

中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 動物與醫學學科

佳作

052002

興奮吧！海兔 ！

學校名稱：國立宜蘭高級中學

作者： 高二 邱心妍 高二 陳沁妤	指導老師： 黃國修
---------------------------------	------------------

關鍵詞：海兔、防禦、記憶

摘要

我們主要研究眼斑海兔，以建構出一套完整的海兔防禦系統。實驗方向大致上有三：

- （一）基本防禦機制：藉由刺激牠的各個部位來觀察牠們不同的因應方式。最後我們發現，當我們刺激牠的頭部或尾部，牠會將頭尾縮進外套膜中形成球狀。而當我們刺激其背部，牠會進行縮腮反射，若繼續刺激，牠會噴出紫紅色液體禦敵。
- （二）海兔防禦的記憶行為：我們定時刺激海兔的頭部，紀錄海兔將頭完整縮進外套膜內所需的時間。最後發現，隨著刺激的次數增加，海兔將頭縮進外套膜內的時間拉長甚至不再反應，顯示海兔的防禦亦具有記憶效應。
- （三）墨腺與蛋白腺的作用：我們將海兔的混合液體滴入美國螯蝦身旁的水中，並觀察牠的活動狀態與食慾狀況。

壹、研究動機

去年十二月底，學校舉辦了「海洋環境教育種子研習營」，帶領許多學生踏上東北角那片美麗的土地。其中我們造訪了馬崗潮間帶，在海蝕平台上觀察豐富多元的潮間帶生物。走在平廣的海蝕平台上，我們可以發現不論在交錯的岩縫中、巨大的石頭底下或是平坦的岩石上，都有無數隻海兔的蹤跡。此季節東北角最氾濫的海兔品種無疑是染斑和眼斑海兔，當有人不小心侵犯到海兔，海兔會噴出紫紅色黏稠液體，甚至將內臟吐出來，做為基本防禦。我們開始對海兔的防禦系統產生好奇，想要藉由實驗設計更深入的探討其防禦機制。之後又陸續做了一些搜尋，看見了肯德爾的海蝸牛實驗，發現海兔擁有明顯的記憶能力，我們也想了解海兔的防禦是否具有記憶效應，而其產生的防禦物質對掠食者的影響。

貳、研究目的

- 一、藉由刺激海兔的不同部位，觀察海兔相對應的防禦機制。
- 二、藉由刺激海兔的不同部位，找出最容易啟動海兔噴墨防禦機制的部位。
- 三、觀察與紀錄眼斑海兔的防禦記憶。
- 四、眼斑海兔之墨腺與蛋白腺混合液體的基本性質及對掠食者的影響。

參、研究設備及器材



圖 1.塑膠方盒



圖 2.eppendorf

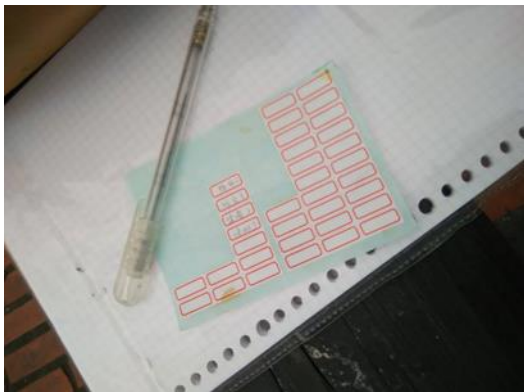


圖 3.標籤紙



圖 4.滴管



圖 5.方格紙



圖 6.50mL 量筒

肆、研究過程或方法

一、文獻

(一) 海兔

界：動物界

門：軟體動物門

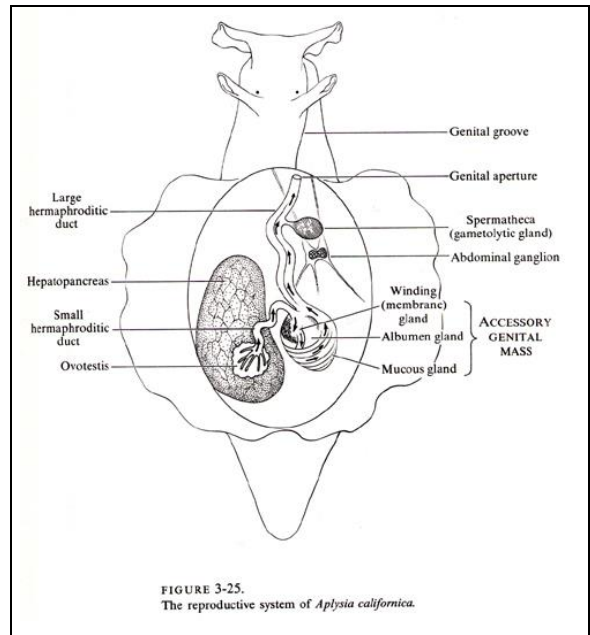
綱：腹足綱

目：無盾目

科：海兔科

屬：海兔螺屬

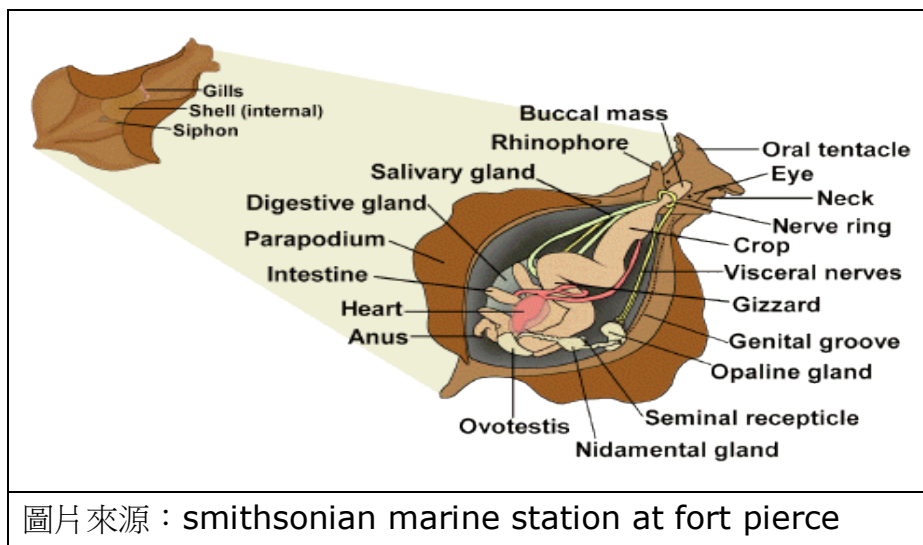
海兔是雌雄同體的生物，海底棲息，體裸露，雌雄兩個生殖孔間有卵精溝相連。它體內有兩種腺體，能分別分泌出帶有毒素和紫色的液體。



圖片來源：General anatomy of the reproductive system in *Aplysia*.

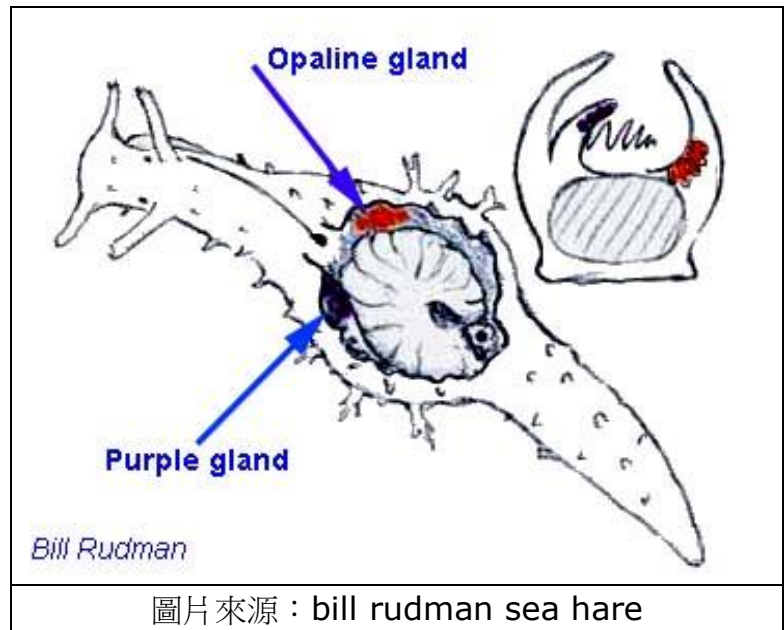
海兔喜歡在海水清澈、水流暢通、海藻叢生的環境中生活，以各種海藻為食。冬、春之際是海兔的主要繁殖季節，雌雄同體的海兔進行異體受精。產卵是在交尾過程中或分開幾小時後進行，產出的卵子，卵與卵之間相互以蛋白腺分泌的膠狀物，黏成細長如繩索狀一長條，有的可達幾百米，18 米長的卵帶含有 108000 個卵。海兔產卵甚多，但孵出的極少，因為都被其他動物吞食掉了。（資料來源：

<http://www.baik.com/wiki/%E6%B5%B7%E5%85%94http://baik.baidu.com/view/73947.htm>)



圖片來源：smithsonian marine station at fort pierce

(二) 腺體介紹



由墨腺(purple gland)和蛋白腺

圖片來源：bill rudman sea hare

(opaline gland)所噴出之混合汁液為賴氨酸中間產物及過氧化氫的混和物。文獻中提及此種混合液可能會影響敵人食慾、敵人視線、敵人的神經傳導，但缺乏進一步的實驗佐證。

(三) 眼斑海兔和染斑海兔

1. 眼斑海兔 *Aplysia Juliana*

身形約五到十公分，通常為黃色，頭部和體側面有許多大小相同的黑色眼形圈。在受刺激時會分泌出一種略具麻醉性的紫色體液以自衛。吃藻類，卵成串以膠質相連，形狀很像一團麵線。(資料來源
<http://www.nmmst.gov.tw/chhtml/newslistdet/43/1/172/37>)

2. 染斑海兔 *Aplysia juliana*

染斑海兔體長約為 2 到 4.5 公分，體色變異大，呈黃棕色至褐色，並分布有許多不規則的白斑或黑褐色斑紋。分布在全球溫暖水域，以石蓴屬的綠藻為食，一般出現在潮間帶到水深約 2 公尺的深度。屬夜行性，白天時喜藏於岩下或石縫中，受到干擾時會排出乳白色的汁液。

3.

品種 項目	斑點/ 斑紋	身體顏 色	背殼	吸盤 形態	外套膜 後端	背部 開☒	汁液顏 色
眼斑 海兔	像眼睛 的斑點	黃色	有	沒有	打開	緊縮	紫紅色
染斑 海兔	黑斑/白 斑/雲斑 /無斑	多變	有	尾部圓形	封閉	緊縮	藍白色



眼斑海兔

圖片出處：眼斑海兔-軟體動物門



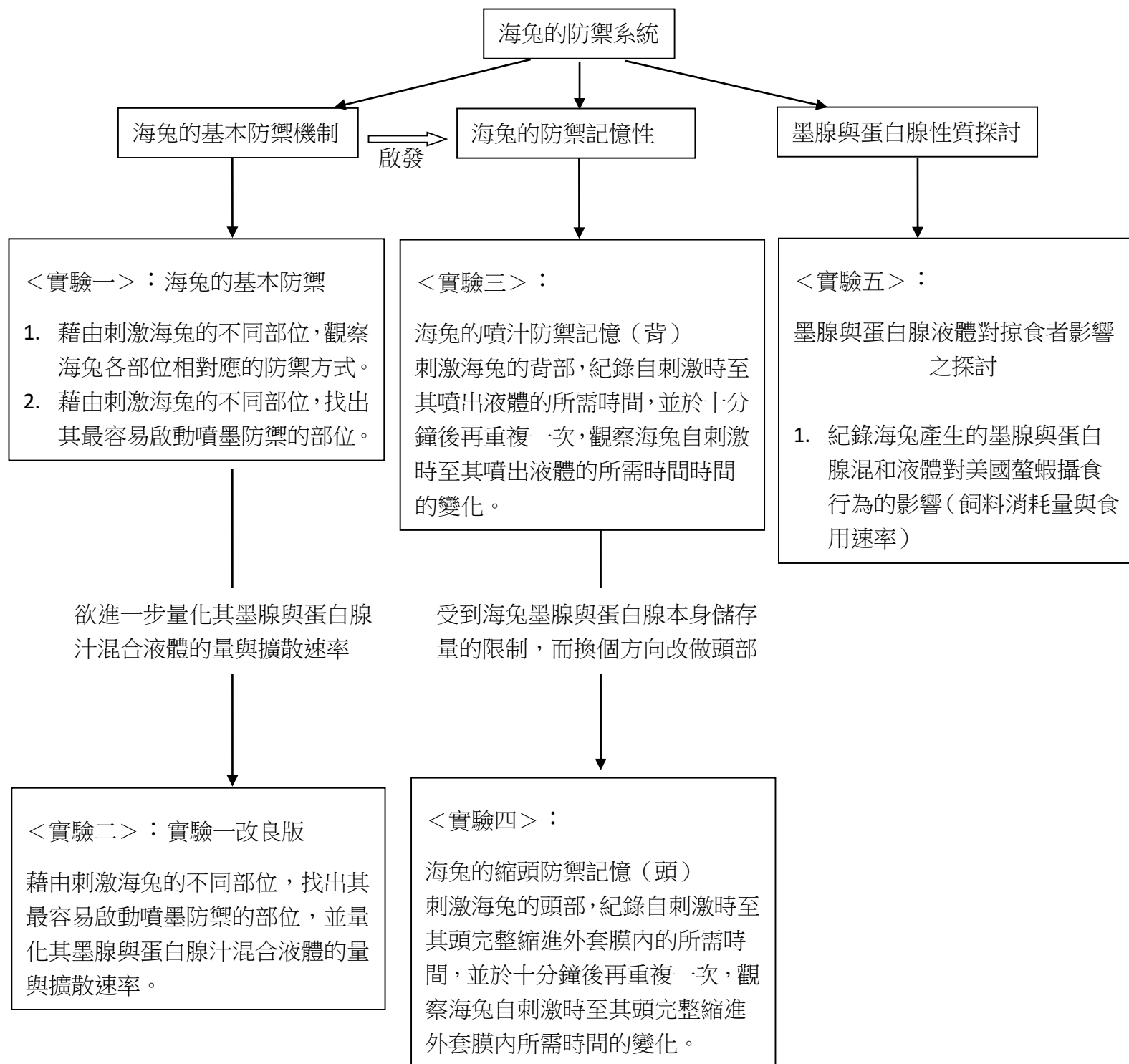
染斑海兔

圖片出處：染斑海兔@ 烈嶼觀察筆記:: 痞客邦 ::

4.海兔的記憶與學習

海兔的虹吸管一旦受到觸碰後會縮回鰓和虹吸管，作出防衛姿態。如果經過多次連續相同的刺激後，這種防衛姿態隨著刺激次數的增加而持續更久。控制縮鰓反應迴路系統主要由單突觸組成，它由一個感覺神經節和與它相連接的運動神經節所組成。目前，這個反射模型已被證實，並已採用人工模型完成了相關機理的研究，為研究記憶形成提供了一個理想的分析模型和奠定了良好的研究基礎。

二、總實驗流程圖



三、細部實驗過程方法

(一) 實驗一 <海兔的基本防禦>

1.實驗摘要：每秒以相同作用力分別刺激海兔的各個部位，觀察海兔不同部位對於外在刺激的反應，並且計算自開始刺激海兔至海兔噴出墨腺與蛋白腺的混合液體的所需時間。

2.實驗變因：

控制變因：施力力度（90-110g）

海兔的體型大小：約五至七公分

操縱變因：

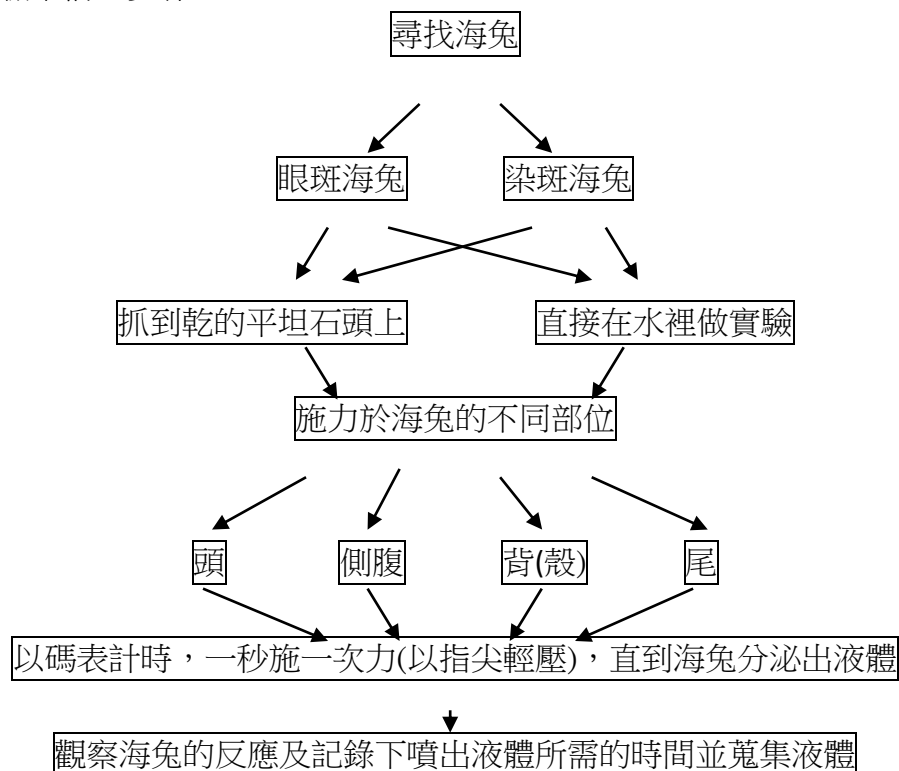
施力位置：頭部、側腹、背部、尾部

海兔品種：眼斑海兔、染斑海兔

實驗地點：水裡、平坦石面

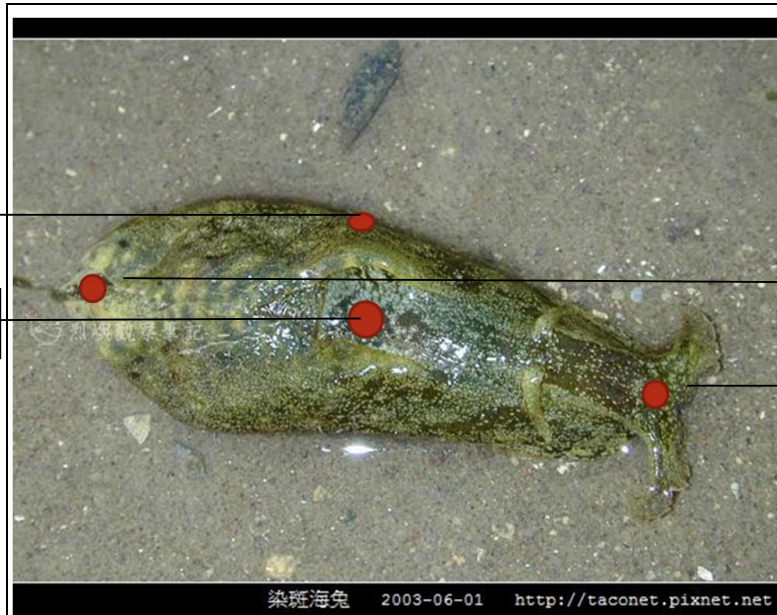
應變變因：自開始刺激眼斑海兔至海兔噴出墨腺與蛋白腺的混合液體的所需時間

3.實驗架構、步驟：



側腹：左側外套膜置中點

背部：退化殼



尾部：全身最尾端

頭部：兩觸角連線中點

圖 7.實驗一各施力於海兔部位位置

圖片來源：染斑海兔@ 烈嶼觀察筆記:: 痞客邦
PIXNET ::

(二) 實驗二 <實驗一改良版>

1.實驗摘要：做了實驗一後，我們想要進一步量化海兔噴出液體的量，所以將海兔移往鋪了方格紙且裝了水的盆子，想藉由紀錄液體的擴散速率，探討液體分泌量與海兔品種、作用時間是否具有關連性。

2.實驗變因：

控制變因：施力力度 (90-110g)

海兔的體型大小：約五至七公分

海兔安置地點：塑膠盆子裡

施力位置：背部

操縱變因：海兔品種 (染斑海兔、眼斑海兔)

應變變因：噴出液體所需的時間

3. 實驗架構、步驟：

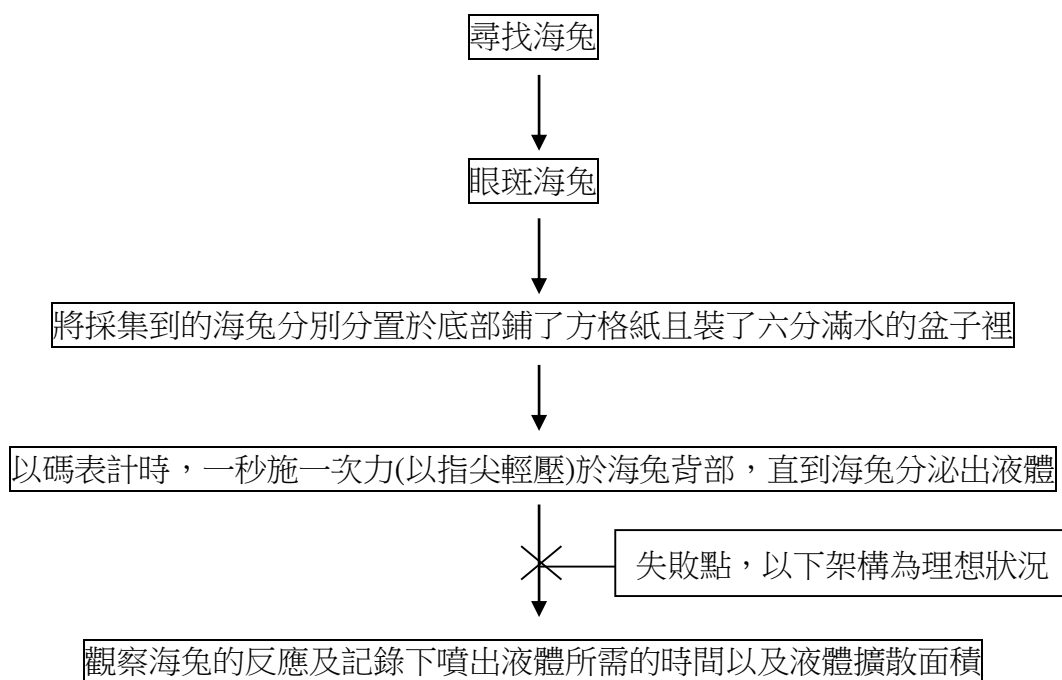


圖 8.每隻海兔以不同塑膠方盒放置

(三) 實驗三 <海兔的噴汁防禦記憶>

1.實驗摘要：每秒以相同作用力作用於海兔的背部，等到其噴汁時再等待十分鐘後繼續以相同作用力戳其背部，並計算自開始刺激至海兔噴出汁液所需的時間，期望觀察海兔的噴汁防禦記憶。

2.實驗變因：

控制變因：施力大小（90-110g）

海兔的體型大小：約五至七公分

施力位置（背部）

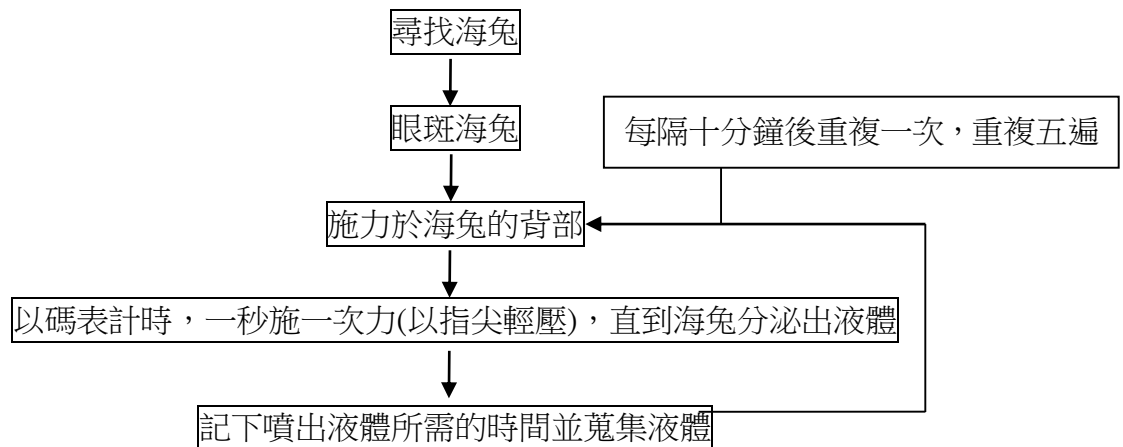
實驗地點（水裡）

海兔品種（眼斑海兔）

操縱變因：時間間隔（以十分鐘為一單位）

應變變因：各次噴出液體所需的時間

3.實驗架構、步驟：



（四）實驗四 <海兔的縮頭防禦記憶>

1.實驗摘要：每秒以相同作用力作用於海兔的頭部，等到其將頭縮進外套膜內之後，再等待五分鐘後繼續以相同作用力戳其頭部，並計算自開始刺激至海兔完整將頭縮進外套膜內所需的時間，期望觀察海兔的縮頭防禦反射。

2.實驗變因：

控制變因：施力大小

海兔的體型大小：約五至七公分

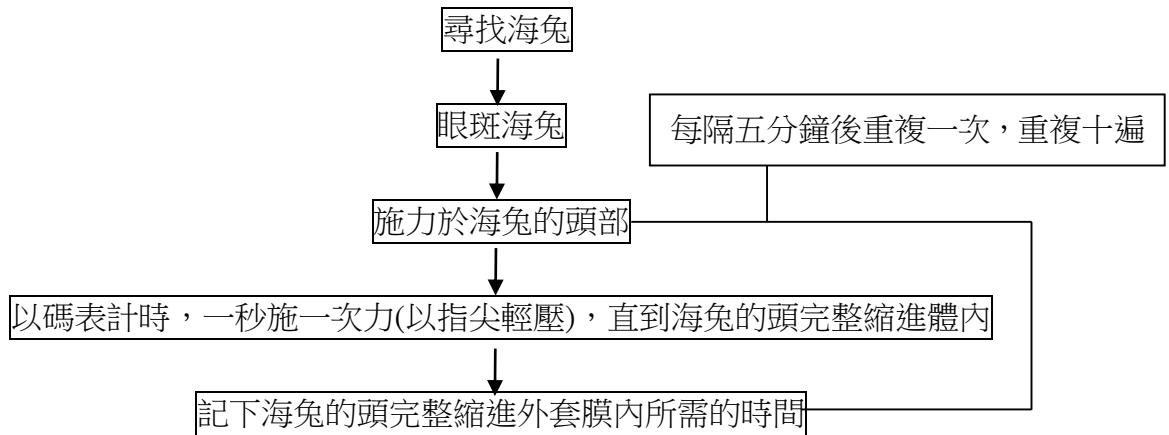
施力位置：頭部

實驗地點：水裡

操縱變因：時間間隔：以五分鐘為一單位

應變變因：頭部完整縮進外套膜內所需的時間

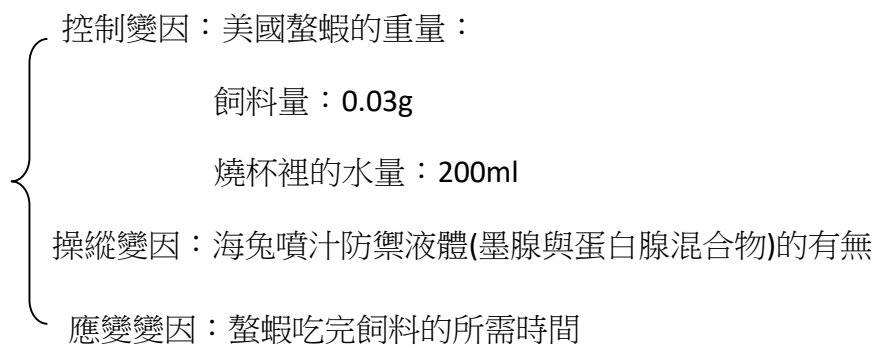
3.實驗架構、步驟：



(五) 實驗五 <墨腺與蛋白腺液體對掠食者影響之探討>

1.實驗摘要：參考文獻提及，海兔的墨腺與蛋白腺可能具有干擾敵人視線、降低敵人食慾以及麻痺敵人神經之功能，卻沒有看到任何證明此混合液體真有這些功能的資料。我們將海兔的混合液體滴入美國螯蝦身旁的水中，並觀察牠的活動狀態與食慾狀況，最後發現墨腺與蛋白腺確實能夠降低敵人食慾。

2. 實驗變因：



3.實驗架構、步驟：

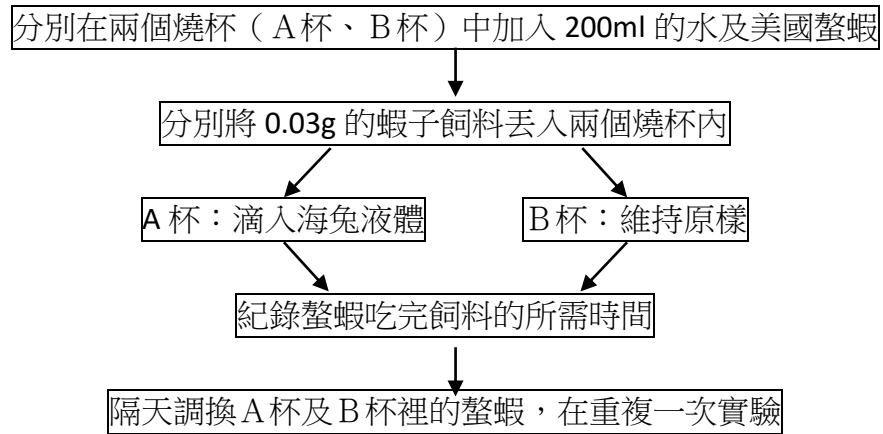


圖 9.在 A 杯及 B 杯內放入螯蝦，而 A 杯又加入海兔液體

伍、研究結果

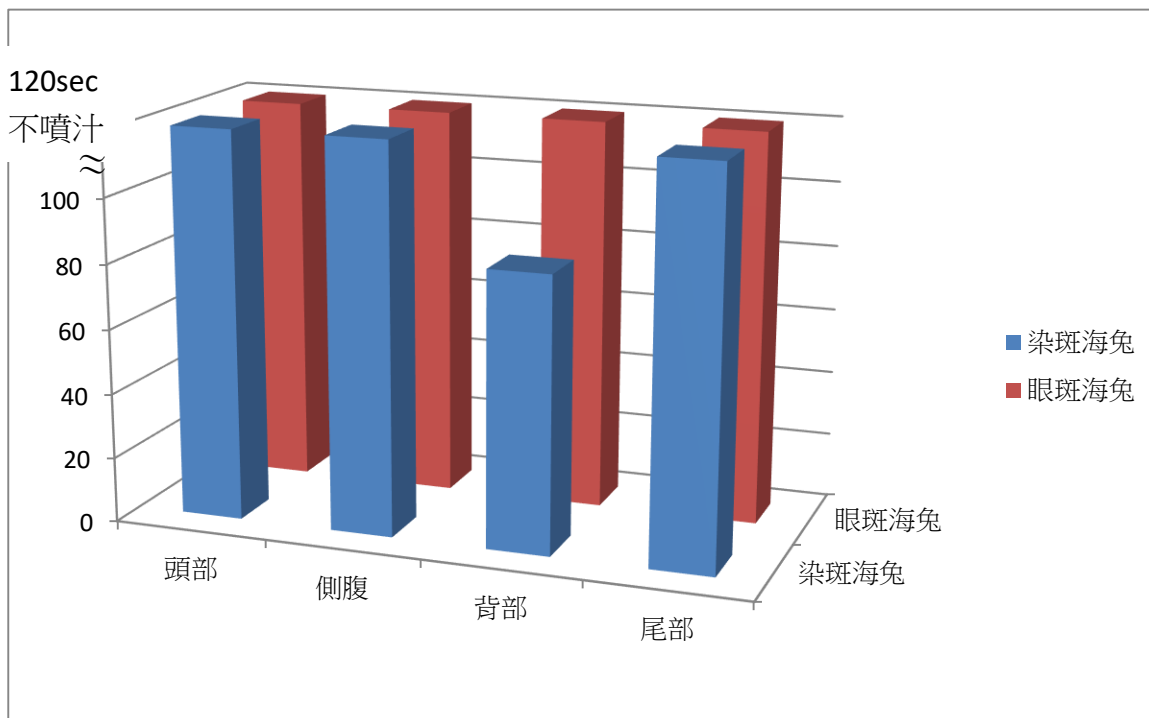
一、實驗一 <海兔的基本防禦>

(一) 數據：

1.離水版：

<離水版>表一、染斑海兔與眼斑海兔之各部位自刺激至噴汁防禦的所需時間統計表

環境	部位	染斑海兔防禦行為	噴汁防禦	眼斑海兔防禦行為	噴汁防禦
離水	頭	縮頭	>>2min 仍不噴汁	縮頭	>>2min 仍不噴汁
	側腹	沒有反應	>>2min 仍不噴汁	沒有反應	>>2min 仍不噴汁
	背(殼)	噴汁防禦	85sec 噴汁	沒有反應	>>2min 仍不噴汁
	尾	縮尾	>>2min 仍不噴汁	縮尾	>>2min 仍不噴汁

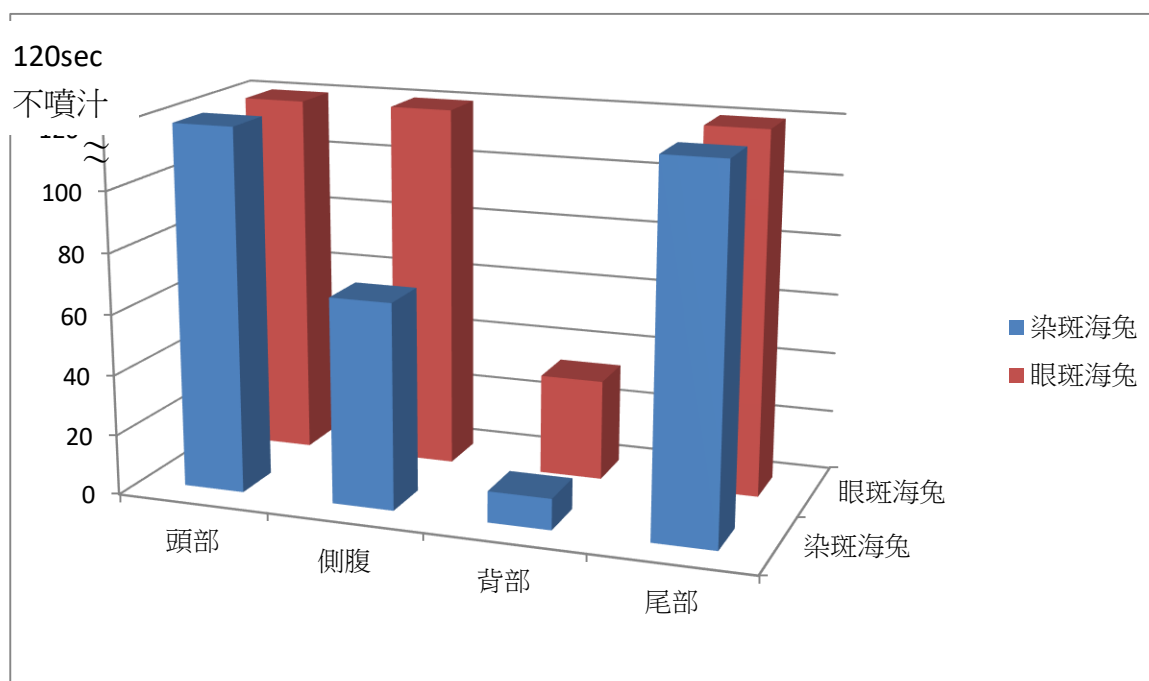


<離水版>染斑海兔與眼斑海兔之各部位自刺激至噴汁的所需時間統計圖
(x 軸:眼斑與染斑海兔，y 軸:施力於各部位，z 軸:分泌出液體所需時間)

2.水裡版：

＜水裡版＞染斑海兔與眼斑海兔之各部位自刺激至噴汁的所需時間統計表

環境	部位	染斑海兔防禦行為	噴汁防禦	眼斑海兔防禦行為	噴汁防禦
離水	頭	縮頭	>>2min 仍不噴汁	縮頭	>>2min 仍不噴汁
	側腹	沒有反應	68 sec	沒有反應	>>2min 仍不噴汁
	背(殼)	噴汁防禦	10.3 sec	噴汁防禦	33.7 sec
	尾	縮尾	>>2min 仍不噴汁	縮尾	>>2min 仍不噴汁



＜水裡版＞染斑海兔與眼斑海兔之各部位自刺激至噴汁的所需時間統計圖

(x 軸:眼斑與染斑海兔，y 軸:施力於各部位，z 軸:分泌出液體所需時間)

(二) 結果：

1.海兔各個部位的防禦機制：

(1)頭部：當指頭碰觸到海兔的頭部，海兔便會將頭往內縮，大約十秒後整顆頭會被兩片外套膜包覆住。此時尾部也會開始往內縮，約三十秒後完整縮進外套膜內，形成一個球狀物。

(2)側腹：無明顯的反應。

(3)背部：當刺激海兔背部時，原本稍微打開、隨水波擺動的兩片外套膜會迅速闔起，緊緊包覆住其體腔，做第一層的物理防護。若繼續刺激，則會啟動其噴墨防禦。

(4)尾部： 狀況與刺激頭部時的反應雷同，只是要讓頭與尾均縮進外套膜中而成一顆球狀體的所需時間較刺激頭部時長。

2.比較：開始施力至噴汁所需的時間

(1)眼斑 > 染斑

(2)背部 << 其他部位

(3)岸上 > 水裡

3.最敏感的部位：難已比較，因為每個部位海兔所做出的防禦方式都不太一樣。但是就實驗表觀看來，對於噴墨防禦，海兔的背部最為敏感。



眼斑海兔噴出混合液體



染斑海兔噴出混合液體



眼斑海兔縮成球狀



染斑海兔縮成球狀

二、實驗二 <實驗一改良版>

(一) 實驗數據：無

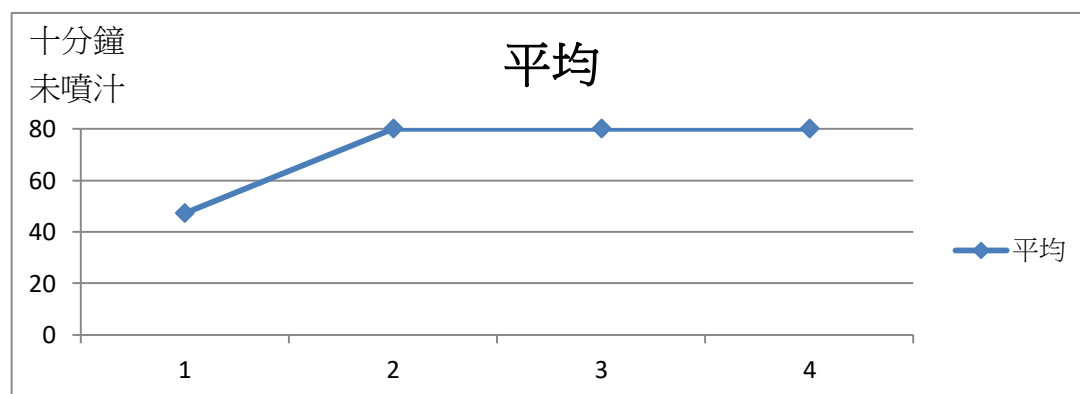
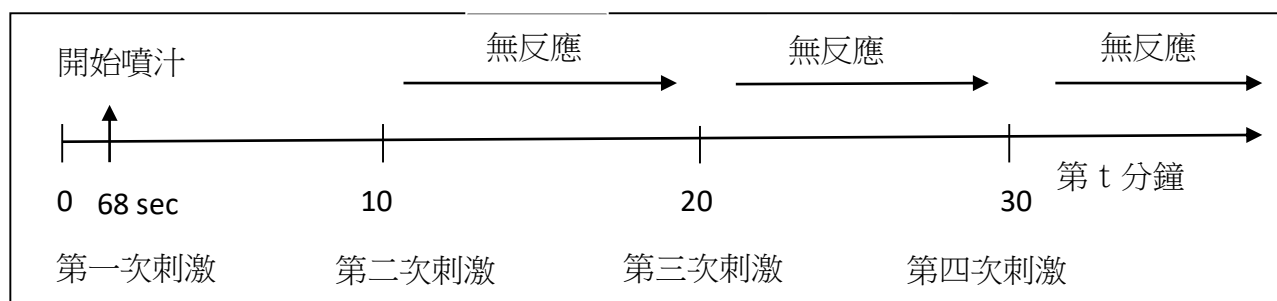
(二) 實驗結果：持續施力五分鐘，仍未噴汁，也未有欲噴汁之現象。且海兔一直想往盆子邊緣爬，尾部又無法附著於平滑的方格紙上，難以施力，實驗失敗。

三、實驗三 <海兔的噴汁防禦記憶>

(一) 實驗數據：

<刺激使眼斑海兔分泌出液體而觀察其記憶性之統計表>

眼紋海兔 重複次數	編號 1	編號 2	編號 3	編號 4	平均
第一次 (0min)	68 sec	50 sec	25 sec	46 sec	47.25 sec
第二次 (10min)	十分鐘後仍未噴汁	十分鐘後仍未噴汁	十分鐘後仍未噴汁	十分鐘後仍未噴汁	X
第三次 (20min)	X	X	X	X	X
第四次 (30min)	X	X	X	X	X



<刺激使眼斑海兔噴汁防禦記憶性之統計平均圖>

(縱軸：第 t 次刺激，橫軸：自刺激海兔至海兔分泌液體所需秒數)

(二) 實驗結果：第一次自開始刺激海兔至海兔噴汁的所需時間平均為 47.25 秒，接下來重複一遍同樣動作，刺激了十分鐘皆仍未噴汁。

四、實驗四 <海兔的縮頭防禦記憶>

(一) 實驗數據：

<每隔五分鐘刺激眼斑海兔至縮成球狀所需時間(以秒為單位)統計表>

海兔編號 時間	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
第一次(0 min.)	2	2	1	2	3	4	7	5	2	4	3	2	4
第二次(5 min.)	4	3	4	5	6	4	5	6	3	3	6	3	5
第三次(10 min.)	3	4	3	X	4	3	27	8	5	6	12	4	4
第四次(15 min.)	6	3	5	X	X	X	9	7	5	21	13	6	5
第五次(20 min.)	10	4	6	X	3	4	16	7	5	△	11	6	9
第六次(25 min.)	5	3	8	X	X	X	11	8	6	△	10	6	7
第七次(30 min.)	8	X	5	X	X	X	△	14	5	△	8	7	7
第八次(35 min.)	12	X	11	X	X	X	△	12	8	△	14	11	7
第九次(40 min.)	6	X	7	X	X	X	△	13	8	△	10	11	9
第十次(45 min.)	11	X	9	X	X	X	△	8	7	△	11	15	12
第十一次(50 min.)	10	X	6	X	X	X	△	15	17	△	△	14	15
第十二次(55 min.)	36	X	9	X	X	X	△	11	43	△	△	15	13
第十三次(60 min.)	46	X	13	X	X	X	△	10	12	△	△	21	54
第十四次(65 min.)	△	X	59	X	X	X	△	21	△	△	△	43	△
第十五次(70 min.)	△	X	△	X	X	X	△	10	△	△	△	△	△

* 註解 1 :

△：持續刺激五分鐘，仍未有欲縮頭之跡象。代表已無反應。

X：因某些原因而無數據。

編號 B：較無生命力(貌似剛交配完 or 正要產卵)，第 25 分時，便持續維持縮頭防禦，無法繼續實驗。

編號 D、E、F：剛交配完，一分開就被拿來當作實驗對象。較不具有活力，不爬行，持續留在原位置，大約過半小時後，身體就持續維持球狀，無法繼續實驗。

編號 G：第 25 至 30 分的實驗等待途中，海兔爬到了石縫中，無法刺激到其頭部。於是我們將牠抓起，移至地勢較平坦處(遠離石縫)，卻發現之後怎麼刺激都無反應。

編號 J：第 15 至 20 分的實驗等待途中，海兔爬到了石縫中，無法刺激到其頭部。於是我們將牠抓起，移至地勢較平坦處(遠離石縫)，卻發現之後怎麼刺激都無反應。

*註解 2：除了 B、D、E、F 這四隻樣本外，其餘的實驗對象均選擇活動力良好，於水中不斷爬行的海兔做為實驗對象。

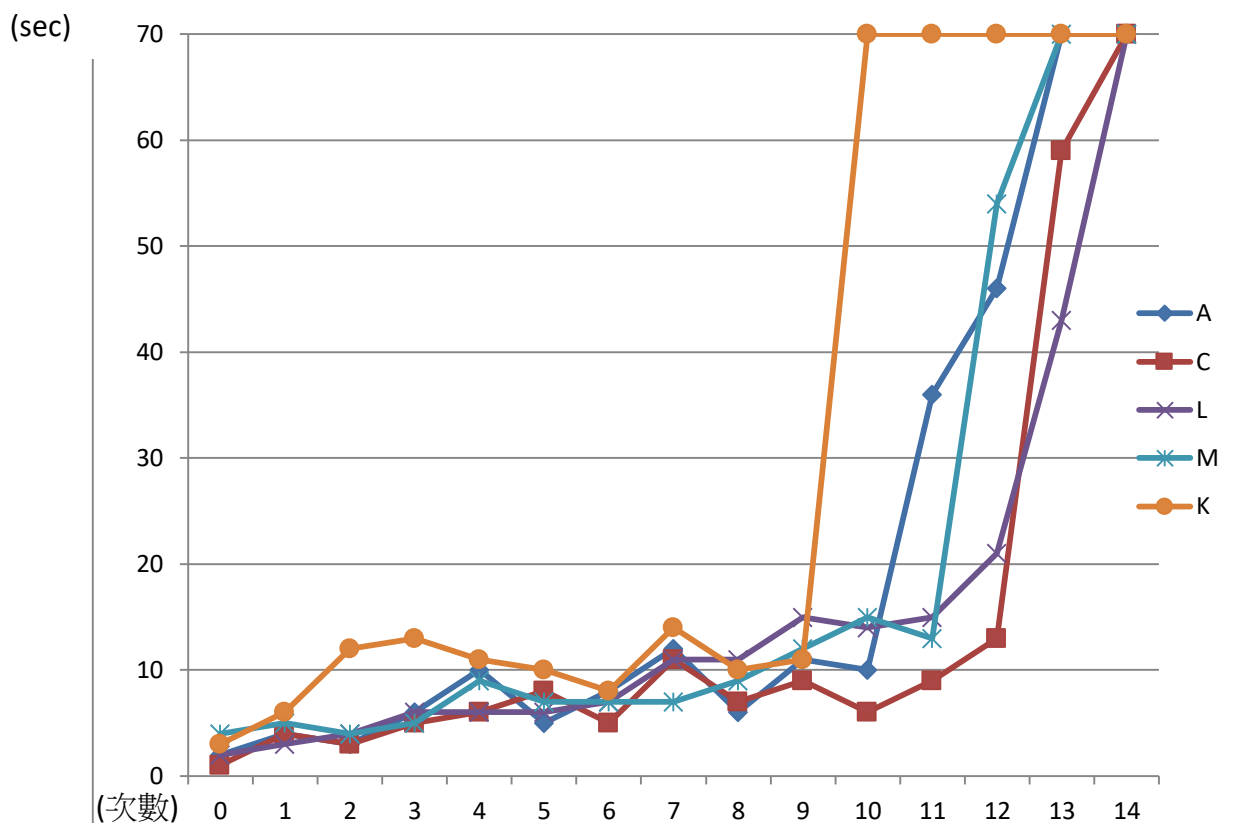
(二) 實驗結果：

1. 整體看來，海兔經過多次刺激後，自刺激頭部到海兔將頭縮進外套膜的時間會漸漸變長，最後不再抗拒外力，對外力視若無睹，彷彿知道我們在唬牠，不再浪費體力抵抗，繼續走它自己的路。
2. 編號 J、G 於實驗過程中，被強烈的外力刺激(從岩縫中被拉出來，抓到另一處)。從結果可以很明顯的看到，牠們之後均不再掙扎抵抗外力，比其他海兔更快產生記憶行為。
3. 編號 D、E、F、(B)為剛交配完的海兔，原本就死氣沉沉了，經過刺激後的反應也無其他海兔激烈，甚至最後直接整個縮成球狀，躺在原地當石頭，完全不理外在刺激。

(三) 結果以以下折線圖呈現 (僅取未交配而使數據正常的成果)：

(橫軸：第 t 次刺激時，各次刺激中間間隔 5 分鐘。

縱軸：自刺激海兔至海兔的頭完整進外套膜的所需秒數)



行動正常的眼斑海兔之結果折線圖

(橫軸：第 t 次刺激，每次刺激中間間隔 5 分鐘。

縱軸：自刺激海兔至海兔的頭完整進外套膜的所需秒數)



縮成球狀之眼斑海兔



伸展開之眼斑海兔

五、實驗五 <墨腺與蛋白腺液體對掠食者影響之探討>

1. 墨腺與蛋白腺分泌液體的 pH 值：

	樣品一	樣品二	樣品三	樣品四	樣品五	樣品六	平均	海水
pH 值	6.75	6.59	6.43	6.82	6.44	6.90	6.655	8.45

2. 活動力下降：當我們把海兔墨腺及蛋白腺的混合物倒入裝有螯蝦的燒杯中，濃稠的混合液於水中緩慢擴散，而螯蝦一開始會快速擺動泳足，並於杯內四處亂竄，焦躁不安。之後當混合液觸及螯蝦身軀，海兔混合液會纏住並附著於螯蝦的泳足及螯，使之行動力下降。
3. 食慾：目前仍在觀察階段。

陸、討論

一、實驗一 <海兔的基本防禦>

(一) 討論：對海兔刺激不同部位的防禦機制觀察、離水環境與水中環境的防禦差異

- 1.當指頭碰觸到海兔的頭部，海兔便會將頭往內縮，大約十秒後整顆頭會被兩片外套膜包覆住。此時尾部也會開始往內縮，約三十秒後完整縮進外套膜內，形成一個球狀物。沒有了尾部類似吸盤的構造附著於岩石面，海兔容易隨水波滾動，進行較大規模的位移，推測是為了能夠更快速的遠離敵人。
- 2.背部為最容易啟動墨腺與蛋白腺的部位。由於我們是按壓海兔背上的殼，而殼的主要功能是為了保護殼底下的內臟，所以當我們直接驚擾威脅到海兔的內臟，墨腺及蛋白腺將立即被啟動，保護自己重要的內臟。
- 3.刺激尾部時狀況與刺激頭部時的反應雷同，只是要讓頭與尾均縮進外套膜中而成一顆球狀體的所需時間較刺激頭部時長。最可能的原因是頭部的神經分布較尾部多且密集(可參考文獻裡的海兔神經分布圖)，能迅速感應敵人對牠的威脅進而趕緊將身體縮進外套膜中保護自己。
- 4.離水進行實驗的海兔相較於在水裡看到海兔便就地實驗的海兔更不容易噴汁，或者說幾乎都不進行噴墨防禦。我們一開始設想的原因是，海兔要在海水裡才會噴汁，畢竟牠的原生環境就是在水中，機能與活性相較良好。但是做了實驗二後我們才發現不盡然如此。

二、實驗二 <實驗一改良版>

(一) 討論：實驗設計的改良

從實驗一我們就可得知，海兔離開水面後靜置一陣子後就難以分泌液體，所以我們這次特地在盆子裡加了足夠的海水。但是沒想到，海兔仍然不噴汁。可見海兔噴不噴汁與身旁水的有無太大的關聯，導致海兔不噴汁的因素需進一步探討。另外，我們發現此時觸碰牠的頭或尾時，牠竟然不像實驗一裡的水裡版海兔，將頭馬上縮進外套膜內，反而很悠哉，繼續自由自在地在盆子內爬行。

（二）發現新問題：

此時海兔的不反應似乎與四周有無水無關，而不縮頭這個反應看似是反應遲緩，實際上卻比較像是牠不再害怕我們。這時我們想到了肯德爾(Eric Kandel)的海蝸牛實驗(資料來源：

http://www.hf123.com/2000_nobel_physiology_medicine_shellless_snails_contribute_great_merit.htm)：肯德爾以電擊刺激海兔的突觸，觀察突觸的電位變化及海兔的整體反應，發現海兔一開始的抗拒反應最激烈，但到最後卻仿若習慣了，不再強烈抵抗。或許導致實驗一離水版海兔大都不噴汁的原因，並不是四周水的有無，而是一開始有沒有「抓」的動作。或許在我們將牠從水裡撈起，移至他處時，便已啟動他的記憶機制，所以就算我們在盆內加了水，海兔仍然不噴汁。海兔擁有特別的記憶能力，這也讓我們興起了另一項有關防禦記憶性的實驗。

三、實驗三 <海兔的噴汁防禦記憶>

（一）討論：海兔的噴汁防禦記憶

我們原本預期，自開始刺激海兔至海兔噴汁的所需時間會隨著重複刺激次數愈多而有增加的趨勢，進而印證海兔會慢慢習慣外在刺激，認知到此外力實際上並不會對自身生命產生威脅，不再分泌液體抵抗。但是此項實驗結果卻不如預期，第一次按壓海兔背部時，海兔會分泌液體驅敵，但十分鐘後重複同樣步驟時，海兔就不噴汁了。最有可能的原因是，墨腺與蛋白腺所分泌的液體噴完了，沒得噴了，新的液體也還來不及合成完成，所以無法再次進行噴墨防禦。之後查詢海兔構造圖中的器官大小，發現墨腺與蛋白腺的尺寸確實不大，似乎只能夠容下一次性的液體量，與實驗結果十分吻合。

（二）實驗改良：

礙於海兔腺體容量，我們無法觀察海兔的噴汁記憶行為。於是我們決定換條路走，改為刺激海兔的頭或尾部，看要刺激幾秒牠才會把頭縮進外套膜中，變為球狀。如此一來我們就不會受到腺體本身儲存量的限制了。

四、實驗四 <海兔的縮頭防禦記憶>

(一) 討論-海兔的縮頭防禦記憶

1.海兔的記憶行為真的非常明顯，藉由約一個小時內持續刺激就能看出個所以然。

一開始刺激牠時，牠的頭會迅速向內縮，最後覆蓋於外套膜中，抵禦威脅。可是我們會慢慢發現，牠縮頭的所需時間增加了，也就是不那麼敏捷的想要避開外力。大約到了第十次（55 秒）後，海兔縮頭的所需時間會突然急速飆升，從原本緩和的上升趨勢轉為高斜率的爬坡連續數值，而約一小時過後牠便不會再將頭縮進外套膜內。不管我們怎戳，牠都不會縮頭，還會用頭一直頂我們的手指，或者直接無視刺激繞道而行，彷彿正不耐煩地跟我們說：「哼！我知道你又在唬我了！你根本對我的生命不會造成威脅，少煩我了！走開！」

2.剛交配完的海兔比起其他一般海兔更顯無力，甚至在防禦方面也較被動。或許是交配途中用盡了體力，最後沒力再做抵抗。當進行到第三次刺激時，海兔便索性將頭一直縮在外套膜內，直接躺在原地不動。

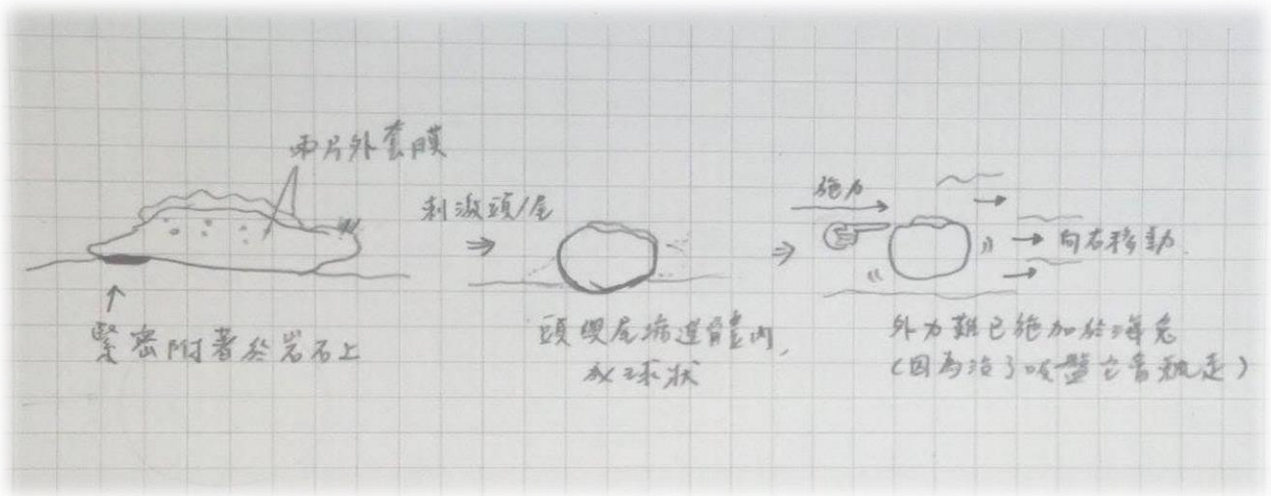
五、實驗五 <墨腺與蛋白腺液體對掠食者影響之探討>

1.馬崗潮間帶的海水 pH 值為 8.45，呈現鹼性，而我們所採樣的眼斑海兔墨腺與蛋白腺汁混合液體 pH 值平均為 6.655，呈現弱酸偏中性。但因為採樣誤差，所蒐集的混合液中多多少少會摻雜些許的海水，所以我們推測海兔的墨腺與蛋白腺混合液的實際酸鹼度會略小於 pH6.655，也就是更酸一些。

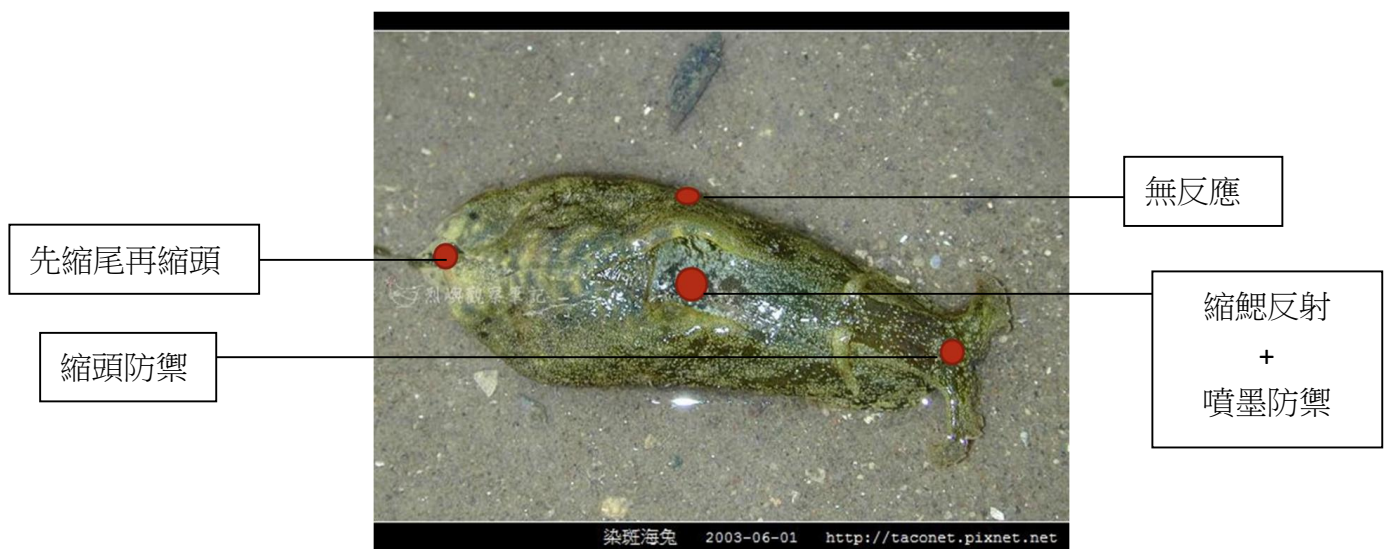
2.蛋白腺及墨腺的混合液非常黏稠，我們可以直接觀察到其液體纏住蝦子的泳足及鰓，限制了蝦子的活動力，以降低敵人對海兔的威脅。

柒、結論

一、海兔的基本防禦機制：



- (一) 當敵人攻擊海兔的頭部或是尾部時，頭部與尾部會縮進兩片外套膜中，最後縮成一顆球體狀。作用有三：緊密保護頭部與內臟、讓外力難以施加於個體上、隨流水滾動，遠離敵人。
- (二) 當刺激海兔背部時，原本稍微打開、隨水波擺動的兩片外套膜會迅速闔起，緊緊包覆住其體腔，做第一層的物理防護。
- (三) 比起刺激海兔的頭部、側腹與尾部，當敵人直接攻擊海兔的背部，海兔將更容易分泌出墨腺與蛋白腺的混合物，保護自己。



二、海兔的防禦記憶性：

我們可以很明顯的看到，隨著刺激時段的增加，海兔將越不容易把頭快速縮進外套膜內，顯見其縮頭防禦具有記憶性。

三、墨腺與蛋白腺液體對掠食者的影響：

海兔所分泌的黏稠液體能夠纏住敵人的身子，降低敵人的行動力。

四、未來方向

- （一）希望能夠有足夠的資格、實力和設備，自己養海兔，不僅能降低車馬費，還能提高實驗效率，做近距離及長時間的觀察，提高能夠做的實驗的廣度，讓研究更方便。
- （二）關於記憶，我們得出了牠們產生記憶時對於縮頭所需時間的變化，但是並沒有去進一步紀錄此記憶可持續多長一段時間。所以我們想要探討，此記憶可以停留多長一段時間，多久後牠又會開始把頭縮進去。
- （三）蛋白腺與墨腺的作用是否有物種針對性？會不會對自己、同種、或是其他種的海兔產生影響？
- （四）擴展方向，探討眼斑海兔 vs 眼斑海兔、眼紋海兔 vs 他種海兔、海兔 vs 其他潮間帶生物、海兔 vs 整個環境系統的交互關係。
- （五）更加深入了解蛋白腺與墨腺對掠食者的影響。

捌、參考資料及其他

染斑海兔@ 烈嶼觀察筆記:: 痞客邦 PIXNET ::

<http://taconet.pixnet.net/blog/post/30842534-%E6%9F%93%E6%96%91%E6%B5%B7%E5%85%94>

潮間帶的過客----海兔的觀察與研究

海蛞蝓資源網

<http://seaslug.nmmba.gov.tw/editorials/index/15>

海兔-互動百科

<http://www.baike.com/wiki/%E6%B5%B7%E5%85%94>

肯德爾(Eric Kandel)的海蝸牛實驗

<http://blog.udn.com/yiter1968/4123291>

海兔中樞神經系統多肽調控作用研究進展

http://www.marinejournal.cn/hyqx/ch/reader/create_pdf.aspx?file_no=20070819

眼斑海兔-百度百科

<http://baike.baidu.com/view/12747127.htm>

國立海洋科技博物館-海洋學習站-海洋探險隊-潮間帶生物小圖鑑

<http://www.nmmst.gov.tw/chhtml/newslistdet/43/1/172/37>

海兔-中文百科在線

http://www.zwbk.org/zh-tw/Lemma_Show/456628.aspx

【評語】 052002

作者研究海兔受到刺激時的噴汁與縮頭反應。經多次實驗，得到結論，知道在多次刺激之後海兔不再產生反應。作者多次去到潮間帶作研究，並隨著實驗的進展得到新的假說，相當難得可貴。只可惜得到的結果與預期類似，較無驚艷之感。