

# 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

030310

**Who 焦蝦？社會經驗對螯蝦壓力反應行為影響  
之初探**

學校名稱：嘉義縣立永慶高級中學(附設國中)

作者：  國二 曾崇御  國二 郭亮廷	指導老師：  張珮珊  李雅婷
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：螯蝦、社會經驗、動物行為

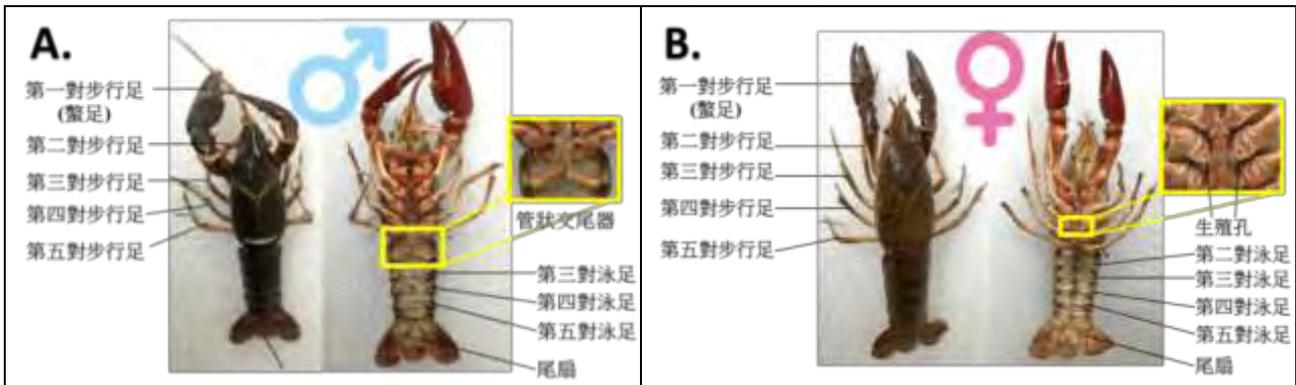
## 摘要

本研究嘗試以螯蝦動物模式探討社會經驗多寡與性別差異對其面臨壓力反應行為的影響。我們成功建置隔離獨居、集體群居之養殖系統；設計競技缸試驗來觀察螯蝦面對優勢個體的互動行為，再透過十字迷宮試驗進行螯蝦壓力反應(類焦慮行為誘發)之評估；此外，我們發展簡單的影像分析方法來解析影像數據。結果顯示，社會經驗(集體群居或獨居)與性別都會影響螯蝦面對優勢個體的互動模式與壓力反應行為，且性別差異的影響力較明顯，公螯蝦有較高比例的迴避、戰鬥狀態，母螯蝦互動以推擠為主，此外，社會經驗多的小公蝦可能因能迴避生存威脅、處理面對優勢個體所導致的壓力，而更趨於探索環境。

## 壹、研究動機與背景

動物行為是有趣的生物章節，但研究不容易，因此課本中討論篇幅不多。去年五月，某大學教授送我們十隻克氏螯蝦，誘發我們的探索動物行為的興趣。

克氏螯蝦分類於軟甲綱(Malacostraca)，十足目(Decapoda)，螯蛄科(Cambaridae)，原螯蝦屬(*Procambarus*)，克氏原螯蝦種(*Procambarus clarkii*)，是常見淡水螯蝦，其適應力強，為台灣外來入侵種。克氏螯蝦的公母差異在於公螯蝦第一與二對泳足特化成管狀交尾器(如圖一 A)，母螯蝦於第三對步足基部有一對圓形生殖孔(如圖一 B) (黃基森、周建銘，2013)。



圖一、克氏螯蝦背面與腹面的形態特徵。A.公螯蝦；B.母螯蝦

獨居螯蝦會積極捍衛領域，群居螯蝦的侵略性則較弱。實驗顯示，將獨立飼養 2-3 週的同體型公蝦置於有限空間時，牠們會先探索環境，一旦螯蝦面對面，即進入戰鬥狀態，當其中一方撤退，戰鬥即結束。值得注意的是，勝利公螯蝦仍會有持續的威嚇騷擾，如圖二 (Bacqué-Cazenave et al., 2017)。



圖二、獨居克氏公螯蝦於有限空間之行為模式 (取自 Bacqué-Cazenave et al., 2017 發表影片)

我們初步行為觀察發現，養殖在同缸的螯蝦行為很多元，如打鬥、威嚇或逃跑等，而獨立養殖的螯蝦則常躲在塑膠管(庇護所)。我們認為同種生物群居而產生的各種互動，即社會經驗，對動物的行為有深遠影響，尤其是面對壓力的反應。就人類來說，社會經驗豐富者在面對壓力時(同儕競爭、優勢個體)，較能調適、處理壓力來源；而社會經驗少者則可能缺乏應對的技能，導致壓力處理失敗，因此面對壓力容易緊張、退縮或誘發焦慮行為，而這些行為存在性別差異(蘇聖傑，2017)。目前嚙齒類動物是科學家常用以進行焦慮研究的動物模式，而十字迷宮則是試驗焦慮行為的典型方法，一般來說實驗動物停留在亮區時間增加，表示焦慮程度減輕(吳啟瑞，2012)。

數篇關於螯蝦社會經驗與焦慮行為的報導引起我們的關注。第一篇是科學家測試公螯蝦對酒精暴露的敏感度，發現群居生活的公螯蝦比較容易酒醉，進而證實螯蝦的社會經驗多寡會導致其神經系統變化。學者推測可能是神經傳導物質的受體(如血清素受體等)發生改變(Swierzbinski et al., 2017)。另一方面，類焦慮行為也在螯蝦中被證實存在。科學家以電擊、個體競爭等壓力誘發公螯蝦焦慮感，將公螯蝦置於十字迷宮，藉由計算停留亮區時間比來評估受壓力刺激之公螯蝦的行為變化。研究顯示，電擊與個體競爭等壓力確實會讓公螯蝦退縮而增加停留在暗區的時間，此即為螯蝦的類焦慮行為。科學家也證實神經傳導物質，如血清素，是誘發螯蝦焦慮的關鍵，且注射人類抗焦慮藥物「苯二氮平類 (benzodiazepine, BZD)」能成功降低螯蝦對光環境的逃避，即降低其焦慮感，顯示螯蝦因壓力而誘發焦慮的神經迴路可能與人類相似(許晉榮，2015; Fossat et al., 2014; Bacqué-Cazenave et al., 2017)。

綜合上述文獻，螯蝦社會經驗多寡可能影響神經傳導物質的受體變化，而類焦慮行為的誘發與神經傳導物質相關，是以推測社會經驗多寡與螯蝦類焦慮行為的誘發可能存在一些關聯。因此，我們想評估螯蝦之社會經驗是否影響其面對壓力的反應行為，並瞭解這些行為的差異。然而，不論是傳統嚙齒類的動物研究或螯蝦實驗，都缺乏對雌性個體的描述，因此，在本實驗中我們也進行母螯蝦的試驗，以評估性別對動物行為的影響。

## 貳、研究目的

基於動物福祉與研究發展性，本研究將建置集體群居/隔離獨居之螯蝦養殖系統，再評估不同社會經驗之公母螯蝦在面臨壓力(同種但體型較大之優勢個體)的反應。

待答問題如下：

一、社會經驗多寡與性別差異對螯蝦面臨優勢個體之壓力反應行為(十字迷宮表現)有何影響？

- (一) 優勢個體的挑戰與否對集體群居/隔離獨居之公母小螯蝦於十字迷宮的移動路徑有何影響？
- (二) 集體群居/隔離獨居之公母小螯蝦於十字迷宮之亮臂停留時間有何差異？
- (三) 優勢個體的挑戰對集體群居/隔離獨居之小螯蝦於十字迷宮之亮臂停留時間有何影響？
- (四) 在面臨優勢個體挑戰後，集體群居/隔離獨居之公母小螯蝦於十字迷宮之亮臂停留時間有何差異？

預期結果一：

面對優勢個體壓力時，社會經驗與性別差異都會影響螯蝦壓力的反應行為，社會經驗多的螯蝦在十字迷宮之亮臂停留時間可能較長，而公螯蝦可能也在亮臂停留較久，更願意探索環境。

二、社會經驗多寡與性別差異對小螯蝦面臨優勢個體之互動行為有何影響？

- (一) 集體群居/隔離獨居之公母小螯蝦與優勢個體之互動總量有何差異？
- (二) 集體群居/隔離獨居之公母小螯蝦與優勢個體之互動模式有何差異？

預期結果二：

社會經驗與性別差異都會影響小螯蝦與優勢個體的互動，社會經驗多的螯蝦互動總量可能較多，而相較於公螯蝦，母螯蝦間的互動比例也可能較高，不過其互動模式應該有些差異，社會經驗少的螯蝦可能較有侵略性，而公螯蝦可能也會有較高比例的戰鬥。

三、小螯蝦的互動行為與其十字迷宮表現有何關聯？

預期結果三：

小螯蝦在競技缸中與優勢個體互動行為可能影響其十字迷宮的壓力反應，推測戰鬥愈猛烈，小螯蝦會變得較為退縮而導致待在十字迷宮之亮臂比例減少。

## 參、實驗材料與器材

### 一、實驗動物：克氏螯蝦(*Procambarus clarkii*)

(一) 來源：購買自專家於溪流捕捉之野外族群，初始體型約 4~5cm，養殖一個月後進行試驗。

### (二) 螯蝦養殖系統的建置

#### 1. 集體群居養殖缸

本養殖缸體積  $L*W*H=150*70*40\text{ cm}^3$ ，以鐵架架高 14cm，採抽水馬達搭配生化過濾棉作為濾水系統，以維持水質與菌群生態，並設置不斷電打氣機以維持缸內溶氧度。

#### 2. 隔離獨居養殖缸

隔離獨居養殖缸為  $L*W*H=150*70*40\text{ cm}^3$  之玻璃缸，採外掛式過濾系統，以鐵架架高 14cm，以造船隔間工法(如圖三)隔成 24 小間。隔間中交錯置放由打氣機分流的水妖精，以維持內各隔間的溶氧、菌群並強化過濾效果。



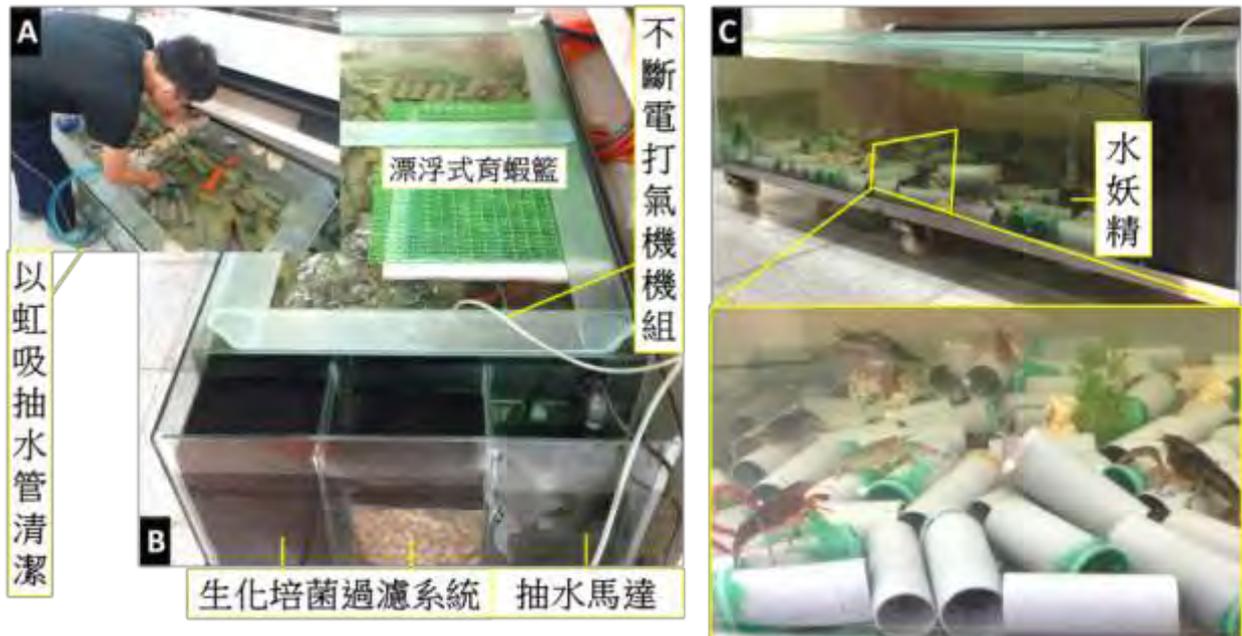
圖三、造船隔間工法施作實況。

①測量/確認隔間吸盤位置；②確認隔板間的密合度；③製作橫向隔板窗戶；④組裝隔板；⑤以熱熔膠固定隔板；⑥分配打氣裝置；⑦架設過濾桶、注水測試；⑧隔離養殖缸完成。

### (三) 集體群居/隔離獨居養殖實況

#### 1. 集體群居螯蝦的養殖

根據實驗設計挑選完整體型大小性別之欲隔離養殖的螯蝦後，其餘螯蝦均養殖在此缸，放入自製庇護所(PVC 水管)，也放入石頭供螯蝦順利蛻殼(如圖四)。

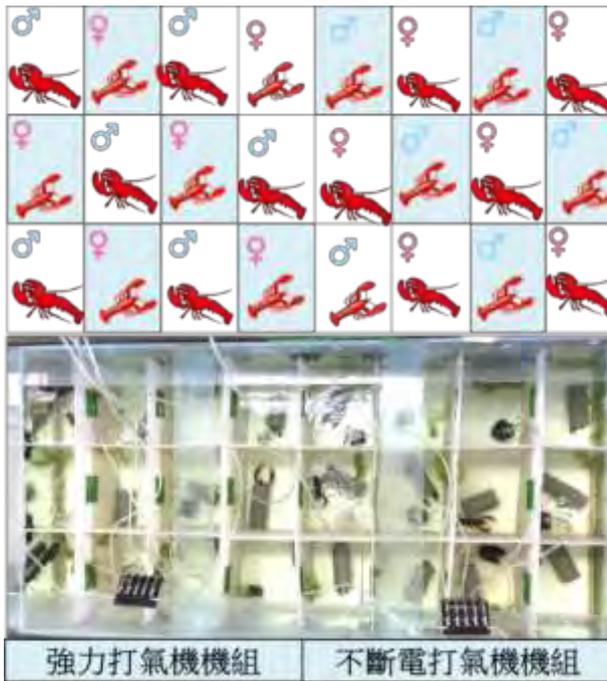


圖四、集體群居螯蝦養殖系統。A.水質清潔維護；B.過濾系統；C.養殖實況。

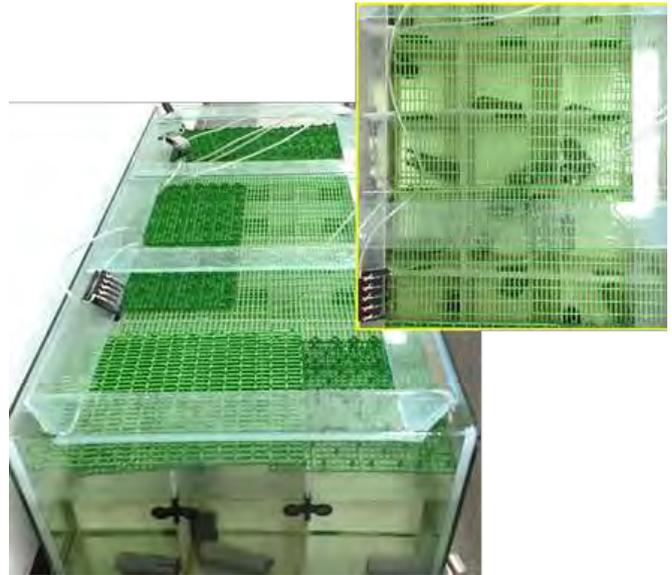
我們以魚飼料餵食螯蝦，每天一餐。若缸中有死亡螯蝦，會迅速移除；此外，每週置換原缸水量 1/3，並吸取缸底多餘飼料與排泄物來維護水質(圖四 A)。本缸採內建式抽水過濾系統(圖四 B)，增設不斷電的大水妖精打氣(圖四 C)，溶氧值能維持 7mg/L 左右，適合螯蝦穩定生存。

#### 2. 隔離獨居螯蝦的養殖

根據實驗需求將大小體型不同之公母螯蝦交錯置入隔間養殖(如圖五)，並標示日期、性別與體重。以止滑板作為屋頂防止螯蝦逃離(如圖六)。溶氧是螯蝦生存關鍵，是以交錯隔間置入含打氣裝置的小水妖精，確保隔間溶氧保持約 7mg/L。每隻螯蝦一天給予約五顆飼料，且每天局部清潔；當螯蝦蛻殼或死亡，會迅速移除，因此本缸水質控制良好(溶氧值 7mg/L 以上)，適合螯蝦穩定生存，僅需每 2-3 週換水一次。



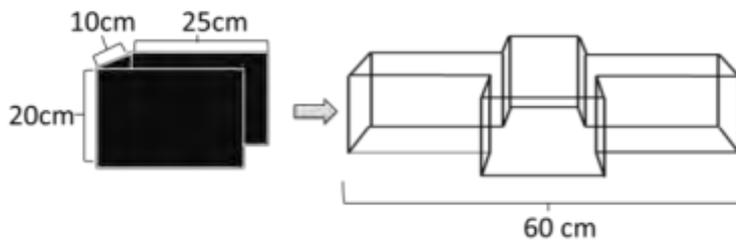
圖五、隔離獨居螯蝦的養殖配置圖。



圖六、含屋頂的隔離獨居螯蝦養殖缸。

## 二、十字迷宮製作:

十字迷宮係根據文獻(Fossat et al., 2014)繪製設計稿(L\*W\*H=60\*60\*20 cm<sup>3</sup>、壁長25cm、寬10cm)，委外製作十字玻璃缸，我們再運用PP板製作暗臂，PP板間以熱熔膠接合，再藉黑色絕緣膠帶遮光(如圖七)。



圖七、十字迷宮暗臂設計與成品。

三、器材:

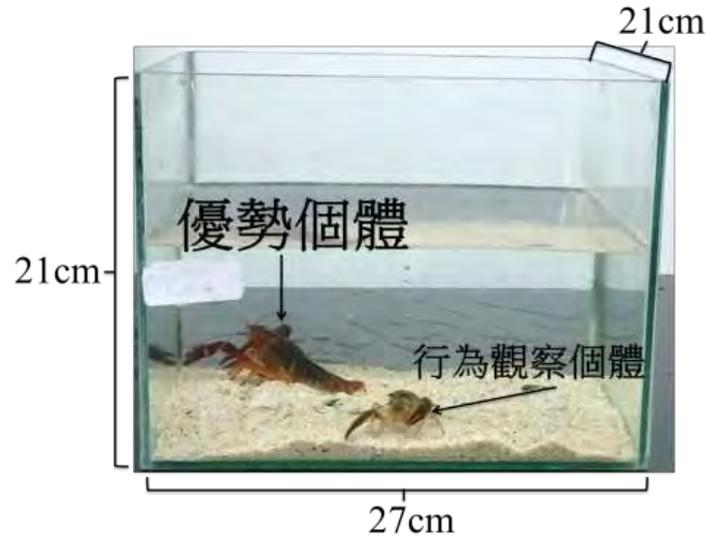
表一、實驗器材清單

實驗動物養殖用具			
1.	玻璃養殖缸 L*W*H=150*70*40 cm <sup>3</sup> (含不鏽鋼鐵架)	2.	UC-1500 過濾系統
3.	玻璃養殖缸 L*W*H=150*70*40 cm <sup>3</sup> (含不鏽鋼鐵架)	4.	內嵌式濾水與抽水馬達
5.	EP-12000 不斷電打氣機×2	6.	EP-900 打氣機
7.	Teion3500CO 打氣機	8.	MR.Agua3500 打氣機
9.	生物棉培菌過濾器(小水妖精)×10	10.	生物棉培菌過濾器(大水妖精)×2
11.	氣泡石×4	12.	淨水培菌生化過濾棉
13.	不織布過濾棉	14.	水管 2m(20mm)×1/ 5m(15mm)×1
15.	電動洗砂器	16.	虹吸抽水管
17.	底棲魚料×8 罐	18.	篩網×2
19.	不鏽鋼夾×3	20.	電子秤
21.	PVC 水管	22.	清潔刷
23.	燒杯 250ml	24.	紗網
25.	咕啞石	26.	燒杯 500ml
27.	標籤紙	28.	金魚草
29.	量筒 500ml /1000ml	30.	塑膠止滑板
31.	束帶	32.	荷蘭沙
33.	水蘊草	34.	打氣管(5mm)
實驗器材			
35.	玻璃競技缸 27*21*21 cm <sup>3</sup>	36.	玻璃十字缸 L*W*H=60*60*20 cm <sup>3</sup>
37.	競技缸隔離板 L*W*H=6*5*8 cm <sup>3</sup>	38.	紙箱 L*W*H=22*21.5*10 cm <sup>3</sup> ×10
39.	移動式白板 L*W*H=67*2*160 cm <sup>3</sup> ×2	40.	鐵板 L*W*H=99*45.5*2 cm <sup>3</sup>
41.	環狀 LED 燈×4	42.	LAB QUEST 2 數據擷取介面
43.	玻璃方形桌 L*W*H=67*67*51 cm <sup>3</sup>	44.	ODO-BTA 溶氧計
45.	LS-BTA 光感應器	46.	計時器×3
47.	4K 攝影機×2	48.	平板
49.	筆記型電腦×3	50.	透明資料夾頁
51.	PP 瓦楞板	52.	影像擷取軟體、統計軟體 SPSS 22 版

## 肆、實驗過程與方法

### 一、實驗設計

#### (一) 螯蝦面對優勢個體的互動行為-競技缸試驗



圖八、競技缸實景。

		母螯蝦		公螯蝦	
		集體群居	隔離獨居	集體群居	隔離獨居
實驗組	有優勢個體				
	無優勢個體				

圖九、實驗設計示意圖。

本實驗以  $L*W*H=27*21*21 \text{ cm}^3$  之魚缸作為螯蝦互動之競技缸(如圖八)，並針對社會經驗多寡(集體群居/隔離獨居)與性別差異(母/公螯蝦)分為四大組別進行試驗(如圖九)，各組大螯蝦為「優勢個體」，均隔離獨居飼養三週以上(Bacqué-Cazenave et al., 2017)，平均體重為  $22.51 \pm 1.96 \text{ g}$  (大母蝦  $21.45 \pm 2.16 \text{ g}$  /大公蝦  $23.57 \pm 0.97 \text{ g}$ )。小螯蝦作為「行為觀察個體」，平均體重為  $13.07 \pm 2.25 \text{ g}$  (獨居小母蝦  $12.12 \pm 1.59 \text{ g}$  /群居小母蝦  $12.75 \pm 1.91 \text{ g}$ ；獨居小公蝦  $13.39 \pm 3.76 \text{ g}$  /群居小公蝦  $13.87 \pm 0.76 \text{ g}$ )。

每回試驗皆有一實驗組(小螯蝦與同性獨居優勢大螯蝦)和對照組(小螯蝦體重與實驗組相近，但無優勢螯蝦存在)，待測試之優勢大螯蝦、小螯蝦會以透明隔板隔離並共同置於缸內一分鐘(如圖十)，待螯蝦適應環境後再進行試驗。以二台攝影機由側面與上方記錄記錄競技缸內的事件 20 分鐘(Bacqué-Cazenave et al., 2017) (如圖十)，20 分鐘後立即將小螯蝦移至十字迷宮進行試驗。

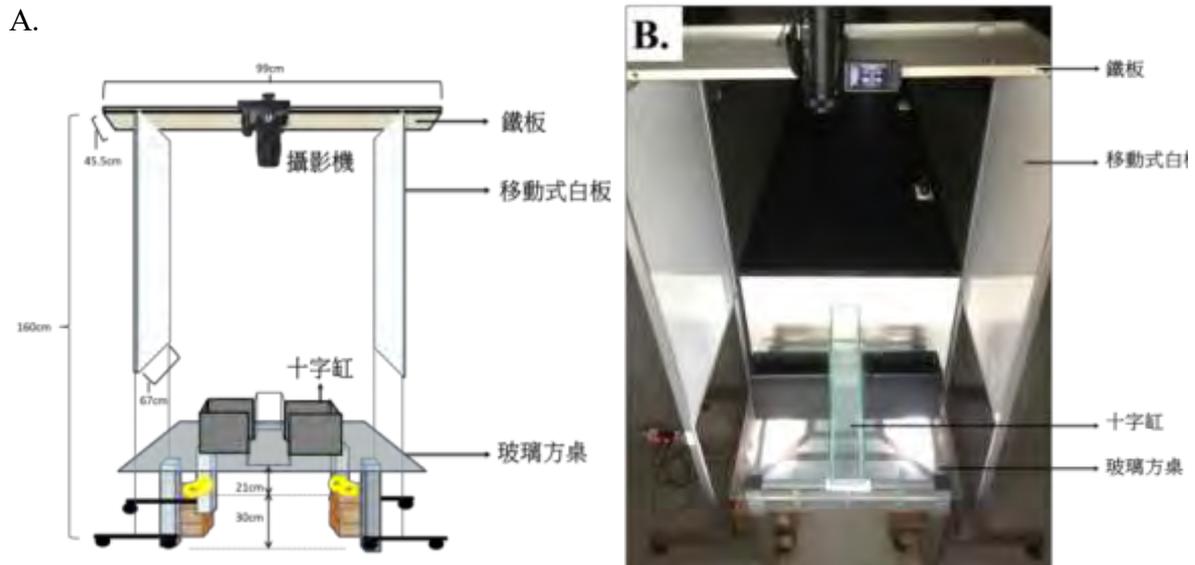


圖十、競技缸試驗設置示意圖。

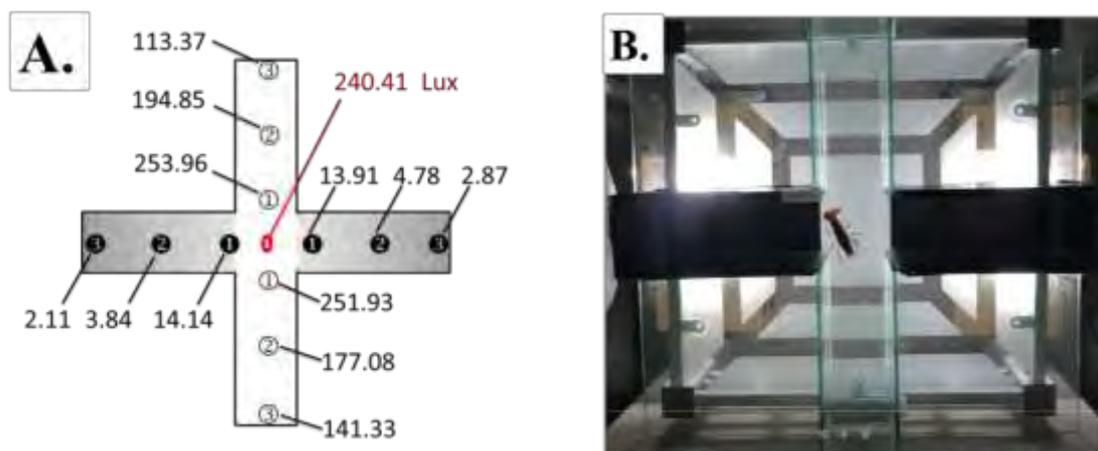
(二) 螯蝦壓力反應行為(類焦慮行為)評估-十字迷宮試驗

十字迷宮實驗裝置如圖十一，主要評估小螯蝦在競技缸試驗後的壓力反應，我們以玻璃桌架高十字迷宮，下方以 LED 燈照明(以紙箱架高 30 cm)，置於十字缸左右暗臂底下 21 cm 處，控制亮臂之平均照度為 188.75 Lux，暗臂為 6.94 Lux，平均照度如圖十二 A(Fossat et al., 2014)。攝影機以俯視角度拍攝十字迷宮缸。

每次僅試驗一隻剛完成競技缸試驗的小螯蝦，待測小螯蝦先放置於十字迷宮中央正方形區域(如圖十三 B)，以上方攝影機記錄小螯蝦於十字迷宮內的移動路徑 20 分鐘，完成試驗後方進行小螯蝦體重測量。



圖十一、十字迷宮試驗設計。A. 十字迷宮設置示意圖；B. 十字迷宮影像收集實況。



圖十二、十字迷宮照度(單位: Lux)。A.照度值示意圖；B.十字迷宮照度實況。

## 二、資料分析

### (一) 十字迷宮路徑分析

#### 1. 路徑圖繪製

移動路徑繪製係利用透明資料夾內頁，浮貼於螢幕上(如圖十三)，運用電影與電視軟體播放檔案，位置校準後開始繪製，紅色◎代表螯蝦起始位置，再以藍色筆沿小螯蝦頭部中心繪製移動路徑，最後以紅色●代表螯蝦最終點。



圖十三、螯蝦十字迷宮移動路徑繪製實況。

#### 2. 十字迷宮亮/暗臂時間比例分析

以 Excel 製作時間模板(如圖十四)，播放影像同時運用此時間模板紀錄各隻螯蝦於十字迷宮亮、暗臂之移動、停止時間(如圖十五)，定義如下：

- (1)亮區移動時間：在亮區且任一隻步足有移動，以■表示。
- (2)亮區靜止時間：在亮區且步足均無移動，以■表示。
- (3)暗區移動時間：在暗區且任一隻步足有移動，以■表示。
- (4)暗區靜止時間：在暗區且步足均無移動，以■表示。



圖十四、時間模板，一格代表一秒。



## (二) 競技缸之行為指標建立與分析

### 1. 行為指標建立

競技缸內小螯蝦與優勢螯蝦的互動多元，我們各組別挑選一個影片來進行互動行為分析。首先，我們共同觀看四個影片，自四部影片中找出相似或相對顯著的行為，透過討論以具體描述九大行為，分別為迫近、挑釁、攻擊、戰鬥狀態、推擠、被推離、迴避、逃離、扇尾逃跑，定義如下，影片如附件。

- (1) **迫近**：一隻螯蝦快速靠近另一隻螯蝦，但兩者無接觸的情況，以■表示。
- (2) **挑釁**：一隻螯蝦以螯碰觸到另一隻螯蝦身體任何部位，以■表示。
- (3) **攻擊**：一隻螯蝦舉起螯快速靠近另一隻螯蝦，且碰觸到對方身體任何部位，以■表示。
- (4) **戰鬥狀態**：兩者同時以螯相互箝制，持續兩秒以上，以■表示。
- (5) **推擠**：兩隻螯蝦在身體任何部位有所接觸並相互施力(除正面以螯推擠外)，以■表示。
- (6) **被推離**：推擠時，一隻螯蝦向另一隻螯蝦施力，使其被推開，以■表示。
- (7) **迴避**：當一隻螯蝦靠近另一隻螯蝦，被靠近的螯蝦嘗試以各種方式遠離靠近的螯蝦，以■表示。
- (8) **逃離**：螯蝦以步足爬行方式自戰鬥狀態離開戰局，以■表示。
- (9) **扇尾逃跑**：螯蝦以腹部和尾扇收縮捲曲方式，使身體迅速向後逃跑，以■表示。

## 2. 小螯蝦(行為觀察個體)之行為分析

本分析目的是想瞭解小螯蝦面對優勢個體壓力的互動行為，因此小螯蝦為觀察主角，根據上述行為指標定義，我們以時間模板分別針對同一組影像進行行為色塊標示(如圖十六)，再將二人分析結果比對，針對不同色塊標示進行討論以達共識。最後計算各色塊格數，以計算各行為發生的總時間與互動總量、平均標準誤差，繪製長條圖，再進行統計分析。此外，以組別為單位，計算各行為發生的時間百分比以繪製成圓餅圖。



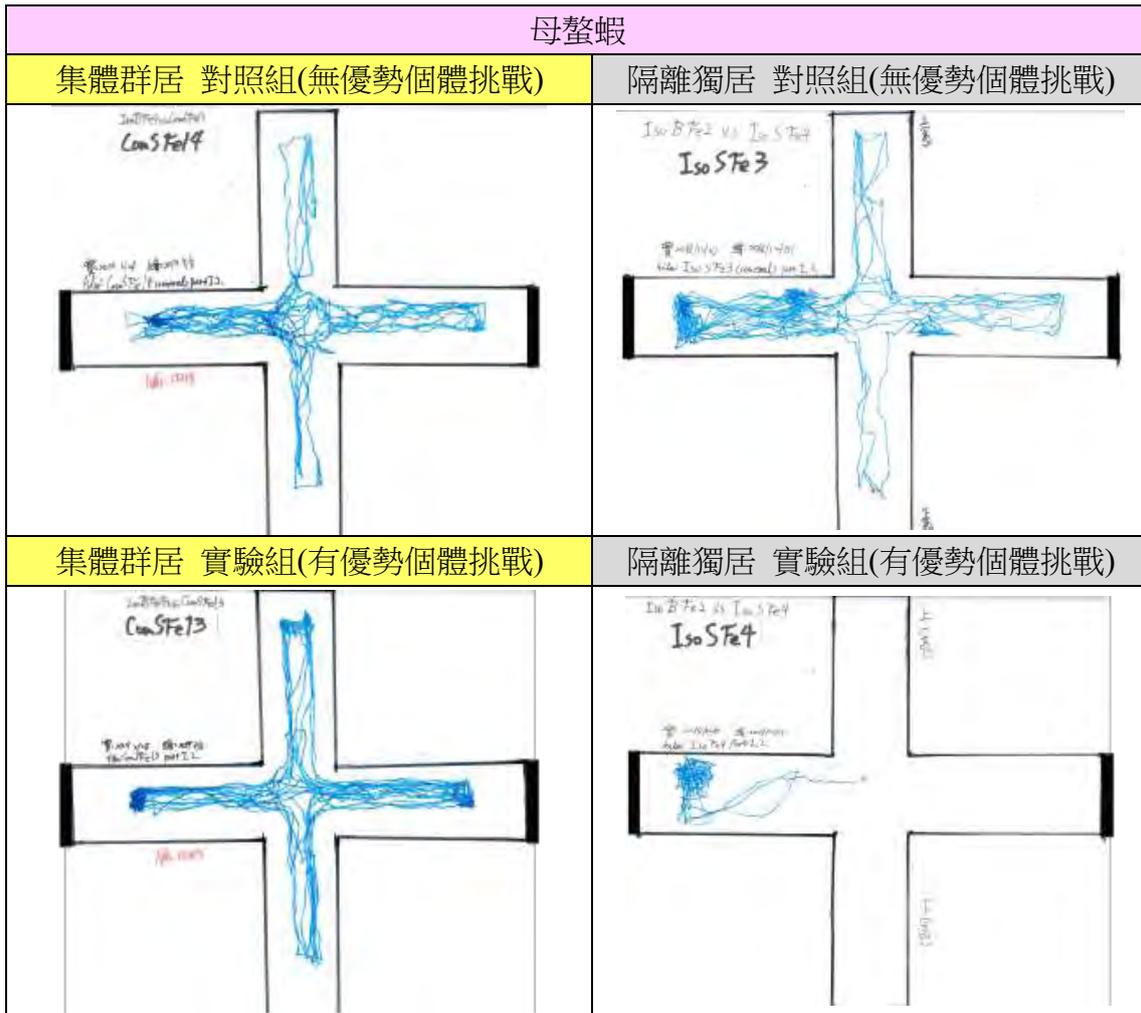
圖十六、競技缸之小螯蝦行為的影像分析

## 伍、研究結果

一、社會經驗多寡與性別差異對螯蝦面臨優勢個體之壓力反應行為(十字迷宮表現)的影響

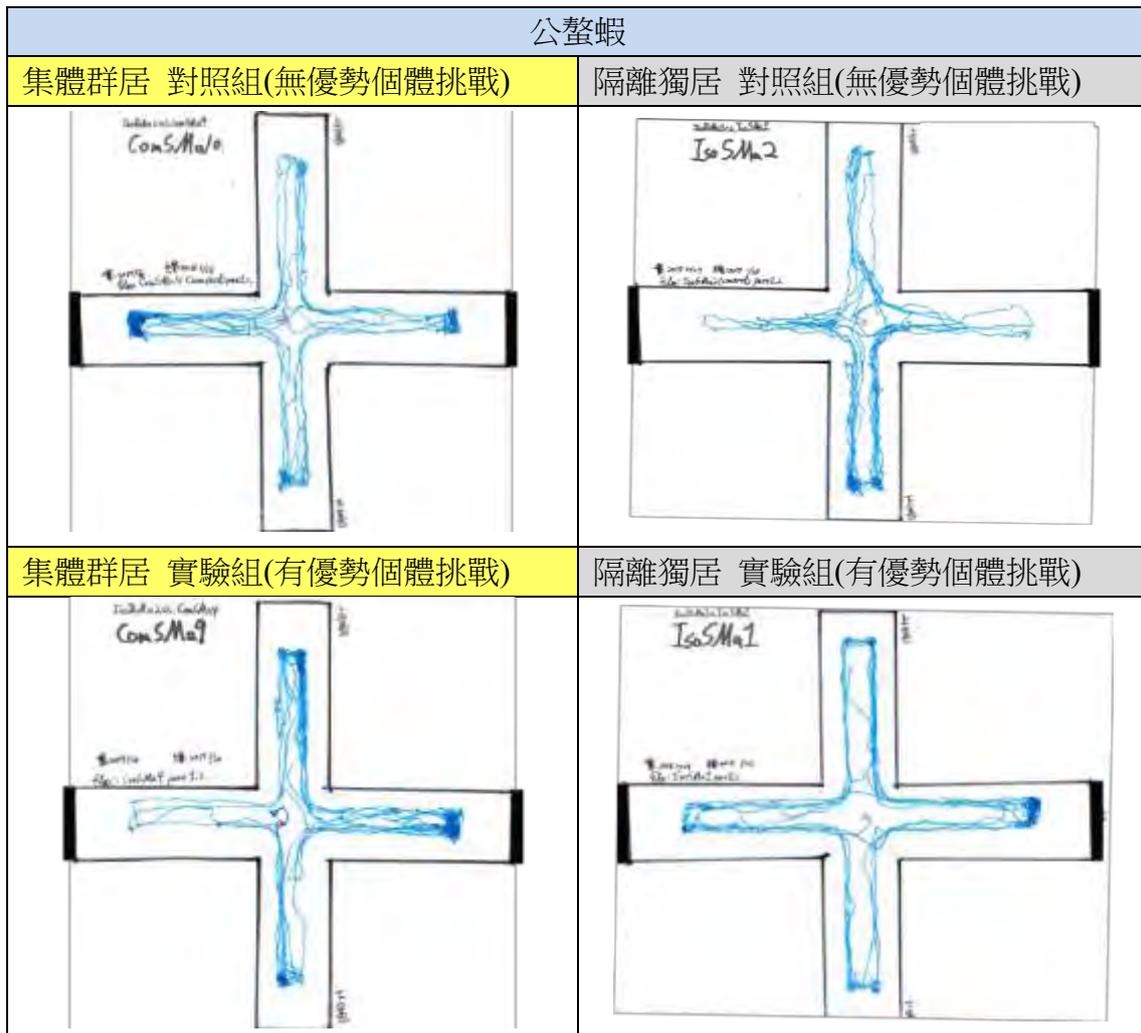
(一) 優勢個體挑戰與否對集體群居/隔離獨居之公母螯蝦於十字迷宮的移動路徑的影響

圖十七為集體群居或隔離獨居之母螯蝦於十字缸迷宮的實驗結果(代表性數據)。集體群居之母螯蝦無論有(實驗組  $N=5$ )無(對照組  $N=5$ )面對優勢個體挑戰，其移動路徑相似，多傾向於十字迷宮之各亮臂與暗臂移動探索；然而，相較於無優勢個體挑戰(對照組  $N=5$ )的獨居母螯蝦，獨居母螯蝦在歷經優勢個體挑戰後(實驗組  $N=5$ )比較常在暗臂停留。



圖十七、集體群居與隔離獨居之母螯蝦的十字迷宮路徑圖。

在公螯蝦方面，優勢個體的挑戰與否似乎對其十字迷宮表現影響不大，不論是集體群居/隔離獨居之實驗組( $N=5/N=5$ )和對照組公螯蝦( $N=5/N=5$ )多會在十字迷宮的各亮臂與暗臂移動探索(如圖十八)。

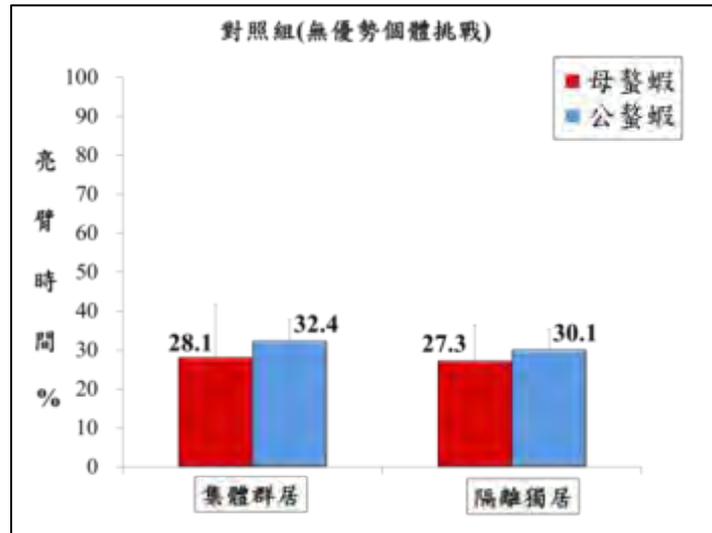


圖十八、集體群居與隔離獨居之公螯蝦的十字迷宮路徑圖。

為了進一步探討小螯蝦於十字迷宮的表現差異，我們計算螯蝦待在十字迷宮亮臂時間的百分比，以利後續分析詮釋。

(二) 集體群居/隔離獨居之公母小螯蝦於十字迷宮之亮臂停留時間的差異

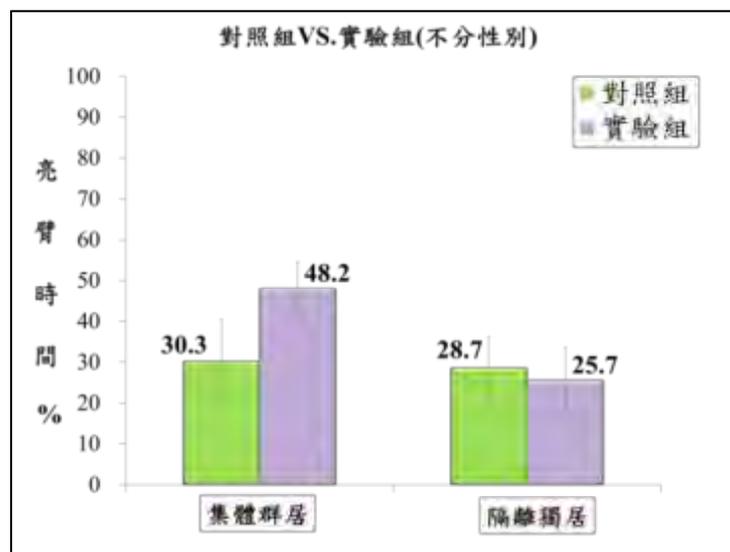
為瞭解集體群居/隔離獨居或性別差異本身是否影響其類焦慮行為，我們先比較無優勢個體挑戰的組別(對照組)。圖十九顯示，集體群居/隔離獨居或公母之對照組螯蝦(N=5/組)於十字迷宮中亮臂停留百分比相近。



圖十九、對照組(無優勢個體挑戰)之集體群居/隔離獨居公母螯蝦於十字迷宮亮臂的百分比。

(三) 優勢個體的挑戰對集體群居/隔離獨居之小螯蝦於十字迷宮之亮臂停留時間的影響

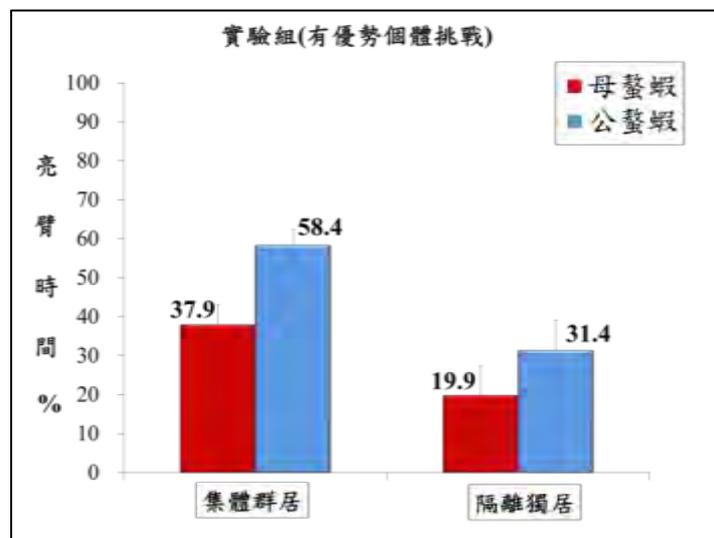
為瞭解有無優勢個體的挑戰對集體群居/隔離獨居之小螯蝦壓力反應的影響，我們暫時不考慮性別而僅將螯蝦區分為集體群居/隔離獨居二組進行比較(N=10/組)。結果顯示，集體群居的螯蝦在面臨優勢個體挑戰後(實驗組)，待在十字迷宮亮臂的時間(48.2±6.5%)較沒有優勢個體挑戰的對照組長(30.3±10.3%， $p=0.029$ )，然而，隔離獨居條件下，小螯蝦無論有無面對優勢個體的挑戰，於十字迷宮表現差異不大(如圖二十)。



圖二十、實驗組與對照組(有無優勢個體挑戰)之集體群居/隔離獨居螯蝦於十字迷宮亮臂百分比。

(四) 面臨優勢個體挑戰後，集體群居/隔離獨居公母螯蝦於十字迷宮亮臂停留時間的差異

我們將性別因素納入考量，進一步將圖二十之實驗組數據轉化圖二十一，以瞭解優勢個體挑戰對集體群居/隔離獨居之公/母小螯蝦行為表現的影響。圖二十一所示，集體群居之公母螯蝦於亮臂停留時間的比例皆高於隔離獨居之組別(群居公螯蝦  $58.4 \pm 3.9\%$ ，獨居公螯蝦  $31.4 \pm 7.6\%$ ， $p=0.032$ ；群居母螯蝦  $37.9 \pm 5.2\%$ ，獨居母螯蝦  $19.9 \pm 7.4\%$ ， $p=0.151$ )。此外，不論是集體群居或隔離獨居組，公螯蝦於亮臂停留時間似乎也高於母螯蝦，其中以集體群居較為明顯(群居組  $p=0.056$ ；獨居組  $p=0.421$ )。顯示小螯蝦面對優勢個體的挑戰後，社會經驗多寡和性別差異會影響小螯蝦的壓力反應表現。相較群居母螯蝦，獨居的母螯蝦在遭遇到面對優勢個體挑戰後，可能誘發輕微類焦慮行為；而集體群居的公螯蝦在面對優勢個體挑戰後，其焦慮感趨於減緩，更樂於探索。



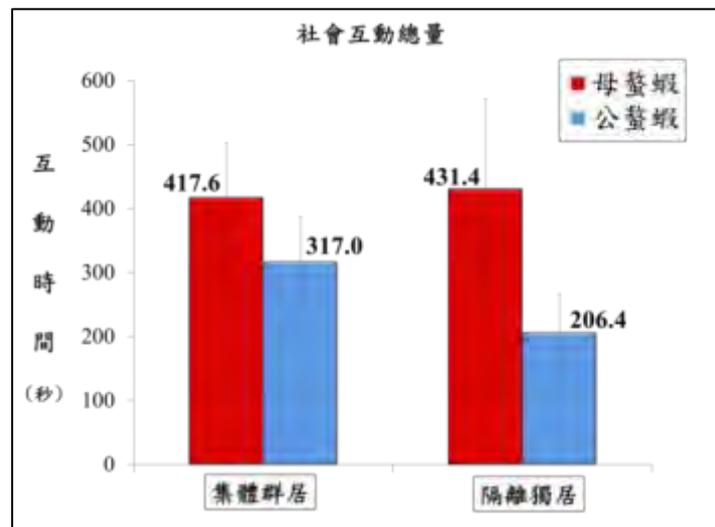
圖二十一、實驗組(有優勢個體挑戰)之集體群居/隔離獨居公母螯蝦於十字迷宮亮臂百分比。

綜合上述結果，螯蝦面臨優勢個體之壓力反應行為與社會經驗多寡有關，且存在明顯的性別差異，我們推測此差異可能源自於競技缸內小螯蝦與優勢螯蝦間的互動，因此我們以小螯蝦為行為觀察個體，進行競技缸的互動行為分析。

## 二、社會經驗多寡與性別差異對小螯蝦面臨優勢個體之互動行為的影響

### (一) 集體群居/隔離獨居之公母小螯蝦與優勢個體之互動總量的差異

根據我們所定義的九大行為指標，小螯蝦與大螯蝦(優勢個體)於競技缸中此九種互動行為的時間總合即為社會互動總量。整體而言，母螯蝦的社會互動時間略大於公螯蝦(母螯蝦  $424.5 \pm 115.4s$ ，公螯蝦  $261.7 \pm 69.2s$ ， $p=0.165$ )，而群居之小公蝦略高於隔離獨居者( $p=0.222$ ) (圖二十二)。

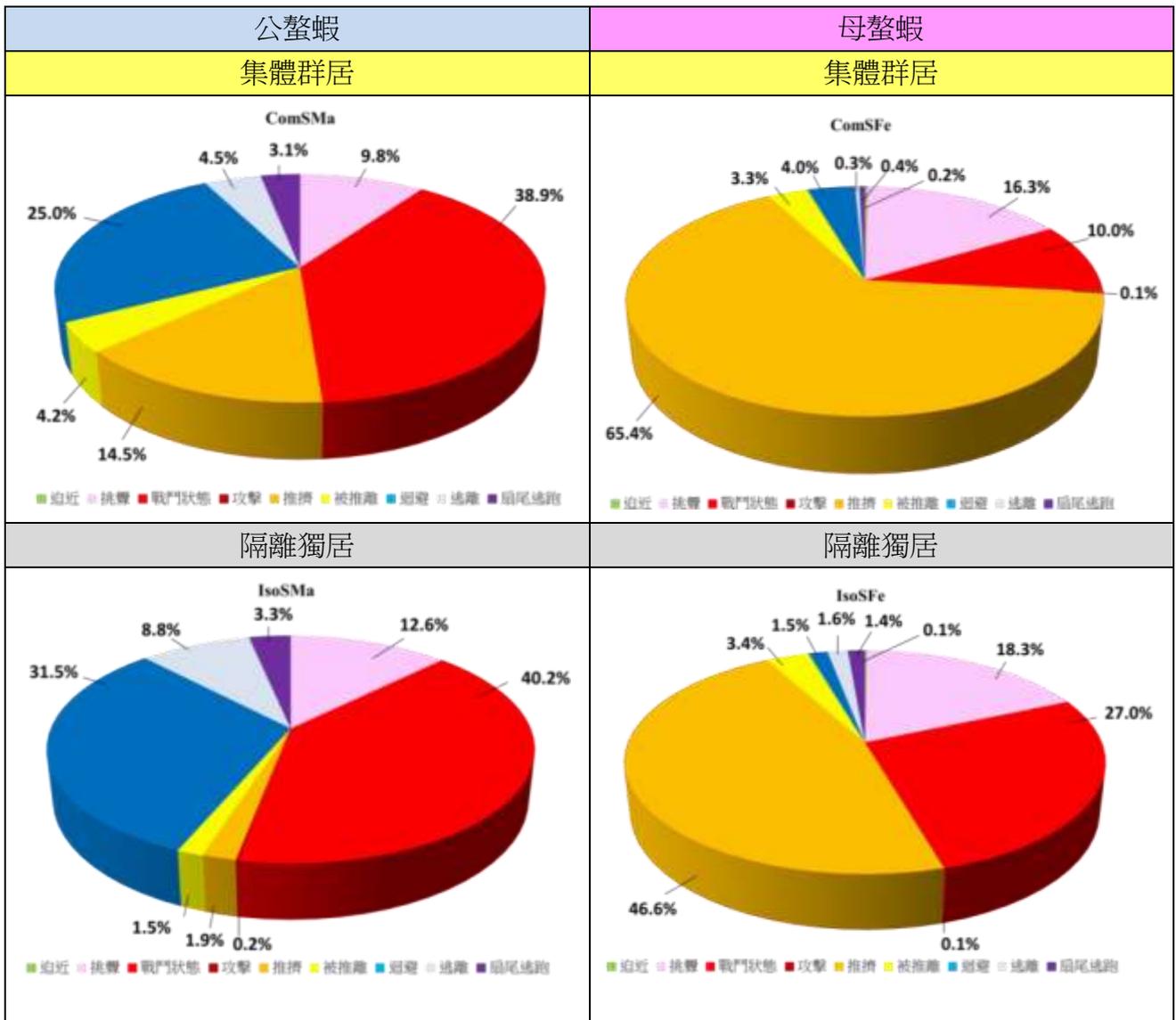


圖二十二、集體群居/隔離獨居之公母小螯蝦與優勢個體的互動總量。

### (二) 集體群居/隔離獨居之公母小螯蝦與優勢個體之互動模式的差異

由上述結果(圖二十二)顯示，母螯蝦於競技缸的互動總量大於公螯蝦，不過我們在螯蝦競技缸實驗錄影紀錄時，自側面卻觀察到公螯蝦戰況激烈、母螯蝦則相對平緩，顯示小螯蝦與優勢個體之互動模式有所不同，是以我們先透過九大行為發生比例來詮釋不同社會經驗、不同性別之小螯蝦與優勢個體間的互動模式，如圖二十三。

結果顯示，同性別之小螯蝦的互動模式較為接近。公螯蝦具有較高比例的戰鬥狀態(38.9~40.2%)和迴避(25~31.5%)行為，而推擠(46.6~65.4%)和挑釁(16.3~18.3%)行為則佔小母蝦與其優勢個體之互動行為的大宗。另一方面，雖然集體群居/隔離獨居的小螯蝦比較沒有明顯雷同的互動行為模式，但隔離獨居之螯蝦的挑釁行為和戰鬥狀態的比例略高於集體群居的螯蝦。此外，於各組小螯蝦互動模式中，迫近與攻擊行為的比例均很低。綜合上述結果顯示，社會經驗的多寡與性別差異可能都會影響小螯蝦面對優勢個體的互動行為模式，且性別影響更為明顯。



圖二十三、集體群居和隔離獨居之公母小螯蝦與大螯蝦之互動行為比例。

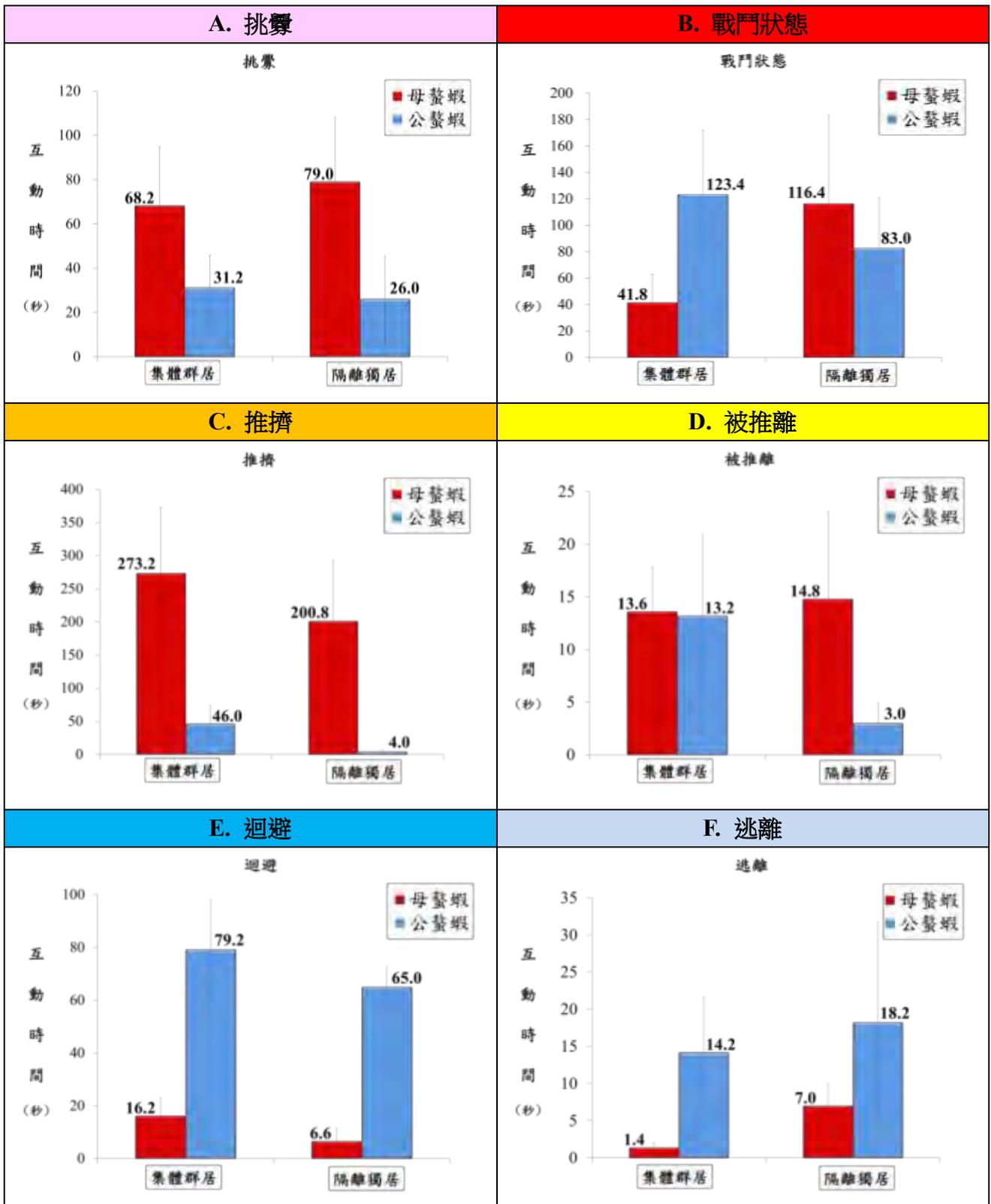
為了更明確釐清集體群居/隔離獨居之公母小螯蝦與優勢個體互動行為的差異，扣除比例過低的迫近與攻擊行為，我們以行為發生時間來詳細分析其他七項行為於集體群居/隔離獨居之公母螯蝦的表現差異，如圖二十四(A)-(G)。圖(A)顯示，相較於小公蝦，小母蝦在面對優勢個體時有較多的挑釁行為(母螯蝦  $73.6 \pm 28.0s$ ，公螯蝦  $28.6 \pm 17.3s$ ， $p=0.035$ )，在隔離獨居組別，公母螯蝦之挑釁時間差異更為明顯(母螯蝦  $79.0 \pm 29.2s$ ，公螯蝦  $26.0 \pm 19.5s$ ， $p=0.095$ )。

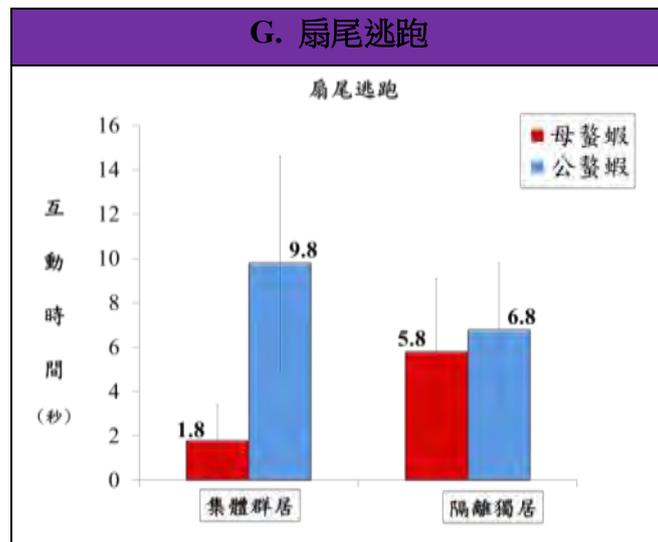
就戰鬥狀態而言，集體群居小公蝦的戰鬥狀態時間比同組母蝦多(公螯蝦  $123.4 \pm 48.5s$ ，母螯蝦  $41.8 \pm 21.2s$ ， $p=0.310$ )，而在獨居螯蝦的趨勢則相反，小母蝦的戰鬥時間略長於小公蝦，顯示社會經驗多寡和性別二變因對小螯蝦與優勢個體間的戰鬥狀態有些交互影響，如圖二十四(B)，群居小公蝦在競技缸的有限空間中，若有優勢個體挑戰會更有戰鬥的傾向；在獨居小公蝦組別中，雖然其戰鬥時間比小母蝦少，不過可能是獨居小公蝦與優勢個體的互動總量本身就很少所致(僅獨居小母蝦的一半)，而就整體戰鬥發生比例而言，獨居小公蝦有 40.2%，仍高於獨居小母蝦 27.0%，如圖二十三。

推擠是另一項具性別顯著差異的行為，由圖二十四(C)可知，小母蝦與優勢母蝦的推擠行為遠高於公螯蝦組別(母螯蝦  $237.0 \pm 97.7s$ ，公螯蝦  $25.0 \pm 22.2s$ ， $p=0.043$ )，集體群居的小公蝦與優勢公蝦間尚有一些推擠，約占互動比例 14.5%，然而此行為在獨居的公螯蝦間少發生。不過母蝦間高比例的推擠可能伴隨而來的是小母蝦被推離的機會較高，如圖二十四(D)，集體群居的公母螯蝦被推離的時間與比例都很相近，獨居小母螯蝦被推離情況遠多於公螯蝦，可能是因為小公蝦很少發生推擠行為所致。

在規避行為中，迴避(圖 E)、逃離(圖 F)和扇尾逃跑(圖 G)都比較常在小公螯蝦的互動中表現(迴避  $p<0.001$ ；逃離  $p=0.739$ ；扇尾逃跑  $p=0.123$ )，其中，小公蝦的迴避行為在集體群居與隔離獨居皆遠高於小母蝦(群居組公螯蝦  $79.2 \pm 18.9s$ ，母螯蝦  $16.2 \pm 6.7s$ ， $p=0.032$ ；獨居組公螯蝦  $65.0 \pm 7.6s$ ，母螯蝦  $6.6 \pm 4.7s$ ， $p=0.008$ )。

綜合上述結果，社會經驗多寡與性別差異會影響小螯蝦與優勢個體的互動模式，且性別的影響力更明顯，小公蝦在有限空間中面對優勢大公蝦威脅(如大公蝦的靠近或攻擊)會採取迴避，一但有肢體上的接觸則多處於互動猛烈的戰鬥狀態，而伴隨的是較高比例的逃離或扇尾逃跑，值得注意的是，迴避、戰鬥狀態、逃離或扇尾逃跑等行為在集體群居的組別的性別差異更為顯著；而母蝦在競技缸的互動總量雖然較公蝦多，不過其互動卻較為緩和，且其迴避行為較少，可能表示小母蝦較能容忍優勢大母蝦的靠近，且肢體上的接觸也多為持續性的推擠行為，集體群居與隔離獨居小母蝦表現相近，不過此推擠行為在集體群居與隔離獨居小公蝦表現則有比較大的不同，群居公蝦間似乎比較能接受推擠，而不是一有肢體接觸即立刻進入舉螯對峙的戰鬥。

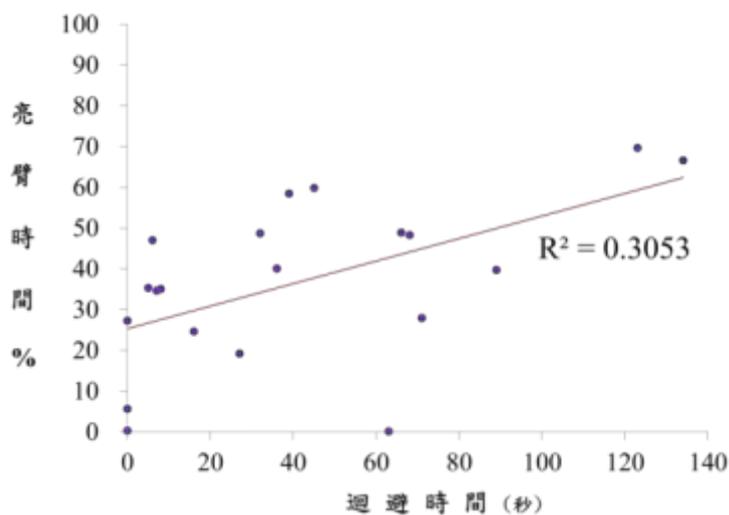




圖二十四、集體群居和隔離獨居之公母小螯蝦與大螯蝦各種互動行為表現差異。(A)挑釁；(B)戰鬥狀態；(C)推擠；(D)被推離；(E)迴避；(F)逃離；(G)扇尾逃跑。

### 三、小螯蝦的互動行為與其十字迷宮表現的關係

為瞭解小螯蝦在十字迷宮表現與其在競技缸中與優勢個體互動的關聯，我們分別將小螯蝦之七種互動行為的總時間(X 軸)與其在十字迷宮亮臂百分比(Y 軸)進行製圖，結果如圖二十五所示(僅呈現有明顯相關的圖)。在七種行為指標中，僅有「迴避時間」與「亮臂時間百分比」呈現較明顯的正向線性關係( $p=0.011$ )，趨勢線之  $R^2=0.3053$ ，相關係數  $r=0.5525$ ，顯示小螯蝦於競技缸中的迴避行為與其在十字迷宮表現為中度相關。



圖二十五、螯蝦迴避行為發生時間與其亮臂時間百分比之相關分析。

## 陸、討論

生活環境壓力可能誘發焦慮，若以「互動觀點」來看，壓力是生物個體與環境複雜互動的結果(Lazarus, 1966)。我們研究發現，在沒有環境壓力(如優勢個體挑戰)，社會經驗多寡與性別差異本身對螯蝦的壓力反應表現沒有影響，然而螯蝦若與環境有複雜互動時，亦即小螯蝦在面對優勢個體的挑戰後，集體群居的公螯蝦之焦慮會趨於減緩，更樂於探索，獨居母螯蝦可能誘發輕微類焦慮行為。我們推測可能是因為在群體養殖缸中，小公蝦與其他螯蝦(包括優勢個體)有較多互動，也有機會觀察到其他螯蝦間的互動歷程，是以藉由親身經驗或社會觀摩來學習面臨壓力(優勢個體)的反應。競技缸的各互動行為與總量也揭示，群居小公蝦在面臨優勢個體時，可能更願意迎接挑戰，並藉由各種互動來調適、處理壓力來源，以減緩焦慮，進而更趨向自然探索的本能行為。

另一方面，經過優勢個體挑戰後的群居/獨居小公蝦待在十字亮臂的時間皆比同環境飼養之小母蝦長，而競技缸的各互動行為與總量分析也顯示性別對其互動模式的影響大於社會經驗多寡。其原因可能有二，其一是源自於動物爭奪交配或領域的天性，其二則體內性激素的差異。

我們發現雖然公螯蝦的社會互動總量比母螯蝦少，不過小公蝦一但與優勢大公蝦有肢體接觸，則有較高比例之戰鬥狀態。由於公螯蝦於族群中是屬於爭奪交配權的一方，需要藉由戰鬥或捍衛領域等行為來吸引異性，因此面對優勢個體時，可能因爭取權益而產生較激烈的互動行為，然而這激烈的戰鬥行為並不會誘發公螯蝦產生進一步的焦慮。出乎我們預料的是，競技缸的各互動行為僅「迴避」與十字迷宮的表現有正相關。我們認為，雖然迴避行為普遍被認定為一種退縮表現，但也有可能是螯蝦本身的自我防衛機制，螯蝦面對體型相當對手所產生的迴避行為可被視為退縮，不過我們的實驗小螯蝦是面臨優勢大螯蝦的挑戰，體型上的差距可能誘發小螯蝦避免遭受嚴重生存威脅之本能，人類社會似乎也會如此，當我們面臨優勢個體的威脅時，往往也不是硬碰硬而是會避其鋒芒，因此迴避不必要的戰鬥或生存威脅，日後才有更多的機會去探索世界，是以小螯蝦迴避行為的展現與類焦慮行為的舒緩有正向關聯。不過，迴避行為與十字迷宮的表現僅呈現中度相關，顯示可能還有一些我們尚未定義的行為或其他因素影響螯蝦十字迷宮的表現。

激素是影響動物行為的關鍵因子，性別影響更勝於社會經驗可能源自公母螯蝦體內性激素的差異。雄性激素會誘發小鼠侵略行為，而激素受體受損的雄性小鼠行為表現與雌性鼠相近，對陌生小鼠不冷不熱，且不會直接發動攻擊(張旭東, 2004)。本研究結果也發現，小母蝦與優勢母蝦互動較為緩和，迴避行為較少，推測小母蝦較能容忍大母蝦的靠近，二者的侵略行為也多為持續性的推擠，然而互動多而緩和不代表小母蝦焦慮較少。在人類的調查顯示，女生有較高罹患焦慮症的風險，研究發現雌性激素會影響神經傳遞物質(如多巴胺、正腎上腺素)的分解(蘇聖傑, 2017)，而螯蝦的類焦慮行為也與體內神經傳導物質(如血清素)的濃度有關，因此我們推測公母螯蝦對壓力反應與類焦慮行為誘發之差異可能是螯蝦體內性激素的差異所致。而此性別差異的影響也提醒我們運用動物模式進行研究時，必要將雌性個體納入考量，以更全面且真實的解釋動物行為的展現與意義。

## 柒、結論與未來展望

本研究證實社會經驗多寡會影響螯蝦面臨優勢個體之壓力反應，且存在顯著性別差異。社會經驗多的小公蝦可能因能迴避生存威脅、能處理優勢個體所導致的壓力，而更趨於探索環境。未來研究中，需要再增加螯蝦樣本進行試驗，也能藉由螯蝦動物模式來探討激素、神經傳導物質在螯蝦壓力反應過程所扮演的角色，或作為相關藥物初步篩選之平台，減少脊椎動物使用量，以保障動物福祉。

## 捌、參考文獻

- 吳啟瑞 (2012)。常用焦慮動物實驗模式之介紹。中國醫藥大學附設醫院 醫學研究部電子報，24 期。取自  
<https://cmurdc.cmu.edu.tw/epaper/detail.php?epaperno=24&class=C&id=152>
- 許晉榮 (2015)。螯蝦也會焦慮。行政院農業委員會水產試驗所電子報，109 期。取自  
<http://www.tfrin.gov.tw/friweb/frienews/enews0109/p1.html>
- 張旭東 (2004)。大腦奇幻之旅。(原作者：尼可拉斯 魏德)。臺北市：胡桃木文化事業有限公司。
- 黃基森、周建銘 (2013)。校園入侵種-克氏螯蝦生活習性與防治。教育部防治外來入侵種及植物病蟲害電子報。取自 <http://163.21.236.12/~fireant/epaper-10010.html>
- 蘇聖傑 (2017)。男女大不同：為何女生容易焦慮，男生容易衝動？取自  
<http://drshengchieh.com/2017/10/06/>。
- 壓力因應與管理。原文網址 <https://blog.xuite.net/tct20130417/twblog/234854506>。內文資料摘錄源自 Lazarus, R. S. (1966). *Psychological stress and the coping process*. New York, NY, US: McGraw-Hill.
- Bacqué-Cazenave, J., Cattaert, D., Delbecque, J. P., & Fossat, P. (2017). Social harassment induces anxiety-like behaviour in crayfish. *Scientific reports*, 7, 39935.
- Fossat, P., Bacqué-Cazenave, J., De Deurwaerdère, P., Delbecque, J. P., & Cattaert, D. (2014). Anxiety-like behavior in crayfish is controlled by serotonin. *Science*, 344, 1293-1297.
- Swierzbinski, M. E., Lazarchik, A. R., & Herberholz, J. (2017). Prior social experience affects the behavioral and neural responses to acute alcohol in juvenile crayfish. *Journal of Experimental Biology*, 220, 1516-1523.

## 玖、附件

九大行為指標影片 QR code		
(1) 迫近	(2) 挑釁	(3) 攻擊
		
(4) 戰鬥狀態	(5) 推擠	(6) 被推離
		
(7) 迴避	(8) 逃離	(9) 扇尾逃跑
		

## 【評語】 030310

此研究作品主要利用克氏原螯蝦的動物模式，探討社會經驗(集體群居或獨居)多寡與性別差異對其面臨壓力反應的行為影響。透過十字迷宮試驗進行螯蝦壓力反應(類焦慮行為誘發)之評估，最後利用影像分析分析螯蝦的互動及行為。整體的實驗設計及觀察均有趣，並有一定的難度。而結果顯示社會經驗與性別都會影響螯蝦面對優勢個體(大螯蝦)的互動模式與壓力反應行為，實驗材料能納入性別差異的考量，凸顯與前人研究不同之處。但是試驗設計是否能反映"社會經驗"、"焦慮"、"壓力"，這些研究的核心因子，作者應該有更多的文獻回顧，否則會落入自我詮釋的狀態。另外，飼養環境的差異，包含空間大小和躲避物多寡，是否會影響呢？有待釐清。



# 壹、研究動機

生物群居而產生的互動，即社會經驗，對動物的行為有深遠影響，尤其是生物面對壓力的反應。社會經驗豐富者在面對壓力(同儕競爭、優勢個體)，較能調適、處理壓力來源，社會經驗較少者則可能缺乏應對技能，壓力處理失敗而較容易誘發焦慮，而且具有性別差異。研究顯示，集體群居生活的公螯蝦比較容易酒醉，可能是社會經驗影響神經傳導物質受體的變化；而電擊、個體競爭等壓力會讓公螯蝦退縮而停留在暗區，此即「類焦慮行為」，且證實與神經傳導物質相關，而注射人類抗焦慮藥物可降低其焦慮感，顯示螯蝦焦慮誘發的神經迴路可能與人類相似。因此，我們想評估螯蝦之社會經驗是否影響其面對壓力的反應行為，並瞭解這些行為的差異。

鑒於雌性個體研究較少，故納入母螯蝦試驗以評估性別差異對動物行為的影響。

社會經驗多寡

影響

神經傳導物質受體  
(血清素受體)

人類抗焦慮藥物  
(benzodiazepine, BZD)

減輕

電擊、個體競爭壓力

影響

(血清素)  
神經傳導物質

類焦慮行為



# 貳、研究目的

基於動物福祉與研究發展性，本研究將建置集體群居/隔離獨居之螯蝦養殖系統，再評估不同社會經驗之公母螯蝦在面臨壓力(同種但體型較大之優勢個體)的反應。待答問題如下：

- 社會經驗多寡與性別差異對螯蝦面臨優勢個體之壓力反應行為(十字迷宮)有何影響？
  - 優勢個體挑戰與否對集體群居/隔離獨居公母小螯蝦於十字迷宮的移動路徑有何影響？
  - 集體群居/隔離獨居之公母小螯蝦於十字迷宮之亮臂停留時間有何差異？
  - 優勢個體挑戰與否對集體群居/隔離獨居之小螯蝦於十字迷宮之亮臂停留時間有何影響？
  - 優勢個體挑戰後，集體群居/隔離獨居公母小螯蝦於十字迷宮之亮臂停留時間有何差異？
- 社會經驗多寡與性別差異對小螯蝦面臨優勢個體之互動行為(競技缸)有何影響？
  - 集體群居/隔離獨居之公母小螯蝦與優勢個體之互動總量有何差異？
  - 集體群居/隔離獨居之公母小螯蝦與優勢個體之互動模式有何差異？
- 小螯蝦於競技缸中與優勢個體的互動行為與其十字迷宮表現有何關聯？



# 參、實驗材料與器材 一、實驗材料

克氏螯蝦( <i>Procambarus clarkii</i> )	
<b>型態構造</b> 	
<b>行為特性</b> 1. 群居生活→侵略性較弱；隔離飼養→積極捍衛自己的生活空間 	
圖三、獨居克氏公螯蝦於有限空間之行為模式。(取自Bacqué-Cazenave et al., 2017發表影片)	

## 二、螯蝦養殖系統建置與養殖實況

### (一) 集體群居養殖缸

L\*W\*H=150\*70\*40 cm<sup>3</sup>



圖四、集體群居養殖系統

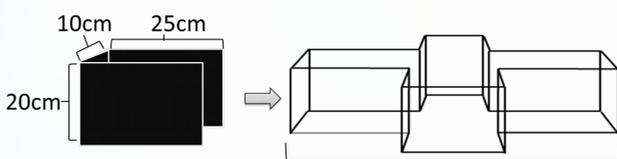
### (二) 隔離獨居養殖缸

L\*W\*H=150\*70\*40 cm<sup>3</sup>



圖五、隔離獨居養殖系統

## 三、十字迷宮製作



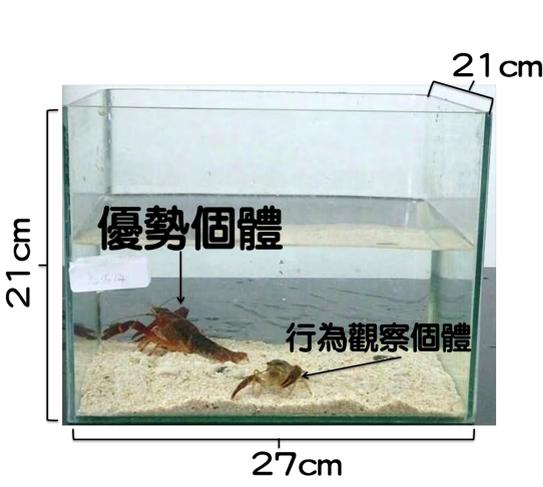
圖六、暗臂設計與成品





# 肆、實驗過程與方法

## 實驗設計(一) 螯蝦面對優勢個體的互動行為-競技缸試驗



圖七、實驗設計示意圖

	母螯蝦		公螯蝦	
	集體群居	隔離獨居	集體群居	隔離獨居
實驗組 有優勢個體				
對照組 無優勢個體				

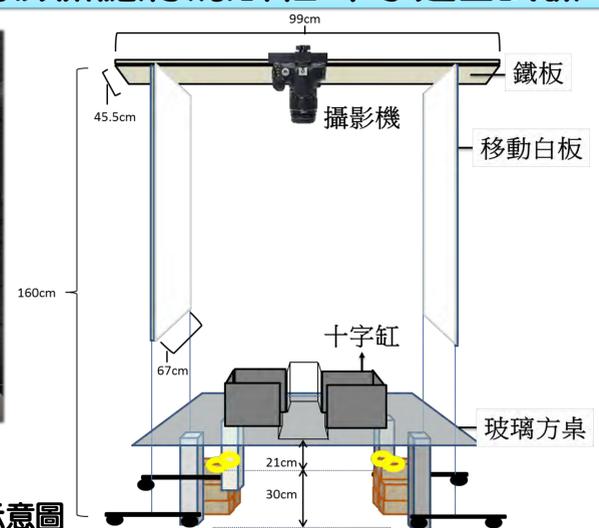


圖八、競技缸試驗設置示意圖

## 實驗設計(二) 螯蝦壓力反應行為(類焦慮行為)評估-十字迷宮試驗



圖九、十字迷宮照度實況



圖十、十字迷宮設置示意圖

### 資料分析(一) 十字迷宮路徑分析

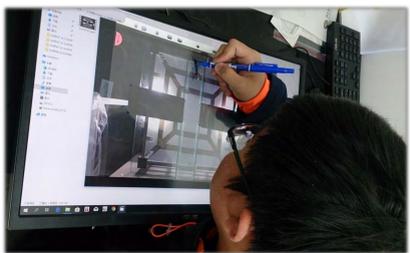
### 資料分析(二) 競技缸之行為指標建立與分析

#### 1. 路徑圖繪製

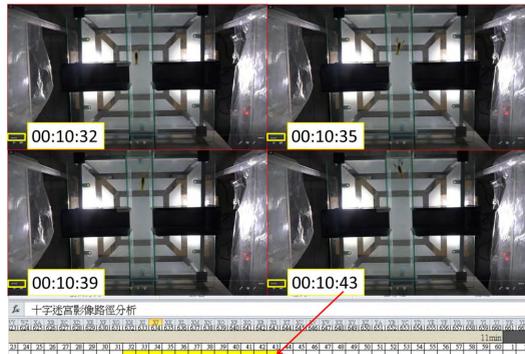
#### 2. 十字迷宮亮/暗臂時間比例分析

#### 1. 行為指標建立

#### 2. 小螯蝦行為分析

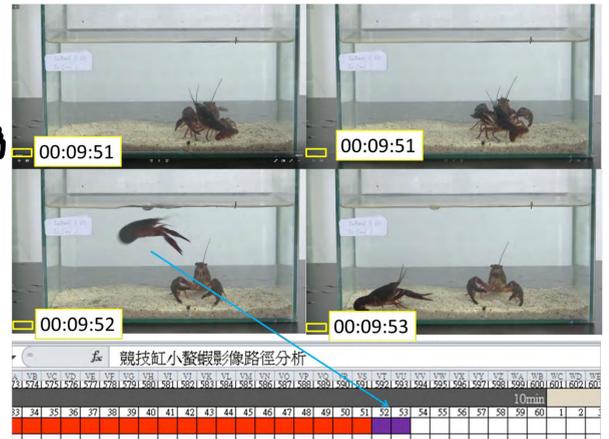


圖十一、路徑繪製實況



圖十二、十字迷宮亮/暗臂時間分析

共同觀看影片  
找出相似/顯著行為  
定義九種行為  
標示影像色塊  
討論以達共識



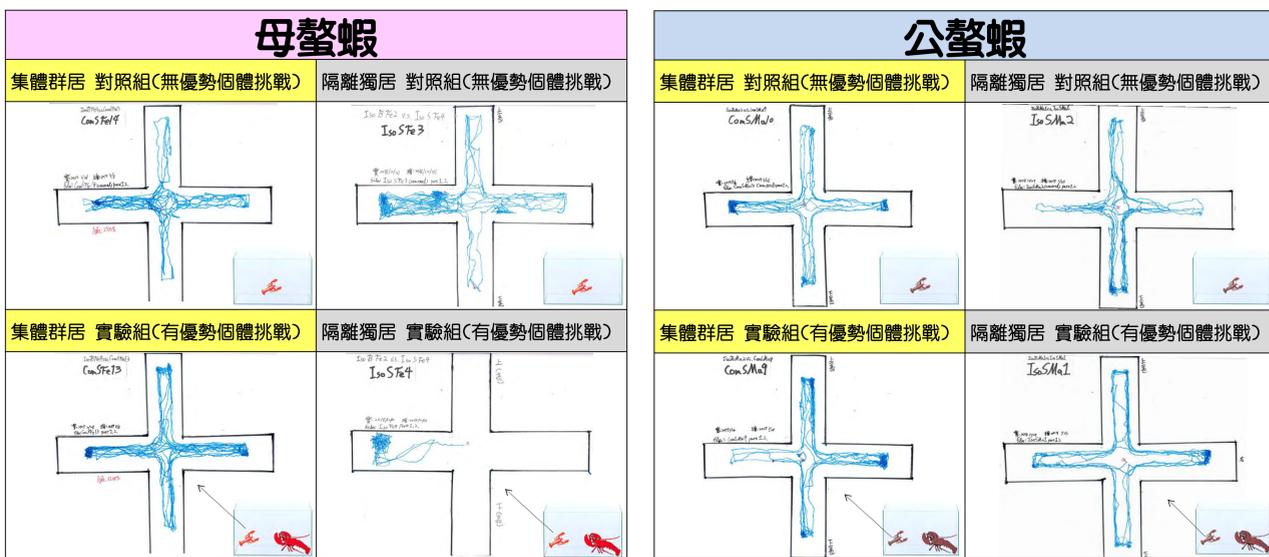
圖十三、小螯蝦競技缸互動行為的影像分析

圖十四、競技缸九大互動行為影片 QR code

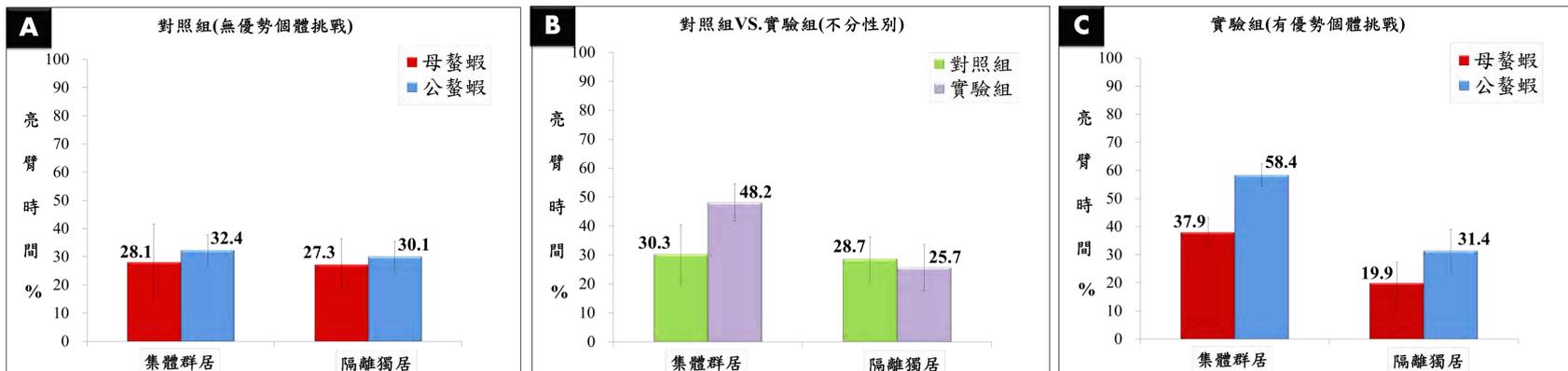


# 伍、研究結果

## 一、社會經驗多寡與性別差異對小螯蝦面臨優勢個體之壓力反應行為(十字迷宮表現)的影響



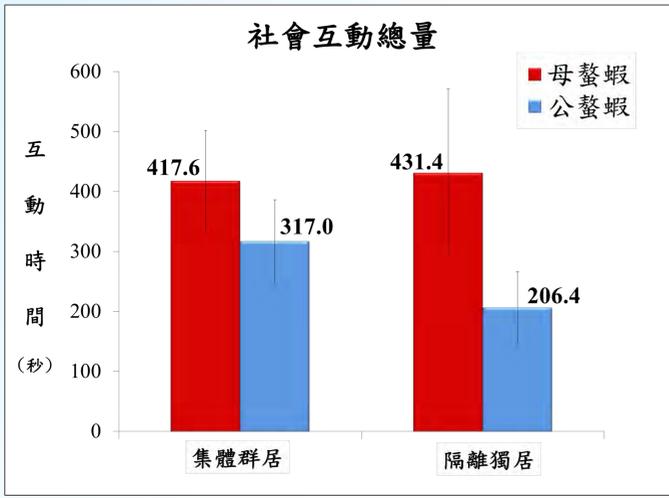
圖十五、集體群居與隔離獨居之母/公螯蝦的十字迷宮路徑圖



圖十六、集體群居與隔離獨居之小螯蝦於十字迷宮亮臂百分比

社會經驗多寡和性別差異會影響小螯蝦面對優勢個體挑戰後的壓力反應表現。

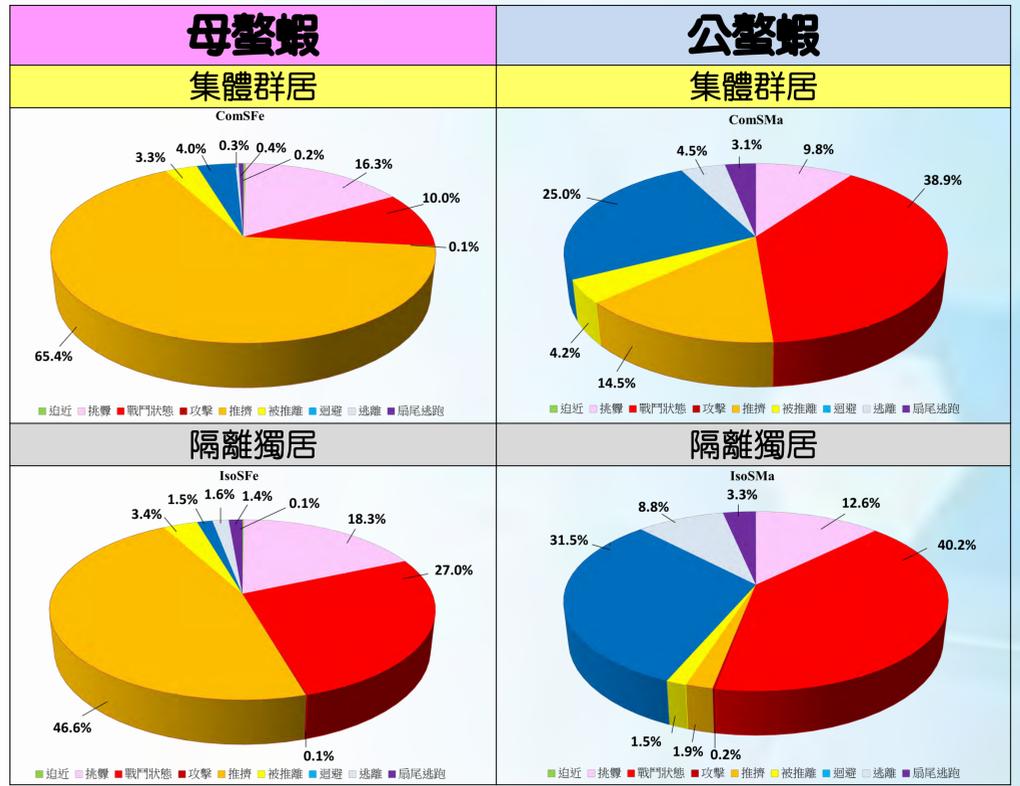
## 二、社會經驗多寡與性別差異對小螯蝦面臨優勢個體之**互動行為**的影響



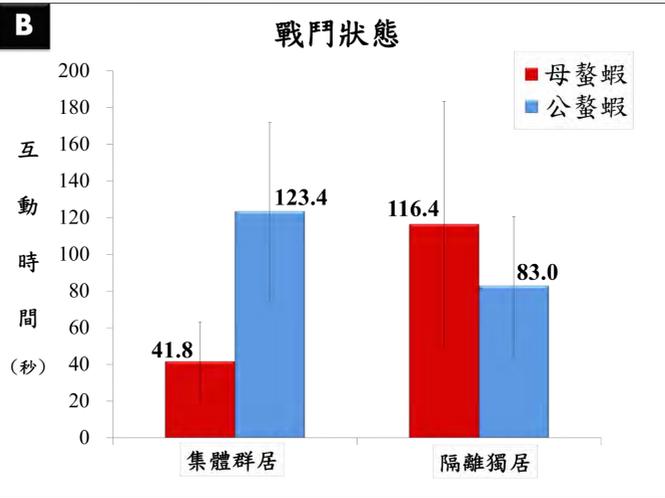
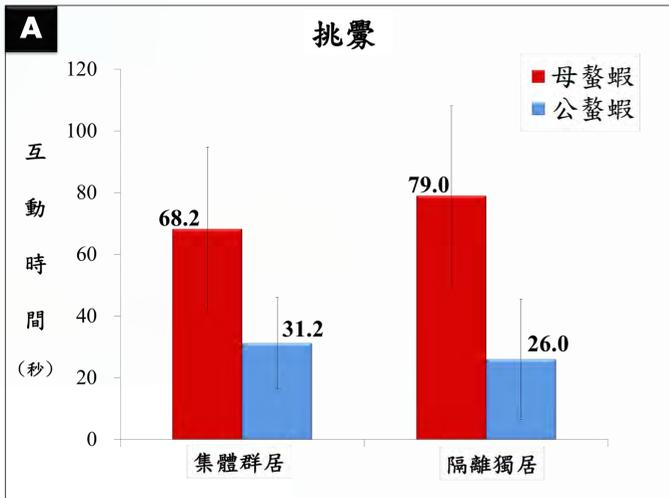
圖十七、群居/獨居之小螯蝦與優勢個體的互動總量

母螯蝦互動時間略大於公螯蝦；  
群居之小公蝦略高於隔離獨居者。

同性別螯蝦的互動模式較接近。  
小母蝦：推擠、挑釁比例高  
小公蝦：戰鬥、迴避比例高

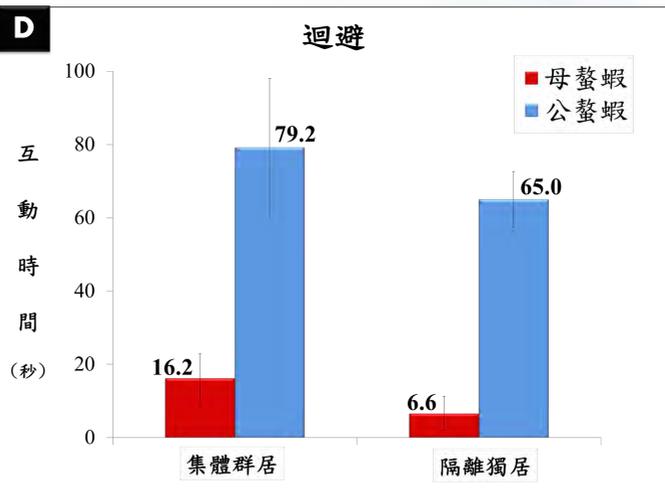
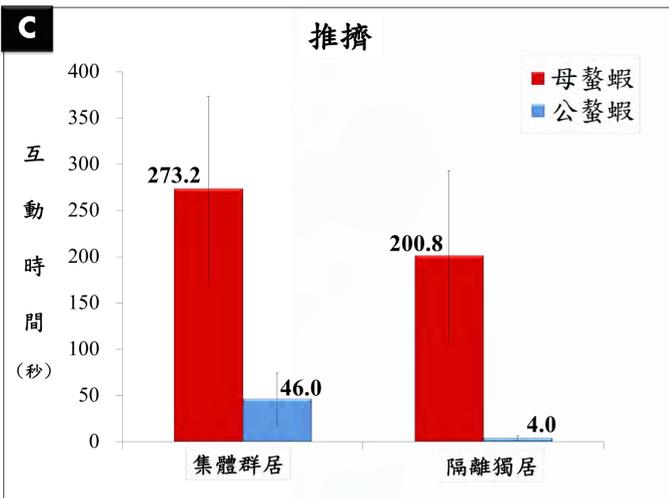


圖十八、集體群居和隔離獨居之公母小螯蝦與優勢個體互動行為比例



A. 小母蝦面對優勢個體時有較多的挑釁行為。

B. 群居小公蝦面對優勢個體挑戰更有戰鬥傾向；  
獨居小母蝦之戰鬥時間則略長於小公蝦。

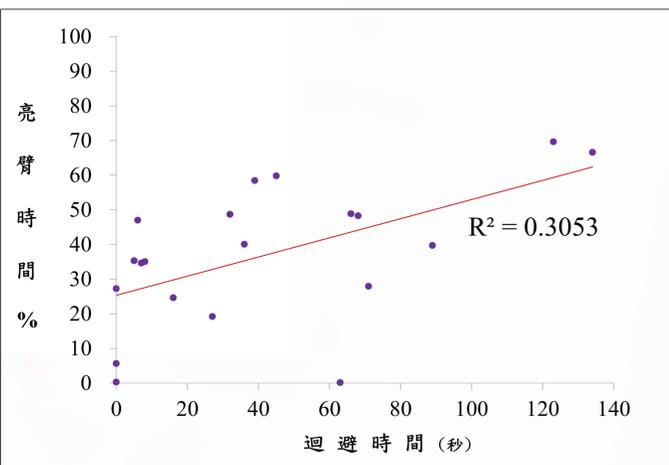


C. 小母蝦與優勢母蝦的推擠行為遠高於公螯蝦。

D. 小公蝦面對優勢公螯蝦時，不論是集體群居或隔離獨居組之迴避行為在皆遠高於小母蝦。

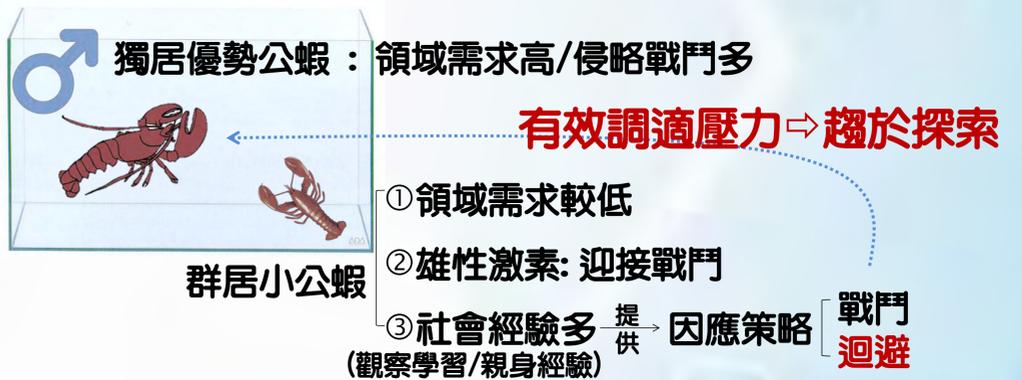
圖十九、集體群居和隔離獨居之公母小螯蝦與優勢個體各種互動行為表現差異

## 三、小螯蝦於競技缸中與優勢個體的**互動行為**與其**十字迷宮表現**的關係



圖二十、螯蝦迴避時間與其亮臂時間百分比相關分析

小螯蝦競技缸與優勢個體互動之「迴避時間」與其十字迷宮之「亮臂時間百分比」呈明顯正向線性關係( $p=0.011$ )，相關係數 $r=0.5525$ ，為中度相關。



陸、討論  
社會經驗

集體群居 領域需求 低  
隔離獨居 因應策略 高



性別差異

雄性激素 侵略戰鬥 多  
雌性激素 神經傳導物質濃度 少

柒、結論與未來展望

- 社會經驗多寡會影響螯蝦面臨優勢個體之壓力反應，且存在顯著性別差異。
- 以螯蝦動物模式來探討激素、神經傳導物質在壓力反應過程所扮演的角色。
- 以螯蝦動物模式作為相關藥物初步篩選之平台，減少脊椎動物使用量。