

# 第二十屆旺宏科學獎

## 成果報告書

參賽編號：SA20-528

作品名稱：能研扇變——黑殼蝦體色變化機制初探

姓名：王思涵

關鍵字：黑殼蝦、尾扇、色素細胞

## 摘要

美麗的黑殼蝦不僅是聞名國際的觀賞蝦，其千變萬化的色彩也使我们深深著迷，我們想探討黑殼蝦體色變化的機制。首先我們改變外在環境，發現不同波長光、背景顏色和環境酸鹼值都能對色素細胞有不同程度的影響，進而導致黑殼蝦體色變化以適應環境。接著我們模擬神經系統與內分泌系統的調節機制，發現激素能夠影響黑殼蝦的體色變化。我們了解當外界環境改變刺激，黑殼蝦以內分泌系統調控肌細胞收縮，進一步拉張色素細胞，不同色素細胞之間的相對形變組合改變蝦的體色，使黑殼蝦對環境變化做出適應能力。這結果不僅使我們了解黑殼蝦變色的機制，也能應用在養殖蝦產業，利用養殖環境變化改變體色，對黑殼蝦的體色增豔與維持有所實質助益。未來希望與AI結合，打造智能辨色選蝦系統，縮短傳統人工選蝦時間，幫助台灣觀賞蝦產業升級。

## 壹、研究動機

### 一、研究動機

高一參訪養蝦場時，我們認識了「黑殼蝦」，牠們原是臺灣溪流中的原生種，國人利用選拔育種的人擇方式，培育出許多色彩繽紛與花紋艷麗的品種，並屢屢在國際觀賞蝦競賽中奪得佳績，這些美麗的色彩使我們深深感到著迷。

根據水族類商業同業公會統計，全世界每十隻觀賞蝦，就有六隻來自臺灣，其中又以「黑殼蝦」在國際間最為聞名，故黑殼蝦可算是另類的「臺灣之光」。

出於好奇心，我們進一步詢問業者與自行收集資料後，發現有效地維持觀賞蝦紋路與色澤的持久度，是提升臺灣觀賞蝦產業競爭力的重要關鍵；這不禁使我們想問，黑殼蝦表皮色素細胞是如何分布呢？除了人工育種之外，改變養殖環境之光源、背景顏色、酸鹼值等，能使黑殼蝦的顏色改變嗎？其調控方式是神經系統或是內分泌系統呢？持續性又有多長？色素細胞的變色機制又是如何？色素細胞變化所造成的體色改變，對黑殼蝦適應環境有怎樣的影響呢？抱持著要讓觀賞蝦界的「臺灣之光」持續發揚光大的精神，我們決定開始探究黑殼蝦的變色機制及可能影響其機制的因素。

## 二、研究背景

### (一) 黑殼蝦

黑殼蝦(*Neocaridina denticulata*)，又稱多齒新米蝦或米蝦，其分類地位如(表 1)所示，主要棲地為山澗溝渠或水流緩和的小溪中，野生種體色呈透明或黑褐色，人工養殖的品種具有多種色彩，舉凡香吉士蝦、透明蝦、藍絲絨蝦、琉璃蝦……等，如(圖 1)所示。目前為觀賞蝦產業極具經濟價值之蝦種，此外還兼具協助清除殘餌、藻類之功能。

(表 1)黑殼蝦的分類地位

界	動物界 <i>Animalia</i>
門	節肢動物門 <i>Arthropoda</i>
綱	軟甲綱 <i>Malacostraca</i>
目	十足目 <i>Decapoda</i>
科	匙指蝦科 <i>Atyidae</i>
屬	新米蝦屬 <i>Neocaridina</i>
種	多齒新米蝦 <i>N. denticulata</i>

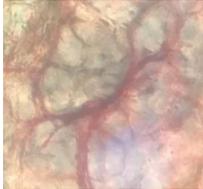
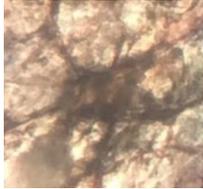


(圖 1)各色黑殼蝦

### (二) 色素細胞

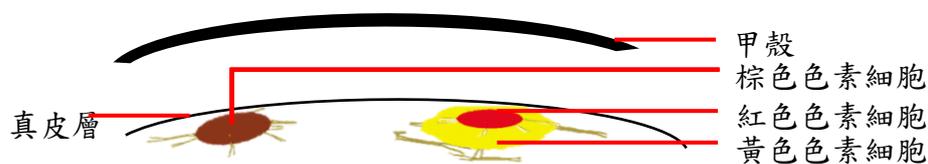
色素細胞(chromatophore)，又稱為色素體，是一種含有色素顆粒的細胞，常見於兩生類、魚類、爬蟲類、甲殼類及頭足綱動物中；色素顆粒被包圍在細胞彈性囊中，受到肌細胞牽引而改變形狀。依色素細胞內含色素可分類成含有類胡蘿蔔素的紅色色素細胞、含有蝶酸的黃色色素細胞，及含有真黑素的棕色色素細胞，如(表 2)所示。

(表 2)紅色、黃色及棕色三種色素細胞

色素細胞	紅色	黃色	棕色
圖示			
內含色素	類胡蘿蔔素	蝶酸	真黑素

### (三) 黑殼蝦的色素細胞

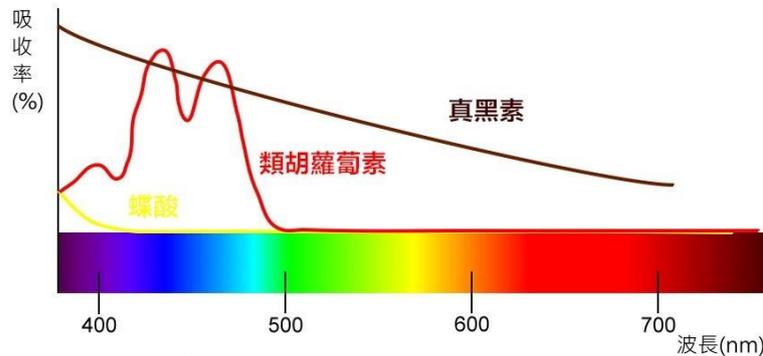
黑殼蝦的體色主要由紅色、黃色及棕色三種色素細胞的分布及擴張情形決定，色素細胞位於甲殼下層的真皮中，分布範圍並不均勻，紅色及黃色色素細胞分布範圍相近，其中紅色色素細胞較接近蝦殼表層，其次為黃色色素細胞；而棕色色素細胞則獨立分布，分布位置及範圍不與其他二色的色素細胞重疊，主要影響蝦殼顏色的深淺(吳懿倫, 2006)，其相對位置如(圖 2)所示。



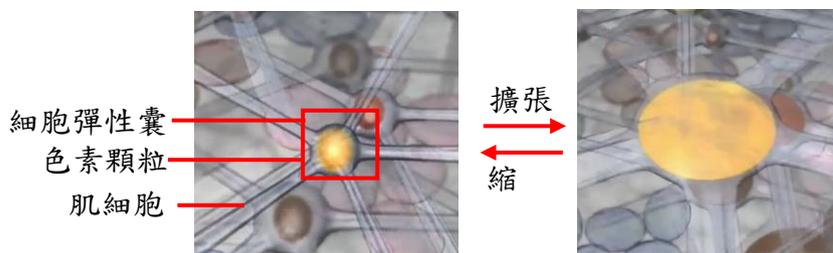
(圖 2)色素細胞分布的相對位置

#### (四) 色素細胞的變色機制

紅色、黃色及棕色三種色素細胞各含有不同種類的色素，這些色素可吸收不同波長的光，使色素細胞呈現特定的顏色，其對可見光之吸收率如(圖3)所示。透過肌細胞控制細胞彈性囊而改變色素細胞之位置及大小，可呈現不同顏色，如(圖4)所示。

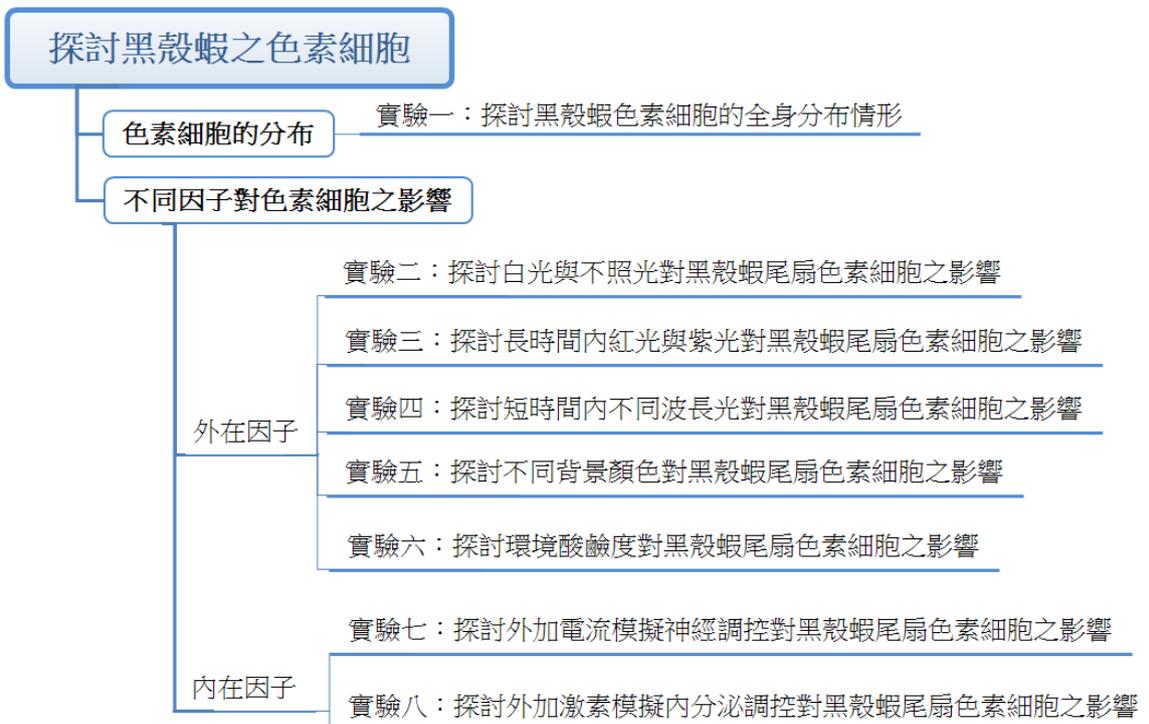


(圖3)不同色素對可見光之吸收率



(圖4)肌細胞改變色素細胞之位置及形狀變化

## 貳、研究目的



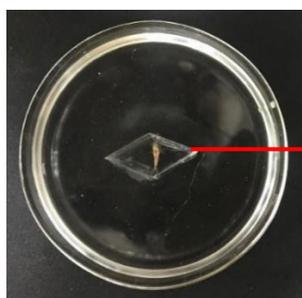
(圖5)研究架構

## 參、研究方法

### 一、色素細胞的分布

#### (一) 實驗一：探討黑殼蝦色素細胞的全身分布情形

1. 將一隻黑殼蝦置於裝水的培養皿中。
2. 以自製可調角度蝦子固定器將黑殼蝦固定，如(圖6)所示。



自製可調角度蝦子固定器

#### (圖6) 自製可調角度蝦子固定器俯視圖

3. 將培養皿置於研究型解剖顯微鏡下。
4. 以40X倍率觀察黑殼蝦頭胸腹、背部及尾扇之色素細胞分布，並拍照紀錄。
5. 置換一隻黑殼蝦，並重複步驟1至4。

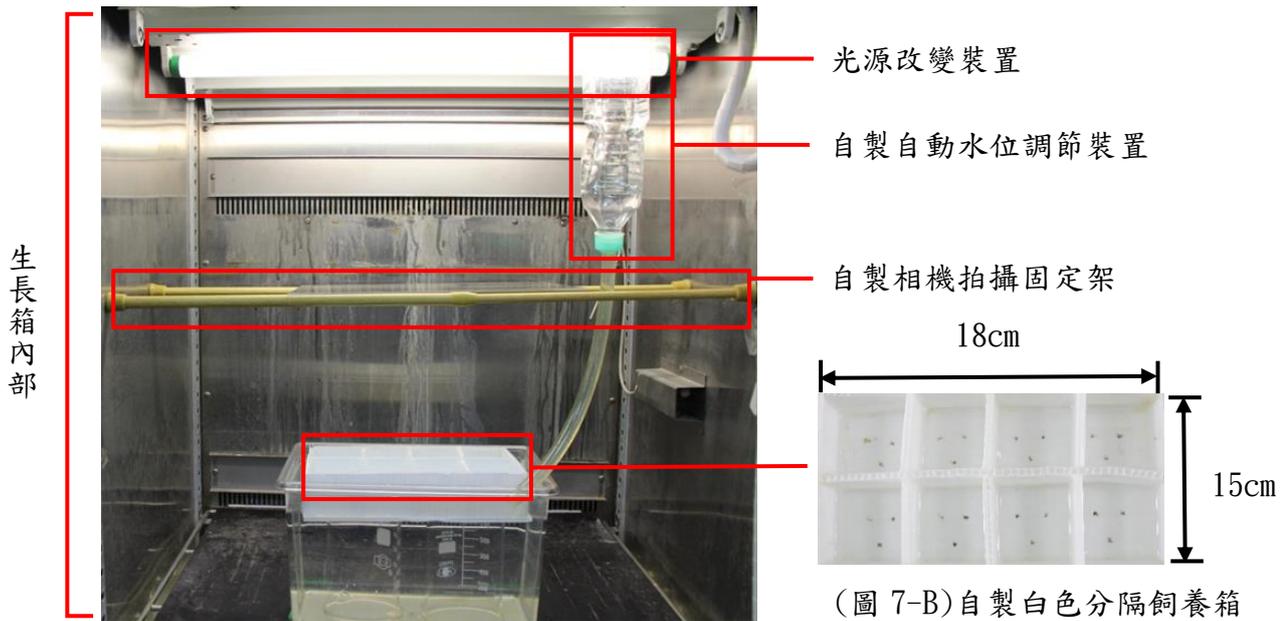
### 二、不同因子對色素細胞之影響：探討不同外在因子對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響實驗

為了能以「巨觀」及「微觀」角度觀察黑殼蝦尾扇色素細胞的變化，我們針對同一操作變因進行了兩種應變變因的觀測。單位時間內以巨觀方式分析整體色素細胞占尾扇面積之比例變化；微觀方式則紀錄單一色素細胞變化的情形，各實驗的操作變因與應變變因如(表3)所示。

(表3)不同因子對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響實驗中，操作變因與應變變因

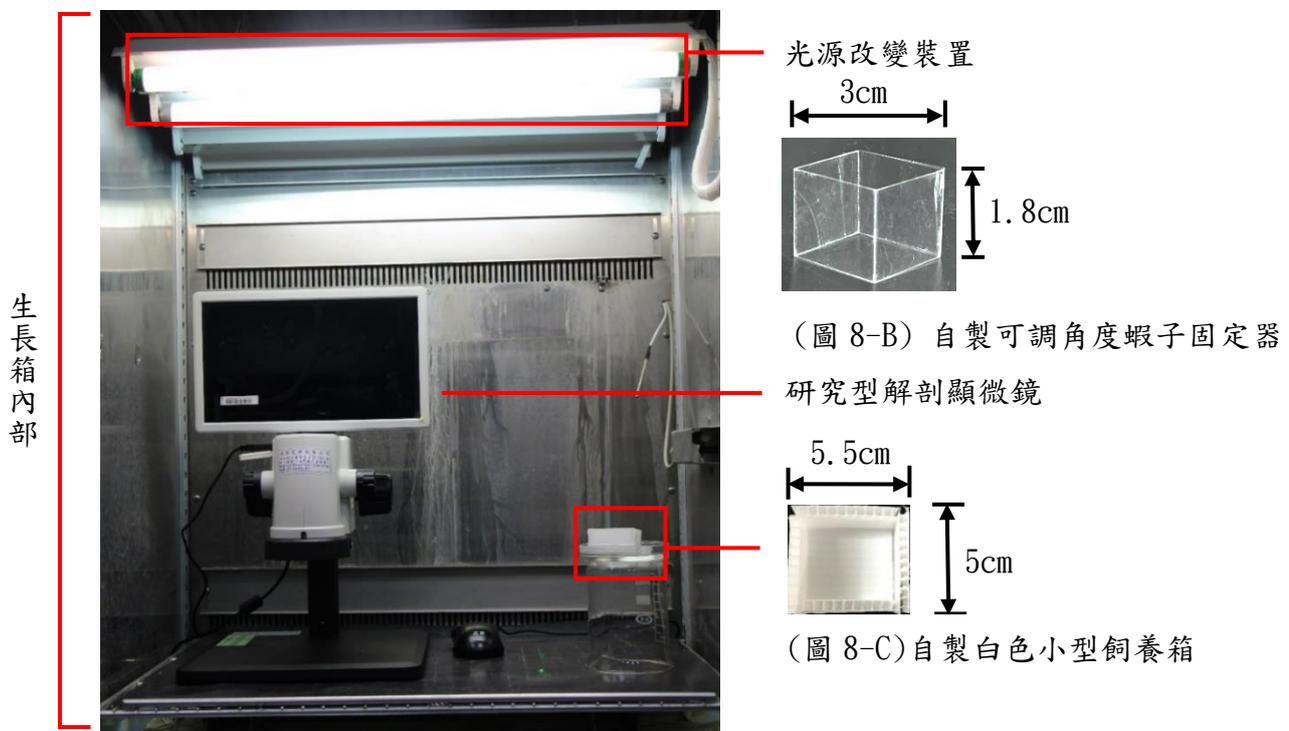
實驗序號	操作變因	單位時間內之應變變因	
二	白光與不照光	巨觀	色素細胞占尾扇面積之比例變化
三、四	不同波長光源		
五	不同背景顏色	微觀	單一色素細胞之變化
六	不同環境酸鹼度		

**巨觀實驗前置作業：**在 25°C 的恆溫生長箱內設置巨觀實驗裝置，如(圖 7)所示，並將 6 隻黑殼蝦分別置入自製白色分隔飼養箱中，各別以相機照相，作為實驗前的對照組。



(圖 7-A)巨觀實驗裝置

**微觀實驗前置作業：**在 25°C 的恆溫生長箱內設置微觀實驗裝置，如(圖 8)所示，以自製可調角度蝦子固定器將黑殼蝦尾扇固定於自製白色小型飼養箱中，以 40X 倍率觀察，並拍照紀錄。



(圖 8-A)微觀實驗設置

(一) 實驗二：探討白光與不照光對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

1. 在巨觀實驗裝置內設置白光光源。
2. 開啟白光光源，並每隔 15 分鐘照相觀測 1 次，連續 1 小時，共計 4 次。
3. 使用 photoimpact12 分析紅色、黃色及棕色三種色素細胞所占像素。
4. 以像素值大小代表各色素之面積，並以下述公式分別計算色素細胞占尾扇面積百分比：
$$\left( \frac{\text{各色素細胞所占像素}}{\text{尾扇總像素}} \right) \times 100\%$$
5. 利用 excel 將紅色、黃色及棕色三色色素細胞占尾扇面積之比例製成圖，探討白光對三種色素細胞之影響。
6. 將步驟 1 白光置換成不照光，並重複步驟 1 至 5。
7. 在微觀實驗裝置內設置白光光源。
8. 開啟白光光源，並每隔 15 分鐘照相觀測 1 次，連續 1 小時，共計 4 次。
9. 將步驟 7 白光置換成不照光，並重複步驟 7 至 8。

(二) 實驗三：探討長時間內紅光與紫光對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

1. 在巨觀實驗裝置內設置紅光光源。
2. 開啟紅光光源，並每隔 1 小時照相觀測 1 次，連續 4 小時，共計 4 次。
3. 分析作業同實驗二之步驟 3 至 5。
4. 將步驟 1 紅光置換成紫光，並重複步驟 1 至 3。
5. 在微觀實驗裝置內設置紅光光源。
6. 開啟紅光光源，並每隔 1 小時照相觀測 1 次，連續 4 小時，共計 4 次。
7. 將步驟 5 紅光置換成紫光，並重複步驟 5 至 6。

(三) 實驗四：探討短時間內不同波長光對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

1. 在巨觀實驗裝置內設置紅光光源。
2. 開啟紅光光源，並每隔 15 分鐘照相觀測 1 次，連續 1 小時，共計 4 次。
3. 分析作業同實驗二之步驟 3 至 5。
4. 將步驟 1 紅光依序置換成黃、綠、藍及紫光，重複步驟 1 至 3。
5. 在微觀實驗裝置內設置紅光光源。
6. 開啟紅光光源，並每隔 15 分鐘照相觀測 1 次，連續 1 小時，共計 4 次。
7. 將步驟 5 紅光依序置換成黃、綠、藍及紫光，並重複步驟 5 至 6。

(四) 實驗五：探討不同背景顏色對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

1. 巨觀實驗中每隔 15 分鐘照相觀測 1 次，連續 1 小時，共計 4 次。
2. 分析作業同實驗二之步驟 3 至步驟 5。
3. 將巨觀實驗前置作業中自製白色分隔飼養箱置換成自製黑色分隔飼養箱，並重複步驟 1 至 2。
4. 微觀實驗中每隔 15 分鐘照相觀測 1 次，連續 1 小時，共計 4 次。
5. 將自製白色小型飼養箱置換成自製黑色小型飼養箱，並重複步驟 4。

(五) 實驗六：探討環境酸鹼度對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

1. 以  $\text{HPO}_4$  及  $\text{H}_2\text{PO}_4$  配置 pH6、pH7 及 pH8 緩衝液。
2. 取 6 個 25ml 燒杯，分別裝入 20ml 之 pH6 緩衝液。
3. 將 6 隻黑殼蝦分別移入燒杯內，並將燒杯置於白色分隔飼養箱中。
4. 每隔 15 分鐘照相觀測 1 次，連續 1 小時，共計 4 次。
5. 分析作業同實驗二之步驟 3 至步驟 5。
6. 將步驟 2 中 pH6 緩衝液置換成 pH7 及 pH8 緩衝液，並重複步驟 2 至 5。
7. 微觀實驗中將黑殼蝦移入事先置於生長箱內之裝有 pH6 緩衝液 40ml 培養皿中。
8. 取 6 個 25ml 燒杯，分別裝入 20ml 之 pH6 緩衝液。
9. 每隔 15 分鐘照相觀測 1 次，連續 1 小時，共計 4 次。
10. 將步驟 7 中 pH6 緩衝液置換成 pH7 及 pH8 緩衝液，並重複步驟 7 至 9。

三、不同因子對色素細胞之影響：探討不同內在因子對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響實驗

**前置作業：**在 25°C 的恆溫生長箱內設置微觀實驗裝置，如 p. 6(圖 8)所示，以自製可調角度蝦子固定器將黑殼蝦尾扇固定於自製白色小型飼養箱中，以 40X 倍率觀察，並拍照紀錄。

(一) 實驗七：探討外加電流模擬神經調控對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

1. 通入 3v 電流，以攝影方式紀錄 1 分鐘內色素細胞的變化。
2. 分析作業同實驗二之步驟 3 至 5。
3. 置換一隻黑殼蝦，並重複前置作業至步驟 2，共計 6 次。

(二) 實驗八：探討外加激素模擬內分泌調控對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

1. 將黑殼蝦移入事先至於生長箱內之裝有 5%腎上腺素溶液 40ml 之培養皿中。
2. 以攝影方式紀錄 2 分鐘內色素細胞的變化。
3. 分析作業同實驗二之步驟 3 至 5。
4. 置換一隻黑殼蝦，並將步驟 1 中 5%腎上腺素溶液依序置換成 10%腎上腺素溶液、5%促腎上腺皮質素溶液及 10%促腎上腺皮質素溶液，重複前置作業至步驟 3，共計 6 次。

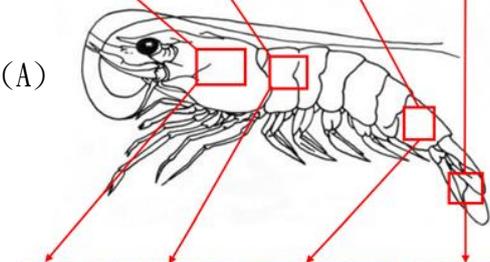
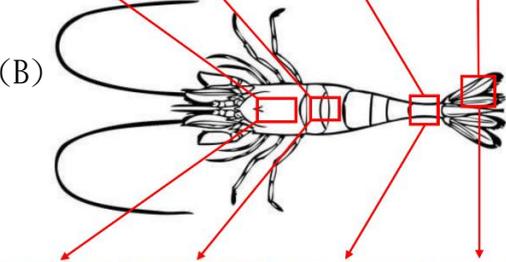
## 肆、研究結果

### 一、色素細胞的分布

#### (一) 實驗一：探討黑殼蝦色素細胞的全身分布情形

我們嘗試觀察幾種不同品種的黑殼蝦，發現透明蝦與香吉士蝦最適合用來做為實驗的對象。如(表5)所示，透明蝦的色素細胞密度較香吉士蝦高，透明蝦背部及尾扇色素細胞呈點狀分布，香吉士蝦背部及尾扇色素細胞都是呈區塊分布。因尾扇較背部平整，我們接下來的實驗便以尾扇為觀察對象，並採取以下操作：透明蝦尾扇適合用來觀察色素細胞大小之變化，而香吉士蝦尾扇則適合觀察色素細胞占尾扇面積比例。

(表5)黑殼蝦色素細胞的全身分布側視圖(A)與俯視圖(B)

	頭	胸	腹	尾	頭	胸	腹	尾
密度 (個/萬像素)	14.81	10.26	15.22	11.47	18.31	20.72	14.77	13.49
透明蝦								
(A)								
香吉士蝦								
密度 (個/萬像素)	5.59	7.18	5.44	5.13	8.08	6.38	10.34	7.31

### 二、不同因子對色素細胞之影響：探討不同外在因子對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響實驗

#### (一) 實驗二：探討白光與不照光對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

我們將黑殼蝦飼養於 12 小時照光與 12 小時不照光的光週期環境下，模擬白天與黑夜，當作整體實驗的對照組。

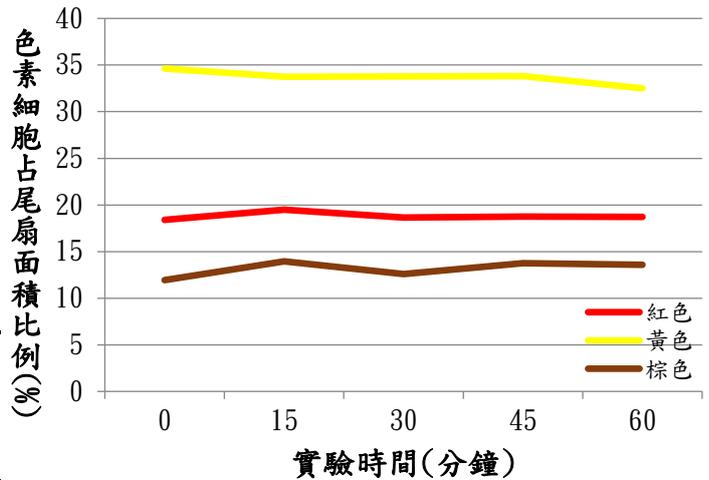
我們計算色素細胞占尾扇面積的比例： $(\text{色素細胞像素}/\text{總像素}) \times 100\%$ ，形變差： $(\text{實驗後與實驗前色素細胞占尾扇面積比例差}(\%))$ ，及單位時間內最大形變速率來探討不同因子對尾扇色素細胞之影響，並將色素細胞的形變定義為擴張、平穩及縮小三種情形，如(表 6)所示。

(表 6)色素細胞擴張、平穩及縮小定義

形變差(%)	> 3	3 ~ -3	< -3
	擴張	平穩	縮小

1. 在白光照射下，如(表 7)及(圖 9)所示，三種色素細胞皆呈平穩狀態。  
(表 7)、(圖 9)白光對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

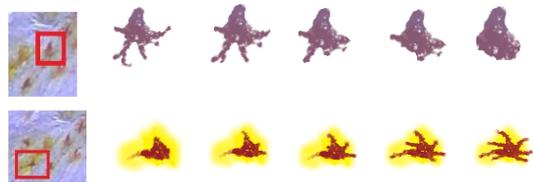
分鐘\色素細胞	紅色	黃色	棕色
0	18.40	34.63	11.94
15	19.49	33.76	13.95
30	18.66	33.77	12.60
45	18.75	33.81	13.77
60	18.73	32.51	13.59
%\色素細胞			
形變差	0.33	-2.12	1.65
最大形變速率	1.09	-1.3	2.01



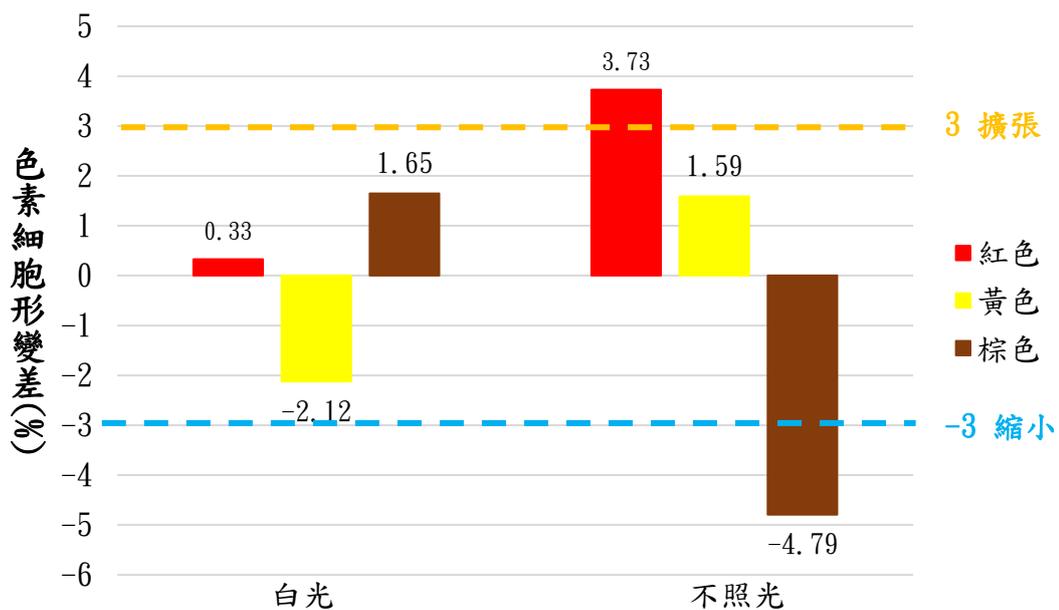
2. 不照光的環境下，如(表 8)、(圖 10)所示，三種色素細胞的變化趨勢完全不同。  
紅色色素細胞擴張，黃色色素細胞呈平穩狀態，棕色色素細胞縮小，其中紅色色素細胞在 15 分鐘內有擴張最大形變速率，紅色及棕色色素細胞分別於 30 分鐘至 45 分鐘、45 分鐘至 60 分鐘間有縮小最大形變速率。

(表 8)、(圖 10)不照光對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

%\色素細胞	紅色	黃色	棕色
形變差	3.68	1.59	-4.79
最大形變速率	4.65	-3.45	-3.98



如(圖11)所示，橘色線以上代表色素細胞擴張，藍色線以下代表色素細胞縮小，黑殼蝦尾扇的三種色素細胞在白光下呈平穩狀態，不照光時變動趨勢各異。



(圖11) 白光與不照光對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

(二) 實驗三：探討長時間內紅光與紫光對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

我們發現黑殼蝦色素細胞在白光下呈穩定狀態，因而好奇單一波長的光對黑殼蝦色素細胞的影響。於是我們探討了長時間紅光與紫光對尾扇色素細胞的影響。

1. 在紅光照射下，如(表 9)、(圖 12)所示，紅色及黃色色素細胞呈平穩狀態，棕色色素細胞擴張，且在照光 0 至 1 小時間有擴張最大形變速率。

(表 9)、(圖 12)長時間內紅光對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

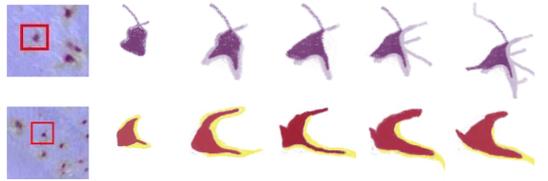
%\色素細胞	紅色	黃色	棕色
形變差	0.57	0.68	8.09
最大形變速率	-2.1	-2.95	4.84



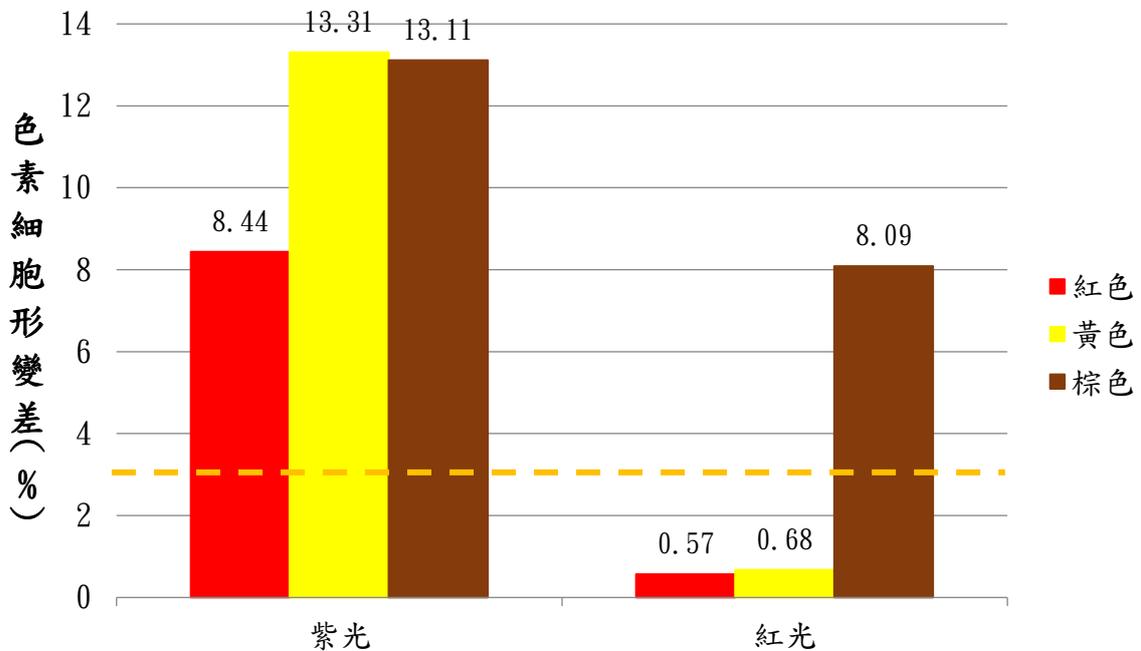
2. 在紫光照射下，如(表 10)、(圖 13)所示，三種色素細胞皆擴張，且於照光第一小時擴張迅速，後三小時擴張速率趨緩，其中三種色素細胞皆於照光 0 至 1 小時間有擴張最大形變速率。

(表 10)、(圖 13)長時間內紫光對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

%\色素細胞	紅色	黃色	棕色
形變差	8.44	13.31	13.11
最大形變速率	4.54	8.08	9.31



在長時間紅光與紫光照射下，三種色素細胞之形變差皆是在紫光下最大；紅色及黃色色素細胞在紅光下皆呈平穩狀態，紫光下擴張，如(圖 14)所示。



(圖 14) 長時間內紅光與紫光對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

(三) 實驗四：探討短時間內不同波長光對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

我們將可見光區分成波長較長之紅、黃及綠光，與波長較短之藍光及紫光，分別於一小時內照射黑殼蝦，探討短時間內不同波長對黑殼蝦尾扇色素細胞的影響。

1. 在紅光照射下，如(表 11)、(圖 15)所示，棕色色素細胞擴張，黃色及紅色色素細胞呈平穩狀態。

(表 11)、(圖 15)短時間內紅光對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

%\色素細胞	紅色	黃色	棕色
形變差	-0.22	-0.02	3.98
最大形變速率	1.97	-2.64	1.21



2. 在黃光照射下，如(表 12)、(圖 16)所示，棕色色素細胞擴張，黃色及紅色色素細胞呈平穩狀態。

(表 12)、(圖 16)短時間內黃光對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

%\色素細胞	紅色	黃色	棕色
形變差	2.07	0.41	5.39
最大形變速率	2.77	-2.74	2.67



3. 在綠光照射下，如(表 13)、(圖 17)所示，棕色色素細胞擴張，黃色及紅色色素細胞則呈平穩狀態。

(表 13)、(圖 17)短時間內綠光對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

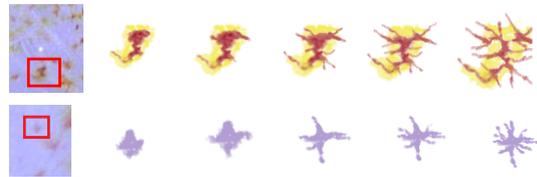
%\色素細胞	紅色	黃色	棕色
形變差	1.57	-0.22	7.83
最大形變速率	-1.22	-1.73	2.58



4. 在藍光照射下，如(表 14)、(圖 18)所示，紅色及棕色色素細胞擴張，黃色色素細胞呈平穩狀態，且紅色色素細胞在照光 0 至 15 分鐘間有擴張最大形變速率，黃色色素細胞則於 15 分鐘至 30 分鐘間有縮小最大形變速率。

(表 14)、(圖 18)短時間內藍光對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

%\色素細胞	紅色	黃色	棕色
形變差	8.32	1.8	7.32
最大形變速率	3.48	-4.92	2.82



5. 在紫光照射下，如(表 15)、(圖 19)所示，三種色素細胞皆擴張，而黃色色素細胞於 30 分鐘至 45 分間有擴張最大形變速率，棕色色素細胞則於 15 分鐘至 30 分鐘間有擴張最大形變速率。

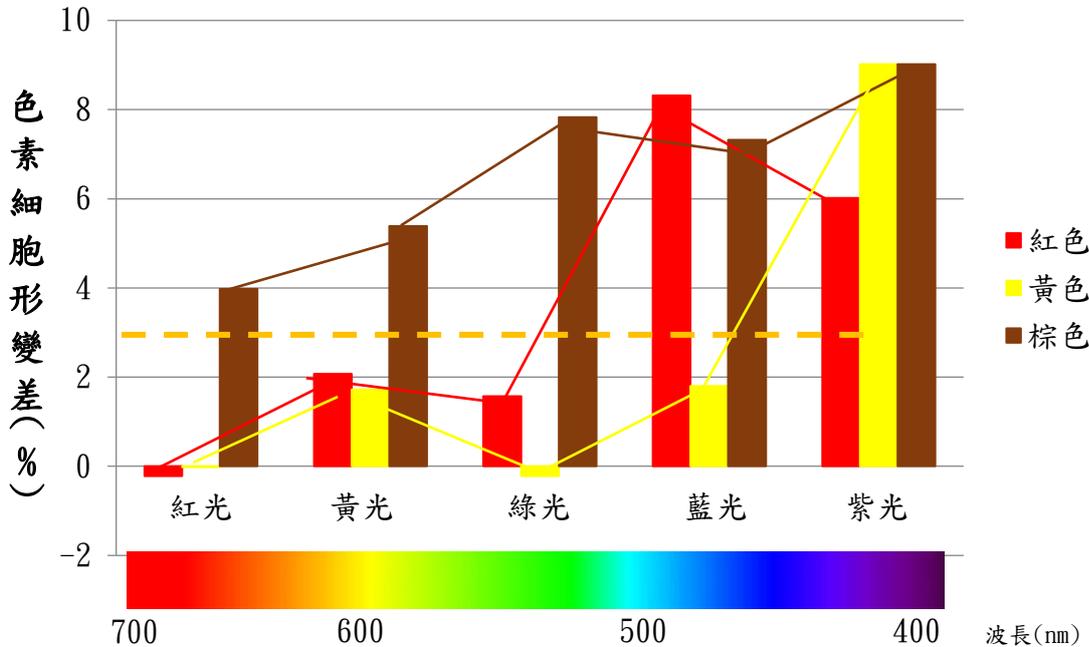
(表 15)、(圖 19)短時間內紫光對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

%\色素細胞	紅色	黃色	棕色
形變差	6.02	9.02	9.02
最大形變速率	2.65	3.65	4.58



在照射波長較長之紅、黃及綠光後，棕色色素細胞擴張幅度隨波長減小而遞增，而紅色及黃色色素細胞呈平穩狀態。在照射波長較短之藍光及紫光後，紅色、黃色及棕色色素細胞之擴張幅度隨波長減小而遞增。

如(圖20)所示，在短時間不同波長光的照射下，色素細胞敏感度為棕色>紅色>黃色，在長波長時先明顯有反應的是棕色色素細胞，且其擴張幅度隨波長減小而增加，而黃色及紅色色素細胞在長波長時呈穩定狀態，短波長時才有明顯的擴張幅度。



(圖20) 短時間內不同波長光對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

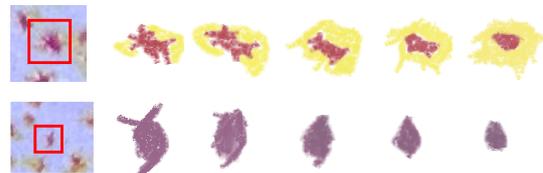
(四) 實驗五：探討不同背景顏色對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

光源可能使背景顏色改變，我們想進一步知道改變背景顏色對色素細胞的影響，於是將背景分成以白色代表的明亮背景，及以黑色代表的暗色背景，進行以下實驗。

1. 在白色背景下，如(表 16)、(圖 21)所示，黃色色素細胞擴張，紅色及棕色色素細胞縮小。

(表 16)、(圖 21)白色背景對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

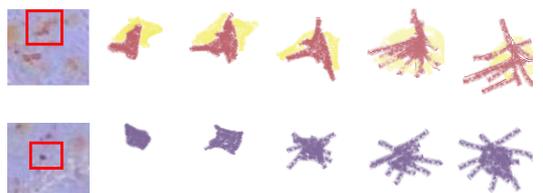
%\色素細胞	紅色	黃色	棕色
形變差	-4.87	4.01	-4.19
最大形變速率	-1.97	2.37	-2.36



2. 在黑色背景下，如(表 17)、(圖 22)所示，黃色色素細胞縮小，紅色及棕色色素細胞擴張，其中黃色色素細胞在 15 分鐘至 30 分鐘間有縮小最大形變速率，紅色及棕色色素細胞則分別在 0 至 15 分鐘及 45 分鐘至 60 分鐘間有擴張最大形變速率。

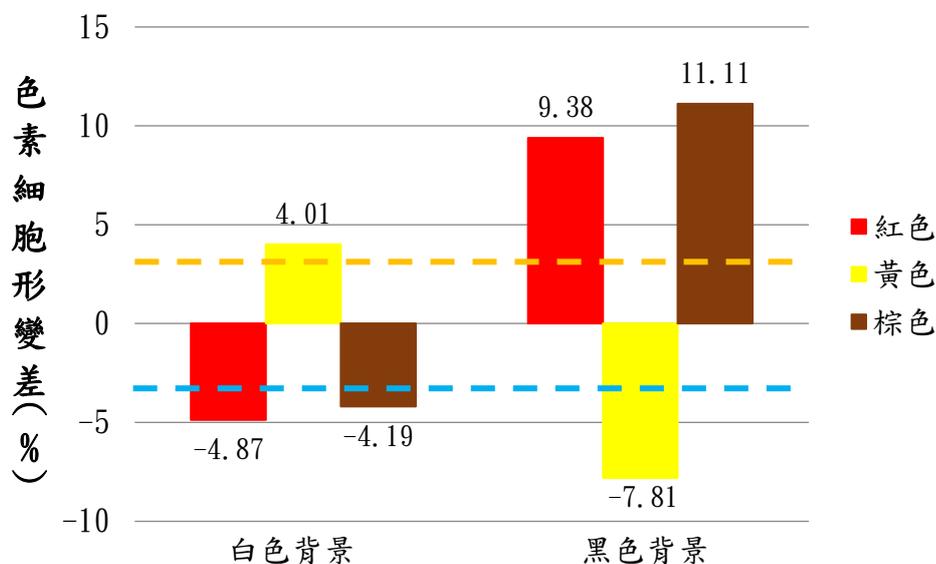
(表 17)、(圖 22)黑色背景對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

%\色素細胞	紅色	黃色	棕色
形變差	9.38	-7.81	11.11
最大形變速率	4.43	-3.21	7.41



如(圖 23)所示，黃色色素細胞於白色背景時擴張，於黑色背景時縮小，紅色及棕色色素細胞則相反。

(圖23)不同背景顏色對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響



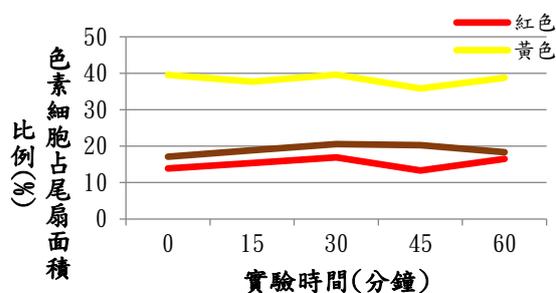
(五) 實驗六：探討環境酸鹼度對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

一般飼養的黑殼蝦能適應的 pH 值範圍約為 pH6~pH7.5，所以我們進一步進行不同酸鹼值對黑殼蝦色素細胞影響的實驗。

1. 在 pH6 環境下，如(表 18)、(圖 24)所示，三種色素細胞皆呈平穩狀態，紅色及黃色色素細胞皆於 30 分鐘至 45 分鐘間有縮小最大形變速率。

(表 18)、(圖 24) pH6 環境對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

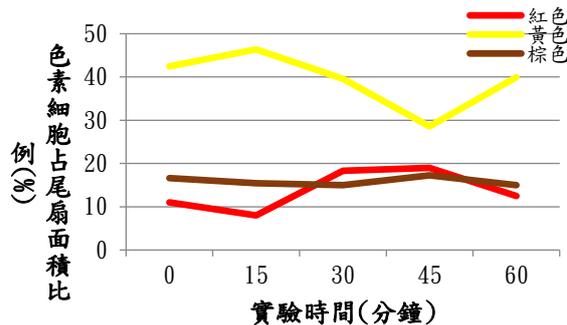
%\色素細胞	紅色	黃色	棕色
形變差	2.61	-0.8	1.23
最大形變速率	-3.6	-3.78	-1.94



2. 在 pH7 環境下，如(表 19)、(圖 25)所示，三種色素細胞皆呈平穩狀態，紅色色素細胞在 15 分鐘至 30 分鐘間有擴張最大形變速率，而黃色色素細胞則在 45 分鐘至 60 分鐘間有擴張最大形變速率。

(表 19)、(圖 25) pH7 環境對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

%\色素細胞	紅色	黃色	棕色
形變差	1.49	-2.55	-1.63
最大形變速率	10.34	11.37	-2.27



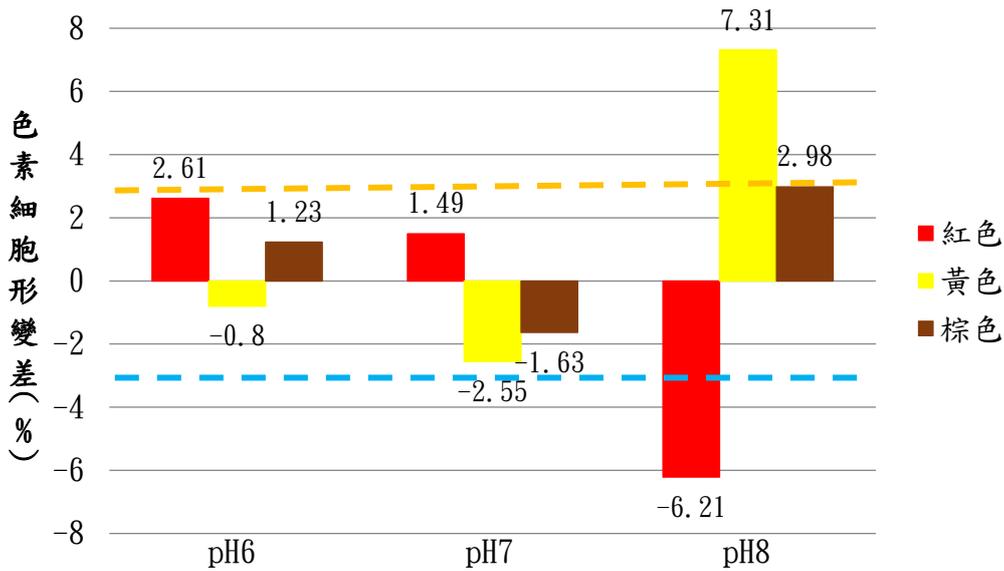
3. 在 pH8 環境下，如(表 20)、(圖 26)所示，紅色色素細胞縮小，黃色色素細胞擴張，棕色色素細胞呈平穩狀態，其中紅色色素細胞於 0 至 15 分鐘間有縮小最大形變速率，黃色色素細胞在 15 分鐘至 30 分鐘間有擴張最大形變速率，棕色色素細胞則在 0 至 15 分鐘間有擴張最大形變速率。

(表 20)、(圖 26) pH8 環境對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

%\色素細胞	紅色	黃色	棕色
形變差	-6.21	7.31	2.98
最大形變速率	-3.51	4.89	5.32



如(圖 27)所示，pH6 及 pH7 環境下三種色素細胞皆呈平穩，而 pH8 環境下紅色色素細胞縮小，黃色色素細胞擴張。



(圖 27)不同境酸鹼度對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

### 三、不同因子對色素細胞之影響：探討不同內在因子對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響實驗

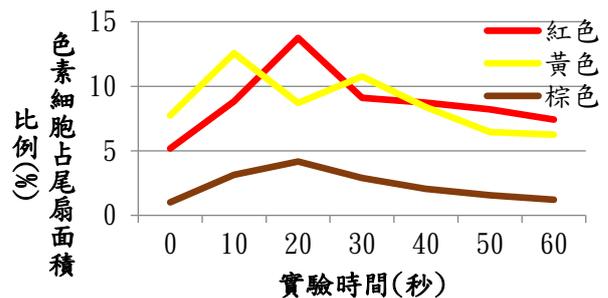
動物體的協調作用是靠神經系統與內分泌系統的分工合作完成，因此我們想進一步進行神經對色素細胞變化的實驗，因此我們以外加電流模擬神經系統與外加激素模擬內分泌系統調控機制，觀察短時間內色素細胞的變化。

#### (一) 實驗七：探討外加電流模擬神經調控對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

如(表 21)及(圖 28)所示，三種色素細胞在 60 秒內形變皆平穩，但細部分析後發現，紅色及黃色色素細胞在 0 至 30 秒間即有擴張最大速率，棕色色素細胞則 60 秒全程保持平穩。

(表 21)、(圖 28)外加電流模擬神經調控對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

%\色素細胞	紅色	黃色	棕色
形變差	2.24	-1.5	0.21
最大形變速率	4.92	4.81	2.13



(二) 實驗八：探討外加激素模擬內分泌調控對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

1. 在5%腎上腺素環境120秒內，如(表22)、(圖29)所示，黃色及紅色色素細胞縮小，棕色色素細胞則呈平穩狀態。

(表22)、(圖29) 5%腎上腺素溶液對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

%\色素細胞	紅色	黃色	棕色
形變差	-4.17	-3.38	-1.48
最大形變速率	-0.97	-0.86	-0.37



2. 在10%腎上腺素環境120秒內，如(表23)、(圖30)所示，黃色及紅色色素細胞縮小，棕色色素細胞呈平穩狀態。

(表23)、(圖30) 10%腎上腺素溶液對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

%\色素細胞	紅色	黃色	棕色
形變差	-4.54	-9.59	-1.63
最大形變速率	-1.34	-1.96	-0.61



3. 在5%促腎上腺皮質素環境120秒內，如(表24)、(圖31)所示，三種色素細胞皆擴張，其中黃色色素細胞擴張最大，且在40秒至60秒間有擴張最大形變速率。

(表24)、(圖31) 5%促腎上腺皮質素溶液對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

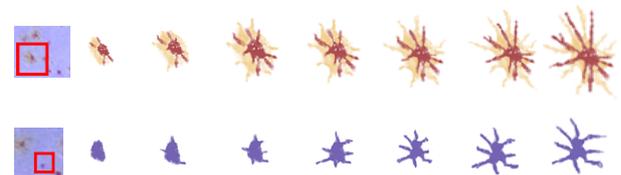
%\色素細胞	紅色	黃色	棕色
形變差	5.22	10.61	3.89
最大形變速率	1.24	3.21	0.87



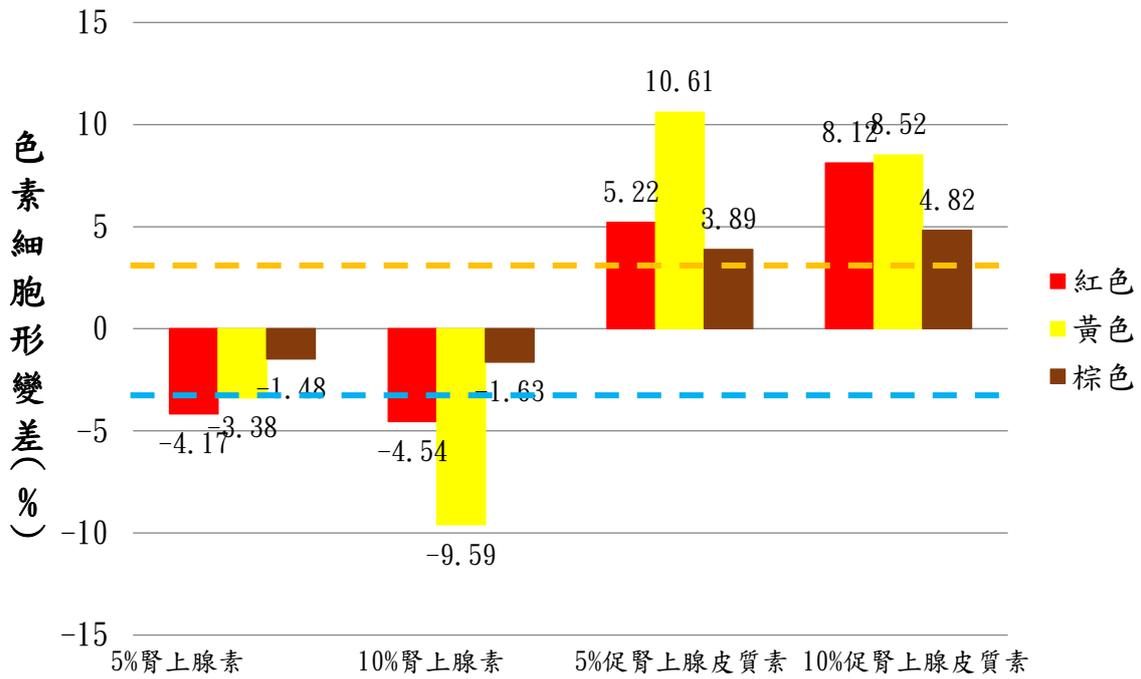
4. 在10%促腎上腺皮質素環境120秒內，如(表25)、(圖32)所示，三種色素細胞皆擴張。

(表25)、(圖32) 10%促腎上腺皮質素溶液對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

%\色素細胞	紅色	黃色	棕色
形變差	8.12	8.52	4.82
最大形變速率	2.74	2.83	2.46



如(圖 33)所示，腎上腺素使色素細胞縮小，促腎上腺皮質素使色素細胞擴張，其中三種細胞對兩種激素的反應明顯程度依序為黃色>紅色>棕色色素細胞。



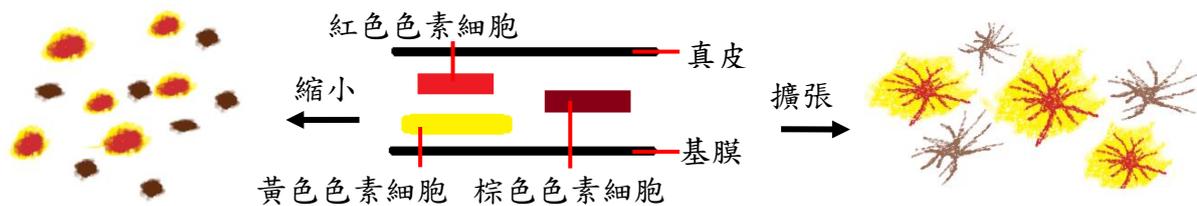
(圖33)外加激素模擬內分泌調控對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響

## 伍、討論

動物的變色行為可分為擬態與偽裝，擬態是生物體出現警戒色或是姿勢改變，以警告天敵或達成其他目的；偽裝是生物體本身的花紋改變而融入環境，如透明化或破碎化，不易被獵物或獵食者察覺。不同動物的變色速率各有差異，如：以神經系統控制色素細胞變化的烏賊，大約一秒便能完成體色改變；又如：以激素調控色素細胞變化的變色龍，則需較長時間完成變色。以演化的觀點來說，能夠擬態與偽裝的動物，降低了被天敵發現的風險，也為了適應環境做出反應，這些行為有利其生存。而養殖業者為了觀賞的需求，用選拔育種的方式，培育不同體色的品種，使觀賞蝦價值提升。我們利用這個研究，不僅可以了解蝦子變色的特性，也期望利用改變養殖方式協助觀賞蝦在養殖時，維持鮮豔體色。

黑殼蝦的變色機制為一連續過程，外來的刺激由受器接收後，影響肌細胞，肌細胞收縮會拉扯色素細胞，造成色素細胞擴張，而肌細胞舒張則會導致色素細胞縮小，在可見光波長內，不同波長的光會造成不同數量的肌細胞收縮，進而導致色素細胞擴張程度不同。因色素細胞內含有各種色素，這些色素分別吸收不同波長的光，因而對蝦體有不同程度的保護作用。

如(圖 34)所示，棕色色素細胞的擴張與縮小，可控制顏色的深淺，紅色及黃色色素細胞的形變組合則會產生斑駁的紋路，讓蝦體形狀破碎，造成掠食者無法辨識輪廓。



(圖 34)色素細胞擴張與縮小示意圖(A)縮小俯視圖、(B)側向示意圖及(C)擴張俯視圖

如 p. 19(表 26)所示，我們整理出五種黑殼蝦目視可見的外觀變化。如 p. 20(表 27)所示以白光照射下當作對照組，整理出黑殼蝦尾扇色素細胞在刺激因子作用下的九種組合。

我們發現不論在長時間或短時間紫光環境下，三種色素細胞皆擴張，黑殼蝦呈現最深的橘色，推測原因為紫光是可見光中能量最強的光，在野外代表白天紫外光強時，沒有遮蔽物保護，會刺激肌細胞收縮，導致色素細胞擴張，細胞內的色素平均分散，以吸收不同能量的光，保護蝦體內部的細胞。以演化的觀點解釋，當黑殼蝦處於相對危險的環境時，會引發防禦機制，使色素細胞擴張，形成以保護為目的的自衛方式。

在白色背景下，紅黃及棕色色素細胞的行為分別為「縮、擴、縮」，蝦體呈現透亮，我們推測黑殼蝦為了融入背景而調整呈透明色。在黑色背景下，紅黃色及棕色色素細胞的行為則分別為「擴、縮、擴」，蝦體顏色深且斑紋明顯，黑殼蝦也是為了融入背景而調整成深色，在野外光源太亮或太暗，黑殼蝦皆能因應不同環境刺激而達到偽裝的作用。

在不照光時，紅黃及棕色色素細胞的行為分別為「擴、無、縮」，三種色素細胞表現的行為與對照組相反，推測是因為當環境不照光時，就像是黑暗的休息時刻，故黑殼蝦的肌肉呈現舒張的狀態所導致的體色。

在自然水域中，pH值代表河流污染的程度，中上游的水質較清澈、無污染，水質偏鹼；中下游因接近人類活動場域，家庭或養殖或工業用廢水排放較多，水質偏酸。黑殼蝦適合生活在pH6~pH7.5的環境下，pH值高會加速單細胞藻類繁殖，使水質偏黃褐色。在pH8環境下，黑殼蝦的黃色色素細胞擴張，紅色色素細胞則縮小，使黃色色素細胞能大面積顯露，進而融入環境。

黑殼蝦變色行為需15~60分鐘反應，變色機制為激素控制，促腎上腺皮質素及腎上腺素分別導致色素細胞擴張及縮小。在模擬短時間內神經調控外加電流後，色素細胞皆呈現平穩狀態，更進一步確認黑殼蝦的色素變化機制由激素控制。

(表 26)黑殼蝦外觀變化

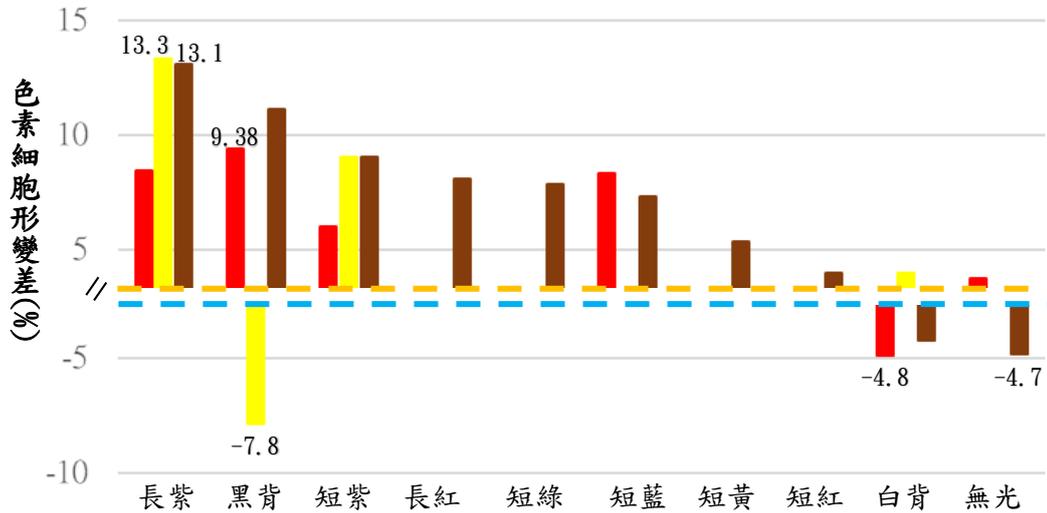
刺激因子	白色背景	黑色背景	長時間紅光	長時間紫光	pH8
外觀變化前					
外觀變化後					

(表 27)色素細胞的九種狀態

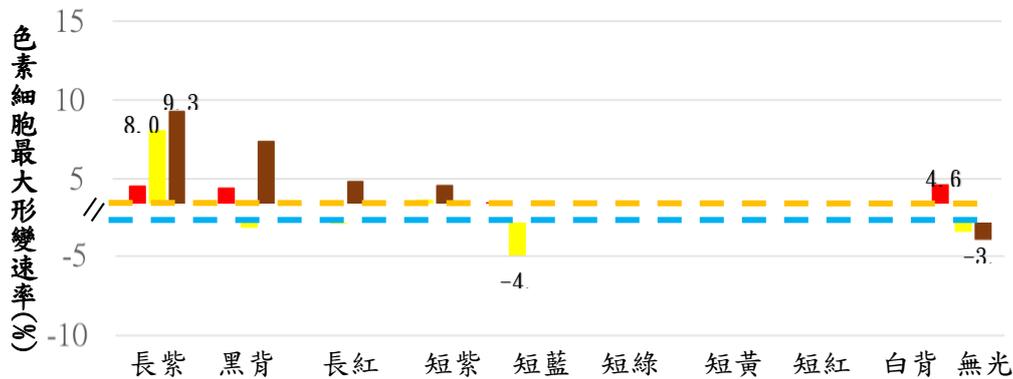
色素細胞狀態 (紅黃棕)	+++	+X+	+ - +	XX+	XXX	- + X	- - X	+ X -	- + -
顏色	深橘	深橘斑	橘紅斑	橘紅點	對照組	亮橘點	透橘點	透紅斑	透亮點
刺激因子	長短紫光、5 及 10%促腎 上腺皮質素	短藍光	黑背	長紅、 短紅黃綠光	白光、 pH6 及 7、 短電	pH8	5 及 10% 腎上腺素	無光	白背
顯微照片 (40X)									

★：紅色色素細胞    ●：黃色色素細胞    ●：棕色色素細胞

如(圖35)所示，外在刺激對色素細胞擴張形變差大小依序為：黃色(13.31%)>棕色(13.11%)>紅色(9.38%)；色素細胞縮小形變差大小依序為：黃色(-7.81%)>紅色(-4.87%)>棕色(-4.79%)；如(圖36)所示，色素細胞擴張最大形變速率依序為：棕色(9.31%)>黃色(8.08%)>紅色(4.65%)；色素細胞縮小最大形變速率依序為黃色(-4.92%)>棕色(-3.98%)。黑殼蝦面對外在刺激時，棕色色素細胞先擴張，並持續增長；紅色及黃色色素細胞則需在刺激強度大於某種程度後，才呈現慢擴張狀態，其中黃色色素細胞擴張形變差及縮小最大形變速率皆大於棕色色素細胞。



(圖35) 色素細胞形變差比較



(圖36) 色素細胞最大形變速率比較

當黑殼蝦感應到外在環境的刺激時，會在 15 至 60 分鐘內透過激素，使色素細胞發生變化。無論是長時間或是短時間內，在高能量的紫光下，三種色素細胞皆會擴張，達到保護的效果；在白色背景下，紅、黃、棕三種色素細胞呈現「縮、擴、縮」，以提高亮度；在黑色背景或無光的黑暗環境中，三種色素細胞分別為「擴、縮、擴」與「擴、無、縮」，加深顏色或變得透明，而這兩者的目的皆為融入背景。

黑殼蝦身上所呈現的亮點與斑駁碎塊在野外時能達到隱藏的效用，同時也可為養殖業者提供另一種能維持黑殼蝦體色鮮豔持久度，或是能在短時間內快速改變黑殼蝦體色的方法，如：將黑殼蝦飼養於照射紫光的黑色背景中約15分鐘，可使體色加深；飼養於不照光的白色背景中約15分鐘，可使體色變淺。

雖然臺灣的人口或土地面積無法與世界強國匹敵，但擁有絕佳地理條件及技術優勢，加上產業群聚、分工精細、供應鏈完整、鄰近龐大中國市場等效應，為積極發展觀賞蝦之契機。

## 陸、結論

- 一、愈高能量的光刺激，黑殼蝦肌細胞收縮程度愈強，各色素細胞擴張程度愈大，黑殼蝦體色愈深，達到保護作用。
- 二、在不同顏色的背景與 pH8 環境下，黑殼蝦會呈現透明色或深色融入背景。
- 三、三種色素細胞對環境刺激的敏感程度分別為：棕色>紅色>黃色。
- 四、三種色素細胞對環境刺激的擴張最大形變速率分別為：棕色>黃色>紅色；縮小最大形變速率分別為：黃色>棕色。
- 五、黑殼蝦調節色素細胞行為是受到激素的調控，腎上腺素和促腎上腺皮質素分別造成擴張與縮小。
- 六、於 15 分鐘內改變環境背景與光源，可導致黑殼蝦改變體色的深淺與斑駁程度。

## 柒、未來展望

- 一、探討群體密度對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響。
- 二、探討飼料所含色素對黑殼蝦尾扇色素細胞之影響。
- 三、結合 AI 人工智能研發快速辨色選蝦系統。

## 捌、參考資料及其他

- 楊振民、陳懸弧、賴春福（2004）。水產養殖設備及器材手冊（增訂版）。基隆市：水產出版社。
- 陳念慈、蕭玉晨、陳冠如、楊順德（2017）。淡水黑殼蝦的種原利用。2020 年 9 月 7 日，取自 <http://www.tfrin.gov.tw/friweb/frienews/enews0133/wl.html>
- 楊淳聿（2012）。蝦米？牠會變色！。2020 年 9 月 13 日，取自 <https://www.shs.edu.tw/works/essay/2012/03/2012033022253053.pdf>
- 黃章文（2015）。臺灣觀賞米蝦種原品系開發與分子選育應用。2021 年 1 月 18 日，取自 [http://www.biotaiwan.org.tw/mag/image\\_doc/43/03%E8%87%BA%E7%81%A3%E8%A7%80%E8%B3%9E%E7%B1%B3%E8%9D%A6%E7%A8%AE%E5%8E%9F%E5%93%81%E7%B3%BB%E9%96%8B%E7%99%BC%E8%88%87%E5%88%86%E5%AD%90%E9%81%B8%E8%82%B2%E6%87%89%E7%94%A8.pdf](http://www.biotaiwan.org.tw/mag/image_doc/43/03%E8%87%BA%E7%81%A3%E8%A7%80%E8%B3%9E%E7%B1%B3%E8%9D%A6%E7%A8%AE%E5%8E%9F%E5%93%81%E7%B3%BB%E9%96%8B%E7%99%BC%E8%88%87%E5%88%86%E5%AD%90%E9%81%B8%E8%82%B2%E6%87%89%E7%94%A8.pdf)
- 侯彥隆（2012）。觀賞魚小兵立大功－觀賞魚國內外市場概況。2021 年 2 月 5 日，取自 <https://www.coa.gov.tw/ws.php?id=2446456&print=Y>
- 呂國禎（2015）。台灣另類隱形冠軍，世界第一的台灣水族王國。2021 年 2 月 9 日，取自 <https://news.sina.com.tw/magazine/article/15026-5.html>
- 吳懿倫（2006）。水底變色龍。2021 年 2 月 9 日，取自 <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/46/senior/0407/040722.pdf>
- Biology and life cycles of prawns。2020 年 9 月 15 日，取自 [https://www.dpi.nsw.gov.au/\\_data/assets/pdf\\_file/0006/358863/biology-and-life-cycles-of-prawns.pdf](https://www.dpi.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0006/358863/biology-and-life-cycles-of-prawns.pdf)

## 玖、附錄

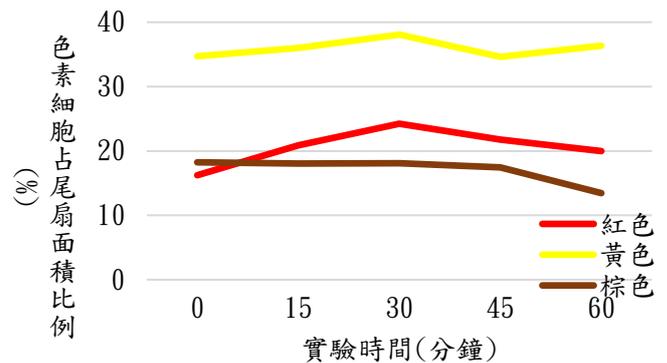
### 一、研究設備及器材

項目	數量	項目	數量
<b>器材</b> Firstek Growth Chamber	1 臺	Canon 相機(EOS 600D)	1 臺
研究型解剖顯微鏡(HQ-650A)	1 臺	透明水缸(27.5*17.3*17.5 公分)	1 個
自製自動水位調節裝置	1 組	自製相機拍攝固定架	1 組
自製白色分隔飼養箱 (18*15*2 公分)	1 個	自製黑色分隔飼養箱 (18*15*2 公分)	1 個
自製白色小型飼養箱 (5.5*5*2.5 公分)	1 個	自製黑色小型飼養箱 (5.5*5*2.5 公分)	1 個
自製可調角度蝦子固定器	2 個	VIBRA 電子秤(HT-224R)	1 臺
T5 燈管	8 根	各色玻璃紙 (紅、黃、綠、藍、紫)	14 張
滴管	2 支	培養皿	10 個
各式燒杯(25mL 及 500mL)	9 個	50mL 量筒	1 個
<b>材料</b> 黑殼蝦	適量	5%促腎上腺皮質素溶液	240mL
pH6 緩衝液	150mL	10%促腎上腺皮質素溶液	240mL
pH7 緩衝液	150mL	5%腎上腺素溶液	240mL
pH8 緩衝液	150mL	10%腎上腺素溶液	240mL
<b>軟體</b> Photoimpact12		Excel	

### 二、實驗結果數據

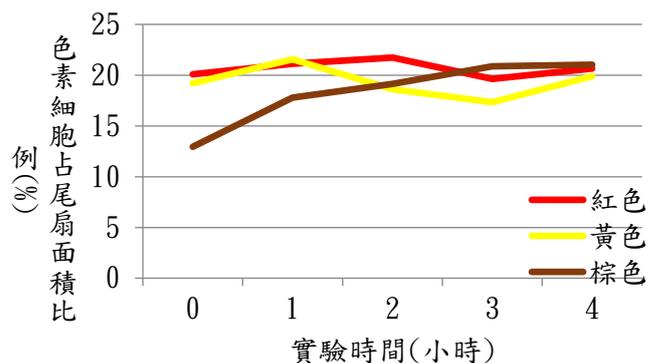
#### 1. 不照光

分鐘\色素細胞	紅色	黃色	棕色
0	16.28	34.73	18.24
15	20.88	36.00	18.02
30	24.23	38.07	18.08
45	21.76	34.62	17.43
60	19.96	36.32	13.45



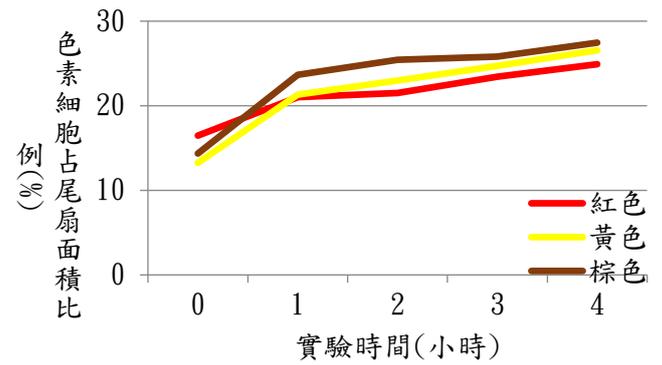
#### 2. 長時間紅光

小時\色素細胞	紅色	黃色	棕色
0	20.09	19.21	12.94
1	21.12	21.56	17.78
2	21.73	18.61	19.14
3	19.63	17.33	20.87
4	20.66	19.89	21.03



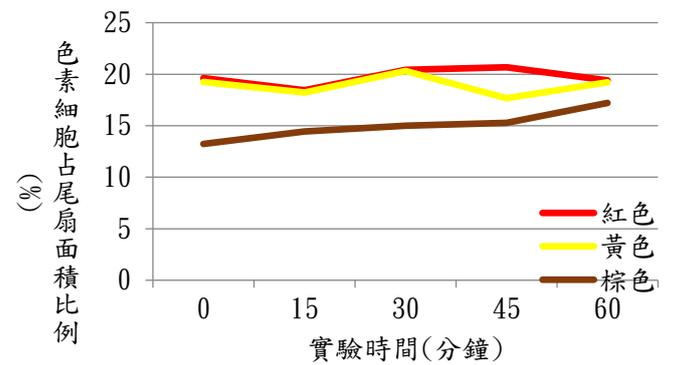
### 3. 長時間紫光

小時\色素細胞	紅色	黃色	棕色
0	16.47	13.25	14.35
1	21.01	21.33	23.66
2	21.51	22.98	25.45
3	23.45	24.72	25.82
4	24.91	26.56	27.46



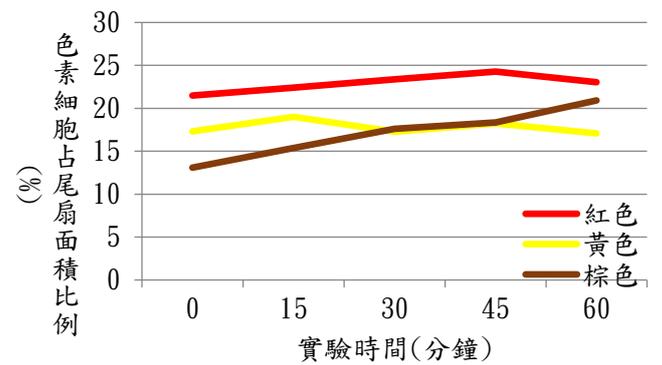
### 4. 短時間紅光

分鐘\色素細胞	紅色	黃色	棕色
0	19.63	19.23	13.23
15	18.44	18.23	14.44
30	20.41	20.31	15.01
45	20.67	17.67	15.27
60	19.41	19.21	17.21



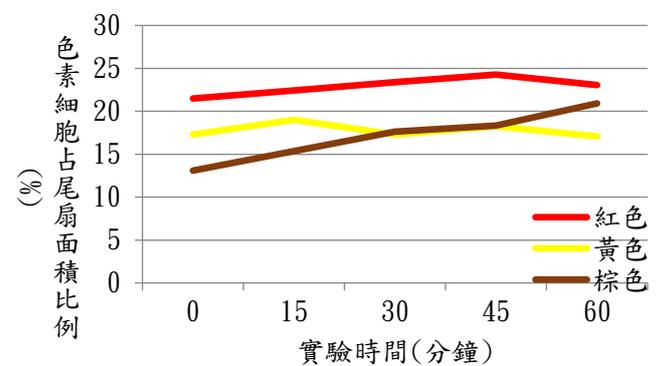
### 5. 短時間黃光

分鐘\色素細胞	紅色	黃色	棕色
0	21.24	18.32	13.25
15	19.64	20.06	14.26
30	21.95	21.03	16.93
45	24.72	18.27	16.74
60	23.31	20.04	18.64



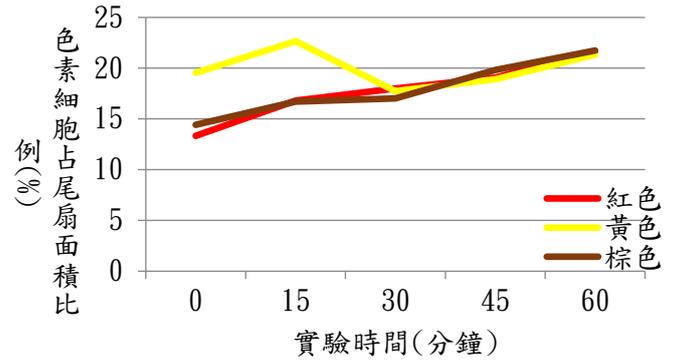
### 6. 短時間綠光

分鐘\色素細胞	紅色	黃色	棕色
0	21.49	17.30	13.09
15	22.42	19.01	15.37
30	23.38	17.28	17.63
45	24.28	18.26	18.34
60	23.06	17.08	20.92



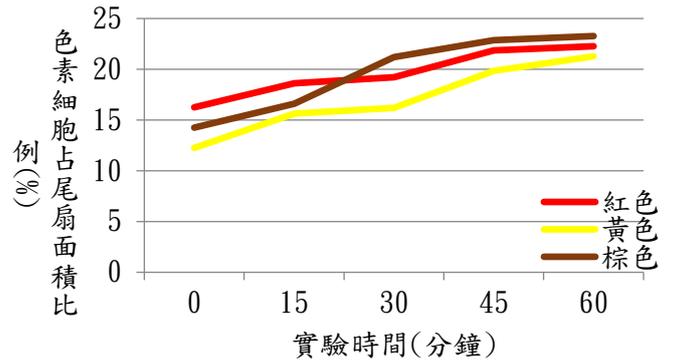
7. 短時間藍光

分鐘\色素細胞	紅色	黃色	棕色
0	14.42	19.53	14.42
15	16.72	22.66	16.72
30	17.01	17.74	17.01
45	19.83	18.91	19.83
60	21.74	21.33	21.74



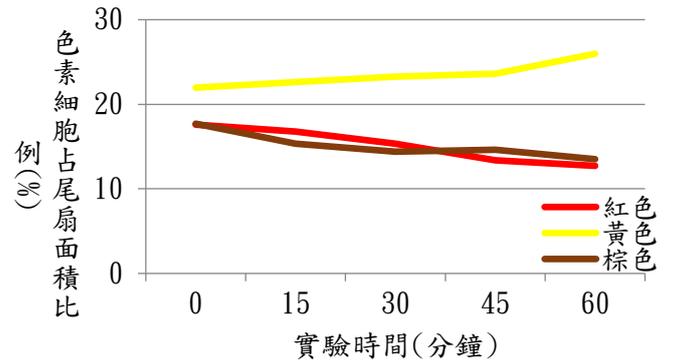
8. 短時間紫光

分鐘\色素細胞	紅色	黃色	棕色
0	16.25	12.25	14.25
15	18.62	15.62	16.62
30	19.20	16.20	21.20
45	21.85	19.85	22.85
60	22.27	21.27	23.27



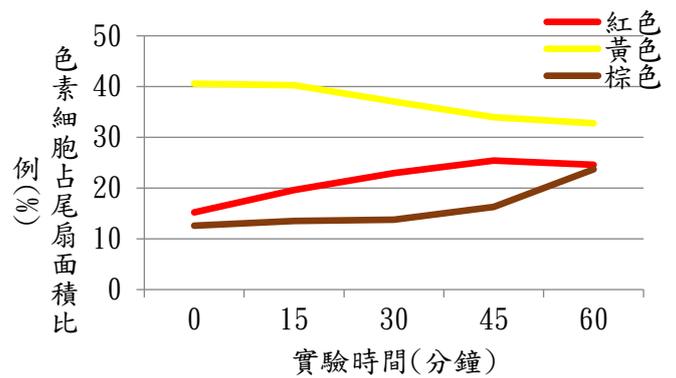
9. 白色背景

分鐘\色素細胞	紅色	黃色	棕色
0	17.59	21.96	17.70
15	16.77	22.63	15.34
30	15.33	23.25	14.38
45	13.36	23.60	14.61
60	12.72	25.97	13.51



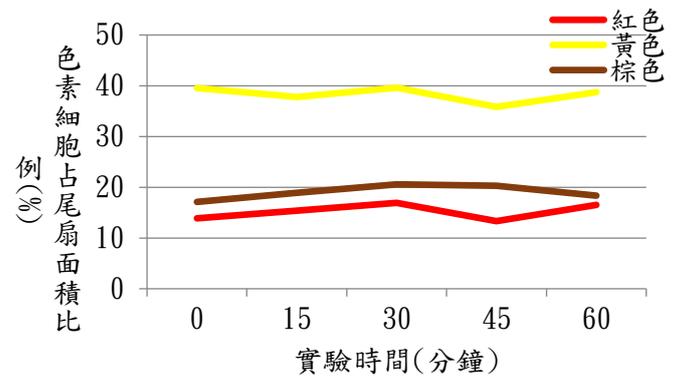
10. 黑色背景

分鐘\色素細胞	紅色	黃色	棕色
0	15.21	40.58	12.59
15	19.64	40.28	13.54
30	22.95	37.07	13.76
45	25.42	33.97	16.29
60	24.59	32.77	23.70



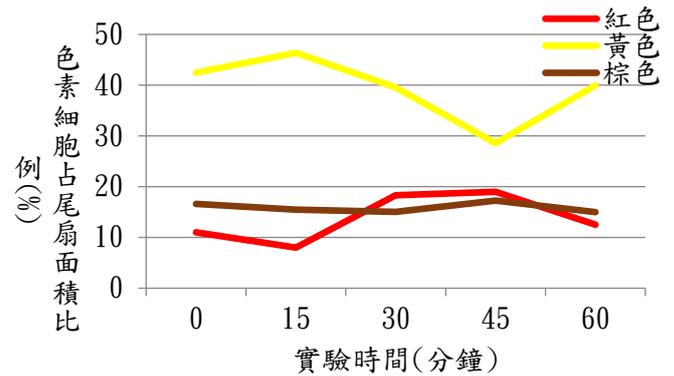
11. pH6

分鐘\色素細胞	紅色	黃色	棕色
0	13.89	39.52	39.52
15	15.38	37.75	37.75
30	16.92	39.61	39.61
45	13.32	35.83	35.83
60	16.50	38.72	38.72



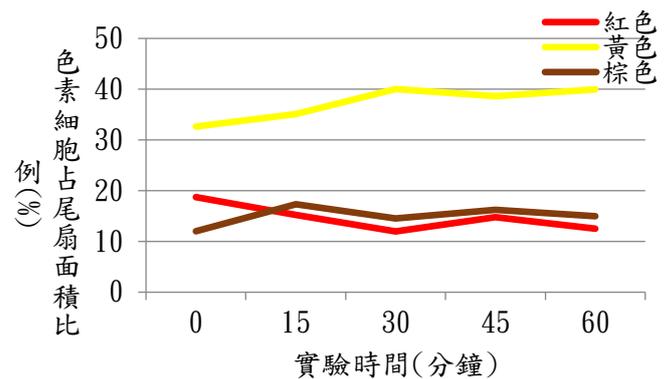
12. pH7

分鐘\色素細胞	紅色	黃色	棕色
0	11.03	42.49	16.62
15	8.00	46.37	15.46
30	18.34	39.57	15.02
45	18.99	28.57	17.26
60	12.52	39.94	14.99



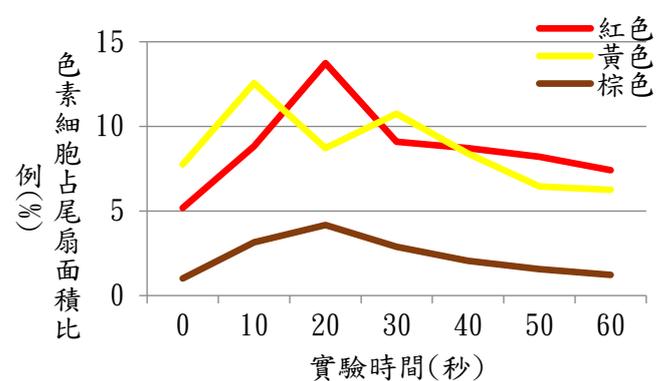
13. pH8

分鐘\色素細胞	紅色	黃色	棕色
0	18.73	32.63	12.01
15	15.22	35.13	17.33
30	11.97	40.02	14.56
45	14.79	38.60	16.24
60	11.94	38.61	11.92



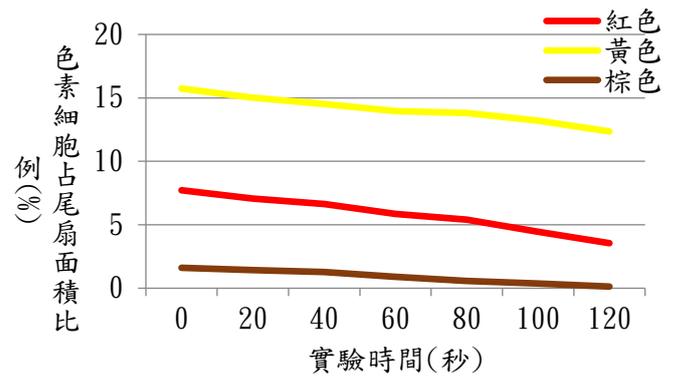
14. 電擊

秒\色素細胞	紅色	黃色	棕色
0	5.18	7.75	1.01
10	8.82	12.56	3.14
20	13.74	8.71	4.17
30	9.09	10.76	2.89
40	8.72	8.39	2.05
50	8.21	6.45	1.56
60	7.42	6.25	1.22



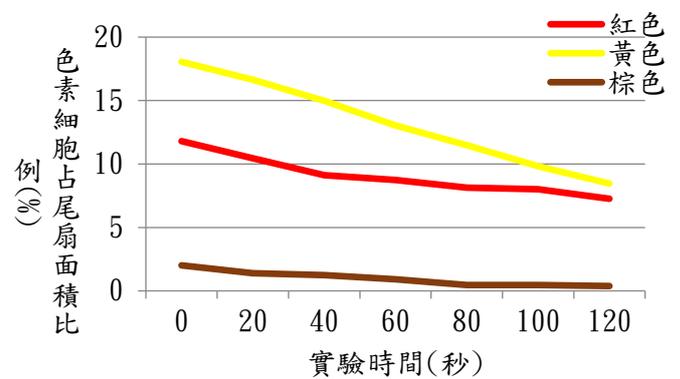
15. 5%腎上腺素

秒\色素細胞	紅色	黃色	棕色
0	5.18	7.75	1.01
20	8.82	12.56	3.14
40	13.74	8.71	4.17
60	9.09	10.76	2.89
80	8.72	8.39	2.05
100	8.21	6.45	1.56
120	7.42	6.25	1.22



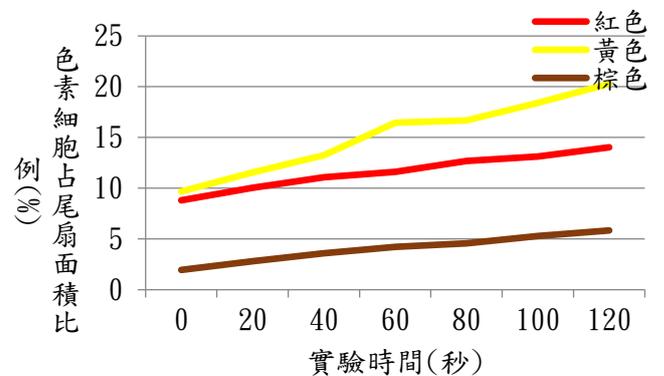
16. 10%腎上腺素

秒\色素細胞	紅色	黃色	棕色
0	11.80	18.05	2.01
20	10.46	16.65	1.40
40	9.12	14.99	1.24
60	8.74	13.03	0.91
80	8.13	11.47	0.46
100	8.02	9.83	0.47
120	7.26	8.46	0.38



17. 5%促腎上腺皮質素

秒\色素細胞	紅色	黃色	棕色
0	8.81	9.68	1.95
20	10.05	11.56	2.82
40	11.09	13.24	3.58
60	11.60	16.45	4.23
80	12.69	16.67	4.57
100	13.13	18.41	5.29
120	14.03	20.29	5.84



18. 10%促腎上腺皮質素

秒\色素細胞	紅色	黃色	棕色
0	8.02	9.36	1.61
20	10.76	12.19	4.07
40	13.37	14.58	5.24
60	14.92	16.14	5.37
80	15.34	16.73	5.80
100	15.68	17.36	6.02
120	16.14	17.88	6.43

