林(02.18)	多大型水母	25.6	1.96	48.1	31.5	1
採樣點 4-出海口附近(01.03)	無	25.0	2.12	45.3	29.3	3
採樣點 4-出海口附近(02.18)	無	25.8	1.59	46.3	30.1	2
無餵食組		21.9	1.03	50.9	33.5	0.5
餵食組 2 天後		23.9	0.34	50.8	33.3	0
乾淨飼養盆 1/4		25.6	2.06	47.3	30.7	0
水質優化飼養盆 1/4		20.8	0.01	54.5	36.1	0.25

表 2 RPI 指標之計算及比對基準

水質項目	未(稍)受污染	輕度污染	中度污染	嚴重污染
溶氧量(DO) mg/L	6.5 以上	4.6-6.5	2.0-4.5	2.0 以下
懸浮固體(SS) mg/L	20 以下	20-49	50-100	100 以上
氨氮(NH3-N) mg/L	0.50 以下	0.50-0.99	1.0-3.0	3.0 以上

5.根據河川污染指數(RPI)基準值，濕地的海水水質溶氧量屬於中重度汙染，氫鹽和固體懸浮微粒則屬於輕中度汙染，水源為排放養殖水，難免有汙染物，倒立水母能在此區域長期生活，可見其對環境耐受度高。

二、仙后水母構造生活行為觀察

(一) 仙后水母的一生

水母的一生有兩型，即水螅型和水母型，並有兩型在有性生殖與無性生殖之間的世代交現象，而我們常見的水母則是有性的水母型，我們這次研究的對象是水母體



圖 12 水母生活史

(二) 身體構造觀察

- 成熟後的仙后水母個體大小直徑約 1~30 公分，擁有八個分枝狀口腕，體色為褐色、淺褐、灰色或淺綠，表面有時布有斑點或淺色條紋。
- 水母有三個主要部位：傘頂、觸手和口腕。口腕，功能就像嘴巴，水母藉著傘體擴張然後迅速收縮，通過噴水推進便能向反方向游動。傘頂邊緣有一排圓形小囊，當水母向一方過度傾斜的時候，這些囊就會刺激神經末梢來收縮肌肉，並把水母轉到正確的方向上去，水母並不擅長游泳，牠們常常要藉助風、浪和水流來移動。
- 時常以觸手朝上、傘頂朝下的姿態漂浮於海底，藉「倒立」使共生於其觸手及身體的蟲黃藻 (Zooxanthella) 行光合作用，供應自身能量。

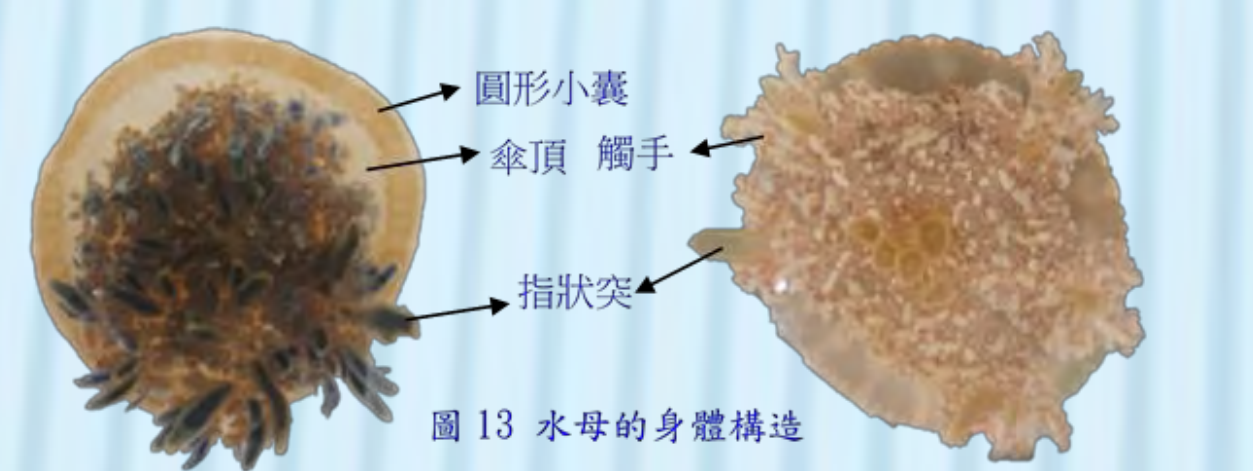


圖 13 水母的身體構造

- 水母在環境有明顯變動時(例如:換新的海水或突然打氣時)會釋放大量的黏液，有一次在採集時回程將摩利魚和水母放在同一水族箱，結果約一小時的路程魚很快死亡，屍體附在水母觸手上飄搖逐漸分解。根據文獻指出，水母的觸手和身體上都布滿刺絲胞，分泌的黏液中亦含有刺絲囊可幫助水母快速整傷、捕捉或征服獵物。亦會捕食小型浮游生物，傘頂上有白色線條稱為徑向水管，用來輸送養分至水母的身體各部份。

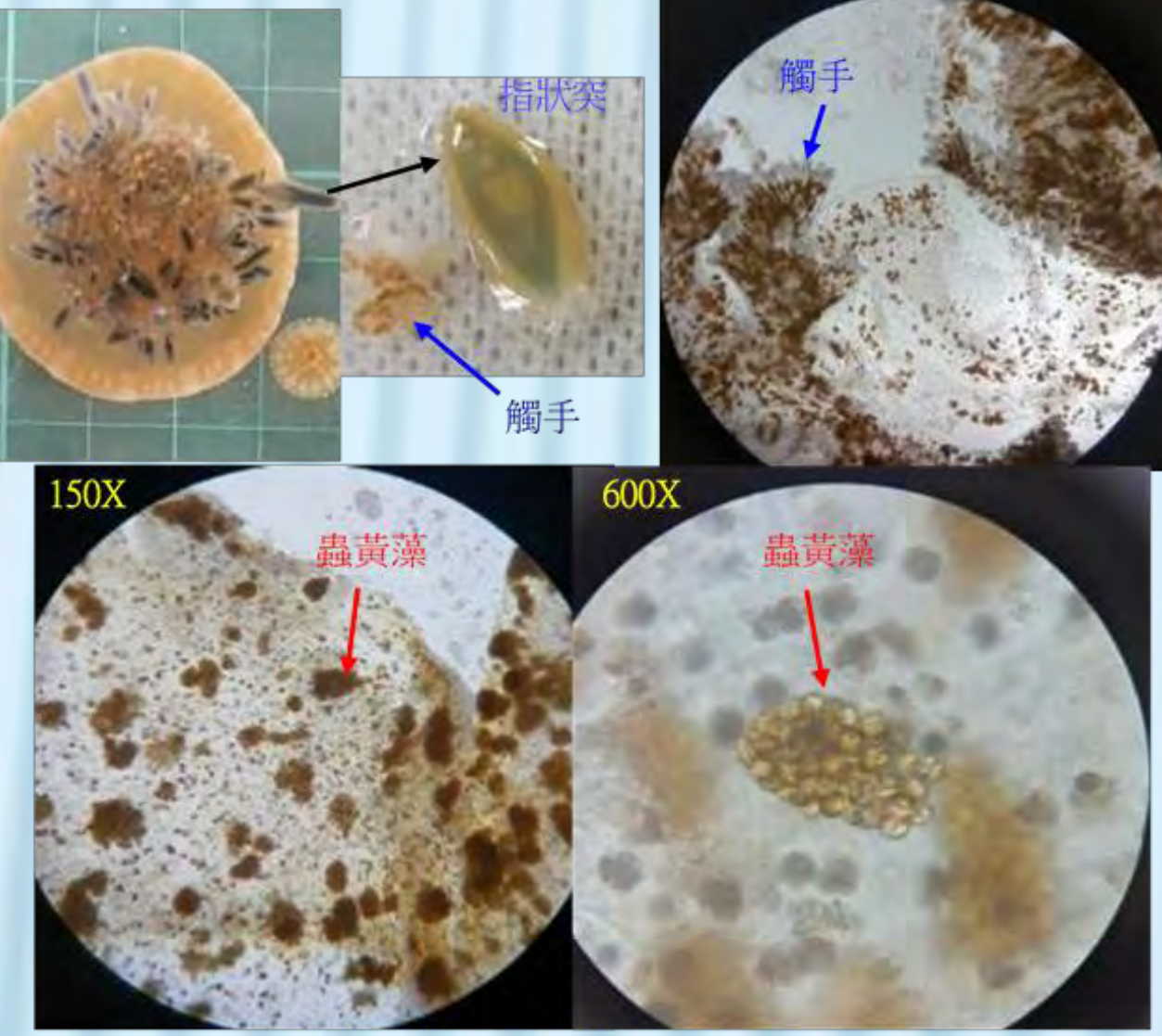


圖 14 水母觸手的顯微構造觀察



圖 15 水母釋放黏液(如→)可使活生生的摩利魚死亡(如→)

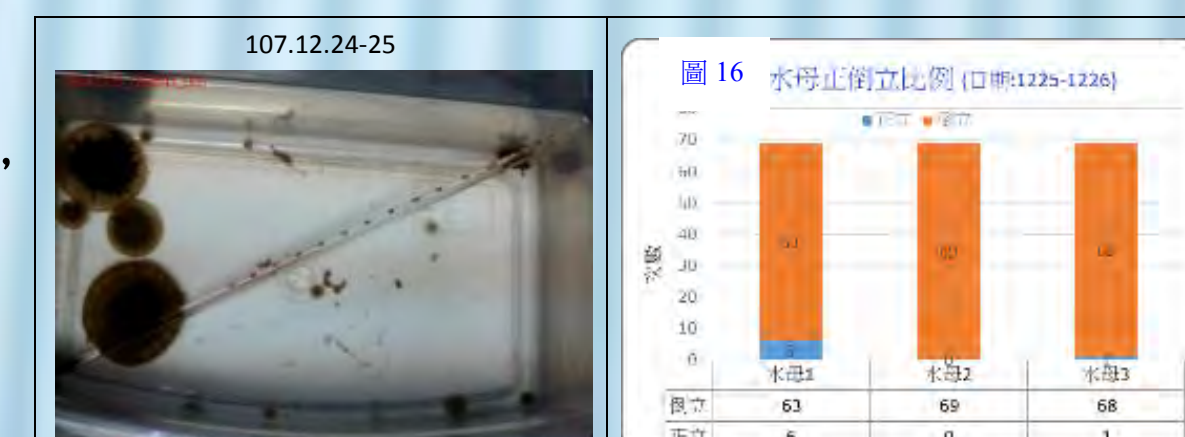


圖 16 水母正倒立比例(人工湖 01.03-12.25)

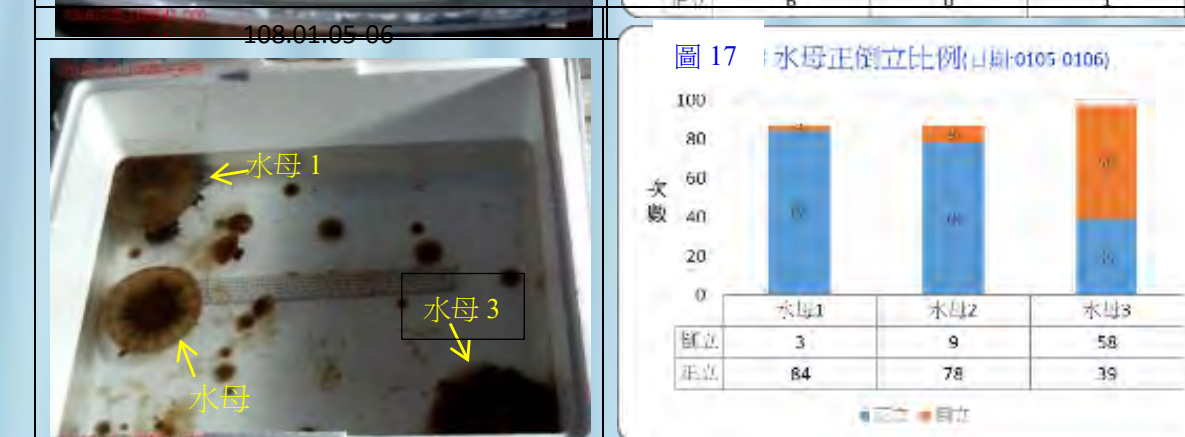


圖 17 水母正倒立比例(連結水道 01.03-02.18)

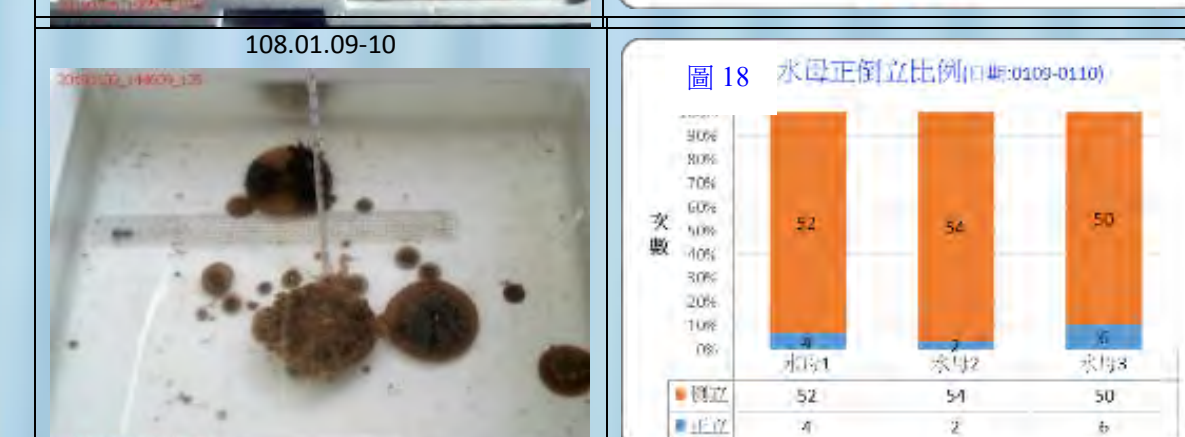


圖 18 水母正倒立比例(紅樹林區 01.03-02.18)

(三) 仙后水母的一天

為了知道倒立水母是否一定會呈現倒立，我們以webcam網路攝影機配合電腦定時拍照軟體，每 5 分鐘拍攝一張照片，隨機挑選三天的照片，追蹤紀錄其中三隻水母的一天中(如影片)，正立和倒立的次數並做成統計圖表如下：

發現：

- 多數的仙后水母大多數時間呈現倒立的狀態，但偶有因游動而呈現正立的情形，如圖 42.44 二天的情況；有時也有少數水母會多數時間呈現正立狀態，偶爾倒立，如圖 43 的水母 1.2 所示。
- 根據水母的一天錄影紀錄，水母的一天並非一直停在原地不動，會不斷地換位置，夜晚和白天的活動情形並無差異。

三、仙后水母對環境耐受性探討

(一) 鹽度耐受性測試結果

- 經實驗發現仙后水母屬於廣鹽性適應生物，對鹽度耐受範圍在 20ppt~50ppt，20ppt~50ppt 海水中均能存活一天以上。
- 15ppt 和 60ppt 鹽度海水雖能存活一天，但水母傘體部分呈現杯狀，但肌肉仍能持續收縮，鹽度 7% 海水中仙后水母死亡，傘體和口腕脫離的情形。

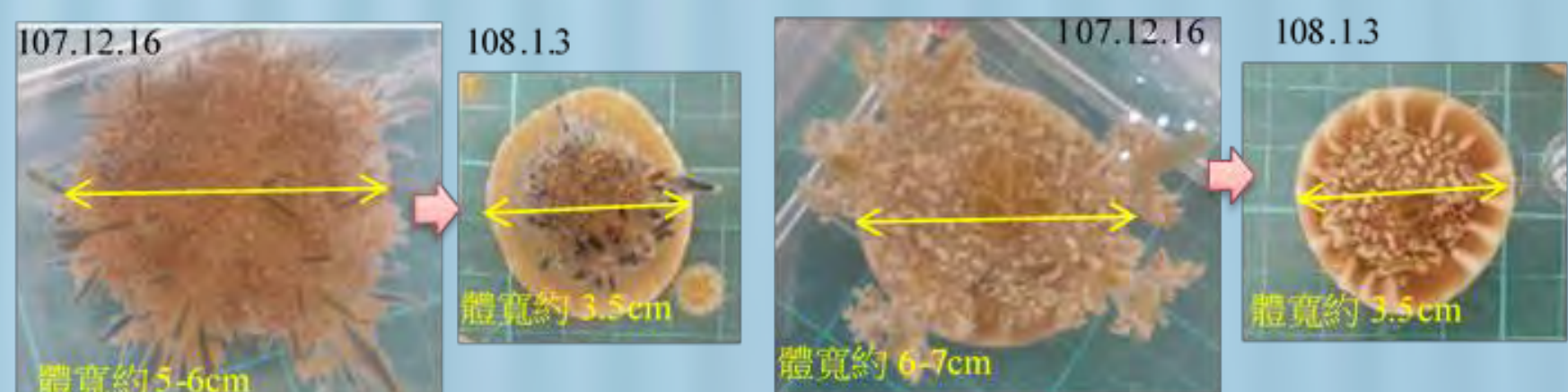


圖 33 長期不餵食缺乏光照仙后水母型態變化

- 水母環縱肌對鹽度敏感度不同導致水母呈現杯狀，放回 35ppt 海水一天後，水母再度呈現圓盤狀態，推論在鹽度 15~60ppt 範圍內尚未導致細胞永久死亡，僅造成暫時性脹縮。
- 不同鹽度中水母 30 秒收縮率比較如圖 17，結果發現鹽度過低水母收縮率下降明顯，高鹽度的海水對水母收縮率影響不大，即使傘體形狀變杯狀，仍會持續穩定地收縮。

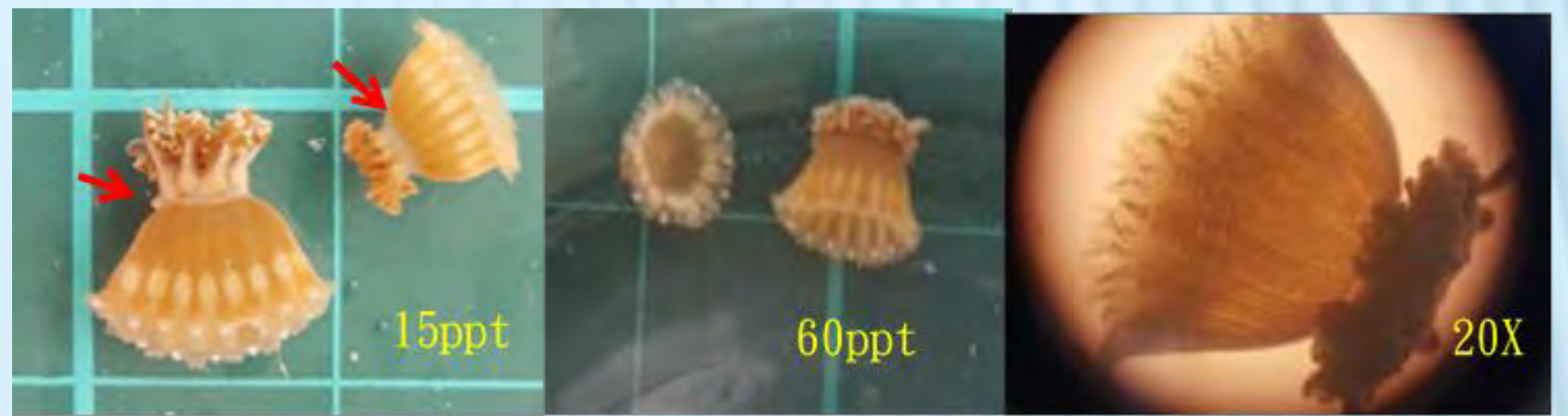


圖 19 水母在鹽度過高和過低的環境中傘體成杯狀

(二) 溫度耐受性測試結果

- 1.5 °C 環境中水母隔天從冰箱取出觀察已死亡，恢復室溫很快分解，15 °C 環境能存活但收縮率變緩慢。
- 2.40 °C 收縮速度變快且水母變形稍呈杯狀，其中有一隻傘體和口腕觸手分離，傘體持續收縮至第二天方見死亡，其他在回到常溫後，則回覆正常仍存活。在 15~35 °C 範圍內，水母的收縮率隨溫度增高而增快。



圖 21 水母在溫度過高和過低的環境中的異常狀況



圖 20 不同鹽度水母收縮率比較



圖 22 不同溫度水母收縮率比較

(三) 溶氧耐受性測試結果

- 1.在照度約 1000LUX，鹽度 35ppt，水溫約 28 °C，三隻水母每分鐘平均收縮率：正常溶氧組(3mg/L) > 高溶氧組(6mg/L) > 低溶氧組(1mg/L)，低溶氧組中水母收縮率明顯較其他兩組低推測與減少耗氧速率有關，而在高溶氧環境中水母收縮率比正常溶氧稍微低，如圖 23。
- 2.為了進一步測試在光照和黑暗中，仙后水母對水中溶氧的耐受性是否有差異？於是我們將實驗環境改成在暗室中進行(照度約 2~5LUX)，實驗裝置如圖 24，一開始將水母置放於高溶氧環境中，接下來每 20 分鐘測量水中溶氧量並作紀錄，結果發現在黑暗中水中的溶氧下降速率比光照環境中下降快許多，推測與水母體內共生藻的光合作用產氧率和二種生物細胞呼吸作用耗氧率有關。

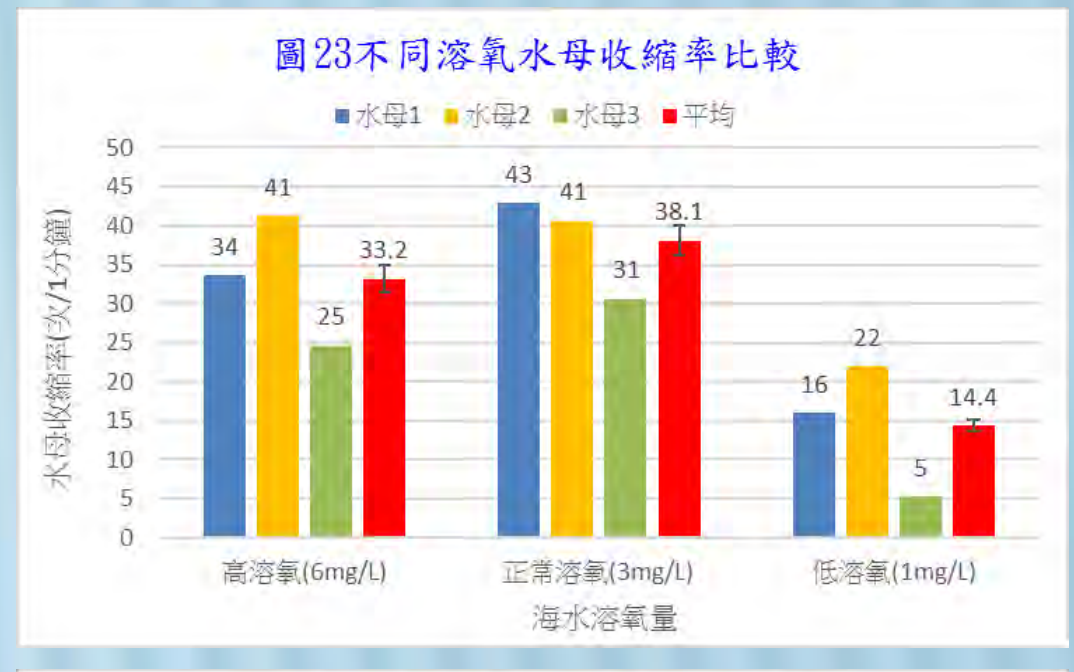


圖 23 不同溶氧水母收縮率比較



圖 25 光照和黑暗中水母環境溶氧量變化



圖 24 水母在光照和黑暗中溶氧耐受性測試

- 3.光照組最後水中溶氧量趨近於 1.5 左右，而黑暗組最水中溶氧趨近於 1 左右，將以上實驗結果跟我們的林園海洋濕地湖區水質調查結果對應，結果發現採樣點 3(紅樹林區)溶氧量介於 2~3.3 之間(中度汙染)水母尚可生活其中，人工湖區和連結水道有時水中溶氧量降至 2~0.5(嚴重汙染)不利水母生存。

(四) 物理切割耐受性測試結果

- 1.小型水母(直徑小於 1 公分)縱切二半後各自仍能收縮生長，各自片段都也很有活力，一天後各自仍正常收縮存活，二天後原 1/2 圓形已長到約 3/5 圓，約二週後已長回復圓形狀態。
- 2.小型水母橫切成傘體和口腕觸手分離二部分，圓形傘體持續收縮游動，觸手微微飄動可存活。二週後各片段仍存活，傘體部分明顯生長，觸手比較沒有增生情形。橫切傘體二週後長出新口腕部，再生的口腕細胞內亦含有藻類，可見蟲黃藻可以隨新生的細胞一起增生；原來的口腕和觸手仍單獨存活但無法收縮亦無法長出傘體，觸手分支明顯減少，藻類濃度也變得較少。
- 3.體型較大(直徑約 5 公分)的水母縱切二半，和再切一刀成 1/4 圓後的水母片段，第一天的傘體收縮率就逐漸下降，一週後均無法順利存活下來，再生能力和傷口癒合能力都比小型水母差，死亡後造成整盆水質變差。

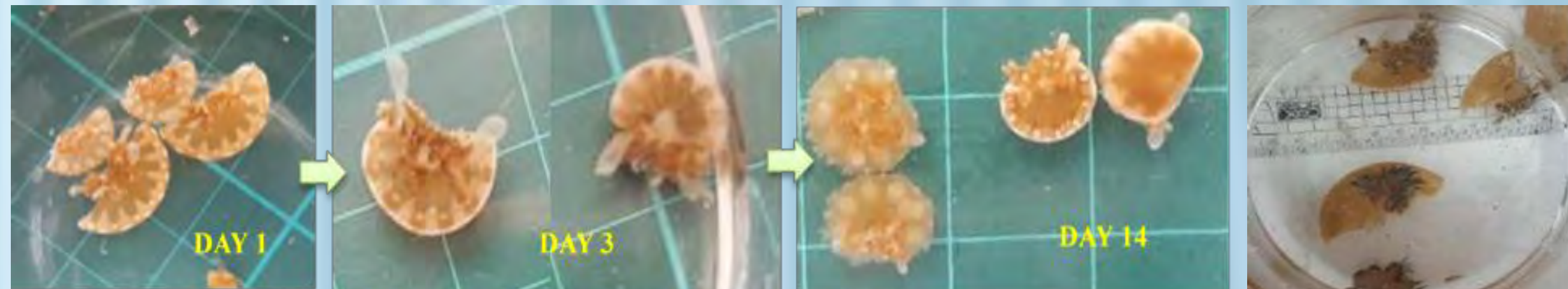


圖 26 小型水母縱切成二半後二週長回圓形

圖 30 大型水母縱切後無法順利再生

(五) 黑暗和饑餓耐受性測試結果

- 1.各組可存活一星期以上，其中黑暗餵食組的三隻小魚有二隻死亡被分解，光照組三隻小魚都存活著，可見光照充足水母不一定會釋放刺絲胞捕食，而黑暗中倒立水母會捕食以補充養分。
- 2.水母傘體的收縮速率：黑暗餵食 > 光照餵食 > 光照不餵食 = 黑暗不餵食，有放入活小魚餵食組無論黑暗光照收縮率均較不餵食組高。且在黑暗餵食組有二隻小魚隔天就死亡了。
- 3.長期營養不良(不餵食缺乏正常光照)，倒立水母並不會死亡，只是其收縮頻率會逐漸變得較小，觸手和口腕分支也會變少，推測水母會分解吸收自己的體內成分以維持其生命，如圖 33：



圖 27 小型水母橫切後傘體和口腕、觸手之變

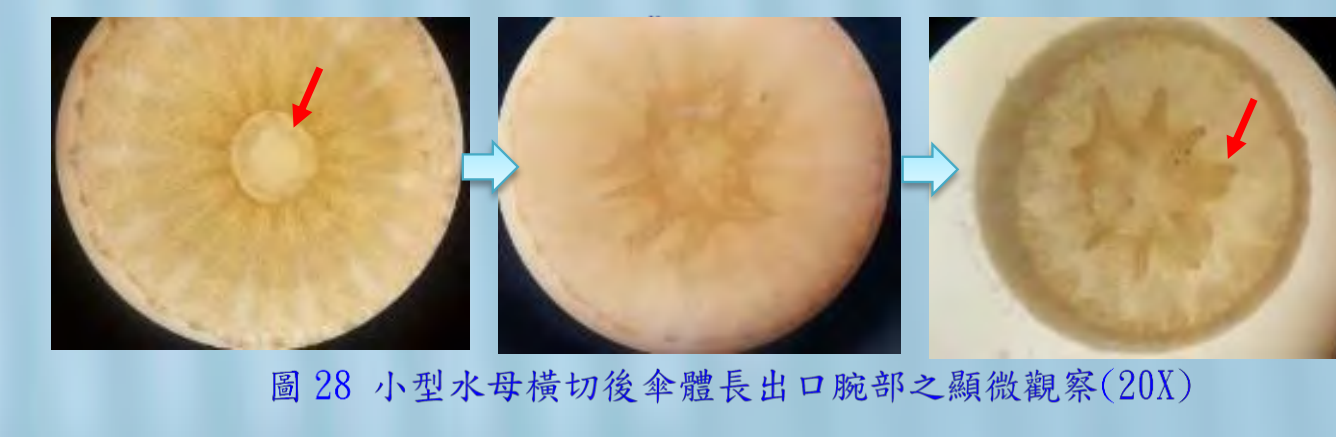


圖 28 小型水母橫切後傘體長出口腕部之顯微觀察(20X)

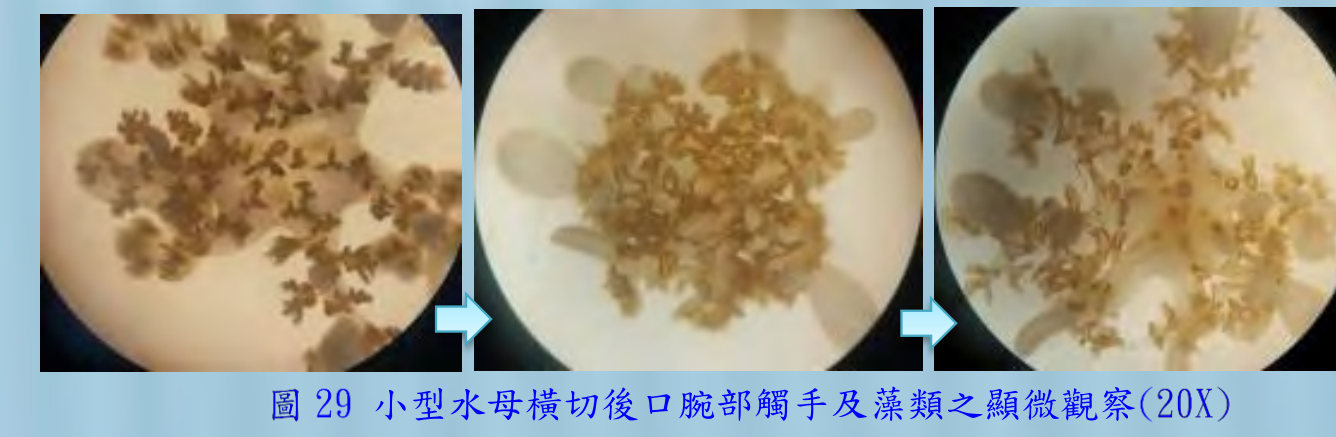


圖 29 小型水母橫切後口腕部觸手及藻類之顯微觀察(20X)

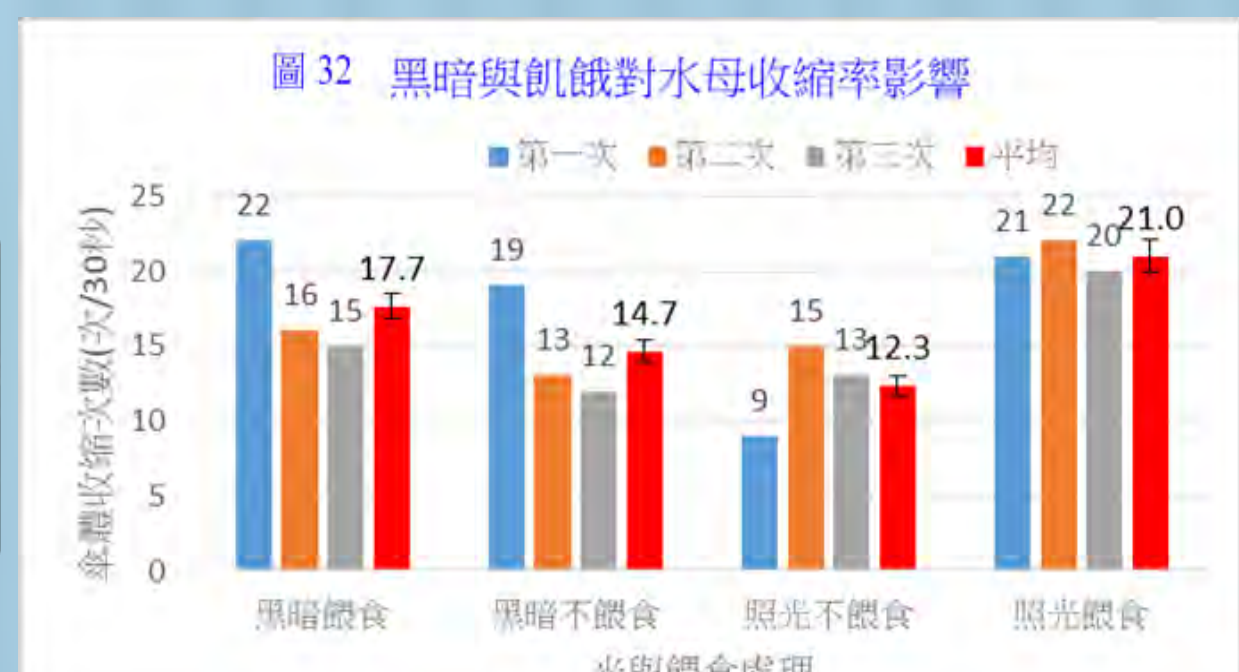


圖 32 黑暗與饑餓對水母收縮率影響

四、探討仙后水母對環境因素之趨性

(一)對光趨性測試結果

1. 三次實驗結果顯示**小型水母對光沒有明顯趨性**，與之前文獻結果不同，有可能是我們用的保麗龍盒太小及不完全黑暗，亦有可能小型水母對光趨性不明顯，於是我們再用更大的壓克力水槽，並在黑暗區貼上三層黑色塑膠袋外加一層鋁箔，再作趨光性實驗。

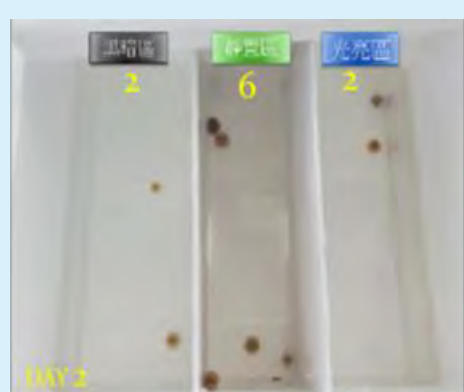


圖 35 小型水母趨光性實驗結果

2. 中大型水母大水槽趨光性實驗結果顯示，停留在光亮區水母數量最多，**中大型水母有明顯趨光性，且傘體收縮率光照區>靜置區>黑暗區。**

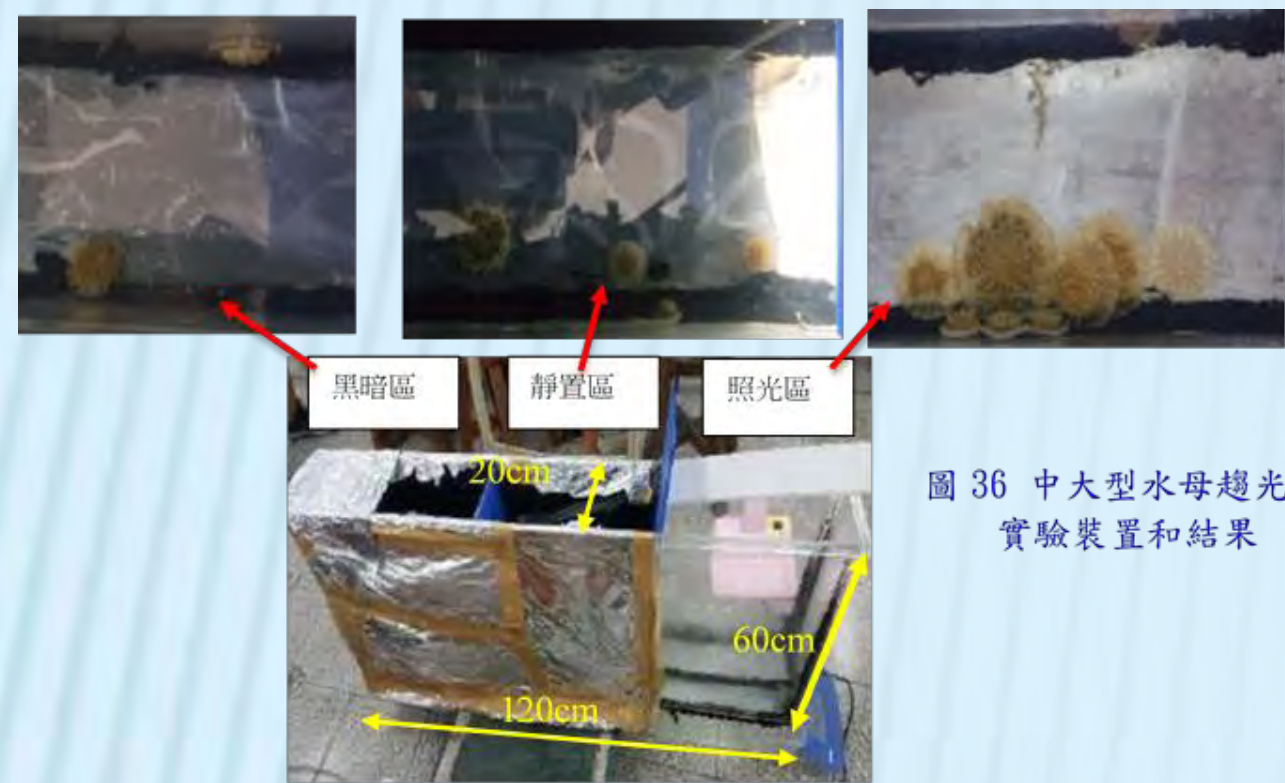
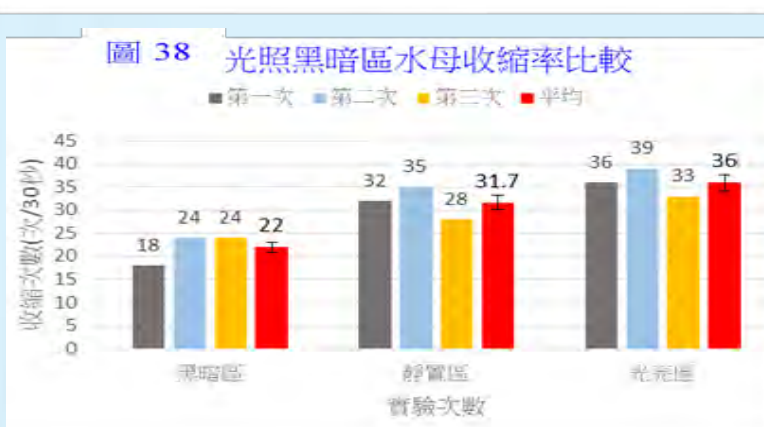


圖 36 中大型水母趨光性實驗裝置和結果



(二)對飼食的趨性測試結果

1. 我們在餵食區放入冷凍的豐年蝦無節幼體，10隻小型水母擺放靜置區一天後**水母並沒有明顯往餵食區移動的狀況。**

2. 中大型水母在餵食摩利魚前後亦不見有明顯趨向餵食區移動的狀況，但在放入游動的摩利魚後，**水母的收縮率明顯增加。**

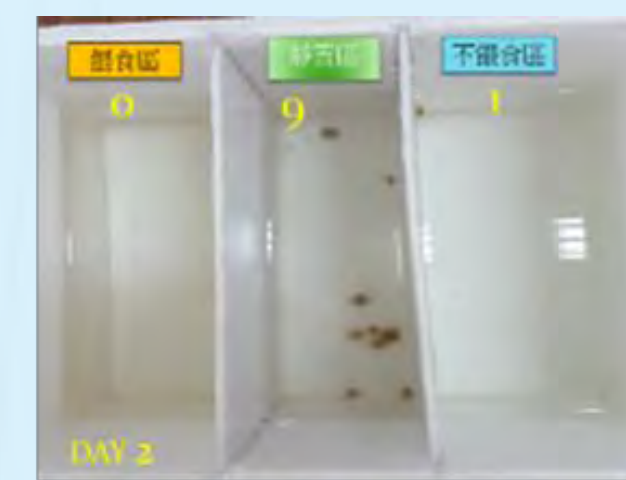
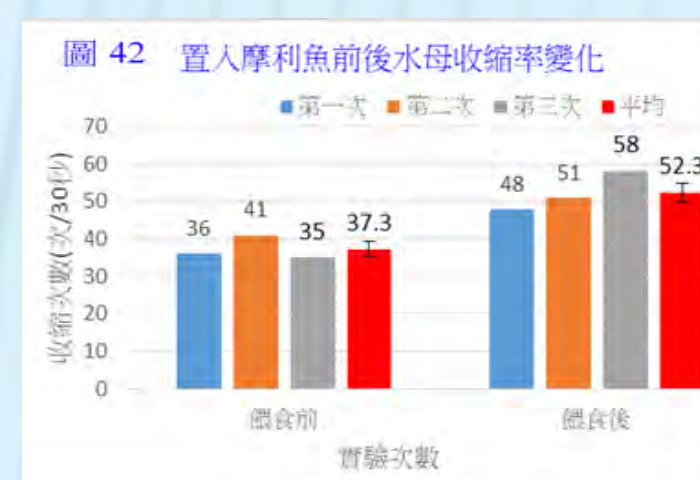


圖 39 小型水母餵食區性實驗結果



圖 40 中大型水母置入摩利魚後收縮率增加

(三)對水深的趨性測試結果

1. 將15隻水母置放水深約10-15cm的靜置區，打開通往兩側的隔板靜置一天後，**水母多趨向深水區聚集。**

2. 由於水槽底部是壓克力材質，所以我們覺得水母也有可能倒立停棲時逐漸滑向深水區，所以我們決定**倒入珊瑚礁碎石鋪在底部增加摩擦力，重作水深實驗，結果如圖45顯示，水母還是趨向深水區居多。**

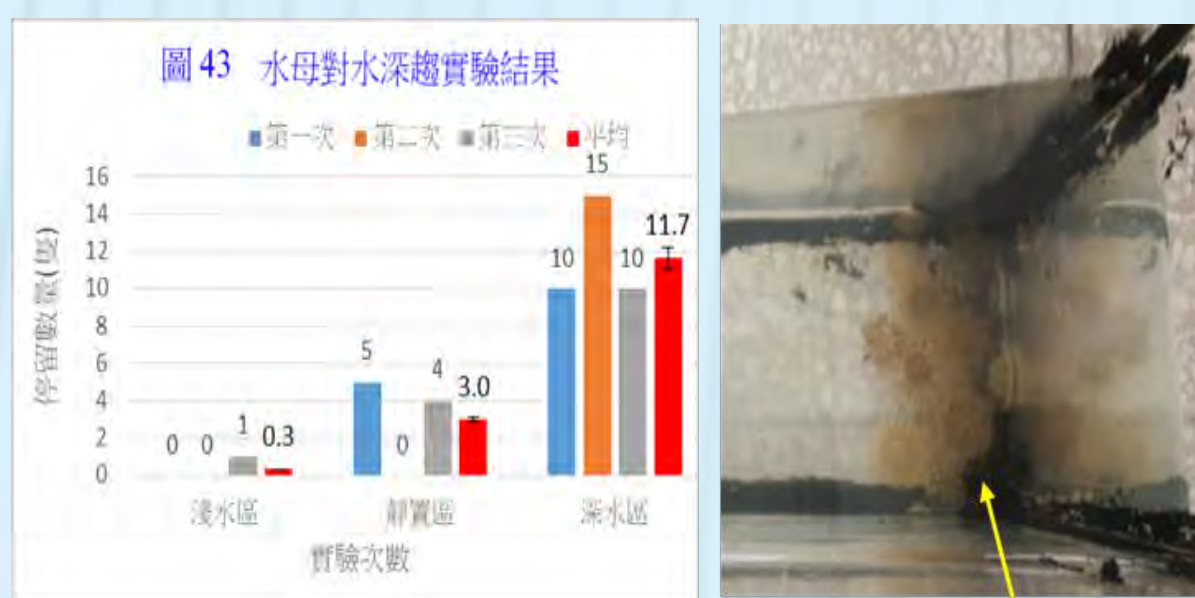
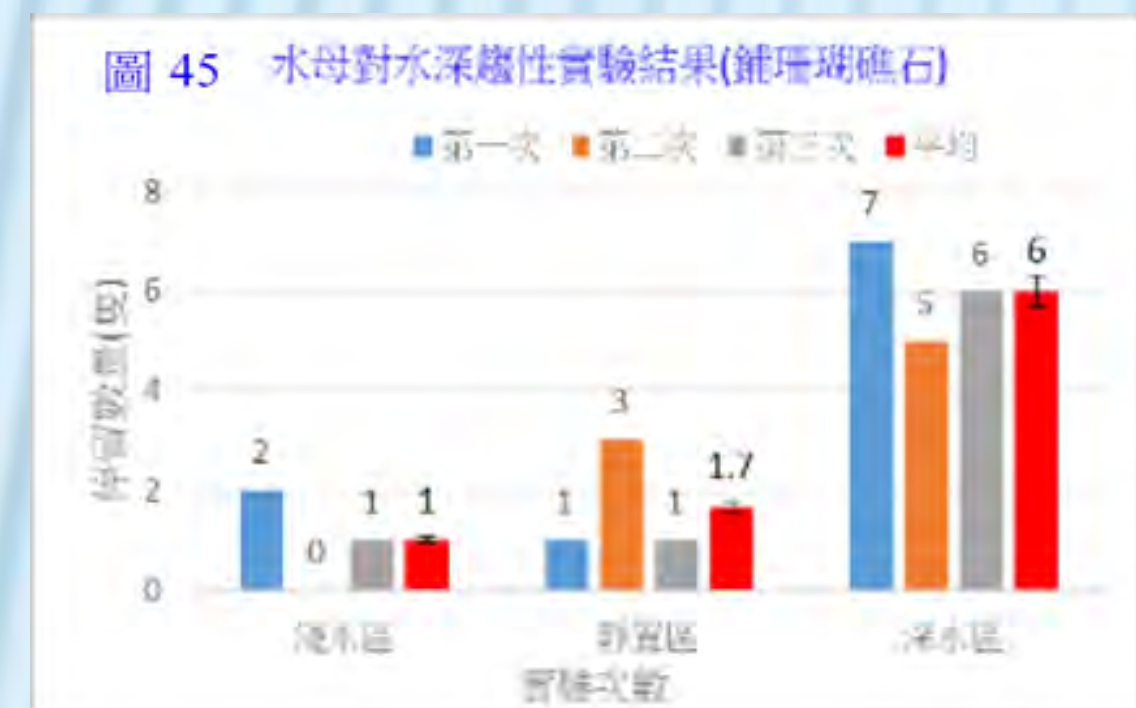


圖 44 水母趨向深水區聚集



(四)對光+水深的趨性測試結果

1. 根據前面實驗結果仙后水母有趨向光和深水區的趨勢，若淺水區照光而深水區黑暗的情形下，水母趨性為何呢？我們一樣實驗了三次，結果如圖46顯示**水母趨向淺水照光區域或在靜置與照光交界處的數量較深水黑暗區多。**

2. 趨向淺水照光區的水母傘體收縮率較靜置區快，**黑暗深水區水母的傘體收縮率明顯較慢**，如圖47所示。

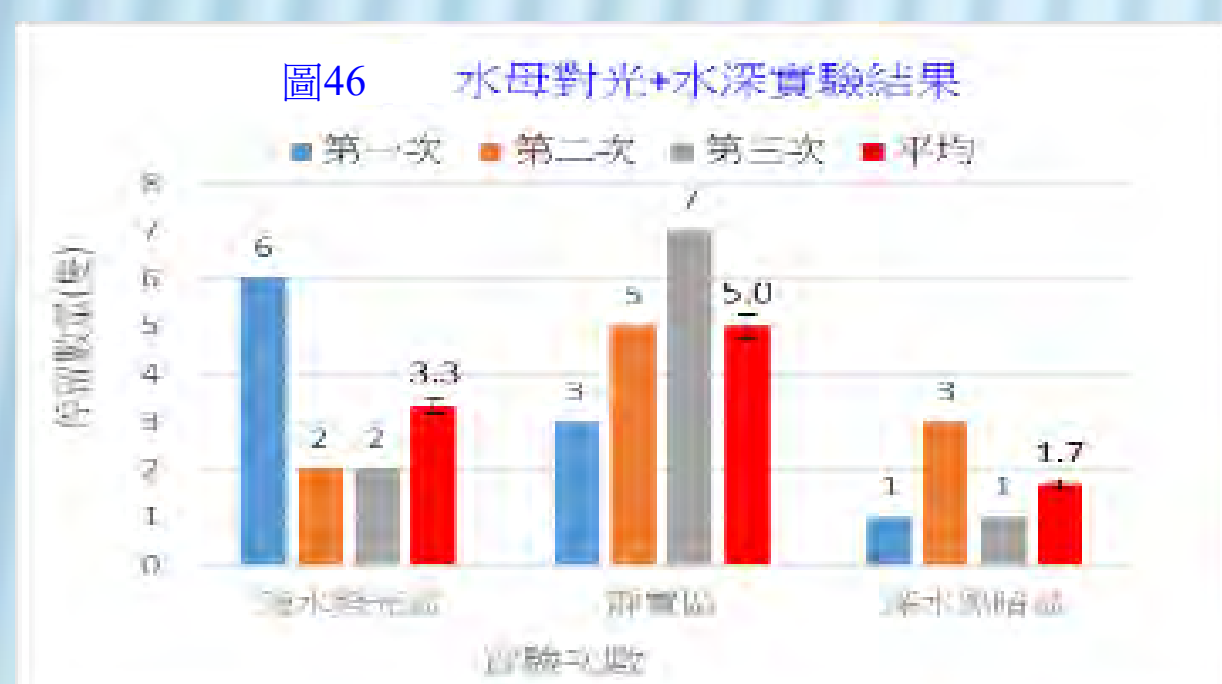


圖 48 趨向淺水照光區的水母收縮率較快

(二)為何今年只有紅樹林瀉湖區有水母存在?根據水母耐受性與趨性實驗結果對照濕地空拍圖推理，原因可能有以下幾點:

1. **人工湖區湖體顏色明顯和紅樹林瀉湖區不同，水體透光度低，營養鹽、氨鹽濃度高、溶氧低，缺乏紅樹林植物生態的自然循環與調節，建議適當的以空氣幫泵打氣或滴流曝氣以增加溶氧量，另外減少水體內的養殖水排泄物含量，可避免有機物含量升高導致藻類或細菌等大量繁殖而缺氧，亦可沿著人工湖邊復育海茄冬等紅樹林植物。**
2. **連結水道區的末端的水量不穩定**經常是枯竭狀態，影響水質的穩定度；而出海湖區**水流速度太強**，這二區域**不見水母生活**，因此建議相關單位能與鄰近養殖業者合作監控湖區各時期的水位，並在枯水期引入適量海水維持水量穩定。
3. **紅樹林瀉湖區水體透光度、有紅樹林自然循環自淨效果**，並有摩利魚剛毛蟲等食物來源充裕，加上環境具有水母趨向光並有適宜的水深的特性，並有穩定的水量和緩和的水流速度可維持一定的溶氧量，因此從空拍圖可見有些區域有大量的中大型水母聚集此區。

伍、結論

一、水質調查結果:

- (一)今年度人工湖、連結水道及出海口亞硝酸鹽含量太高，水流速度又快，均未發現水母，**只有紅樹林瀉湖區有倒立水母出現**，推測**溶氧量對水母的存活有關鍵的影響**。
- (二)12月和1月有許多中小型水母在紅樹林西側游動，2月份多大型水母停棲在紅樹林瀉湖區**水深較深區域**。
- (三)此區水源為鄰近養殖業排放水，難免有汙染物，倒立水母能在此區長期生活，對環境耐受度高。

二、構造與行為觀察:

- (一)水母的一生我們這次研究的對象是有性的水母體，其身體分成**傘頂、觸手和口腕**三個主要部位。
- (二)藉**倒立**使共生於其觸手及身體的**蟲黃藻**行光合作用，供應自身能量；藉著**傘體擴張與收縮**，通過噴水推進反向游動。
- (三)在環境有明顯變動時釋放**含刺絲胞的黏液**，可幫助水母快速整傷、捕捉或征服獵物。
- (四)大多數時間呈現倒立的狀態，但偶有游動而呈現正立或直立的情形，夜晚和白天的活動情形並無明顯差異。

三、對環境耐受性:

- (一)對**鹽度**耐受範圍20ppt~50ppt，鹽度過高或過低傘體呈杯狀，亦有傘體和口腕脫離的情形，鹽度過低水母收縮率下降明顯。
- (二)對**溫度**耐受範圍15~35°C，傘體收縮率隨溫度增高而增快，溫度過低水母死亡，溫度達40°C時傘體稍呈杯狀，亦有傘體和口腕觸手分離情形。
- (三)對**溶氧量**耐受範圍至少1.2mg/L以上，低溶氧狀態水母收縮率明顯降低推測與減少耗氧速率有關，在**黑暗中水母生活的水中溶氧下降快速**。
- (四)小型水母**縱切**二半存活率較大型水母高，可長回圓形狀態；**橫切**後的傘體可長出新口腕部且蟲黃藻隨新生的細胞一起增生；但口腕部雖存活但顏色變淡觸手分支變少且無法收縮亦無法長出傘體。
- (五)長期**黑暗與飢餓**均可正常存活三星期以上，光照充足不一定捕食，而黑暗中**會捕食**以補充養分。有**餵食組**無論**黑暗照光傘體收縮率均較不餵食組高**。
- (六)若長期**缺乏營養**，水母體變小、傘體收縮變慢，觸手和口腕分支變少，推測**水母分解吸收自體成分以維持生命**。

四、對環境因素之趨性:

- (一)小型水母對光趨性較不明顯；中大型水母**有明顯趨光性**，且傘體收縮率**光照區>靜置區>黑暗區**。
- (二)小型水母對飼食的趨性不明顯；中大型水母在餵食摩利魚後雖**不會趨向餵食區**，但水母的收縮率明顯增加。
- (三)對水深的趨性測試結果顯示，無論是平滑底部或鋪珊瑚礁石增加摩擦力水母多**趨向深水區聚集**。
- (四)對光+水深的趨性測試結果顯示，水母趨向淺水照光區或在靜置區與光照交界處，**水母對光的趨性較水深明顯**。
- (五)**傘體收縮率**在光照、餵食、淺水區時較快，黑暗、深水區收縮率明顯較慢。

五、對濕地公園水母棲地營造之建議:

- (一)比較文獻對濕地水質之監控(104年)與我們今年(108年)的數據後發現，水溫和鹽度變化差異不大沒有超出水母對鹽度或溫度耐受範圍。但今年同時期湖水**亞硝酸鹽含量增加(由0.05增加到2ppm)**、**溶氧量下降(由3~7降到1~3ppm)**，如果溶氧低於2ppm以下就可能造成魚類缺氧而死亡，這可能是今年水母數量和分布範圍變小之因，**建議當地養殖排放水應作相關監測與控管**。



圖 46 海洋濕地公園空拍環境與水母分佈說明



圖 47 海洋濕地瀉湖中美麗的仙后水母