

2023 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

普高組 成果報告表單

題目名稱：右邊的秘密 - 單色光、紅光與混合光對仙后水母 (*Cassiopea spp.*) 生長評估

一、摘要

本研究量測林園海洋溼地公園，溝渠遮蔭地與向陽湖區光質，光譜右側紅區相對強度差異，可能造成此區深淺白、褐色仙后水母，分布範圍及出現時間不同。以 LED 照光褐水母，LED 單色光 55 天後，紅燈組傘徑及刺絲胞數量少於白燈組，且觸手共生藻數量低於傘體。LED 紅光與混合光 52 天後，市售燈+紅燈，觸手刺絲胞數量低；市售燈+遠紅燈，觸手共生藻數量低於傘體；各混合燈，類胡蘿蔔素濃度減少，體色淡褐透明。

傘體 (R+G+B)/3 高->低，由深褐體色轉淡褐透明，可當作量化指標，但比較共生藻數值，白色水母不是褐水母共生藻大量減少的白化結果，所以 (R+G+B)/3 大小，不適合體色多變的仙后水母野外白化程度的比較。

二、探究題目與動機

調查鄰近濕地公園棲息的仙后水母 (*Cassiopea spp.*)，與珊瑚同屬於具共生藻的刺絲胞生物，有著褐、白色等多樣性，前人探究倒立水母顏色多變的原因，如 LED 單色光、異源性共生藻感染及比較不同時期野外樣本等，並未顯示共生藻數量變動影響傘體顏色。

藉由參與校內多元選修課程，我們觀察學校養殖系統繁殖的倒立水母幼生，發現使用市售全波長 LED 多晶藍燈的養殖缸，竟然出現藍白色仙后水母體，傘體白色透明藍色環狀花紋 (圖 1)，與其他褐水母明顯不同，鼓舞我們深入挖掘光質與體色表現的相關性，如單色光長時間再處理、搭配混合光、可能作用光譜區段的追查、光通量等。光與光合自營生物密切相關，是否因此影響共生藻各種方面進而干擾宿主其他組織細胞，調控了傘體色彩。

三、探究目的與假設

(一)、2022.10~12 月，高雄林園海洋濕地公園及校內養殖缸特定光源 (圖 2、3)，光質分析。

1、校內使用市售全波長 LED 多晶藍燈 (其後內容以“新燈”、“新”表示) 之養殖缸。

2、紅樹林海茄冬呼吸根溝渠長期遮蔭處。觀察期間，目視均為褐水母。

3、湖邊向陽區。進入秋冬季後，漸漸出現深淺白色水母、與褐水母交錯分布於湖區。

(二)、實驗一：LED 單色光照光後，對仙后水母生長的評估。使用光源分析如下表。

照光 24 小時、60 天。實驗期間，每隔 15 天，拍照紀錄傘徑大小、存活率、傘體 RGB。實驗結束後，測量共生藻數量、刺絲胞數量。評估單色光源下，仙后水母之光適應。

實驗 LED 燈組 [ⓐ]	紫外燈 [ⓐ]	藍燈 [ⓐ]	綠燈 [ⓐ]	黃燈 [ⓐ]	紅燈 [ⓐ]	黑暗 [ⓐ]	白燈 [ⓐ]	陽光 [ⓐ]
波長 (nm) [ⓐ]	405 [ⓐ]	460 [ⓐ]	520 [ⓐ]	585 [ⓐ]	620 [ⓐ]	0 [ⓐ]	380~780 [ⓐ]	380~780 [ⓐ]
光通量 (μmol/m ² /s) [ⓐ]	- [ⓐ]	90.68 [ⓐ]	46.74 [ⓐ]	10.9 [ⓐ]	69.62 [ⓐ]	0 [ⓐ]	71.92 [ⓐ]	1313 [ⓐ]
實驗 LED 燈組 [ⓐ]	紅+藍燈 [ⓐ]	遠紅燈 [ⓐ]	新燈 [ⓐ]	新燈+紅 [ⓐ]	新燈+遠紅 [ⓐ]	新燈+陽光 [ⓐ]	陽光 [ⓐ]	陽光 [ⓐ]
光通量 (μmol/m ² /s) [ⓐ]	78.31 [ⓐ]	34.66 [ⓐ]	42.20 [ⓐ]	101.54 [ⓐ]	39.08 [ⓐ]	8.95 [ⓐ]	827 [ⓐ]	827 [ⓐ]

(三)、實驗二：LED 紅光與混合光照光後，對仙后水母生長的評估。使用混合光組合如上表。

照光 8 小時 (8:00~16:00) 光亮 / 16 小時黑暗、60 天。實驗期間，每隔 15 天，拍照紀錄傘徑大小、存活率、傘體 RGB。實驗結束後，測量共生藻數量、刺絲胞數量、葉綠素及類胡蘿蔔素濃度。評估混合光源下，仙后水母之光適應。

(四)、分析組織共生藻具體數值，參酌傘體 RGB 數值，釐清 RGB 分析是否適合作為仙后水母顏色改變的量化指標；是否適合作為判斷仙后水母白化或白化趨勢的指標。

四、探究方法與驗證步驟 (圖 1)

(一)、光質分析儀，測量 2022.10~12 月，濕地公園及校內養殖缸特定光源光質分析。發現光譜右側紅區相對強度有差異。

(二)、設計試驗一、實驗二，確認光譜右側紅區，是否影響仙后水母顏色表現。

(三)、生物體色分析：

待測生物放入自製之拍照箱，避免環境光線的干擾，取得傘體正面照片後，使用色彩分析軟體 Image J，擷取全部傘體正面，計算色彩資訊 RGB 值。色彩數據分析用 2 種方式，其一，B/R，越小，偏暗偏紅；B/R，越大，偏亮偏藍；其二，根據文獻 (王心蘋、許芋寧、顏好珊，2022)，以 $(R+G+B)/3$ 表示，數值越大，顏色偏淡偏白，數值越小，顏色偏深偏褐。

(四)、單位面積刺絲胞數量：

預備實驗裡，瞭解仙后水母刺絲胞 (圖 4) 主要分布觸手口腕處，因此剪取該組織，做水埋玻片，複式顯微鏡以 1000X 觀察，計算視野範圍內刺絲胞總數，即單位面積刺絲胞數量。

(五)、單位體積重量共生藻數量：

由仙后水母體組織中萃取共生藻 (圖 4)，作法為均質完成的水母組織，以離心、懸浮等過程，再用血球計數板計算共生藻數量。

(六)、葉綠素、類胡蘿蔔素濃度測定：

剪取共生藻組織後，置於微量離心管。離心管加入 95% 酒精後，置於 0°C、24 小時，使溶出光合色素。使用分光光度計測量，上機前，以冷凍離心機 4°C、200g、離心 10 分鐘，吸取上清液，量測 664、648、470 nm 吸光值。

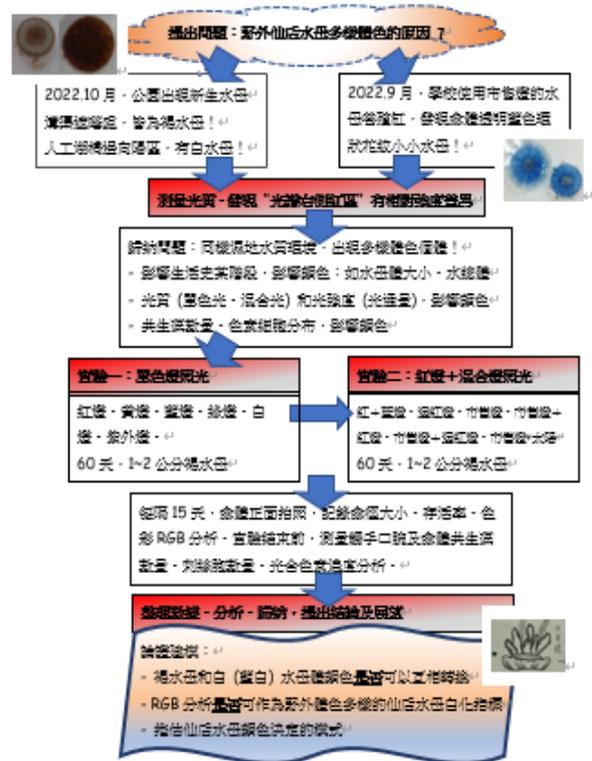


圖 1、研究架構



圖 2、取樣之遮蔭處和向陽區、光質測量

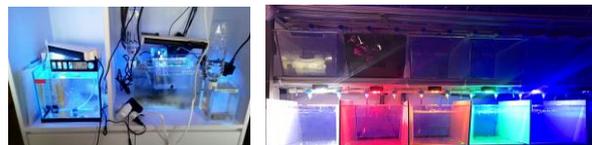


圖 3、養殖缸搭配市售燈、照光實驗組

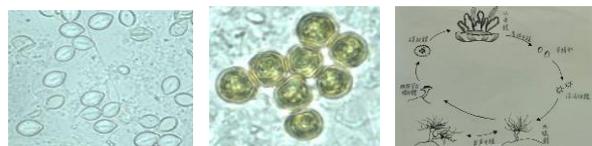


圖 4、仙后水母刺絲胞、共生藻、生活史

五、結論與生活應用

結果

(一)、測量 2022.10~12 月，海洋濕地公園及校內養殖缸特定光源光質分析。測量校內使用市售全波長 LED 多晶藍燈之養殖缸放置處、海洋濕地公園紅樹林海茄冬呼吸根溝渠長期遮蔭處、人工湖橋邊向陽區，光質分析結果如右表 1，測量時間為當日 12:00~15:00。

1、學校養殖缸搭配市售 LED 多晶藍燈放置室內西曬處 111.11.16、111.11.24、111.12.05，和近燈處 111.12.03 比較，養殖缸放置處的光質紅區有明顯相對強度增加。

2、比較 111.11.09 及 11.28 溝渠處和向陽區光譜，紅區明顯有高相對強度的累積天數。

3、設計實驗一和實驗二，確認光譜右側的紅區，是否影響水母顏色表現。

(二)、實驗一：LED 單色光 (白/紅/黃/綠/藍/紫外光/黑暗) 照光後，對仙后水母生長的評估。

1、LED 單色光照光 60 天後，存活率、傘徑大小結果，如圖 5、6。白、藍、紅、黃燈組，平均存活率 > 96%。且白燈傘徑明顯增加增加最多；紅燈、黃燈組，傘徑變小。

2、LED 單色光 60 天，RGB 如表 2。天數增加，各組褐水母體色漸淡且呈透明。(R+G+B)/3，約增加 2 倍。R/B 值變小，體色偏亮，但紅燈組 R/B 數值偏大，體色相對較深。

3、LED 單色光 55 天後，共生藻數量、刺絲胞數量，如圖 7、8。除紅燈組，均在觸手口腕處較傘體多，與野外結果一致，比值 1.3~2.1。紅燈組，觸手口腕共生藻數量低於傘體，比值为 0.9。刺絲胞數值，白燈、藍燈組多，約 23~25 個。

表 1、高雄林園海洋濕地公園及校內養殖缸光質分析。

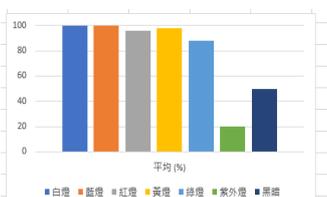
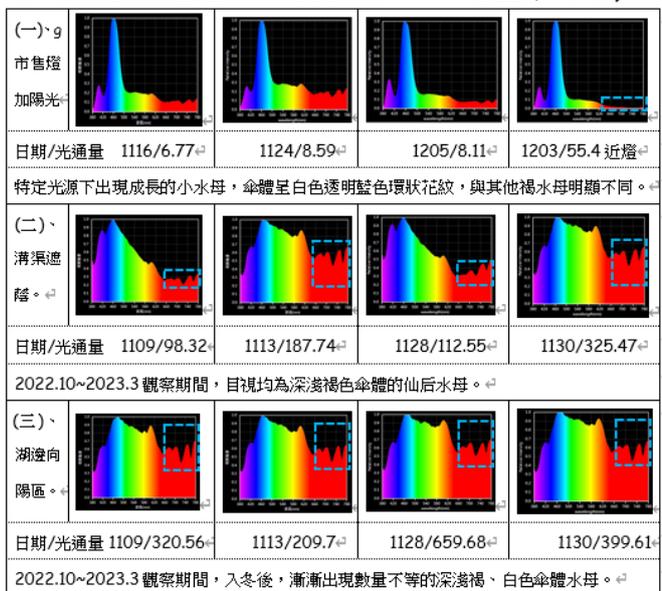


圖 5、LED 白燈、藍燈、紅燈、黃燈、綠燈、紫外燈、黑暗，照光 60 天，仙后水母存活率 (%) 比較。

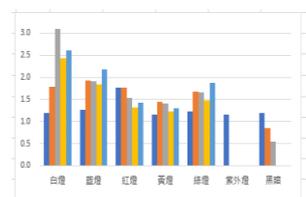


圖 6、LED 白燈、藍燈、紅燈、黃燈、綠燈、紫外燈、黑暗，照光 60 天，仙后水母傘徑 (cm) 比較。

表 2、LED 白燈、藍燈、紅燈、黃燈、綠燈、紫外燈、黑暗，照光 60 天，褐色仙后水母傘體 RGB 值比較。

LED 燈組	Day1	Day15	Day30	Day45	Day60
白燈	68	71	126	114	121
藍燈	80	76	124	134	129
紅燈	78	90	106	112	104
黃燈	67	75	95	87	108
綠燈	77	80	110	123	117
紫外燈	73	76	-	-	-
黑暗	80	72	100	-	-
R/B					
白燈	2.7	2.7	2.1	2.6	2.2
藍燈	2.5	2.6	2.2	2.1	2.0
紅燈	2.0	6.9	2.7	2.8	2.5
黃燈	2.6	2.5	2.4	3.1	2.2
綠燈	2.6	2.5	2.5	2.6	2.3
紫外燈	2.6	2.5	-	-	-
黑暗	2.4	2.7	2.0	-	-

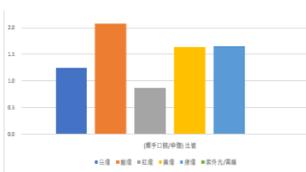


圖 7、LED 白燈、藍燈、紅燈、黃燈、綠燈、紫外燈、黑暗，照光 55 天後，仙后水母(觸手口腕/傘體)比值，單位面積共生藻數量比值。

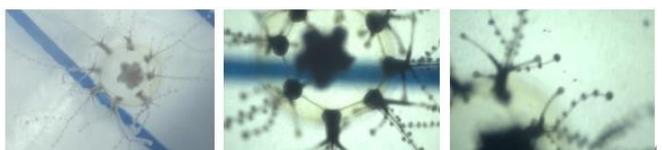
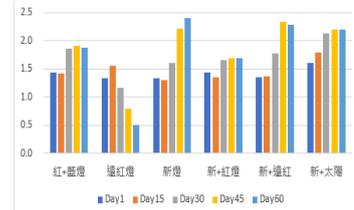
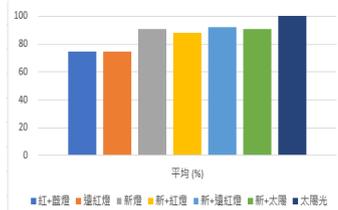


圖 9、由左→右，黑暗組個體傘徑日益縮小，及在解剖顯微鏡觀察後拍照的型態。

4、黑暗組型態，黑暗組褐水母，傘徑日益縮小，第45天，過濾黑暗缸全部水體逐一確認，僅剩1傘徑約1mm個體。如圖9，原觸手口腕處有似芽體分支的結構。

(三)、實驗二：LED紅燈與混合光 (LED紅+藍燈/遠紅燈/新燈/新+紅燈/新+遠紅燈/新+太陽/太陽) 照光後，對仙后水母生長的評估。

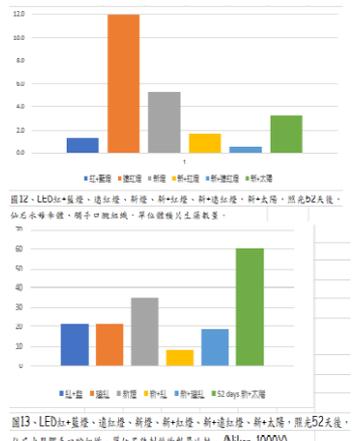
1、LED紅光和混合光照光60天後，傘徑大小、存活率結果，如圖10、11。紅+藍燈、遠紅燈，存活率 < 85%。其他各處理組，約為88~100%。遠紅燈組，隨天數增加，傘徑明顯變小。其他各組，隨天數增加，傘徑增大。



2、LED紅燈與混合光照光60天，傘體RGB，如表3。天數增加，各組褐水母體色漸呈淡褐且透明。(R+G+B)/3，約增加20%~30%。R/B值變小，體色偏亮。但紅+藍燈組、新+遠紅燈組，相對其他各組顏色較深。

表3、LED紅+藍燈、遠紅燈、新燈、新+紅燈、新+遠紅燈、新+太陽，照光60天，仙后水母傘體RGB值比較。

LED燈組	Day1	Day15	Day30	Day45	Day60
紅+藍燈	96	125	133	132	125
遠紅燈	104	114	107	119	120
新燈	102	105	115	103	131
新+紅燈	101	131	128	121	133
新+遠紅燈	92	93	127	113	116
新+太陽	93	-	-	-	134
R/B					
LED燈組	Day1	Day15	Day30	Day45	Day60
紅+藍燈	2.5	2.3	2.0	1.9	2.4
遠紅燈	2.7	2.0	2.7	2.0	2.0
新燈	2.3	2.2	2.2	2.6	2.1
新+紅燈	2.1	2.2	2.0	2.2	2.1
新+遠紅燈	2.7	2.6	2.1	2.3	2.2
新+太陽	2.4	-	-	-	2.0



3、LED混合光52天，共生藻數量、刺絲胞數量，如圖12、13。共生藻數量，新+遠紅燈組，觸手口腕共生藻數量低於傘體，比值為0.5。其它各組，均在觸手口腕處較傘體多，與野外結果一致，比值1.3~12。刺絲胞數值，新+紅燈組、新+遠紅燈組偏低，約8~19個，其他處理組，約21~61個。

表4、LED紅+藍燈、遠紅燈、新燈、新+紅燈、新+遠紅燈、新+太陽，自然光照及野外樣本，照光52天後，仙后水母觸手口腕、傘體，葉綠素(Ca+b)和類胡蘿蔔素(Cx+c)含量比較。

LED燈組	52 days						汕尾魚塢 蓄養池				
	紅+藍燈	遠紅燈	新燈	新+紅燈	新+遠紅燈	新+太陽	太陽	白	褐	白	褐
Ca+b 葉綠素											
觸手口腕	2	-	1	1	1	1	3	2	3	2	3
傘體	1	-	1	1	1	1	2	1	2	1	2
Cx+c 類胡蘿蔔素											
觸手口腕	0	-	0	1	0	0	3	1	4	1	3
傘體	0	-	0	0	0	0	2	0	1	0	2
Ca+b/Cx+c											
觸手口腕	5	-	2	1	2	3	1	1	1	2	1
傘體	8	-	8	3	4	4	1	2	2	2	1

4、LED混合光照光52天後，葉綠素及類胡蘿蔔素濃度，如表4。葉綠素濃度，與太陽光照組及野外樣本相較，各處理組各組織略為偏低。類胡蘿蔔素濃度，與太陽光照組及野外樣本相較，各處理組各組織明顯偏低。

(四)、組織共生藻具體數值，參酌傘體RGB數值，釐清RGB分析是否適合為仙后水母顏色改變的量化指標是否適合判斷仙后水母白化或白化趨勢的依據。

- 1、實驗一，如表2，比較各組褐水母體色漸淡且呈透明，(R+G+B)/3，約增加2倍。
- 2、實驗二，如表3，比較各組褐水母體色漸呈淡褐且透明，(R+G+B)/3，約增加20%~30%，可作為由深褐到淡褐透明改變的量化指標。(R+G+B)/3較R/B，量化數值呈現更為明顯。

3、但比較組織共生藻數量，因白色水母並不是褐水母共生藻減少的白化結果，雖海葵、珊瑚、仙后水母等皆為具共生藻的刺絲胞生物，有反應生理的白化狀態呈現，但 $(R+G+B)/3$ 高低，不適合應用於體色多樣的仙后水母，作為調野外族群白化趨勢的比較。

討論

討論一、光刺激仙后水母生活史的時間點與適當光質刺激，可能造成多彩的體色。全光譜的提供，對仙后水母生長是必要的。

觀察學校將溼地採集之親代水母，放入使用市售全波長 LED 多晶藍燈的養殖缸，一段時間，出現藍白色傘體的小水母，傘體呈白色透明藍色環狀花紋，與其他缸褐水母明顯不同，傘徑增大後更換大養殖缸，湛藍水母體色持續至今。

文獻提到倒立水母除胚胎以外的階段，皆具有可行光合作用之共生藻。共生藻除提供營養物質及能量，在水母變態的時候也具有重要功用，只有帶共生藻的水螅體，會觸發水母變態過程。仙后水母的生活史為受精卵-浮浪幼蟲-水螅體-碟狀體-水母體 (圖 4)，或許光刺激是在水螅體或更早時期，因此影響體色，本實驗使用 1~2 公分褐水母，進行 60 天照光實驗，並沒有看到褐色與白 (藍白) 水母，顏色互相轉換，光可能在生活史早期，如水螅體時介入，決定了水母體該發展成何種顏色，形成水母體後除了同色系深淺外，無法做褐色、白色互相轉變。白燈組與混合光實驗，遠紅燈組，傘徑變小，其他搭配市售 LED 多晶藍燈的組別，傘徑變大，顯示全光譜的提供，對倒立水母生長是必要的，與文獻結果相同。

討論二、仙后水母組織葉綠素與類胡蘿蔔素含量

光合色素 (photosynthetic pigment) 在光合作用中參與吸收、傳遞光能或引起光化學反應。光合色素存在於葉綠體類囊膜，包含葉綠素、反應中心色素和輔助色素。在許多藻類中除葉綠素 a、b 外，還有葉綠素 c、d 和藻膽素，如藻紅素和藻藍素。

本研究發現，在室內或半室內養殖實驗規模內，隨養殖飼育天數，褐水母體色越呈淡褐透明，實驗結束分析仙后水母類胡蘿蔔素含量，各處理組明顯低於野外或自然光照組，應是類胡蘿蔔素含量減少，造成體色變淡變透明，符合文獻提出的白化可能原因之一。

討論三、黑暗組的型態

海洋動物如月亮水母 (the moon jellyfish)，是再生作用的主角，有些個體在死後被發現能夠複製自己。2016 年，一位日本科學家報告說，在他的寵物水母死亡三個月後，一個像海葵般的息肉從退化的身體中隆起，然後驚人地「逆齡」生長，恢復到年輕狀態。

目前仙后水母的完整生活史，水母體是否可以無性方式，逆齡轉換回水螅體，仍不十分清楚，而本研究在黑暗組實驗結束時，過濾檢查黑暗組養殖缸全部水體，找到最後類似芽體型態口腕的水母體，或許與逆齡生長相關。

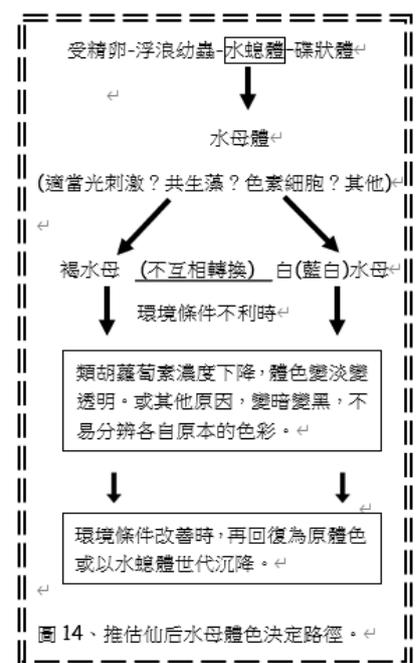


圖 14、推估仙后水母體色決定路徑。

討論四、多彩體色仙后水母出現的可能模式

根據本研究分析的結果，我們推估仙后水母體色決定的可能模式，如圖 14，體色決定在生活史早期，形成水母體後，除同色系深淺外，顏色無法互相轉換。但當環境條件改變時，可能是比較不利健康生長的狀態，體色均會逐漸變淺、透明、或變暗變深，然後至不易分辨。

在紅樹林保育協會、林園愛鄉協會等地方社團多方面支持學生探究、意見交流下，長期持續的追蹤濕地生物訊息、環境狀況，並分享不同採集點各種仙后水母（圖 15），豐富的深淺色彩分配，次次都讓人十分令人驚喜、驚豔。



圖 15、各種不同顏色的倒立水母。↵

結論

高雄海洋濕地公園體色多變的仙后水母，提升了生態觀光價值。本研究

- 一、測量溼地 10~12 月光質，溝渠遮蔭地與人工湖向陽處後，紅光區有相對強度差異，可能因此造成向陽湖區出現褐/白/藍白色深淺等、而遮蔭處均褐色傘體水母的原因之一。
- 二、LED 單色光處理水母 60 天後，紅燈組傘徑、刺絲胞數量明顯小於白燈、藍燈組，且觸手口腕處共生藻數量低於傘體；綠燈、紫外燈、黑暗組死亡率偏高，存活率低於 < 90%。
- 三、LED 混合光處理水母 60 天後，遠紅燈組、市售 LED 多晶藍燈+遠紅燈組，傘徑、刺絲胞數量明顯小於自然光照組，且觸手口腕處共生藻數量低於傘體。
- 四、傘體正面 RGB 數值，各處理組 $(R+G+B)/3$ 隨天數而增加，並且傘體由深褐漸變淡變透明，因此 $(R+G+B)/3$ 可以做為顏色改變的量化指標，但比較組織共生藻數值後，並不適合做為表示仙后水母共生藻大幅減少，造成白化或白化趨勢的依據。

生活應用

倒立水母和珊瑚同屬於刺絲胞動物門，具共生渦鞭毛藻的生物，參考文獻，共生藻數量和共生生物體色表現也有關聯，探討仙后水母多變的顏色，提升濕地生態觀光價值，也再次興起我們對周圍環境的深刻認識，思考地方水產生物再開發、活絡如地區觀光的軟實力。



圖 16、由左→右，校內使用市售燈飼育出的藍色仙后水母正面、腹面、及自溼地採集其親代水母的飼育缸。2022 年 9 月，親代水母缸發現 0.3 公分水母體，傘體已有環狀藍紋，撈出前前方小缸蓋蓋後再移至大缸飼養，持續成長如左圖正腹體色皆深藍的仙后水母。↵

參考資料

01. 黃冠誠 (2021)。高雄市第 61 屆中小學科學展覽會。國中組 生物科：我變漂亮了嗎？人工光源調控倒立水母 (*Cassiopea spp.*) 顏色變化的可行性。
02. 林連蒂 (2022)。葉綠素 a 結合蛋白是維持共生藻和海葵共生的 n 醣蛋白。國立東華大學海洋生物研究所 碩士論文。
03. 王心蘋、許芊寧、顏妤珊 (2022)。高雄市第 62 屆中小學科學展覽會。國中組 生物科：海葵白化藻知道 - 海葵體色之影響因素探討。
04. 李沁瑜、蘇映云、李昀臻 (2022)。高雄市第 62 屆中小學科學展覽會。國中組 生物科：『再見』共生藻！- 感染異源共生藻，對不同體色仙后水母 (*Cassiopea spp.*) 的評估。

