

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物科

第三名

030316

陸蟹的指引燈 — LED 光源對降海中毛足特氏
蟹(*Tuerkayana hirtipes*)誘導行為之研究

學校名稱：高雄市立明華國民中學

作者： 國一 郭宥妤 國一 林稟傳 國一 許涵賓	指導老師： 顏琳堯 楊佳餘
---	-----------------------------

關鍵詞：路殺、抱卵、陸蟹

摘要

降海中陸蟹遭路殺是嚴重的保育議題，本研究探討降海中陸蟹對不同色光的光趨性，評估光趨地下廊道之可行性。研究於壽山進行白、紅、藍、紫、綠光之趨性實驗，分帳篷和水管兩種測試，綜合結果顯示毛足特氏蟹對藍光展現最高的光趨性，白光及紅光次之，最後是紫光及綠光，在綠光閃爍下呈現明顯的迴避性。接著於墾丁香蕉灣進行藍光誘導實驗，得出多數降海中毛足特氏蟹被光源吸引而由藍光處離開。本研究為國內外首次對降海中陸蟹進行光趨性實驗，得出以下結論：降海中毛足特氏蟹對藍光有顯著光趨性，此結果可望應用於陸蟹降海路線的涵道，利用光誘導降低陸蟹於地下廊道的迷航現象並提升其利用，以減少陸蟹媽媽和數以千計的卵遭路殺的機率。

壹、前言

一、研究動機

2021年8月，前往墾丁旅遊時，在路上遇到了「護蟹」的活動，了解到在臺灣南部，由於公路阻斷了陸蟹釋幼的途徑，因此許多陸蟹從山上至海邊釋幼的途中，經過馬路時來不及閃躲迎面而來的車輛，而慘遭車輪無情輾壓，讓我們感到十分不捨。

新聞報導甚至學校課本都有在探討這個問題，這讓我們不禁覺得，為什麼陸蟹遭路殺的數量卻還是無法減少？沒有可行的保護方法嗎？我們請教了陸蟹專家，了解到其實近年來政府與學術單位皆有在進行相關的陸蟹保育研究與行動，第一為每年陸蟹降海季節於特定路段進行交通管制；第二為以人工圍籬引導陸蟹進入地下涵道，使之從涵道另一端爬出。但研究人員在這幾年的實地觀察指出，陸蟹進入涵道常產生迷航現象，不會從涵道另一端爬出。推測原因之一，這些涵道的原始設計是為了排水，因此涵道內經常有積水與水流，並非陸蟹自然行進之路況。原因之二，可能是因為引導陸蟹的自然訊號（月光、海風等）被涵道遮蔽，導致成功透過地下廊道通往海邊的比例很低。因此，我們想針對原因之二採取一些測試，假設我們能夠以人工訊號作為陸蟹引導訊號，是不是有機會增加陸蟹對地下廊道的成功使用率，進而降低陸蟹遭路殺的比例？

二、文獻回顧

(一) 陸蟹的定義

本篇研究所稱的陸蟹皆為狹義定義中的陸蟹：「居住在陸地上，且日常生活不受潮汐影響，但還是需要海水或淡水繁殖的蟹類」〔二〕〔七〕。

(二) 墾丁香蕉灣 – 砂島地區海岸林的陸蟹生物多樣性

陸蟹主要生活於陸地與海洋兩大生態系的交會地帶〔二〕，墾丁國家公園提供陸蟹生存絕佳棲地的條件〔六〕。根據2009至2010年的研究調查顯示，墾丁國家公園的香蕉灣海岸林，是2009年世界上海岸林棲地中擁有最高陸蟹物種多樣性的地區〔九〕〔十〕。

在2020年墾丁國家公園陸蟹調查計畫中，研究團隊再次針對國家公園內的陸蟹作全盤性的調查，結果顯示大部分的優勢陸蟹族群都呈現萎縮，數量也明顯下降。文中歸納陸蟹的生存威脅主要來自棲地破壞、路殺及外來種黃狂蟻的危害，尤其以帝王仿相手蟹、毛足特氏蟹及紫地蟹皆面臨嚴重路殺威脅〔六〕。

(三) 陸蟹的繁殖與路殺研究

大多數雌陸蟹在繁殖季會走到河口或海邊將卵產出，孵化出浮游性的蚤狀幼蟲。這種陸蟹抱卵由海岸林走向海邊的過程，我們稱陸蟹的「降海釋幼」現象〔三〕。

抱卵雌蟹有繁殖使命，牠們必須在卵孵化前抵達海邊才能夠成功的繁衍下一代，因此防止陸蟹遭路殺的措施必須讓牠們能順利且及時地趕到海邊釋放幼蟲。但很不巧地，香蕉灣一帶抱卵雌蟹釋放幼蟲的路線必須橫跨台26線公路，大量車流導致陸蟹面臨嚴重的路殺。2010年的路殺調查顯示，台26線香蕉灣 – 砂島路段在1個月的調查內，有663隻陸蟹死於路殺〔十〕；2019年記錄到超過2400隻的陸蟹遭到路殺〔五〕，2020年陸蟹路殺研究指出，研究期間路殺問題最嚴重的陸蟹分別為陸寄居蟹、奧氏後相手蟹、印痕仿相手蟹、紫地蟹及毛足特氏蟹。大部分面臨嚴重路殺的陸蟹，其路殺原因被認為與降海釋幼行為有關〔四〕。

(四) 墾丁香蕉灣 – 砂島地區陸蟹的保育現況

在台26線香蕉灣 – 砂島路段，公路局於公路旁溝渠內架設繩索（圖一），並建設地下廊道（涵道）橫跨公路（圖二），試圖引導這些降海中陸蟹抵達海邊，但是，近年的研究觀察發現降海過程雌蟹的路殺問題仍不得改善〔六〕。

目前墾丁國家公園具有許多保育志工、研究人員及解說員（圖三、圖四），

在每年農曆6至9月實施守護陸蟹交通管制措施。2022年7至8月份，香蕉灣 – 砂島路段共有299隻陸蟹從公路被人為移至海邊釋放，毛足特氏蟹佔其中236隻〔十一〕。



圖一、公路旁溝渠內誘導陸蟹之繩索



圖二、橫跨台26線公路之涵道



圖三、護蟹宣導志工



圖四、壑管處研究人員執行護蟹計畫

（五）燈光對蟹類趨性的研究

陸蟹專家OOO老師表示，他曾在完全遮光的黑暗環境進行測試，發現在全黑的環境下，陸蟹沒有爬行動作，但開啟手電筒後，陸蟹則會往光源端爬行。再者，紐芬蘭的研究團隊針對雪蟹作了不同LED光源的趨性研究，顯示有75%的雪蟹會趨向藍光和白光，85%的雪蟹會遠離紫光，對綠光和紅光沒有明顯的趨性，此研究提供了可將特定波長之LED光源作為誘餌陷阱的可能性，藉以提升捕獲率〔一〕。且在海洋漁業的應用上，燈光誘集是捕捉海洋經濟物種常用的方法之一〔一〕。路燈的燈光會吸引抱卵橙螯隱蟹往內陸方向遷徙；林投蟹及奧氏後相手蟹會受路燈或探照燈吸引〔六〕，但以上觀察並未針對光源的性質作進一步實驗分析。

（六）光源是否能指引降海中陸蟹的行進方向？

陸蟹降海過程的方向指引被認為與月光強弱有關〔八〕，也因此多種陸蟹的降海時間落在農曆15日前後。因為目前國內外尚無研究探討光源對陸蟹降海的影響，我們在閱讀各方的文獻、請教相關的陸蟹研究人員後，引發我們想要探討：「**光源是否可指引降海中陸蟹的行進方向？**」了解抱卵陸蟹對不同色光之趨性，期待藉由特定色光之誘導，進而提高降海中陸蟹對現有涵道的改善與利用。

三、目的

- （一）尋找以人工訊號誘導陸蟹降海行進方向之可能性。
- （二）設計實驗探討降海中陸蟹對不同色光之趨性，探討光趨地下廊道的可行性。

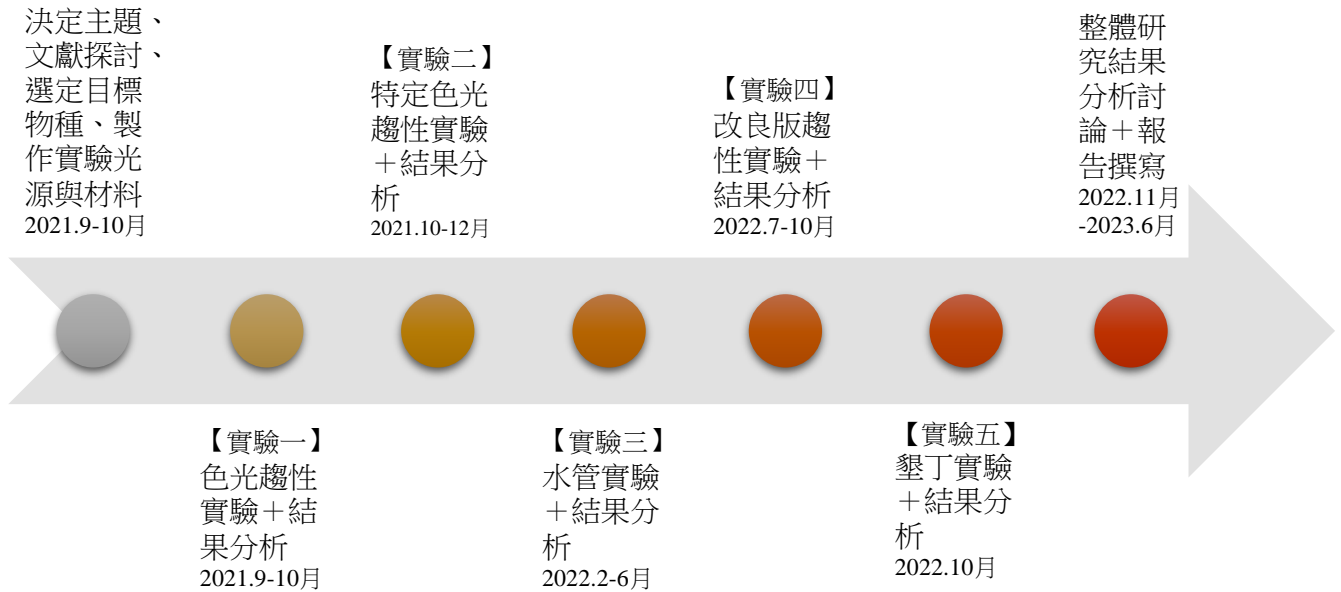
貳、研究設備及器材

以下為研究中使用的主要儀器與材料，常見文具及耗材例如剪刀、膠帶、筆等則未列出。

名稱	手電筒	自製遮光組	長桿網子	水桶
數量	3 支	3 組	3 支	多個
圖片				
用途	夜間觀察照明	實驗開始前的陸蟹穩定裝置	移動陸蟹使用	陸蟹暫放空間
名稱	訂製 LED 燈板	自製燈箱	光譜儀	游標尺
數量	白、紅、藍、紫、綠各 4 片	12 個	1 台	2 支
圖片				
用途	LED 光線實驗測試使用	燈具裝置 (內含電源)	測量 LED 燈波長和照度使用	測量陸蟹的甲殼寬
名稱	實驗記錄板	夜視攝影機	碼表	刮沙器具
數量	3 個	一台	3 個	3 把
圖片				
用途	陸蟹行為實驗記錄用	陸蟹行為觀察與拍攝	陸蟹行為觀察計時用	將帳篷內的砂鏟平
名稱	自製水管實驗組 (約 250 公分)		不透光六人帳篷 (約 200x200 公分)	
數量	2 組		3 頂	
圖片				
用途	實驗三 實驗裝置		實驗一、二、四 實驗裝置	

參、研究過程及方法

本研究起始自2021年9月，至2023年6月止共進行1年又10個月，下圖為本研究的簡易時間軸，以下將針對本研究之主要項目，提供細部研究過程及方法。



一、目標物種的選定

在目標物種的選定上，我們的選擇依據為：路殺比例高、容易觀察且較不易因人為干擾而影響其降海行為之陸蟹物種。

2010年於墾丁國家公園的路殺研究指出，降海季節遭路殺陸蟹數量前三名依序為印痕仿相手蟹、毛足特氏蟹以及紫地蟹〔十〕；後續研究在2019至2020年香蕉灣—砂島路段（路殺最嚴重的路段），遭路殺陸蟹數量前五名為陸寄居蟹、奧氏後相手蟹、帝王仿相手蟹、紫地蟹以及毛足特氏蟹〔六〕。考量實驗易觀察性與行為特性，並與陸蟹專家老師討論後，其中體型較大的「毛足特氏蟹」為實驗首選。墾丁和壽山地區的毛足特氏蟹為同一物種，有相同的生殖方式，再加上高雄壽山海邊即為毛足特氏蟹的棲地，能直接以降海遷徙中的雌蟹為實驗材料，並可避免對墾管處護蟹活動的干擾。因此，我們選定毛足特氏蟹作為本次科展實驗的目標物種。

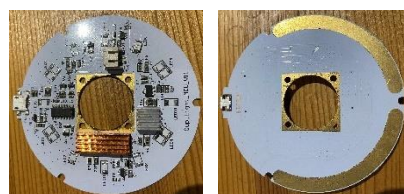
二、實驗光源的選擇與製作

(一) 光源的選定

2017年「人工燈光可增加雪蟹捕捉率」的研究顯示，雪蟹對白、紅、藍、紫、綠光有顯著行為差異〔一〕，在缺乏其他光源對陸蟹影響的文獻情況下，我們參考此研究的實驗光源波長，選定白、紅、藍、紫、綠色的LED光源來進行本次實驗。

(二) 燈板的製作

1. 購買LED燈光源：市面上的LED燈光源有兩種形式，一種為透過濾光改變顏色，另一種為直接發出特定色光的LED燈光源，為了光源的準確性，選擇使用直接發出特定色光的LED燈光源(光波長測定於下個段落描述)。



圖五、實驗用的LED燈板
左：正面，LED燈珠、電阻、電源連接處；右：反面，觸控裝置

2. 為了方便調整燈光亮度，使其亮度接近海邊的月光，減少實驗誤差，我們將LED燈銲接在電路板上，並加入電阻調整亮度。

3. 於電路板上加上觸控開關，方便實驗操作，並減少接觸不良的可能性。

(三) 光波長的測定

我們使用光譜儀，確認色光的波長範圍及照度資訊。光譜儀的操作方法如下：

1. 將環境的光控制為暗室，打開光譜儀，連接手機app。
2. 扣除背景光後，將光源放置於離光譜儀約5公分處。
3. 進行量測，並記錄數值。

三、【實驗一】色光趨性實驗

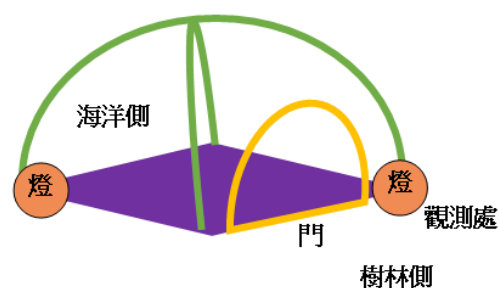
(一) 實驗時間：2021年10月17日（農曆9月12日）18:00-22:00

(二) 實驗地點：壽山海邊（中山大學文學院旁沙灘地區）

(三) 實驗燈光：

1. 無光實驗：目的為測試在沒有光線情況下，陸蟹是否對其他因素有所趨性。
2. 色光實驗：白光、紅光、藍光、紫光、綠光，皆為恆亮。

(四) 實驗裝置：參考2017年「人工燈光可增加雪蟹捕捉率」的研究，受測試生物於密閉實驗空間中給予一側照光，依據其往光源處或非光源處移動，判定此生物對此光源是否產生趨性〔一〕。因此我們將陸生的毛足特氏蟹帶至不透光帳篷內進行實驗。



(五) 實驗步驟：

1. 於沙灘上搭立帳篷。
2. 將沙灘上的沙鏟進帳篷中，於帳篷內模擬沙灘地面。
3. 以漂流木在帳篷內排成180公分x180公分的正方形。
4. 在正方形內分割出九宮格（圖六）。
5. 將燈板黏於帳篷左上方（L1）及右下方（R3），離地面約10公分處（圖七）。
6. 天黑後開始尋找出來降海的毛足特氏蟹。
7. 在陸蟹的背甲上以油漆筆標示編號（圖八），避免重複對相同的陸蟹進行實驗。
8. 以游標尺測量陸蟹的甲殼寬兩次，並算出平均（圖九）。
9. 將陸蟹置於M2，以不透光桶蓋住3分鐘，使其穩定。
10. 打開不透光桶，進行3分鐘無光實驗，並於R3觀測處觀看，每30秒記錄一次。
11. 重新將陸蟹放於M2並以不透光桶蓋住3分鐘，分別進行白、紅、藍、紫、綠光實驗，每30秒記錄一次，每種色光各進行3分鐘實驗。
12. 將陸蟹帶至海邊釋幼並錄影記錄。

L1	M1	R1
L2	M2	R2
L3	M3	R3

圖六、帳篷內的九宮格示意圖



圖七、將燈板直接黏貼於帳篷上



圖八、以油漆筆於陸蟹背甲上標示編號



圖九、使用游標尺測量陸蟹甲殼寬

(六) 實驗記錄：

我們針對每隻實驗陸蟹記錄以下資訊：陸蟹編號、發現時間、發現位置、當下行為、性別、甲殼寬、五種色光各3分鐘實驗記錄、實驗結束後是否釋幼及其他資訊(圖十、十一)。

科展實驗記錄紙

陸蟹編號：_____

記錄者：_____

一、實驗日期：2021年10月17日(星期日)(農曆9/12)

二、發現時間：____點____分

三、發現位置
沙灘 礁岩 海裡 森林中 其他：_____

四、當下行為
降海中(往海走) 釋幼完回程(從海往樹林走)
正在海裡釋幼 進食中
正在休息 其他：_____

五、種類：毛足圓軸蟹 / 印威仿相手蟹 / 其他：_____

六、性別：公 / 母(沒抱卵) / 母(有抱卵)

七、甲殼寬
 第一位同學測量：_____mm 第二位同學測量：_____mm

八、實驗完是否成功釋幼？
是，釋幼時間：____點____分 ~ ____點____分
否，可能原因：_____

九、其他紀錄：

圖十、陸蟹基本資料記錄

實驗時間：____點____分 ~ ____點____分

實驗記錄：

海

L1	M1	R1
L2	M2	R2
L3	M3	R3

樹林

圖十一、光線測試實驗記錄(以綠光為例)

四、【實驗二】特定色光趨性實驗

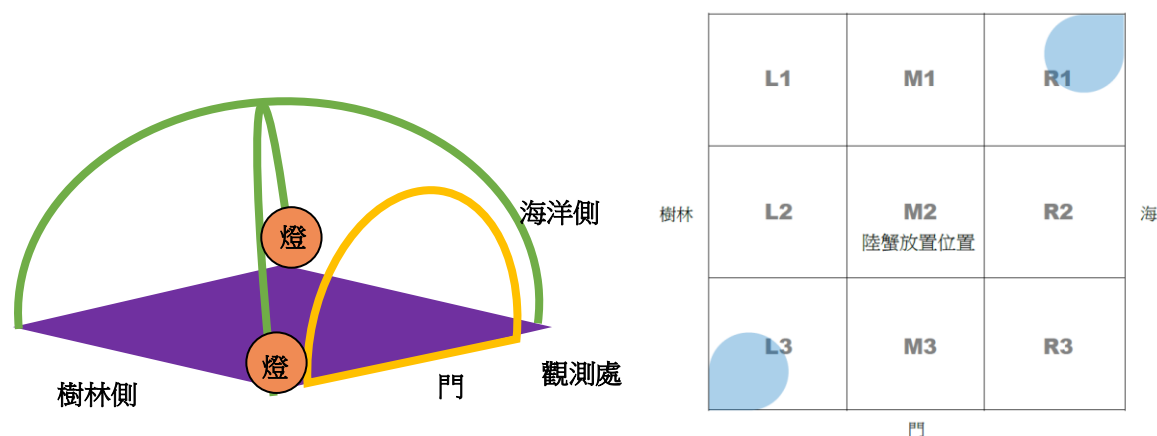
(一) 實驗時間：2021年10月20日(農曆9月15日) 18:00-22:00

(二) 實驗地點：壽山海邊(中山大學文學院旁沙灘地區)

(三) 實驗燈光：

1. 無光實驗：目的為測試在沒有光線情況下，陸蟹是否對其他因素有所趨性。
2. 色光實驗：白光、藍光、紫光，皆為恆亮。

(四) 實驗裝置：於帳篷內實驗，帳篷示意圖如下：



(五) 實驗調整：

根據實驗一「五種色光趨性實驗」的實驗結果，我們在本次實驗做了以下調整（其餘實驗過程和方法皆相似）：

1. 鎖定三種色光（白光、藍光、紫光）並增加樣本數：選擇實驗一中有明顯趨性的藍光、具有回避性的紫光，以及混合光白光。
2. 改變光源放置位置：燈光從L1及R3改為R1及L3，減少因觀測處離R3光源太接近，導致人為干擾影響實驗結果。
3. 改變帳篷門的方位：將門開在非樹林、海洋側。
4. 調整陸蟹休息時間：由三分鐘改為一分鐘，減少陸蟹整體實驗時間。
5. 每次實驗僅亮一個燈（R1光或L3光）：提供陸蟹較明確的燈光與黑暗區。

五、【實驗三】水管實驗

(一) 實驗時間：2022年6月13日（農曆5月15日）18:00-22:00

(二) 實驗地點：壽山海邊（中山大學文學院旁沙灘地區）

(三) 實驗燈光：

1. 無光實驗：目的為測試在沒有光線情況下，陸蟹是否對其他因素有所趨性。
2. 色光實驗：
 - (1) 色光選擇：實驗一和二結果顯示陸蟹對藍光之趨性最顯著，並對紫光產生迴避性，因此本次實驗選擇藍、紫兩種色光。
 - (2) 燈箱設計：將燈板固定於盒子上，與盒內電源連接。當燈箱直立時，光線即能平行照射入水管中。

(四) 實驗裝置：

1. 裝置設計：理念以水管模擬地下廊道（涵道）環境，觀察陸蟹是否對特定色光有趨性，而移動至水管的光源側。
2. 燈光放置：水管兩側開口處為燈光放置處，以長寬皆大於30公分的紙箱隔絕來自外部的其他光線，減少實驗誤差。
3. 其他細節設計（如下圖、圖十二與圖十三所示）：

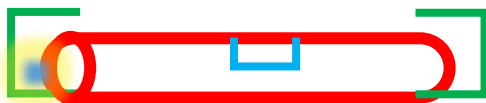
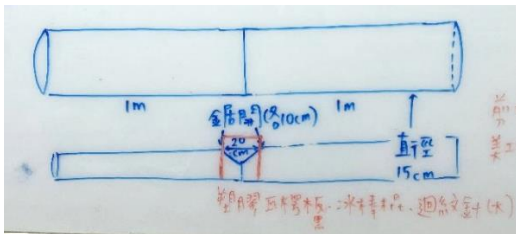


水管：實驗裝置主體，為一直徑 15 公分、長約 200 公分的水管，供陸蟹於內部自由行走。

紙箱：作為其他干擾光線之屏障，並放置實驗燈箱。

遮光布：實驗過程防止陸蟹逃離及屏蔽干擾光線。

塑膠遮光盒：開始實驗前，陸蟹會被放置在中間凹槽 1 分鐘，以遮光盒蓋住，讓陸蟹適應管內環境。



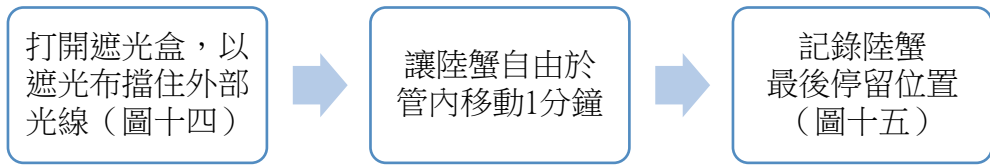
圖十二、水管實驗裝置設計草稿

圖十三、實驗日裝置架設實況

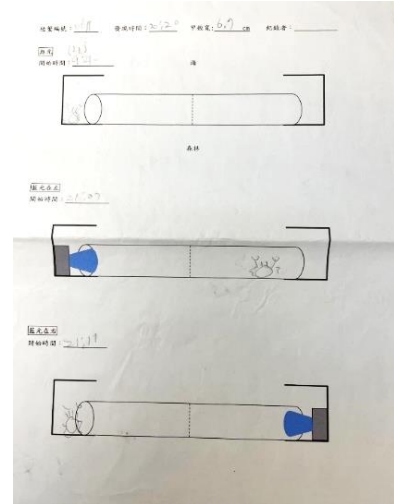
(五) 實驗步驟：

1. 測量：測量性別、甲殼寬、抱卵情形、抓捕時間。
2. 編號：以油漆筆，依抓捕時間排序，於陸蟹背甲寫上編號。
3. 分配：將抓捕到的陸蟹暫放水桶中，分配入藍光或紫光的裝置中，以塑膠遮光盒蓋住，隔絕其他光源。
4. 靜置：陸蟹靜置1分鐘，使其適應裝置，將其中一側光源（藍光或紫光）打開。

5. 色光趨性實驗：



圖十四、打開遮光盒，蓋遮光布，開始實驗



圖十五、實驗記錄紙（編號0611為例）

六、【實驗四】改良版色光趨性實驗

（一）實驗時間：

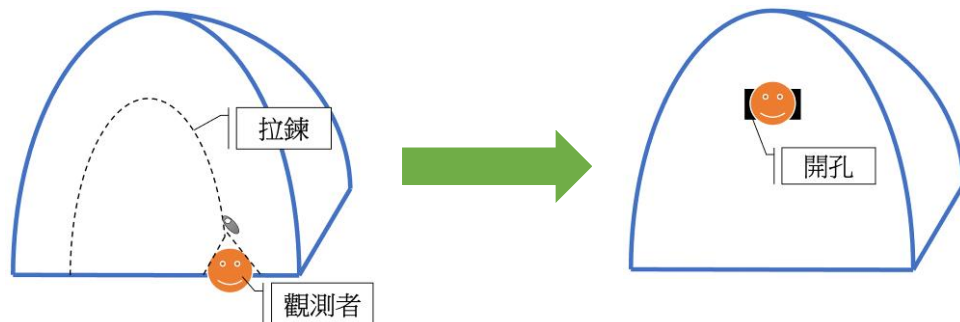
2022年7月12日（農曆6月14日）、7月13日（農曆6月15日）、8月12日（農曆7月15日）、9月9日（農曆8月14日）、9月10日（農曆8月15日），皆為18:00-22:00

（二）實驗地點：壽山海邊（中山大學文學院旁沙灘地區）

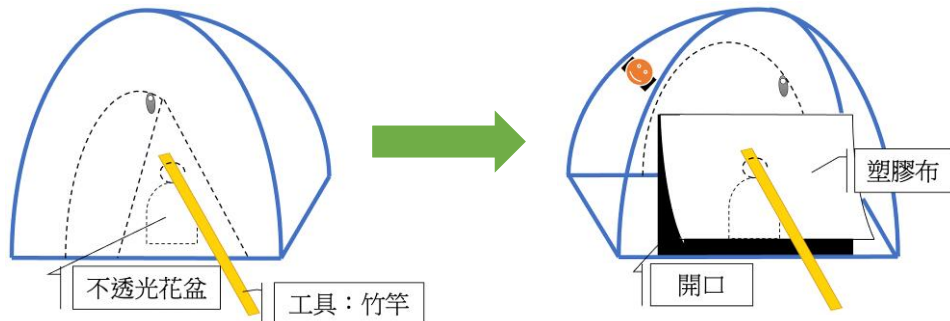
（三）實驗燈光：白、紅、藍、紫、綠光，恆亮或閃爍，共10種光源。

（四）改良項目（其餘步驟皆與實驗一相似）：

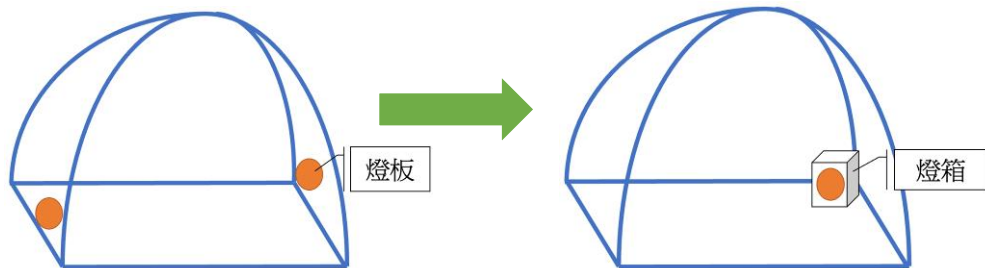
1. 調整觀測開孔：將觀測開孔從帳篷大門拉鍊底調至帳篷側面中間，開一個約直徑2.5公分的小孔，使觀測者方便觀測陸蟹，也減少拉鍊開關對陸蟹行為的影響。



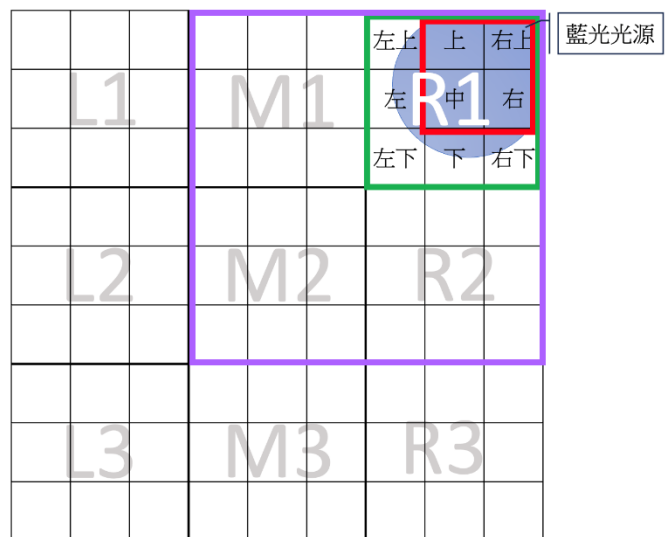
2. 調整工具進出開口：將工具進出開口從帳篷大門(拉鍊處)改至觀測者的右方，將一面帳篷割開一個約20公分的開孔，並在開孔上方以塑膠布和不透光布覆蓋(圖十六)。此設計將可減少實驗者與陸蟹的接觸，減少實驗誤差。



3. 調整光源：從黏貼兩處燈板改為僅在R1放一個燈箱，並新增閃爍光源。一隻陸蟹僅實驗一次，降低實驗時間，以達較精準的行為反應。



圖十六、改良版的工具進出開口



圖十七、趨性等級分類標準示意圖

(五) 實驗分析 – 趨性等級分類標準

我們分析陸蟹在3分鐘內的移動路徑，歸納出以下四種趨性等級(參考圖十七)：

- A – 有明顯趨性：**移動路徑停留於紅框處 (R1右上、右、上、中) 時間超過60秒；或實驗開始直接往綠框處 (R1) 前進且移動路徑停留於紫框處 (R1、R2、M1、M2) 時間超過90秒。

B – 有些微趨性：移動路徑停留於紅框處（R1右上、右、上、中）時間未超過60秒；或經過綠框處（R1）且停留時間在60到90秒之間。

C – 無趨性：移動路徑有經過紫框處，但方向不明確，且皆無停留於紅框處（R1右上、右、上、中）；或經過綠框處（R1）且停留時間少於60秒。

D – 迴避性：移動路徑皆無經過綠框處（R1），且路徑中沒有往光源方向移動。

（六）統計分析軟體

本實驗我們將原始數據依分類標準轉換成趨性分數後，以單因子變異數分析(One-way ANOVA)，檢驗毛足特氏蟹對五種不同色光的趨性差異是否顯著，若顯著接著以事後分析了解變異來源，使用的統計軟體為JASP（版本0.17.2）〔十六〕。

七、【實驗五】墾丁實驗

（一）實驗時間：2022年10月9日（農曆9月14日）16:00-21:30

（二）實驗地點：台26線公路41-41.5K（香蕉灣-砂島路殺嚴重路段，圖十八）

（三）實驗燈光：藍光恆亮。

（四）夜視攝影機：架設於放置陸蟹的對側洞口，從攝影機觀察陸蟹的移動動態。

（五）實驗步驟：

1. 測量：性別、甲殼寬、抱卵情形、抓捕時間。
2. 編號：以油漆筆，依抓捕時間排序，於陸蟹背甲寫上編號。
3. 進入涵道：將抓捕到的陸蟹放入涵道一側洞口，以夜視攝影機從另一側洞口觀察陸蟹的移動情形（圖十九、二十）。
4. 記錄：當陸蟹由藍光處離開涵道，記錄離開時間。
5. 結果分析：整理數據，進行分析與討論。



圖十八（左下）、本次實驗環境（路殺嚴重路段之一）

圖十九（右上）、於洞口使用夜視攝影機觀察陸蟹於涵道內的移動情形

圖二十（右下）、涵道入口

肆、研究結果

一、實驗光源波長與亮度

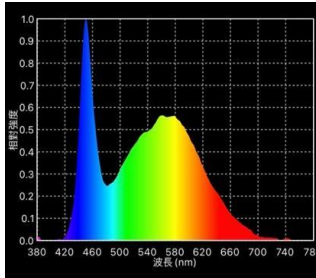
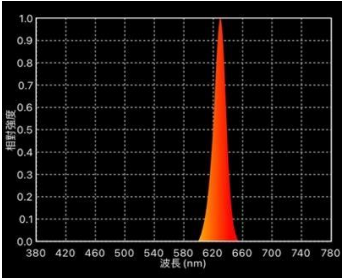
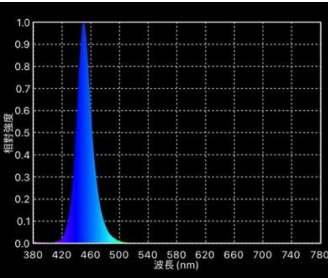
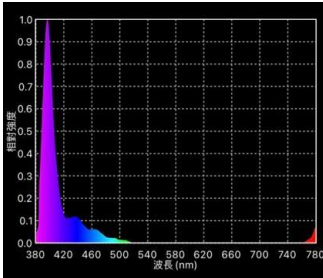
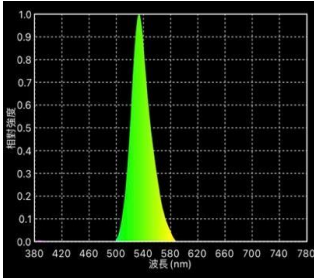
下表一和表二顯示本實驗五種色光經光譜儀測定後之波長、照度與光譜圖，其所測得的光波長數據與紐芬蘭團隊於2017年研究〔一〕中所使用的LED光源接近，兩者之間的波長除紫光有50nm的差異外，其餘四種光線的波長差異皆小於15nm以內。

本實驗2021年所使用的白光照度為12 lux，明顯高於其餘色光，導致陸蟹產生光閃躲現象。2022年調整白光照度，降為1 lux以下（波長不變），其餘色光兩年實驗皆無改變。

表一、五種色光之波長與照度

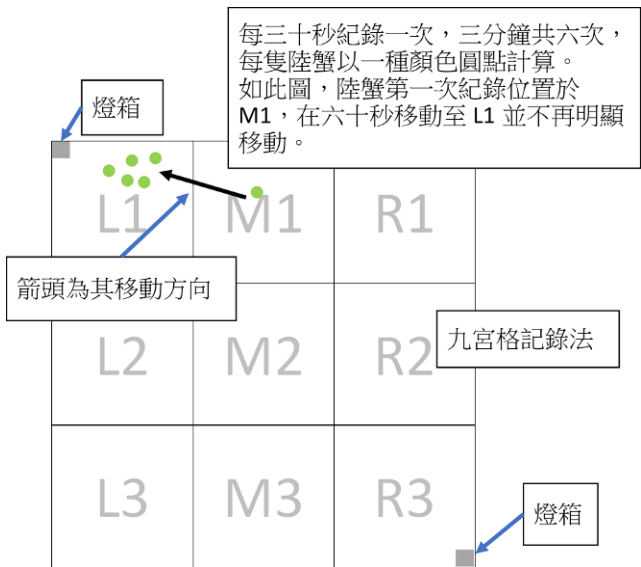
LED 光源	本實驗燈板峰值波長 (nm)	紐芬蘭團隊 (2017) 使用波長 (nm)	照度 (lux) (2021 年)	照度 (lux) (2022 年)
白光	450	456	12	<1
紅光	630	632	<1	<1
藍光	450	464	<1	<1
紫光	396	446	<1	<1
綠光	534	519	<1	<1

表二、五種 LED 光源之光譜圖

LED 光源	白光	紅光	藍光
光譜圖			
LED 光源	紫光	綠光	
光譜圖			

二、【實驗一】色光趨性實驗

實驗一共進行6隻降海中毛足特氏蟹（編號1-6）的光趨性測試，每隻進行無光測試後，隨機分配順序至五種色光，每種色光皆進行3分鐘的行為觀察（光源皆同時設置於L1及R3角落，分布圖中以灰色矩形表示）。實驗結束後將陸蟹的移動路徑繪製成「移動分布圖」（如圖二十一），並以其「移動方向」及「停留時間」作為依據，將每次實驗分類成對此光源「有趨性」（移動方向往光源或停留於光源處超過一半的時間）、「無明顯趨性」（移動趨性不明顯）以及「迴避性」（實驗過程完全不經過光源且未往光源方向移動），本次實驗結果分析與討論呈現於下表三。



圖二十一、陸蟹移動分布圖之圖示說明

表三、五種色光之陸蟹移動分布圖、趨性比例與結果分析（光源位置以灰色矩形表示）

色光	陸蟹移動分布圖	趨性比例	結果分析
白光	<p>編號1 ● 編號2 ● 編號3 ● 編號4 ● 編號5 ● 編號6 ●</p>	<p>迴避性 17% 無明顯趨性 16% 有趨性 67%</p>	<p>六次實驗中有四次陸蟹對白光有趨性（編號 2、3、4、6），一次無明顯趨性（編號 1）、一次迴避性（編號 5）。</p> <p>→有 67%的陸蟹對白光有趨性。</p>
紅光	<p>編號1 ● 編號2 ● 編號3 ● 編號4 ● 編號5 ● 編號6 ●</p>	<p>迴避性 17% 無明顯趨性 16% 有趨性 67%</p>	<p>六次實驗中有四次對紅光有趨性（編號 1、3、4、6），一次無明顯趨性（編號 2）、一次迴避性（編號 5）。</p> <p>→有 67%的陸蟹對紅光有趨性。</p>

色光	陸蟹移動分布圖	趨性比例	結果分析
藍光			<p>六次實驗中有五次陸蟹對藍光有趨性（編號 1、2、3、4、5），一次無明顯趨性（編號 6）。</p> <p>→有 83%陸蟹對藍光有趨性。</p>
紫光			<p>六次實驗中有四次對紫光無明顯趨性（編號 1、2、5、6），二次對紫光迴避性（編號 3、4）。</p> <p>→有 33%陸蟹對紫光有迴避性。</p>
綠光			<p>六次實驗中有兩次有趨性（編號 1、3），三次無明顯趨性（編號 2、4、6），一次迴避性（編號 5）。</p> <p>→有 33%陸蟹對綠光有趨性。</p> <p>→有 17%陸蟹對綠光有迴避性。</p>
結果	<p>(1) 陸蟹在藍光下有較為顯著的趨性(有趨性佔 83%)，白光與紅光次之(67%)，再來是綠光 (33%)，最後是紫光 (0%)。</p> <p>(2) 整個實驗中，所有陸蟹停留在藍光燈光區域(L1 及 R3)的加總時間最長(共計 570 秒，53%)，顯示陸蟹對於藍光相較其他四種色光有較明顯之光趨性。</p> <p>(3) 陸蟹對紫光產生明顯的迴避性 (迴避性佔 33%)，且在紫光的环境中，所有陸蟹停留於燈光區域 (L1 及 R3) 的加總時間最短 (共計 120 秒，11%)，顯示陸蟹對於紫光相較其他色光，有較明顯之迴避性。</p>		

討論	<p>(1) 本實驗燈光架設於 L1 和 R3 位置，在整個實驗中，陸蟹經過或停留於 M3 和 R3 的比例最低，推論 M3 和 R3 為觀測者的位置，人為活動的干擾使陸蟹行經此兩區域的比例降低，進而影響 R3 處燈光趨性的準確性。</p> <p>(2) 本實驗的行為判斷依據僅分成「有趨性」、「無明顯趨性」以及「迴避性」，未來實驗可再針對趨性程度做細分。</p>
----	--

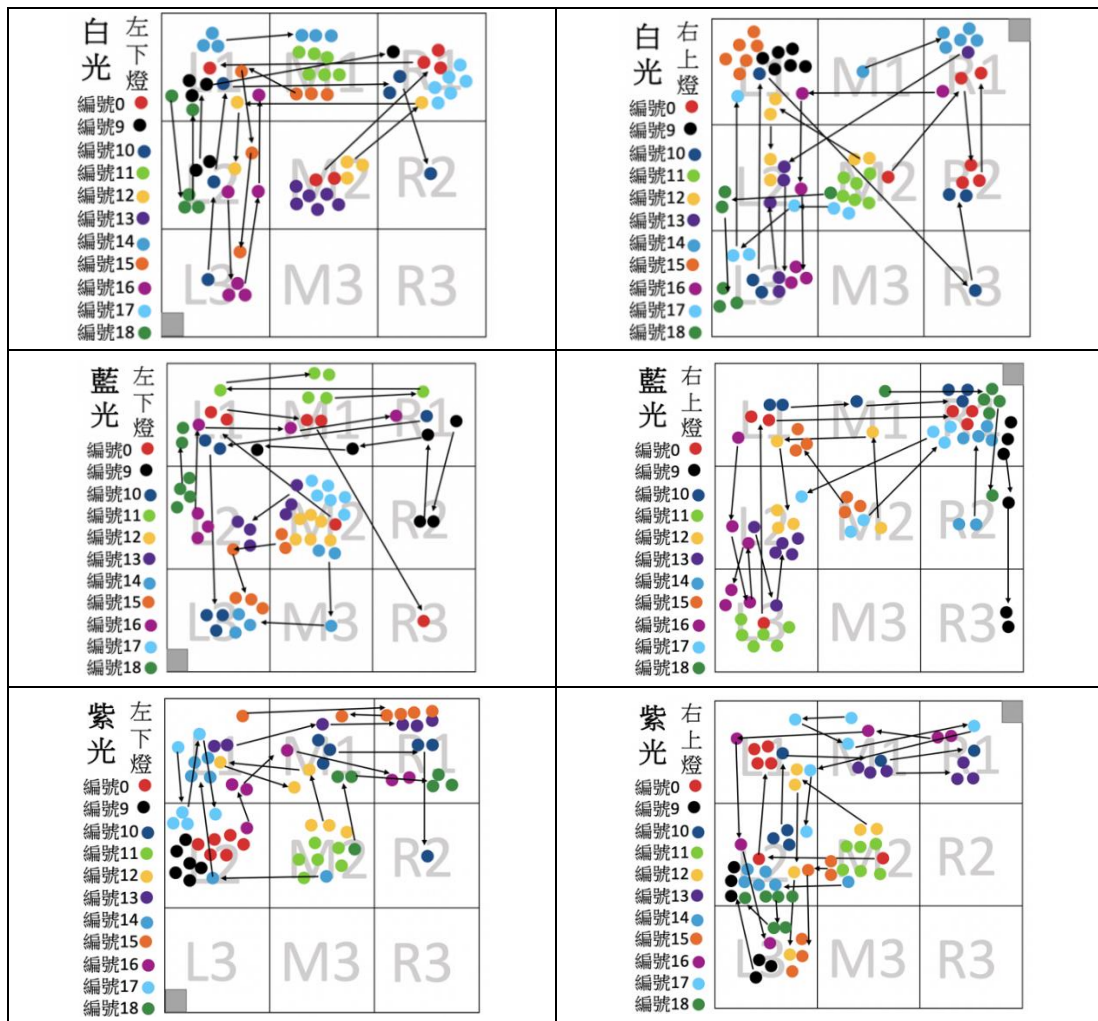
三、【實驗二】特定色光趨性實驗

實驗二共進行11隻降海中毛足特氏蟹（編號0, 9-18），每隻六次（白、藍、紫光分別於L3或R1），共66次的光趨性測試。

（一）陸蟹於三種特定色光下的移動分布

將所有測試的3分鐘移動路徑，依據不同色光繪製成移動分布圖，如表四。

表四、三種特定色光（白、藍、紫）之陸蟹移動分布圖（光源位置以灰色矩形表示）



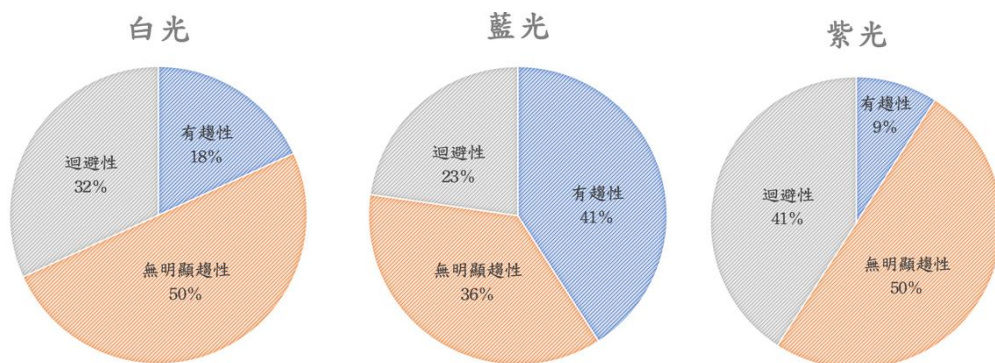
(二) 結果分析與討論

我們依據陸蟹的「移動方向」及「停留時間」，分成對光源「有趨性」（移動方向往光源或停留於光源處超過一半的時間）、「無明顯趨性」（移動趨性不明顯）以及「迴避性」（實驗過程完全不經過光源且也未往光源方向移動），實驗結果分析呈現於表五和圖二十二。

表五、陸蟹對三種特定色光（白、藍、紫）之趨性分類統計表

（表格中L代表燈光位於L3位置時之分類；R代表燈光位於R1位置之分類）

白光編號	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	0	總計	百分比
有趨性						R	L	L			R	4	18%
無明顯趨性	R	LR	LR	LR	L	L	R			L		11	50%
迴避性	L				R			R	LR	R	L	7	32%
藍光編號	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	0	總計	百分比
有趨性	R	LR				LR	L		R	R	R	9	41%
無明顯趨性	L			LR	L		R		L	L	L	8	36%
迴避性			LR		R			LR				5	23%
紫光編號	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	0	總計	百分比
有趨性		R			R							2	9%
無明顯趨性	L		LR	L		LR		R	LR		LR	11	50%
迴避性	R	L		R	L		LR	L		LR		9	41%



圖二十二、陸蟹對三種特定色光（白、藍、紫）之趨性比例

綜合以上圖表，歸納結果與討論如下：

1. 陸蟹對藍光有趨性的比例最高（41%），明顯高於白光（18%）和紫光（9%），且迴避性最低（23%），顯示此三種色光下，陸蟹對藍光的光趨性最高。
2. 陸蟹對紫光的迴避性比例最高（41%），高於白光（32%）和藍光（23%），且有趨性比例最低（9%），顯示此三種色光下，陸蟹對紫光的光趨性最低。

3. 本實驗中陸蟹對白光沒有較明顯的趨性（無明顯趨性佔50%），我們推測是因為白光亮度太高（光譜儀測定顯示其照度=12 lux），導致陸蟹產生迴避行為。
4. 陸蟹很少會移動至R2、R3和M3，推測是因為觀測者（靠近R3）在拉下帳篷拉鍊觀測時，會造成人為干擾，使陸蟹不敢接近此區域，我們將在下一個實驗提出解決辦法。
5. 本實驗與實驗一為前後三天內進行，行為判斷依據仍僅分成「有趨性」、「無明顯趨性」及「迴避性」三個程度，未來實驗需再針對趨性程度做細分。

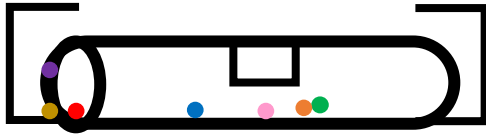
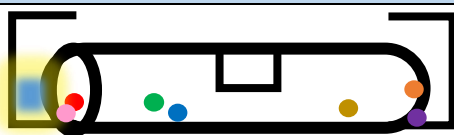
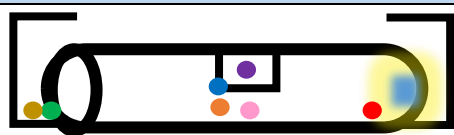
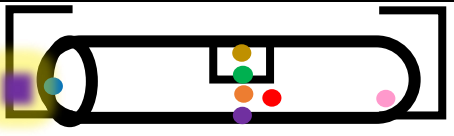
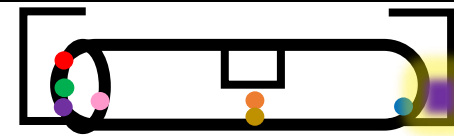
四、【實驗三】水管實驗

實驗三共對 7 隻陸蟹進行光趨性測試，每隻陸蟹在無光測試後，隨機安排順序至藍光和紫光裝置，分別進行左側和右側的燈光測試，含無光測試共 35 次試驗。記錄陸蟹最後停留位置，並進行結果分析與討論。

（一）陸蟹移動分布

陸蟹被置於水管中間，一分鐘自由移動後，記錄最後停留位置，依光源種類分組繪製於表六，便於比較分析。

表六、水管實驗之陸蟹移動分布圖（陸蟹編號對應顏色如下：0602 橘、0603 紅、0605 紫、0606 藍、0608 粉、0610 綠、0611 土）

無光實驗	
	
結果分析：無光源下，有三隻陸蟹趨於向左移動，其餘則位於中間處。	
藍光於左	藍光於右
	
結果分析：14 次試驗中，有 5 次對藍光有趨性，4 次無明顯趨性，5 次迴避性。此結果顯示陸蟹對藍光無顯著趨性。	
紫光於左	紫光於右
	
結果分析：14 次試驗中，有 2 次對紫光有趨性，7 次無明顯趨性，5 次迴避性。此結果稍顯示陸蟹對紫光的迴避行為。	

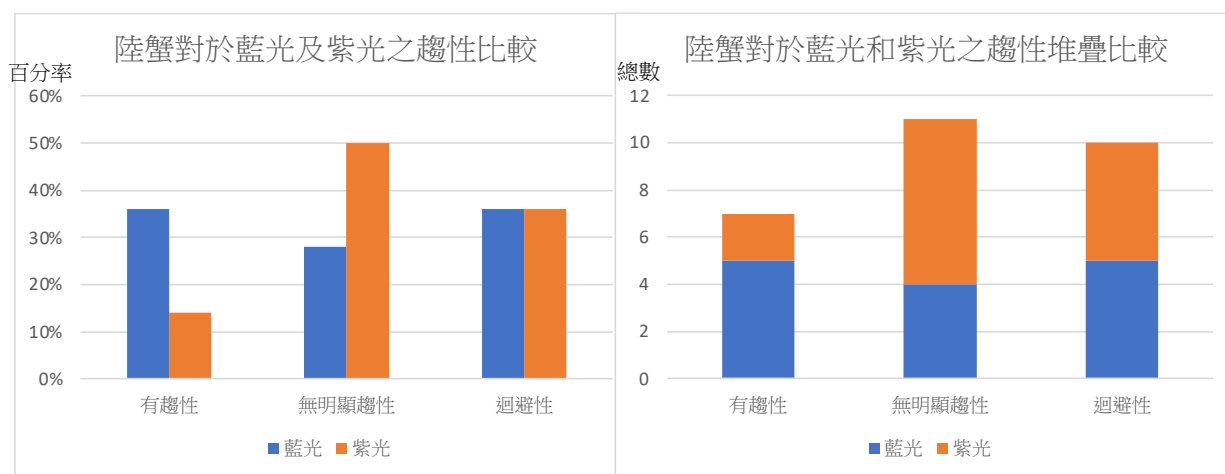
(二) 結果分析與討論

我們依據陸蟹一分鐘後的停留位置，做出趨性判斷，停留在光源側者判定為「有趨性」；停留在中間者判定為「無明顯趨性」；停留在光源反方向側者判定為「迴避性」。統計所有陸蟹的趨性，計算趨性比例（表七），以百分率及合計總數繪製藍光、紫光之趨性比較圖及堆疊比較圖（圖二十三）。

表七、陸蟹於水管實驗之趨性比例

（其中「左」代表光源於左側之結果，計數+1；「右」代表光源位於右側之結果，計數+1；「雙」代表左、右側皆表現出相同的結果，計數+2）

光源 編號	藍光			紫光		
	有趨性	無明顯趨性	迴避性	有趨性	無明顯趨性	迴避性
0602		右	左		雙	
0603	雙				左	右
0605		右	左		左	右
0606	左	右		雙		
0608	左	右				雙
0610	左		右		左	右
0611			雙		雙	
總數	5	4	5	2	7	5
百分率	36%	28%	36%	14%	50%	36%



圖二十三、陸蟹水管實驗對藍光和紫光下之趨性比較（圖左，以表七內的百分率繪製）及趨性堆疊比較（圖右，以表七內的總數繪製）

綜合以上圖表，歸納結果與討論如下：

1. 由圖二十三左可得知，陸蟹對藍光表現出「有趨性」、「無明顯趨性」與「迴避性」的比例無顯著差異（36%、28%、36%）；陸蟹對紫光的「有趨性」比例（14%）則顯著低於「無明顯趨性」（50%）與「迴避性」（36%）的比例。
2. 由圖二十三右可得知，本實驗對光源有趨性的陸蟹中，藍光數量（5次）大於紫光數量（2次），但無明顯趨性與迴避性的陸蟹次數仍高於具有光趨性之次數。
3. 結果有別於實驗一、二，陸蟹於水管內的移動，在色光間較無顯著趨性，推論與水管管徑大小、LED燈照射範圍、實驗時間和人為干擾有關，將於討論時進一步探討。

五、【實驗四】改良版色光趨性實驗

（一）不同色光下的光趨性分析（趨性等級分類標準詳見本研究第 12 到 13 頁）

本實驗於 2022 年 7 至 9 月的五個實驗日，共進行 124 隻降海中毛足特氏蟹之趨性實驗，結果分析如表八與表九所示。

表八、改良版五種色光之陸蟹移動分布圖（趨性等級A）、趨性比例與結果分析

色光	陸蟹移動分布圖	趨性比例	結果分析
白光			<p>有明顯趨性的陸蟹比例超過 30%，且整體表現出有趨性的比例佔 56%，顯示超過半數的陸蟹對白光有趨性。</p>
紅光			<p>有明顯趨性的陸蟹比例為 23%，且整體表現出有趨性的比例佔 65%，顯示超過半數的陸蟹對紅光有趨性。</p>

色光	陸蟹移動分布圖	趨性比例	結果分析
藍光			<p>有明顯趨性的陸蟹比例佔 38%，且整體表現出有趨性的比例達 69%，顯示陸蟹對藍光有最高的趨性比例。</p>
紫光			<p>整體表現出對紫光有趨性的比例低於 50%，且對紫光的迴避性達 32%，僅次於綠光。</p>
綠光			<p>有約 70%的陸蟹對綠光有迴避性，顯示陸蟹對綠光產生強烈的迴避行為。</p>

表九、陸蟹對改良版五種色光之趨性分數

光源	A:有明顯趨性 (2分)	B:有些微趨性 (1分)	C:無趨性 (0分)	D:迴避性 (-1分)	總分	總隻數	每隻陸蟹 平均趨性 分數
白光	8	6	6	5	17	25	0.680
紅光	6	11	4	5	18	26	0.692
藍光	11	9	4	5	26	29	0.897
紫光	7	6	6	9	11	28	0.393
綠光	2	2	1	11	-5	16	-0.313

計算範例：白光 $8*2(A)+6*1(B)+6*0(C)+5*-1(D)=+17$ ， $17/25=0.680$ ，即為平均趨性分數。

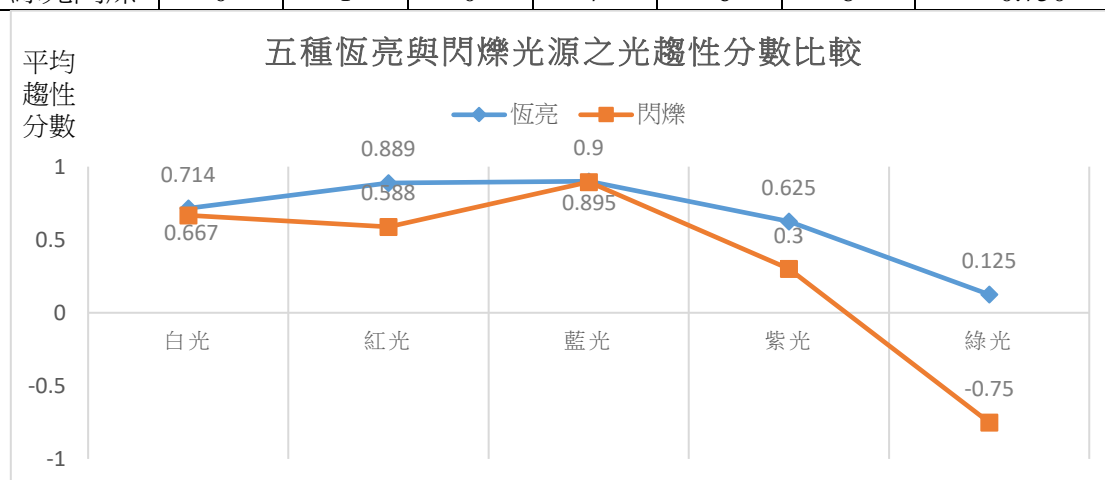
綜合以上趨性分析，歸納結果與討論如下：

1. 我們發現毛足特氏蟹對藍光有最顯著之趨性(平均 0.897 分)，其次為紅光(0.692 分)與白光(0.680 分)，再來為紫光(0.393 分)，最後為綠光(-0.313 分)。
2. 以趨性分數進行分析，檢測白、紅、藍、紫、綠光的差異性，發現五種色光有顯著差異 ($p<0.05$)，我們接著藉由事後分析得知哪組色光間有差異。
3. 陸蟹在綠光下具有最低的光趨性(平均-0.313 分)。且兩兩色光的光趨性表現，在「綠光與白光」、「綠光與紅光」和「綠光與藍光」下均具有顯著差異 ($p<0.05$)，顯示其對綠光的高度迴避行為。紫光雖具有第二低的光趨性，但是與其他色光間無顯著差異。因此未來可延伸探究於高路殺路段馬路周圍建置綠光的可能性。
4. 雖然陸蟹在藍光下具有最高的光趨性(平均 0.897 分)，但藍光與白光的光趨性分數在統計上差異不顯著，我們推測是因為白光本屬於混和光，且峰值波長位於 450nm (藍光波段)，因此結果與藍光較相似。
5. 紅光在此實驗中為趨性分數第二高的光源(平均 0.692 分)，但紅光與藍光的光趨性分數在統計上差異不顯著。其原因推測如下：實驗中，我們觀察到部分陸蟹在面對紅光測試時，會移動至紅光前，並舉起第一對螯足。與專家老師討論過後，推論是陸蟹對紅光有攻擊行為，此行為與光趨性的關聯，以及紅光是否真的誘使陸蟹產生攻擊行為，皆有待後續研究討論。

(二) 燈光恆亮與閃爍的光趨性分析

我們分別計算 42 次恆亮與 82 次閃爍實驗（共 124 次），得到下列十種光源之趨性結果，以相同標準計算趨性分數（表十），並繪製折線圖比較（圖二十四）。
表十、陸蟹對五種恆亮與閃爍光源之趨性分數

光源種類	A (+2 分)	B (+1 分)	C (0 分)	D (-1 分)	總分	總隻數	每隻陸蟹 平均趨性分數
白光恆亮	2	2	2	1	+5	7	+0.714
紅光恆亮	3	4	0	2	+8	9	+0.889
藍光恆亮	3	5	0	2	+9	10	+0.900
紫光恆亮	1	5	0	2	+5	8	+0.625
綠光恆亮	2	1	1	4	+1	8	+0.125
白光閃爍	6	4	4	4	+12	18	+0.667
紅光閃爍	3	7	4	3	+10	17	+0.588
藍光閃爍	8	4	4	3	+17	19	+0.895
紫光閃爍	6	1	6	7	+6	20	+0.300
綠光閃爍	0	1	0	7	-6	8	-0.750



圖二十四、陸蟹對五種恆亮與閃爍光源之趨性分數比較

綜合以上趨性分析，歸納結果與討論如下：

陸蟹在恆亮光源中有最明顯趨性的色光為藍光（0.900 分），其次為紅光（0.889 分），緊接為白光（0.714 分）和紫光（0.625 分），最後為綠光（0.125 分）。而閃爍光源中具最明顯趨性的色光一樣為藍光（0.895 分），其次為白光（0.667 分）、紅光（0.588 分），再來是紫光（0.300 分），迴避性較明顯的則為綠光（-0.750 分）。綜合以上得知，陸蟹於不同色光之趨性在恆亮與閃爍光源下無顯著差異。陸蟹在藍光下有最明顯的光趨性，而在綠光閃爍下明顯遠離光源，產生最顯著的迴避行為。

六、【實驗五】墾丁實驗

(一) 實驗結果

我們陸續將八隻降海中的毛足特氏蟹移動至實驗涵道口，分別記錄其放入時間（表十一），使用夜視攝影機觀察記錄涵道內陸蟹移動情形（表十二）。

表十一、墾丁實驗隻數與放入時間

毛足隻數	第一隻	第二隻	第三隻	第四隻	第五隻	第六隻	第七隻	第八隻
放入時間	18:11	18:26	18:39	19:01	19:08	19:28	19:54	20:00

表十二、陸蟹於涵道中所做行為之比例

陸蟹行為判讀	從藍光處離開	留在涵道中	不明
百分比	63%	25%	12%

(二) 結果分析與討論

1. 以藍光指引降海中陸蟹方向之可行性

本實驗共進行 8 隻毛足特氏蟹之藍光趨性測試，8 隻中有 5 隻（63%）在藍光的指引下成功由藍光處離開涵道，2 隻留在涵道中（25%），1 隻動態不明（12%）。

2. 實驗涵道與環境干擾

本實驗涵道與公路平行，非垂直公路往海邊的地下廊道，因此可能造成陸蟹迷航。過程中我們以夜視攝影機於藍光出口外 2 公尺處觀察，發現陸蟹多以緩慢的速度朝向光源直線移動，顯示陸蟹對藍光的光趨性。除此之外，人為光線（如手電筒）或人為震動（如走路等動作）的干擾可能對陸蟹行為造成結果差異。

七、降海數量分布統計

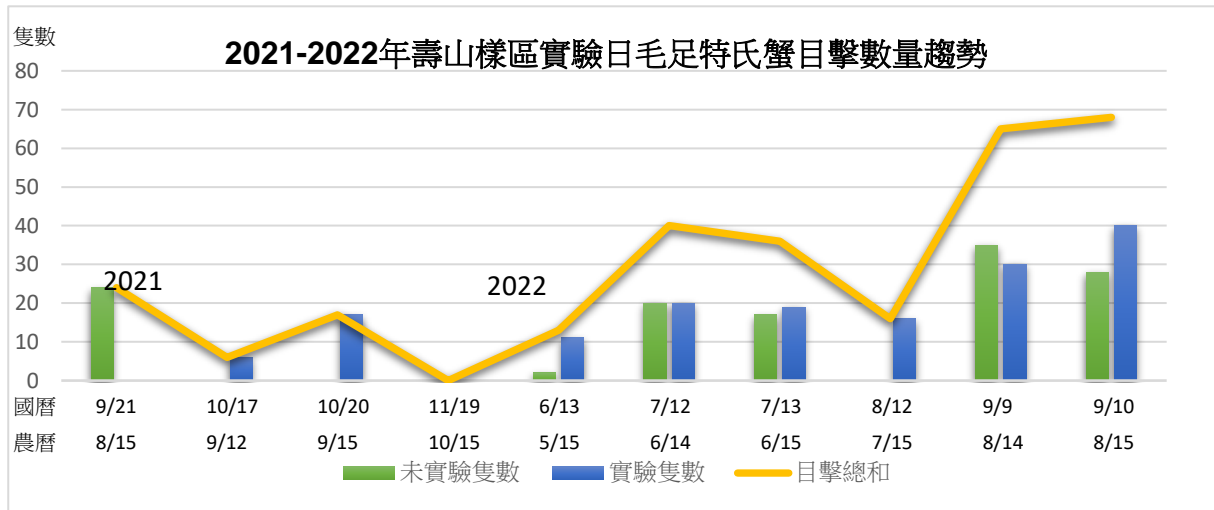
(一) 目擊數量統計

我們記錄 2021-2022 年每次壽山實驗日降海中毛足特氏蟹的數量，並列出當日晚間天氣（雲量）（表十三），並製作數量趨勢圖（圖二十五）。

表十三、實驗日壽山樣區實驗與未實驗之毛足特氏蟹目擊數量統計

實驗日期	天氣*〔十二〕	未實驗	實驗	目擊總和
2021 年 9/21 (農 8/15)	多雲時陰、多雲	24	0	24
2021 年 10/17 (農 9/12)	多雲時陰	0	6	6
2021 年 10/20 (農 9/15)	晴時多雲	0	17	17
2021 年 11/19 (農 10/15)	多雲、多雲時陰	0	0	0
2022 年 6/13 (農 5/15)	多雲時陰	2	13	15
2022 年 7/12 (農 6/14)	多雲時陰	20	20	40
2022 年 7/13 (農 6/15)	多雲時陰	17	19	36
2022 年 8/12 (農 7/15)	多雲時陰	0	16	16
2022 年 9/9 (農 8/14)	多雲、多雲時陰	35	30	65
2022 年 9/10 (農 8/15)	多雲時陰	28	40	68

*天氣雲量比例：晴 0~20%、晴時多雲 20~40%、多雲 40~60%、多雲時陰 60~80%、陰天 80~100%。



圖二十五、2021-2022 年壽山樣區實驗日毛足特氏蟹目擊數量趨勢

(二) 結果分析與討論

國內研究報告指出毛足特氏蟹的降海季主要發生在國曆 6 至 10 月（農曆 5 至 9 月）的滿月前後，本實驗於壽山樣區之結果與國內研究報告相符，2021 年 11 月即不再目擊到降海的毛足特氏蟹，整個研究期程中以 2022 年 9 月的降海陸蟹最多（農曆 8/15 單日達 68 隻）。除此之外，本研究結果無法證明天氣雲量比例與陸蟹降海數量有顯著關聯。

伍、討論

(一) 實驗一、二、四光趨性實驗的漸進式調整

根據實驗一和二的結果，我們發現在五種色光中，毛足特氏蟹對藍光有較顯著的光趨性，但也在過程中發現多項可修正改進的地方，我們在實驗四改良實驗設計，從觀測口的調整、帳篷結構的改良以減少觀測者的人為干擾，並縮短每隻陸蟹的實驗時間，改善燈光裝置。除此之外，我們也加入更多的實驗天數，以達到更高的樣本數來驗證毛足特氏蟹的光趨性。未來研究將可加入夜間攝錄影設備，除了減少人為活動的干擾，亦可更仔細觀察到陸蟹的移動路線。

(二) 實驗三水管實驗的結果偏差

我們發現實驗三的結果不管在藍光或紫光下，陸蟹的光趨性行為皆不顯著，以下是我們推測的可能原因：

1. 光源設置：我們將LED燈箱置於水管末端開口處往中間照，推測因水管不夠長，再加上水管表面光滑（PVC材質），光射入水管後於內部產生多次反射，造成幾乎整個水管都有光，導致陸蟹無法準確判斷光源，進而影響實驗設計與結果。
2. 水管尺寸：我們嘗試以水管模擬台26線公路旁的水溝與涵道，但水管的長度僅200公分、直徑僅15公分，無法有效模擬涵道實際狀況，進而影響陸蟹的移動選擇。
3. 人為干擾：實驗過程中觀察者的聲音與動作，以及管內空間小，造成陸蟹抓放過程中的過度干擾，都可能影響陸蟹對光趨性的判斷。

綜合以上問題，未來不建議以PVC水管模擬涵道進行光趨性實驗，可直接於公路涵道進行實驗，並增加實驗樣本數，預期可得到較符合自然情況之行為結果。

(三) 光源閃爍是否帶來更顯著的光趨性？

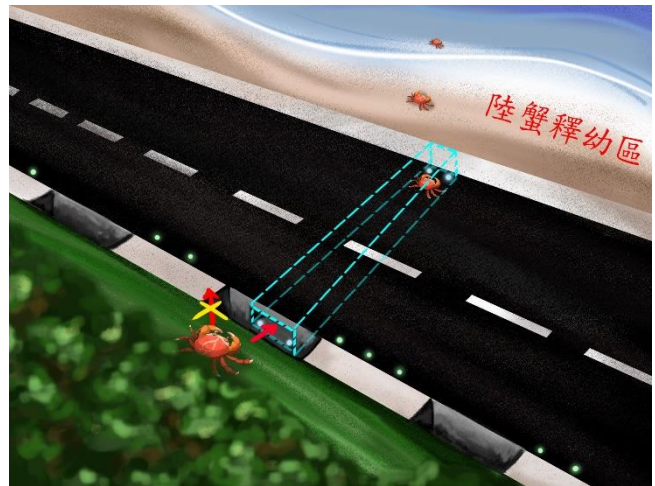
我們於2022年（實驗四）開始加入光源閃爍的變因，發現在較有趨性的光源下（藍光、白光），陸蟹對閃爍與否的光趨性差異性較低；但在光趨性最低的綠光下，閃爍強化了陸蟹對綠光的迴避性。本研究僅針對單一閃爍頻率與恆亮做比較，未來可進一步調整光源的閃爍頻率，進而找出對陸蟹光趨性有最顯著影響的閃爍頻率。

(四) 本研究對陸蟹保育之貢獻

本研究為國內外首度以LED光源對陸蟹進行光趨性測試，並得到顯著的光趨性差異之研究，未來可針對藍光進行波長區段細分（例如深藍、淺藍等），或加入可見

光以外之光源（例如紅外光、紫外光），找出最具顯著光趨性之波段，並加入其他高路殺風險之陸蟹物種測試。

除此之外，本研究之結果可作為相關陸蟹保育研究單位之參考依據，以本研究的初步結果顯示，可在高路殺路段的公路邊緣設置綠色閃爍光源，以減少陸蟹直接跨越道路至海邊釋幼的機率；在海岸林至地下廊道的路線設置藍色光源，一路誘導陸蟹走入涵道跨越道路，以減少遭路殺之風險（如圖二十六所示）。2023年7月起，將由海洋大學、墾管處與相關專家學者依據本實驗結果，於墾丁香蕉灣新設的地下廊道進行現地實驗，未來再依實驗結果評估在公路下方的涵道或公路旁的溝渠加裝光源，誘導陸蟹通過涵道。



圖二十六、依據本研究結果繪製出公路旁燈光設置示意圖

（五）未來延伸探討議題

1. 在本次研究中，我們於實驗中發現部分毛足特氏蟹靠近紅光時，會揮動螯足產生類似攻擊之行為，也因為如此，導致對紅光展現偏高的光趨性比例，未來仍需更多行為實驗討論此行為帶來之意義。
2. 本研究同時記錄了壽山樣區2021年10月至2022年9月降海中毛足特氏蟹的數量及甲殼寬資訊，在161隻的甲殼寬資料中，我們發現最小為43mm，最大為84mm，平均為59.8mm，本研究未涵蓋陸蟹大小與光趨性之探討，因此未做更多的分析討論，但是此毛足特氏蟹之基本生態資料可提供其他研究單位作為後續研究參考使用。
3. 從資料中我們得知毛足特氏蟹的降海日期多落在滿月前後，因此推測其降海行為與月光有關。月光是太陽光的反射光，為一混合色光，且其平均波長因觀測地點與時間有所差異，落在400nm到600nm之間〔十三〕〔十四〕〔十五〕，包括大多的可見光波長。未來可加入墾丁地區滿月時月光波長對陸蟹的光趨性研究。
4. 本次研究對象為墾丁國家公園內路殺比例前五名之一的蟹種—毛足特氏蟹，未來研究也可納入其他高路殺比例的陸蟹，如：奧氏後相手蟹、帝王仿相手蟹、紫地蟹等蟹種，整體性評估降海中陸蟹的光趨性行為。

陸、結論

(一) 【實驗一】色光趨性實驗

以白、紅、藍、紫、綠五種色光於帳篷內進行實驗，作為毛足特氏蟹在不同色光下趨性研究之前測試。結果顯示陸蟹對不同色光有顯著之行為差異，以藍光之光趨性最為顯著，其次是白、紅光，接下來為綠光，最後為紫光。

(二) 【實驗二】特定色光趨性實驗

調整帳篷與光源裝置，以降低觀測者的干擾，提供陸蟹明確的光源與黑暗區。於帳篷內對白、藍、紫三種色光進行光趨性實驗。結果與實驗一吻合，陸蟹對藍光展現最顯著之光趨性，其次為白光，最後為紫光。

(三) 【實驗三】水管實驗

以PVC水管模擬涵道環境，探討陸蟹於管內對之前實驗趨性最高和最低之藍、紫光的光趨性。結果顯示陸蟹對藍光之趨性較紫光高，但差異不顯著，推測為管徑太小，使光於管內多次反射導致光量在左右兩端差異不大，而影響實驗結果。

(四) 【實驗四】改良版色光趨性實驗

本實驗大幅改良實驗裝置與設計，縮短每隻陸蟹實驗時間，並設立趨性等級分類標準，計算分數評估各色光之光趨性。以白、紅、藍、紫、綠五種色光進行實驗，並加入閃爍光源。結果顯示陸蟹對藍光恆亮表現出最高之光趨性，對綠光閃爍產生迴避現象。特別的是我們觀察到陸蟹對紅光有攻擊行為，此行為之意義有待後續研究進行更多討論。

(五) 【實驗五】墾丁實驗

我們選擇研究中趨性最顯著的藍光，於墾丁香蕉灣之公路旁溝渠（陸蟹釋卵的其中一段路徑），測試以LED光源誘導陸蟹移動方向之可能性。結果顯示多數陸蟹成功移動至藍光光源，提供研究單位未來發展光趨地下廊道之參考依據。

(六) 研究總結

本研究結果顯示特定波長（藍光）之LED光源可誘導降海中毛足特氏蟹的移動行為，增加陸蟹對地下廊道的成功使用率，也可將綠色閃爍光源應用在高路殺公路邊緣，進而降低陸蟹遭路殺的比例。

柒、參考文獻資料

- 一、 Nguyen, K. Q., Winger, P. D., Morris, C., & Grant, S. M. (2017). Artificial lights improve the catchability of snow crab (*Chionoecetes opilio*) traps. *Aquaculture and Fisheries*, 2, 124-133. <http://doi.org/10.1016/j.aaf.2017.05.001>
- 二、 劉烘昌 (2019 年 11 月)。台灣的陸蟹傳奇 Part 1。鳥語雜誌，353，17-22。
- 三、 劉烘昌 (2020 年 01 月)。台灣的陸蟹傳奇 Part 2。鳥語雜誌，354，19-24。
- 四、 古清芳、吳昭煌、王嘉祥、劉烘昌 (2020)。台 26 線香蕉灣—砂島地區陸蟹路殺研究。臺灣公路工程，46 (3)，19-47。
- 五、 劉烘昌、王嘉祥 (2019)。台 26 線香蕉灣—砂島地區陸蟹路殺及遷徙行為研究。交通部公路總局第三區養護工程處。124 頁。
- 六、 劉烘昌 (2020)。108-109 年墾丁國家公園陸蟹生態資源調查計畫。內政部營建署墾丁國家公園管理處。171 頁。
- 七、 Burggren, W. W. & McMahon, B. R. (1988). Introduction. In: *Biology of the land crabs*, (Eds. W. W. Burggren & B. R. McMahon), 1-10, Academic Press, Cambridge.
- 八、 Adiyodi, R. G. (1988). Reproduction and development. In: *Biology of the land crabs*, (Eds. W. W. Burggren & B. R. McMahon), 139-185, Academic Press, Cambridge.
- 九、 劉烘昌 (2009)。98 年度「墾丁國家公園陸蟹資源調查與經營管理計畫 (1)」。內政部營建署墾丁國家公園管理處。77 頁。
- 十、 劉烘昌 (2010)。99 年度「墾丁國家公園陸蟹資源調查與經營管理計畫 (2)」。內政部營建署墾丁國家公園管理處。88 頁。
- 十一、 墾丁國家公園管理處 (2022 年 9 月 15 日)。111 年 9 月 10-12 日墾管處辦理中秋守護陸蟹交通管制措施。台灣國家公園最新消息 <https://reurl.cc/Y8IORO>。
- 十二、 Weather Spark (2023 年 3 月 14 日)。 <https://tw.weatherspark.com/>。
- 十三、 National Library of Medicine (2020 年 1 月 15 日)。
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6961272/>
- 十四、 Astronomy & Astrophysics (2013 年 12 月 11 日)。
https://www.aanda.org/articles/aa/full_html/2013/12/aa22433-13/aa22433-13.html
- 十五、 Reaserchgate (2020 年 1 月)。<https://reurl.cc/ZWA2mV>
- 十六、 JASP Team (2023)。JASP (Version 0.17.2) [Computer software]。

【評語】 030316

優點：

本研究立意良善，旨在分析毛足特氏蟹對不同光源的趨向性行為。此研究探討降海中陸蟹對不同色光的光趨性，同時評估建構光趨性地下廊道的可行性，依據此研究結果可以應用光誘導方式來降低陸蟹在地下廊道中產生迷航現象，減少陸蟹遭路殺的風險。研究主題具有環境議題的重要性。

建議及檢討：

1. 研究結果雖具應用潛力，然與前人的研究成果雷同，而較缺新穎性。
2. 實驗五缺乏對照組。實驗五在墾丁陸蟹路殺嚴重的路段進行以藍光指引陸蟹，觀察陸蟹是否可順利通過實驗涵道，須增加實驗在無藍光的引導下，陸蟹是否也能順利通過涵道。
3. 數據的資料呈現宜應有統計與顯著性檢測，以提高實驗的可信度。建議將陸蟹移動分布的結果進行分類後再呈現。

4. 相關實驗的結果顯示藍光對陸蟹有較明顯的光趨性，但對於其他光源如白光、紅光、綠光的趨性部分則需要更進一步的研究，以充分理解陸蟹對不同光源的行為。

作品海報

陸蟹的指引燈 — LED 光源對降海中毛足特氏蟹
(*Tuerkayana hirtipes*) 誘導行為之研究



摘要

降海中陸蟹遭路殺是嚴重的保育議題，本研究探討降海中陸蟹對不同色光的光趨性，評估光趨地下廊道之可行性。研究於壽山進行白、紅、藍、紫、綠光之趨性實驗，分帳篷和水管兩種測試，綜合結果顯示毛足特氏蟹對藍光展現最高的光趨性，白光及紅光次之，最後是紫光及綠光，在綠光閃爍下呈現明顯的迴避性。接著於墾丁香蕉灣進行藍光誘導實驗，得出多數降海中毛足特氏蟹被光源吸引而由藍光處離開。本研究為國內外首次對降海中陸蟹進行光趨性實驗，得出以下結論：降海中毛足特氏蟹對藍光有顯著光趨性，此結果可望應用於陸蟹降海路線的涵道，利用光誘導降低陸蟹於地下廊道的迷航現象並提升其利用，以減少陸蟹媽媽和數以千計的卵遭路殺的機率。

壹、研究動機

我們了解到政府規劃涵道改善路殺，但陸蟹使用率低，且臺灣更缺少解決陸蟹路殺問題的相關研究，因此路殺依舊嚴重。目前尚無任何研究探討人工訊號對陸蟹降海的影響，引發我們想探討：「特定光源是否可指引降海中陸蟹的方向？」。假設我們能夠以光源作為陸蟹的引導訊號，是否有機會增加陸蟹對地下廊道之使用進而降低陸蟹的路殺比例？

貳、目的

- (一) 尋找以人工訊號誘導陸蟹降海行進方向之可能性。
- (二) 設計實驗探討降海中陸蟹對不同色光之趨性，探討光趨地下廊道的可行性。

三、研究過程及方法

決定主題、文獻探討、選定目標物種、製作實驗光源與材料 2021.9-10月

【實驗二】特定色光趨性實驗 + 結果分析 2021.10-12月

【實驗四】改良版趨性實驗 + 結果分析 2022.7-10月

整體研究結果分析討論 + 報告撰寫 2022.11月-2023.6月

【實驗一】色光趨性實驗 + 結果分析 2021.9-10月

【實驗三】水管實驗 + 結果分析 2022.2-6月

【實驗五】墾丁實驗 + 結果分析 2022.10月



目標物種選定

在目標物種的選定上，我們的選擇依據為：路殺比例高、容易觀察且較不易因人為干擾而影響其降海行為之陸蟹物種。因毛足特氏蟹符合以上條件，因此選定其作為本次研究的目標物種。

中文名：毛足特氏蟹

學名：*Tuerkayana hirtipes*

分布：毛足特氏蟹在臺灣的主要分布於墾丁國家公園海岸林區域。

習性：每年7月至11月是毛足特氏蟹的繁殖季高峰，生殖季節必須橫越馬路至海邊釋放受精卵。屬夜行性動物。主要以落葉、枯草為主食。

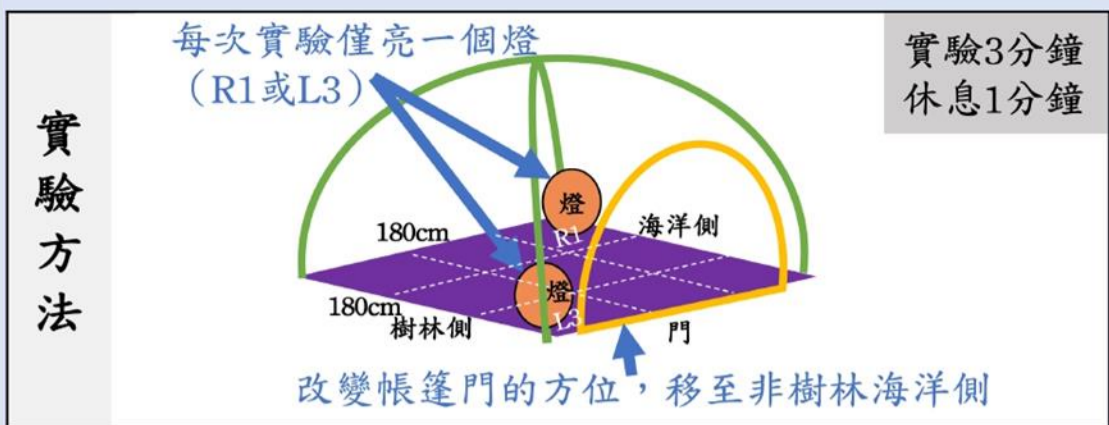
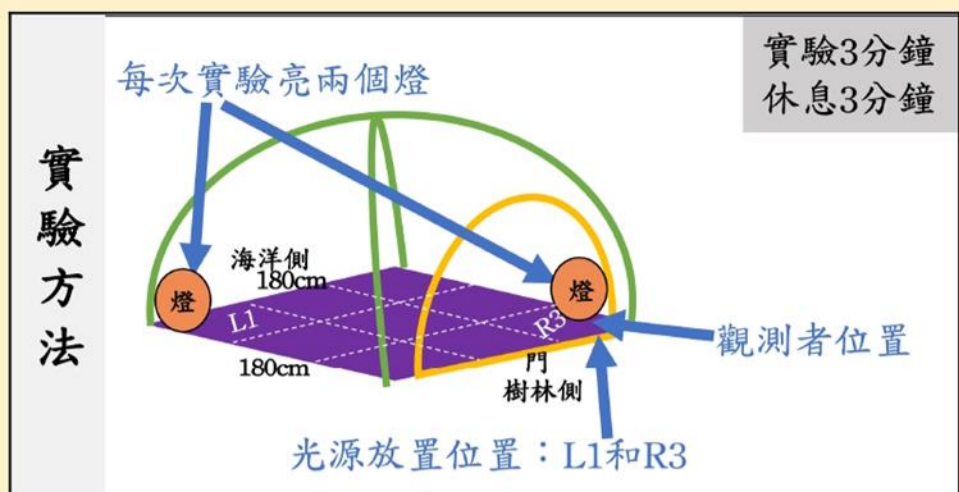
光源的選定

我們依國外一篇關於雪蟹對於LED色光趨性的研究，參考其使用的實驗光源：白、紅、藍、紫、綠光，來進行本次實驗。以光譜儀測定波長。

LED光源	白光	紅光	藍光	紫光	綠光
光譜圖					
照度(lux)	2021年:12 2022年:<1	<1	<1	<1	<1
色光峰值波長(nm)	450	630	450	396	534

實驗一、色光趨性實驗

實驗二、特定色光趨性實驗



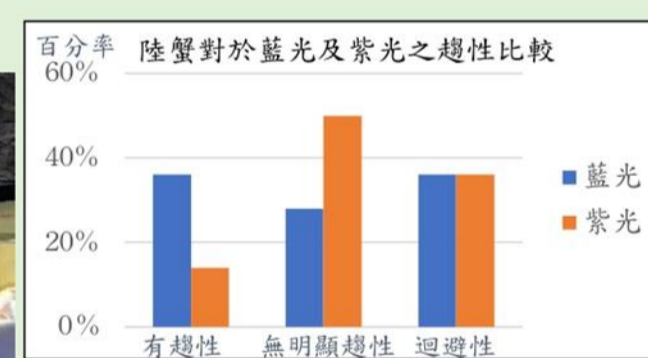
色光	陸蟹移動分布圖	趨性比例
白光		<p>迴避性 17%</p> <p>無明顯趨性 16%</p> <p>有趨性 67%</p>
紅光		<p>迴避性 17%</p> <p>無明顯趨性 16%</p> <p>有趨性 67%</p>
藍光		<p>迴避性 0%</p> <p>無明顯趨性 17%</p> <p>有趨性 83%</p>
紫光		<p>迴避性 33%</p> <p>無明顯趨性 67%</p> <p>有趨性 0%</p>
綠光		<p>迴避性 17%</p> <p>無明顯趨性 50%</p> <p>有趨性 33%</p>

色光	陸蟹移動分布圖	趨性比例
白光		<p>迴避性 32%</p> <p>有趨性 18%</p> <p>無明顯趨性 50%</p>
藍光		<p>迴避性 23%</p> <p>有趨性 41%</p> <p>無明顯趨性 36%</p>
紫光		<p>迴避性 41%</p> <p>有趨性 9%</p> <p>無明顯趨性 50%</p>

分析及討論

1. 陸蟹對藍光展現最顯著之光趨性，其次為白光，最後為紫光。
2. 對白光有趨性僅18%，推測是因為白光亮度太高。
3. 陸蟹很少會移動至R2、R3和M3，推測是因為觀測者的位置在R3造成人為干擾。

實驗三、水管實驗



分析及討論

1. 藍光有較顯著趨性，白、紅光次之，再來是綠光，對紫光明顯迴避。
2. 推測因M3、R3靠近觀測者位置，因此陸蟹出現在此兩區域的機率較低，影響R3光源的趨性準確性。

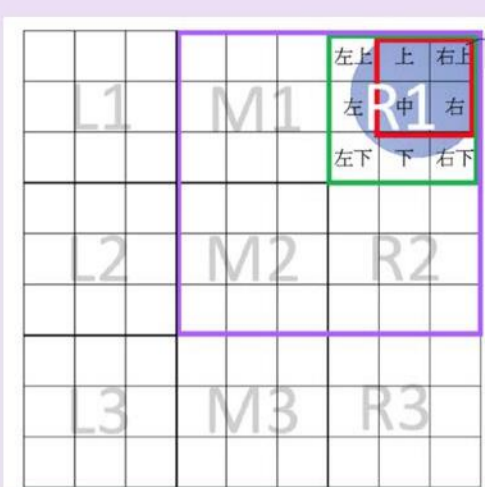
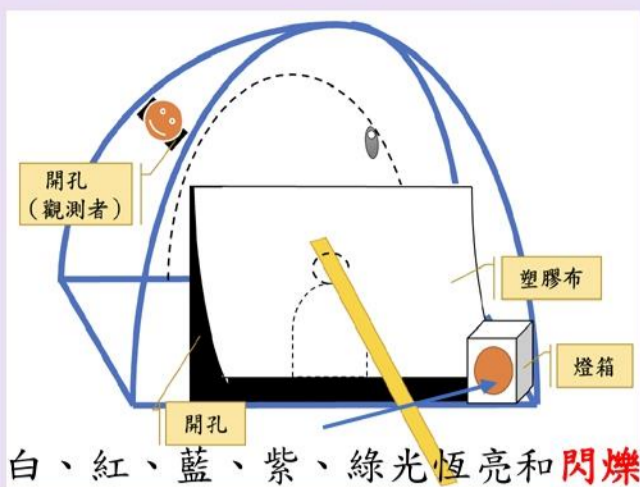
色光	陸蟹移動分布圖
無光	
紫光	
藍光	



分析及討論

藍光趨性較紫光高，但差異不顯著，推測為管徑太小，使光於管內多次反射導致幾乎整個水管都有光。

實驗四、改良版色光趨性實驗



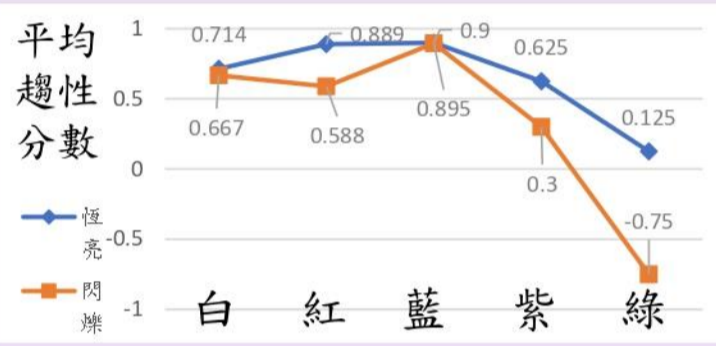
等級分類標準：
A: 有明顯趨性
B: 有些微趨性
C: 無趨性
D: 迴避性



	白光	紅光	藍光	紫光	綠光
等級 A					
趨性比例	<p>迴避性 20%</p> <p>有明顯趨性 32%</p> <p>無趨性 24%</p> <p>有些微趨性 24%</p>	<p>迴避性 19%</p> <p>有明顯趨性 23%</p> <p>無趨性 16%</p> <p>有些微趨性 42%</p>	<p>迴避性 17%</p> <p>有明顯趨性 38%</p> <p>無趨性 14%</p> <p>有些微趨性 31%</p>	<p>迴避性 32%</p> <p>有明顯趨性 25%</p> <p>無趨性 21%</p> <p>有些微趨性 22%</p>	<p>有明顯趨性 12%</p> <p>有些微趨性 13%</p> <p>無趨性 6%</p> <p>迴避性 69%</p>

分析及討論

1. 對藍光恆亮表現出最高光趨性。
2. 對綠光閃爍產生最高迴避現象。
3. 陸蟹對紅光有疑似攻擊行為。
4. 五種色光間有明顯差異 ($p < 0.05$)。綠光對白、紅、藍光有明顯差異 ($p < 0.05$)。



實驗五、墾丁實驗

行為判讀	百分比
從藍光處離開	63%
留在涵道中	25%
不明	12%

分析及討論

1. 結果顯示有63%的陸蟹在藍光的指引下成功由藍光處離開涵道，25%留在涵道中，12%的陸蟹動態不明。
2. 本實驗涵道為平行馬路，而非垂直於公路至海洋，有可能造成迷航。



結論與未來展望

結論：
結果顯示降海中毛足特氏蟹對特定波長(450nm)之LED光源(藍光)恆亮有最明顯趨性，對綠光(534nm)閃爍有迴避現象。於墾丁實地進行實驗，結果一致。

未來展望：

1. 部分陸蟹靠近紅色實驗光源揮動螯足之意義。
2. 記錄壽山地區之毛足特氏蟹生態資料，可作為後續族群數量調查之基礎，例如：甲殼寬大小與光趨性之探討。
3. 針對雲量(月光亮度)與陸蟹降海隻數統計延伸研究。
4. 對不同種類高路殺比例之陸蟹之光趨性實驗。

實際應用：

藍光恆亮於陸蟹降海路段之涵道。

綠光閃爍於道路旁。



參考文獻(節錄)

1. Nguyen, K. Q., Winger, P. D., Morris, C., & Grant, S. M. (2017). Artificial lights improve the catchability of snow crab (*Chionoecetes opilio*) traps. *Aquaculture and Fisheries*, 2, 124-133. <http://doi.org/10.1016/j.aaf.2017.05.001>
2. 古清芳、吳昭煌、王嘉祥、劉煥昌 (2020)。台26線香蕉灣一砂島地區陸蟹路殺研究。臺灣公路工程, 46 (3), 19-47。
3. 劉煥昌、王嘉祥 (2019)。台26線香蕉灣一砂島地區陸蟹路殺及遷徙行為研究。交通部公路總局第三區養護工程處。124頁。
4. 劉煥昌 (2020)。108-109年墾丁國家公園陸蟹生態資源調查計畫。內政部營建署墾丁國家公園管理處。171頁。
5. JASP Team (2023)。JASP (Version 0.17.2) [Computer software]。