

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國小組 生物科

第三名

080311

以靜「製」「洞」--探討梅氏長海膽

*Echinometra mathaei* 之生態及其與石洞的關係

學校名稱：基隆市中正區八斗國民小學

作者： 小六 李奕霑 小六 曹祐綸 小六 郭子瑤 小六 陳珮羽	指導老師： 陳昇祿 林育任
---	---------------------

關鍵詞：梅氏長海膽、石洞、潮間帶

## 摘要

梅氏長海膽屬於棘皮動物，身上布滿短且較粗棘刺，居住在潮間帶偏低潮帶的石洞內，整年都能見到，數量穩定。

牠們屬於被動防禦生物，被碰觸到時會將棘刺往碰觸地方集中，側面棘刺會頂住石洞洞壁，使自己牢牢固定在洞內，難以被撼動。

透過3D 石洞模型實驗，在可選擇情況下，牠們會待在大小適中石洞，且深度必須可以掩藏自己，如果石洞有內凹或有遮蔽，都可以讓海膽待得更久，而狹長型石洞則是牠們最喜愛的石洞。

透過野外長期調查，梅氏長海膽確實會慢慢經營石洞，若不得已換了洞，還可以利用棘刺長短來符合石洞大小，牠們也可以長達數個月甚至數年不出洞，只要時間夠久，最終都會將石洞經營成狹長形，而這也就是潮間帶主要的海膽石洞型態。

## 壹、研究動機

一開始其實對潮間帶生物非常陌生，但內心又感到很好奇，想要更了解潮間帶生物。第一次接觸海膽，是老師帶我們到潮間帶觀察時，無意間發現，也是我們第一次離海膽這麼近，經過那次與海膽的接觸，我們發現全身都是刺的海膽不但不會主動攻擊人，還非常膽怯，而且這些海膽幾乎都躲在洞內，這讓我們感到非常好奇，因此有了接下來一系列的野外調查與實驗。

## 貳、研究目的

- (一) 想了解梅氏長海膽之基本生物生態，包含：1. 外觀特徵；2. 環境及其它種類；3. 族群變化；4. 多變的型態外觀。
- (二) 想了解梅氏長海膽對碰觸及光的反應行為，包含：1. 碰觸棘刺；2. 不同棘刺位置；3. 同時碰處兩根棘刺；4 碰觸管足；5. 海膽碰觸海膽；6. 海膽對光的反應。
- (三) 想了解梅氏長海膽對石洞的選擇，利用 3D 列印技術進行，包含：1. 石洞大小；2. 石洞形狀；3. 石洞深淺；4. 石洞內凹；5. 石洞遮蔽；6. 狹長石洞。
- (四) 想了解在野外，梅氏長海膽與石洞的關係，包含：1. 是否挖洞？2. 是否換洞？3. 是否出洞？4. 石洞經營。

## 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（縮時攝影機、相機）
- 三、體長實驗組(雷射游標尺)
- 四、野外調查採集(方框、長皮尺、鐵鎚、錐子)
- 五、野外石洞大小(透明方框模組)
- 六、棘刺再生測量(自製細尺)
- 七、3D 石洞模組(3D 印表機、小方盒)

- ◎海膽外觀特徵
- ◎海膽種類與環境
- ◎族群變化
- ◎多變型態與環境

生物生態

- ◎碰觸棘刺
- ◎不同棘刺位置
- ◎碰觸兩根棘刺
- ◎碰觸管足
- ◎海膽互碰
- ◎對光的反應

反應行為

## 以靜「製」「洞」

石洞選擇

- ◎3D 石洞—大小
- ◎3D 石洞—形狀
- ◎3D 石洞—深淺
- ◎3D 石洞—內凹
- ◎3D 石洞—遮蔽
- ◎3D 石洞—狹長

海膽與洞

- ◎是否挖洞
- ◎是否換洞
- ◎是否出洞
- ◎石洞經營

### ※ 研究實驗概念圖

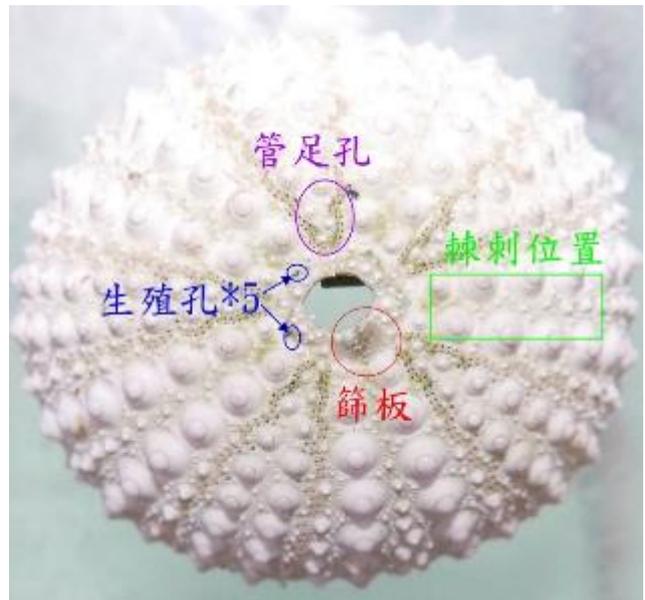
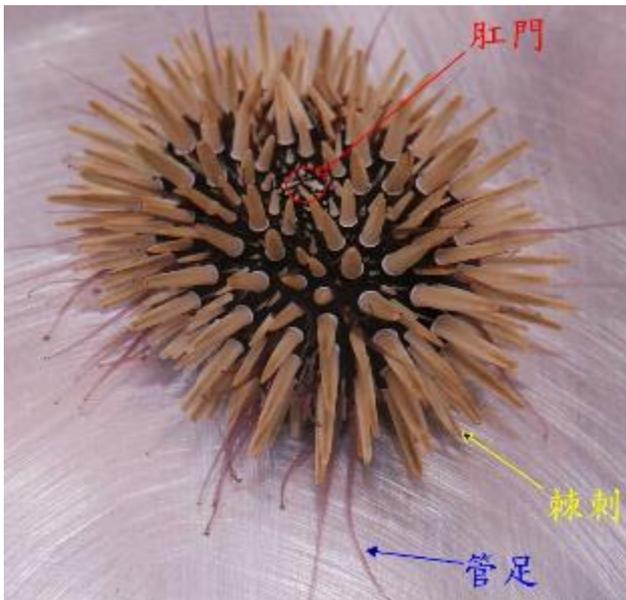
肆、研究過程、方法、研究結果及討論

研究一-1、梅氏長海膽基本外觀。

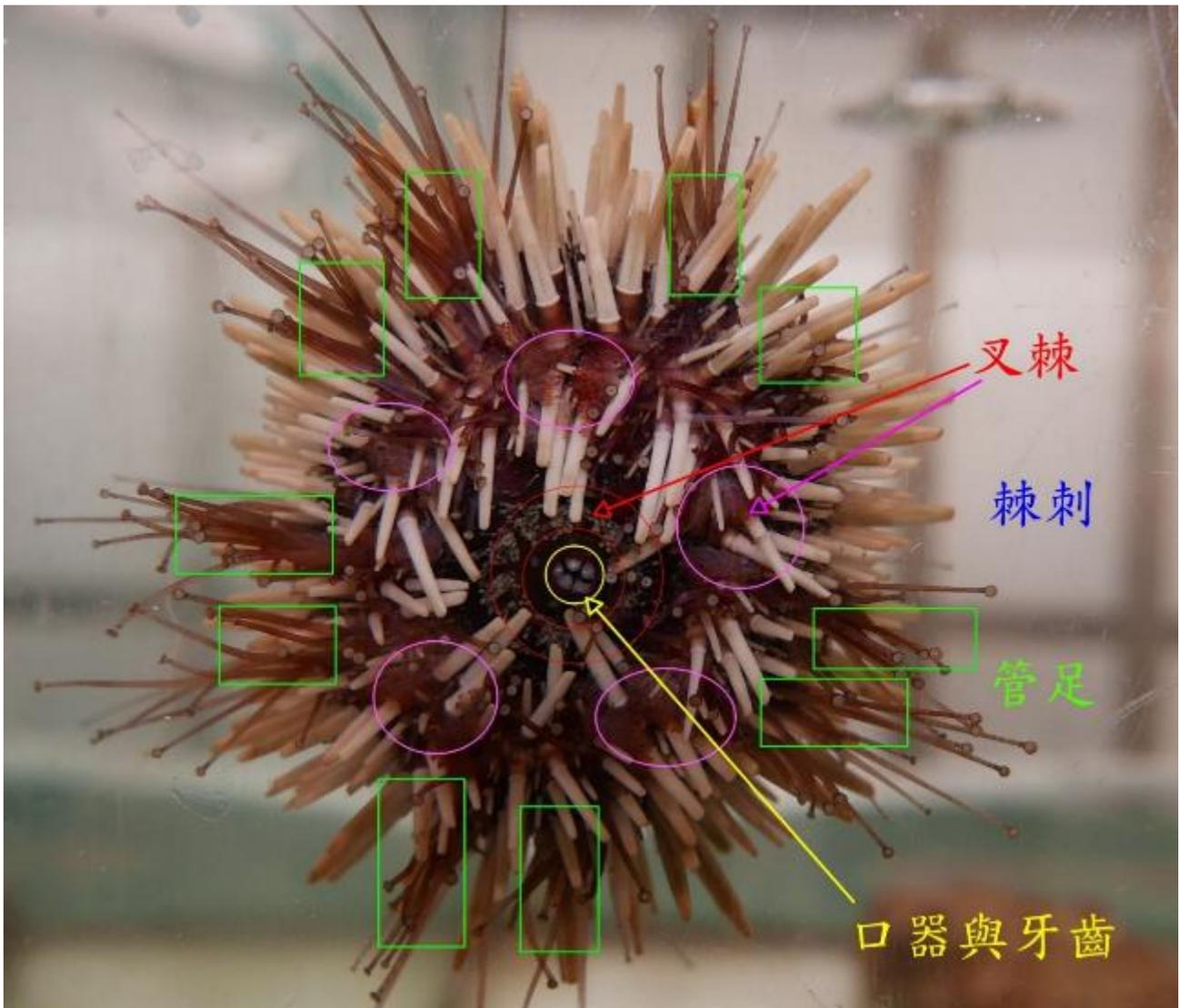
(一) 方法：1. 野外踏查、記錄--拍照後，回實驗室透過圖片比對。

2. 圖鑑比對(李坤瑄 1994)。

(二) 結果：



◎梅氏長海膽殼背面



◎梅氏長海膽腹面構造

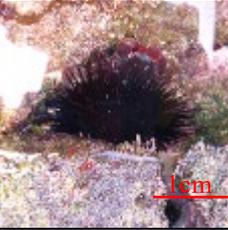
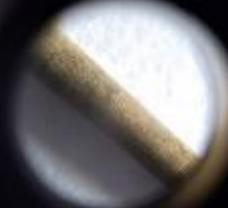
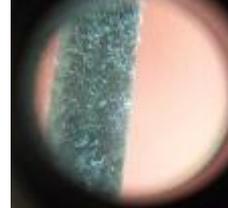
(三) 發現與討論：1.成年梅氏長海膽的外殼呈五角放射狀，跟一般左右對稱的生物很不一樣；體殼上布滿棘刺，乍看好像凌亂，但其實是很有規律的，一排一排從殼頂到底部，棘刺不可收縮，但可以擺動；棘刺的排與排間還會有更小的孔，為海膽管足伸出的位置，管足可伸縮，末端膨大，有些許吸力，主要在探測周圍環境；腹面中央是嘴巴，裡面有五顆牙齒；背面中央是肛門，常會有顆粒狀排泄物；管足附近會有更細小的叉棘，可幫助清理身上雜物。

#### 研究一-2、海膽種類與環境

(一)動機：野外調查時，我們也發現一些不同種類海膽，到底有多少種？棲息在哪兒呢？

(二)方法：1. 透過每月不定期野外調察、圖鑑比對及文獻上資料蒐集來進行了解。

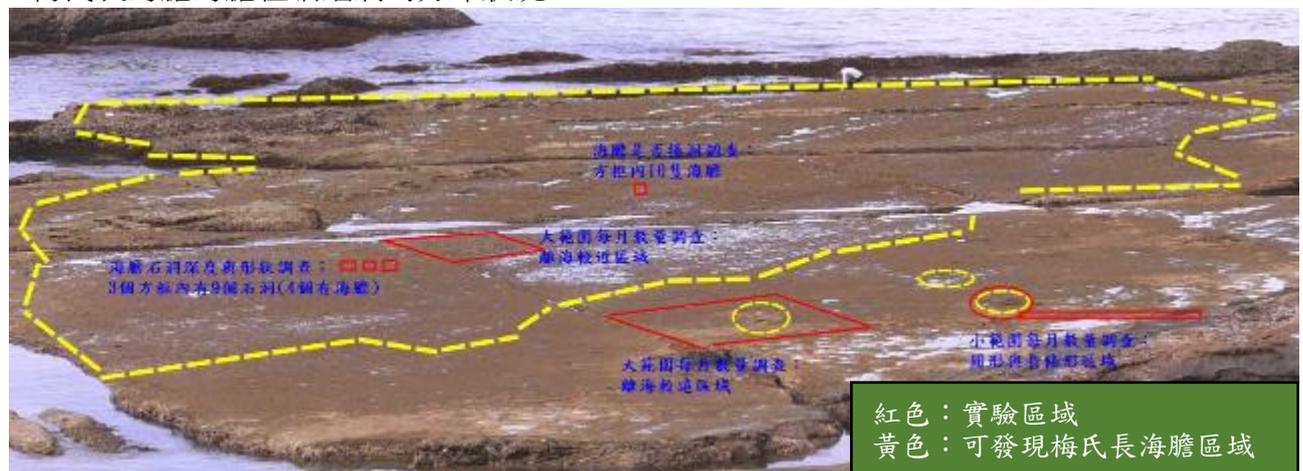
(三)結果：1.穩定可發現有以下四種：

	梅氏長海膽 <i>Echinometra mathaei</i>	紫海膽 <i>Anthodiaris crassispinia</i>	口鰓海膽 <i>Stomopneustes variolaris</i>	刺冠海膽 <i>Diadema setosum</i>
外形				
空殼				
棘刺— 顯微 (60倍)				
是否穴居	穴居	穴居	穴居	潮池
發現時的 環境	中低潮帶海蝕平 台、岩石裂縫等 洞穴中	低潮帶靠海岩石洞 穴中	低潮帶海蝕平 台、岩石裂縫等 洞穴中	低潮帶、較深的 潮池內

2.數量少，不容易見到的有以下四種：

	藍環冠海膽 <i>Diadema savignyi</i>	冠刺棘海膽 <i>Echinothrix diadema</i>	環刺棘海膽 <i>Echinothrix calamaris</i>	白棘三列海膽 <i>Tripneustes gratilla</i>
外形				
是否穴居	岩石裂縫	石縫或石洞	石縫或石洞	石縫或潮池
環境	潮池	海蝕平台洞穴	海蝕平台洞穴	潮池

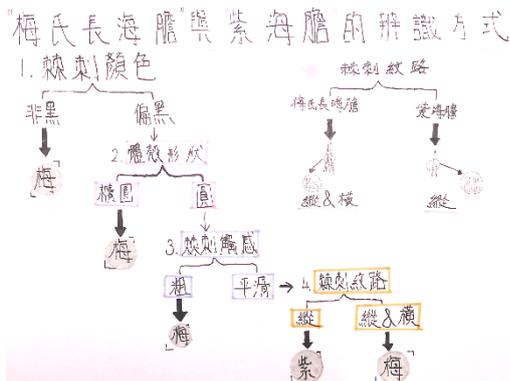
3.梅氏長海膽海膽在蝙蝠洞的分布狀況：



(四)討論：

1. 在東北角蝙蝠洞潮間帶，發現的種類以穴居型的梅氏長海膽數量最多，其次是較靠海的口鰓海膽，以及岩石裂縫或潮池內，非穴居的刺冠海膽，海蝕平台靠海處偶而可以見到紫海膽及數量極少的藍環冠海膽、冠刺棘海膽、環刺棘海膽以及白棘三列海膽。
2. 經過將近兩年的調查(108/9開始)，我們發現在整個海蝕平台，梅氏長海膽主要分布與海接觸的海溝兩側平台，離海溝越遠，數量越少，而離海稍遠的平台如果有突起凹洞，也有機會發現牠們，至於數量次多的口鰓海膽，則分布較靠海，或是海溝、岩石裂縫邊緣的石洞內；紫海膽在潮間帶其實數量並不多，也是在靠海的石洞內，資料上說明紫海膽是白棘三列海膽之外，次多被食用的海膽，這或許也是牠們數量不多的原因之一。

☆種類辨識檢索：在我們一年多的觀察中，有將近半年多的時間對梅氏長海膽與紫海膽的辨識產生極大困惑，按照圖鑑上(李坤瑄 陳章波)講的，紫海膽與口鰓海膽相似，但經過我們觀察，口鰓棘刺極為粗糙且有綠色光澤，與紫海膽的細黑棘刺差異極大，要分辨並不難，反倒是外觀變異極大的梅氏長海膽，當牠棘刺偏黑褐色、細長、又不粗糙時，非常容易誤認為是紫海膽，我們在實驗前半年，一直被這兩個種類的辨識困擾著，後來透過多種方式進行辨識與釐清，總算可以比較明確的分辨，也製作分辨檢索表提供有興趣的人進行參考。



◎紫海膽與梅氏長海膽分辨檢索表 ◎棘刺黑褐、體殼有點圓，但其實都是梅氏長海膽

研究一-3、梅氏長海膽每月族群變化。

(一)目的：想了解梅氏長海膽在潮間帶長時間的棲息狀況？以及劃歸保育區的潮間帶，是否對此海膽產生作用？

二 方法：1.先在潮間帶偏中潮帶好觀察區域劃定觀察範圍(108/12/4開始)，每個月不定期清點數量。2.分別在離海較近與較遠區域各選定一個3M\*3M 大範圍區域進行長期調查(109/6/4開始)。3.在潮境潮間帶(保育區)也選定低潮帶3M\*3M 區域進行調查(109/8開始)，進行比較。



◎初期：320cm 長裂縫(離海遠) ◎初期：圓形裂縫(離海遠)◎利用自製瓦楞板標示海膽位置



◎大範圍3M\*3M 區域(離海近)◎大範圍3M\*3M 區域(離海遠) ◎清點與確認區域內海膽數量



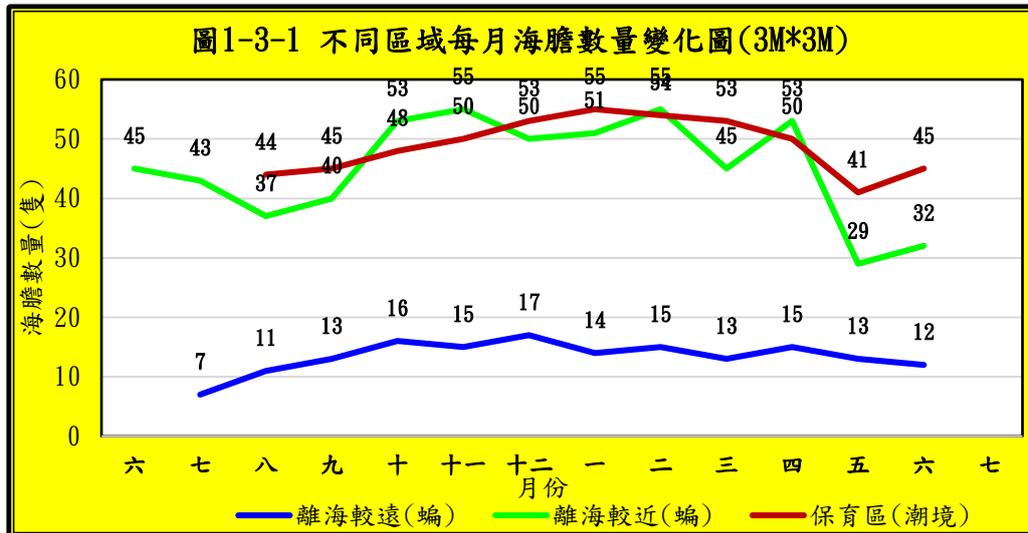
◎蝙蝠洞潮間帶海膽長期調查實驗區域

◎3M\*3M 區域(潮境保育區)

(三)結果：表1-3-1 長形與圓形裂縫海膽數量(初期選定，離海較遠)

月份	108/12	109/1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	110/1	2	3	4	5	6	7
長形裂縫	3	3	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
圓形裂縫	10	12	9	1	4	3	1	1	2	3	4	6	6	6	6	5	5	5	5	5

圖1-3-1 不同區域每月海膽數量變化圖(3M\*3M)(蝙蝠洞:非保育區；潮境:保育區)



(四)討論：

- 依表1-3-1可以確定的是，梅氏長海膽在離海較遠的平台僅有少數躲藏在岩石裂縫，應該是夏季過於炎熱，退潮時，平台上很容易乾又熱，躲在裂縫內比較不會直接被曝曬，裡面也還有溫度不高的水分，除了圓形裂縫外，附近很難找到海膽蹤跡。
- 在設定的大範圍調查中(圖1-3-1 3M\*3M)，離海較遠區域也是在有突起、凹陷區域的石洞才有海膽蹤跡，由此可見，梅氏長海膽是可以在離海稍遠的區域棲息的，只是這些區域的

岩石都有明顯凹陷與石洞，可以或多或少擋住陽光。



◎離海遠的(3M\*3M)只有特定區域(藍色)才会有海膽◎靠海區域洞穴內大部分都有海膽棲息  
 3.靠海的區域(圖1-3-1綠色)，整年都有一定數量的海膽棲息，不過在夏季，數量有約略減少的趨勢。今年五月數量突然下降，也可能與遊客玩耍有關，當天很多遊客，且有人用鐵器挖出不少海膽。



◎夏季退潮在下午，遊客多 ◎遊客用鉤子採集海膽 ◎潮境區域夏季覆蓋馬尾藻

4.保育區潮境潮間帶低潮帶區域的曲線變化可以看出甚麼呢(紅色線)? 首先保育區不可能有採集行為，但在接近夏季時，數量還是有略微減少，代表”季節”變化確實造成梅氏長海膽數量改變，夏季的死亡率比較高，這跟夏季時大退潮在下午應該有一定關係。但長期看下來，保育區與非保育區的數量，並沒有明顯差異(特別是在冬季)，或許是梅氏長海膽並非主要食用對象，因此即便蝙蝠洞沒有被保育，數量上也沒有大量減少現象(除非部分遊客採集)，加上他們都住在洞穴內，遊客對牠們的影響也比較小；另外一點則是，接近夏季時，潮境的實驗區域長滿馬尾藻(蝙蝠洞要更靠海才有)，幾乎把海膽洞都淹沒，是否因此讓他們比較不會被曬，也是值得關注的。

#### 研究一-4、梅氏長海膽多變的外觀

★動機：文獻上提到梅氏長海膽具有不同的外觀型態(李坤瑄。1994)，在我們一年多來的野外調查裡，也確實發現同樣是梅氏長海膽，但在外觀顏色上卻有很大的差異性，這些外觀差異是否是特例？還是常態呢？



◎棘刺黑褐色型 ◎棘刺淺褐色型 ◎棘刺粉色型 ◎棘刺綠色型 ◎棘刺白化型

(一)目的1：想知道不同顏色棘刺的梅氏長海膽在潮間帶的比例？

(二)方法1：利用大範圍區域(3M\*3M)清點海膽數量的同時，分別記錄不同顏色的梅氏長海

膽數量。

(三)結果1：表1-4-1 不同顏色梅氏長海膽數量與比例

棘刺顏色	褐	綠	粉
比例(平均數量)	77%(26隻)	17%(6隻)	5%(2隻)

(四)討論1：潮間帶中的梅氏長海膽以褐色棘刺數量最多，其次是綠色，粉色及其他顏色則較少，因為是每月調查的平均，即使有些型態數量不多，但其實每月也都會見到，因此這應該不是特例，至於牠們會不會是不同種類？這可能需要更嚴謹的實驗來判別。

※不同顏色的棘刺，在外表結構上是否會有差異呢？

(五)目的2：想知道不同顏色棘刺的外表結構是否有差異？

(六)方法2：利用野外調查時，分別採集不同顏色梅氏長海膽的棘刺1-2根，回實驗室以顯微鏡觀察，並拍照比對。

(七)結果2：

	◎棘刺黑褐色型	◎棘刺淺褐色型	◎棘刺粉色型	◎棘刺綠色型	◎棘刺白化型
棘刺					
棘刺顯微					

(八)討論2：透過顯微鏡觀察這些不同顏色的棘刺，表面紋路雖有些許差異，但基本上都是縱向條紋為主軸，而縱向條紋間會有密度很高的橫向隔板，整個放大來看，好像是一個一個的小窗格，也很像吃完的玉蜀黍，除了顏色之外，並沒有特別不同的結構，再加上牠們在野外的行為也非常相似，都會以石洞為棲所，因此，就外觀與行為來說，似乎還是同一個種類，而棘刺顏色可能就只是個體間的差異。

※海蝕平台上分布不同類型藻類，海膽棘刺的顏色會不會跟牠們棲息周圍藻類顏色有關呢？

(九)目的3：想知道不同棘刺顏色的梅氏長海膽是否會特定棲息於相似藻類顏色的石洞？

(十)方法3：在野外，分別記下海膽棘刺顏色及其周圍藻類顏色，若相近，則屬融合，若不同，則是與環境不融合。



◎觀察海膽與藻類顏色

◎褐色海膽與藻類

◎綠色海膽與藻類

◎紅褐色海膽與藻類



◎黑褐色海膽與褐色藻類◎綠色海膽與紅色藻類◎黑褐色海膽與紅色藻類◎黑褐色海膽與黃綠藻類



◎紅褐色藻類環境，有深褐色海膽也有黃綠色海膽(0：黑褐色海膽；0：黃綠色海膽)

(十一)結果3：表1-4-2 梅氏長海膽棘刺顏色與周圍藻類顏色關聯性

顏色與環境融合	數量	顏色與環境不融合	數量
綠色刺/綠色藻類	8	綠色刺/非綠色藻類	5
淺褐色刺/紅褐色藻類	28	褐色刺/非褐色藻類	41
粉色刺/紅色藻類	0	粉色刺/非紅色藻類	8
黑褐色刺/黑褐色藻類	0	黑褐色刺/非黑褐色藻類	35
總數(125隻)	36		89

(十二)討論3：1.從我們調查資料來看(表1-4-2)，棘刺顏色跟藻類應該沒有太大關係，雖然有些確實跟環境是蠻契合的(夏天時低潮帶海蝕平台上紅褐色藻類布滿岩石，褐色棘刺的海膽可形成不錯的保護色)，但也有些棘刺顏色跟環境藻類有很大差異，春天時，平台上都是綠藻，褐色棘刺的海膽反而變得比較明顯。

2.黑褐色棘刺的梅氏長海膽數量其實蠻多的，雖然沒有相對應顏色的藻類，但換個方向想，在洞內有陰影的情況下，洞內是黑的，或許也提供牠們理想的隱藏空間，超過一半的海膽棘刺顏色與海藻顏色不同，但洞內陰暗時，應該也不會顯得太突兀。

3.在我們一年十個月的調查中發現，其實牠們並不是太常更換石洞，也沒有特殊機制可以找到石洞，但平台上的藻類卻每年隨著季節在變換，也就是不管是綠藻或紅藻，牠們的棘刺顏色還是一樣，位置也不會做更動，並不會因周圍藻類顏色改變而去換位置。



◎春天的實驗區域藻類(綠藻為主) ◎夏、秋、冬的實驗區域藻類(紅藻為主)

### 研究二-1、梅氏長海膽的反應行為—碰觸棘刺

★ 動機：野外觀察時發現，碰到海膽棘刺時，牠們會有棘刺擺動的現象，這些擺動是否有特殊意義呢？

(一)目的：想知道海膽棘刺被碰觸時的反應行為，如何進行防禦？

(二)方法：1. 將海膽放置在淺盤裡，讓海膽穩定爬行，此時棘刺均勻挺立，管足在前進方向伸展，利用長竹籤輕輕碰觸前端棘刺，觀察各部位反應狀況。

(三)結果：表2-1-1 碰觸棘刺後的反應(10隻)

樣本 (10隻)	附近管足反應	附近棘刺反應		整體行為
	縮回	靠近	退開	
平均(根)	9.6	5.0	0	身體微縮，暫停前進

(四) 討論：1.梅氏長海膽被碰觸到棘刺時，較明顯的行為是(1)棘刺會往被碰觸的區域靠近，代表有對該位置進行防禦；(2)附近管足會縮回，管足柔軟，因此受到刺激會以縮回做反應；(3)此時海膽會有微微退縮或停止前進的行為。

2.棘刺是海膽很重要的防禦構造，因此，當被碰觸到時，明顯的會把附近的棘刺集中，這個動作可以阻止其它物體持續靠近體殼。

研究二-2、梅氏長海膽的反應行為—碰觸不同棘刺位置

★ 動機：如果很靠近體殼了，那海膽的反應行為是否會有變化？

(一)目的：想知道碰觸離海膽體殼較近與較遠棘刺位置，是否反應行為會不一樣？

(二)方法：將海膽放置在淺盤裡，等海膽棘刺均勻挺立，利用長竹籤分別輕輕碰觸棘刺頂端、側面與基部，觀察各部位反應狀況。



◎碰觸棘刺頂端

◎碰觸棘刺側面

◎碰觸棘刺基部

(三)結果：表2-2-1碰觸不同棘刺位置(12隻)

樣本12隻	碰棘刺頂端	碰棘刺側邊	碰棘刺基部
棘刺靠近數量(平均)	2.0	4.1	8.1

(四) 討論：由表2-2-1可知，碰觸棘刺時，越靠近體殼，海膽的反應會越明顯，當接近到體殼時，幾乎附近的棘刺都會往碰觸點集中，可以看出牠們可以感受不同危險程度，靠近體殼的碰觸，已經可以直接碰到體殼，因此牠們的反應也會特別明顯。

研究二-3、梅氏長海膽的反應行為—同時碰觸兩根棘刺

★ 動機：如果同時兩根碰觸不同位置的棘刺，牠們是否會分別集中防禦呢？

(一)目的：想知道同時碰觸不同棘刺，海膽是否會分別進行防禦？

(二)方法：



◎同時碰觸兩根棘刺

◎同時碰觸兩點體殼

◎碰觸前棘刺分散

◎碰觸後棘刺分別集中

(三)結果：表2-3-1同時碰觸兩根棘刺(碰棘刺與碰體殼各10次)

碰「兩根」棘刺(10次)	A點	B點	碰「兩點」體殼(10次)	A點	B點
棘刺靠近數量(平均)	3.3	3.3	棘刺靠近數量(平均)	11.5	9.4

(四)討論：1.表2-3-1可知，海膽不同的棘刺同時受刺激時，A、B 兩根附近的棘刺會有3-4根分別靠近，可以同時進行不同區域防禦，而碰觸體殼時，反應則更明顯。

研究二-4、梅氏長海膽的反應行為—碰觸管足

★動機：棘刺被碰觸會有明顯反應，那如果是管足呢，是否會有不同的反應呢？

(一)目的：想知道碰觸海膽管足時，以及刻意讓海膽管足碰觸物體時，會有甚麼反應行為？

(二)方法：1.將海膽放置在淺盤裡，等海膽棘刺均勻挺立，管足緩緩挪動時，利用長竹籤輕輕碰觸管足末端，觀察附近管足、棘刺反應，以及整體行為狀況。

2.將竹籤放在管足前進方向，等觀察管足碰到竹籤時的反應。



◎竹籤碰管足末端 ◎等管足碰觸竹籤，碰觸後繼續探索 ◎竹籤放在管足反方向

(三)結果：表2-4-1碰觸管足(10隻)

樣本10隻	管足反應		棘刺反應			整體行為
	縮回	不變	下壓	退開	無反應	
碰一根管足	10	0	0	0	10	轉向
等管足來碰	10(微縮)	0	0	0	10	棘刺碰到竹籤後，摸索轉向
管足反方向	0	10	0	0	10	無影響

(四)討論：1.實驗結果非常明顯，當直接碰觸伸出的管足時，管足幾乎都會縮回，海膽也會試著轉向離開，這也是我們後來要將海膽取出實驗時，一定要先做的，利用竹籤碰觸黏著的管足，讓牠們縮回去，這動作可避免海膽管足因被拉扯而斷裂，減少對海膽的傷害。

2.如果反過來讓海膽自己用管足碰觸物體時，雖然前幾根管足有微微縮回的動作，但接下來就不再縮回，而是持續探索，甚至連棘刺都碰到了也沒有退縮，顯然對牠們來說，這種碰觸並不會給牠們帶來威脅，也可以說明牠們確實如文獻所說的，沒有視覺構造，只能透過管足觸摸探索。

研究二-5、梅氏長海膽的反應行為—海膽碰觸海膽(生物間的碰觸)

★動機：管足主動碰觸不動的物體，海膽並不會退縮，那如果是碰觸生物(海膽碰海膽)呢？

(一)目的：想知道海膽管足碰觸其它海膽時，會有甚麼反應行為？

(二)方法：將海膽放置在淺盤裡，等海膽管足緩緩挪動時，將另一隻海膽放在牠前進的方向，觀察碰觸瞬間的行為反應。



◎尚未碰觸前，管足持續朝前方挪動      ◎碰觸到對方的管足，會有縮回動作

(三)結果：表2-5-1海膽管足碰海膽(4組，每組5次)

每組各進行5次	管足有縮回反應 (次)	棘刺有下壓反應 (次)	整體行為
黑碰褐(黑的反應)	5	5	兩隻都有退開或轉彎
黑碰褐(褐的反應)	5	5	兩隻都有退開或轉彎
褐碰黑(黑的反應)	5	5	兩隻都有退開或轉彎
褐碰黑(褐的反應)	5	5	兩隻都有退開或轉彎

(四)討論：1. 海膽間的碰觸屬於海膽前進時的管足碰觸探索，因此反應並沒有那麼激烈，但先碰觸到的管足還是會微微縮回，棘刺似乎有微微下壓的動作(每組進行5次，管足與棘刺5次都是相同反應)，由於海膽互碰，雙方都有反應，因此大部分會轉向或退開，若碰到無反應的物體、石塊，則可能爬過去。

2. 海膽的碰觸反應比較像是被動刺激反應，也就是當被碰觸時，一定會有退縮反應，如果主動去碰觸，被碰觸者有反應，這反應行為也會讓碰觸者產生退縮動作，但如果被碰觸者都不反應，那即便是碰觸生物，海膽的管足也不會有太明顯動作出現。

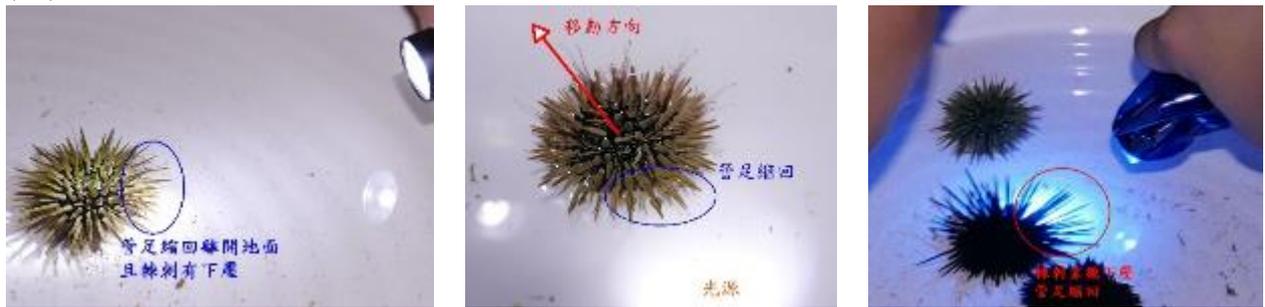
3. 海膽與其它生物間又會有何種互動行為呢？(請參閱附件二)

研究二-6、梅氏長海膽的反應行為—海膽對光線的反應行為

★ 動機：一直躲在洞穴中的海膽，是不是對光會有排斥反應呢？

(一)目的：想知道海膽對光的反應行為？以及對不同色光反應狀況？

(二)方法：等到夜晚時間，利用不同色光照射海膽，觀察海膽整體、棘刺以及管足的反應。



◎受光時管足縮回、棘刺下壓      ◎海膽往光的反方向移動      ◎藍光照射時的結果也是相同

(三)結果：表2-6-1對光線反應(5隻)

各種色光	管足—縮回(隻)	棘刺—集中(隻)	海膽移動
白光	5	5	反向
紅光	5	5	反向
藍光	5	5	反向

(四)討論：梅氏長海膽對光線反應非常明顯，實驗的個體幾乎都有相同反應，5隻海膽在面對光源時，管足都會縮回，棘刺微微集中，並且身體往反方向退開，且不論是白光、紅光

或藍光，反應都是相同的，難怪牠們多數時間必須躲藏在石洞內。

研究三-1、梅氏長海膽對石洞的偏好(3D 石洞模型)—石洞大小

★ 動機：梅氏長海膽體型有大有小，那牠們對石洞大小是否有不同喜好呢？

(一)目的：想了解梅氏長海膽是否會因石洞大小而更換棲息位置？

(二)方法：1.利用3D 列印技術，製作不同大小石洞模型，放置在魚缸底部，模擬岩石上不同大小石洞。2.選擇不同大小的海膽，先分別測量牠們的殼長、殼寬、含刺全長、含刺寬度，再將牠們放入3D 石洞模型魚缸，讓海膽可以自由選擇。3.為完整了解海膽選洞過程，利用縮時攝影機，24小時全程攝影，再依所在位置時間多寡來進行分析。



◎3D 列印製作不同大小洞穴 ◎海膽自由選擇適合大小石洞 ◎利用縮時攝影機24小時記錄

☆海膽大小量測方法改進：海膽大小量測並沒有想像中容易，因此我們不斷改進測量方法

方法1：一開始我們直接「用尺量」，但因為海膽非常立體，每次量的數據都不太一樣。

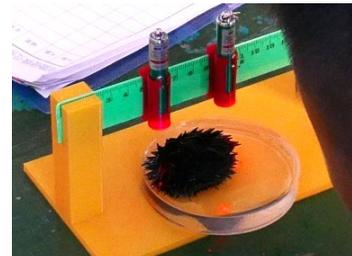
方法2：後來「用游標尺」來測量，有垂直支架，量起來確實準確很多，可是要測量時，游標尺一碰到刺，附近的刺都會靠過去，造成游標尺被卡在中間，無法量到精準的體殼長度。

方法3：有思考過用「線」來當游標尺的標竿，會比較容易進到體殼附近，但後來發現”線”並不是堅硬固定，碰到棘刺或體殼是很容易被折彎的。

方法4：以上方式會失敗，最主要是因海膽棘刺非常敏感，一被碰到就會做出防禦行為，因此，要測量裡面的體殼非常不容易，標竿要碰到體殼，但又要避免碰觸棘刺而產生抵抗，最好的方式，應該就是用光了，因此我們利用雷射筆架在直尺上，製作「光線游標尺」，同時為了操作更便利，測量更準確，我們利用3D 列印的技術，完成雷射游標尺的大部分框架，並在雷射光出口處製作出針狀的小洞，使雷射光更為細小，在操作上雖然還是要校正與熟練，但已經能比較精確測量出海膽體殼的大小。

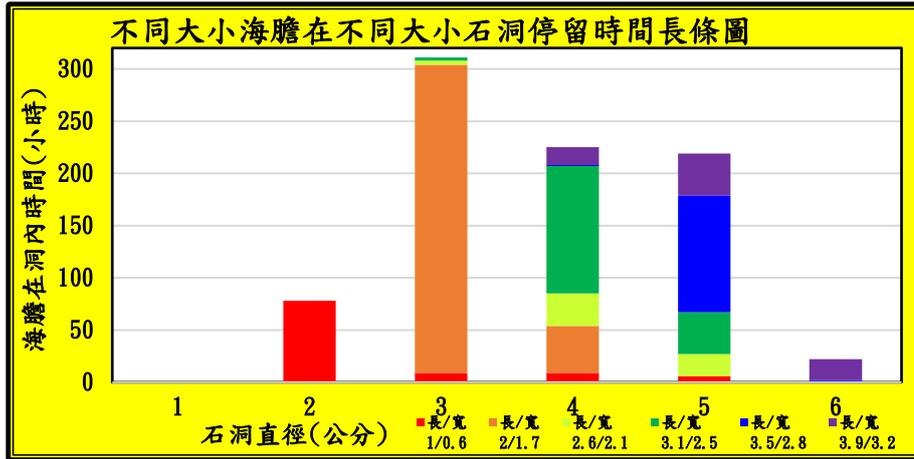


◎把尺放在魚缸內量測 ◎利用游標尺量測(魚缸外不干擾) ◎雷射光游標尺雛型



◎利用3D 列印製作支架 ◎製造細小光點再用直尺校正 ◎實際測量海膽體殼長度

(三)結果：圖3-1-1 不同大小海膽對石洞大小選擇直條圖



(四)討論：1.圖3-1-1中發現，在實驗的6隻不同大小海膽中，體型越小的海膽(紅、橘)，大多棲息在直徑較小的石洞，而體型稍大的(藍、紫)，多數時間則棲息在直徑較大的石洞，可以看出，當有機會做選擇時，梅氏長海膽會挑選適合自己體型的石洞，太大、太小都不適合。

2.在24小時攝影影片中發現，海膽有時候會在某個洞內待上幾天，有時候則在平台上爬來爬去，可是就算靠近較合適大小的洞也不見得轉進去，顯然牠們尋找洞的能力不是很好(或根本沒有)，也許這也就是為什麼牠們在洞內時，不太會爬出來，因為一旦爬出來，會很不容易找到石洞；但如果要一直住在裡面，這石洞就應該要是可以經營(刮、磨)，使體型與石洞相契合，只是我們使用的3D 線材是塑膠材質，顯然不適合長期經營，時間久了，牠們還是會爬出去，有時爬到岩石上刮食藻類，有時則縮在平台角落。

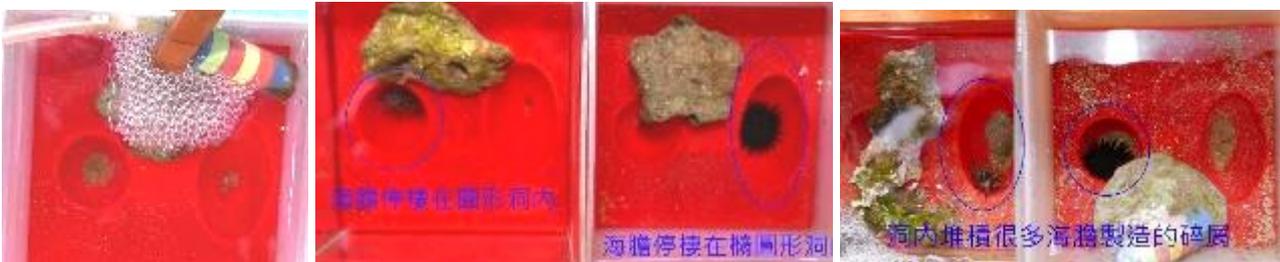
3.太小的洞沒辦法住，這比較容易理解，但為什麼大一點的洞，小隻的也不太住呢？在我們想取出石洞內海膽，或野外採集海膽的時候，常常出現一個狀況，在洞內的海膽受到刺激時，會立即撐開棘刺，讓棘刺頂在石洞邊緣，而一旦出現這種景象，幾乎沒辦法將海膽取出，但如果棘刺沒有頂到石洞，要取出就比較容易，這可能就是牠們不住太大石洞的原因。

研究三-2、梅氏長海膽對石洞的偏好(3D 石洞模型)一石洞形狀

★ 動機：梅氏長海膽殼形並非正圓，而是偏橢圓，這會不會影響牠們對石洞的選擇呢？

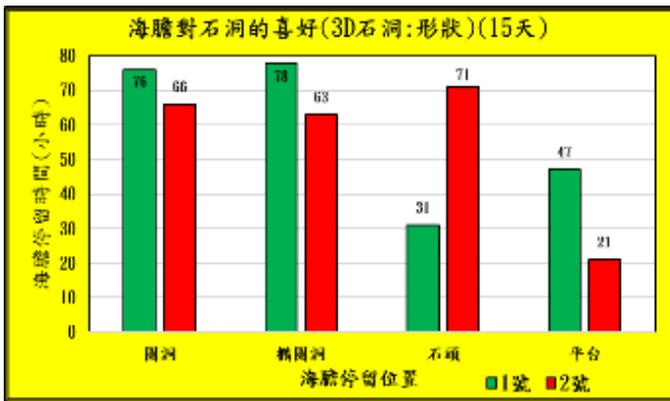
(一)目的：想了解梅氏長海膽是否會因石洞形狀而更換位置？

(二)方法：1.利用小型飼養箱製作3D 模型石洞，一個圓形一個橢圓形，讓海膽自由選擇，利用縮時攝影機24小時記錄，再以牠們待的時間，來分析牠們是否對石洞形狀有所偏好。



◎3D 列印製作模型 ◎海膽會停在圓形洞，也會在橢圓形洞 ◎洞內有海膽生活後的遺跡(3週)

(三)結果：圖3-2-1 海膽對石洞形狀的選擇



◎偏橢圓的石洞 ◎野外也有偏圓形的石洞

(四)討論：1.我們發現梅氏長海膽似乎在橢圓形洞的時間要比圓形洞久，在野外，我們也發現很多石洞都不是正圓形，反而比較偏向狹長的橢圓洞，不過牠們也是可以住在圓形洞，當牠們從橢圓洞爬出去覓食，並不一定回到橢圓洞，而是進到某個洞內，便可能就居住，在我們10cm\*10cm的實驗盒內，牠們都無法百分之百回到原洞，再次證明梅氏長海膽並沒有很好的尋洞機制。

### 研究三-3、梅氏長海膽對石洞的偏好(3D 石洞模型)一石洞深淺

★ 動機：岩石上的洞穴有深有淺，石洞深淺是否會影響梅氏長海膽對洞的選擇呢？

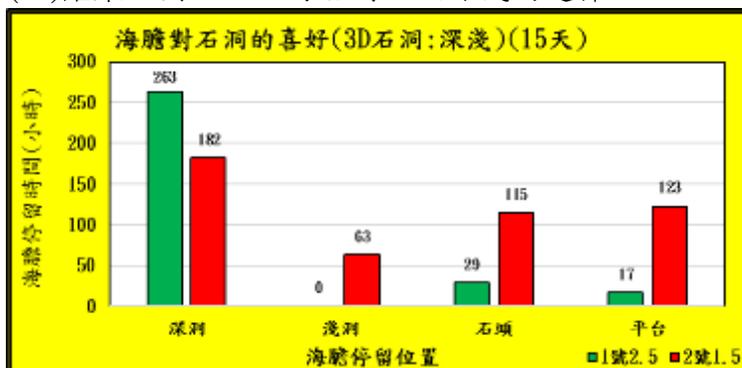
(一)目的：想了解梅氏長海膽是否會因石洞深淺而更換位置？

(二)方法：1.利用3D 模型列印機列印出一個3cm(海膽不會裸露)、一個1cm 深(海膽可能會裸露)的石洞模型，直徑都是3cm，讓海膽可以自由選擇，並利用縮時攝影機24小時記錄。



◎不同深淺3D 模型 ◎海膽多半停在深的洞 ◎小個體也可能停淺的洞 ◎海膽也會離開洞

(三)結果：圖3-3-1 海膽對石洞深淺的選擇



(四)討論：1.從表3-3-1可以看出，石洞的深淺對梅氏長海膽有顯著的影響，在15天的實驗中，兩隻海膽待在深洞的時間要比淺洞的時間多很多，雖然有時在淺的洞內也可以住上一段時間，可是一旦離開，遇到深的洞後，就會住在深的洞。

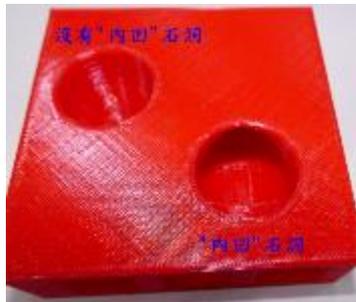
2.小個體似乎比較沒有受到石洞深淺的影響，在淺的洞也可以住上蠻長的一段時間，可能是身體活棘刺沒有超出洞口，對牠們來講就沒有那麼大的危險。

研究三-4、梅氏長海膽對石洞的偏好(3D 石洞模型)—石洞內凹

★ 動機：我們發現有些海膽在野外石洞內時，會偏向某個凹陷的角落，是否洞內有內凹會讓牠們更喜愛呢？

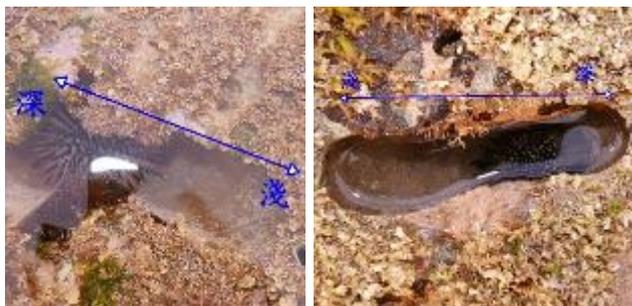
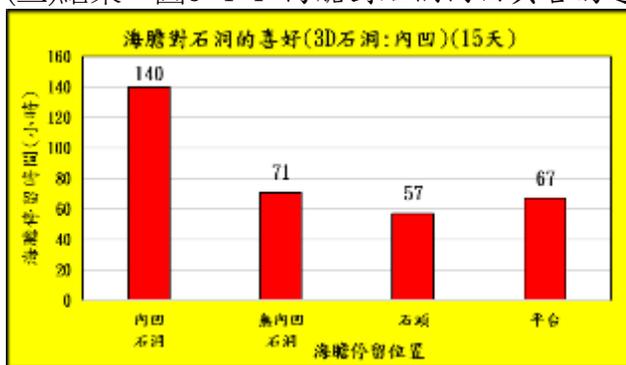
(一)目的：想了解梅氏長海膽是否會因石洞有內凹而喜好居住？

(二)方法：1.在3D 列印時，設計兩個洞，一個3cm 深的洞內再往內凹1.5cm，另一個則只有3cm 深，沒有內凹，讓海膽自由選擇。



◎有內凹與無內凹石洞    ◎海膽縮在石洞的內凹處    ◎海膽縮在石洞的內凹處，但有掉刺

(三)結果：圖3-4-1 海膽對石洞內凹與否的選擇



◎單邊較深且有點內凹的狹長形石洞

(四)討論：1.表3-4-1可看出，在可以選擇的情況下，有內凹的洞確實讓海膽願意待得更久(140小時)，只是內凹的空間必須符合牠們的大小，太小空間，反而讓牠們有掉刺的情況。

2.野外潮間帶是否也有內凹石洞呢？我們仔細的在潮間帶調查，果真有不少狹長形石洞並不是中間最深，而是單邊比較深，感覺上是海膽往單邊在挖掘，而這也讓海膽部分身體可以擠在凹進去的石洞內，讓自己可以局部隱藏起來(如上面的照片圖)。

研究三-5、梅氏長海膽對石洞的偏好(3D 石洞模型)—石洞遮蔽

★ 動機：在實驗過程中，我們發現有些海膽，似乎會將石頭推到洞口，或是進到有石頭遮蔽的洞內，難道牠們在洞內還是需要遮蔽嗎？

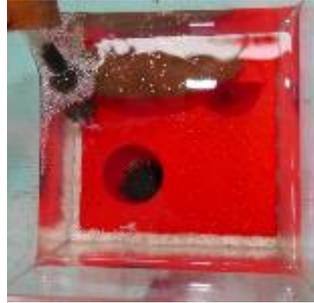
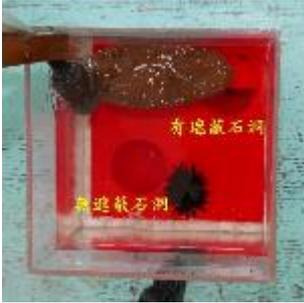


◎海膽躲在橢圓洞的石下    ◎將石頭刻意移到圓形洞    ◎隔天海膽便在圓形洞

(一)目的：想了解梅氏長海膽是否會選擇洞口有遮蔽物的石洞來居住？以及是否會自己找

東西遮蔽石洞？

(二)方法：1. 製作有遮蓋石洞的3D 模型，讓海膽自由選擇，記錄海膽是否會特別停留在有遮蔽的石洞。2. 製作只有一個石洞的3D 模型，在平台上放一顆石頭，觀察海膽是否會將石頭移到洞口附近。

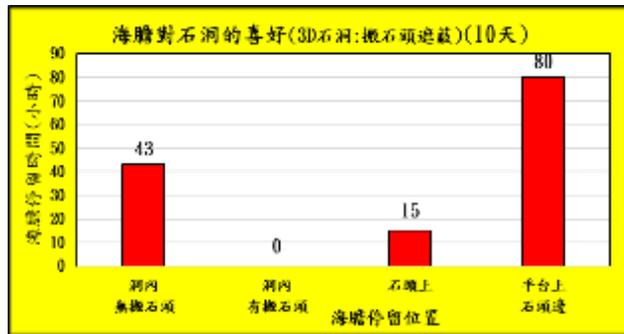
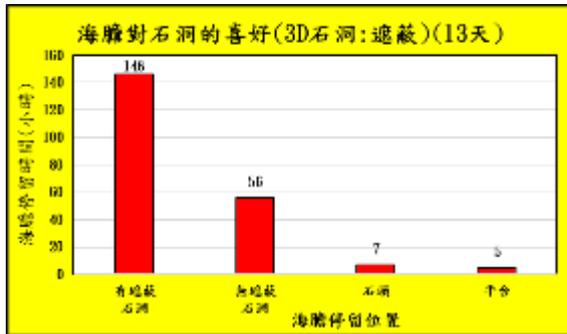


◎3D 列印有遮蔽與無遮蔽石洞    ◎一開始進到無遮蔽石洞    ◎之後進到有遮蔽石洞



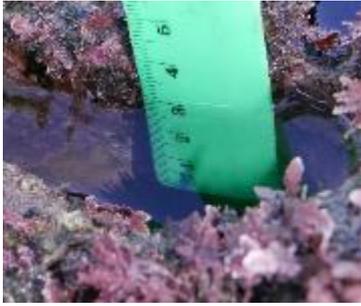
◎將石頭擺放在離洞較遠處    ◎爬行時挪動了石頭

(三)結果：圖3-5-1 海膽對石洞遮蔽的選擇    圖3-5-2 海膽主動挪洞石頭遮蔽洞口



(四)討論：1. 在表3-5-1中看出，梅氏長海膽似乎對有遮蓋的石洞比較喜好，待得比較久，有遮蔽除了多一層保護外，另一個直接的關聯性就是可以遮光，梅氏長海膽其實非常畏光(實驗二-6)，但野外並沒有這樣突起有遮蓋的石洞，牠們怎麼達到遮光的效果呢？我們在野外調查時發現牠們多半是居住在狹長石洞的最深處(中間)，若針對躲避陽光來說，牠們住在深的洞內，應該一樣也可以達到很好的效果。

2. 在一個洞與石頭的8天實驗中(表3-5-2)，並沒有任何搬石頭到洞口的行為，不過有觀察到海膽會在石頭上爬行，石塊上的藻類應該是海膽徘徊在岩石上的主要原因，牠們也很喜歡鑽到石頭下面，而在石頭下爬行時，會連帶著將石頭移動，至於會移到哪裡？應該不是牠們有意圖要做的，一旦牠們進到洞內，棘刺碰不到石塊，石塊自然停在石洞上方附近，這也解釋了我們之前觀察到海膽住的3D 石洞上方常會有石頭的原因，應該不是海膽進到洞後，再把石頭移過來洞口遮蔽，而且野外石洞也幾乎沒有其它石頭遮蔽，潮間帶來來回回的海浪應該也不可能讓牠們進行這工作，不過蔓生的藻類，或多或少會遮住部分洞口。



◎深的石洞可減少陽光直射



◎狹長石洞也有遮蔽效果



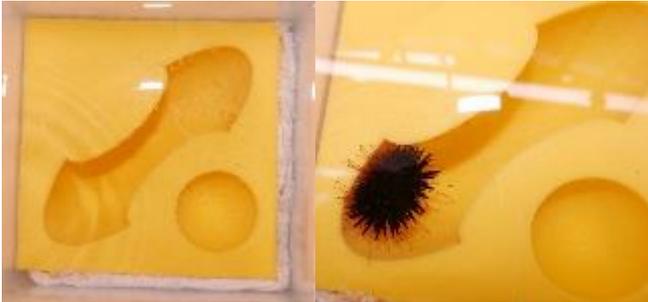
◎中間窄的石洞有藻類遮蔽

### 研究三-6、梅氏長海膽對石洞的偏好(3D 石洞模型)—狹長型石洞

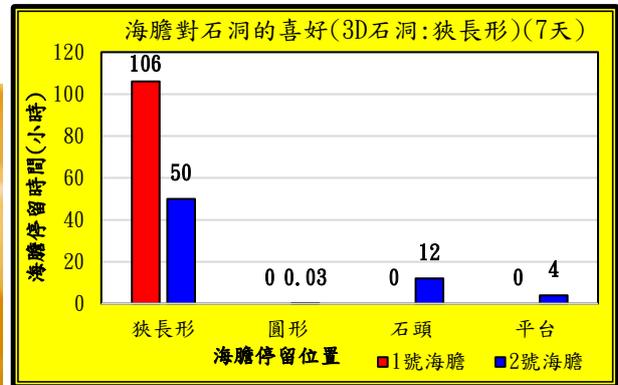
★ 動機：潮間帶的海膽石洞，很多是狹長型的，海膽是否會更喜歡這樣的石洞呢？

(一)目的：想了解梅氏長海膽是否會選擇石洞型態偏向狹長的來居住？

(二)方法：1.設計一個狹長型的3D 石洞與圓形石洞，讓海膽自由選擇，記錄海膽是否會特別停留在狹長型的石洞。

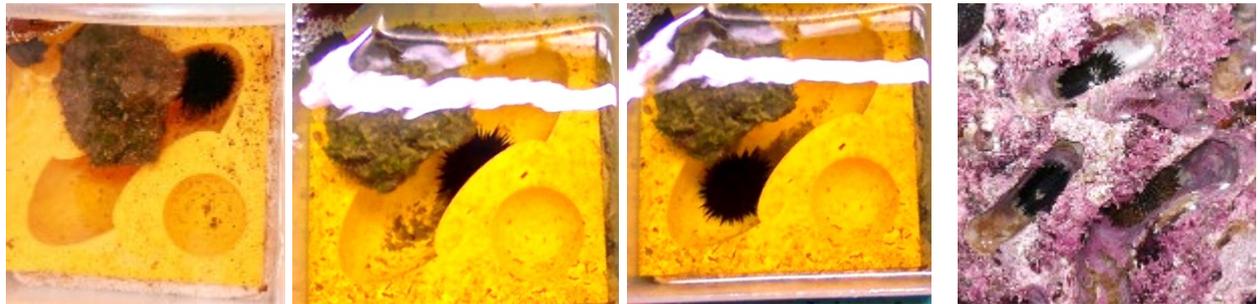


◎3D 圓形與狹長形 ◎海膽正進入狹長形石洞



(三)結果：圖3-6-1 狹長形與圓形石洞  
(四)討論：1.實驗的兩隻海膽(各7天)停留在狹長形石洞的時間明顯要比停留在圓形洞的時間長很多，可見得牠們確實比較喜歡狹長形的石洞。

2.居住在狹長形石洞有幾個特點：(1)空間較大，可更換位置；(2)扁窄的空間讓牠們可以輕易用棘刺頂住石壁；(3)兩側出口變得較平緩，容易到洞口進食；(4)落下的有機質較多。



◎海膽停在石洞右側 ◎停在狹長石洞中間 ◎停在狹長石洞左側 ◎潮間帶很多狹長形石洞

### 研究四-1、梅氏長海膽與石洞的關係—是否挖洞

★ 動機：許多文獻都有提到，潮間帶岩石上的坑洞幾乎都是海膽挖出來的，且伴隨著成長，會將洞越挖越大，真是如此嗎？

(一)目的：想了解梅氏長海膽是否會隨著時間而將石洞挖大？

(二)方法1(初期)：在潮間帶要標記石洞並不容易，因為數量太多且太相似，因此我們利用

潮間帶一條明顯裂縫當參考，標列出5個有海膽的石洞座標，量測海膽大小、石洞大小。



◎利用天然裂縫做標識



◎量測石洞大小



◎1號海膽(綠色)與石洞

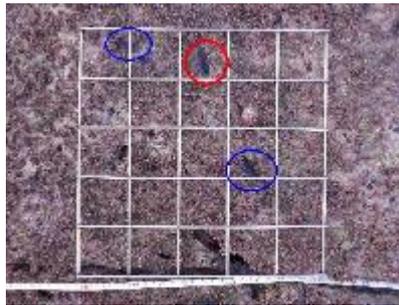
☆發現問題：

1. 由於石洞其實是不規則形，僅能量測最長長度與中間最短寬度，量測上誤差頗大。
2. 現場時間有限，無法慢慢仔細測量。
3. 夏天時，有幾隻不見了(可能是大退潮時間在中午過後，過熱)，因此無法持續進行。

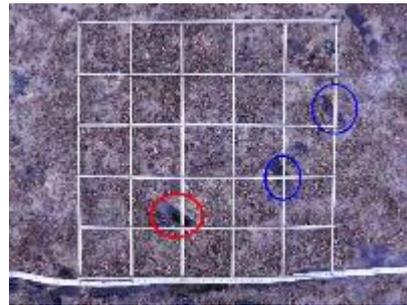
(二)方法2：1.為能更確實、更長時間觀察石洞大小變化，109年8月開始利用50cm\*50cm 方框(3個)，在較靠近低潮帶區域框定範圍，選定範圍內有海膽跟沒海膽的石洞(有海膽石洞\*4，空洞\*5)，由正上方拍攝，每月不定期拍攝一次。

2.利用透明模板畫出石洞洞口形狀，形狀改變時使用不同顏色表示。

3.至於”洞深”的部分，空洞：量測最深垂直距離，有海膽石洞：量測3個數據，分別是”棘刺”、”體殼”及”體殼邊緣”到水平面的垂直距離。



◎方框一(紅:海膽, 藍:空)



◎方框二(紅:海膽, 藍:空)



◎方框三(紅:海膽, 藍:空)



◎確認方框位置

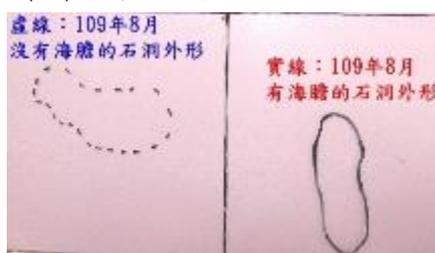


◎測量石洞深度



◎繪製石洞大小變化透明模板

(三)結果：1.長期洞口大小變化圖(有海膽與無海膽比較)(虛線:空石洞；實線:有海膽石洞)



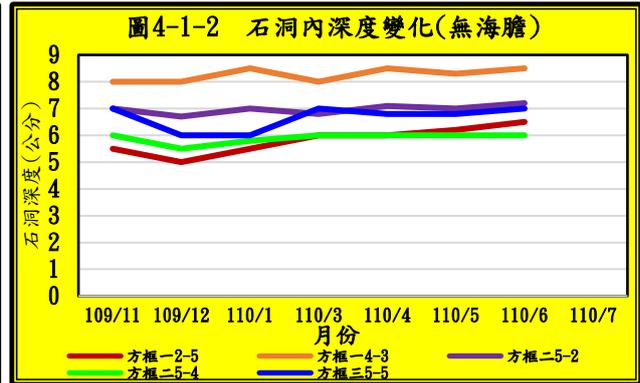
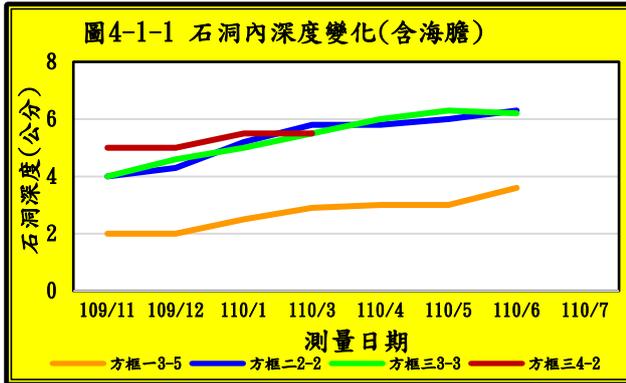
◎方框1-1(第1天)



◎方框1-1(279天)

時間	顏色	天數
109/8	黑色	1
109/9	黑色	26
109/10	紅色	65
109/11	青綠色	91
109/12	粉紅色	135
110/1	黃色	147
110/2	藍色	169
110/3	深褐色	197
110/4	橘色	223
110/5	深綠色	253
110/6	淺褐色	279

## 2.方框內有海膽、無海膽石洞深度變化



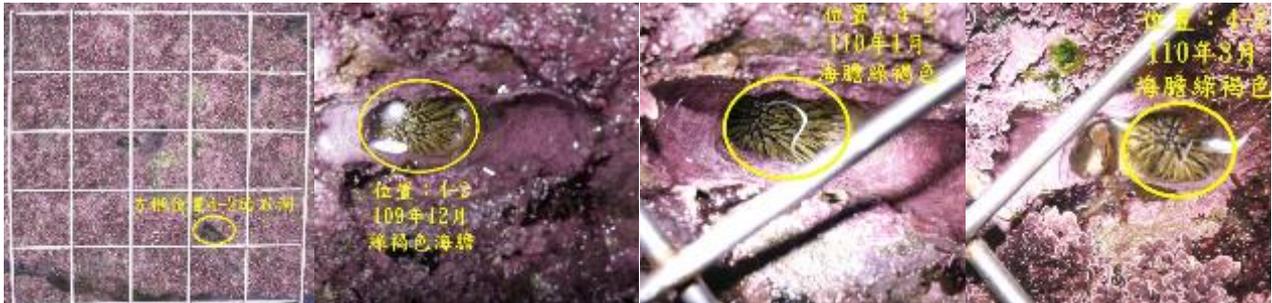
(四)討論：1.在半年的透明模板石洞洞口大小變化中，我們發現不管洞內有海膽的石洞(4個)，或是空的石洞(5個)，它們的洞口”形狀”變化都不大，些微的增減比較像是海藻的覆蓋與消失，並非石洞本身的增減，也就是半年來海膽在洞內並沒有特別經營洞口。

2. 石洞深度的量測並不容易，特別是有海膽的石洞，雖然我們測量三種深度，但實際上只有體殼--洞口垂直距離的數據是比較準確(從棘刺量到水平面常因棘刺擺動而產生誤差，從海膽邊緣量則會因停棲洞內位置改變而有不同結果)。

3. 從圖4-1-1、4-1-2可以看出，半年下來，有海膽的石洞確實有慢慢變深的情況，至於沒有住海膽的石洞雖然過程中有些微改變，但最後的結果與一開始測量的深度並無太大差異，也就是有海膽住在裡面的石洞，長時間下來，確實會慢慢的將石洞挖深，但速度非常緩慢，半年可能挖深1-2公分左右。

研究四-2、梅氏長海膽與石洞的關係—是否換洞

★ 動機：室內3D 實驗中，海膽並不一定會回原來的洞，但野外方框調查石洞大小實驗中(研究四-1)，觀察的4隻海膽，半年來都在原來的洞內，是否牠們都會回到自己原來的洞呢？



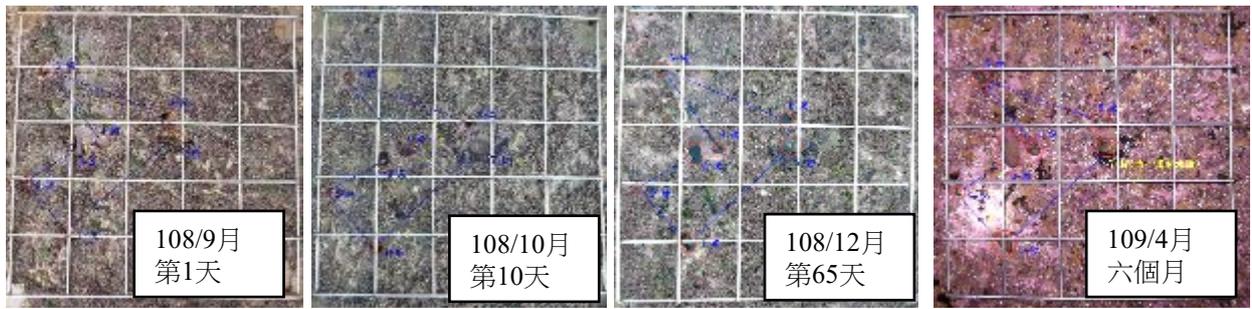
◎方框三4-2海膽-綠褐 ◎109/12海膽(綠褐) ◎110/1海膽(綠褐) ◎110/3海膽(綠褐)

(一)目的：想了解梅氏長海膽是否經常換洞？還是會回原洞？

(二)方法1：1.另外增加一個方框的調查範圍，標的出更多長期追蹤的海膽與居住石洞。

2.海膽要長期追蹤，最大的問題是地形太過相似，石洞、海膽都很容易弄混淆，為增加”追蹤的精準性”，我們設計方框內”石洞連線吻合演算法”，先將調查的方框區域拍照，再後置圖片，把有海膽的石洞連線成封閉圖形，並對每個海膽依顏色按順時針方向命名，以後每次調查都以此圖形來確認每隻海膽是不是在相同洞內。這種演算法的好處是，封閉圖形是獨一無二的，不會弄錯對象，如果下次的調查圖形條件完全吻合(石洞位置、有無海膽、海膽顏色)，那代表牠們都在相同的洞內。

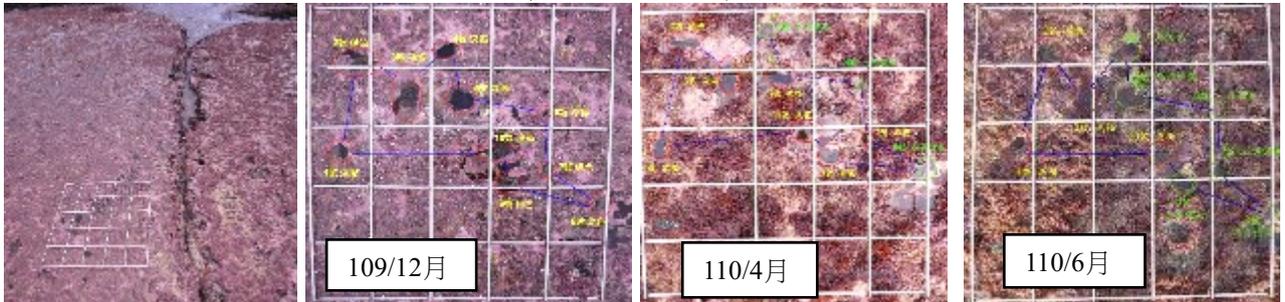
(三)結果1：梅氏長海膽密度低的區域(離海較遠)



◎石洞連線吻合演算法 ◎10天後狀況 ◎65天後狀況 ◎夏天時只剩一隻

☆發現問題：1.一開始並不清楚牠們穩定的棲息區域，因此選擇較安全但離海稍遠的區域為觀察地點，但到了夏天，大退潮在白天，酷熱的太陽讓實驗區域很多海膽都消失了，到今年冬天，只剩一隻還在，為了更精準了解梅氏長海膽是否會一直住在同一個石洞，也想知道是不是真的夏季時，牠們就容易消失，我們另外在更靠海(梅氏長海膽族群更密集)的區域再規劃另一個方框

### (三)結果2：梅氏長海膽密度高的區域(離海較近區域)



◎選擇密度更高的區域 ◎共列10隻進行觀察 ◎四個月有3隻不見了 ◎七個月後仍有4隻

(四)討論：1.不管是離海較近或較遠區域，前三個月的狀況幾乎都是同一隻在同一個洞內，也就是標的海膽都待在原來的洞內，但四月份大退潮開始出現在下午，便有三隻不在洞內了，到了六月共有6隻不見，是死了？還是離開回不來(室內實驗證實牠們沒有回原洞機制與能力)？或許都有可能。

2.即便有些海膽不見了，但還是有4隻海膽待在原來的洞內，代表這4隻真的都會回到原來的洞內，或者是牠們根本沒有出洞！

※為什麼會認為夏天讓部分梅氏長海膽死亡呢？主要是因去年六月(109/6)在進行野外調查時，我們發現平台上很容易發現海膽死後空殼，而這現象在冬天並沒有出現，因此我們增設一項野外調查來進行確認。

(五)目的：想知道海蝕平台上海膽在不同季節的存活狀況

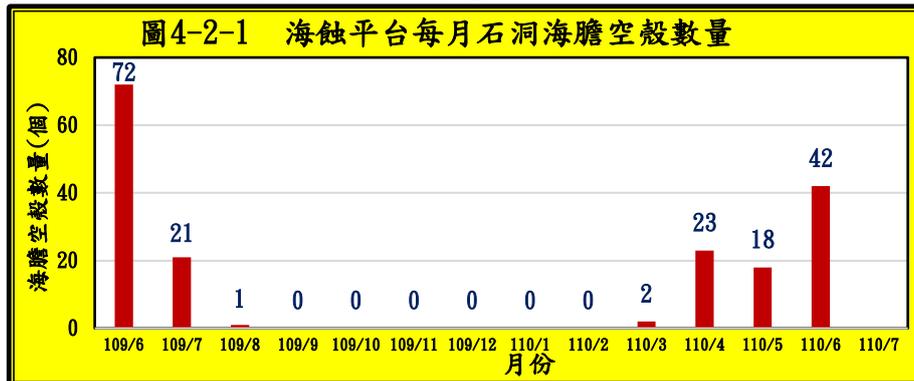
(六)方法：由於平台上海膽數量非常多，不容易全部清點，而且就算不在原來洞內，也不確定是死亡或離開，我們發現梅氏長海膽幾乎都在石洞內，如果在洞內死亡，空殼還會留在洞內，不至於被海浪沖走，因此我們退而求其次，決定用清點”空殼的數量”，來代表死亡數量，利用海溝可約略將平台分三個區塊，並清點上面梅氏長海膽石洞內的所有空殼，有些暫時帶回實驗室，有些放進深的海溝內，除了可避免與下次調查重複清點外，也可在實驗室做細部觀察與型態分類。



◎選定大平台調查海膽空殼數量

◎夏季時，平台石洞內可檢到大大小小的空殼

(七)結果：圖4-2-1海蝕平台上每月海膽空殼數量



(八)討論：1.從圖4-2-1可以看出，去年六、七月是空殼數量最明顯的月份，到了秋冬幾乎沒有任何空殼，不過今年三月的調查，又發現2個空殼在洞內，接著四月更有23個空殼(大退潮已經在下午4點左右)，六月時達到42個，看起真的在夏季時，居住在平台上的梅氏長海膽便比較容易死亡。

2.去年六、七月的空殼並非都是大的空殼，其中有很多是小體型的，而梅氏長海膽豬槽形的空殼，很容易與其它種類海膽的空殼區隔，那表示這些海膽並非老死，應該都是意外死亡，因此我們推測很可能就是夏季白天的大退潮，產生較長時間的曝曬而造成牠們死亡。

研究四-3、梅氏長海膽與石洞的關係—是否出洞

★動機：野外的梅氏長海膽可以很長一段時間都維持在洞內，但真的都是出洞又回原洞嗎？文獻上有提到牠們晚上會出洞覓食(陳揚文。2011)，但在我們實驗室24小時縮時攝影的眾多影片中，並沒有發現牠們有任何回原洞的機制，有沒有可能牠們根本沒出洞呢？

(一)目的：想了解梅氏長海膽是否可能都待在洞內不出洞呢？

(二)方法：1.3D 列印線材是塑膠材質，為使環境更貼近野外狀況，我們到潮間帶，尋找石洞內有海膽，且岩石容易完整敲擊下來的海溝邊緣，敲擊一塊有海膽在石洞的岩石，整顆擺放在魚缸內進行24小時錄影觀察。

(三)結果：



◎採集有海膽在洞內的岩石

◎放在魚缸中24小時錄影特定海膽

◎連續一週沒出洞



◎連續三週沒出洞      ◎50天後兩個洞快變一個洞      ◎120天後，已經變成一個洞

(四)討論：1.在布滿藻類的岩石上，同時也是自己本來在野外居住的石洞，梅氏長海膽可以長達四個月都不出洞，可見得海水中的有機質或岩石上剝落的藻類都可以成為牠們的食物，魚缸的岩石並沒有藻類繼續固著，因此四個月後，牠還是爬出洞，爬出去後便沒有絕對把握會回到原洞。

2.剛採集回來的海膽，也有出洞過，在魚缸內的岩石上繞來繞去，又碰到原來的洞，就住進去(可能是因魚缸範圍小，岩石也不大)，之後就沒再出洞，一直到四個月後，才又離開石洞，但這次離開就沒再碰到原來石洞，原來的石洞也被其他海膽進駐，這似乎比較能解釋野外實驗研究四-2“石洞連線吻合演算法”中，六個多月時間，部分海膽都在原來的洞內，其實牠們可能根本沒出洞，或僅到洞口邊緣，因為以梅氏長海膽的行為特性，一旦出洞，在大面積的潮間帶，並不容易再找到原來的洞，而且也看不出牠們有任何回原洞的機制(3D 石洞影片)。

3.如果梅氏長海膽真如我們推測的，牠們幾乎不出洞，或僅到洞口邊緣，這應該也就能解釋，為什麼低潮帶海蝕平台上，每個洞內幾乎都有海膽，因為牠們根本沒有出去。

長時間待在洞內的梅氏長海膽都在做甚麼呢？我們在長期攝影的影片中，記錄了幾項牠們在洞內較常出現的行為：(1)停著不動，只是微微擺動部分棘刺；(2)洞內挪動、旋轉；(3)爬到洞口，一段時間又回到洞內；(4)背部肛門排出顆粒狀糞便。



◎在右邊的洞      ◎移動左邊的洞      ◎經常性會有排便      ◎有時會爬到洞口

#### 研究四-4、梅氏長海膽與石洞的關係—石洞經營

★動機：文獻上提到梅氏長海膽會利用棘刺在岩礁上磨出一個一個的洞(李坤宣。1994)，牠們真的是把洞挖大來符合自己大小？還是限縮自己來配合石洞大小呢？在野外很容易發現有些海膽的刺並非完整均勻，而是在某些部位整個貼齊斷掉，像是理髮剪平頭一樣，這會不會是牠們自己造成的呢？



◎縮在明顯較小的洞內



◎某些區塊的刺切短了

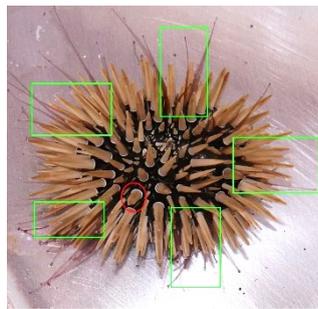


◎與其他正常棘刺的海膽比較

(一)目的1：想了解梅氏長海膽棘刺的再生狀況

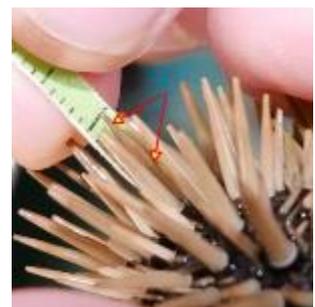
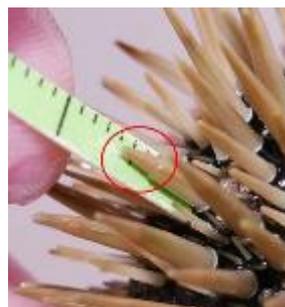
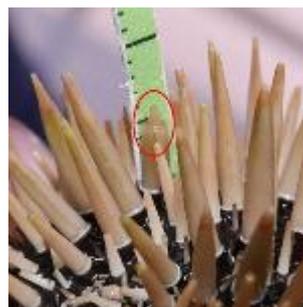
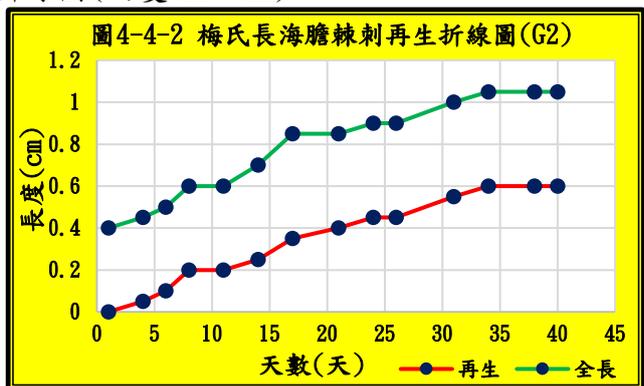
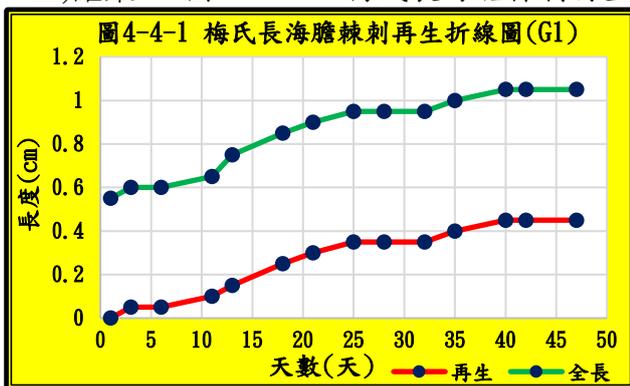
(二)方法1：1.在飼養的海膽中，挑選數隻來進行棘刺再生實驗，選擇特定一根棘刺，利用指甲剪剪掉超過半的長度，但因海膽棘刺非常相似，且數量超過上百根，非常不容易辨識每根棘刺，要做長期測量，就必須有辨識剪棘棘刺的方法，我們的做法是搭配梅氏長海膽橢圓體殼的構造，在五組管足中，有一組一定會在橢圓頂端，以此為正前方，再以上、左下、右上、右下來標明剪棘棘刺的位置，同時註明是靠近哪一組管足。

2.每週兩次測量剪棘棘刺的全長、再生長、原長，直到剪棘棘刺的長與旁邊棘刺長一樣，且剪棘部位也已經看不出錯開痕跡。



◎選活動力穩定的海膽 ◎選可辨識的棘刺 ◎在右下方兩組管足間 ◎立即量測剪後的長度

三)結果：圖 梅氏長海膽棘刺再生折線圖(兩隻 G1、G2)



◎4天出現再生棘刺 ◎一週後的狀況 ◎三週後明顯變長 ◎一個月後已長齊全

(四)討論1：1.棘刺斷後，大約3-5天會開始長出再生棘刺，30-40天左右棘刺就會完全跟旁邊的一樣，而且接下來很長時間都不會再長長。且斷裂越多，再生越快(參考附件一)。

2.原來的棘刺大約在兩週左右也會有0.05公分的成長變化，但接下來就沒甚麼改變，還是以末端再生棘刺的成長為主。

3.棘刺的復原、再生需要時間，但也不算太慢，因此，雖然棘刺很容易斷裂，但復原再生的能力也很強。

(五)目的2：想了解梅氏長海膽成長狀況

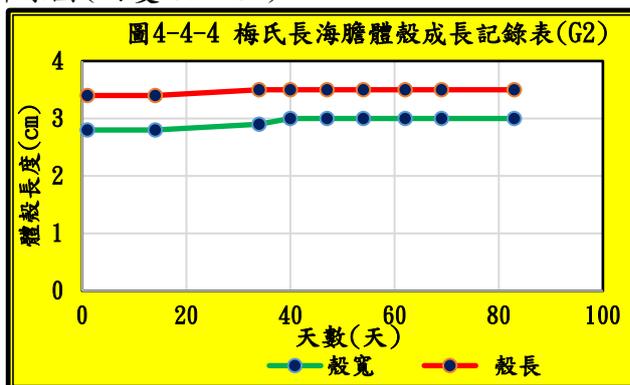
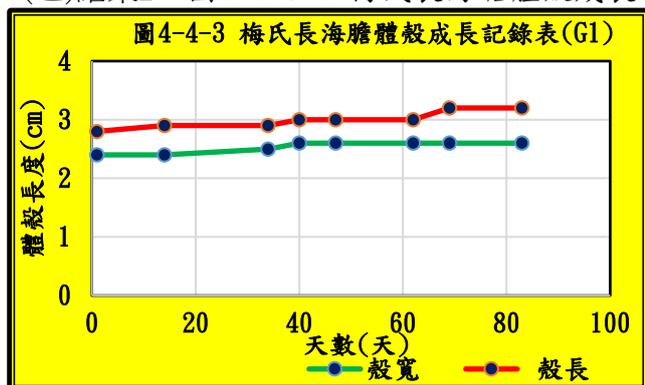
(六)方法2：1.進行棘刺再生的同時，也一併進行體殼成長變化，利用自製雷射游標尺，每週量測一次體殼殼長、殼寬。

2.選擇體型較小的梅氏長海膽個體，每週量測一次殼長、殼寬。



◎飼養的海膽健康穩定排便 ◎自製雷射游標尺測量海膽大小◎選取體型小的個體進行實驗

(七)結果2：圖4-4-3~4 梅氏長海膽體殼成長折線圖(兩隻 G1、G2)



(八)討論2：1.經過將近三個月的測量，海膽的殼長與寬似乎沒有太大變化，文獻上有提到，大部分海膽可以活數十年，若屬實，那這幾個月時間，或許並不容易看出變化，但至少可以看出牠們的體殼成長是非常緩慢的。

2.棘刺復原再生快，體殼成長慢，這特性讓必須藏身在洞內的梅氏長海膽有幾個優勢：

(1)居住在原來洞內的可以利用堅硬的石洞磨短自己的棘刺，讓自己的棘刺可以一直頂著石洞，但又不至於太擁擠(3D 石洞一大小實驗中，牠們多半選擇可以讓棘刺頂到邊緣的石洞)；

(2)萬一進到另一個洞時，如果洞太大，可以快速長長棘刺，頂到石洞，如果石洞太小或不規則時，可以讓某些部位的棘刺磨斷，讓橢圓形的自己一樣可以在不規則石洞內居住下來。

3.從野外調查看起來，大部分海膽是居住在符合自己大小的石洞，也就是大部分是一直住在同一個洞，慢慢經營，使自己與石洞吻合，但仍有部分是在不規則、較大或較小石洞的狀況，這有點像是牠們的第二個適應行為，首選應該就是不出洞，一直經營同一個洞，但萬一出洞了，又沒回原洞，那就得靠棘刺的磨短或長長來適應新的石洞大小與形狀，”磨石洞”是非常緩慢的，”改變棘刺長短”相對來說應該是比較快達到的。



◎看似經營很久的石洞    ◎換洞不久但洞過小(刺磨短)    ◎可能換洞但洞過大(刺增長)

(九)目的3：想了解梅氏長海膽實際經營石洞狀況

(十)方法3：採集回來有石洞且有海膽的岩石，錄影長期觀察牠們在洞內的磨洞行為。

(十一)結果3：魚缸中海膽半年在岩石石洞內的變化圖



◎剛採集還有岩石隔開    ◎兩週後岩石隔板仍在    ◎1.5月後僅剩一些    ◎4個月後隔板消失

(十二)討論3：1.在不干擾的長期飼養個體中，我們發現梅氏長海膽確實會不斷的經營自己的洞穴，讓自己的洞穴慢慢形成橢圓形，特別是旁邊有另一個石洞時，會慢慢將之間的岩石磨掉，形成一個較大的橢圓洞。

2.光磨掉薄薄一層石壁都要花上半年以上的時間，可見牠們磨洞的速度是非常緩慢的。

(十三)目的4：想知道在野外，梅氏長海膽居住的石洞的真實狀況

(十四)方法4：野外潮間帶大範圍記錄梅氏長海膽石洞型態，並量測石洞最長與最短距離及海膽棘刺到洞口垂直距離。

(十五)結果4：圖4-4-5 潮間帶海膽石洞長與海膽離洞口距離關係

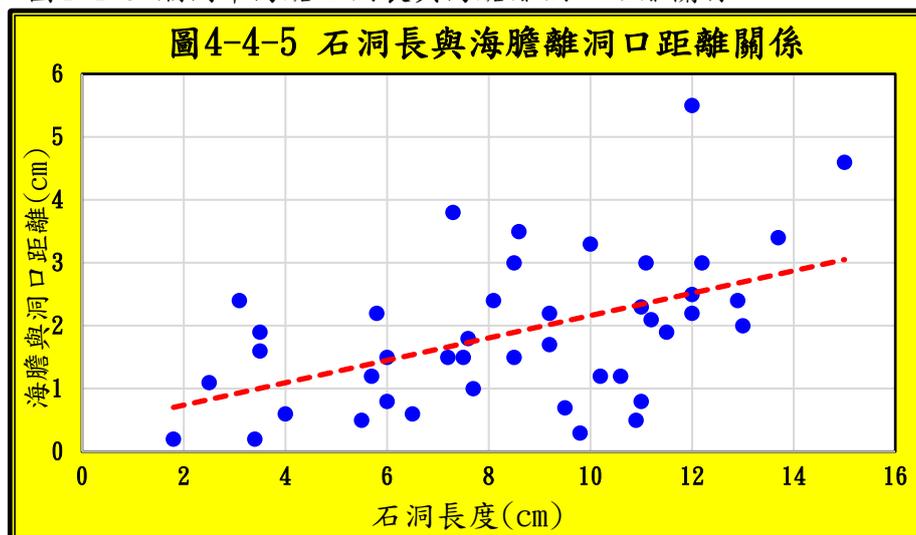
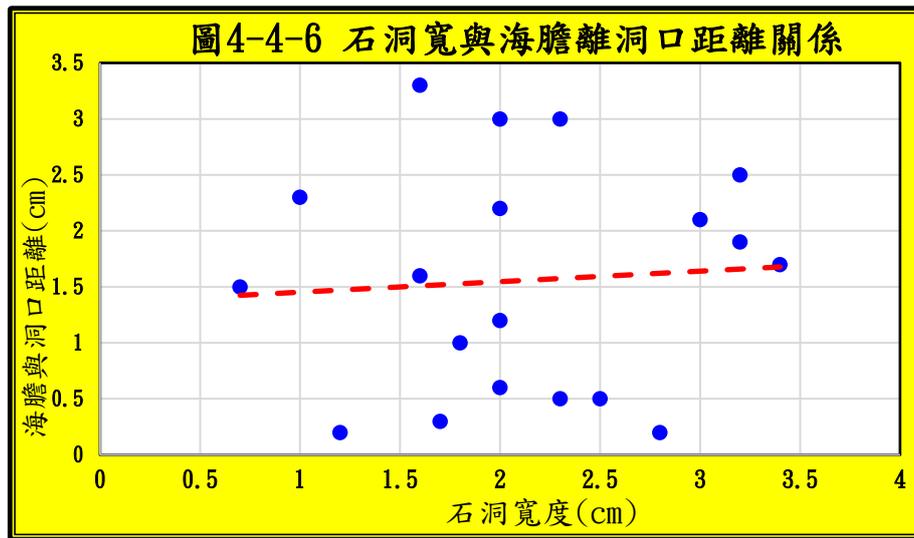


圖4-4-6 潮間帶海膽石洞寬與海膽離洞口距離關係



◎磨洞初期      ◎已經經營一段時間      ◎已經經營石洞很長時間      ◎大部分石洞型態

(十六)討論4：1.由圖4-4-5與4-4-6可以看出，在潮間帶，當海膽石洞越長時，洞深也有變深的趨勢，這很可能是經營比較久的石洞，洞比較長也比較深，但”石洞寬度”卻不一定有跟”洞深”成正相關，也就是說，即便經營很久的石洞，洞深增加了，洞也變長了，但寬度不一定會變寬，這樣偏狹長形的石洞對梅氏長海膽是否更為有利呢？可能真的是如此，我們可以從幾個面向來探討：

- (1)從活動空間來講：狹長的石洞讓必須長期待在洞內不離開的海膽，有一定的活動空間。
- (2)從食物取得來講：兩側淺、中間深的狹長石洞，可以讓更多有機物質沉澱且集中。
- (3)從防禦機制來講：偏狹窄的石洞，讓海膽在遇到危險時，可以快速利用棘刺頂住兩側石洞壁，使天敵難以撼動牠們(我們野外採集時，便多次遇到這種防禦行為而無法取出海膽)。

2.野外梅氏長海膽的石洞經營似乎隱約可以看出不同的階段，經營很久很久的石洞，有些共同特徵：

- (1)石洞狹長，兩側寬度比海膽大，形成有點啞鈴形狀的石洞；
  - (2)棘刺到洞口垂直距離超過2公分以上；
  - (3)海膽棘刺可以輕易頂住較窄處的石壁。
- 3.有些石洞雖有點橢圓，但長寬差距並不明顯，且海膽棘刺到洞口垂直距離少於1公分，這應該還在努力經營階段(磨洞初期)。
- 4.石洞接近圓形，棘刺幾乎可以突出洞口，或者洞過大，棘刺根本無法與石壁貼緊，這很可能是剛換洞，屬於重新經營的階段。

## 伍、結論

一、關於梅氏長海膽的生物生態：

- 1.梅氏長海膽為五角放射狀，身上布滿短且較粗棘刺，幾乎都居住在石洞內。
- 2.蝙蝠洞潮間帶穩定可發現的種類有梅氏長海膽、口鰓海膽、紫海膽、刺冠海膽，除部分的梅氏長海膽可棲息中潮帶外，大部分種類都在低潮帶到亞潮帶位置。
- 3.在潮間帶一整年都可以見到梅氏長海膽，不過夏季數量會略微減少，且保育區與非保育區的每月變化是相似的。
- 4.梅氏長海膽棘刺顏色變化大，但外表結構都是相似的，比較像是個體間的差異。

## 二、關於梅氏長海膽的反應行為：

- 1.梅氏長海膽棘刺被碰觸時，周圍棘刺會有往碰觸點靠近的反應，且越靠近海膽體殼，反應越明顯，並可以在體殼不同位置同時防禦；至於管足被碰觸時，會有立即縮回動作。
- 2.若是海膽主動去碰觸，不管是生物或非生物，只要被碰觸者有反應，海膽便會有防禦動作，但如果被碰觸沒反應，海膽則會持續探索。
- 3.梅氏長海膽對光線有明顯畏懼反應，棘刺會下壓、管足縮回，並往反方向移動。

## 三、關於梅氏長海膽對石洞的偏好(石洞模型)：在可選擇情況下，梅氏長海膽會選擇：1.石洞大小適合自己體型的；2.洞深足夠讓自己完全隱藏的；3.石洞有內凹的；4.石洞有遮蔽的；5.圓形、橢圓形差異不大，但若有狹長形石洞，則會選擇這樣的石洞居住。

## 四、關於梅氏長海膽與石洞關係：

- 1.梅氏長海膽確實會有挖洞行為，但挖洞速度非常緩慢。
- 2.梅氏長海膽並沒有經常性的換洞行為，大部份會住在同一個石洞。
- 3.在野外，梅氏長海膽可以很長時間不出洞，或僅到洞口邊緣。
- 4.梅氏長海膽棘刺再生速度快，但體殼成長慢，因此可以利用棘刺長短來讓自己短時間內適應石洞大小。
- 5.梅氏長海膽與石洞的關係，將影響牠們的存活：
  - (1)最理想：一到潮間帶就停好的位置，並開始進行挖洞行為，不再離開。
  - (2)次理想：離開原來石洞，且很快又再找到另一個，經營後，不再離開。
  - (3)有風險：離開石洞，剛進到另一個石洞，但石洞可能太大或太小(利用棘刺來適應)。
  - (4)極危險：離開原來石洞，沒有找到石洞，停在平台上，死亡機率很高。

## 陸、參考資料及其他

- 一、李坤瑄·陳章波。1994。臺灣常見的棘皮動物。國立海洋生物博物館。
- 二、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。
- 三、陳揚文。2011.一個潮池的秘密。行人文化實驗室。
- 四、廖運志等。2015。潮汐的呼喚，探索北海岸潮間帶。交通部觀光局北海岸及觀音山國家風景區管理處。
- 五、施志昀·林家和·賴志威。2010。澎湖潮間帶無脊椎動物圖鑑。澎湖縣政府文化局。
- 六、網路資料：

### 1.海胆的蛻變之路

<https://www.bilibili.com/video/av6523381/#page=2%E5%8E%9F%E6%96%87%E7%B6%B2%E5%9D%80%EF%BC%9Ahttps://kknews.cc/agriculture/6y5j4l.html>

### 2.科博館科普專欄

<https://e-info.org.tw/worker/project/nmns/index.htm>

- 3.臺灣常見的海膽簡介－總論李坤瑄 (國立自然科學博物館動物學組助理研究員)  
<https://e-info.org.tw/topic/echno/2001/echno01070301.htm>
- 4.臺灣常見的海膽簡介－海膽地毯 (上)(下)  
<https://e-info.org.tw/topic/echno/Echinometra-mathaei/Echinometra-mathaei.htm>
- 5.臺灣常見的海膽簡介－食用海膽 (一)(二)  
<https://e-info.org.tw/topic/echno/Tripneustes-gratilla/Tripneustes-gratilla.htm>
- 6.國立海洋科技博物館  
[https://m.facebook.com/NMMST.TW/posts/1568280213187275?locale2=es\\_LA](https://m.facebook.com/NMMST.TW/posts/1568280213187275?locale2=es_LA)
- 7.每日頭條  
<https://kknews.cc/zh-tw/food/zkqnjq.html>
- 8.國立自然科學博物館 館訊 249 期 第七版  
<http://web2.nmns.edu.tw/PubLib/NewsLetter/97/249/7.pdf>
- 9.維基百科  
<https://zh.m.wikipedia.org/wiki/%E6%B5%B7%E8%86%BD>
- 10.動物與自然  
<https://zhtw.eferrit.com/%E7%B6%A0%E6%B5%B7%E8%86%BD%E4%BA%8B%E5%AF%A6/>

#### 附件一 短棘刺與長棘刺再生速度石洞經營探討

★ 動機：觀察海膽棘刺再生時，發現很多折損較多的棘刺，似乎再生比較明顯，而只折損一小段的長棘刺，很長時間都沒有發現再生，難道牠們的再生與受損狀況有關嗎？

(一)目的：想了解受損情況不同的棘刺，再生情況是否有差異？這是否也與石洞經營有關？

(二)方法與結果：取2隻海膽，選擇好辨識的位置，剪斷兩根棘刺，一根剪超過一半長度(使該剩下棘刺較短)，一根則剪少於一半長度(使該剩下棘刺較長)，每週測量兩根棘刺長度。



(四)討論：1.雖然實驗還沒有完全進行完畢，但到目前為止，受損多的棘刺，確實明顯在一週內就開始再生(與研究四-4結果吻合)，但受損少的棘刺，經過三週都還是呈現剛切斷時情況(切平)，只是有修復，但沒有再生狀況，是否受損少的棘刺會等到受損多棘刺再生到接近長度時，才開始再生呢？這很值得再觀察。

2.為什麼受損多的棘刺再生快，受損少的卻再生慢呢？我們推測有幾種可能：(1)受損多的棘刺靠近體殼，這可能會讓牠們感到不安全，因此很快就再生，而受損少的棘刺與周圍棘刺並沒有短多少，甚至比很多還沒長長的棘刺都要長，可能就不必急著耗費能量來再生。

(2)在石洞內，受損多的棘刺是頂不到石壁的，這會影響到牠們防禦與固定身體在洞內的力量，因此加快再生，受損少的棘刺仍能頂到石壁，因此也就不必急著再生。

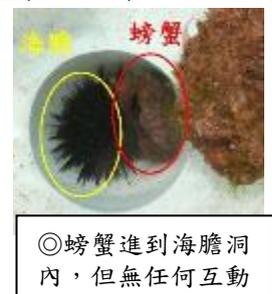
#### 附件二 其他生物是否影響梅氏長海膽更換石洞

★ 動機：潮間帶生物並不是只有梅氏長海膽會住在石洞內，我們也看過陽隧足、螃蟹、蝦子...等生物會出現在洞內，但都沒有跟海膽住在同一個洞，這些生物是否會使海膽離洞呢？

(一)目的：想了解其它生物是否會造成梅氏長海膽離洞？

(二)方法與結果：採集潮間帶常見棲息在石洞內的生物，利用3D 石洞模型(一個洞)，讓不同生物與海膽待在同一個洞內，縮時攝影3天記錄牠們的互動行為。

3天觀察	螃蟹—海膽	槍蝦—海膽	陽隧足—海膽
攻擊行為	無	無	無
逃離行為	無	槍蝦	陽隧足
搶洞行為	無	無	無



(四)討論：1.螃蟹、槍蝦、陽隧足都是潮間帶容易見到且會住在石洞或石縫的生物，但3天下來都沒有發生任何攻擊行為，也沒有搶石洞行為，槍蝦與陽隧足甚至碰到海膽就退開，顯然這些有穴居行為的生物，本身都比較膽怯、敏感，只要洞內有其它生物，大部分是選擇離開，不會主動去搶奪，除了生物本身特性外，潮間帶到處是石洞、石縫應該也是原因之一。



◎海膽靠近槍蝦



◎槍蝦立即退開



◎海膽要進洞



◎陽隧足立即爬開

## 【評語】 080311

1. 此作品探討梅氏長海膽的生態行為，並以 3D 列印技術來製造不同的石洞模型，已執行操作型實驗來驗證假說，是相當好的想法。量化數據相當完整，值得鼓勵。
2. 該處似乎為觀光熱門區，未來可將人為影響帶入探討範疇中。
3. 對於海膽的觀察與個體鑑別可以更加深入。也可嘗試探索為何洞穴最終會呈現狹長型，而非圓形呢？

## 作品簡報

# 以靜「製」「洞」

探討梅氏長海膽 *Echinometra mathaei* 之  
生態及其與石洞的關係

國小組  
生物科

# 研究概念圖

## 動機

潮間帶岩石上的石洞真的是梅氏長海膽挖的嗎？會挖成甚麼型態呢？

## 實驗主軸

### 生物生態

與石洞經營關係

### 反應行為

與石洞經營關係

### 石洞選擇

與石洞經營關係

### 石洞經營

了解海膽與石洞經營關係

## 實驗設計

- ◎海膽外觀特徵
- ◎海膽種類與環境
- ◎族群變化
- ◎多變型態與環境

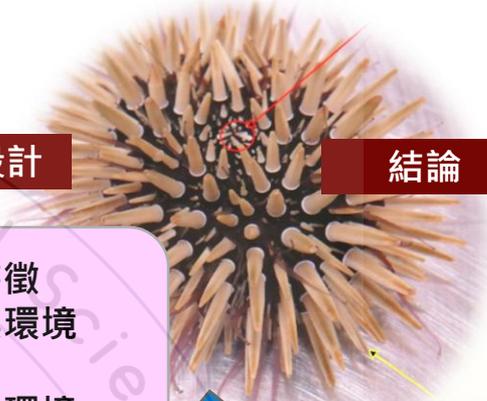
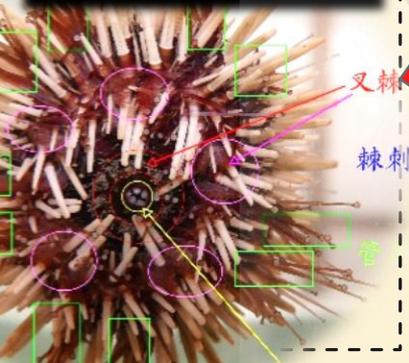
- ◎碰觸棘刺
- ◎不同棘刺位置
- ◎碰觸兩根棘刺
- ◎碰觸管足
- ◎海膽互碰
- ◎對光的反應

- ◎3D石洞—大小
- ◎3D石洞—形狀
- ◎3D石洞—深淺
- ◎3D石洞—內凹
- ◎3D石洞—遮蔽
- ◎3D石洞—狹長

- ◎是否挖洞
- ◎是否換洞
- ◎是否出洞
- ◎石洞經營

## 結論

潮間帶岩石上的特定石洞，果真是梅氏長海膽經年累月經營下的結果。最終形成狹長型石洞



# 生物生態

## 觀察主題

### 基本構造

### 種類環境

### 季節變化

### 多變外觀

## 方法

1. 文獻比對
2. 野外觀察
3. 飼養觀察

1. 每月野外調查
2. (108/9~110/7)
3. 圖鑑比對
4. 細微構造觀察

1. 劃定範圍，每月清點數量 (109/6~110/7)
2. 加入其他潮間帶

1. 估算各類型比例
2. 調查與藻類相關性
3. 棘刺顯微比較

## 結果

1. 棘刺偏短
2. 棘刺顏色多樣
3. 管足5對10排
4. 體殼呈橢圓形

1. 發現8種海膽(3種穴居)
2. 潮間帶以梅氏長海膽數量最多，可以在離海稍遠位置

1. 整年都能見到，夏季略為減少
2. 保育區並沒有因此增加數量

1. 褐色棘刺最多
2. 棘刺顏色與藻類無關
3. 棘刺構造相同，應屬同種類



◎綠色棘刺型



◎深褐棘刺型



◎淺褐棘刺型



◎粉褐棘刺型



◎白色棘刺型

狀況1

圓形區域剩1隻  
(109/6)

辦法

擴大實驗區域  
3m\*3m  
(109/6-110/7)

延伸

保育區比較  
3m\*3m  
(109/8-110/7)

狀況2

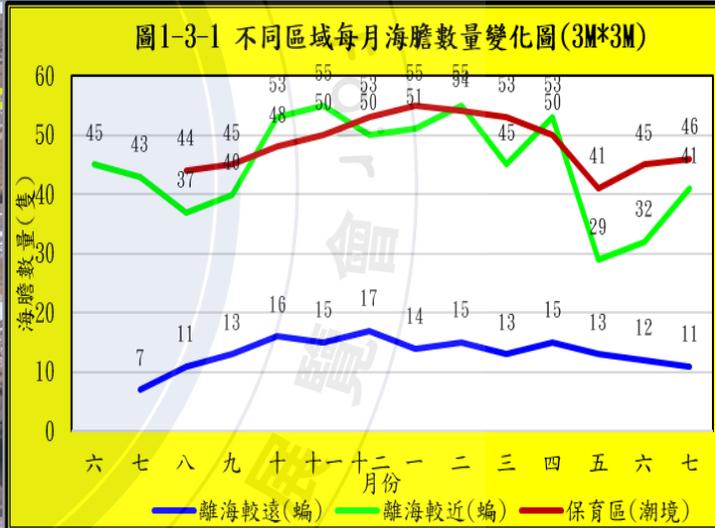
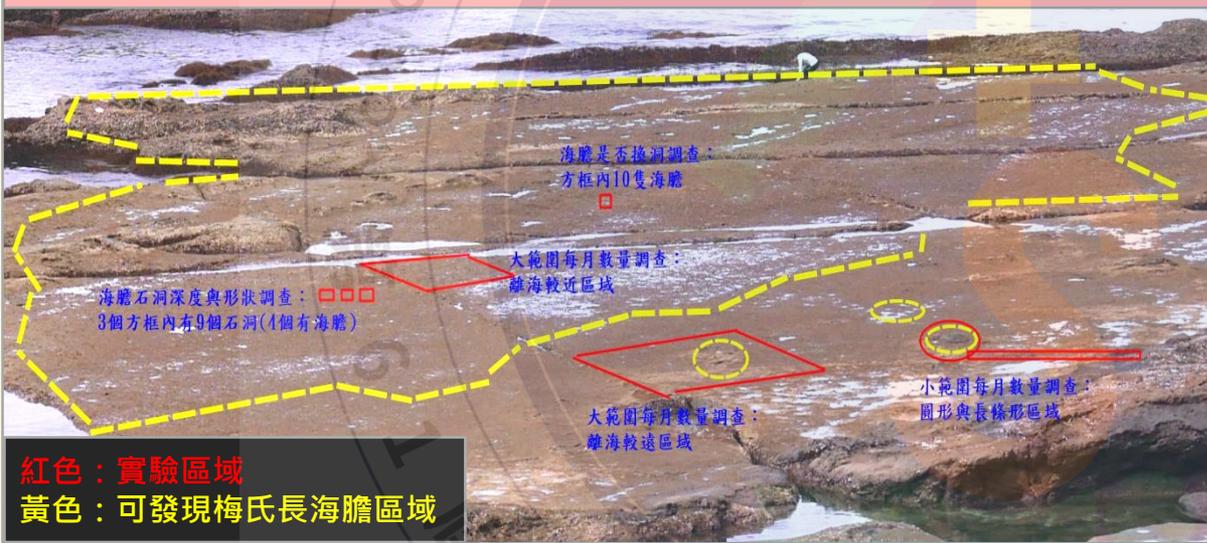
變少是死亡還是  
換位置？

辦法

發現可利用空殼  
數表示死亡數  
(109/6-110/7)

完成一整年  
的季節調查

☆ 東北角蝙蝠洞梅氏長海膽野外區域圖 調查期間：108/9-110/7(約23個月)



狀況3

個體太相似，造成  
辨識困擾

辦法

列出可辨識的參數：  
棘刺顏色、體殼形狀、棘  
刺觸感、棘刺細微紋路....

解決

製作辨識檢索表：  
深褐色梅氏長海膽與  
紫海膽

# 反應行為

## 實驗主題

### 碰觸棘刺

### 兩根棘刺

### 碰觸管足

### 生物互碰

### 光線反應

## 方法

1. 竹籤碰棘刺
2. 碰棘刺不同位置

1. 同時碰觸不同位置兩根棘刺，觀察反應

1. 碰觸伸展的管足，觀察反應

1. 海膽碰觸海膽，觀察兩者反應

1. 不同色光照色海膽，觀察反應

## 結果

1. 棘刺下壓，附近棘刺靠近、管足縮回，越靠近體殼，反應明顯

1. 棘刺可以分別進行防禦

1. 管足敏感，被碰觸就縮回
2. 主動碰觸則先縮一半再繼續探索

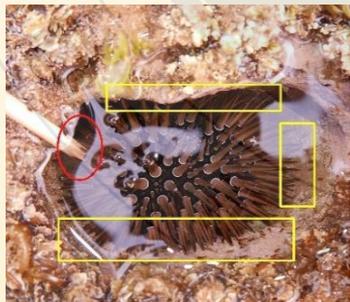
1. 海膽反應行為跟碰觸甚麼無關，而是看被碰觸者有沒有反應

1. 海膽對光非常畏懼，不管是白光、紅光或藍光

## 印證



◎ 棘刺靠攏防禦



◎ 棘刺分別防禦



◎ 管足敏感易斷



◎ 一個洞一隻海膽



◎ 狹長石洞遮光

# 石洞選擇-3D石洞(實驗結果)

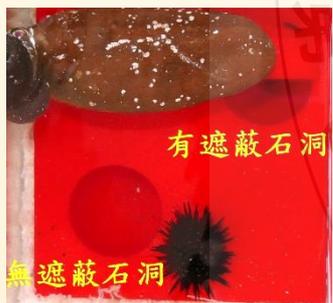


海膽會選擇大小適合的石洞居住

海膽並沒有特別選擇橢圓形石洞



海膽對有遮蔽石洞較喜愛



遮蔽

大小

形狀

梅氏長海膽

深淺

海膽不會住在太淺的石洞



狹長

內凹

海膽會選擇狹長型的石洞



海膽較喜歡有內凹石洞



# 石洞選擇-3D石洞(野外驗證)



大海膽住大的洞，小海膽住小的



梅氏長海膽也可以住在圓形石洞內



中間窄的石洞造成遮蔽效果



遮蔽

大小

形狀

梅氏長海膽

深淺

野外海膽很少棘刺  
裸露到洞口的



狹長

內凹

潮間帶很多海膽住在狹長石洞



海膽會往石洞單邊內挖



狀況1

立體且有刺的海膽體殼怎麼測量



直尺  
誤差大

改良

游標尺  
刺阻撓

改良

細線游標  
線不直

設計

雷射光游標尺  
3D列印支架

優點：

1. 海膽穩定不會受干擾
2. 特製3D列印洞口集中光束避免光擴散

狀況2

牠們會自己搬東西遮蔽嗎？

石頭經常換位置

故意把石頭換位置

海膽也換洞

3D搬石頭實驗

搬運

作法

發現

設計



原來如此

梅氏長海膽並不會像馬糞海膽一樣拿東西掩蔽或遮蔽自己，但鑽在石下挪動時，也帶動了石頭，當進到洞內，棘刺碰不到石頭，石頭自然在洞口。

# 石洞經營

## 實驗主題

是否挖洞

是否換洞

是否出洞

石洞經營

## 方法

1. 初期試驗
2. 石洞形狀量測
3. 石洞深度量測

1. 劃定長期追蹤的石洞與海膽
2. 石洞連線吻合演算法

1. 野外鑿一塊較大岩石，上面有海膽居住。
2. 24小時錄影

1. 測量棘刺再生與體殼成長
2. 量測野外石洞長、寬及洞深。

## 結果

1. 九個月野外測量，海膽主要經營深度，洞口形狀並沒有明顯改變。
2. 野外較大的石洞應該都是好幾年經營結果。

1. 可以好幾個月甚至幾年住在同一個洞。
2. 一旦離開，很難再回來。(離開應該是被迫—氣候、食物...)

1. 洞內的海膽可以好幾個月不出洞，最長記錄到120天。
2. 野外理想環境，牠們可能可以好幾年不出洞，僅到洞口攝食。

1. 棘刺再生快，體殼成長慢，讓牠們可以利用棘刺長短來適應石洞。
2. 長期經營下，海膽石洞都會趨向狹長型。

狀況1

如何確定海膽  
是否出洞？

是否換洞實驗僅能  
確定在同一洞



採石頭與海膽  
海膽不挖洞



有洞的岩石  
海膽住不久



鑿出有海膽的岩石

24小時錄影，120天沒出洞

狀況2

海膽真的是靠磨  
洞來適應石洞嗎

發現有些海膽棘  
刺切齊變短



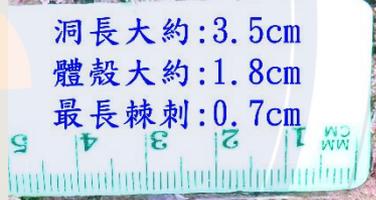
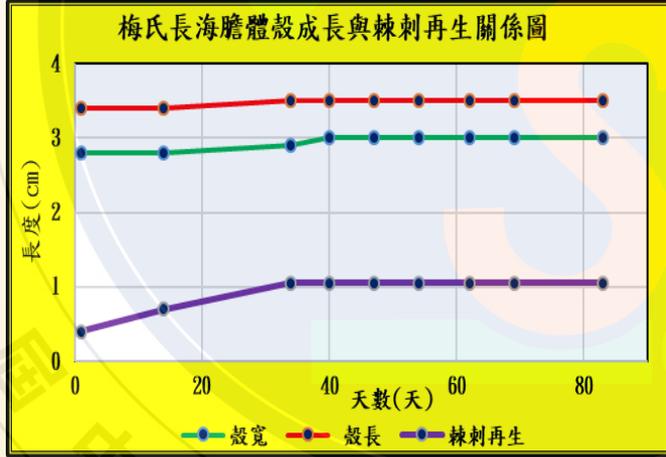
棘刺再生實驗  
再生速度快



體殼成長  
體殼成長慢



◎整片棘刺都整齊切短



◎空間小，刺磨短



◎空間大，刺長長



◎一邊刺長，一邊刺短

發現

被迫到了新洞：如何暫時適應新的石洞  
1.洞太大(長長棘刺)；2.洞太小(磨短棘刺)

### 狀況3

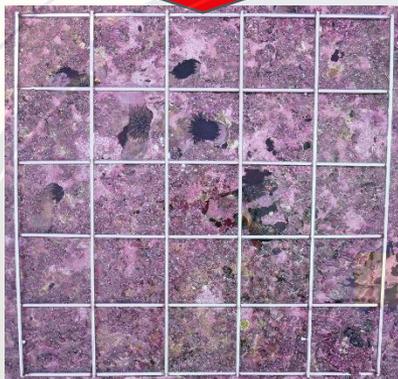
海膽洞多又相似，  
難以定位！

困難



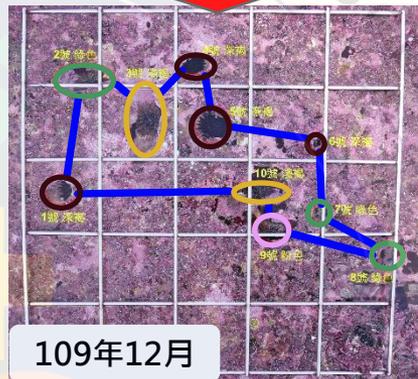
利用方框座標  
同一座標不只一個洞

嘗試



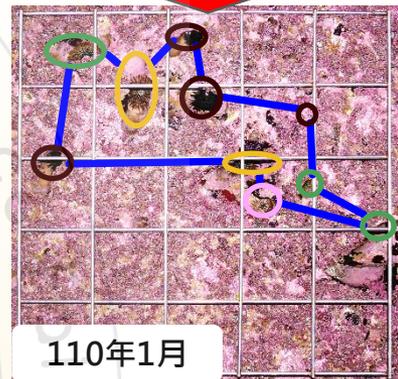
石洞連線吻合  
演算法

改良



藉由封閉圖形  
精準定位

驗證



### 狀況4

怎麼知道有在挖洞？

野外

野外量洞長、寬、深  
時間不夠、形狀不規則

室內

採集有海膽岩石  
24小時全天錄影

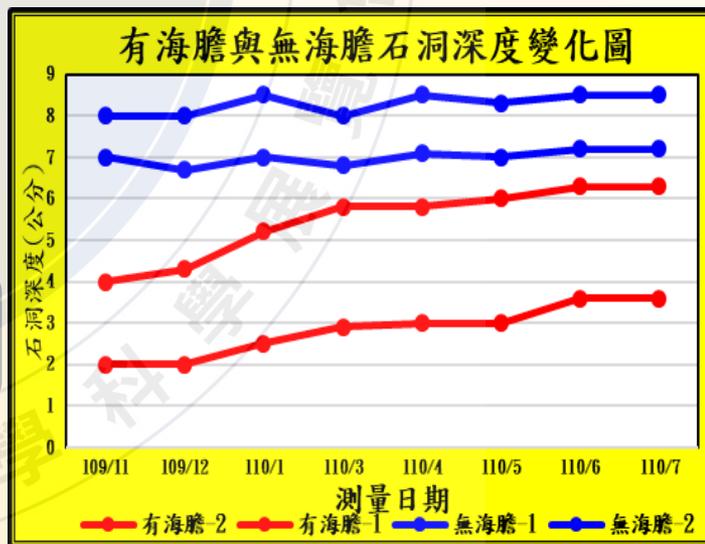
利用洞口形狀  
每月畫一次(11個月)

洞深量測  
體殼—洞口垂直距離

洞底部被挖平(120天)

沒經營洞口

挖深



# 結論

關於生物生態

穴居，整年都可見，低潮帶靠海。

關於反應行為

棘刺防禦、管足偵測、獨居、畏光。

關於石洞喜好

石洞大小適合海膽、深度能避免裸露、喜好內凹、遮蔽的石洞。

關於石洞經營

挖深—挖長—底部內凹—狹長形，但對於被迫離開再找到新石洞時，會先以再生速度快的棘刺來適應。

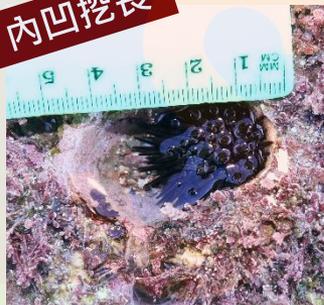
洞太淺



挖深



內凹挖長



再挖深



狹長形



## 參考資料及其他

- 一、李坤瑄·陳章波。1994。臺灣常見的棘皮動物。國立海洋生物博物館。
- 二、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。
- 三、陳揚文。2011。一個潮池的秘密。行人文化實驗室。
- 四、廖運志等。2015。潮汐的呼喚，探索北海岸潮間帶。交通部觀光局北海岸及觀音山國家風景區管理處。
- 五、施志昀·林家利·賴志威。2010。澎湖潮間帶無脊椎動物圖鑑。澎湖縣政府文化局。
- 六、網路資料(網路參考資料眾多，但多數是海膽基礎生物生態介紹)

延伸  
應用

1. 狹長石洞到底有何目的？
2. 探究梅氏長海膽挖洞與岩石損壞關係。
3. 海膽在石洞內可緊可鬆的原理，應用到生活中的懸掛系統。
4. 海洋鄉土教材的建構。