

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 生物科

第一名

080303

換”屋”方程式—綠色細螯寄居蟹 *Clibanarius virescens* 之生態與殼戰研究

學校名稱：基隆市中正區八斗國民小學

作者：	指導老師：
小六 許 可	陳昇祿
小六 連又穎	林育任
小六 許伯謙	
小六 黃家萱	
小六 黃邗嫻	
小六 薛季秦	

關鍵詞：綠色細螯寄居蟹、殼戰、3D 列印

得獎感言

永生難忘的全國科展競賽

在昇祿老師的推薦下，我加入了科展的團隊，在這裡，我學習到非常多事情，不僅僅是實驗裡的內容，而最讓我印象深刻的，想都不用想，當然就是全國科展競賽的旅程了！

第一次來到高雄展覽館，真的是讓我大開眼界！我們搭了全台最特別的交通工具-高雄輕軌!開幕典禮以及科展之夜精彩的節目表演，更是讓我難以忘懷。

在科展的實驗過程中，我們碰到了許多困難及問題，但在老師的帶領以及和同學的合作下，終於克服了重重難關，來到了高雄，參加全國科展競賽，而在進行科展中我也發現，不管是在設計實驗、紀錄結果、整理資料...等等，都是需要有耐心、有恆心，實驗不能草草了事，也不能去逃避困難的問題，因為，逃避永遠不能解決問題，而且每件事都要一步步慢慢來，這樣才會有一個完整的實驗。

進行科展實驗中，我真的學習到很多，也過得非常充實，當你如果有機會加入科展，要好好把握這個機會，過程難免辛苦，但相信在科展會成長許多，除了會學習到很多課本上沒有的知識，也可以了解到團隊之間的合作分工是多麼的重要。

很幸運的我們代表基隆市參加了全國科展競賽，當我看到全台有這麼多人在進行科展，有這麼多傑出的作品，真是讓我瞠目結舌阿!也發現自己還有很多事要學習，很多事要努力。我們的實驗進行了一年，老師非常用心的帶領我們，也不斷包容我們做不好的地方，這一年中，我們一起進行了實驗，一起努力的練習報告，慢慢地修正我們研究報告...，能參加科展，我很開心。

最後一天，也就是頒獎典禮，我們非常興奮、非常緊張，很榮幸的，我們得到了第一名！當聽到我們是第一名時，我們開心的跳了起來，內心無比激動，差點就哭了出來，直到現在，每當我回想起當時的情景，心情依舊激動不能自己。

很开心有這個很特別的機會到高雄參加第 59 屆全國科展競賽，我非常感謝我的團隊同學以及非常辛苦帶領我們的老師，也謝謝在背後默默支持我的父母，謝謝你們！

第 59 屆全國科展競賽國小組生物科第一名！！

我們做到了！！！！



即使在大太陽底下，仍然要在潮間帶進行野外調查



每天都要進行室內實驗，尤其是野外調查完畢，更要立即處理樣本



團隊合照-榮獲全國科展國小生物組第1名

摘要

綠色細螯寄居蟹(*Clibanarius virescens*)是潮境潮間帶常見的一種寄居蟹，透過每月穿越線調查與方框採集實驗，發現牠們聚集出現與繁殖有很大關連。三-九月是牠們的繁殖季，母蟹體型小但數量多，且會有將近一個月的抱卵。

裸蟹選殼會以空間優先考量，過大過小都會想更換，小體型的多半選擇海蜷螺殼，大體型的則會以珠螺、鐘螺為主。殼戰要發生必須有一些共同存在的條件：1 處在容易碰到的環境；2 本身殼內空間不足或有破損；3 體型比對方大；4 對方的殼是自己喜歡的。殼戰行為模式：檢查-口對口-攻擊-出殼-換殼-離開，需在雙方獲利情況下，才會有較高的換殼機率。

透明的 3D 列印螺殼，雖然有助於了解殼內行為探究，但仍無法取代天然殼，天然螺殼還是牠們最好的家。

壹、研究動機

經常到學校附近潮間帶玩耍的我們，常常看到寄居蟹揹著殼爬來爬去，模樣相當有趣！上自然課時，老師跟我們介紹了寄居蟹，讓我們對於這個生物更加的好奇，覺得”殼”既然對他們那麼重要，那會不會因為見到自己喜歡的殼而去與其他寄居蟹打鬥？於是我們展開對寄居蟹一系列的調查，希望能透過研究，讓我們更認識這個有趣生物。

貳、研究目的

(一) 綠色細螯寄居蟹生物與生態相關研究，包含：

- 1.基本外觀；
- 2.在潮境潮間帶的分布與每月的出現狀況；
- 3.繁殖季的調查；
- 4.抱卵行為。

(二) 綠色細螯寄居蟹”選殼”相關研究，包含：

- 1.喜好的螺殼；
- 2.螺殼的重量；
- 3.螺殼的完整性；
- 4.螺殼的大小。

(三) 綠色細螯寄居蟹”殼戰”相關研究，包含：

- 1.不同螺殼；
- 2.不同體型大小；
- 3.不同殼內空間；
- 4.不同數量；
- 5.裸蟹與有殼；
- 6.不同種類間；
- 7.商議性模式換殼(是否如文獻所說，可以雙方獲利的換殼，刻意營造可能的雙贏的情況：(1)大的在小殼一小的在大殼；(2)綠螯在芋螺內一寬胸在珠螺內)

(四) 利用 3D 列印技術，更深入了解寄居蟹與殼的關係，包含：

- 1.殼形的改善及應用；
- 2.左右旋試驗；
- 3.加重螺殼；
- 4.人工殼與天然殼(正常、破損、過小)選殼；
- 5.人工殼與天然殼殼戰。

參、研究設備及器材

一、實驗室飼養(30公分水族箱數組、檯燈、海水大水箱等)

二、攝影實驗組(攝影機、相機、腳架) 三、體長實驗組(游標尺、培養皿、淺盤子)

四、放大工具組(顯微鏡、放大鏡…)

五、野外調查採集(方框、小塑膠盒、100M皮尺)

六、分離寄居蟹與殼(鋼杯、水槽橡膠塞)

七、3D 列印機組

八、殼戰實驗組

肆、研究過程、方法、研究結果及討論

研究一-1、綠色細螯寄居蟹生物與生態相關研究：1.基本外觀

(一) 方法：1. 野外踏查、記錄--拍照後，回實驗室透過圖片比對。2. 利用培養皿輕壓寄居蟹，觀察公母細微特徵。

(二) 結果：

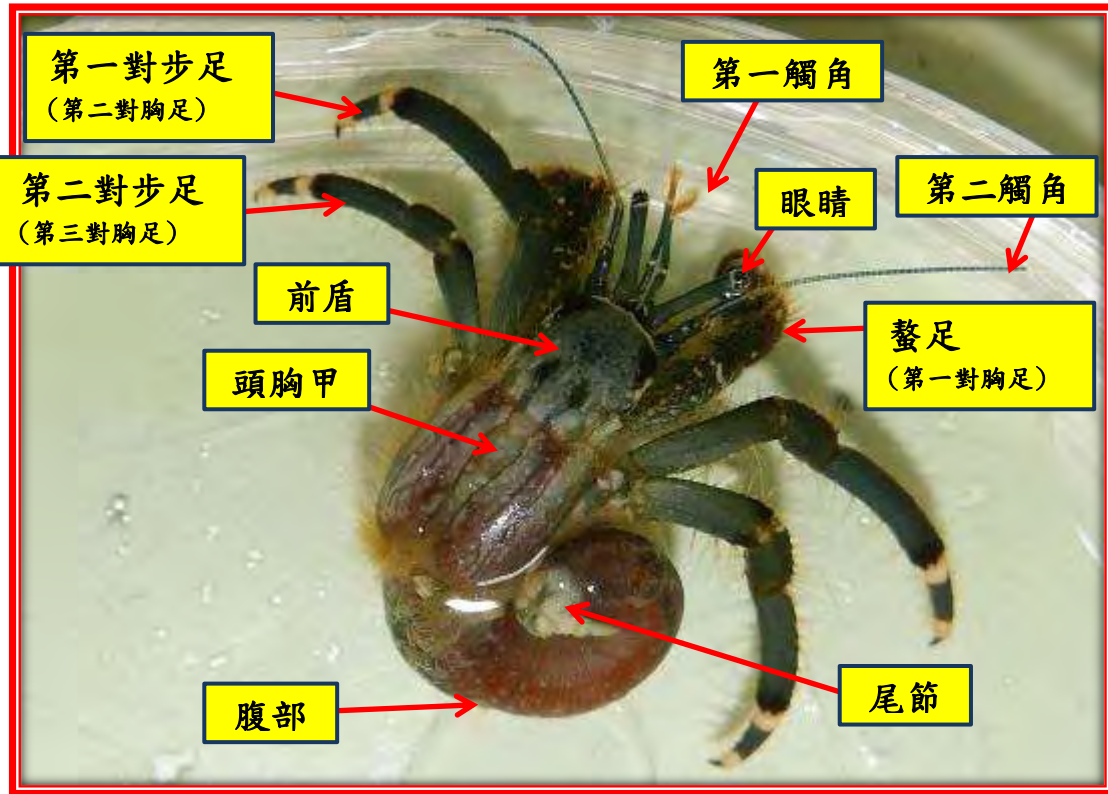


圖 1-1-1 綠色細螯寄居蟹基本外觀說明



圖 1-1-2 綠色細螯寄居蟹(公)



圖 1-1-3 綠色細螯寄居蟹(母)



圖 1-1-4 綠色細螯寄居蟹公母外觀極為相似

- (二) 發現與討論：1.綠色細螯寄居蟹有幾項明顯的特徵可以與其他種類做區隔，如兩對步足、螯足及胸部、眼柄都是呈現綠色，第二觸角則是淺藍色。
- 2.身體跟腳有細毛，螯足大小接近。
- 3.公母在外觀上非常相似，當大小相近時，不容易判別，必須從生殖孔的位置來判定，公的一對生殖孔在第五對胸足基部，母的則是在第三對胸足(第二對步足)的基部，母的生殖孔較清楚，公的很不明顯，成熟公的綠色細螯體型比母的大很多，可以差好幾倍。

※ 如何將寄居蟹趕出殼？

因寄居蟹公母的分辨極為不易，必須讓牠們出殼，再看牠們的生殖孔位置，因此如何讓牠們快速離殼又不至於傷害牠們是非常具挑戰性的，從文獻上得知一些研究寄居蟹者是利用火燒殼來趕牠們出來，雖然可行，但燃燒是越來越熱，一不小心就會燒死牠們(施習德，1991)；之後我們有想到慢慢剪開螺塔，再用細迴紋針從塔頂趕牠們出來，成功率很高，但會造成殼的破損，且速度太慢，有時數量上百隻，不容易完成。

改良方式：我們發現利用熱水燙殼搭配 8 個孔洞的洗手台橡膠塞是較可行的，一個熱水鋼杯搭配一個橡膠塞子可以一次進行 8 隻，因為有橡膠隔開，寄居蟹爬出來不會立即被熱水燙死，利用三組一起進行，可以在比較短的時間將所有要調查的寄居蟹趕出殼。



◎參考文獻，用火燒殼來驅趕◎剪開螺塔，用迴紋針趕出◎塑膠皿割洞，再以熱水燙



◎水槽橡膠塞一次多隻來分離殼◎進行分離殼辨識公母 ◎觀察生殖孔，辨識公母

研究一-2、綠色細螯寄居蟹生物與生態相關研究：2.在潮境潮間帶的分布與每月的出現狀況



※動機：我們發現在學校附近的潮間帶可找到許多的綠色細螯，但我們想知道牠們主要活動位置是在哪些區域？分布在什麼樣的環境？是否會隨季節而更動呢？

(一)方法：1.在退潮時，利用皮尺從高潮帶一顆明顯大石塊開始往低潮帶拉線，一直到海水交接處(低潮帶)，共 45 公尺，分別在 45m(靠海)、35m、25m 及 15m 處採集 1m*1m 範圍內的所有寄居蟹，清點寄居蟹數量，並挑出綠色細螯寄居蟹，計算比例，並清點螺殼種類。

2. 每個月利用退潮時間，調查 1-2 次。

表 1-2-1:穿越線調查分區地形描述

區域	45M	35M	25M	15M
----	-----	-----	-----	-----

退潮狀況	與海接觸的區域	小潮池有海水	淺淺潮池有海水	幾乎沒海水
地形	海蝕平台與海水交接處有些裂縫	海蝕平台有些裂縫	海蝕平台與碎石交接處	完全碎石區域
圖片				



◎每月進行穿越線調查



◎方框定範圍(1m*1m)◎清點 35M 處寄居蟹數量◎清點 25M 處數量 ◎分類清點

(二) 結果：表 1-1-2:每月不同區域綠色細螯寄居蟹數量表(*代表海浪大無法調查)(黃：有抱卵)

月份	八	九	十	十一	十二	一	二	三	四	五	六	七
45M	0	0	1	*	3	*	93	157	44	59	282	
35M	97	9	10	*	55	38	15	76	95	14	14	
25M	311	172	60	11	51	30	8	34	12	6	7	
15M	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

(三) 發現與討論：

- 1.從穿越線圖可以看出，綠色細螯分佈的區域並非單一因素所造成，經過我們長期調查與分析，牠們棲息的區域有幾個條件：(1)必須可以躲藏，因此有石塊、岩塊隙縫的區域較理想；(2)並不一定要一直泡在海水裡，因此可以在中低潮帶發現；(3)也不能脫離水太久，因此中

高潮帶(15M)幾乎見不到。

2.預計七月可以完成一整年調查(107/8-108/7)，從一整年的數據可以看出，不管是在靠海的45M 或離海稍遠的25M 區域，這種寄居蟹都有蠻明顯的聚集現象，不過聚集的時間不太相同，以45M 處為例(靠海)，八~一月並沒有明顯的聚集現象，但從二、三月開始，便可發現綠色細螯寄居蟹在這區域聚集，且接下來幾個月都有穩定數量，45M 處是與海接觸的位置，推測可能是因繁殖季節到了(已調查出繁殖季在三~九月)，因此牠們開始從海裡往潮間帶聚集，以便達到交尾產卵的目的，而在牠們繁殖的半年期間，三~六月有有大量藻類(馬尾藻)讓牠們攀附、躲藏，但到了八九月馬尾藻少很多，這種寄居蟹在35-45M 平台區是可能被海水衝擊到25M 處的石塊下的(平台區沒有石塊可以躲藏，而25M 處是平台與石塊交接處)，造成去年八、九月25M 處數量反而比45M 處多很多，不過接下來幾個月(九~十一)，聚集數量急速下降，很有可能是因繁殖季漸漸結束，不須再聚集了，使牠們再度回到海中，以躲避冬季的酷寒，等待明年春天再往潮間帶聚集，為了繁衍後代，即便在惡劣環境的潮間帶，牠們已經演化出一套可以適應環境的模式。

研究一-3、綠色細螯寄居蟹生物與生態相關研究：3.繁殖季的調查

(一) 方法：1.每個月方框採集，除了分析公母比例之外，我們也記錄母蟹中抱卵的比例，方框內樣本數多時，採集兩個方框，冬天方框內的樣本數較少時，採集四個方框進行平均。



◎進行分離殼與辨識、分類 ◎熱水讓一隻抱卵的母蟹正離開殼 ◎以方框(50cm*50cm)採集
(二) 結果：表 1-3-1 每月綠色細螯寄居蟹數量與抱卵比例表(方框內平均數量)(*--未採集)

月份	八	九	十	十一	十二	一	二	三	四	五	六	七
寄居蟹(25M)	234	101	58.5	54.5	53	20.5	58	38	67	32	96	
寄居蟹(35M)	*	*	*	22.5	*	41.5	*	37	88	42	71	
綠螯(25M)	95	35	41.5	27.5	48.5	4	3.5	2	5	4	2	
比例(25M)	41%	35%	71%	50%	92%	20%	6%	5%	7%	11%	2%	
綠螯(35M)	*	*	*	20.25	*	25	*	26	65	41	61	
比例(35M)	*	*	*	90%	*	60%	*	70%	73%	96%	87%	
母蟹(25M)	90	33.5	33.5	23.25	45	3.5	1.75	1	5	3	2	
比例(25M)	95%	96%	81%	85%	93%	88%	50%	50%	100%	86%	75%	
母蟹(35M)	*	*	*	18.75	*	22	*	23.67	63	37	55	
比例(35M)	*	*	*	93%	*	88%	*	91%	97%	91%	89%	
抱卵(25M)	151	32	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
比例(25M)	85%	43%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	17%	0%	
抱卵(35M)	*	*	*	0	*	0	*	9	27	27	52	
比例(35M)	*	*	*	0%	*	0%	*	38%	43%	73%	94%	

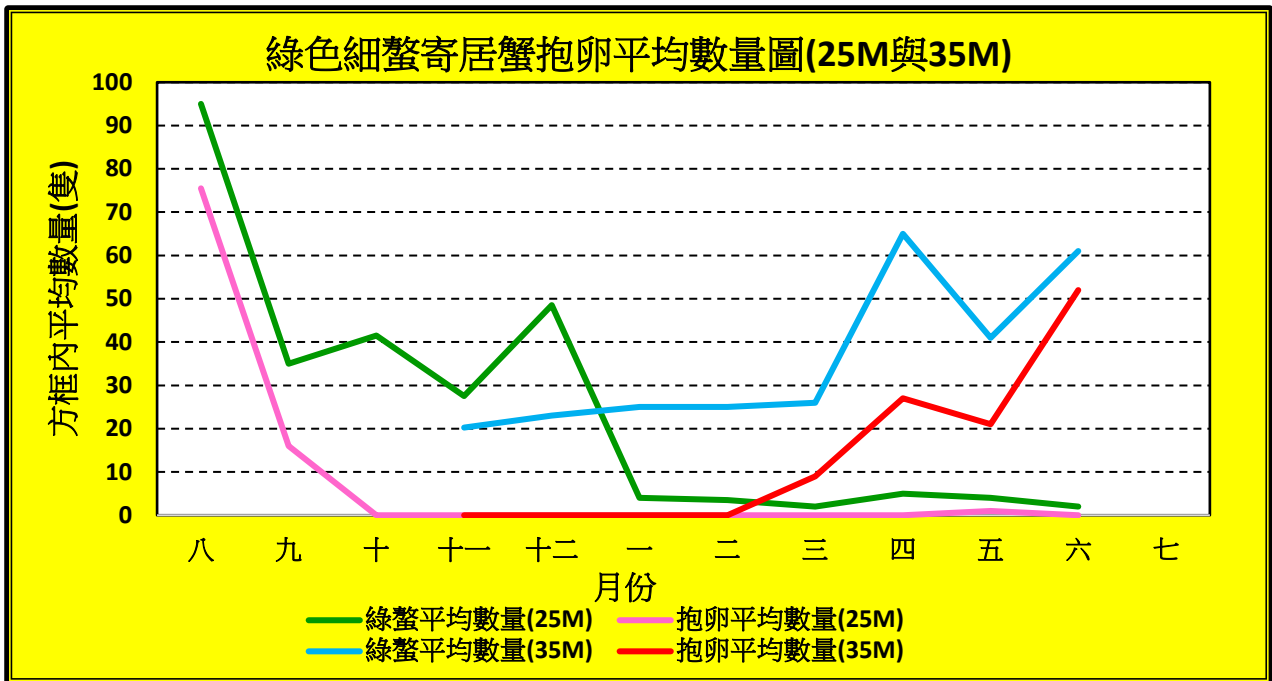


圖 1-3-1:每月綠色細螯寄居蟹抱卵平均數量圖(25M 與 35M)

(三)發現與討論：

- 1.從每個月的方框採集調查中(107/8 發現穿越線 25M 處最密集)，我們發現綠蟹的數量在採集區，並非一直都很穩定，特別是過了十二月，最密集的区域架的方框，數量非常的少，但為了確認母蟹繁殖狀況，需要有一定的數量，我們便往 35M 區域(比較靠海)採集，果然數量是明顯比較多的，看起來好像到了冬天，綠色細螯主要在比較靠海的區域(圖 1-3-1)。
- 2.綠色細螯母蟹佔的比例非常高，特別是數量穩定的情況下，母蟹幾乎都佔 80%以上，甚至超過 90%(表 1-3-1)，比例高的母蟹應該有助於繁衍後代。
- 3.從我們每月調查的資料來看，雖然七月尚未進行(預計進行中)，但我們相信綠色細螯寄居蟹繁殖很可能在三月便開始，因為雖然三月在 25M 的母蟹沒發現抱卵(數量太少)，但在 35M 處的平台區卻已經有 38%的抱卵比例，我們也特別到 45M(更靠海)處採集，發現抱卵比例高達 66%(47 隻抱卵/71 隻)，幾乎所有的卵都呈現深紅色，因此很可能才剛剛開始，而這繁殖時間很可能一直進行到九月結束，將近有半年時間，也就是天氣較為暖和的季節。
- 4.從 35M 的方框採集資料可以看出，綠色細螯寄居蟹數量從十二月開始，35-45M 靠海區域數量開始增加，到了三月便開始有抱卵母蟹，而且逐月增加比例，因此我們推測牠們在二三月便開始由海裡往潮間帶聚集，進行繁殖行為，到了九月又開始往海裡移動，以躲避酷寒。

研究一-4、綠色細螯寄居蟹生物與生態相關研究：4.抱卵行為

(一) 方法：1. 透過野外採集樣本中有抱卵的個體，分離殼之後，單獨飼養，每日觀察、記錄卵的顏色等變化，直到孵化。2.採集回來有抱卵的母蟹，雖然不知道已經抱卵多久，但我們仍儘可能的觀察紀錄卵的變化，以及他們在抱卵過程中的行為。



◎隔離飼養抱卵的母綠色細螯寄居蟹

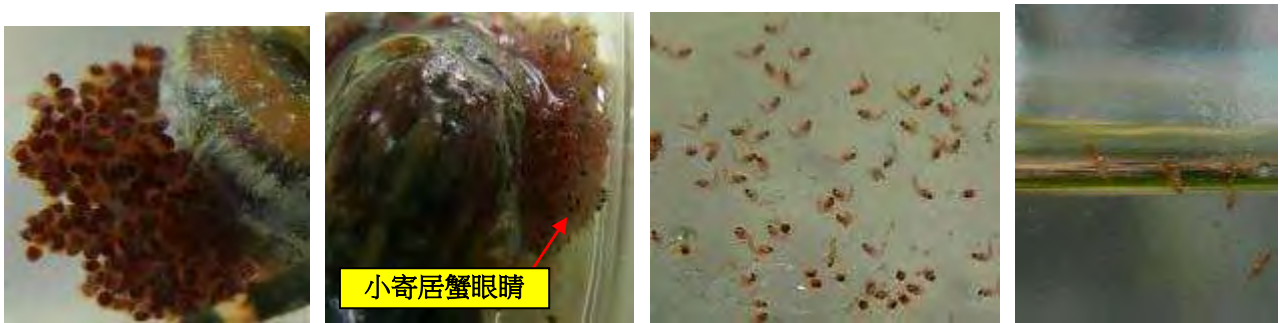
◎沒有殼的母蟹

◎利用培養皿每日觀察變化

(二) 結果：1.母寄居蟹腹部左側的腹肢比公蟹更為發達，主要就是為了抱卵時可以讓卵附著在上面，並不時的會以第五對胸足撥弄卵堆，看起來像是要讓水流動，保有充足的氧氣。



◎母的有明顯腹肢 ◎公的沒有明顯腹肢 ◎利用腹肢附著卵塊 ◎剛產下的卵呈現深紅色



◎兩週後深紅色區域靠邊◎三週後變淡，可見到眼睛◎一個月陸續孵化 ◎看起來像蝦子

(三) 發現與討論：1.由於卵是很多生物的食物，因此寄居蟹將卵藏在自己身邊，又有殼保護，應該可以提高卵的孵化率。

2.從我們野外採集抱卵母蟹後，飼養到孵化時間，以及經過我們配對公母後產生抱卵的母蟹的抱卵時間，我們推測綠色細螯寄居蟹抱卵的時間，應該在一個月左右。(詳細請參考附件)

3.縮小的第四、五對胸足，除了可以比較容易縮進螺殼內之外，同時對母蟹的抱卵也是有用處的，不斷撥動卵塊，可以促進水流動，提高水中的含氧。

研究二-1 綠色細螯寄居蟹”選殼”相關研究：1.喜好的螺殼

※動機：潮間調查時發現綠色細螯會在不同螺殼出現，那到底哪一種是牠們最喜歡的呢？

(一)方法：1.挑選在野外綠色細螯寄居蟹曾寄居過的螺殼六種(鐘螺、珠螺、蝶螺、寶螺、蜆螺、海蜷)，放置於觀察盒一側，再將無殼的寄居蟹放在另一側，讓牠自由挑選，為避免臨時寄居，因此我們會全程錄影，記錄牠在選殼過程中有碰到、檢查或進殼的螺殼，為了使資料更完整，實驗進行了兩天，讓牠有機會再碰到其它殼。(許曉雯等。2007。最終結果探討)



◎綠色細螯自由選殼實驗



◎寄居蟹一碰到螺殼便展開檢查

2. 野外多次調查，發現體型比公蟹小的母蟹大部分都在海蜷內，因此也針對較小體型的綠色細螯進行選殼實驗。



◎體型較小的綠色細螯選殼實驗



◎小體型綠色細螯選擇海蜷

(二) 結果：

1. 中大型個體(最終結果)：(12 組)

	鐘螺	珠螺	蝾螺	蜚螺	寶螺	海蜷
數量(隻)	4	6	1	0	0	1

※過程說明(樣本 1)：裸蟹—碰蜚螺進蜚螺—蜚螺碰蝾螺換蝾螺—蝾螺碰珠螺換珠螺—珠螺碰其他螺殼不換—珠螺(最終)

2. 小型個體(最終結果)：(4 組)

	鐘螺	珠螺	蝾螺	蜚螺	芋螺	海蜷
數量(隻)	0	0	0	0	0	4

※過程說明(樣本 2)：裸蟹—碰寶螺進寶螺—寶螺碰蜚螺進蜚螺—蜚螺碰海蜷 2，撞擊海蜷 2，但沒換殼—碰海蜷 1，換海蜷 1--海蜷 1 碰 6 種殼，換海蜷 2(原來寄居蟹已暫時更換到鐘螺)—海蜷 2 碰 6 種殼，換鐘螺—鐘螺碰 6 種殼，換海蜷 2—海蜷 2(最終)

3. 小型個體，加入破損海蜷(最終結果)：(5 組)

	鐘螺	珠螺	蝾螺	蜚螺	寶螺	好海蜷	破海蜷
數量(隻)	0	0	0	0	0	5	0

※過程說明(樣本)：裸蟹—碰破海蜷 1 進破海蜷 1--碰 6 種螺，不換--碰好海蜷 2 進好海蜷 2



◎小型綠色細螯最終都選海蜷



◎放入 3 個破海蜷加入實驗

(三) 發現與討論：

1. 中大型的綠色細螯寄居蟹(公的)，因體型較大，大部分會選擇殼口大的珠螺、鐘螺，不過如果是裸蟹，會以第一個碰到的殼優先寄住，只要可以住便先住，再尋找更適合的。
2. 小型的綠色細螯(母的為主)，不論是放兩隻、三隻，只要海蜷殼足夠，牠們都會住進海蜷殼，即便是有小的鐘螺、珠螺，牠們都只是暫時寄住，一旦遇到海蜷，仍會換到海蜷，就算

是破的海蜷，牠們也會寄住，顯然小型綠色細螯對這類螺殼情有獨鍾。

★大的喜歡珠螺可以理解，但為何小寄居蟹不住小珠螺？而全部選擇海蜷呢？

1.為解開這個疑惑，我們挑選幾個常被寄住的螺殼，切開來探究內部構造，我們發現原來海蜷殼口雖然較小(0.5cm*0.6cm)，但因殼長特別長，裡面的螺旋數也最多(5-6個)，這給小體型寄居蟹提供非常理想的躲藏環境，因為牠們可以縮得更裡面，天敵想捕食或其他寄居蟹想搶殼，相對來說是比較不容易的。



海蜷 骨螺 蝾螺 珠螺 鐘螺

◎綠色細螯常寄住的螺殼



◎各螺殼縱切面圖

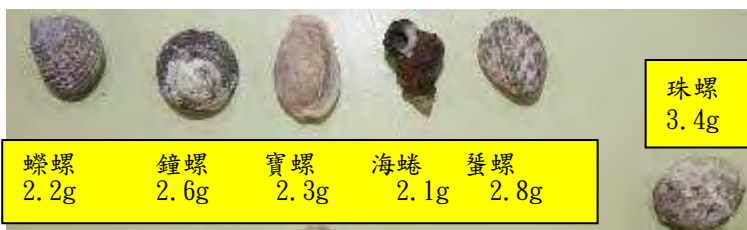
最外圍殼口大小(直徑)	海蜷	蝾螺	珠螺	鐘螺
中型(最短*最長)(cm)	0.5*0.6	0.9*1.0	1.2*1.2	1.0*1.2
大型(最短*最長)(cm)	0.6*0.7	1.2*1.3	1.4*1.4	1.2*1.6
螺旋數(個)	5-6	2-3	2-3	3-4

2.鐘螺、珠螺雖然殼口大，但螺旋數較少，空間雖大但殼內部較淺，以躲藏與防禦來看，小型綠色細螯選擇海蜷螺殼是很合理的。

3.從野外調查中也可以發現，在綠色細螯聚集的區域，也有很多海蜷螺類聚集在附近，我們調查寄居蟹數量時，海蜷螺類的數量常常比寄居蟹還多，而死後的螺類很容易卡在這些石塊堆中，自然也成為小型綠色細螯寄居蟹可以取用的螺殼。

研究二-2 綠色細螯寄居蟹”選殼”相關研究：2.螺殼重量

※動機：外觀大小看似相近，但重量卻不見得相同，我們把實驗螺殼乾燥後，秤了牠們的重量，結果多次被寄居蟹選取的珠螺，重量明顯較其它螺殼重，那如果螺殼重量都相似，牠們還會選擇珠螺嗎？



◎選殼實驗中大小相似的”不同螺殼”



◎更換成與珠螺重量相似的”螺殼”

(一)方法：1.以前面實驗寄居蟹選定的珠螺重量為依據，挑選其它與珠螺等重量的不同種螺殼，再放入一隻裸蟹讓牠自由選。2.以母蟹的喜好的海蜷螺殼重量為依據，挑選其它與海蜷等重的不同種類螺殼與海蜷進行配對，再放入一隻裸蟹讓牠選擇。



(二)結果：1.公的寄居蟹(體型較大)一天後的結果(樣本數：10)

	鐘螺	珠螺	蝾螺	蜚螺	寶螺	骨螺
數量(隻)	1	5	2	0	0	2

2.母的寄居蟹(體型較小)一天後的結果(樣本數：9)

	鐘螺	珠螺	蝾螺	蜚螺	海蜷	
數量(隻)	1	0	1	0	7	

(三)發現與討論：1.由以上結果發現，重量確實是牠們選殼的考量因素之一，公的寄居蟹原本以珠螺、鐘螺為主，但當重量相近時，選蝾螺、骨螺的數量也增加了，也就是重量接近時，牠們的選擇就變多了，不見得非要珠螺不可，但對於殼形比較不適的蜚螺與寶螺，在重量一樣情況下，即使住進去了，也會再換到其它螺殼。

2.母的寄居蟹(體型小)原本都是選擇海蜷螺殼，但當其它螺殼重量與海蜷一樣時，也有選擇鐘螺跟蝾螺而不選海蜷的，但多數還是以海蜷類為主，海蜷類螺殼多半較輕，野外數量也比其它螺殼多很多，難怪體型明顯小很多的母寄居蟹多半選擇這類螺殼。

研究二-3 綠色細螯寄居蟹”選殼”相關研究：3.螺殼完整性

※動機：並非所有螺殼都完好，綠色細螯寄居蟹是否會因殼的完好與否而更換螺殼？

(一)方法：1.等大且同類的好殼 VS 破殼，放入一隻裸蟹實驗；2.好的小殼(有寄居蟹)VS 破的大殼(空)；3.好的小殼(空)VS 破的大殼(有寄居蟹)；4.破的大殼(寄居蟹)VS 好的大殼(空)。



◎好殼與破殼 ◎三個實驗缸進行 ◎寄居蟹在好的小殼 ◎住好的小殼換到破的大殼

(二)結果：(樣本數 3 隻)

	1 好殼&破殼 (等大)	2 好殼(小)& 破殼(大)	3 好殼(小)& 破殼(大)	4 好殼&破殼 (等大)
實驗前	裸蟹	在好殼(小)	在破殼(大)	在破殼(大)
一天後	好殼*3(隻)	換到破殼*3(隻)	在破殼*3(隻)	換成好殼*3(隻)

(三)發現與討論：1.殼大小相近時，即便一開始進破殼，但牠們最終還是會住進好的殼。

- 2.住小殼的寄居蟹遇到較大的破殼，是可能更換的，因此野外也有住破殼的寄居蟹。
- 3.換到大的破殼，如果再給一次好的殼，牠們又會換成好的殼。
- 4.顯然殼的好壞對寄居蟹是有影響的，但當空間過度擁擠時，牠們寧願住進破的大殼，空間充裕與否比殼破不破更為重要。

★那殼的破損位置是否也會造成選殼的影響呢？我們一開始覺得殼頂破應該是影響較大，因為敵人可以從殼頂攻擊柔軟的腹部，但真是如此嗎？我們挑出不同破損位置的螺殼(同種類、同大小)來進行測試(5 組)，發現雖然最終結果，殼頂破、殼邊破、殼口破都有寄居蟹寄居，但過程中有從殼口破換到殼邊破的情況，似乎殼口破反而影響比較大，我們推測可能是因殼口破會縮短殼長，會造成寄居蟹不易躲藏，較容易暴露出來等等情況。



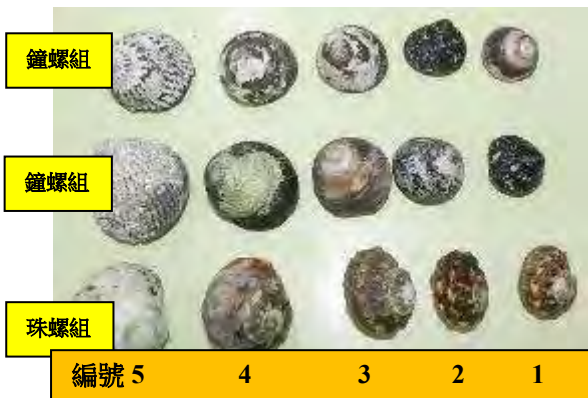
◎選擇同大小珠螺不同破損位置進行實驗 ◎寄居蟹住進殼頂破的珠螺

研究二-4 綠色細螯寄居蟹”選殼”相關研究：4.螺殼大小

※動機：想了解綠色細螯寄居蟹對不同大小的螺殼是否有刻意挑選

(一) 方法：1.選擇不同大小的同種螺殼 5 個，放在觀察盒一端，讓沒有殼的寄居蟹自行選擇，實驗維持兩天，讓牠有機會碰到每個殼，並記錄每次更換狀況。

2.更換不同大小的綠色細螯寄居蟹，記錄牠們寄居螺殼狀況。



◎挑選不同大小螺殼進行實驗



◎放觀察盒一端讓寄居蟹自行挑選



◎利用不同大小寄居蟹進行實驗，讓牠們分別有不同大小螺殼可以選擇
(二) 結果：兩天後的最後選擇(樣本數：大—2 隻、中—6 隻、小—4 隻)

最終結果(幾隻)	寄居蟹(小型)	寄居蟹(中型)	寄居蟹(大型)
螺殼 1(最小)	0	0	0
螺殼 2	1	0	0
螺殼 3	3	3	0
螺殼 4	0	3	0
螺殼 5(最大)	0	0	2

Ps.寄居蟹原居住螺殼在口徑：1.0cm 以下—小；1.0-1.5cm—中；1.5cm 以上—大

(三) 發現與討論：1.每個樣本在兩天錄影中，都會有檢查其它殼或甚至換殼的狀況，但兩天之後，寄居蟹最後寄居的螺殼是比較偏向適中或寬裕空間的螺殼，也就是大體型選擇大螺殼，小體型選擇中小型螺殼，不會選太小螺殼。

※如果大的住大殼，小的住小殼，那當環境中出現一空殼時，是否寄居蟹群會開始產生一連串換殼動作呢？(空屋鏈)

(一)方法：挑選 15 隻大小不一的寄居蟹，放入一個稍大的空殼，錄影觀察並記錄牠們檢查或換殼狀況。



(二)結果：

天數	小檢查大	換成大殼	大檢查小	更換成小殼
第一天	3	0	26	0
第二天	26	3	3	0
第三天	10	2	3	1
第四天	9	5	1	1
第五天	3	2	1	0
合計	51	12	34	2

(三)發現與討論：從這幾天的結果看出，住在較小的殼，當碰到較大空殼時，檢查後會有比較高的機率換殼，而住大殼的遇到小的空殼，也是可能檢查，不過會更換的機率比較低，會更換成小殼，大部分是因殼形的關係(蜆螺是牠們比較不喜歡的螺殼)，由此可見當潮間帶有新的空殼出現時，這些聚集的寄居蟹可以有一連串換屋的行為出現，並不一定要去搶別人的殼。

※殼戰實驗動機：有研究提到野外空殼數多時，寄居蟹換殼次數也會比較多[47 屆全國科展國中生物，沒殼怎麼辦？猶豫寄居蟹(*Pagurus dubius*)換殼策略之研究]，但經過我們多次在潮間帶調查結果發現，綠色細螯寄居蟹出現區域，其實空殼情況非常低(要到中高潮帶才会有空殼)，如果是這樣，那寄居蟹想換殼，勢必要去搶其他寄居蟹的殼，”殼戰”應該是很重要的換殼模式，而這也是其他報告比較少提及的，因此我們決定展開關於殼戰的種種相關實驗。

研究三-1 綠色細螯寄居蟹”殼戰”相關研究：1.不同螺殼

※動機：首先想了解綠色細螯寄居蟹是否會因不同螺殼需求而發生殼戰

(一) 方法：1.選擇大小相似的寄居蟹住在不同的螺殼(6 組)(有鐘螺、珠螺、蝶螺、骨螺、蜆螺等)，同時放入觀察盒中，並錄影一天進行觀察記錄。初步結果：錄影的結果相當平和，不但沒有任何殼戰行為，甚至互相檢查也沒有，難道牠們不會為了喜好的螺殼而戰鬥嗎？



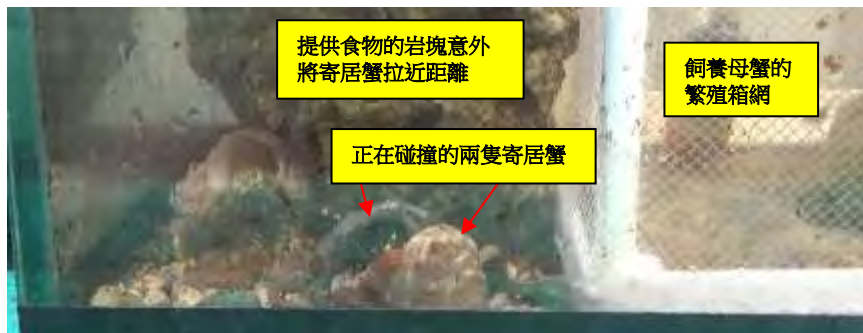
◎不同螺殼的寄居蟹進行配對殼戰



◎珠螺殼與鐘螺殼間的殼戰

原本以為這不是一個殼戰的條件，但卻在進行繁殖實驗時，因有繁殖箱網使空間縮小，一放

入寄居蟹(公的)時，竟然發生殼戰，這給了我們一個新的方向，可以縮小範圍來看看。



◎在繁殖實驗的魚缸中意外發現殼戰的行為

方法 2. 縮小活動範圍來進行實驗，選擇兩隻大小相似的寄居蟹，但住在不同的螺殼進行殼戰實驗(21 組)(鐘螺、珠螺、蜚螺、蝶螺、骨螺)，將範圍縮小在觀察盒 1/4 範圍，並錄影一天進行觀察記錄。



◎挑選適當的殼戰配對◎鐘螺珠螺的殼戰組合 ◎小範圍進行實驗 ◎正在發生殼戰

(二)結果：(21 組)(其中 16 組有發生檢查攻擊，7 組完全沒有檢查行為)

寄居殼種類	檢查對方次數	被檢查次數	攻擊對方次數	被攻擊次數	被換殼數
珠螺	9	6	1	0	0
鐘螺	3	5	0	0	0
蝶螺	7	9	1	3	1(被蜚螺換)
骨螺	2	2	0	0	0
蜚螺	1	0	1	0	0

(三)發現與討論：

- 1.縮小活動範圍後，彼此接觸增加，也確實增加互相檢查的機率，因此野外退潮時群聚在一起，除了保水分外，應該也有提高碰到不同螺殼的機會。
- 2.殼形應該不是牠們殼戰的主要因素，因為在同大小情況下，雖然不同螺殼，但發生殼戰的機率其實並不高(21 組中只有 3 組)，綠色細螯較常居住的鐘螺、珠螺、蝶螺，他們在檢查對方殼與被檢查的次數，其實蠻相近的，推測牠們對螺殼雖有某些特定喜好，但鐘螺、珠螺、蝶螺都是牠們可以接受的螺殼，沒必要為更換螺殼而戰鬥，增加受傷機會，因此有檢查，不一定會發生殼戰，或者是檢查過後發現沒有比較好，或因對方更強大而放棄。
- 3.雖然 3 次殼戰，被攻擊者都是發生在住蝶螺殼的寄居蟹上，看起來好像對蝶螺殼較喜愛，但其實蝶螺殼的寄居蟹也有 7 次檢查其他殼的記錄，因此螺殼是否關係到牠們殼戰，或許有，但應該不是最主要的原因。
- 4.機率雖不高，但我們還是有記錄到發生殼戰的整個過程，殼戰會發生都是在第一次碰面就會出現，一旦碰過面沒殼戰，接下來會發生殼戰的機率其實很低，當兩隻綠色細螯寄居些發生殼戰時，大致上會有九個過程：①碰面②檢查③口對口④撞擊⑤出殼(被攻擊者)⑥再檢查⑦進殼⑧檢查原殼(攻擊者)⑨被攻擊者進剩下的殼。



5.從這過程中，我們發現即便攻擊者已進入新殼，但仍會再檢查自己的原殼，也有記錄過又換回原殼的案例，而被攻擊者幾乎沒有任何爭搶的行為，看起來寄居蟹間的強弱是清楚的，一旦確定對方較強，那就只能在旁等候，伺機撿剩下的螺殼，這與其它種類研究報告結果是相吻合的(Shih, H.-T., 1991.)。

研究三-2、綠色細螯寄居蟹”殼戰”相關研究：2.寄居蟹大小不同

※動機：既然螺殼型態不一定造成殼戰，難道是因寄居蟹大小(強弱)的關係而發生殼戰？

(一)方法：1.將寄居蟹趕出螺殼，挑選兩隻大小不同的寄居蟹，讓牠們分別住進大小接近且空間都充裕的同種螺殼，配對完進行殼戰實驗，錄影一天觀察。



◎不同大小綠色細螯寄居蟹殼戰配對

(二)結果：6 組配對組合

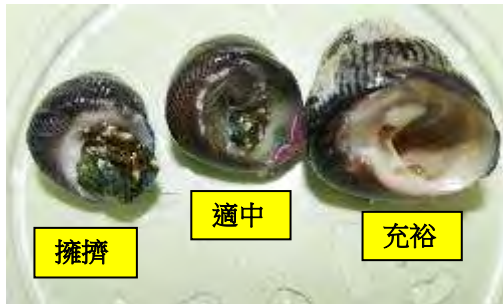
	大檢查小	大攻擊小	小檢查大	小攻擊大
組數(組)	4	0	1	0

(三)發現與討論：1.在 6 組大小對戰中，發現大部分是大體型的去檢查小體型(4:1)，不過並沒有發生殼戰與換殼。有此可見，體型大小會是一個發動檢查的重要因素，但是否進行攻擊，可能還要考慮其他因素(如殼空間大小)。

研究三-3、綠色細螯寄居蟹”殼戰”相關研究：3.空間大小不同

※動機：如果寄居蟹大小只是有能力去檢查，而不殼戰、換殼，那會不會是因殼內空間大小引起牠們想換殼呢？

(一)方法：1.將寄居蟹趕出螺殼後，挑選大小相近的兩隻，讓牠們分別進到大小不同的同種螺殼，使一隻空間擁擠，另一隻空間適中或充裕，配對殼戰實驗，錄影觀察一天。



◎寄居蟹在殼內空間狀況，”充裕”指完全看不到

(二)結果：(樣本數：8 組)

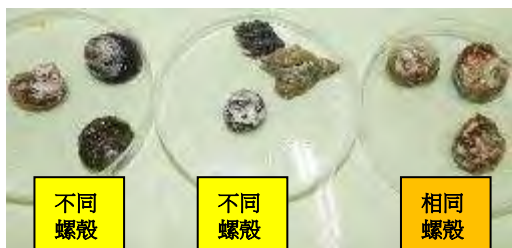
	檢查對方組數	檢查率	攻擊對方次數	被換殼數	備註
充裕	1 組	12.50%	0	0	反擊(非主動)
擁擠	3 組	37.50%	1	0	對方有反擊

(三)發現與討論：1.在 8 次的配對實驗中，住在擁擠殼內的綠色細螯寄居蟹的確有比較高的比例會去檢查另一個殼(37.5%)，顯然螺殼是否能讓他們完全躲藏，對牠們來說是有影響的，造成牠們比較主動去檢查遇到的螺殼，只是雖然想換殼，但如果對方不是可以攻擊的對象，牠們也不太會發動攻擊，否則不但得不到好處，甚至可能因此受傷(飼養過程中有發現吃掉同類的事件)。實驗中有 4 組是沒有任何檢查攻擊的行為，或許是體型相近下，強弱也接近，造成這些配對組合的寄居蟹不會想冒險。

研究三-4、綠色細螯寄居蟹”殼戰”相關研究：4.寄居蟹數量增加

※動機：如果數量增多，綠色細螯寄居蟹是否會因此而發生殼戰？

(一)方法 1：1.挑選大小相近的寄居蟹三隻(在相同螺殼)放在同一觀察盒進行實驗，錄影觀察一天，記錄殼戰發生的狀況。2.也挑選三隻住在不同螺殼來進行實驗。



◎三隻殼戰實驗配對



◎在觀察盒內縮小範圍，錄影進行一天

(二)結果 1：

	樣本數(組)	有檢查(組)	檢查率	有殼戰(組)	殼戰率	有換殼(組)	換殼率
兩隻	21	13	62%	3	23%	1	33%

三隻	15	2	13%	2	100%	1	50%
----	----	---	-----	---	------	---	-----

(三)發現與討論 1：

1.從兩隻與三隻配對殼戰實驗結果發現，三隻時，不管同螺殼或不同螺殼，並沒有因此而增加互相檢查的比率(62%: 13%)，即便增加碰到寄居蟹的機率，但互相檢查比例並沒有提高，我們認為寄居蟹想換殼應該是本身需求，對於沒有換殼需求的寄居蟹，即便聚集數量多，也不見得因此發生殼戰。

(四)方法 2：在不設條件下，在野外採集 250 隻綠色細蟹，集中後觀察半小時。



◎野外採集進行殼戰 ◎多隻聚集時的殼戰狀況 ◎實驗室內進行 ◎兩兩配對殼戰狀況

(五)結果 2：半小時的觀察，並沒有發現任何殼戰行為出現，而回學校後，利用兩兩配對進行的結果(50 組)，也沒殼戰換殼行為出現。

(六)發現與討論 2：1.沒有發現殼戰換殼，是否在野外，牠們並不是處於急需換殼的狀態？

★野外族群是否處於想換殼狀態呢？

為了解野外綠色細蟹寄居蟹多少比例處於換殼需求，我們也參考施習德教授在 1991 年做的墾丁寄居蟹殼資源之利用，裡面提到以身體縮入殼內的深淺來判斷牠的”殼適性”，『1 完全看不到蟹』只要不是過大的殼，對牠們來說應該是最理想的，『4 蟹跟步足突出殼口』則是一直處於危險狀態，最不理想，在我們調查的 188 之樣本中，我們發現在野外，綠色細蟹主要是在『1 完全看不到蟹』跟『2 見到部分蟹與步足』，這代表牠們能存活，殼適性是非常重要的，至於要到甚麼狀態會迫使牠們想換殼，我們覺得這應該是”相較”的關係，當牠們由 2 接近 3 時，遇到有更好的殼應該就會想更換，當然從數據看起來，多數是不急於換殼的，所以採集回來會發生殼戰的機率自然也就不高。

寄居蟹縮入殼狀態	1 完全看不到	2 見到部分蟹與步足	3 蟹表面幾乎到殼口	4 蟹跟步足突出殼口
數量(隻)	65	122	1	0
比例	35%	65%	0.05%	0%

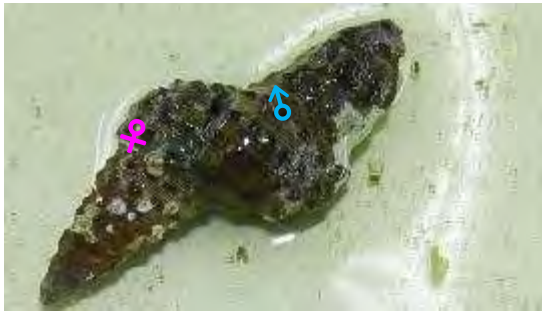


◎潮間帶進行”殼適性”調查

◎大多數是只能見到部分步足，或甚至完全看不見

2.雖然沒發現殼戰行為，但卻意外發現好幾組”口對口”緊扣的行為，雙方僵持相當久的時間(可以超過一整天)，過程中偶爾會發現其中一隻伸出腳來，不斷撥弄另一隻，但並不強烈，不太像在趕對方出殼，而且也沒有碰撞行為出現，在牠們分開後，分別將牠們趕出殼，發現主動撥弄者都是公的，而被撥弄者都是母的，這讓我們直覺想到難道是生殖行為，公的

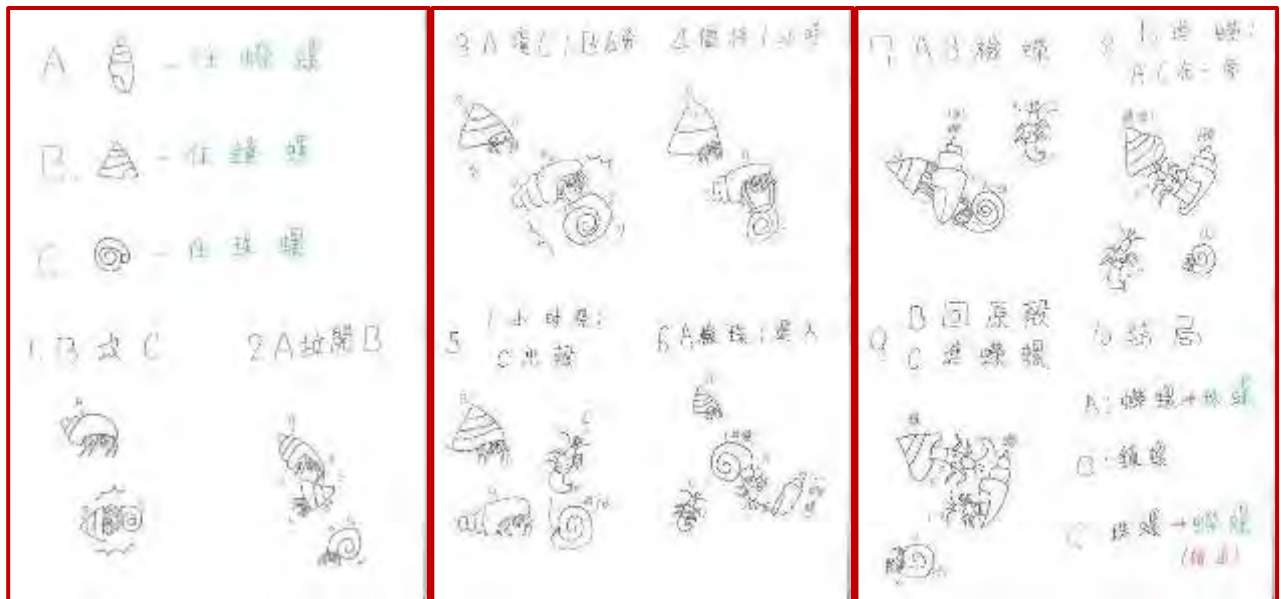
利用這撥弄行為，誘使母蟹暴露交尾孔，以便達到交尾目的(細節請參考附件繁殖實驗)。



◎公的緊扣住母的

◎公的不斷用腳撥弄母的(但並不凶狠也不撞擊)

3.在三隻殼戰實驗中，我們意外記錄到一筆三隻都有參與到殼戰的珍貴影片，從牠們的交互行為，我們發現綠色細螯寄居蟹應該會有因強弱關係，而產生微妙的殼戰行為。



◎三隻參與殼戰的完整過程(ABC 分別代表 3 隻綠色細螯寄居蟹)

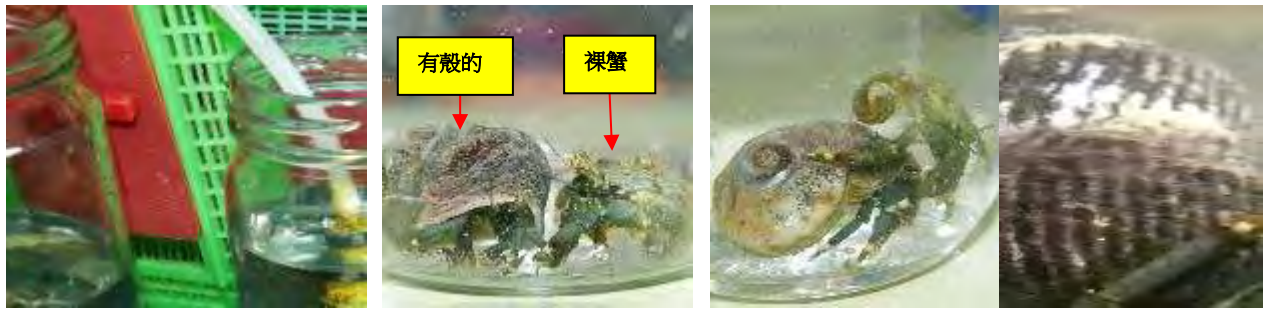
從這過程我們推測，原本住蝾螺 A 跟鐘螺 B 的寄居蟹都有想換殼的意圖(應該是空間不夠了)，而住珠螺的 C 應該是空間較充裕的(沒有換殼意圖)，因此一開始 B(鐘)不斷在攻擊 C(珠)，但一直沒辦法把對方趕出殼，而當 A(蝾)到達時，先接觸了 B(鐘)，A(蝾)檢查 B(鐘)後，應該是覺得那個鐘螺並不是理想對象，直接將 B(鐘)挪開，改去攻擊 C(珠)，此時 B(鐘)因為也想換殼，一直在旁邊伺機而動，但又不敢直接參與殼戰，A(蝾)緊緊扣住 C(珠)口對口 1 個多小時，C(珠)最後總算離開螺殼(珠)，可見牠們之間強弱並沒有差很大，在 A 進到珠螺後，仍會回頭檢查自己原殼(蝾螺)，而此時在一旁的 B(鐘)也加入檢查空的蝾螺，至於最弱的 C(裸)則只能躲在殼後等待，B(鐘)在 A(珠)放棄蝾螺後，也換殼進去蝾螺，但不久又退回去原來的殼(鐘螺)，應該是蝾螺沒有比牠原來的鐘螺好，此時沒有殼的 C，在 A 與 B 都放棄蝾螺的情況下，終於能將就進入蝾螺(迫於無奈)。

這麼精彩的殼戰，我們得到幾個要點：(1)三者強弱是 $A > B > C$ ；(2)牠們之間沒有合作關係，只考慮自己能否獲得殼；(3)被趕出殼者不會離開，仍會在一旁等待空殼；(4)一旦強弱確定，弱者絕對不會主動找強者換殼。

研究三-5、綠色細螯寄居蟹”殼戰”相關研究：5.裸蟹與有殼者之間

※動機：如果綠色細螯寄居蟹沒有殼，是否會因此而增加殼戰可能性

(一)方法：1.趕出兩隻大小相近的綠色細螯寄居蟹，一隻讓牠進殼，一隻維持裸蟹，放在小玻璃盒錄影觀察一天，共進行 11 組。



◎利用小玻璃盒進行 ◎兩隻大小相近 ◎裸蟹準備對有殼者攻擊 ◎裸蟹口對口撞擊

(二)結果：

實驗組數(組)	裸蟹檢查(組)	裸蟹被檢查(組)	裸蟹攻擊(組)	換殼(組)	其他(躲避)
11	10	0	1	0	1

(三)發現與討論：1.實驗結果發現裸蟹有相當高的比例會去”檢查”有殼者(10 組)，顯然無殼狀態讓牠們很沒有安全感，但由於雙方體型接近，雖然有很多檢查行為，但發動攻擊的只有 1 組，且沒有成功，這告訴我們沒有螺殼情況下，要想發動攻擊其實並不容易，攻擊時僅能用腹部撞擊，這對於躲在殼內的被攻擊者來說，應該沒有甚麼威脅。

2.對戰組合中，有殼者幾乎不太理會裸蟹，因此如果不是過度飢餓，牠們應該不太會主動攻擊同類，畢竟會有可能造成損傷(實驗中有些殼戰後的寄居蟹產生斷腳的情況)。

3.有一組的裸蟹完全不檢查有殼寄居蟹，但一直捉住對方殼的頂端，這行為很特別，讓我們聯想到之前的其它實驗中，有一隻較大的不斷攻擊另一隻裸蟹，甚至有捕食狀況，最後造成牠死亡，是否這隻裸蟹體型稍小，有殼寄居蟹是有意圖要攻擊牠呢？而在裸蟹情況下，捉住對方殼頂端似乎是不錯的閃躲方式。

研究三-6、綠色細螯寄居蟹”殼戰”相關研究：6.不同種寄居蟹

※動機：潮間帶有不同寄居蟹，綠色細螯寄居蟹與其他寄居蟹間，是否也會有殼戰可能性

(一)方法：1.採集與綠色細螯寄居蟹棲息區域相近的其它種類寄居蟹，包含光掌硬指寄居蟹、潛行細螯寄居蟹、矮小細螯寄居蟹及猶豫寄居蟹等，與綠色細螯進行殼戰配對。



◎實驗室配對不同種類的殼戰



◎綠色細螯與光掌硬指的配對(大小相近)

(二)結果：※同大小但不分螺殼(47 組)

種類	檢查綠螯(組)	被綠螯檢查(組)	攻擊綠螯(組)(換殼)	被綠螯攻擊(組)
----	---------	----------	-------------	----------

光掌(40)	27	6	6(2)	0
潛行(1)	0	0	0	0
矮小(3)	0	0	0	0
猶豫(3)	1	0	0	0

※把同大小且同螺殼的另外列表(24 組)

種類	檢查綠螯(組)	被綠螯檢查(組)	攻擊綠螯(組)(換殼)	被綠螯攻擊(組)
光掌(17)	15	3	3(1)	0
潛行(1)	0	0	0	0
矮小(3)	0	0	0	0
猶豫(3)	1	0	0	0

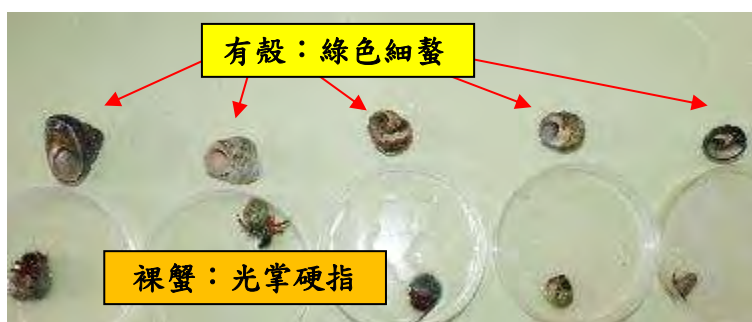
(三)發現與討論：

- 進行的 47 組綠色細螯與其他種類殼戰實驗結果發現，這種寄居蟹屬於比較不會主動攻擊的種類，而矮小與猶豫寄居蟹的特性應該也是跟綠色細螯接近，因此他們常常在退潮時跟矮小或猶豫寄居蟹群聚在一起，不過光掌硬指寄居蟹特性就很不一樣，在 40 組的組合中(綠螯-光掌)，有 27 組是光掌在檢查綠螯，而且有 6 組還發生了攻擊殼戰，兩組產生換殼，而綠螯只有 6 組有對光掌檢查，完全沒有攻擊，光掌特大的左螯提供了牠們很好的防禦與攻擊武器，難怪野外綠色細螯聚集處，並不容易發現光掌硬指，牠們比較分散的分佈在靠海低潮間帶。
- 我們也思考是否因螺殼種類造成牠們會有檢查行為，因此特別挑選住同種螺殼，彼此體型相近的不同種寄居蟹來進行殼戰，結果發現並沒有太大差異，也就是光掌硬指寄居蟹仍有很高比例會去檢查綠螯。
- 接著進一步挑選較大的綠螯與較小的光掌來進行配對，結果發現仍然是光掌較為主動，對綠色細螯這個種類來說，如果不是很迫切想換殼(太擁擠、殼型不對、殼有破損..等)，即便遇到比自己體型小的對象，也不會有”檢查”的動作，當然更不會有接下來殼戰的行為。

※體型較大綠螯 VS 體型較小其他種類 殼戰記錄表(10 組)

種類	檢查綠螯(組)	被綠螯檢查(組)	攻擊綠螯(組)(換殼)	被綠螯攻擊(組)
光掌(8)	4	0	1(0)	0
潛行(2)	0	0	0	0

※如果光掌硬指是裸蟹時，是否也是比較強勢呢？



◎光掌裸蟹 VS 有殼綠螯

◎光掌鑽到殼內試圖趕出綠螯

※裸蟹光掌硬指 VS 綠色細螯有殼 殼戰記錄表(5 組)

種類	檢查對方(組)	攻擊對方(組)(換殼)	備註
光掌(裸蟹)	5	3(2)	
綠螯(有殼)	0	0	

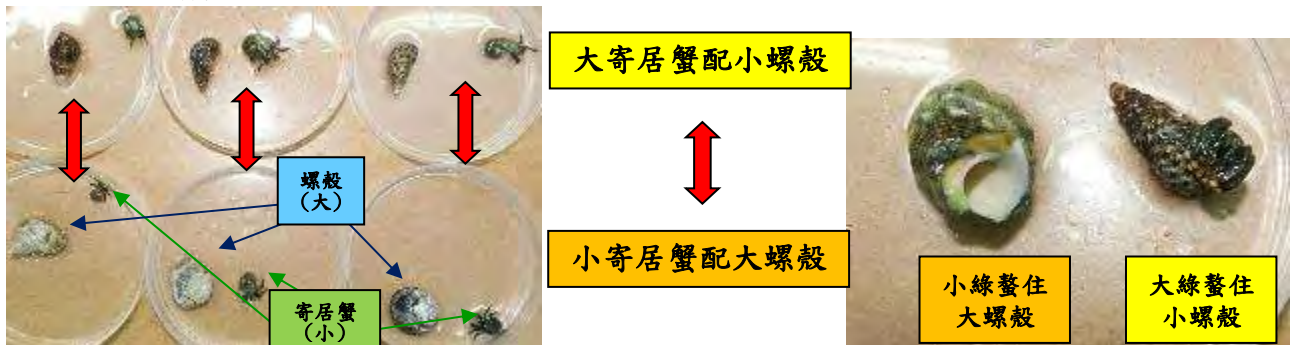
由以上結果發現即便是沒有殼的光掌硬指寄居蟹，對有殼的綠色細螯都會有檢查動作，甚至超過一半的組合有產生攻擊行為，有換殼的記錄，但因為沒有殼，因此攻擊行為並非靠撞擊，而是鑽入殼內，在殼內進行攻擊，接著再退出，讓裡面的綠色細螯爬出來，這種強勢行為連有殼的綠色細螯也被迫讓出殼，由此可見即便有殼，也不見得絕對安全。

研究三-7、綠色細螯寄居蟹”殼戰”相關研究：7.商議性模式換殼

※動機：兩隻之間的換殼是否一定要殼戰？資料上有提到所謂的”商議性模式”換殼(2005 Hsi-Te Shih)，所謂的”商議性模式”換殼是指雙方都可以獲利，不須經過打鬥便能換殼，其實這在環境險惡，四處是天敵的潮間帶並不容易發現，每隻寄居蟹都是非常需要殼的，真的有可能雙方都獲利而彼此換殼嗎？我們實驗對象綠色細螯寄居蟹是否也會商議性換殼呢？

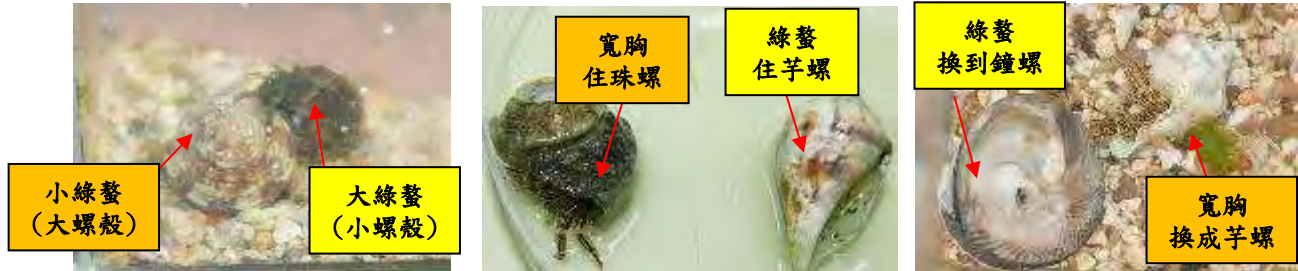
(一)方法：1.我們刻意製造出可能雙方獲利的狀況，也就是讓一隻較大的寄居蟹住進海蜆殼(使空間擁擠)，另一隻較小的住進大殼(負擔過重)，雙方應該都有換殼的意願，而對方的殼正好可以解決牠們各自當下的問題，放入同一觀察盒，錄影觀察。

2.野外調查發現寬胸細螯幾乎都住在寶螺或芋螺這類窄口型的螺殼，因此我們也特別採集數量不多的寬胸細螯寄居蟹，讓牠們出殼後，進入珠螺(綠色細螯喜好的螺殼)，並讓一隻綠螯進入芋螺，攝影記錄一天。



◎讓大隻進小殼，小隻進大殼

◎進殼後可以看出兩者空間明顯不同



◎住小殼的對住大殼的檢查 ◎綠螯與寬胸各自住在不習慣螺殼 ◎過了一天，雙方互換殼

(二)結果：表 3-7-1 大寄居蟹住小殼 VS 小寄居蟹住大殼(8 組)

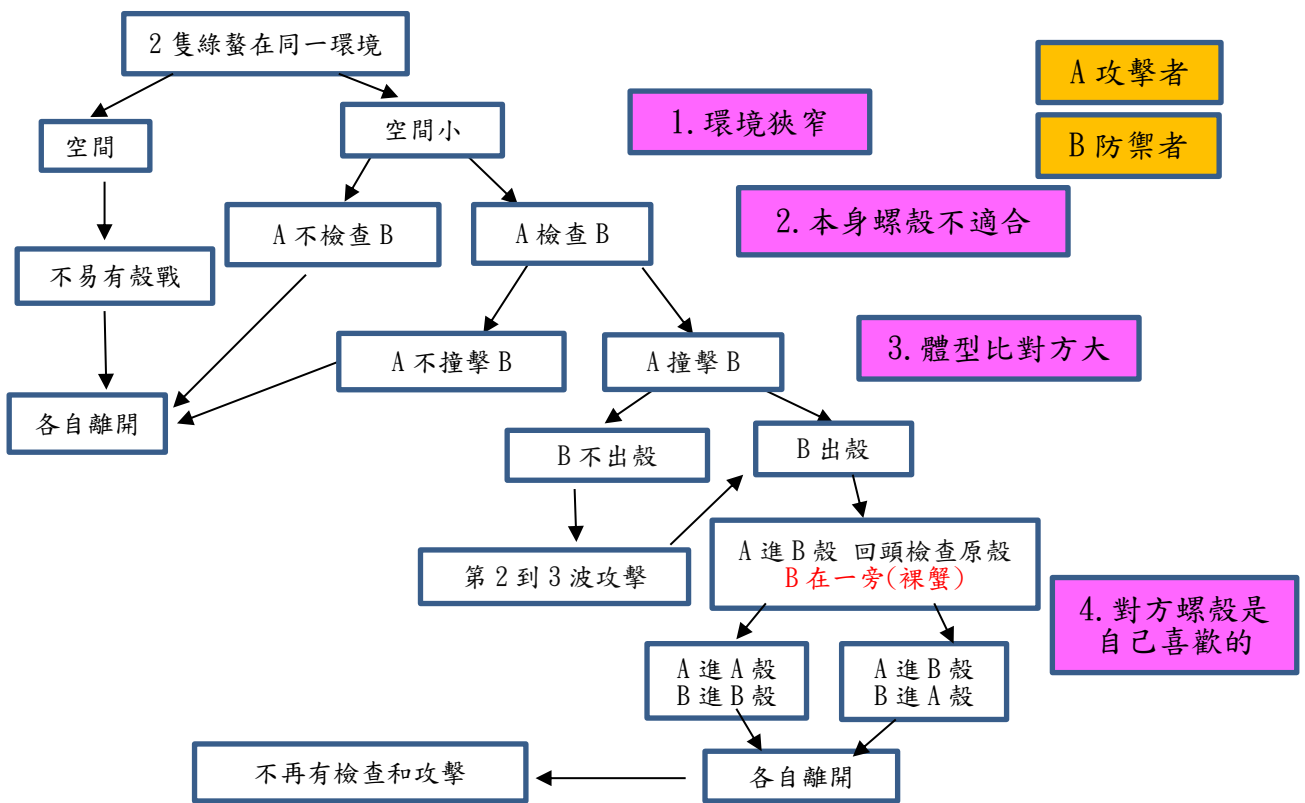
	檢查對方	攻擊對方	換殼	備註
大寄居蟹(小殼)	8	8	7	一組沒換殼是因死亡
小寄居蟹(大殼)	0	0	7(被迫)	

表 3-7-2 綠螯在芋螺 VS 寬胸在珠螺(4 組)

	檢查對方	攻擊對方	換殼	備註
綠螯(在芋螺)	2	0	0	
寬胸(在珠螺)	4	3	4	

(三)發現與討論：

1. 到底我們研究的綠色細螯寄居蟹是否符合”商議性模式”換殼？透過我們設定的條件下，住小殼的大綠螯有非常高的比例會主動去攻擊住大殼的小綠螯，且幾乎會因此產生換殼行為，換殼後對雙方都是比較理想的，這情況看起來符合 Hazlett 所支持的”商議性模式”，也就是只有在雙方都獲利情況下，才會產生換殼(2005 Hsi-Te Shih)。另外從之前殼戰實驗的數據，我們也可以得到一些驗證：(1)進行不同大小寄居蟹的殼戰實驗中，雖然有大檢查小的現象(4組/6組)，但並沒有發生任何殼戰，如果是攻擊性模式，那應該就攻擊才對。(2)在不同空間狀態時，雖然擁擠的有較明顯檢查充裕者(37.5%:12.5%)，甚至攻擊充裕者，但都沒有達到換殼的目的，顯然被攻擊者並不想換殼，不是雙方獲利下，要把對方趕出來不容易。
2. 有沒有攻擊性模式的證據呢？在我們部分殼戰實驗中(不同螺殼、三隻寄居蟹)，我們有發現殼戰攻擊，且最後還換殼的案例，但這結果很難說是雙方獲利，因為螺殼大小並沒有差太多，鐘螺、珠螺、蝾螺似乎也都是可接受的螺殼，這種條件相近，又發生殼戰，很明顯是一方有利，甚至攻擊者換殼後，又還會捉著原殼再檢查，有時候會立刻再換回來，另一方則僅能躲在殼後，完全沒有選擇的機會(參考前面殼戰過程)，這跟以 Elwood 為首的”攻擊性模式”是非常吻合的，也就是當二寄居蟹接近時，較大的個體若認為換殼會使牠獲利，即得到較合適的殼，牠會主動開啟殼戰，所以是主動者；被動者則無毫無選擇的餘地(2005 Hsi-Te Shih)。
3. 至於 4 組寬胸細螯與綠色細螯間的換殼行為，彼此住在不習慣的螺殼內，一天之後，我們發現牠們都已經互換殼了，結果很符合當初的預期，體型較細扁的寬胸細螯，在野外幾乎都是在芋螺與寶螺，而綠螯則很少在這類窄口型的螺類內，雙方獲利下，換殼機率是相對高很多的。
4. 從我們實驗的結果，其實這兩種說法都有它的道理在，難怪兩種說法在國外都有學者支持，以我們的實驗物種來說，就結果來說似乎是比較貼近”商議性模式”，因為在雙方獲利情況下，真的有很高的機率換殼，其它狀況則比例非常低，但每次的換殼都是有經過”撞擊”的過程，根據相關學者的報告(2005 Hsi-Te Shih)，商議性模式也會有撞擊行為，透過撞擊的聲音，有可能互相了解彼此的殼是否是適合。另外，我們在進行不同種類殼戰時，光掌硬指寄居蟹的殼戰行為，就非常像是”攻擊性模式”，牠們幾乎是強勢的去檢查對方，殼戰時，被趕出的寄居蟹也幾乎是躲在一旁等對方選剩的螺殼，毫無選擇餘地。
5. 總結如下：綠色細螯寄居蟹之間要發生殼戰，不是只有單一因素，很多條件可能要同時存在才會發生，以下是我們所做的歸納：(1)處在容易碰到彼此的環境；(2)本身殼內空間不足或有破損；(3)體型比對方大；(4)對方的殼是自己喜歡的。



◎綠色細蟹寄居蟹殼戰過程與條件圖

研究四-1、利用 3D 列印技術，更深入了解寄居蟹與殼的關係：1.殼形的改善及應用

※動機：寄居蟹正常情況都是躲在殼內，到底在殼內都是在做甚麼？抱卵的時候，有甚麼特別行為來照顧卵嗎？一個不透明殼隔著，我們甚麼也不知道，剛好學校有創課的 3D 列印課程，我們突發奇想，乾脆自己也做螺殼來讓牠們住，但要做出寄居蟹願意住，且又能讓我們見到裡面狀況的螺殼，其實挑戰性很高。

(一)方法：1.請資訊老師協助指導 3D 列印軟體操作與硬體設施，先透過網路已有的模型(牛角型)進行修改，並選用較接近透明顏色的 3D 線材。



◎不同時期改良不同螺形



◎3D 列印殼形繪製軟體



◎寄居蟹進入第一次製作的 3D 列印螺殼

(二)結果：表 4-1-1 寄居蟹在不同螺形人工殼寄居狀況

螺形	牛角型一	牛角型二	鐘螺型一	鐘螺型二	珠螺型
寄居蟹寄居狀況	可寄居，透明度高，但不易爬行	幾乎不寄居	可寄居，但不長久	可寄居、爬行怪異	可寄居長達三個月
尚可改進	尾鉤無法勾住	浮力太大	腹部沒有可以支撐處	螺殼比例較大	較為服貼，尾鉤可以勾住

(三)發現與討論：

1.根據我們的測試，寄居蟹要住在殼內是有一定殼型條件的，L型管(牛角型)雖然可以住進去，但牠們的尾鉤很難勾住東西，要帶著殼爬行是很費力的。鐘螺型一的型態外表看似有螺旋型狀，但內部只有一根柱子，沒有支撐身體的平台，很難待得久(網路上很多外觀與天然殼非常相似的人工殼)。後來雖然設計有平台的鐘螺型二來測試，但似乎還是沒辦法很扶貼。最後我們改成珠螺型，僅有 1.5 個螺旋，這樣的型態，牠們出來爬行沒問題，要躲到最裡面也很快，尾鉤也可以勾住塔頂附近，算是比較讓牠們接受的型態。

2.我們並沒有預期用人工殼取代天然殼，因為那是不環保的(第 54 屆全國科展國中組 3D 列印殼不殼以成家)，不過當牠們可以住在裡面時，的確讓我們對這個生物有更明確的了解：

(1) 在抱卵時期，透過這種半透明的人工殼，我們發現抱卵的母蟹，其實一直不斷的在殼內撥動著卵堆，像是在促進水流，引進含氧的水。

(2) 當牠們在選擇殼時，可以看出牠們利用步足檢查殼內部，接著會用腹部進去殼內測試；



◎利用步足進去探索



◎再用腹部尾鉤測試



◎由腹部滑進去殼內



◎利用尾鉤勾住人工殼殼頂



◎住在不同螺型人工殼的寄居蟹



◎住在牛角型的寄居蟹爬行



◎住在珠螺型的寄居蟹爬行



◎透視抱卵的寄居蟹不斷抖動卵塊

研究四-2、利用 3D 列印技術，更深入了解寄居蟹與殼的關係：**2.左右旋試驗**

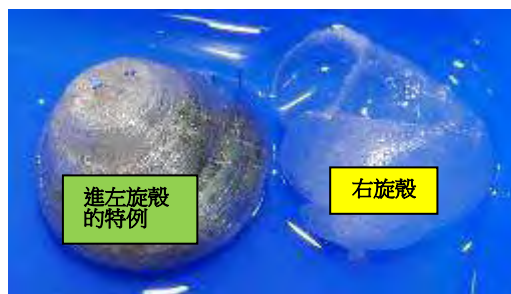
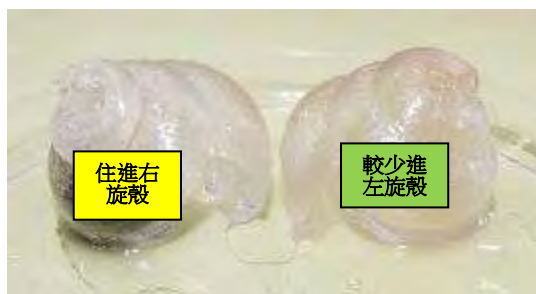
※動機：潮間帶的螺殼大部分是右旋，綠色細螯寄居蟹也是右旋的型態，但未確定是否真有影響，利用 3D 列印的技術，製造出左旋的螺殼，來證明左右旋是否有影響牠們寄住。

(一)方法：1.利用 3D 列印機製造出大小形態相同的左旋與右旋螺殼，加入一隻裸蟹，錄影一天，觀察他的寄住狀況。(共 6 組)



(二)結果：(6 組)

行為	檢查左旋	檢查右旋	進右旋	進左旋
數量	5	5	5	1



◎大多數寄居蟹都是住進右旋殼

◎有一例外住進左旋殼

(三)發現與討論：

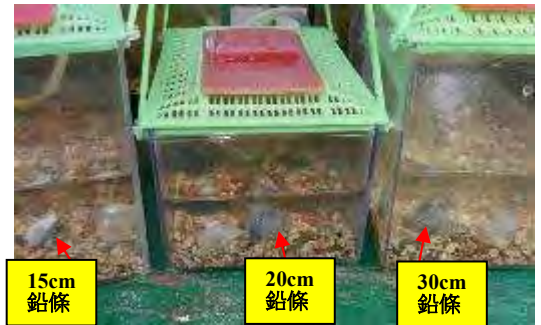
- 1.實驗過程中，沒有殼的寄居蟹兩種殼都會去進行檢查，但絕大多數都是進到右旋殼，這應該與牠們右旋的腹部形態有關，可以很契合的捲縮在殼內。
- 2.有一組在一開始便碰到左旋殼，而且也進去殼內，但接著就不再移動，始終沒有碰觸到右旋殼，而且在兩天後死亡，我們認為應該本身是有問題的，加上擠在不合身體曲線的殼內，使牠最後以死亡收場。
- 3.經由這次住左旋殼死亡的案例，我們也想了解，住在左右旋內真的會造成牠們行為或健康上的問題嗎？我們分別讓裸蟹住進左右旋，分開飼養，利用錄影來記錄牠們一天的行為狀態，我們發現住右旋殼的可以有將近 5 小時以上在爬行(與住天然殼相似)，但住左旋殼的寄居蟹卻僅僅移動了 1 分 30 秒，可見得住在不合適的殼內，的確讓牠們的行為受到明顯影響，左旋殼對牠們而言，可能只是躲藏處，而不是可以活動的”家”，因為身體結構跟殼螺旋方向是相矛盾的。

研究四-3、利用 3D 列印技術，更深入了解寄居蟹與殼的關係：**3.加重螺殼**

※動機：在進行人工殼實驗時，我們發現雖然寄居蟹是可以住進右旋人工殼，但觀察牠們的行為中，發現很多時候都要努力捉住石塊，一不小心就會浮起來，這無形中增加牠們能量的耗損，顯然殼的重量也是很重要的因素之一，但如果利用 3D 列印材質來增加重量(陳妍榕等。2014)，那透明度將會嚴重受影響，因此我們決定以釣魚用的鉛條來改變重量。



◎寄居蟹沒抓緊石頭浮起來 ◎利用石塊堵住洞口，也增加重量 ◎抓石頭保護自己
 (一)方法：1.量測天然殼重量，利用釣魚的鉛條 15cm(比天然殼輕)、20cm(接近天然殼)、30cm(比天然殼種)纏繞 3D 人工殼，改變重量，接著在觀察盒中放入一加重人工殼、另一未加重人工殼，讓寄居蟹進行選擇。共進行 9 組樣本。



◎電子秤量取鉛條重量 ◎人工殼加重與不加重 ◎三組同時進行加重與不加重的選殼實驗
 (二)結果：

人工殼重量	檢查加重	檢查不加重	進加重	進不加重	樣本數	過程中有再進去入不加重
15cm(2.17g)	10	3	3	0	3	2
20cm(3.18g)	3	0	3	0	3	0
30cm(3.99g)	4	3	3	0	3	3
加總	17	6	9	0	9	5

(三)發現與討論：

1.在 9 次實驗中，發現無加重的人工殼不管與 15cm、20cm 或 30cm 的加重人工殼配對，寄居蟹最後都會選擇加重殼，即使一開始進不加重殼，但一天之後，都會換到加重殼，顯然過輕的人工殼並沒辦法讓寄居蟹住的安穩(有時還會浮起來)。
 2.實驗的寄居蟹原來居住天然螺殼重量在 2.5g-3.2g 之間，在我們三種不同重量的加重殼實驗中，雖然最終結果都是一樣(選加重殼)，但過程卻是有些微的差異，當寄居蟹進入較輕(2.17g)或較重(3.99g)的加重殼時，仍會有再檢查不加重殼，甚至再進入不加重殼的情形，代表牠們仍有意圖想要換殼，而接近天然殼重量的實驗組，一旦選擇了加重殼，便不再更換，這意味著殼的重量也是牠們考慮換殼的因素之一。

研究四-4、利用 3D 列印技術，更深入了解寄居蟹與殼的關係：4.人工殼與天然殼選殼

※動機：當天然殼與人工殼放在一起時(大小、重量、型態相似)，寄居蟹幾乎 100%是選擇天然殼，但如果天然殼並不理想時，牠們是否有可能選擇人工殼呢？

狀況一：破損天然殼 VS 完好人工殼(重量、型態相似)

(一)方法：選取重量相似的破天然殼與完好人工殼進行配對，放入一隻寄居蟹進行自由選殼。

(二)結果：表 4-4-1 破天然殼 VS 好人工殼選殼記錄表(8 組)

螺殼	檢查(組)	檢查後進入(組)	更換(組)	4 小時(組)
破天然殼	8	7	0	8
好人工殼	8	1	1	0



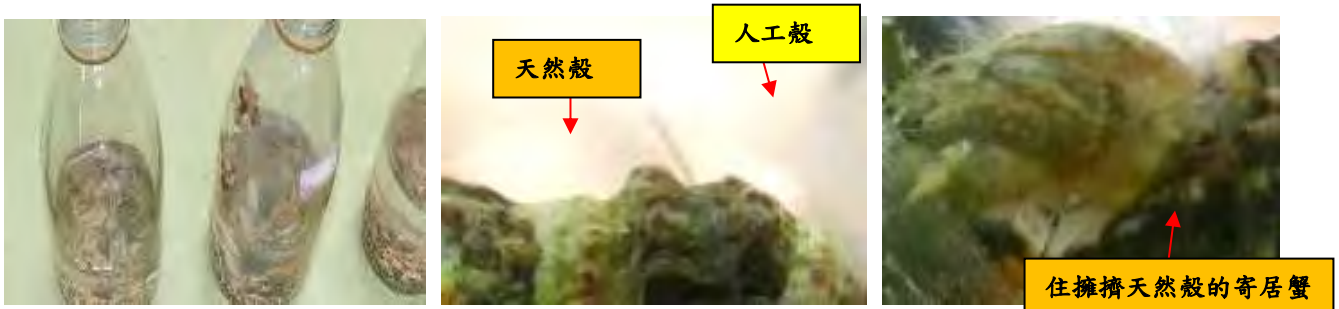
◎破天然殼與好人工殼 ◎寄居蟹大多選擇破天然殼 ◎有一組短暫選擇好人工殼

狀況二：擁擠天然殼 VS 充裕人工殼

(一)方法：將寄居蟹趕出殼後，挑選比原殼更小的螺殼來當實驗螺殼，與充裕的人工殼一起進行選殼實驗。

(二)結果：表 4-4-2 擁擠天然殼 VS 充裕人工殼 選殼記錄表(16 組)

螺殼	檢查	檢查後進入	更換	4 小時
擁擠天然殼	16	14	0	14
充裕人工殼	16	2(體型較大)	0	2



◎配對多組進行實驗 ◎多數還是選擇擁擠的天然殼 ◎擁擠的狀況下檢查人工殼

(三)發現與討論：1.在重量相當情況下，雖然天然殼有明顯破損，但實驗的 8 組寄居蟹，最後都選擇破的天然殼，可見寄居蟹對破損天然殼還是比較能接受。

2.擁擠的天然殼比較受寄居蟹喜愛，不過兩隻體型較大的寄居蟹，因天然殼過度擁擠，牠們選擇了充裕的人工殼，也就是說如果螺殼真的太小，寄居蟹還是可能選擇不是那麼喜愛的人工殼。

3.從以上兩個實驗得知，即便是天然殼條件較差，但因螺殼厚度、觸感、內部型態等種種因素，人工殼要取但天然殼還是很困難的。

研究四-5、利用 3D 列印技術，更深入了解寄居蟹與殼的關係：5.人工殼與天然殼殼戰

※動機：我們以人工殼飼養的寄居蟹也有存活將近半年時間，也就是牠們是可以接受人工殼的，但如果遇到住天然殼的寄居蟹，是否也會與天然殼產生殼戰的行為呢？

(一)方法：1.選擇大小相近的兩隻寄居蟹，分別住進天然殼與人工殼(加重)，錄影記錄一天，觀察兩者間的互動行為。



◎人工殼與天然殼殼戰實驗



◎天然殼的腳伸進人工殼內

(二)結果：17 組樣本

	檢查對方(組)	攻擊對方(組)	換殼/攻擊	換殼成功率	說明
天然殼	5	2	2/2	100%	換殼後又換回原本天然殼
人工殼	11	5	3/5	60%	換成天然殼便不再更換



◎人工殼檢查天然殼

◎人工殼攻擊天然殼，寄居蟹出殼

◎天然殼的寄居蟹只能選人工殼

(三)發現與討論：1.由結果發現在相似大小情況下，人工殼檢查天然殼的比例明顯高很多(11:5)，攻擊比例也比較高(5:2)，由此可見雖然牠們可以住在人工殼，但當有天然殼時，牠們會比較主動去搶天然殼，可見得牠們還是比較喜歡天然殼。

2.人工殼攻擊天然殼後的換殼成功率有 60%，而天然殼攻擊人工殼後的換殼成功率則高達 100%，我們覺得應該是人工殼相對來說是比較薄比較脆弱的，保護性也比較低，一被攻擊，會比較容易出殼，而攻擊人工殼的寄居蟹在換殼後，很快又換回原來的殼，應該也是經過比較後，雖然原來的天然殼可能有些擁擠，造成牠想換殼，但進入人工殼後，覺得天然殼還是比較理想，因此又回到天然殼，而原本人工殼的寄居蟹也只能再回人工殼。

伍、結論

- 一、外觀上沒有相似種類，公母相似，必須透過生殖孔位置判別，而母蟹比例超過八成。
- 二、一整年都可以見到，退潮主要躲藏在石塊下，二三月開始會在靠海低潮帶聚集。
- 三、母蟹會把卵黏在腹肢上抱卵，約一個月孵化。
- 四、繁殖期三~九月，夏季時抱卵比例可以超過八成。
- 五、可居住的殼種很多，小體型多以海蜷類為主，中大型的公蟹則以珠螺、鐘螺為主。
- 六、選殼時，會考慮：1.喜好的螺殼；2.螺殼的重量；3.螺殼的完整性；4.螺殼的大小。
- 七、發生殼戰主要有幾個條件同時存在：1.處在容易碰到彼此的環境；2.本身殼內空間不足或有破損；3.體型比對方大；4.對方的殼是自己喜歡的。
- 八、殼戰發生會有固定模式：檢查、口對口、撞擊、出殼(被攻擊者)、再檢查、換殼、檢查原殼、被攻擊者進剩下的殼。
- 九、殼戰會發生在一開始碰面便發生，結束後或一開始沒發生，接下來也不會再發生。

- 十、在雙方都獲利情況下，殼戰機率高，且殼戰後的換殼機率也很高。
- 十一、透過 3D 人工殼的運用，可協助進行觀察寄居蟹在殼內行為，但遇到天然殼，有蠻高機率會與天然殼發生殼戰。
- 十二、3D 列印技術已可做出接近天然殼型態，但還是無法取代天然殼，因此不宜將海邊螺殼帶走

陸、參考資料及其他

- 一、李信徹，1969。台灣異尾甲殼類動物一、寄居蟹科。中研院動物所集刊 8(2): 39-57。
- 二、施習德，1990。墾丁地區寄居蟹殼資源之利用。中山大學海洋生物研究所碩士論文。
- 三、施習德，1991。惱人的房事－墾丁地區寄居蟹殼資源之利用。動物園雜誌 11(2): 4-14。
- 四、施習德、李信徹，1997。兩種臺灣珊瑚礁產之硬殼寄居蟹類，瓦氏硬殼寄居蟹和塞氏硬殼寄居蟹。台灣省立博物館半年刊 50(1): 21-31。(英文)
- 五、施習德、游祥平，1995。三種台灣新紀錄之硬殼寄居蟹類 (十足目：異尾下目：活額寄居蟹科)。動物研究學刊 34(4): 241-247。(英文)
- 六、游祥平，1987。台灣產之珊瑚寄居蟹類。台灣省立博物館半年刊 40(1): 9-14。(英文)
- 七、游祥平、符菊永，1991。台灣的寄居蟹。南天書局，台北。
- 八、陳育賢。2001.海岸生物(二)(三)－台灣潮間帶生物 700 種(二)。渡假出版社有限公司。
- 九、賴景陽。2008.台灣貝類圖鑑。貓頭鷹出版社。
- 十、陳揚文。2011.一個潮池的秘密。行人文化實驗室。
- 十一、許曉雯等人。2007 年。沒殼怎麼辦？猶豫寄居蟹(*Clibanarus virescens*)換殼策略之研究。中華民國第四十七屆國中組生物科科展及地球科學科科展。
- 十二、馮柏諺等人。2013 年。蟹蟹光臨~皺紋陸寄居蟹(*Coenobita rugosus*)探究。中華民國第五十三屆國小組生物科科展。
- 十三、陳妍榕等人。2014 年。3D 列印殼不殼以成家呢？~南部地區陸寄居蟹棲地與寄居外殼研究。中華民國第五十四屆國中組生物科科展。
- 十四、Terao A. 1913. A catalogue of hermit-crabs found in Japan (Paguridea excluding Lithodidae), with descriptions of four new species. *Annotationes Zoologicae Japonenses* 8(2): 355-391.
- 十五、http://www2.csp.s.tp.edu.tw/cathy/irjam/a6_1.htm 貝殼裡的精靈~寄居蟹
- 十六、台灣海洋生態資訊學習網
<http://study.nmmba.gov.tw/Modules/ClassRoom/articleShow.aspx?ItemID=23&main=%E8%87%AA%E7%84%B6%E4%BF%9D%E8%82%B2&cate=%E7%89%A9%E7%A8%AE%E4%BF%9D%E8%82%B2&flag=3&TabID=25>

附件一：綠色細螯寄居蟹繁殖延伸研究

※假設：想知道公母在沒有碰觸情況下，是否可以產卵(公的是否會直接排精子到海水中?)

(一)方法 1：1. 購買一般魚類繁殖箱飼養無殼母蟹(無殼方便觀察卵的出現)，外圍魚缸則放置公的寄居蟹，並依野外狀況分三組進行，有兩組是較大型的公寄居蟹與無殼無卵母寄居蟹，另一組則是選擇在退潮時與大量母蟹聚集在石塊下的小型公蟹(公母大小相近)，想了解隔著紗網是否能讓牠們產生體外受精。



◎利用魚類繁殖箱隔開母蟹

◎大小不同的公蟹分在不同缸進行

(二)結果 1：實驗在綠色細螯繁殖期間(9-11 月)，但兩個月的飼養觀察中，完全沒有發現任何母蟹有抱卵狀況。

(三)發現與討論 1：1.因為知道牠們是體外受精，因此原本推測有可能在繁殖季節時，公蟹會排放精子到海水裡，讓母蟹可以受精產卵，但從我們的實驗結果可以看出，沒有接觸狀況下，綠色細螯寄居蟹是不會產卵的(與網路上的一些其他種類寄居蟹影片資料相符)。

2. 由於公的綠色細螯體型大小比例落差極大，雖住在海蜷的公蟹大小與母蟹相近，但牠數量比母蟹少很多，而住在非海蜷類的公蟹可以比住海蜷的大好幾倍，是否都成熟，原本利用這實驗可以確認，但因都無產卵，因此還很難確定。只好等繁殖期再度開始時，進行公母接觸下的繁殖實驗。



◎ 住在非海蜷的公蟹可能比母蟹大好幾倍

(一)方法 2：1.將去年產過卵的母蟹與部分公蟹飼養在同一魚缸，錄影記錄牠們的行為。



◎去年產過卵的母蟹與公的合養

◎公的捉住母的用腳撥弄，但沒有撞擊

(二)結果 2：1.經過公蟹母蟹合養在一起，每週趕出殼來檢驗，結果發現，不到一週，裡面的部分母蟹已經抱卵。

(三)發現與討論 2：1.在過程中，有觀察到公母抱在一起，但這跟殼戰的狀況很不一樣，並沒有激烈對抗，也沒有螺殼撞擊，只是公的會一直捉住母的，有時候母的會爬一半出來，是否在這一瞬間，公的便把精莖送進母的生殖孔，我們並沒有確實觀察到，但不到一個禮拜，有些母蟹確實抱卵了，因此這行為應該跟生殖是很有關係的。

2.因為母蟹是去年產過卵的，由此可見，母蟹是可以重複產卵的，至於要間隔多久，我們推測應該不會很久，因為在繁殖季(三~九月)中，野外調查抱卵比例逐月增加，六~八月更高達 80% 以上，而牠們抱卵時間大約一個月(實驗室飼養得知)，顯然之前結束抱卵的母蟹，有再度抱卵，才可能讓後來幾個月抱卵比例那麼高。

3.綠色細螯寄居蟹要產卵一定要公母互相接觸才能達成，但公母數量明顯不成比例(母蟹比例約 90%)，因此牠們在野外的聚集行為(特別是三~九月的繁殖季期間)，無形中提高了公母碰面的機會，而公蟹應該也可以重複給不同母蟹精莖，才能使那麼多的母蟹都抱卵。

【評語】 080303

實驗設計嚴謹且多有文獻支持，具學術價值有原創性。能長期野外觀察綠色細螯寄居蟹的生態及繁殖，具豐富的野外調查資料與樣本數，設計實驗觀察選殼及換殼情況，有系統收集資料，結果描寫清楚聚焦，具科學探究精神，尤其對於換殼方式。數據足以證實結論及釋義。惟可針對寄居蟹的身體構造與殼形的殼適性予以細部分析，增加推論的可信度，建議聚焦在一個因素，配合 3D 列印技術，設計實驗進行深入研究。此作品仔細觀察殼戰的行為，詳盡敘述殼戰與選擇的決策過程，並且利用了 3D 列印技術深入探討寄居蟹選殼條件與殼戰的研究具有創意性。然而，對於實驗所得結果所衍生出的問題缺乏進一步探討，值得未來深入探討。例如，為何寄居蟹仍然偏好天然殼，即使人工殼已經相當接近天然殼的形態了？哪些因子影響了天然殼與人工殼之間的偏好差異？

作品海報

摘要

綠色細螯寄居蟹(Clibanarius virescens)是潮境潮間帶常見的一種寄居蟹，透過每月穿越線調查與方框採集實驗，發現牠們聚集出現與繁殖有很大關連。三-九月是牠們的繁殖季，母蟹體型小但數量多，且會有將近一個月的抱卵。

裸蟹選殼會以空間優先考量，過大過小都會想更換，小體型的多半選擇海蝕螺殼，大體型的則會以珠螺、鐘螺為主。殼戰要發生必須有一些共同存在的條件：1處在容易碰到的環境；2本身殼內空間不足或有破損；3體型比對方大；4對方的殼是自己喜歡的。殼戰行為模式：檢查-口對口-攻擊-出殼-換殼-離開，需在雙方獲利情況下，才会有較高的換殼機率。

透明的3D列印螺殼，雖然有助於了解殼內行為探究，但仍無法取代天然殼，天然螺殼還是牠們最好的家。

壹、研究動機

經常到學校附近潮間帶玩耍的我們，常常看到寄居蟹揹著殼爬來爬去，模樣相當有趣！上自然課時，老師跟我們介紹了寄居蟹，讓我們對於這個生物更加的好奇，覺得“殼”既然對牠們那麼重要，那會不會因為見到自己喜歡的殼而去與其他寄居蟹打鬥？於是我們展開對寄居蟹一系列的調查，希望能透過研究，讓我們更認識這個有趣生物。

貳、研究目的

1. 基本外觀；2.在潮境潮間帶的分布與每月的出現狀況；3.繁殖季的調查；4.抱卵行為。

(一)綠色細螯寄居蟹生物與生態相關研究

(二)綠色細螯寄居蟹“選殼”相關研究

1. 喜好的螺殼；2.螺殼的重量；3.螺殼的完整性；4.螺殼的大小。

換屋方程式

1. 不同螺殼；2.不同體型大小；3.不同殼內空間；4.不同數量；5.裸蟹與有殼；6.不同種類間；7.商議性模式換殼

(三)綠色細螯寄居蟹“殼戰”相關研究

(四)利用3D列印技術，更深入了解寄居蟹與殼的關係

1. 殼形的改善及應用；2.左右旋試驗；3.加重螺殼；4.人工殼與天然殼選殼；5.人工殼與天然殼殼戰。

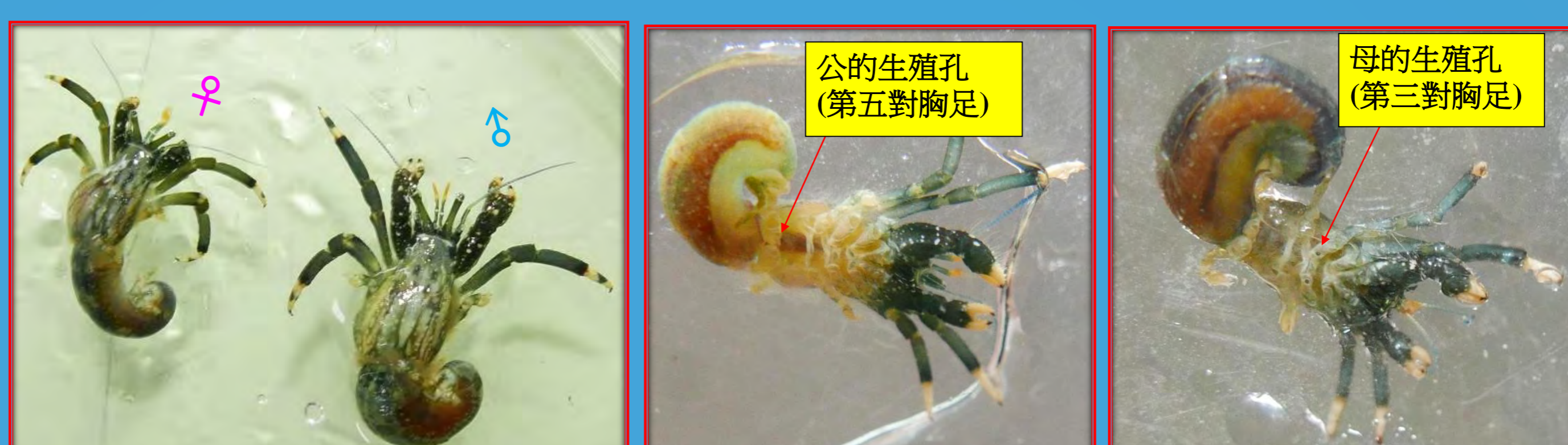
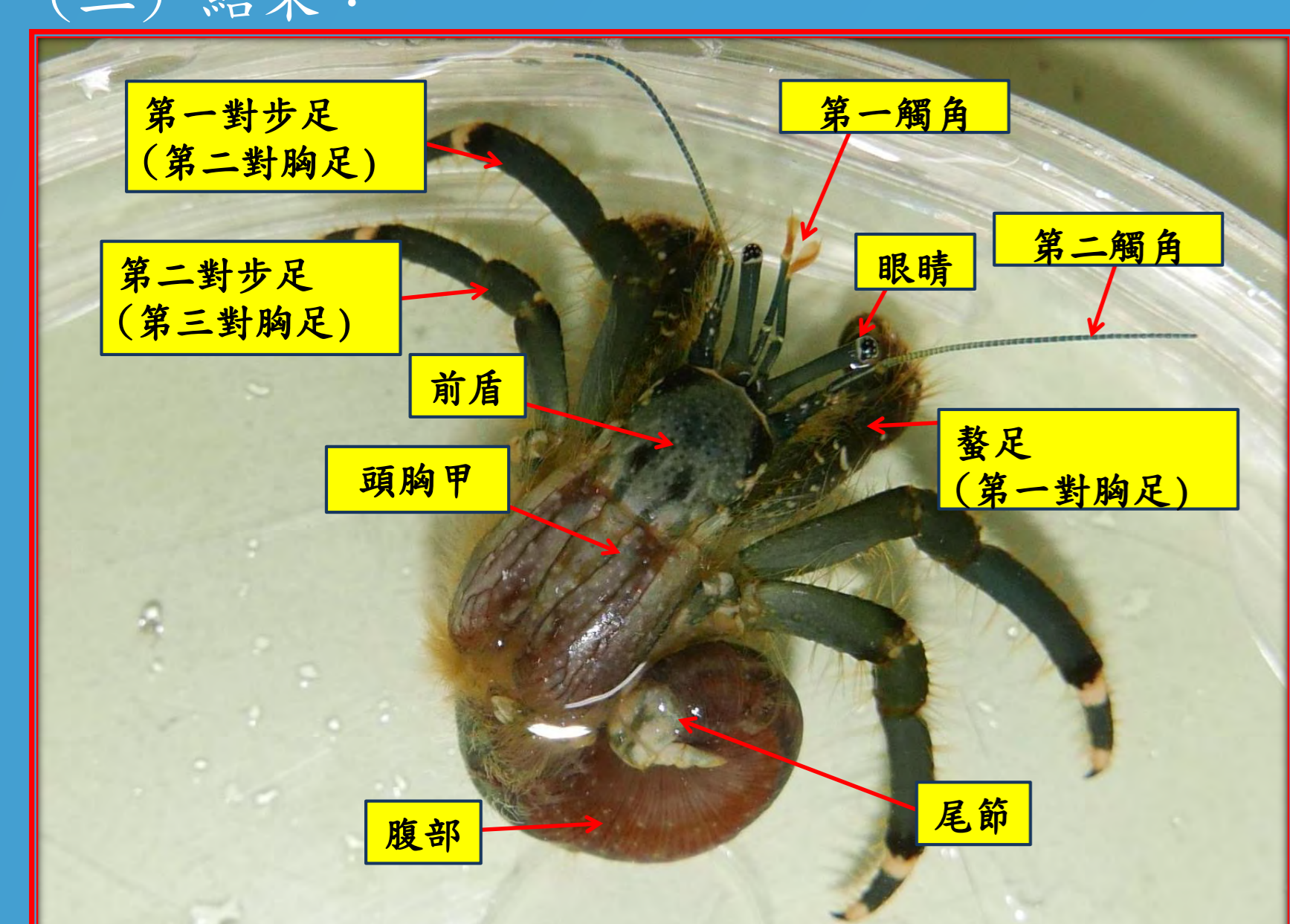
參、研究設備及器材

一、實驗室飼養(30公分水族箱數組、檯燈、海水大水箱等) 二、攝影實驗組(攝影機、相機、腳架) 三、體長實驗組(游標尺、培養皿、淺盤子) 四、放大工具組(放大鏡…) 五、野外調查採集(方框、小塑膠盒、100M皮尺) 六、分離寄居蟹與殼(鋼杯、水槽橡膠塞) 七、3D列印機組 八、殼戰實驗組

肆、研究過程、方法、研究結果及討論

研究一-1、綠色細螯寄居蟹生物與生態相關研究：1. 基本外觀

(一) 方法：1. 野外踏查、記錄--拍照後，回實驗室透過圖片比對。2. 利用培養皿輕壓寄居蟹，觀察公母細微特徵。
(二) 結果：



※ 如何將寄居蟹趕出殼？
因寄居蟹公母的分辨極為不易，必須讓牠們出殼，再看牠們的生殖孔，因此如何讓牠們快速離殼又不至於傷害牠們是非常具挑戰性的，從文獻上得知一些研究寄居蟹者是利用火燒殼來趕牠們出來，雖然可行，但燃燒是越來越熱，一不小心就會燒死牠們(施習德, 1991)；之後我們有想到慢慢剪開螺塔，再用細迴紋針從塔頂趕牠們出來，成功率很高，但會使殼破洞，且速度太慢，有時數量上百隻，不容易完成；最後我們發現利用熱水燙殼搭配8個孔洞的洗手台橡膠塞是較可行的，一個熱水鋼杯搭配一個橡膠塞子可以一次進行8隻，因為有橡膠隔開，寄居蟹爬出來不會立即被熱水燙死，利用三組一起進行，可以利用比較短的時間將所有要調查的寄居蟹趕出殼。



◎ 參考文獻方法



◎ 剪殼驅趕



◎ 塑膠皿與熱水 ◎ 水槽橡膠塞加熱水



◎ 分離殼 ◎ 觀察生殖孔

(二) 發現與討論：公母在外觀上非常相似，當大小相近時，不容易判別，必須從生殖孔的位置來判定，成熟公的綠色細螯體型比母的大很多，可以差好幾倍。

研究一-2、綠色細螯寄居蟹生物與生態相關研究：2. 在潮境潮間帶的分布與每月的出現狀況

(一) 方法：1. 利用皮尺從高潮帶一顆明顯大石塊開始往低潮帶拉線，一直到退潮時裸露處(低潮帶)，共45公尺，在45、35、25及15m處分別採集1m*1m範圍內的所有寄居蟹，清點所有寄居蟹數量，並挑出綠色細螯寄居蟹，計算比例，並清點寄居的螺殼種類。



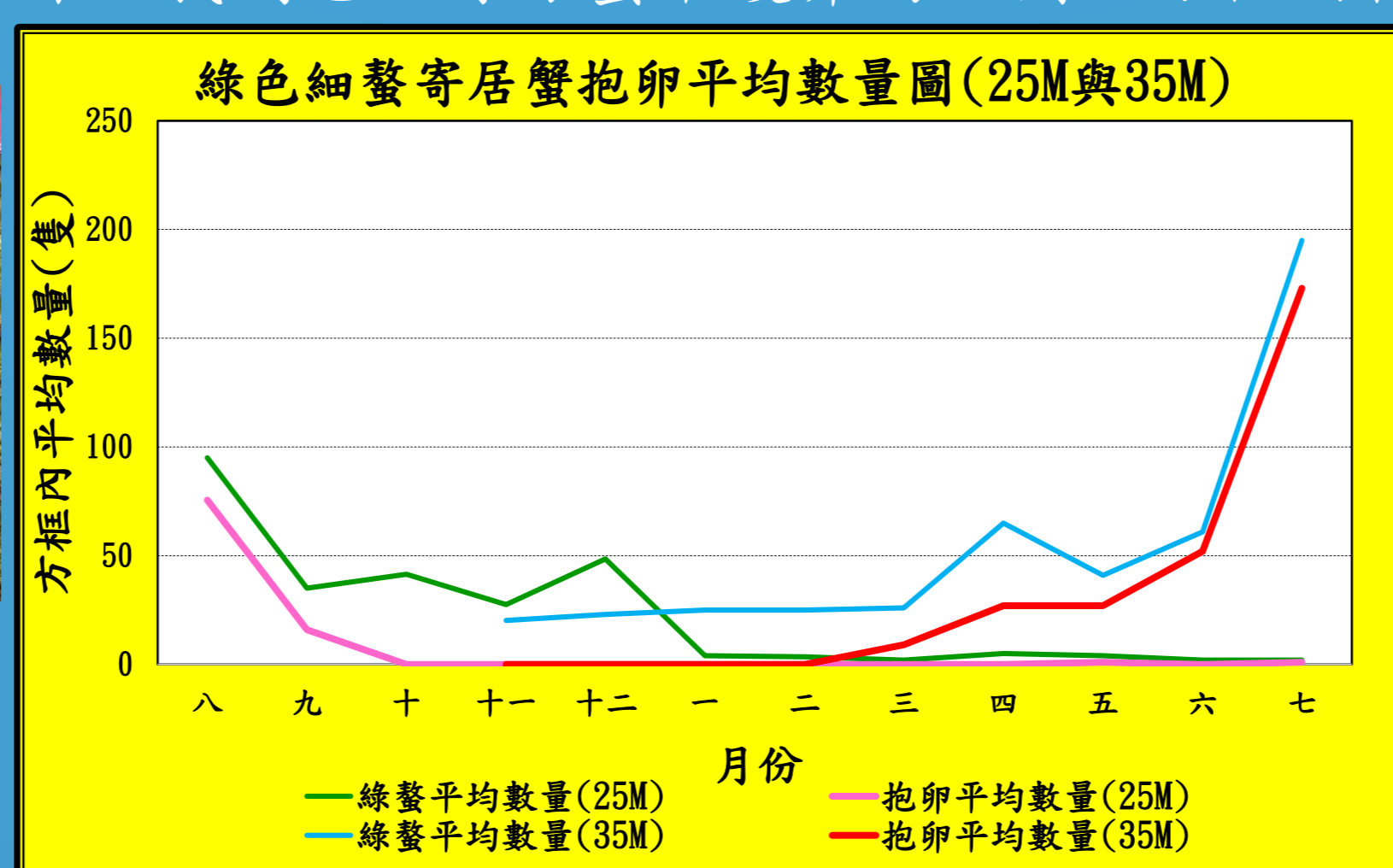
區域	45M	35M	25M	15M
退潮狀況	部分區域有海水	僅小潮池有海水	大部分沒有海水	幾乎沒海水
地形	海蝕平台與海水交接處有些裂縫	海蝕平台有些裂縫	海蝕平台與碎石交接處	完全碎石區域
圖片				

(三) 發現與討論：
1. 牠們棲息的區域有幾個條件：(1)有石塊、岩塊隙縫的區域；(2)中低潮帶到海水區域。
2. 二三月開始由靠海處聚集，十月後又漸漸不明顯。

數量	八	九	十	十一	十二	一	二	三	四	五	六	七
45M	0	0	*	*	3	*	93	157	44	59	282	209
35M	97	9	10	*	55	38	15	76	95	14	14	5
25M	311	172	60	11	51	30	8	34	12	6	7	1
15M	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

研究一-3、綠色細螯寄居蟹生物與生態相關研究：3. 繁殖季的調查

(一) 方法：1. 每個月方框採集，除了分析公母比例之外，我們也記錄母蟹中護卵的比例，方框內樣本數多時，採集兩個方框，冬天方框內的樣本數較少時，採集四個方框進行平均。



月份	八	九	十	十一	十二	一	二	三	四	五	六	七
寄居蟹(25M)	234	101	58.5	54.5	53	20.5	58	38	67	32	96	60
寄居蟹(35M)	*	*	*	22.5	*	41.5	*	37	88	42	71	212
綠蟹(25M)	95	35	41.5	27.5	48.5	4	3.5	2	5	4	2	1
比例(25M)	41%	35%	71%	50%	92%	20%	6%	5%	7%	11%	2%	2%
綠蟹(35M)	*	*	*	20.25	*	25	*	26	65	41	61	209
比例(35M)	*	*	*	90%	*	60%	*	70%	73%	96%	87%	98%
母蟹(25M)	90	33.5	33.5	23.25	45	3.5	1.75	1	5	3	2	1
比例(25M)	95%	96%	81%	85%	93%	88%	50%	50%	100%	86%	75%	100%
母蟹(35M)	*	*	*	18.75	*	22	*	23.67	63	37	55	195
比例(35M)	*	*	*	93%	*	88%	*	91%	97%	91%	89%	93%
抱卵(25M)	151	32	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
比例(25M)	85%	43%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	17%	0%	0%
抱卵(35M)	*	*	*	0	*	0	*	9	27	27	52	173
比例(35M)	*	*	*	0%	*	0%	*	38%	43%	73%	94%	89%

(三) 發現與討論：

1. 綠色細螯寄居蟹的繁殖與聚集行為有很大關係，繁殖季到時會從海裡往潮間帶聚集，約在三~九月。

研究一-4、綠色細螯寄居蟹生物與生態相關研究：4. 抱卵行為

(一) 方法：1. 野外採集樣本中有護卵的個體，分離殼之後，單獨飼養，每日觀察、記錄卵的顏色等變化，直到孵化。



(二) 結果：1. 剛產出的卵深紅色，大約三週左右，卵內深紅色區域會靠邊，大約一個月，顏色便會變淡，且可見到眼睛，接下來一兩天便陸續孵出，大約耗時4-5個鐘頭可以將所有卵孵化。

(三) 發現與討論：1. 寄居蟹將卵藏在自己身邊，又有殼保護，應該可以提高卵的孵化率。
2. 綠色細螯寄居蟹護卵的時間，從我們採集飼養結果，應該在一個月左右。
3. 母蟹腹部的腹肢比公蟹更為發達，護卵時可以讓卵附著在上面，並不時的會以第五對胸足撥弄卵。

研究二-1綠色細螯寄居蟹”選殼”相關研究：1. 喜好的螺殼

(一) 方法：1. 挑選在野外綠色細螯寄居蟹曾寄居過的螺殼六種(鐘螺、珠螺、蝾螺、寶螺、蟹螺、海蜷)，放置於觀察盒一側，再將無殼的寄居蟹放在另一側，讓牠自由挑選，為避免臨時寄居，因此我們會全程錄影，記錄牠在選殼過程中有碰到、檢查或進殼的螺殼，為了使資料更完整，實驗進行了兩天，讓牠有機會再碰到其它殼。(許曉雯等是以最終結果來探討)

(二) 結果：1. 中大型個體(最終結果)：(12組)

	鐘螺	珠螺	蝾螺	蟹螺	寶螺	海蜷
數量(隻)	4	6	1	0	0	1

2. 小型個體(最終結果)：(4組)

	鐘螺	珠螺	蝾螺	蟹螺	芋螺	海蜷
數量(隻)	0	0	0	0	0	4

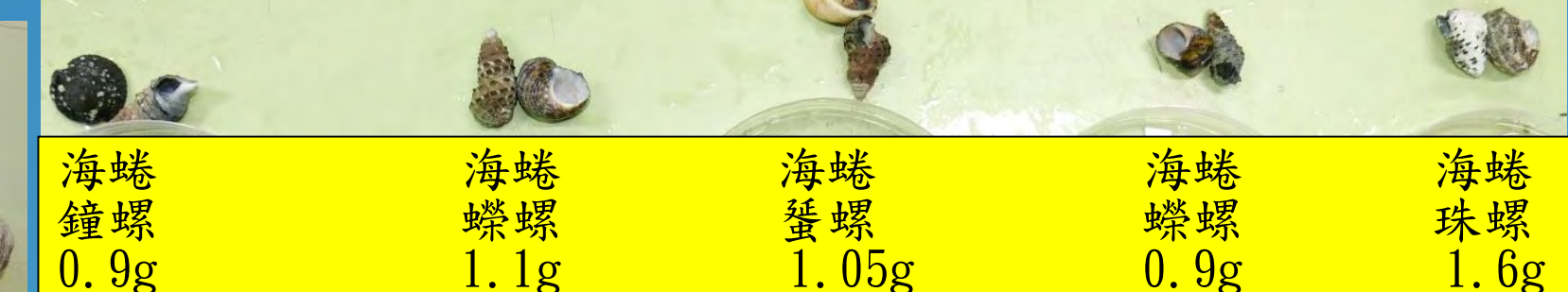
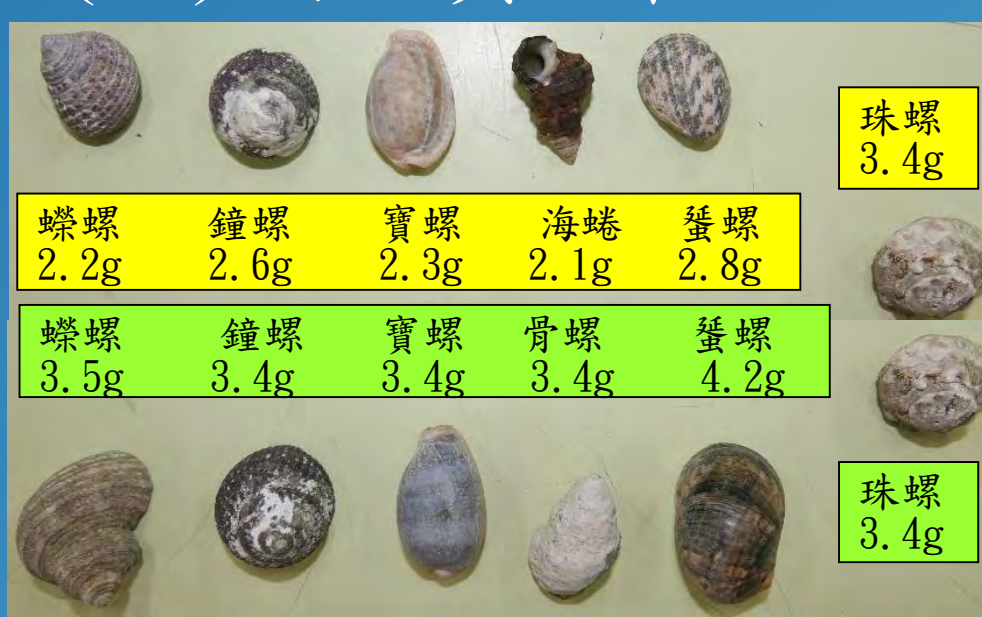
3. 小型個體，加入破損海蜷(最終結果)：(5組)

	鐘螺	珠螺	蝾螺	蟹螺	寶螺	好海蜷	破海蜷
數量(隻)	0	0	0	0	0	5	0

(三) 發現與討論：中大體型的綠螯，大多會選擇殼口大的珠螺、鐘螺，小體型的都會住進海蜷殼。

研究二-2綠色細螯寄居蟹”選殼”相關研究：2. 螺殼重量

(一) 方法與結果：



	鐘螺	珠螺	蝾螺	蟹螺	寶螺	骨螺
數量(隻)	1	5	2	0	0	2

1. 中大型

	鐘螺	珠螺	蝾螺	蟹螺	海蜷
數量(隻)	1	0	1	0	7

2. 小型個體

(三) 發現與討論：1. 重量確實是牠們選殼的考量因素之一，公的寄居蟹原本以珠螺、鐘螺為主，但當重量相近時，選蝾螺、骨螺的數量也增加了，也就是重量接近時，牠們的選擇就變多了，不見得非要珠螺不可，體型小的母蟹也有像類似的狀況，但多數還是以海蜷類為主。

研究二-3綠色細螯寄居蟹”選殼”相關研究：3. 螺殼完整性

(一) 方法與結果：

方法	1好殼&破殼(等大)	2好殼(小)&破殼(大)	3好殼(小)&破殼(大)	4好殼&破殼(等大)
實驗前	裸蟹	在好殼(小)	在破殼(大)	在破殼(等大)
一天後	好殼(3隻)	換破殼(3隻)	在破殼(3隻)	換好殼(3隻)

★那殼的破損位置是否也會造成選殼的影響呢？



最終結果：三種都有寄居蟹寄居，但過程中有從殼口破換到殼邊破的情況，推測可能是因殼口破會縮短殼長，寄居蟹較容易暴露出來。

(三) 發現與討論：殼的好壞對寄居蟹是有影響的，但當空間擁擠時，牠們寧願住破的大殼，空間充裕與否比殼破不破更為重要。

研究二-4綠色細螯寄居蟹”選殼”相關研究：4. 螺殼大小

(一) 方法：



(二) 結果：兩天後的最後選擇(12組)

Ps. 寄居蟹原居住螺殼在口徑：1.0cm以下一小；1.0-1.5cm一中；1.5cm以上一大

寄居蟹(數量)	較小	中等	較大
螺殼1(最小)	0	0	0
螺殼2	1	0	0
螺殼3	3	3	0
螺殼4	0	3	0
螺殼5(最大)	0	0	2

(三) 發現與討論：在兩天錄影中，都會有檢查其它殼或甚至換殼的狀況，但兩天之後，寄居蟹最後寄居的螺殼是比較偏向適中且寬裕空間的螺殼。

★如果大的住大殼，小的住小殼，那當環境中出現一空殼時，是否寄居蟹群會開始產生一連串換殼動作呢？(空屋鏈)

(一) 方法：挑選15隻大小不一的寄居蟹，放入一個稍大的空殼，錄影觀察並記錄牠們檢查或換殼狀況。

天數	小檢查大	換成大殼	大檢查小	更換成小殼
第一天	3	0	26	0
第二天	26	3	3	0
第三天	10	2	3	1
第四天	9	5	1	1
第五天	3	2	1	0
合計	51	12	34	2

(三) 發現與討論：當碰到較大空殼時，檢查後會有比較高的機率換殼，推測當野外有新的空殼出現時，這些聚集的寄居蟹可以有一連串換屋的行為出現。

★殼戰實驗動機：[47屆全國科展國中生物，沒殼怎麼辦？猶豫寄居蟹(Pagurus dubius)換殼策略之研究]提到野外空殼數多時，寄居蟹換殼次數也會比較多，但經過我們多次在潮間帶調查結果發現，綠色細螯寄居蟹出現區域，其實空殼情況非常低，如果是這樣，那寄居蟹想換殼，勢必要去搶其他寄居蟹的殼，”殼戰”應該是很重要的換殼模式，而這也是其他報告比較少提及的，因此我們決定展開關於殼戰的一系列相關實驗。

研究三-1綠色細螯寄居蟹”殼戰”相關研究：1. 不同螺殼

(一) 方法1與結果：平和而無任何殼戰，難道他們不會殼戰？(二) 方法2與結果：縮小範圍進行21組



意外發現的契機…



殼種	檢查對方次數	被檢查次數	攻擊對方次數	被攻擊次數	被換殼數
珠螺	9	6	1	0	0
鐘螺	3	5	0	0	0
蝾螺	7	9	1	3	1
骨螺	2	2	0	0	0
蟹螺	1	0	1	0	0

(三) 發現與討論：1. 縮小活動範圍確實增加互相檢查的機率。2. 螺殼是否關係到牠們殼戰，或許有，但應該不是最主要的原因。

3. 當兩隻綠色細螯寄居蟹發生殼戰時，大致上會有九個過程：



研究三-2、綠色細螯寄居蟹”殼戰”相關研究：2. 寄居蟹大小不同

(一) 方法：1. 將寄居蟹趕出螺殼挑選兩隻大小不同的寄居蟹，讓牠們分別住進大小接近且空間都充裕的同種螺殼，配對完進行殼戰實驗，錄影一天觀察。



(二) 結果：(6組，但1組無檢查行為)

行為	大檢查小	小檢查大	大攻擊小	小攻擊大
數量(組)	4	1	0	0

(三) 發現與討論：1. 大部分是大體型的去檢查小體型，且其中有一組還發生兩次大攻擊小的情況，不過並沒有換殼。可見大小體型會是一個發動攻擊的重要因素，但是否換殼，可能還要考慮其他因素(如殼空間大小)。

研究三-3、綠色細螯寄居蟹”殼戰”相關研究：3. 空間大小不同

(一) 方法：挑選大小相近的兩隻，讓牠們分別進到大小不同的同種螺殼，使一隻空間擁擠，另一隻空間適中或充裕，配對殼戰實驗，錄影觀察一天。



	檢查對方次數	檢查率	攻擊對方次數	被換殼數	備註
充裕	1次	12.50%	0次	0	
擁擠	3次	37.50%	1次	0	對方有反擊

(三) 發現與討論：在8次的配對實驗中，住在擁擠殼內的綠色細螯寄居蟹的確有比較高的比例會去檢查另一個殼(37.5%)，顯然螺殼是否能讓他們完全躲藏，對牠們來說是有影響的。

研究三-4、綠色細螯寄居蟹”殼戰”相關研究：4. 寄居蟹數量增加

樣本(組)	檢查(組)	檢查率	殼戰(組)	殼戰率	換殼(組)	換殼率
兩隻	21	62%	3	23%	1	33%
三隻	15	13%	2	100%	1	50%

(二) 發現與討論：1. 並沒有因此增加互相檢查的比率(62%: 13%)，即便增加彼此碰面的機率，但互相檢查比例並沒有提高。

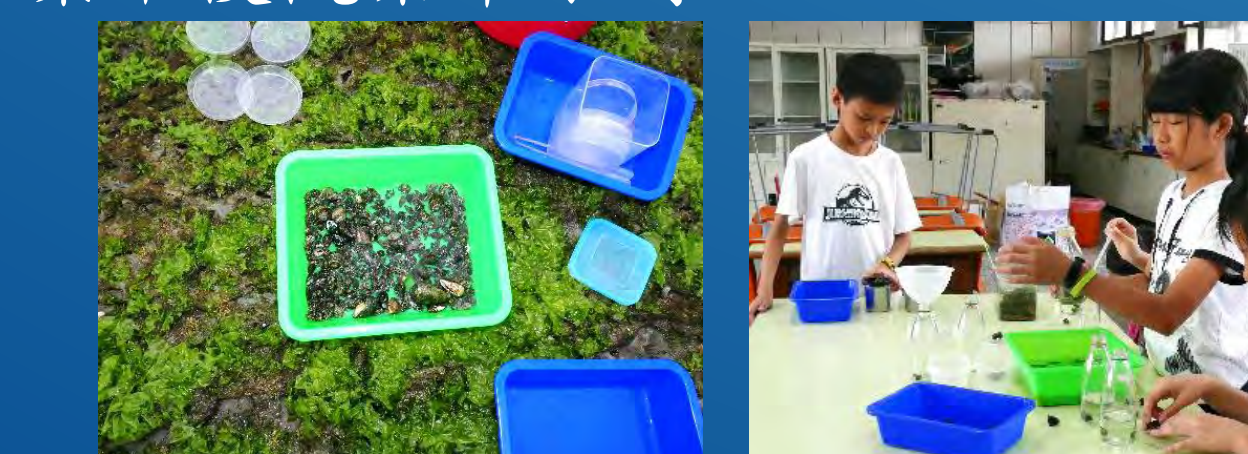
我們認為寄居蟹想換殼應該是本身需求，對於沒有換殼需求的寄居蟹，即便聚集數量多，也不見得因此發生殼戰。

(一) 方法2：野外採集250隻綠色細螯，集中後觀察半小時。

★野外族群是否處於想換殼狀態呢？

在我們調查的188的樣本中，我們發現在野外，綠色細螯主要是處於”1完全看不到蟹”跟”2見到部分蟹與步足”，這代表牠們能存活，殼適性是非常重要的，至於要到甚麼狀態會迫使牠們想換殼，我們覺得這應該是”相較”的關係，當牠們由2接近3時，遇到有更好的殼應該就會想更換，當然從數據看起來，多數是不急於換殼的，所以採集回來會發生殼戰的機率自然也就不高。(參考施習德教授在1991年做的”殼適性”)

寄居蟹縮入殼狀態	1完全看不到蟹	2見到部分蟹與步足	3蟹表面幾乎到殼口	4蟹跟步足突出殼口
數量(隻)	65	122	1	0
比例	35%	65%	0.05%	0%



※利用手繪圖呈現”三隻寄居蟹因強弱關係，而產生的微妙殼戰行為”。



這麼精彩的殼戰，我們得到幾個要點：(1)三者強弱是A>B>C；(2)牠們之間沒有合作關係，只考慮自己能否獲得殼；(3)被趕出殼者不會離開，仍會在一旁等待空殼；(4)一旦強弱確定，弱者絕對不會主動找強者換殼。

研究三-5、綠色細螯寄居蟹”殼戰”相關研究：5. 裸蟹與有殼者之間

(一)方法與結果：

實驗組數(組)	裸蟹檢查(組)	裸蟹被檢查(組)	裸蟹攻擊(組)	換殼(組)	其他(躲避)
11	10	0	1	0	1

(二)發現與討論：裸蟹有很高比例會去檢查有殼者，但體型接近，雖然有檢查行為，但攻擊的只有1組，且沒有成功，這告訴我們沒有螺殼情況下，要想發動攻擊其實並不容易。

研究三-6、綠色細螯寄居蟹”殼戰”相關研究：6. 不同種寄居蟹

(一)方法：採集與綠色細螯寄居蟹棲息區域相近的其它種類寄居蟹，包含光掌硬指寄居蟹、潛行細螯寄居蟹、矮小細螯寄居蟹及猶豫寄居蟹等進行殼戰配對

種類(47組)	檢查綠螯	被綠螯檢查	攻擊綠螯(換殼)	被綠螯攻擊
光掌(40)	27	6	6(2)	0
矮小(3)	0	0	0	0
猶豫(3)	1	0	0	0

※綠螯體型較大情況

種類(10組)	檢查綠螯	被綠螯檢查	攻擊綠螯(換殼)	被綠螯攻擊
光掌(8)	4	0	1(0)	0

※裸蟹光掌硬指VS綠色細螯有殼

種類(5組)	檢查綠螯	被綠螯檢查	攻擊綠螯(換殼)	被綠螯攻擊
光掌(裸)	5	0	3(2)	0

(三)發現與討論：綠螯很少主動攻擊，因此在退潮時可以跟矮小或猶豫寄居蟹群聚在一起，而光掌硬指則較為強勢，即使對上較大的綠螯，光掌仍較為主動。

研究三-7、綠色細螯寄居蟹”殼戰”相關研究：7. 商議性模式換殼

(一)方法與結果：

種類(8組)	檢查對方	攻擊對方	換殼	備註
大寄居蟹(小殼)	8	8	7	一組死亡
小寄居蟹(大殼)	0	0	7(被迫)	

(三)發現與討論：在雙方獲利下，換殼機率非常高。(2005 Hsi-Te Shih)

研究四-1、利用3D列印技術，更深入了解寄居蟹與殼的關係：1. 殼形的改善及應用

※動機：寄居蟹正常情況都是躲在殼內，到底在殼內都是在做甚麼？

(一)方法：利用3D列印軟體與硬體設施進行修改，並選用較接近透明顏色的PLA線材。

螺形	牛角型一	牛角型二	鐘螺型一	鐘螺型二	珠螺型
寄居狀況	可寄居，透明度高，但不易爬	幾乎不寄居	可寄居，但不久	可寄居，飛行怪異	可寄居，長達三個月
尚可改進	無法勾住	浮力太大	腹部沒有可以支撐處	螺殼比例較大	較為服貼，可以勾住

(三)發現與討論：1. 人工殼可以被接受但無法取代天然殼。2. 殼內行為：(1)護卵的母蟹，在殼內不斷撥動著卵堆。(2)牠們用步足檢查殼內部，並用腹部探測殼內。

研究四-2、利用3D列印技術，更深入了解寄居蟹與殼的關係：2. 左右旋試驗

(一)方法與結果：

行為	檢查左旋	檢查右旋	進右旋	進左旋
數量	5	5	5	1

螺殼	左旋寄居蟹	右旋寄居蟹
爬行時間	1'30"/天	5小時/天

(二)發現與討論：1. 實驗過程中，沒有殼的寄居蟹兩種殼都會去進行檢查，但絕大多數都是進到右旋殼，這應該與牠們往右旋的腹部形態有關，可以很契合的捲縮在殼內。

研究四-3、利用3D列印技術，更深入了解寄居蟹與殼的關係：3. 加重螺殼

(一)方法與結果：

人工殼重量	樣本數	檢查加重	檢查不加重	進加重	進不加重	過程中有再進去入不加重
15cm (2.2g)	3	10	3	3	0	2
20cm (3.2g)	3	3	0	3	0	0
30cm (4.0g)	3	4	3	3	0	3
加總	9	17	6	9	0	5

(二)發現與討論：無加重的人工殼，寄居蟹最後都會選擇加重殼，但並非有重量就好，過重或過輕都會讓牠們想再換殼。

研究四-4、利用3D列印技術，更深入了解寄居蟹與殼的關係：4. 人工殼與天然殼選殼

狀況一：破損天然殼VS完好人工殼(重量相似)

螺殼	檢查(組)	入殼(組)	更換(組)	4小時(組)
破天然殼	8	7	0	8
好人工殼	8	1	1	0

狀況二：擁擠天然殼VS充裕人工殼

螺殼	檢查	檢查後進入	更換	4小時
擁擠天然殼	16	14	0	14
充裕人工殼	16	2(體型大)	0	2

(二)發現與討論：即便天然殼條件較差，但因螺殼厚度、觸感、內部型態等種種因素，人工殼要取但天然殼還是很難的。

研究四-5、利用3D列印技術，更深入了解寄居蟹與殼的關係：5. 人工殼與天然殼殼戰

(一)方法與結果：

檢查對方	攻擊對方	換殼/攻擊	換殼成功率	說明
天然殼	5	2/2	100%	換殼後又換回原本天然殼
人工殼	11	5/3/5	60%	換成天然殼便不再更換

(三)發現與討論：在相似大小下，人工殼檢查天然殼的比例明顯高很多(11:5)，攻擊比例也較高(5:2)，由此可見，當有天然殼時，牠們還是比較喜歡天然殼。

伍、結論：

- 外觀上無相似種類，公母相似，必須透過生殖孔位置判別，母蟹比例超過八成。
- 一整年都可以見到，退潮主要躲藏在石塊下，二三月開始會在靠海低潮帶聚集。
- 母蟹會把卵黏在腹部上抱卵，約一個月孵化。
- 繁殖期三~九月，夏季時抱卵比例可以超過八成。
- 可寄住的殼種很多，小的多以海蟪類為主，中大型的公蟹則以珠螺、鐘螺為主。
- 選殼時，會考慮：1. 喜好的螺殼；2. 螺殼的重量；3. 螺殼的完整性；4. 螺殼的大小。
- 發生殼戰主要有幾個條件同時存在：1. 處在容易碰到彼此的環境；2. 本身殼內空間不足或有破損；3. 體型比對方大；4. 對方的殼是自己喜歡的。
- 殼戰發生會有固定模式：檢查、口對口、撞擊、出殼(被攻擊者)、再檢查、換殼、檢查原殼、被攻擊者進剩下的殼。
- 殼戰發生在一開始碰面便發生，結束後或一開始沒發生，接下來也不會再發生。
- 在雙方都獲利情況下，殼戰機率高，且殼戰後的換殼機率也很高。
- 透過3D人工殼的運用，可協助進行觀察寄居蟹在殼內行為，但遇到天然殼，有蠻高機率會與天然殼發生殼戰。
- 3D列印技術已可做出接近天然殼型態，但還是無法取代天然殼，因此不宜將海邊螺殼帶走

陸、參考資料及其他

- 李信微，1969。台灣異尾甲殼類寄居蟹之利用。中研院動物所集刊 8(2): 39-57。(英文)
- 施習德，1990。墾丁地區寄居蟹殼資源之利用。中山大學海洋生物研究所碩士論文。
- 施習德，1991。福人的房事—墾丁地區寄居蟹殼資源之利用。動物園雜誌11(2): 4-14。
- 施習德、李信微，1997。兩種臺灣珊瑚礁之硬殼寄居蟹類，瓦氏硬殼寄居蟹和塞氏硬殼寄居蟹。台灣省立博物館半年刊 50(1): 21-31。(英文)
- 施習德、游祥平，1995。三種台灣新紀錄之硬殼寄居蟹類(十足目：異尾目：活額寄居蟹科)。動物研究學刊 34(4): 241-247。(英文)
- 游祥平，1987。台灣產之珊瑚寄居蟹類。台灣省立博物館半年刊 40(1): 9-14。(英文)
- 游祥平、符菊永，1991。台灣的寄居蟹。南天書局，台北。
- 陳育賢，2001。海岸生物(二)(三)—台灣潮間帶生物700種(二)。沒假出版社有限公司。
- 賴景陽，2008。台灣貝類圖鑑。貓頭鷹出版社。
- 陳揚文，2011。一個潮池的秘密。行人文化實驗室。
- 許曉雯等人，2007年。沒殼怎麼辦？猶豫寄居蟹(Clibanarius virescens)換殼策略之研究。中華民國第四十七屆中組生物科科展及地球科學科科展。
- 馮柏諤等人，2013年。蟹蟹光臨—皺紋陸寄居蟹(Coenobita rugosus)探究。中華民國第五十三屆國小組生物科科展。
- 陳輝榕等人，2014年。3D列印殼殼不成家呢？—南部地區陸寄居蟹棲地與寄居殼研究。中華民國第四十四屆中組生物科科展。
- Terano A. 1913. A catalogue of hermit-crabs found in Japan (Paguridea excluding Lithodidae), with descriptions of four new species. Annotationes Zoologicae Japonenses 8(2): 355-391.