

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物科

030308

「磁」魚之殃

—區域性蓋斑鬥魚磁場中的行為探討

學校名稱：基隆市立武崙國民中學

作者： 國二 陳柏任 國二 蕭易宏 國二 方浩宇	指導老師： 葉玉君 鍾 翎
---	-----------------------------

關鍵詞：蓋斑鬥魚、磁場

『磁』魚之殃—區域性蓋斑鬥魚磁場中的行爲探討

摘要

地球具有磁場，地球磁場影響了許多生物的棲息及遷徙行爲。本研究透過外加與地磁方向不同的磁場，來了解蓋斑鬥魚的各項行爲是否受外加磁場干擾影響。

實驗發現外加磁場下：蓋斑鬥魚的方向判別能力降低，常常有方向判別錯誤的情形發生；牠的覓食行爲在磁場干擾下所需時間增長，次數也減少；蓋斑鬥魚的胸鰭、尾鰭的擺動次數、幅度也受其影響；其變得比較好動，不會長時間停留在同一位置。

我們也發現蓋斑鬥魚的某些行爲與外加磁場沒有太大的關係。例如：無論有無外加磁場，其都喜愛較暗的地方；偏愛深色、喜歡溫暖的水域、偏好棲息在底部、習慣逆流而上。此外蓋斑鬥魚的記憶能力也不受外加磁場干擾。

壹、研究動機

蓋斑鬥魚 (*Macropodus operculari*) 是臺灣原生種的魚類，以前在水塘或是水田中都可以隨處可見，後來因為環境的破壞，數量逐漸減少。我們對於蓋斑鬥魚在磁場中的表現很感興趣，地球磁場會影響生物的遷徙以及活動，對於大多數具有遷徙行爲的動物而言都扮演著重要的角色，然而對於沒有遷徙行爲的動物而言具有何種意義？蓋斑鬥魚本身是屬於區域性的魚類並無遷徙行爲，我們很想瞭解磁場是否會對牠的行爲造成影響。

貳、研究目的

- 一、探討磁場對於蓋斑鬥魚基本生理現象之影響
- 二、探討磁場對於蓋斑鬥魚覓食偏好之影響
- 三、探討磁場對於蓋斑鬥魚的環境觀察之影響
- 四、探討磁場對於蓋斑鬥魚的光反應之影響
- 五、探討磁場對於蓋斑鬥魚的顏色偏好之影響
- 六、探討磁場對於蓋斑鬥魚的溫度偏好之影響
- 七、觀察磁場對於蓋斑鬥魚的環境中水深偏好之影響
- 八、觀察磁場對於蓋斑鬥魚在水中的位置分布之影響
- 九、研究磁場對於蓋斑鬥魚的學習行爲之影響
- 十、研究磁場對於蓋斑鬥魚在不同水流速度下反應之影響

參、研究設備及器材

飼養箱、一般飼料、吸管、剪刀、熱熔膠、銅線、電源供應器、塑膠瓦楞板、塑膠湯匙、水草、萬年青、水中裝飾物、LED 燈泡、玻璃紙、奇異筆、小石頭、溫度計、冰塊、保麗龍球、乒乓球、高斯計、玩具馬達等用具。

肆、研究方法

一、測量基本體型

為了解不同年齡蓋斑鬥魚的行為差異，因此測量使用之 18 隻鬥魚。測量時，將蓋斑鬥魚放入有泡水的衛生紙的培養皿，分別測量蓋斑鬥魚的長、寬、重量。初步將鬥魚依照身體長度分成大魚及中魚，5.5 公分以上歸類為大魚，以下歸類為中魚。其體型平均數值如下表一：

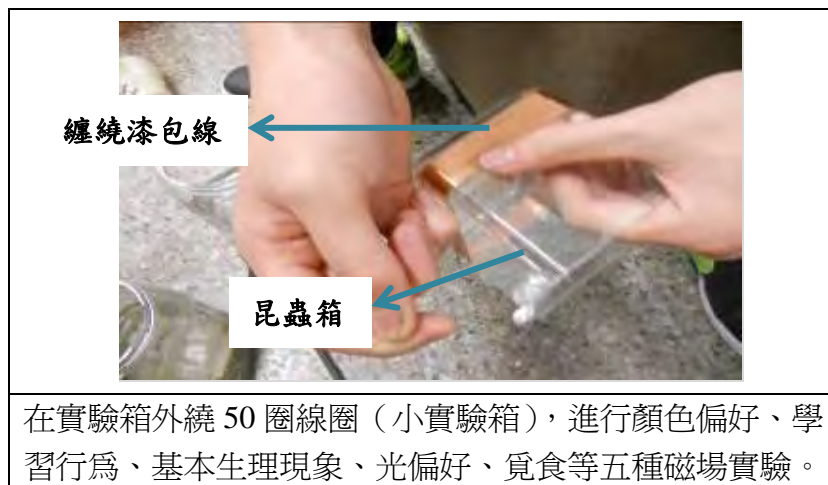
	長度	寬度	重量	胸鰭	腹鰭	臀鰭	尾鰭
大魚	6.58	1.66	5.83g	1.18	1.4	3.64	1.75
中魚	4.68	1.34	3.17g	0.7	1	2.32	1.13

表一、大魚及中魚體型平均值比較（重量單位:公克，其他數值單位:公分）

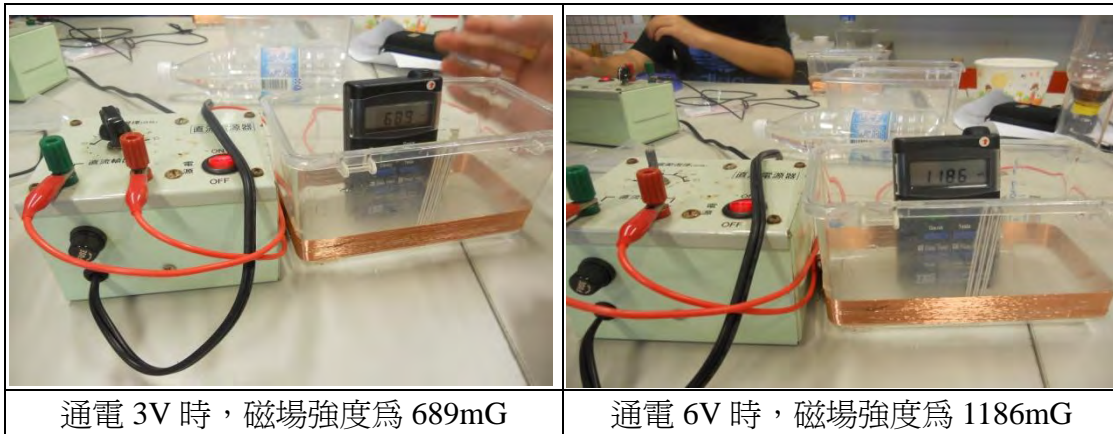


二、製造磁場的方式

- (一) 實驗欲瞭解磁場是否影響蓋斑鬥魚的行為。故在實驗箱外側纏繞 50 圈線圈，利用此箱進行相關磁場環境的實驗。產生的磁場方向為向上或向下，與地磁方向呈九十度。實驗箱有兩個，小實驗箱進行顏色偏好、學習行為、基本生理現象、光偏好、覓食等五種磁場實驗，大實驗箱進行環境觀察、溫度偏好、水深偏好、位置分布以及不同水流速度實驗。



(二) 實驗箱製作完成，分別施加 3V、6V 的電壓，並使用高斯計測量不同電壓下磁場強度，不論大小實驗箱，磁場強度皆為：3V 為 689mG，6V 為 1186mG。



通電 3V 時，磁場強度為 689mG

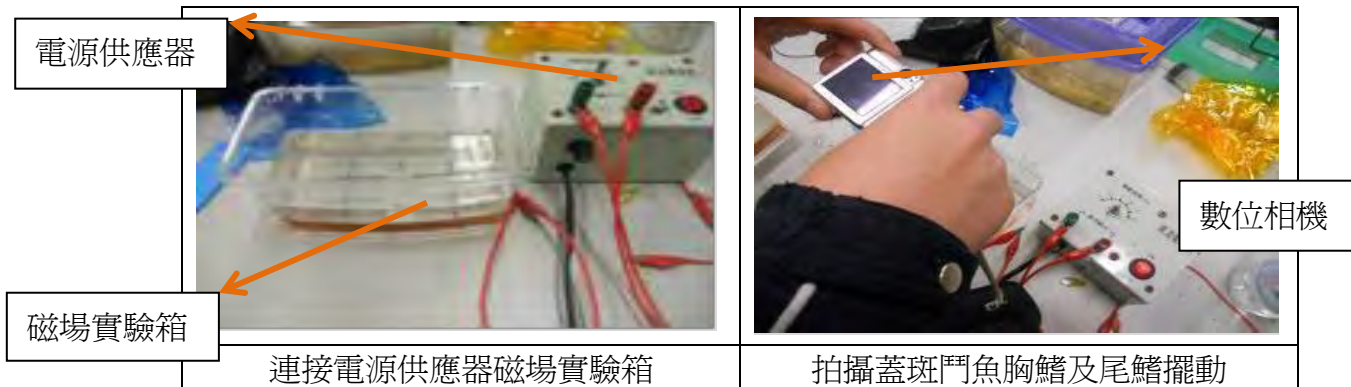
通電 6V 時，磁場強度為 1186mG

三、磁場實驗

實驗的操作分成對照組（電壓為 0V）以及實驗組（電壓分別為 3V 及 6V）。

(一) 探討磁場對於蓋斑鬥魚基本生理現象之影響

為瞭解蓋斑鬥魚在磁場中的行為變化，觀察蓋斑鬥魚胸鰭及尾鰭於放入實驗箱後 1 分鐘、2 分鐘、3 分鐘、4 分鐘以及 5 分鐘的反應。計算其每分鐘的前 10 秒之擺動次數（頻率），及記錄 1 分鐘中 5 次擺動的幅度（角度）並計算平均幅度。此外，計算魚每分鐘垂直移動的總距離、速度；水平移動的總距離、速度。觀察水平移動次數，計算水平移動頻率。實驗中使用相機攝影，之後再播放計算。

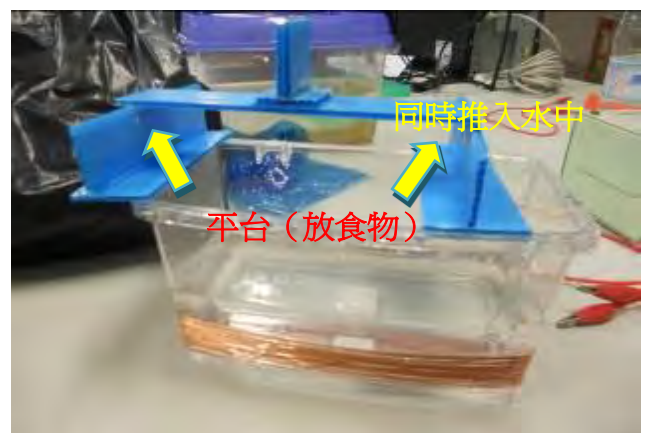


(二) 探討磁場對於蓋斑鬥魚的覓食偏好之影響

實驗前將魚禁食 3 天。實驗時，在實驗箱四個角落分別丟入一般飼料、白吐司、白飯和營養片，分別觀察鬥魚進食的時間和情況。每組蓋斑鬥魚實驗 3 次。

(三) 探討磁場對於蓋斑鬥魚的環境觀察之影響

用指北針測八方位製造振動，振動距離為 5 公分。觀察魚是否受吸引前往振動區域，並記錄鬥魚反應及實驗情況。振動以 5 次為限，每次振動間隔 2 秒，1 分鐘後若無前往表示沒有反應。實驗前，取一小塑膠盒，在其上開兩個小洞，用來固定鬥魚，開洞是避免抽取時製造氣泡，妨礙觀察。製造振動方式為丟下乒乓球、保麗龍球、一般飼料。





(四) 探討磁場對於蓋斑鬥魚的光反應之影響

1. 一般光照下蓋斑鬥魚的反應

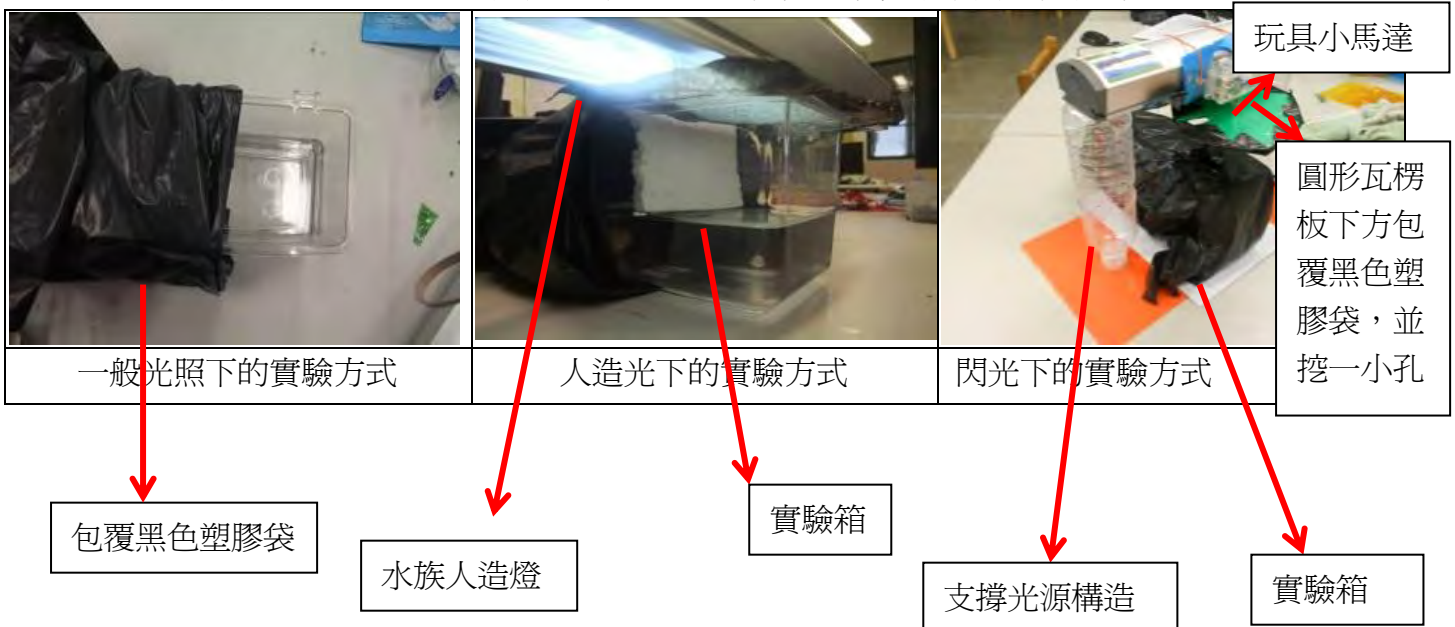
取一實驗箱一邊包覆黑色的塑膠袋，另一邊不包覆任何東西，將一隻鬥魚放入實驗箱中，10 分鐘後觀察停留區塊並且記錄。

2. 人造光下蓋斑鬥魚的反應

利用上述實驗箱，並在上方架設日光燈，將一隻鬥魚放入實驗箱中，10 分鐘後觀察停留區塊並且記錄。實驗時，在兩區域分隔處放置保麗龍板，防止光線照射到黑色區域中。

3. 閃光下蓋斑鬥魚的反應

實驗前，先自製旋轉器，製造閃光。取一實驗箱，用黑色的塑膠袋完全包覆並架上閃光器具。實驗時，將一隻鬥魚放入實驗箱中，啟動旋轉器，每秒閃 2 次，共 3600 次，分別於 10、20、30 分鐘記錄一次魚的位置，最後觀察鬥魚位在哪一邊。



(五) 探討磁場對於蓋斑鬥魚的顏色偏好之影響

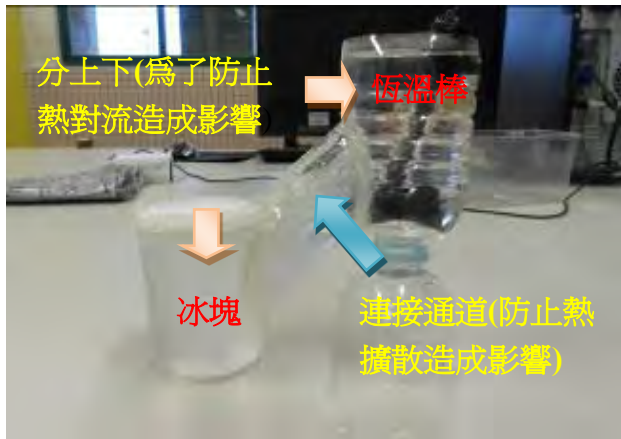
將實驗箱包覆無色、紅色、黃色、綠色、藍色及黑色的玻璃紙，兩兩為一組。將魚放入實驗箱，中魚四隻為一單位，大魚一隻為一單位，經過 10 分鐘之後，觀察其停留區域。每一組實驗 5 次，並記錄顏色偏好。為了避免黑色玻璃紙會透光，故以多重包覆的方式操作。



顏色偏好實驗箱，兩邊不同顏色

(六) 探討磁場對於蓋斑鬥魚的溫度偏好之影響

準備兩個寶特瓶，對切後再開一半徑 2 公分的洞，並用通道連接（分上下）。分別放入冰塊及恆溫棒，每隔 10 分鐘觀察魚的位置靠近何處，共 50 分鐘。磁場實驗時將裝置放入大的磁場實驗箱。



(七) 觀察磁場對於蓋斑鬥魚的環境中水深偏好之影響

取一個塑膠罐，於罐上標記尺規，數字隨水深減小。將鬥魚放入罐中 10 分鐘，記錄其頭、腹、尾三個部位位置，並重複 5 次。大魚一隻爲一單位，中魚兩隻爲一單位。



(八) 觀察磁場對於蓋斑鬥魚在水中的位置分布之影響

1. 觀察蓋斑鬥魚在無其他物體的環境下位置分布

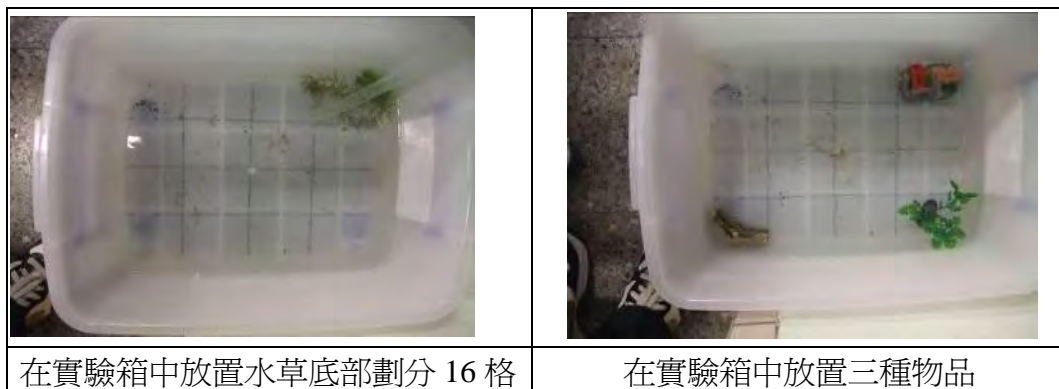
在整理箱底部畫上 4X4 的格子。在格子上標記上坐標，標示方式如下圖所示。將鬥魚放入 10 分鐘，觀察鬥魚最後停留位置，並畫出頭的方向，重複 5 次。大魚一隻爲一單位，中魚兩隻爲一單位。

(4, 1)	(3, 1)	(2, 1)	(1, 1)
(4, 2)	(3, 2)	(2, 2)	(1, 2)
(4, 3)	(3, 3)	(2, 3)	(1, 3)
(4, 4)	(3, 4)	(2, 4)	(1, 4)

2. 觀察蓋斑鬥魚在有其他物體的環境下位置分布

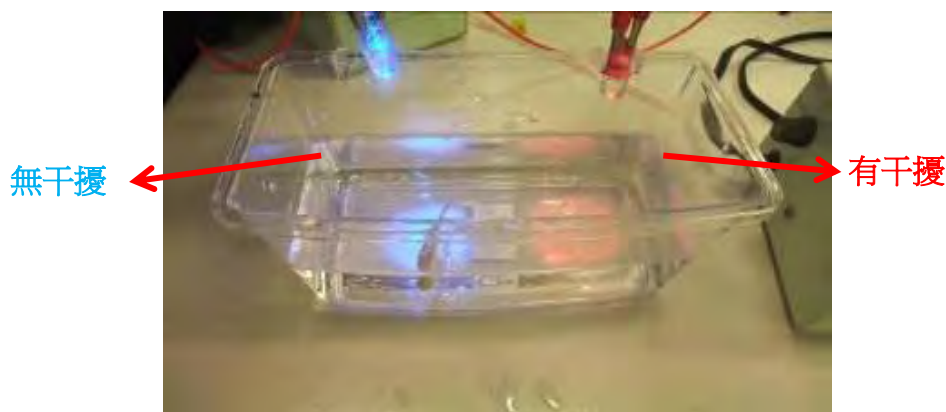
與第一項實驗所使用的器材相同，放置的物品數目分成兩種：第一種只放一種裝飾物品於 (1,1)，另一種是同時放入三種物品在 (1,1) (1,4) (4,4)。物品為水草、水中裝飾品、萬年青，觀察 10 分鐘後鬥魚停留位置，重複 5 次。大魚一隻為一單位，中魚兩隻為一單位。

3. 磁場實驗時實驗箱分成 12 小格，以有無水草分成兩組觀察。



(九) 研究磁場對於蓋斑鬥魚的學習行為之影響

使用不同顏色 LED 燈泡 (紅、黃、藍)，進行實驗，干擾的方式為使用吸管在頭部附近作不同程度的擾動，使鬥魚害怕。將 LED 燈配對成：紅黃、紅藍、黃藍三組，分為干擾及無干擾側，各照 30 秒，在經過 1、5、10、15 及 20 分鐘後同時照兩種 LED 燈，放置 3 分鐘，觀察鬥魚會在哪个顏色底下。



(十) 研究磁場對於蓋斑鬥魚在不同水流速度下反應之影響

1. 實驗器具製作過程

實驗前，以塑膠瓦楞板做為扇葉，以筷子為主軸製作一半徑 7 公分，高 10 公分的水車。並做一長 35 公分、寬 15 公分、高 9 公分的水道，水道前做出柵欄，間隔為 1 公分，共有 4 個開口。將自製水車固定於整理箱中，整理箱為傾斜 30 度以利排水。自製水車固定成水平的方式。架一桶水在 75 cm 的高處，以虹吸管吸水，使水流下拍打葉扇，測量並計算兩種不同的水流速度。

2. 實驗步驟

把魚放進實驗箱尾端，以兩種不同的扇葉製造不同流速，觀察魚會順流或逆流移動，並計算蓋斑鬥魚 10 秒內移動距離，將移動距離 ÷ 10 秒，可得知每秒移動速度為何。



虹吸管抽水

水車轉動造成水流

沖水使水車轉動

伍、實驗結果

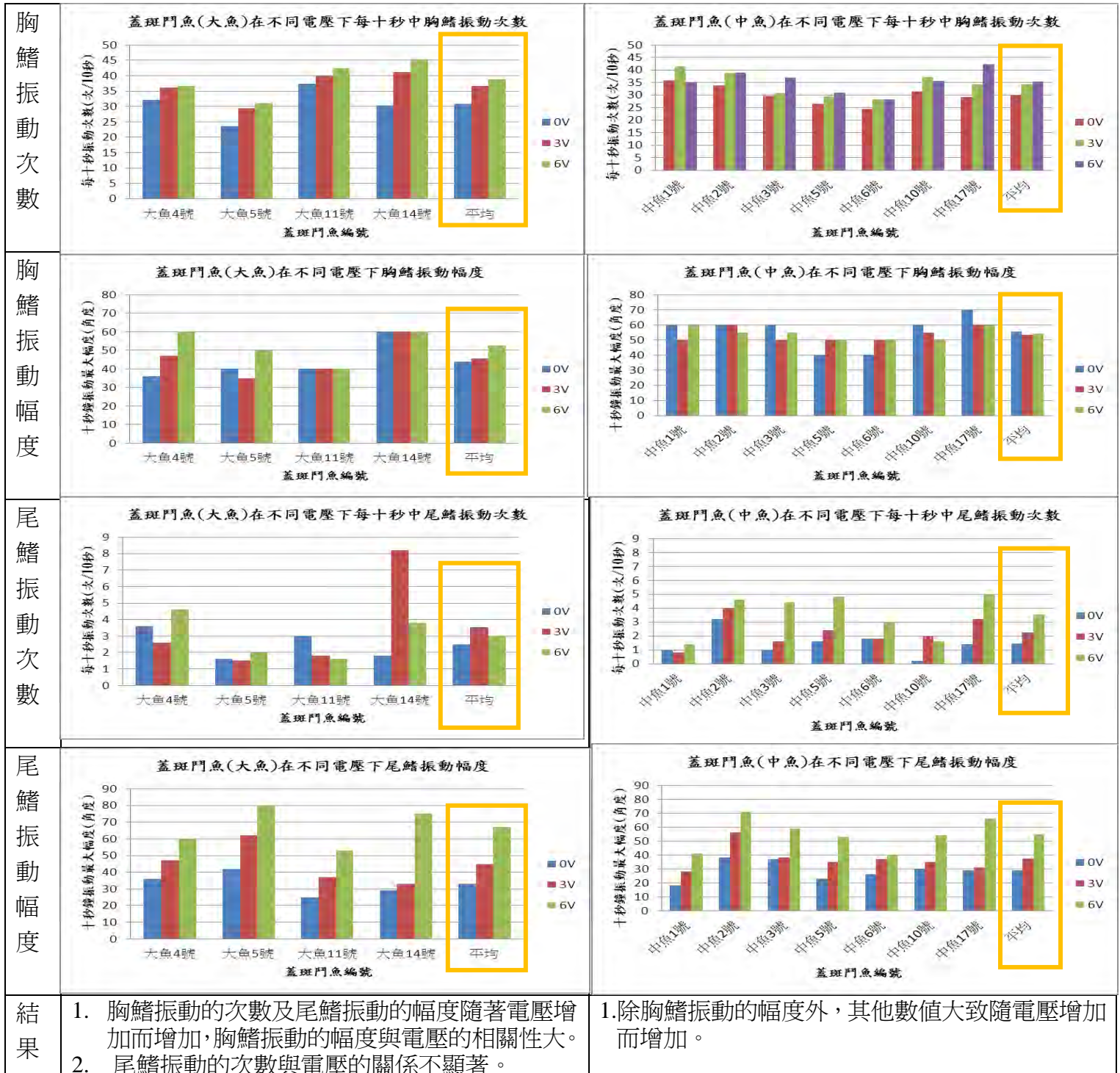
查閱文獻及網路資料，蓋斑鬥魚的分類地位及特性如下：

分類：鱸形目、絲足鱸科、鬥魚屬 學名：*Macropodus operculari*

特性：蓋斑鬥魚主要棲息於池塘、沼澤地帶、稻田等水流和緩的地區。以浮游動物、水生昆蟲、蚊蟲為食。最佳生長的水溫範圍約為 20 度~27 度。

一、探討磁場對於蓋斑鬥魚基本生理現象之影響

(一) 蓋斑鬥魚胸鰭及尾鰭振動的次數以及幅度，如圖一：



圖一、蓋斑鬥魚在不同電壓下胸鰭及尾鰭振動次數及幅度

將大魚及中魚胸鰭和尾鰭擺動的次數及幅度與電壓大小作線性迴歸分析，得到圖二的結果，並將圖二的結果整理成表二。

胸鰭振動次數	<p>蓋斑鬥魚(大魚)胸鰭振動次數與電壓的相關性</p> <p>$y = 1.325x + 31.508$ $R^2 = 0.9343$</p>	<p>蓋斑鬥魚(中魚)胸鰭振動次數與電壓的相關性</p> <p>$y = 0.8905x + 30.614$ $R^2 = 0.9049$</p>
胸鰭振動幅度	<p>蓋斑鬥魚(大魚)胸鰭振動幅度與電壓的相關性</p> <p>$y = 1.4167x + 43.083$ $R^2 = 0.8775$</p>	<p>蓋斑鬥魚(中魚)胸鰭振動幅度與電壓的相關性</p> <p>$y = -0.2381x + 55.238$ $R^2 = 0.4286$</p>
尾鰭振動次數	<p>蓋斑鬥魚(大魚)尾鰭振動次數與電壓的相關性</p> <p>$y = 0.0833x + 2.7583$ $R^2 = 0.2379$</p>	<p>蓋斑鬥魚(中魚)尾鰭振動次數與電壓的相關性</p> <p>$y = 0.3476x + 1.3762$ $R^2 = 0.9822$</p>
尾鰭振動幅度	<p>蓋斑鬥魚(大魚)尾鰭振動幅度與電壓的相關性</p> <p>$y = 5.6667x + 31.25$ $R^2 = 0.9692$</p>	<p>蓋斑鬥魚(中魚)尾鰭振動幅度與電壓的相關性</p> <p>$y = 4.3571x + 27.167$ $R^2 = 0.9596$</p>
結果	<ol style="list-style-type: none"> 1.胸鰭振動的次數及尾鰭振動的幅度與電壓大小為正相關，胸鰭振動的幅度與電壓的相關性大 2.尾鰭振動的次數與電壓大小相關性小 	<ol style="list-style-type: none"> 1.除胸鰭振動的幅度外，其他數值大致與電壓大小呈正相關

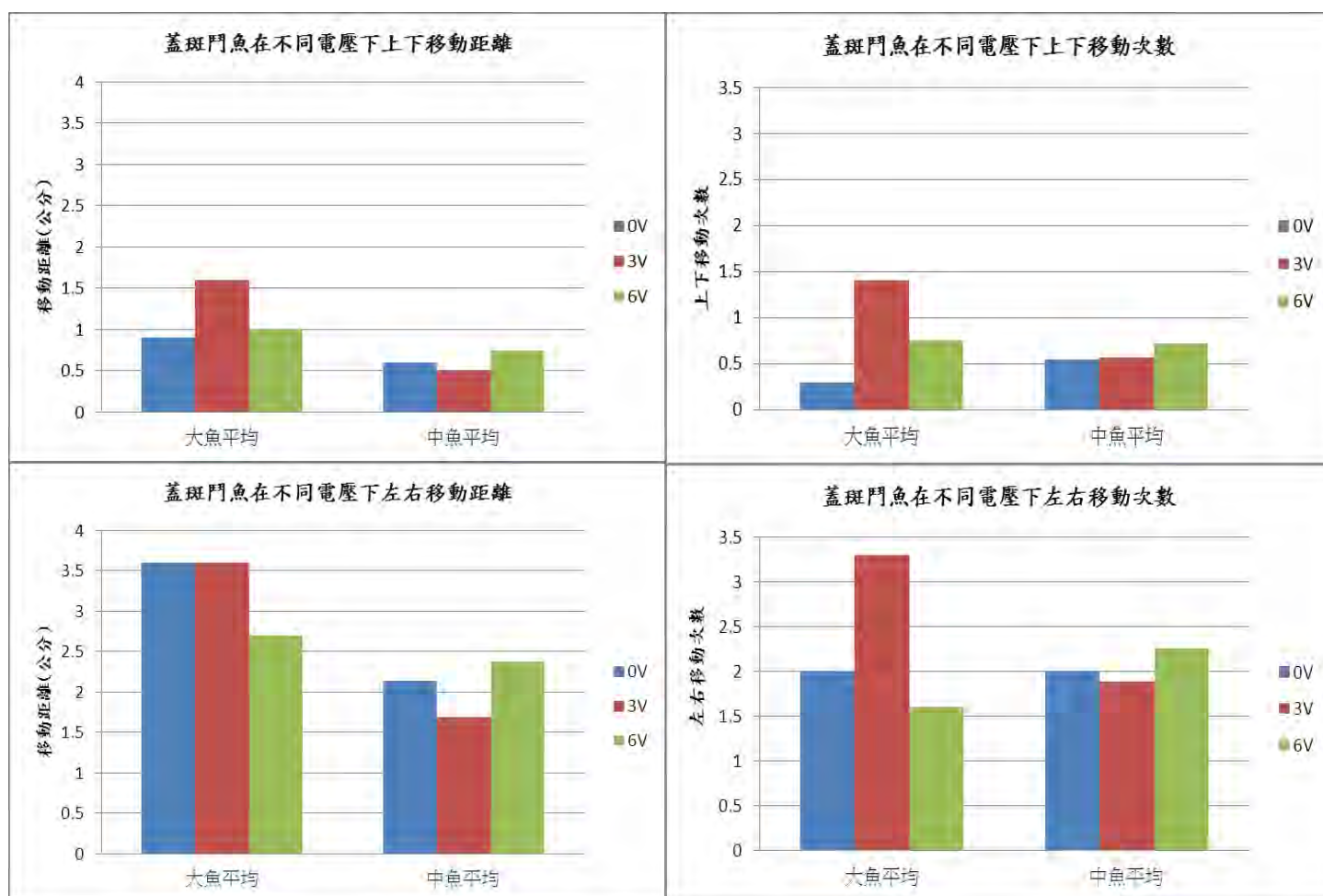
圖二、蓋斑鬥魚胸鰭及尾鰭生理變化與電壓大小相關性

	蓋斑鬥魚（大魚）		蓋斑鬥魚（中魚）	
胸鰭振動次數	$y=1.325x+31.508$ $R^2=0.9343$	顯示磁場越強胸鰭振動次數越多	$y=0.8905x+30.614$ $R^2=0.9049$	顯示磁場越強胸鰭振動次數越多
胸鰭振動幅度	$y=1.4167x+43.083$ $R^2=0.8775$	顯示磁場越強胸鰭振動幅度越大	$y=-0.2381x+55.238$ $R^2=0.4286$	顯示磁場強度與胸鰭振動幅度相關性不大
尾鰭振動次數	$y=0.0833x+2.7583$ $R^2=0.2379$	顯示磁場強度與尾鰭振動次數相關性不大	$y=0.3476x+1.3762$ $R^2=0.9822$	顯示磁場越強尾鰭振動次數越多
尾鰭振動幅度	$y=5.6667x+31.25$ $R^2=0.9692$	顯示磁場越強尾鰭振動幅度越大	$y=4.3571x+27.167$ $R^2=0.9596$	顯示磁場越強尾鰭振動幅度越大
結果	在大魚的實驗中除尾鰭振動次數外，其他生理現象都與磁場強度呈正相關。		在中魚實驗中除胸鰭振動幅度外，其他生理現象大致與磁場呈正相關。	

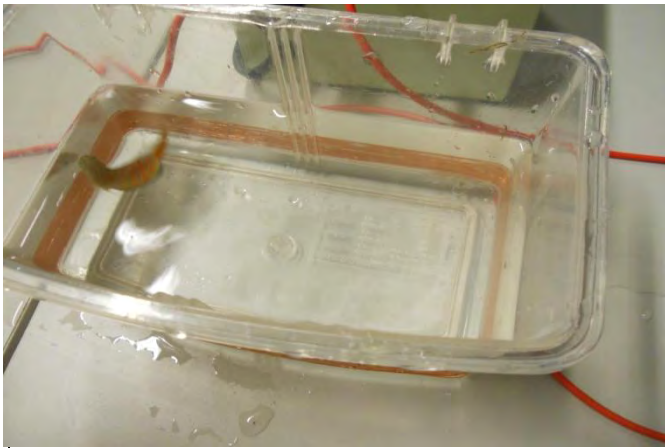
表二、蓋斑鬥魚胸鰭及尾鰭生理變化與電壓大小線性迴歸分析

(二) 蓋斑鬥魚在磁場中移動的狀況

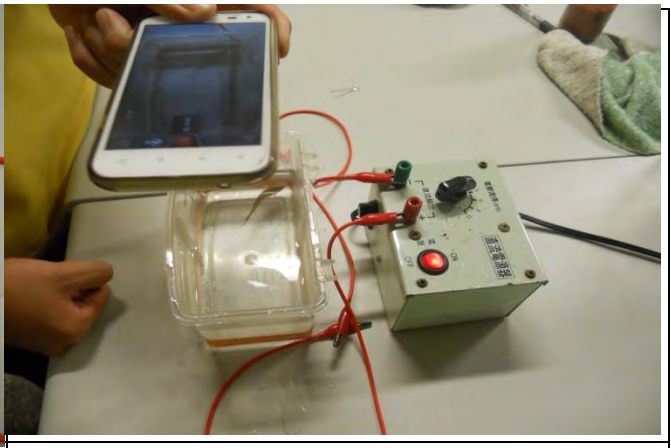
由圖三可以發現，不論是中魚或是大魚在實驗箱中上下移動的次數以及距離都比左右移動的次數及距離來的少，並且與外加的電壓大小相關性不大。



圖三、蓋斑鬥魚在不同電壓下移動的距離及次數比較



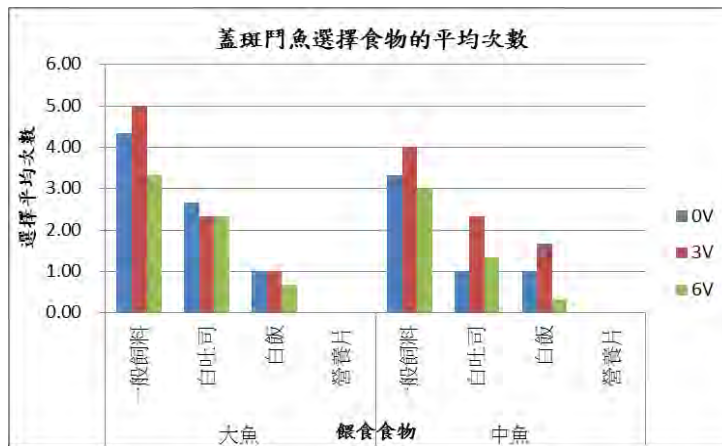
磁場下尾鰭擺動幅度大



拍攝魚鰭擺動

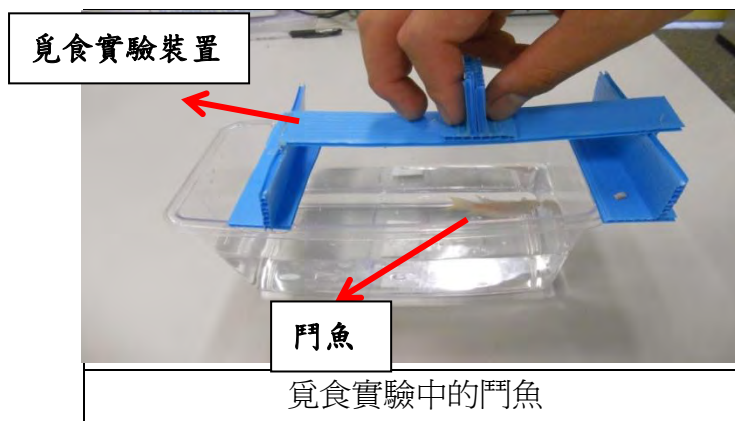
二、探討磁場對於蓋斑鬥魚的覓食偏好之影響

實驗中同時丟入一般飼料、白飯、白吐司以及營養片(為加強魚類體色的營養物質)。結果顯示如圖四，不論是大魚或是中魚對於以上四種食物的選擇次數及選擇的反應速度皆是：一般飼料>白吐司>白飯>營養片。進一步比較大魚及中魚的選擇差別，大魚選擇一般飼料以及白吐司的次數都高於中魚。而選擇食物的類別與電壓大小無關。



圖四、蓋斑鬥魚在不同電壓下選擇食物的平均次數

蓋斑鬥魚的大魚及中魚在外加磁場中偏好的食物依舊以一般飼料及白吐司為主，尤其是一般飼料。因此將到達飼料所需的時間及餵食飼料有反應次數與電壓大小進行線性迴歸分析，請見圖五。



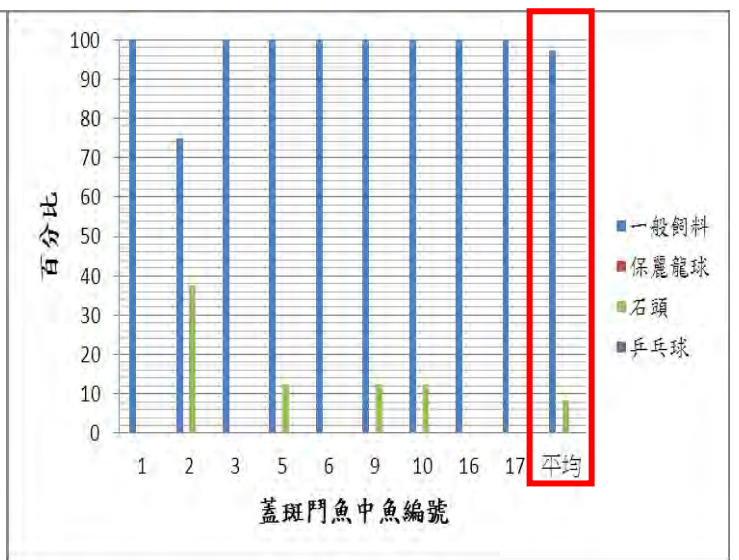
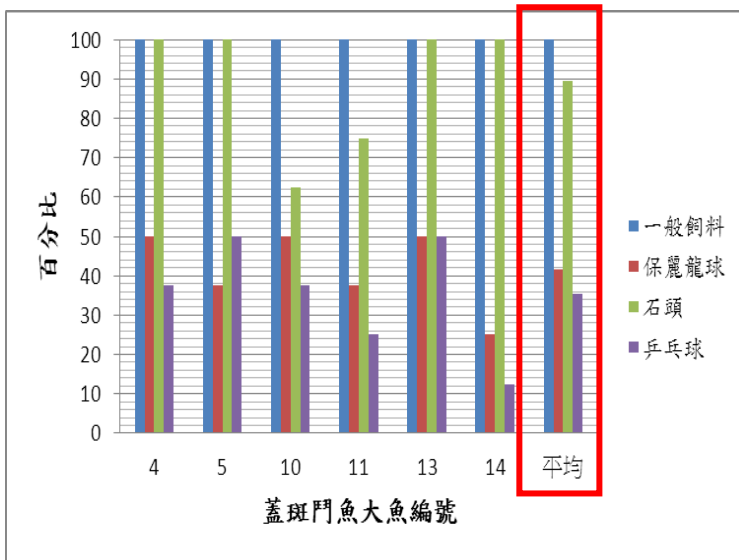
	蓋斑鬥魚（大魚）	蓋斑鬥魚（中魚）
到達飼料所需時間	<p>蓋斑鬥魚(大魚)餵食一般飼料到飼料所需時間</p> <p>$y = 0.5072x + 3.5206$ $R^2 = 0.9815$</p>	<p>蓋斑鬥魚(中魚)餵食一般飼料到飼料所需時間</p> <p>$y = 0.3228x + 3.7828$ $R^2 = 0.9189$</p>
餵食飼料有反應次數	<p>蓋斑鬥魚(大魚)餵食五次飼料的反應次數</p> <p>$y = -0.2783x + 5.055$ $R^2 = 0.9872$</p>	<p>蓋斑鬥魚(中魚)餵食五次飼料的反應次數</p> <p>$y = -0.0556x + 3.6111$ $R^2 = 0.1071$</p>
結果	<p>1. 將蓋斑鬥魚大魚到達飼料的反應時間與電壓大小進行線性迴歸分析，得到 $y = 0.5072x + 3.5206 (R^2 = 0.9815)$，顯示磁場越強，到達飼料所需的時間也越多，與電壓大小呈正相關。</p> <p>2. 將蓋斑鬥魚大魚餵食飼料有反應的次數與電壓大小進行線性迴歸分析，得到 $y = -0.2783x + 5.055 (R^2 = 0.9872)$，顯示磁場越強，餵食飼料會有反應的次數減少，與電壓大小呈負相關。</p>	<p>1. 將蓋斑鬥魚中魚到達飼料的反應時間與電壓大小進行線性迴歸分析，得到 $y = 0.3228x + 3.7828 (R^2 = 0.9189)$，顯示磁場越強，到達飼料所需的時間也越多，與電壓大小呈正相關。</p> <p>2. 將中魚餵食飼料有反應的次數與電壓大小進行線性迴歸分析，得到 $y = -0.0556x + 3.6111 (R^2 = 0.1071)$，兩者相關性小。</p>

圖五、蓋斑鬥魚選擇一般飼料次數以及選擇反應時間與電壓的相關性

三、探討磁場對於蓋斑鬥魚的環境觀察之影響

(一) 蓋斑鬥魚對於不同物體振動的反應

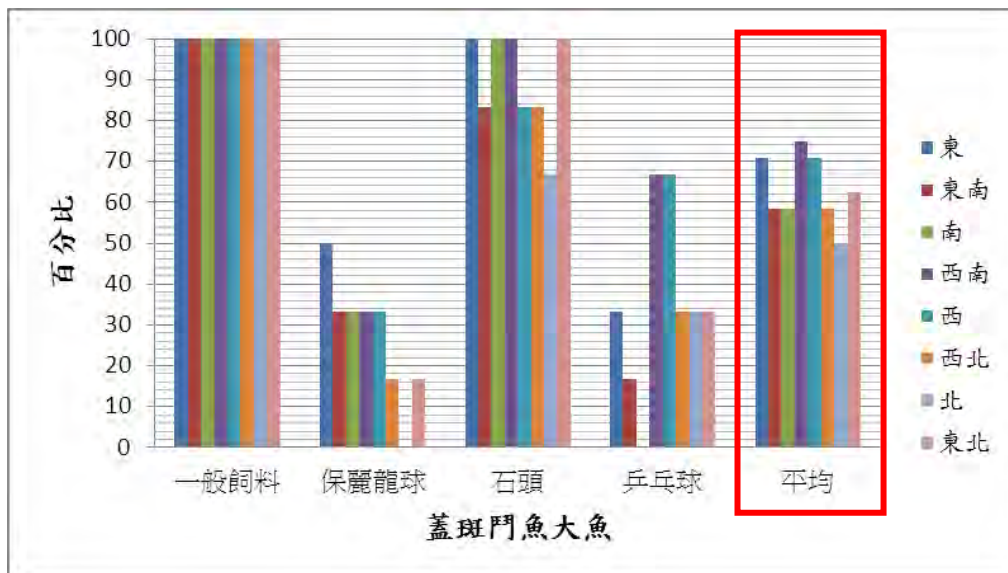
實驗中使用了四種不同的物質刺激蓋斑鬥魚，分別為一般飼料（浮體有氣味）、保麗龍球及乒乓球（浮體沒有氣味）、石頭（沉體沒有氣味），並且區分成八個方位加以刺激。結果顯示，大鬥魚對於四種物質的反應為：一般飼料>石頭>保麗龍球>乒乓球，如圖六；而中鬥魚則只對一般飼料和石頭有反應，一般飼料>石頭，如圖七。從實驗結果發現：不論大魚或中魚對於平常餵食的飼料皆很有反應，而對於沉體石頭也有反應，但對於浮體的保麗龍球和乒乓球則反應較弱，尤其是中魚完全沒有反應，可發現大魚對於細微水面變化反應比中魚敏感。



圖六、蓋斑鬥魚(大魚)對於刺激物體的反應百分比 圖七、蓋斑鬥魚(中魚)對於刺激物體的反應百分比

(二) 蓋斑鬥魚對於不同方位振動的反應

進一步分析蓋斑鬥魚對於不同方位的振動狀況，如圖八。由於中魚只對一般飼料有反應，因此不列入分析，分析的數據以大魚為主。

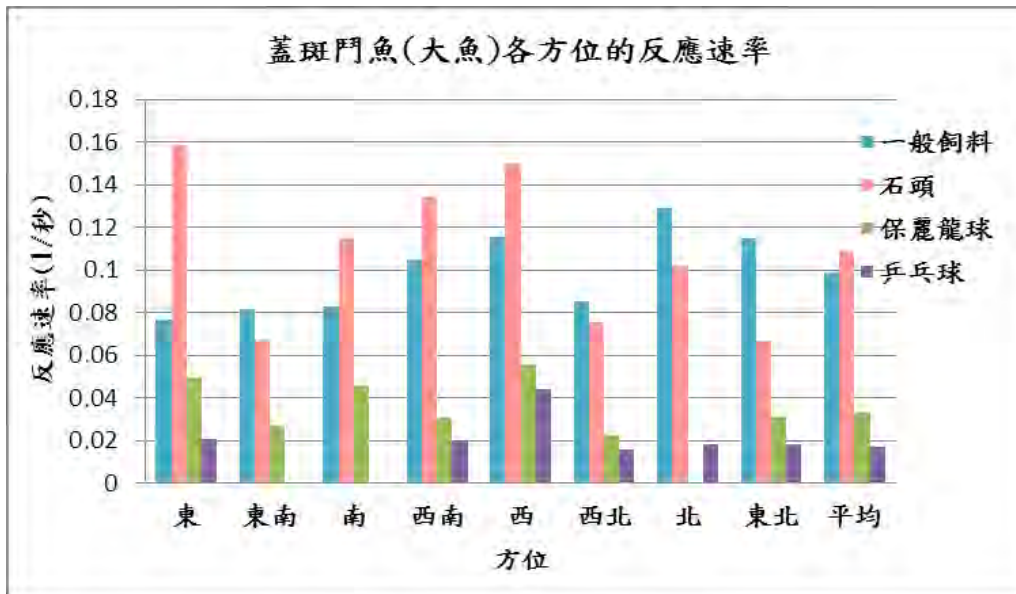


圖八、蓋斑鬥魚(大魚)對於刺激物體的反應八個方位的百分比

從圖中可以發現大鬥魚對於西南方的反應比例較高，對北方的反應比例比較低，每一個方位的反應差異性不大。

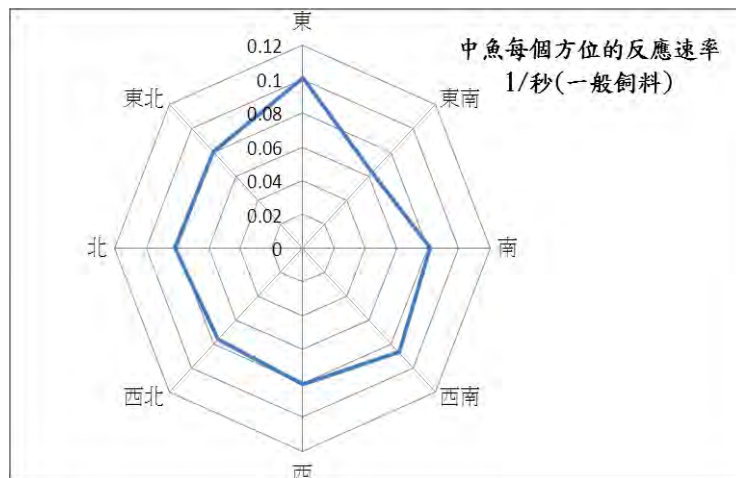
(三) 蓋斑鬥魚對於刺激物體的反應速率

實驗中除了記錄不同物體的反應以及不同方向的反應狀況，如圖九，還記錄了蓋斑鬥魚到達刺激位置的時間，如圖十。記錄的時間的倒數為速率，單位為：1/秒。比較大魚對於各種刺激物的反應速率，雖然不同方位中石頭及一般飼料的反應速率有些差異，但以總體而論一般飼料以及石頭的反應速率最快，另外的保麗龍球及乒乓球的反應速率慢。平均的反應速率為：石頭>一般飼料>保麗龍球>乒乓球。



圖九、蓋斑鬥魚(大魚)對於刺激物體的反應速率(單位：1/秒)

由於蓋斑鬥魚的中魚對於一般飼料才有反應，因此計算中魚對於一般飼料於每個方向的反應速率，如下表及下圖顯示。其中東方的反應速率較快，東南方的反應速率較慢，但每一方位的差異也不大。

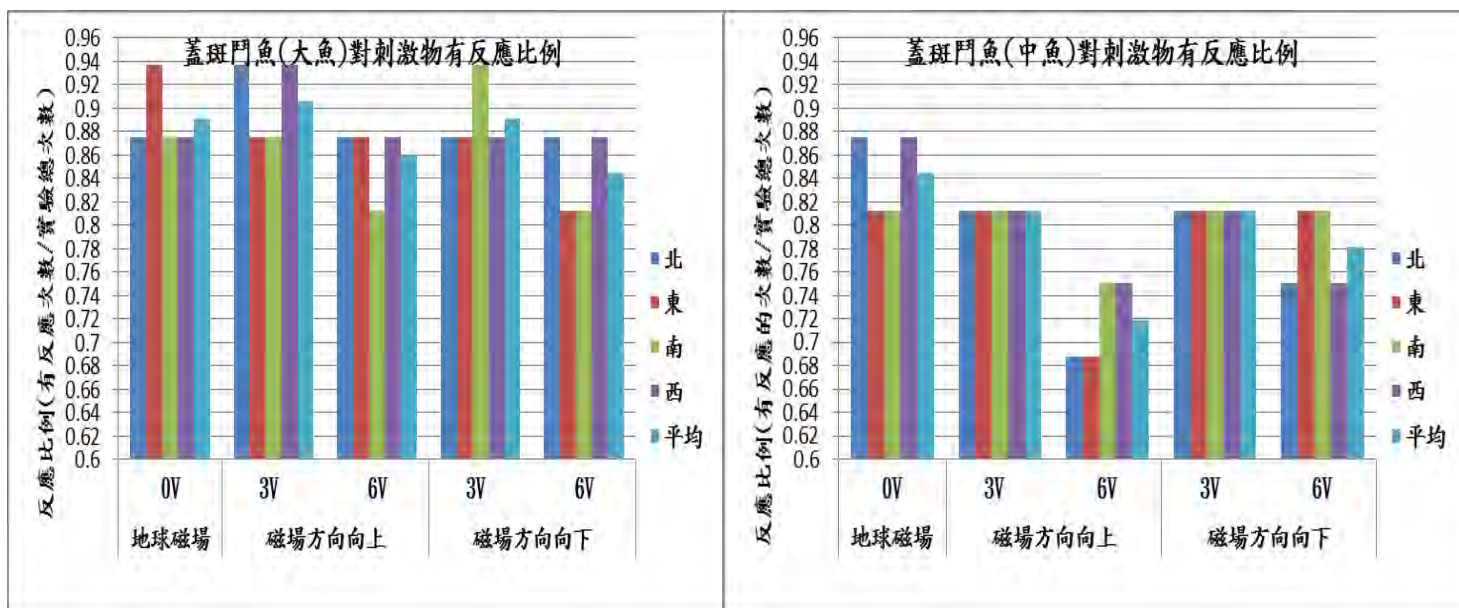


圖十、蓋斑鬥魚(中魚)對於一般飼料的刺激各方位的反應速率(單位：1/秒)

(四) 在磁場中對於環境的觀察

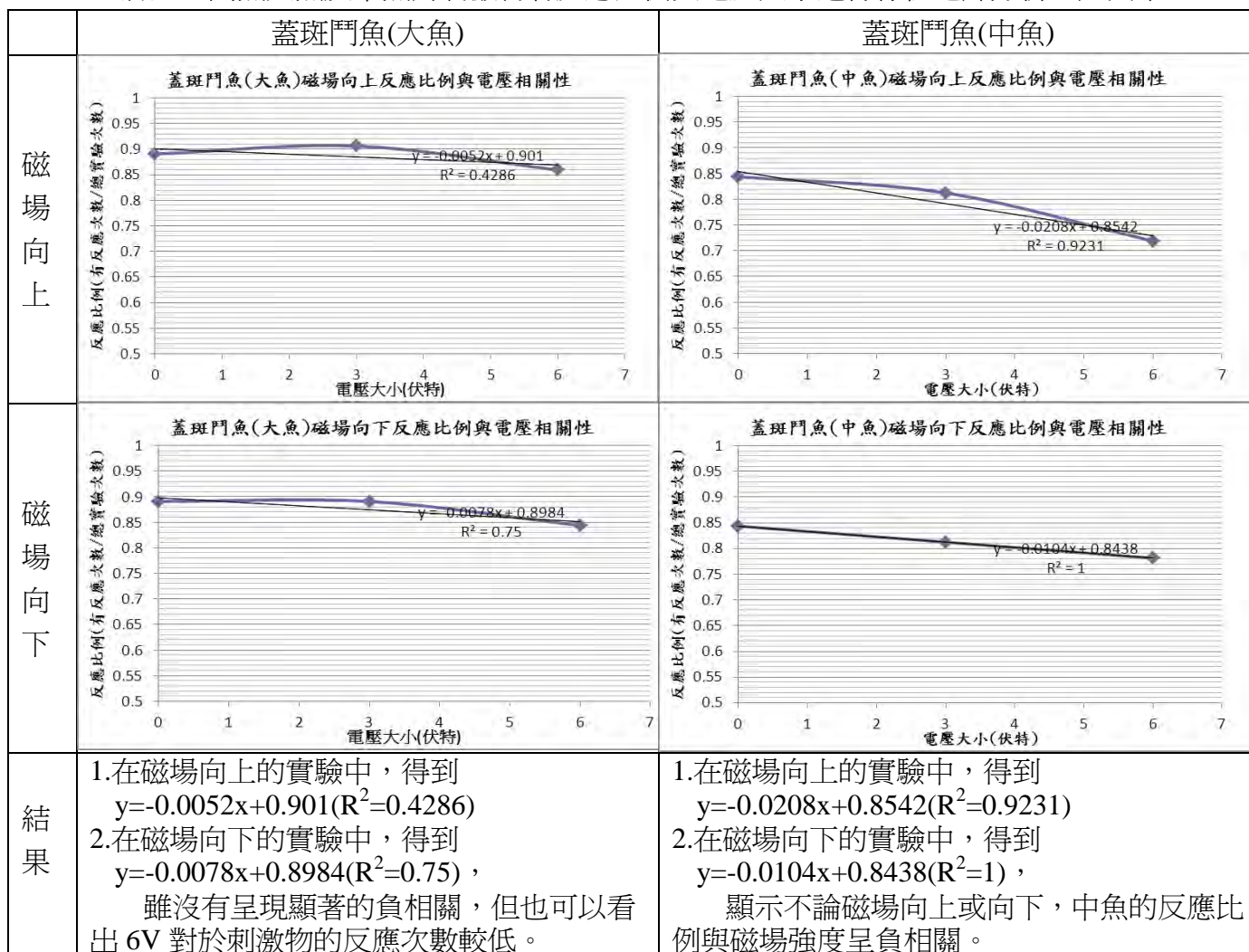
不論在 3V 或 6V 的外加磁場下，蓋斑鬥魚對於保麗龍球反應差，對於一般飼料以及石頭才有反應。為排除味道的影響，在磁場進行的實驗以石頭為刺激物。

1. 實驗中發現蓋斑鬥魚在外加磁場的環境下，對於所丟入的石頭，反應比例有下降的趨勢。其中大魚在沒有電壓及 3V 的環境下，反應的比例差異不大，但在 6V 的環境底下，反應比例顯著的減少。而中魚的反應比例以沒有外加磁場的環境最高，接下來是 3V，而反應比例最少的是 6V 的環境。各方向反應差異不大，詳見圖十一。



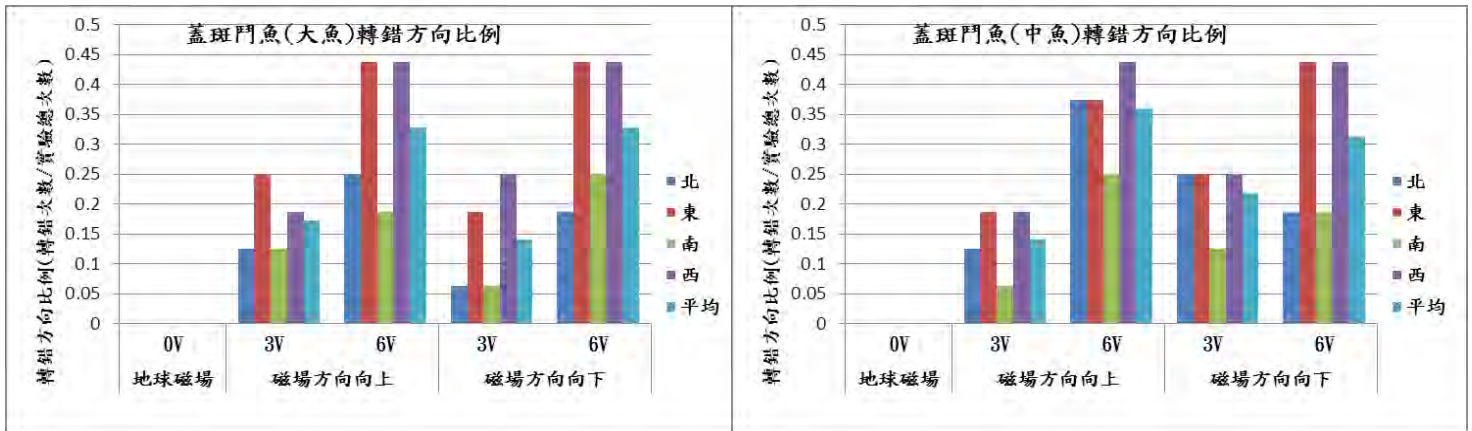
圖十一、蓋斑鬥魚對於刺激物有反應的比例

將蓋斑鬥魚大魚及中魚對刺激物有反應比例與電壓大小進行線性迴歸分析，如圖十二：



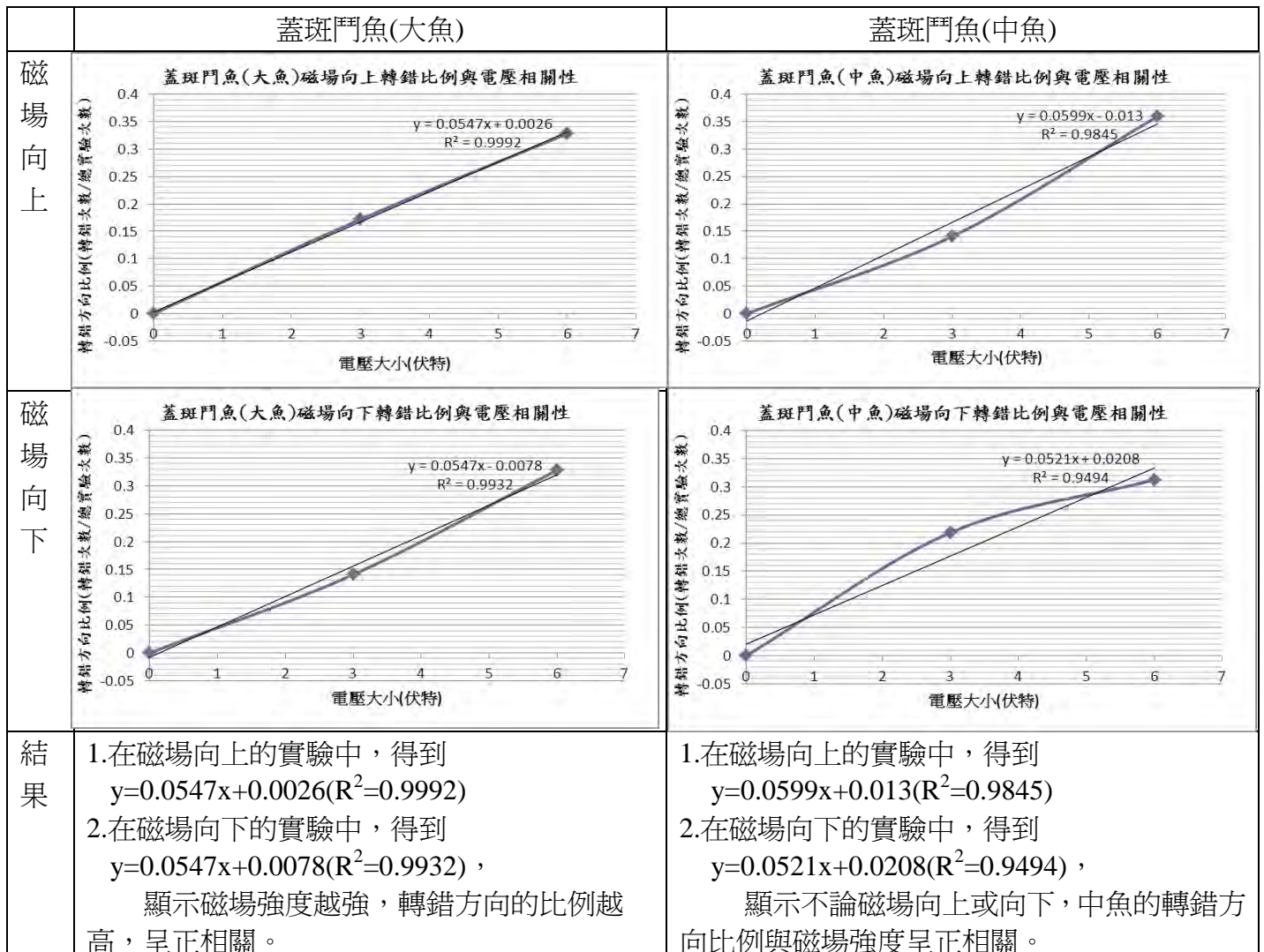
圖十二、蓋斑鬥魚對於刺激物有反應的比例與電壓的相關性

2. 實驗觀察在沒有外加磁場的情形下，不論中魚或大魚都不會轉錯方向；然而在外加磁場下，不論是 3V 或 6V，蓋斑鬥魚有時會往丟入物體處的反方向移動，即外加磁場會使蓋斑鬥魚產生方向的混淆。在轉錯方向後，蓋斑鬥魚會再重新尋找，最後依舊會抵達丟下物體的位置。此外磁場越強，轉錯的比例越高，如圖十三。



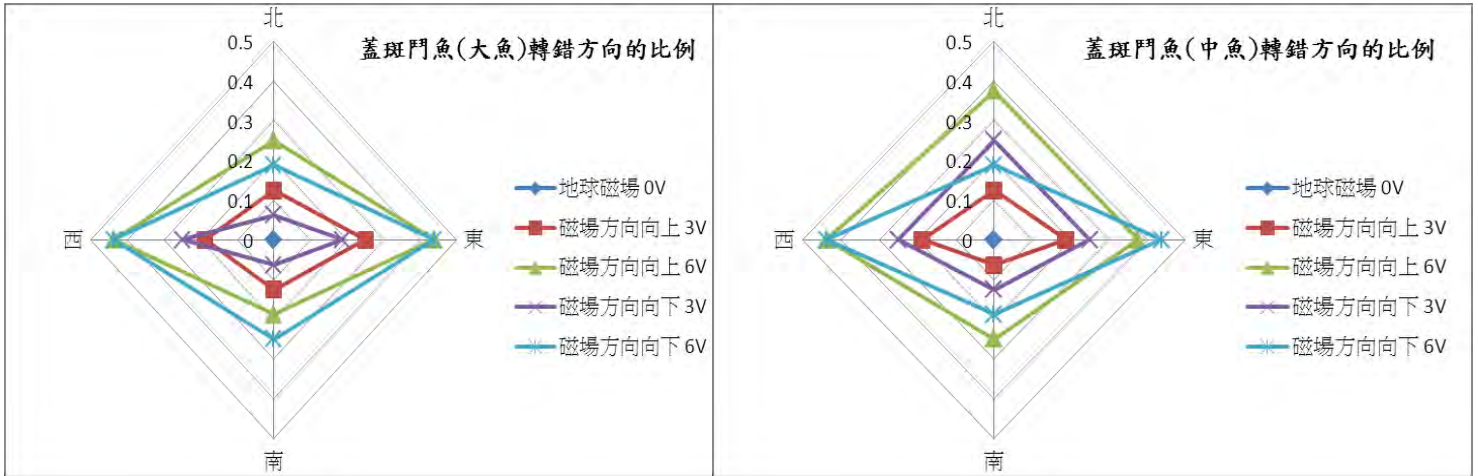
圖十三、蓋斑鬥魚轉錯方向比例

將蓋斑鬥魚大魚及中魚轉錯方向比例與電壓大小進行線性迴歸分析，如圖十四：



圖十四、蓋斑鬥魚轉錯方向比例與電壓的相關性

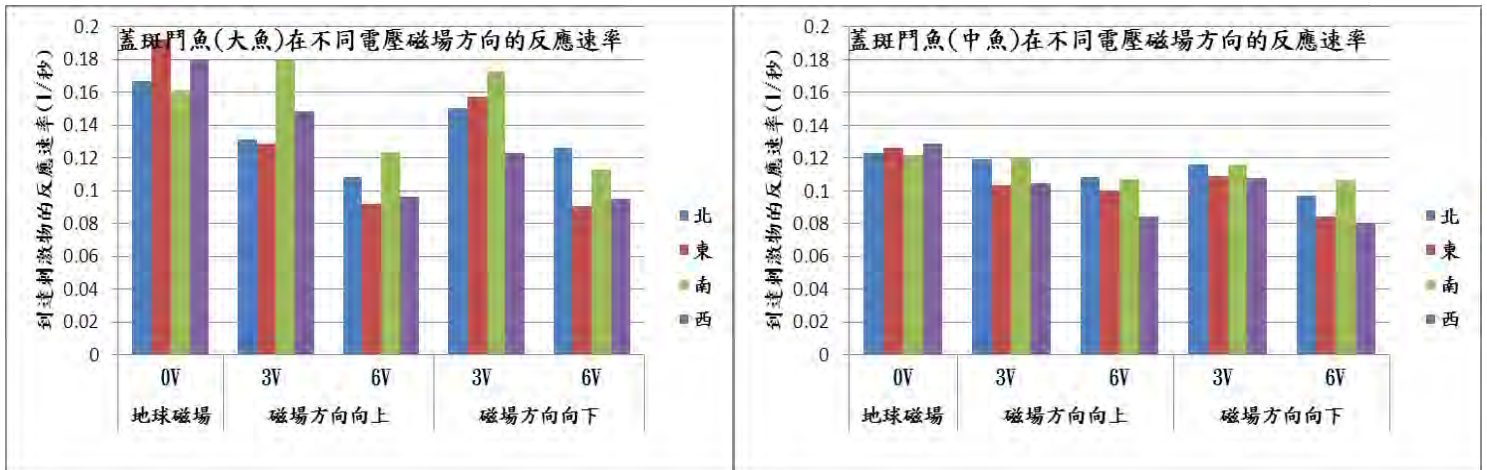
此外，若以不同方位來看，由實驗中發現蓋斑鬥魚在東方和西方轉錯方向的比例明顯的高於北方和南方，尤其以大魚更為顯著，如圖十五。顯示實驗中不論磁場向上或向下，蓋斑鬥魚的東西方向辨別會有 40% 的錯誤。



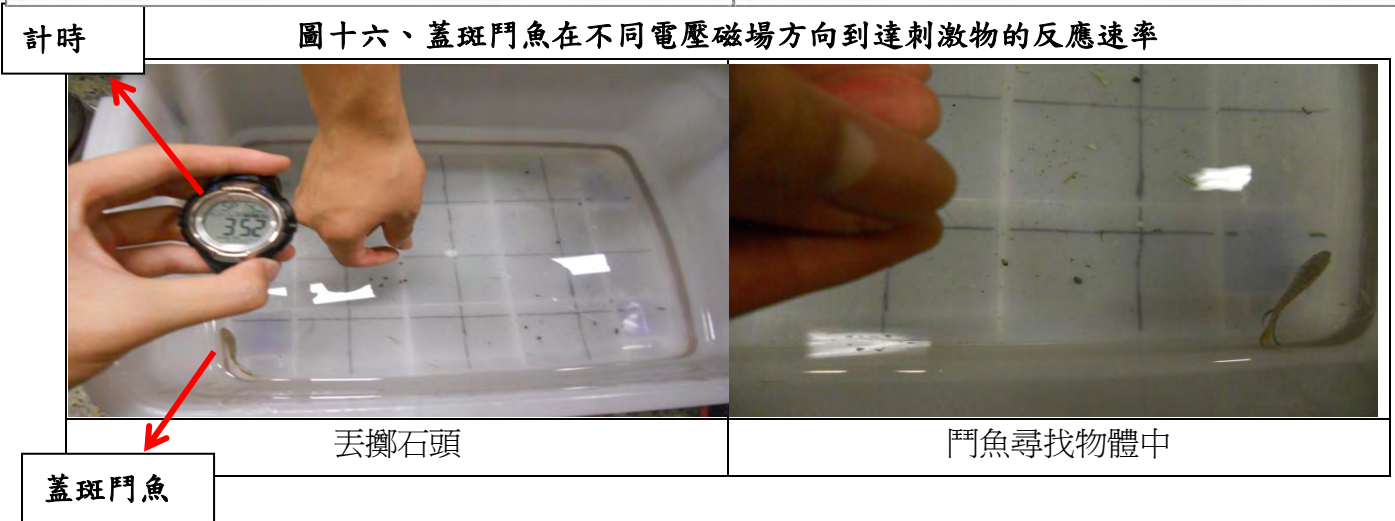
圖十五、蓋斑鬥魚轉錯方向的比例（轉錯次數/實驗總次數）

3. 蓋斑鬥魚在不同磁場強度下反應速率是否有影響

不論是中魚或是大魚在較強的電壓下，反應速率都呈現比較慢的狀況，顯示在外加磁場的情形下蓋斑鬥魚因為無法正確判斷方向，而導致到達震動物體處的時間受到延遲，反應速率也比較慢。在不同磁場的方向下，反應速率差異不大，如圖十六。



圖十六、蓋斑鬥魚在不同電壓磁場方向到達刺激物的反應速率



計時

蓋斑鬥魚

進一步將蓋斑鬥魚大魚及中魚到達刺激物的反應速率與電壓大小進行線性迴歸分析，結果如圖十七：

	蓋斑鬥魚(大魚)	蓋斑鬥魚(中魚)
磁場向上	<p>蓋斑鬥魚(大魚)磁場向上反應速率與電壓相關性</p> $y = -0.0116x + 0.1772$ $R^2 = 0.9868$	<p>蓋斑鬥魚(中魚)磁場向上反應速率與電壓相關性</p> $y = -0.0041x + 0.1246$ $R^2 = 0.9996$
磁場向下	<p>蓋斑鬥魚(大魚)磁場向下反應速率與電壓相關性</p> $y = -0.0114x + 0.1782$ $R^2 = 0.9714$	<p>蓋斑鬥魚(中魚)磁場向下反應速率與電壓相關性</p> $y = -0.0054x + 0.126$ $R^2 = 0.9824$
結果	<p>1.在磁場向上的實驗中，得到 $y = -0.0116x + 0.1772 (R^2 = 0.9868)$</p> <p>2.在磁場向下的實驗中，得到 $y = -0.0114x + 0.1782 (R^2 = 0.9714)$，顯示磁場強度越強，反應速率越慢，呈負相關。</p>	<p>1.在磁場向上的實驗中，得到 $y = -0.0041x + 0.1246 (R^2 = 0.9996)$</p> <p>2.在磁場向下的實驗中，得到 $y = -0.0054x + 0.126 (R^2 = 0.9824)$，顯示磁場強度越強，反應速率越慢，呈負相關。</p>

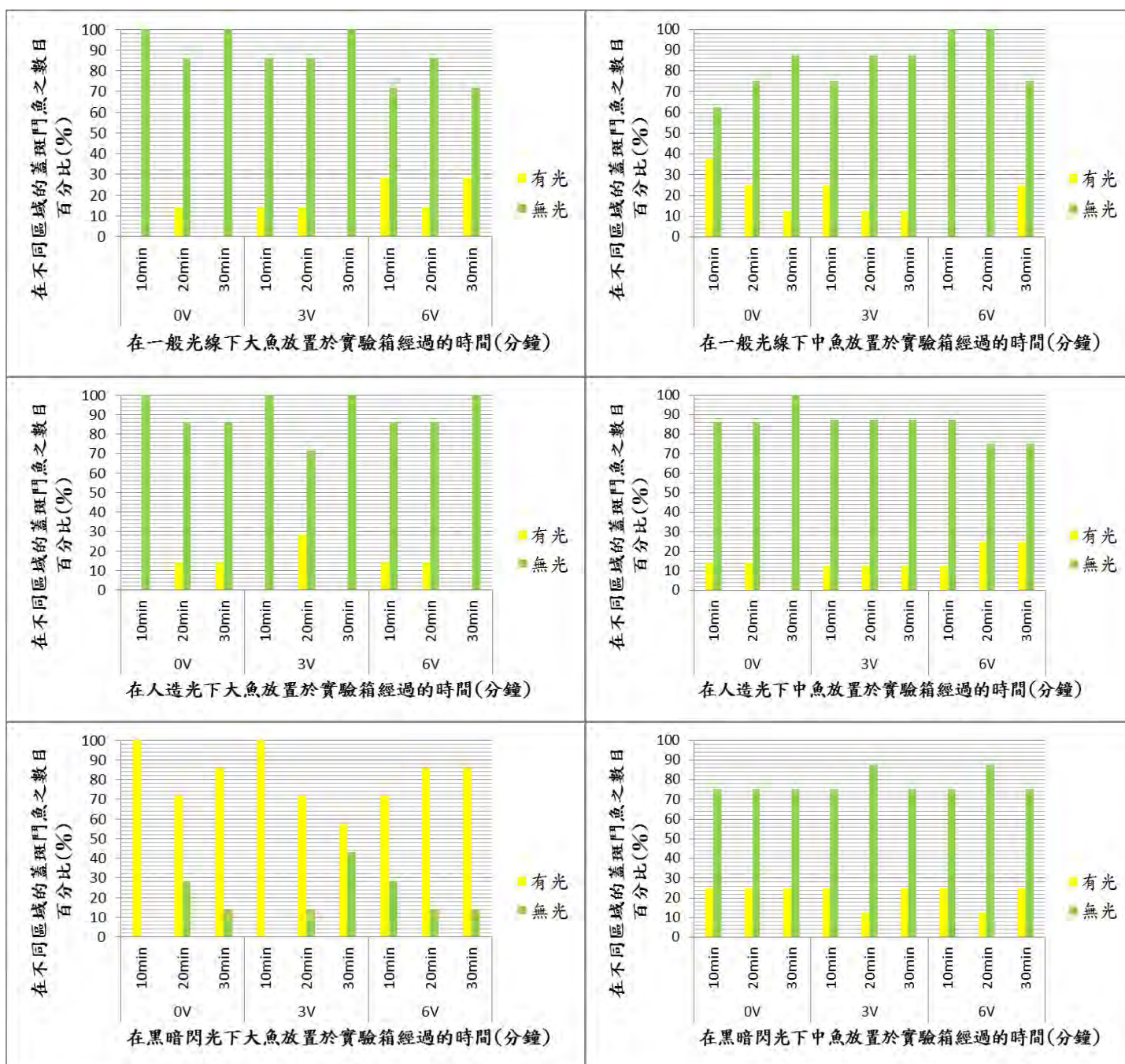
圖十七、蓋斑鬥魚在不同電壓磁場方向到達刺激物的反應速率與電壓的相關性

四、探討磁場對於蓋斑鬥魚的光反應之影響

在一般光及人工光源照下，不論是大魚或是中魚都停留在沒有照光的區域，顯示平常至陰暗處活動。若原本的環境為黑暗的地方（模擬晚上的狀況），仍會有月光等其他光線，因此利用閃光瞭解魚對於黑暗中光線的反應。結果顯示，大魚在黑暗的環境中會往閃光的區域移動，中魚在黑暗的環境中依舊待在暗處。



在外加磁場下，觀察了在 3V 及 6V 外加電壓下活動的大魚七隻及中魚八隻，其結果與沒有外加電壓的狀況相似，如圖十八。



圖十八、在不同電壓下蓋斑鬥魚對於環境中光的反應

五、探討磁場對於蓋斑鬥魚的顏色偏好之影響

根據實驗數據，整理出大魚（表三）及中魚（表四）對於顏色區塊的選擇，不論中魚或大魚對紅色、綠色、藍色、黃色都沒有很顯著的選擇，但都不偏好選擇無色的環境，當有黑色出現時都選擇黑色，顯示大魚及中魚都偏好陰暗顏色的環境。

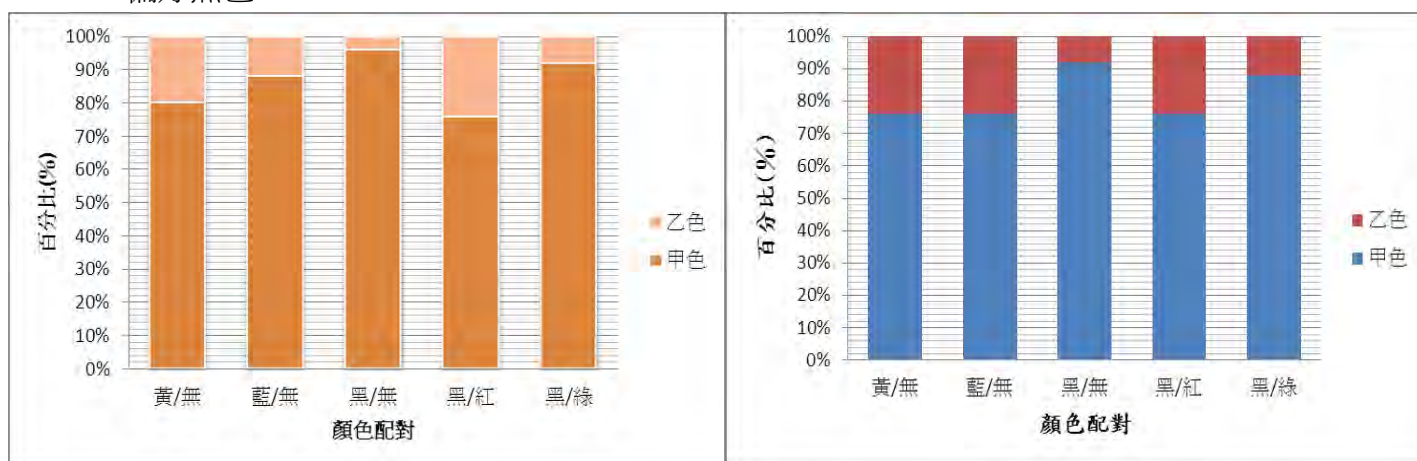
顏色	無色	紅色	黃色	綠色	藍色	黑色
無色	—					
紅色	紅	—				
黃色	黃	紅	—			
綠色	綠	綠	黃	—		
藍色	藍	紅	藍	綠	—	
黑色	黑	黑	黑	黑	黑	—

表三、蓋斑鬥魚（大魚）對於顏色偏好

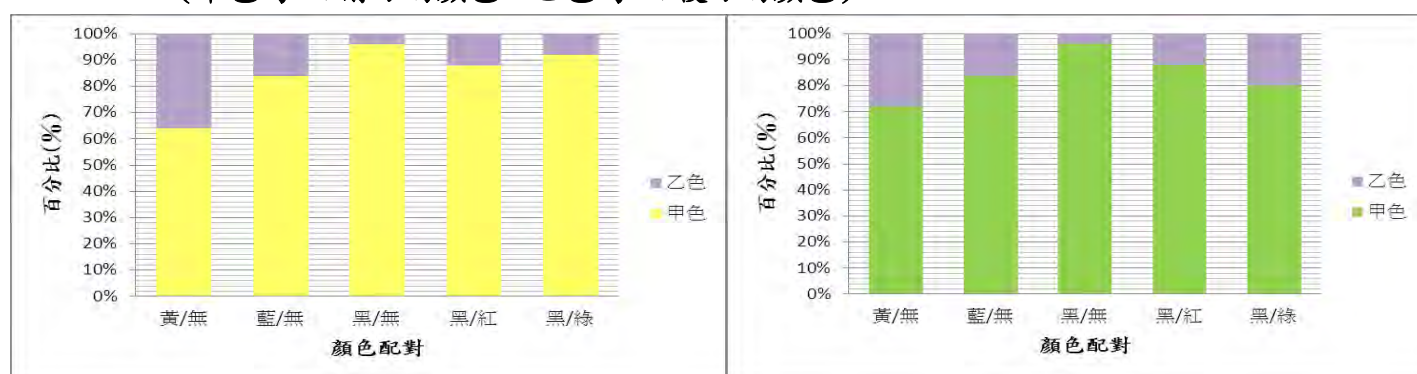
顏色	無色	紅色	黃色	綠色	藍色	黑色
無色	—					
紅色	紅	—				
黃色	一樣	一樣	—			
綠色	綠	綠	一樣	—		
藍色	藍	紅	一樣	藍	—	
黑色	黑	黑	黑	黑	黑	—

表四、蓋斑鬥魚（中魚）對於顏色偏好

在磁場影響下，黑色及無色組別實驗，發現不論是在 3V（圖十九）或 6V（圖二十）的電壓，磁場並沒有影響其對於顏色的選擇，不論大魚或中魚依舊偏好黑色的顏色，不偏好無色。



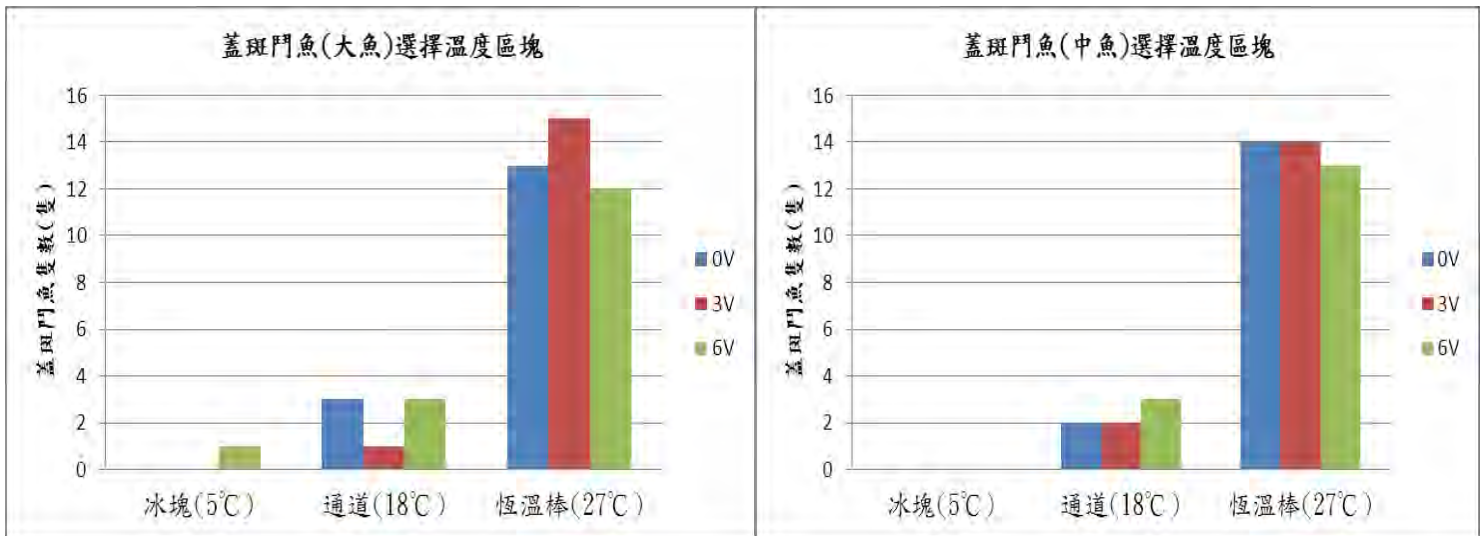
圖十九、在 3V 電壓下蓋斑鬥魚（左圖為大魚，右圖為中魚）兩種不同顏色中選擇的百分比例（甲色為：/前方的顏色；乙色為：/後方的顏色）



圖二十、在 6V 電壓下蓋斑鬥魚（左圖為大魚，右圖為中魚）兩種不同顏色中選擇的百分比例（甲色為：/前方的顏色；乙色為：/後方的顏色）

六、探討磁場對於蓋斑鬥魚溫度偏好之影響

實驗中冰塊區域的溫度為 5°C，通道區域溫度為 18°C，恆溫棒區域為 27°C，結果發現不論是中魚或是大魚都是待在恆溫棒的地方，顯示蓋斑鬥魚比較偏愛較高溫的環境。當外加 3V 或 6V 的電壓時，蓋斑鬥魚依舊選擇恆溫棒的區域，如圖二十一。



圖二十一、蓋斑鬥魚(大魚及中魚)對於溫度偏好



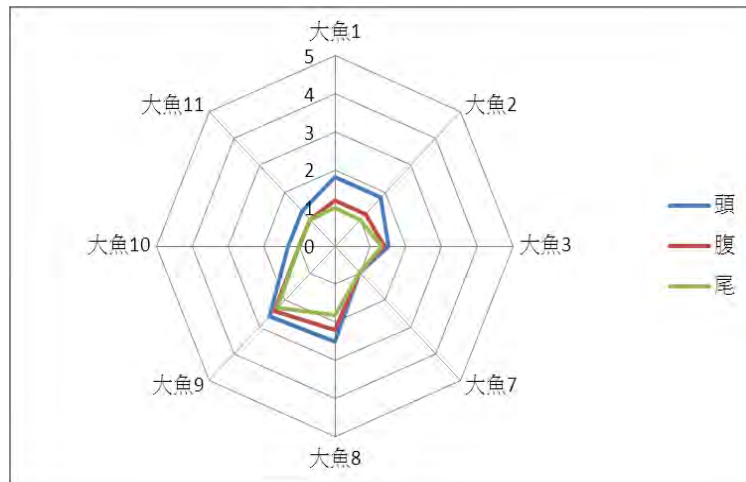
七、觀察磁場對於蓋斑鬥魚的環境中水深偏好之影響

首先對大魚進行實驗，顯示大魚偏好在比較深的地方活動。進一步將大魚的頭腹尾位置加以分析及平均，如表五所示：

	大魚1	大魚2	大魚3	大魚7	大魚8	大魚9	大魚10	大魚11	平均
頭	1.8	1.8	1.5	1	2.5	2.6	1.3	1.3	1.725
腹	1.2	1.2	1.4	1	2.2	2.4	1	1	1.425
尾	1	1	1.3	1	1.8	2.3	1	1	1.3

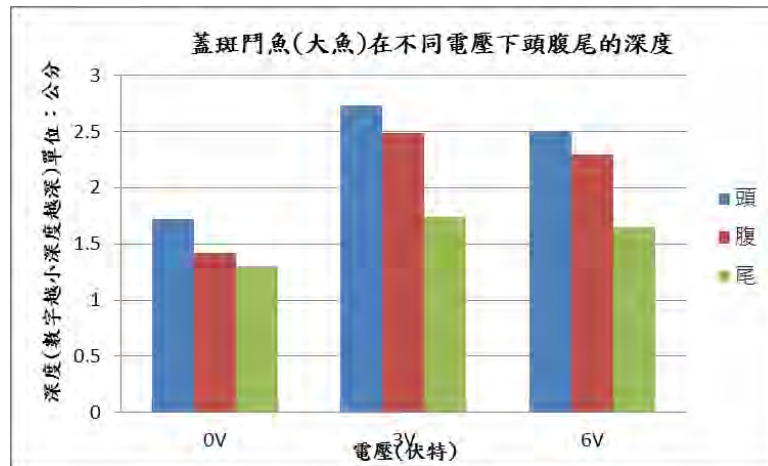
表五、蓋斑鬥魚(大魚)頭腹尾的水深位置分布(單位:公分)

從圖二十二中以及表中可以發現大魚平時活動也分布在底部，除此之外頭部的位
置會比腹部及尾部來的高，也就是頭向上的方式棲息在底部，或在底部游動。



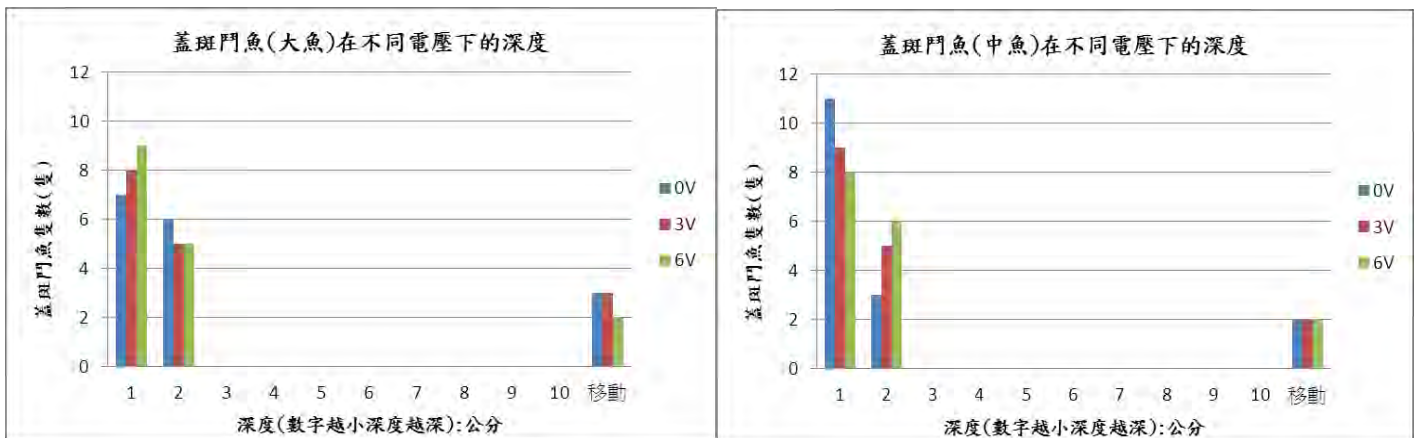
圖二十二、蓋斑鬥魚(大魚)頭腹尾的水深位置分布(單位:公分)

即使在外加磁場的狀況下，大魚並沒有因為外加的電壓而改變偏好棲息在底部的行
為，也沒有改變頭朝上的棲息行為，如圖二十三。

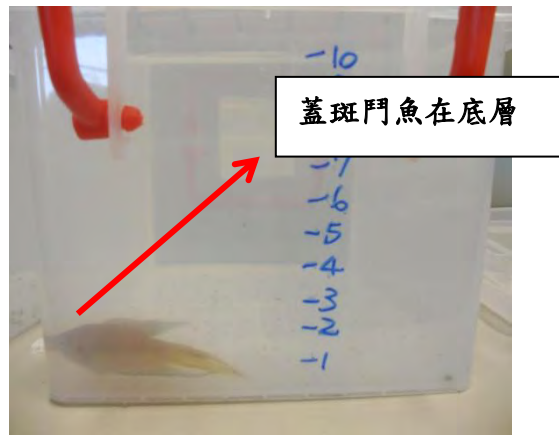


圖二十三、蓋斑鬥魚(大魚)在不同電壓下頭腹尾的深度

進一步比較大魚及中魚的垂直位置分布，由圖二十四顯示，在實驗中的任何電壓下，
不論是大魚或中魚皆偏好停留在實驗環境底部。



圖二十四、蓋斑鬥魚在不同電壓下垂直分布的深度

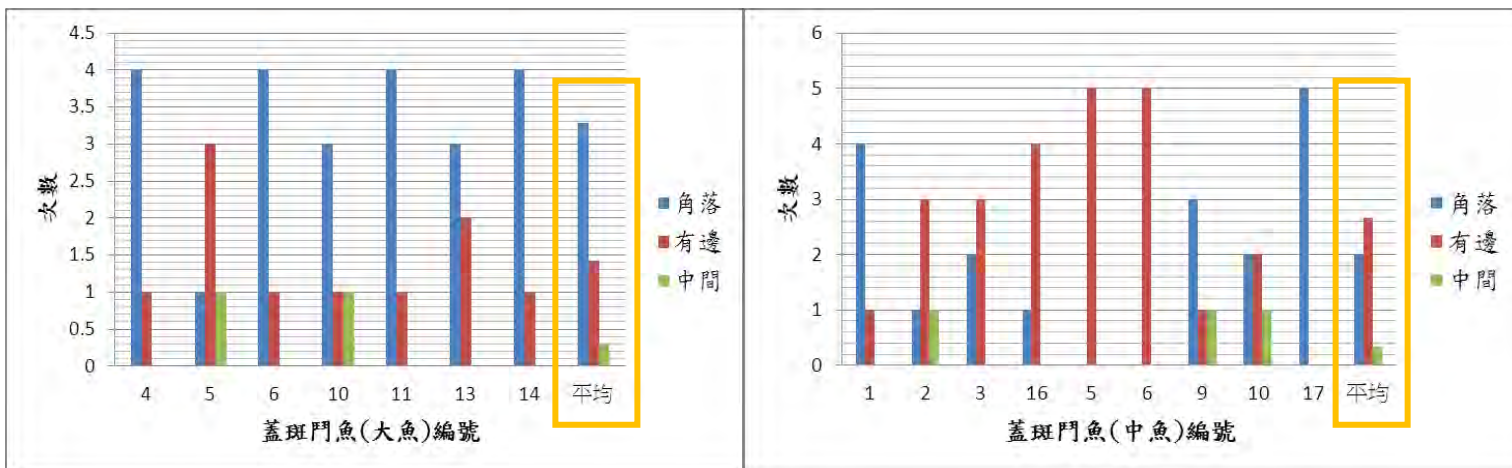


八、觀察磁場對於蓋斑鬥魚在水中的位置分布之影響

(一) 觀察蓋斑鬥魚在無其他物體的環境下

在實驗中對每一隻魚進行 5 次的實驗，並且記錄牠們的坐標位置，進一步將 16 個格子區分成 3 種類型，角落、有邊以及中間，其分類方式如下，黃色代表角落，綠色代表中間，紫色代表有邊。

(4, 1)	(3, 1)	(2, 1)	(1, 1)
(4, 2)	(3, 2)	(2, 2)	(1, 2)
(4, 3)	(3, 3)	(2, 3)	(1, 3)
(4, 4)	(3, 4)	(2, 4)	(1, 4)



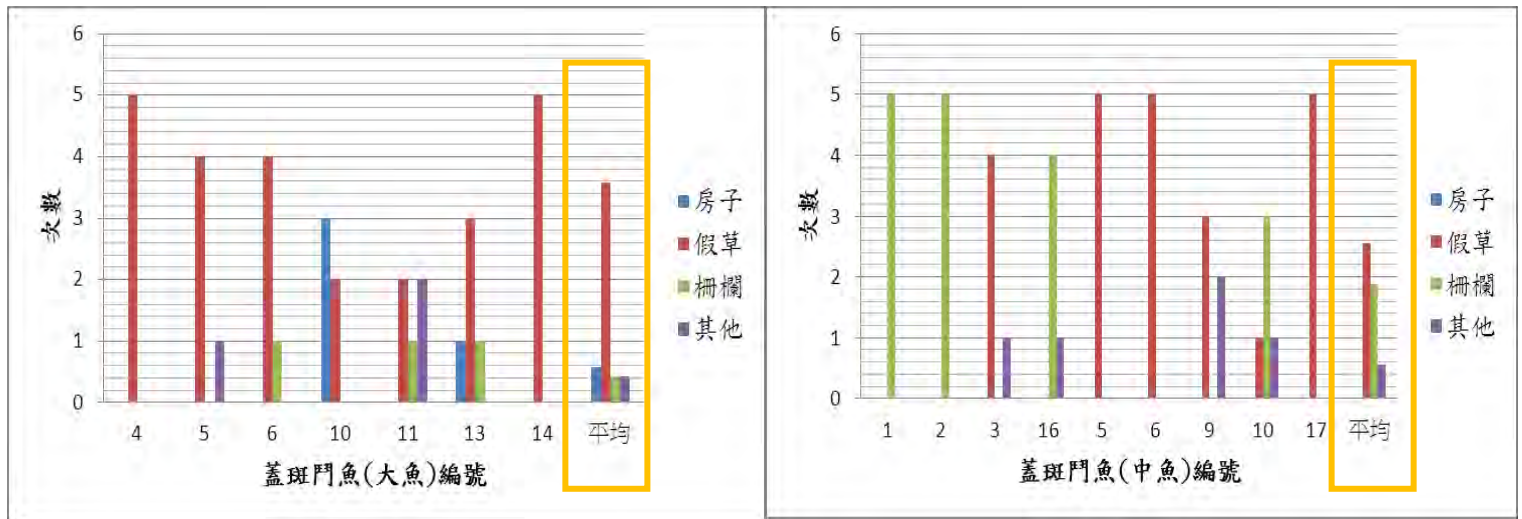
圖二十五、蓋斑鬥魚在沒有任何物體環境下的分布位置

從圖二十五中可以發現中魚偏好的位置分布為：有邊>角落>中間；蓋斑鬥魚的大魚偏好的位置分布為：角落>有邊>中間，顯示在實驗的環境下，蓋斑鬥魚偏好在實驗箱的邊緣及角落活動，中間則是牠們比較不會選擇的區域。

(二) 觀察蓋斑鬥魚在有其他物體的環境下

若放置水草或萬年青在實驗箱中，蓋斑鬥魚是否會因此改變選擇？因此將水草及萬年青放置在 (1,1) 的坐標上，實驗顯示當有水草或萬年青存在時不論是大魚或是中魚都會在萬年青的坐標活動，尤其以大魚更為顯著。

進一步比較不同的蓋斑鬥魚偏好的遮蔽物體，因此在實驗箱中放入一般水中裝飾品，其位置如下：房子 (1, 1)、假草 (4, 1)、柵欄 (4, 4)，實驗結果如下：

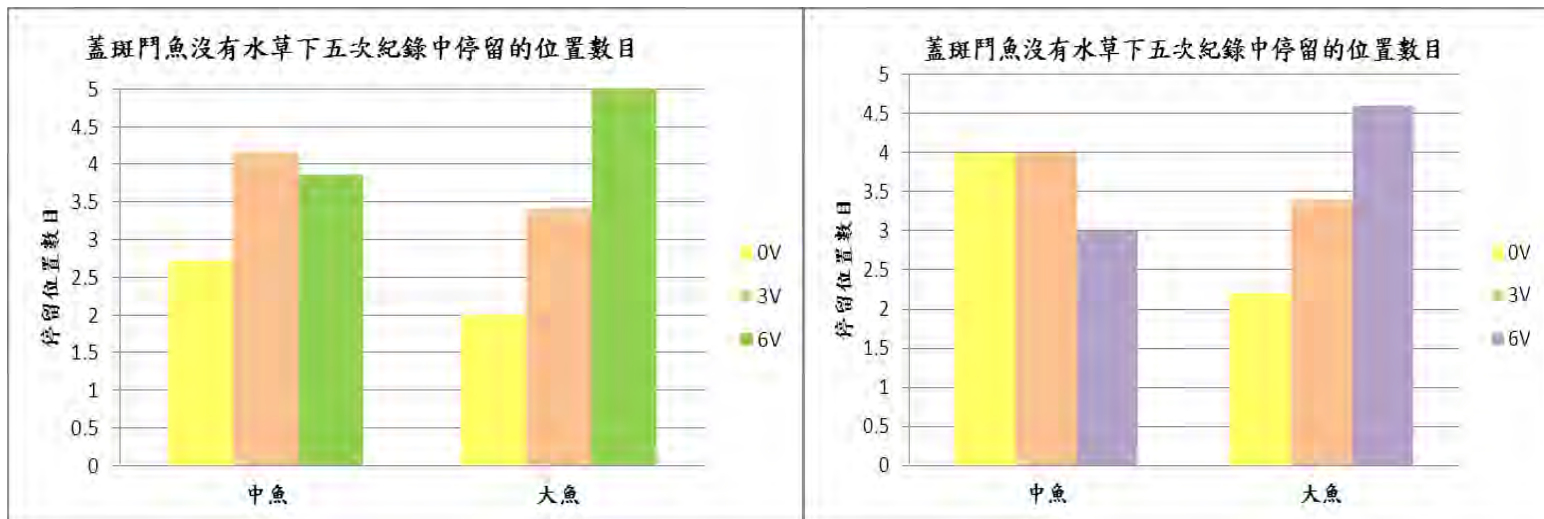


圖二十六、蓋斑鬥魚在水中裝飾品環境下的分布位置

依圖二十六，中魚對於水中裝飾品的偏好：假草>柵欄，而房子則完全沒有；以大魚來看，對於水中裝飾品的偏好：假草>房子>柵欄，不過假草跟其他位置的資料相差極大。顯示裝飾品以接近天然水草效果的假草，有最多的蓋斑鬥魚偏好。綜合以上實驗，在實驗箱中蓋斑鬥魚偏好棲息在具有良好遮蔽效果的位置。

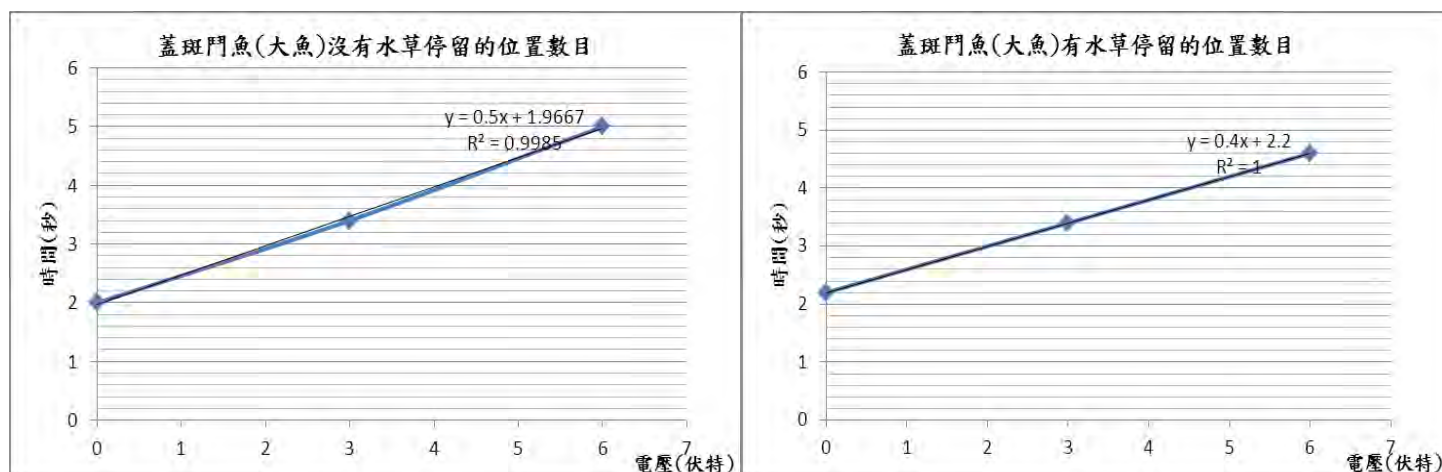
(三)磁場對於蓋斑鬥魚水中分布的影響

無論有無電壓，蓋斑鬥魚的中魚在有或無水草的環境下，皆沒有待在一定的位置，無法觀察出與外加磁場之間的關係。而大魚在沒有外加磁場的情形下幾乎不變動位置，當環境電壓增加到 6V 時，則幾乎每分鐘觀察都變換位置，顯示外加磁場對於大魚的影響較大，如圖二十七。



圖二十七、蓋斑鬥魚在不同環境下五分鐘內所記錄到停留的位置總數（實驗中每一分鐘記錄一次位置，因此所停留的位置數目最多為五次，最少為一次）

進一步將大魚在 5 分鐘內在有無水草環境下的停留位置數目與電壓大小進行線性迴歸分析，如圖二十八，顯示磁場越強每 1 分鐘鬥魚轉換位置的速度越快。



圖二十八、蓋斑鬥魚在不同環境下五分鐘內停留的位置數目與電壓的相關性



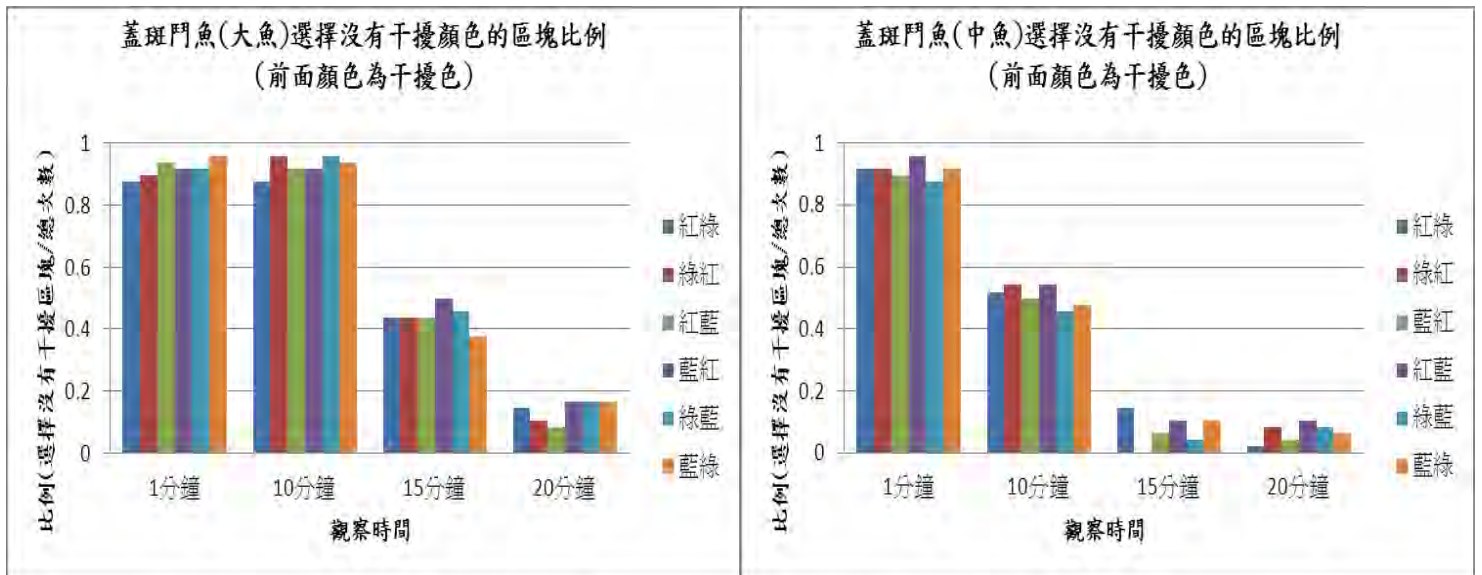
九、研究磁場對於蓋斑鬥魚的學習行為之影響

(一)蓋斑鬥魚是否可以區分干擾及沒有干擾的顏色

實驗中將紅藍、黃藍以及紅黃 3 組進行干擾以及沒有干擾的顏色區分，不論是那一組鬥魚在所觀察的 10 分鐘之內大多待在沒有干擾的 LED 燈顏色區塊，即使進行互換實驗蓋斑鬥魚也會高比例的待在沒有干擾的環境，顯示蓋斑鬥魚具有辨別紅、藍以及黃色的能力，並且會躲避危險的區域。

(二)蓋斑鬥魚對於不同顏色配對是否有選擇上比例的差別

實驗中顏色共有 3 組配對，針對 3 種不同的訓練時間進行檢視，發現 3 組配對中蓋斑鬥魚不論何種顏色干擾或不干擾，皆會選擇沒有干擾的顏色區塊，顯示顏色配對並不會影響躲避行為，如圖二十九。



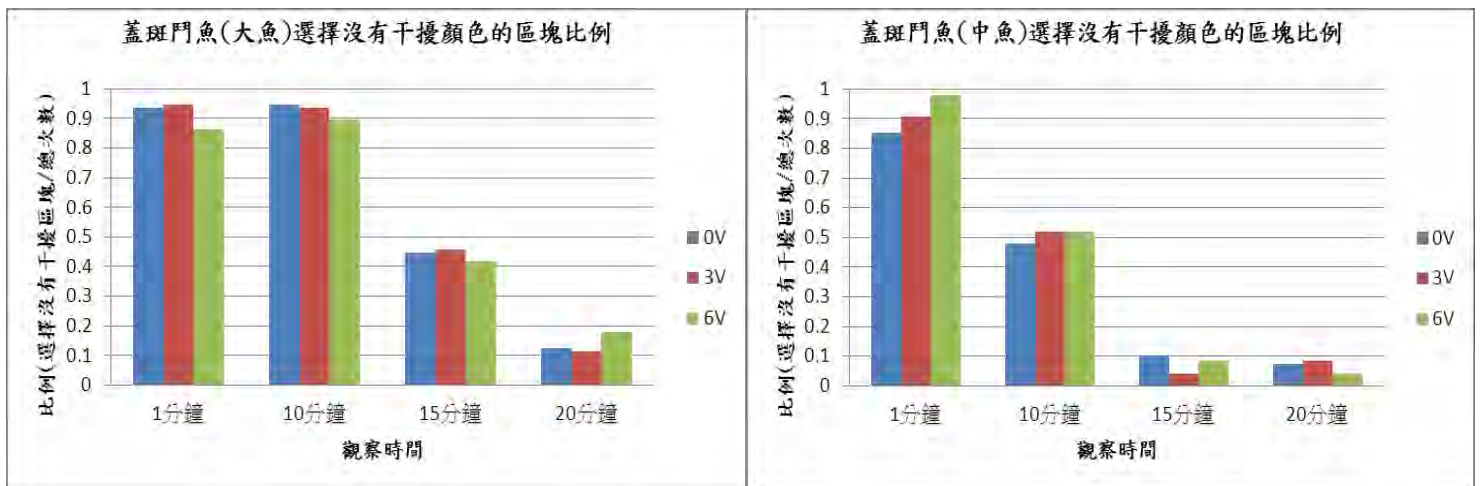
圖二十九、蓋斑鬥魚在不同顏色配對下選擇沒有干擾顏色區塊比例 (前面顏色為干擾色後方顏色為非干擾色)

(三)蓋斑鬥魚是否隨著訓練後時間增加而忘記干擾顏色

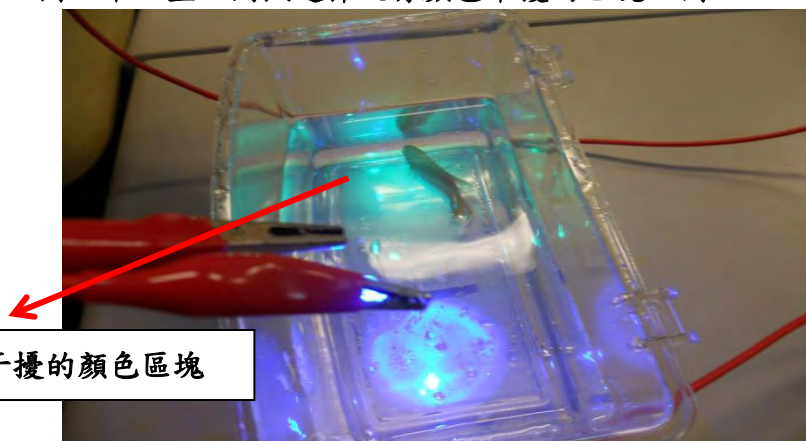
實驗觀察訓練後起 20 分鐘內，大魚在 10 分鐘之內都能夠記憶之前干擾的顏色，然而 15 分鐘後記憶的效果變差，而 20 分鐘能記住的比例更少，顯示記憶效果隨著訓練後時間增加而下降。而中魚在 1 分鐘內記憶效果較佳，10 分鐘開始記憶效果變差，顯示中魚的記憶能力比大魚差。

(四)磁場強度對於蓋斑鬥魚記憶的影響

實驗中磁場的強度不影響蓋斑鬥魚對顏色的記憶，在不同的顏色配對底下選擇顏色區塊的比例相似，不論磁場強度為何，隨時間增加，記憶效果都變差了，如圖三十。



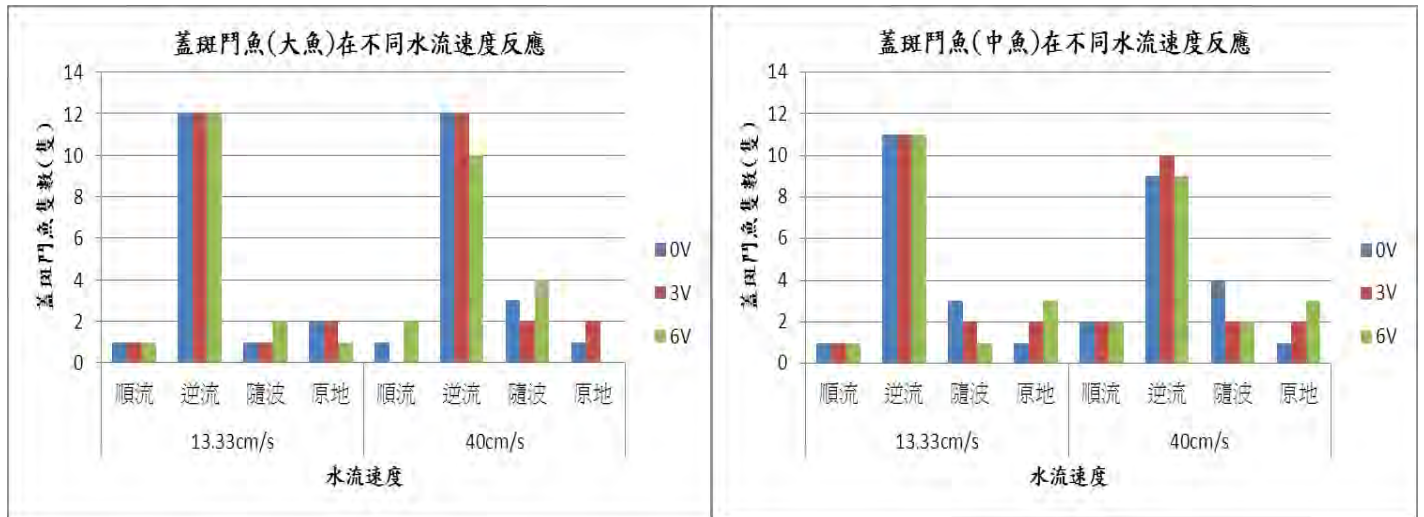
圖三十、蓋斑鬥魚選擇沒有顏色干擾的區塊比例



蓋斑鬥魚在沒有干擾的顏色區塊

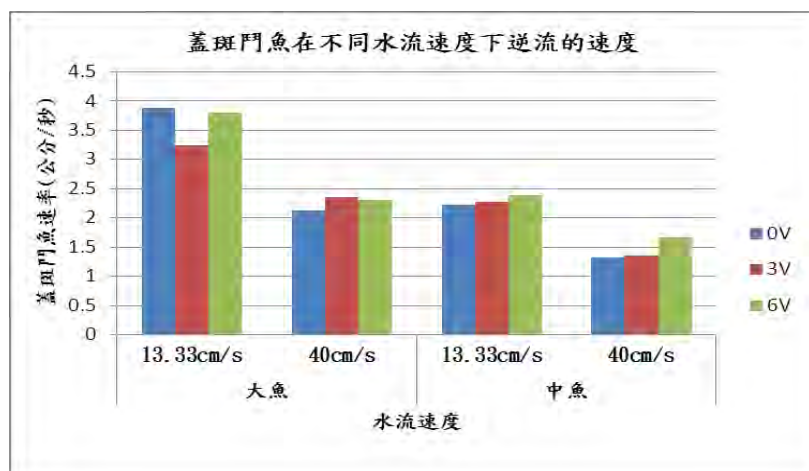
十、研究磁場對於蓋斑鬥魚在不同水流速度下反應之影響

實驗設計兩種不同的水流流速，水流速度分別為 13.33cm/s 以及 40cm/s，在水流的觀察中，將鬥魚的行為分成四種，包含順水流而下、逆流而上、隨波逐流以及原地不動。結果顯示，在不同電壓下以及不同水流的速度下，實驗中的大魚及中魚都會在水流中逆流而上，與電壓大小無關，如圖三十一。



圖三十一、蓋斑鬥魚在外加磁場下於不同水流速度的反應

進一步分析水流速度與鬥魚的速度關係，發現在流速較快的水流，蓋斑鬥魚逆流向上的速率較慢，此外中魚的逆流速度比大魚慢。實驗發現與磁場強度沒有顯著的相關性，見圖三十二。



圖三十二、蓋斑鬥魚在外加磁場下於不同水流速度逆流的速度(cm/s)

綜合以上實驗結果，比較蓋斑鬥魚行為與磁場之間的相關性，詳如表六：

項目	蓋斑鬥魚行為類別	與磁場相關性							
		大魚				中魚			
		胸鰭		尾鰭		胸鰭		尾鰭	
一	基本生理現象 (胸鰭及尾鰭反應)	振動	振動	振動	振動	振動	振動	振動	振動
		次數	幅度	幅度	次數	次數	幅度	次數	幅度
		正相	相關	相關	正相	正相	相關	正相	正相
		關	性大	性小	關	關	性小	關	關

項目	蓋斑鬥魚行為類別	與磁場相關性			項目		
二	覓食偏好	大魚			中魚		
		選擇食物種類	到達食物所需時間	丟入食物有反應次數	選擇食物種類	到達食物所需時間	丟入食物有反應次數
		相關小	正相關	負相關	相關小	正相關	相關小
三	對於環境的觀察	大魚			中魚		
		對刺激物的反應比例	感應錯誤方向比例	到達刺激物反應速率	對刺激物的反應比例	感應錯誤方向比例	到達刺激物反應速率
		相關小	正相關	負相關	正相關	正相關	負相關
四	對於光反應	與有無外加磁場無關					
五	對於顏色偏好	與有無外加磁場無關					
六	對於溫度偏好	與有無外加磁場無關					
七	對於環境中水深偏好	與有無外加磁場無關					
八	在水中的位置分布	大魚			中魚		
		五分鐘內停留位置數目			五分鐘內停留位置數目		
		正相關			相關性小		
九	學習行為	與有無外加磁場無關					
十	在不同水流速度下反應	與有無外加磁場無關					

表六、蓋斑鬥魚行為與磁場相關性

陸、討論

一、在磁場中蓋斑鬥魚的基本生理反應

為了瞭解蓋斑鬥魚在磁場中的細微生理變化，進行胸鰭及尾鰭振動次數以及幅度的研究，研究結果顯示不論是大魚或中魚胸鰭振動的次數都與磁場強弱呈正相關，此外中魚的胸鰭振動幅度和尾鰭振動次數以及大魚和中魚尾鰭振動的幅度也與磁場強弱呈正相關。一般而言胸鰭的功能為有助魚體轉向、有助魚體停止游動等，而尾鰭的功能為魚向前游的主要動力來源。在磁場改變的情形下，我們觀察到蓋斑鬥魚較為緊張，活動不似平常靜置在某一處，而胸鰭及尾鰭的振動次數增加可以使蓋斑鬥魚較能應變緊急狀況。

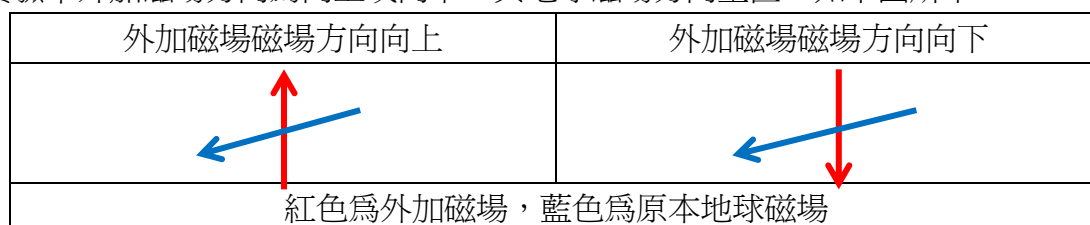
二、蓋斑鬥魚覓食偏好與磁場之間的關係

在沒有磁場的影響下，大魚及中魚都選擇一般飼料，推測原因可能是在於平常餵食的都是一般飼料，而其他的食物接觸較少。此外大魚及中魚選擇食物的速度都差不多，然而在磁場下，大魚及中魚所選擇的食物依舊為一般飼料，但在 5 次的實驗中，並不是每一次對食物都有反應，尤其以大魚最為顯著。隨著磁場強度增加，對大魚投食食物後取食的反應次數減少，而從投下一般飼料到大魚吃東西的時間，隨著磁場強度增加而增加，顯示外加磁場對於蓋斑鬥魚覓食行為造成影響。推測因素可能是在於丟下食物後，蓋斑鬥魚必須先分辨飼料的方向，以及水面上震動的反應，磁場的強弱會影響生物方向的

辨別，蓋斑鬥魚在外加磁場中不容易辨別正確的方向，也因此使得進食速度減慢以及反應次數減少。

三、蓋斑鬥魚對於環境觀察與磁場之間的關係

在震動實驗的觀察中，蓋斑鬥魚對於一般飼料以及石頭的反應較佳，原因可能在於保麗龍球及乒乓球過輕水面震動不大而無法察覺。而每個方向的反應速率雖有差別但相差不大，若以中魚及大魚區分，大魚對於震動的物體較有反應。外加磁場之後，蓋斑鬥魚對於刺激物的反應比例減少，並且出現方向轉錯的情形，而轉錯的方向與原本丟入物體的方向剛好相反，並且會延遲抵達物體的時間，使的反應速率也與電壓大小呈負相關。除此之外，在實驗中東西方向的轉錯比率比較高，顯示磁場的變化會影響蓋斑鬥魚方向的判斷。目前科學界發現鳥類遷徙、海龜洄游等現象都與動物所具有的磁感有關，當地球磁場和魚頭部的相對方位產生改變後，魚類感覺細胞的磁鐵礦會引發神經傳導，將地磁訊息傳到頭部。而蓋斑鬥魚雖然是區域型的魚種，可能也是經由此方式判斷物體方位。實驗中外加磁場方向為向上或向下，與地球磁場方向垂直，如下圖所示：



推測由於自製磁場的東西方向與地球原本磁場在同一水平面，可能因此比南北方向容易造成混淆。若再實驗，將製造與地球磁場相反的磁場方向，進一步了解對於方向的判別是否有差異。

四、蓋斑鬥魚對於水中位置分布與磁場之間的關係

在沒有磁場的情形下，大魚及中魚都會選在實驗箱邊緣或角落棲息或是有遮蔽物的區域，並且靜止不動。然而外加磁場後，大魚在實驗中的每一分鐘都改變位置，尤其在電壓 6V 的情形下更為顯著，顯示磁場的強弱會使蓋斑鬥魚更為緊張的移動位置，不論是有遮蔽物或沒有遮蔽物。

五、與磁場之間關係不顯著的行為（環境明暗選擇、顏色偏好、記憶實驗、水深偏好、在水流中的速率以及溫度偏好）

實驗中有六項鬥魚的行為與磁場的相關性不高，推測可能是這些行為與方位判斷的相關性較小，也因此外加磁場不影響行為表現。

- (一)在環境明暗選擇中，不論有無磁場，中魚不論在光線充足或原本黑暗的環境都選擇陰暗處，而大魚在原本明亮的環境會選擇陰暗處，在黑暗的環境中會選擇往較光亮的地方移動，顯示大魚在自然的晚間依舊會往有光線的地方移動。
- (二)此外，顏色偏好實驗顯示不論有無磁場，大魚及中魚都會選擇黑色，推測可能是黑暗的環境較有利躲避天敵。
- (三)不論有無磁場，蓋斑鬥魚偏好的水深也以底部為主，並且以頭朝上的方向棲息，顯示在底端也可以躲避掠食者，而頭朝上也有此項功能，比較容易觀察獵物。
- (四)至於記憶實驗，由於實驗採取干擾蓋斑鬥魚的方式，也就是讓蓋斑鬥魚直接感受到危機，因此不論是否有磁場，蓋斑鬥魚對於實驗中有危險的顏色都記憶深刻。不過隨著時間增加，鬥魚逐漸遺忘危險的顏色，大魚在 10 分鐘之後便逐漸忘記，而中魚在 1 分

鐘之後便漸漸遺忘，顯示大魚的記憶能力較中魚佳，可以記憶較長的時間。

(五)在溫度實驗中，不論是中魚或是大魚皆偏好恆溫棒附近的區域，符合蓋斑鬥魚是外溫動物的生理需求。

(六)水流速度的實驗是想要了解在水塘生活的蓋斑鬥魚如何在有水流的环境中活動，結果顯示在設計的水流速度中大魚都可以抵擋水流並且逆流而上，中魚也有此反應，只有少部分會隨波逐流，顯示蓋斑鬥魚在水流速度較慢的水渠中，依舊活動自如。即使在磁場的環境下，蓋斑鬥魚的逆流速率也沒有增加或減少的狀況。

柒、結論

一、在磁場中蓋斑鬥魚的基本生理反應

大魚或是中魚胸鰭振動的次數都與磁場強弱呈正相關，中魚尾鰭振動次數以及大魚和中魚尾鰭震動幅度與磁場呈正相關。

二、蓋斑鬥魚覓食偏好與磁場之間的關係

不論有無磁場的影響下，大魚及中魚都選擇一般飼料。磁場強度增加後，蓋斑鬥魚覓食的反應次數減少，覓食的反應時間隨磁場強度增加而增加。

三、蓋斑鬥魚對於環境觀察與磁場之間的關係

蓋斑鬥魚對於一般飼料以及石頭的反應較佳，外加磁場之後蓋斑鬥魚出現轉錯方向的情形及延遲抵達物體的時間，而反應速率也與磁場強度呈負相關。

四、蓋斑鬥魚對於水中位置分布與磁場之間的關係

大魚及小魚都會選在實驗箱邊緣或角落棲息或是有遮蔽物的區域。然而外加磁場後，蓋斑鬥魚每一分鐘都會的移動位置。

五、與磁場之間關係不顯著的行為（環境明暗選擇、顏色偏好、記憶實驗、水深偏好、在水流中的速率以及溫度偏好）

(一)中魚不論在光線充足或原本黑暗的環境都選擇陰暗處，大魚在原本明亮的環境會選擇陰暗處，在黑暗的環境中會選擇往較光亮的地方移動。

(二)顏色偏好實驗顯示不論有無磁場，大魚及中魚都會選擇黑色。

(三)不論有無磁場，蓋斑鬥魚偏好的水深也以底部為主。

(四)顏色記憶實驗中，不論有無磁場，蓋斑鬥魚選擇沒有干擾的顏色區塊，而大魚在 10 分鐘之後逐漸遺忘危險顏色，中魚則 1 分鐘便逐漸遺忘。

(五)不論中魚或大魚都偏好恆溫棒附近的區域。

(六)隨著水流速度增加，蓋斑鬥魚逆流的速度減慢。

捌、參考文獻

一、身體裡的指南針，卡斯塔維奇(Davide Castelvecchi)原著，科學人雜誌 122 期，p30-46

二、曾建穎、陳寅駿，不同磁極磁場對酵母菌發酵作用的影響，中華民國第四十八屆中小學科學展覽會生物及地球科學科作品

三、蔡宜呈、林育丞、賴涵餘，手機電磁波對果蠅生長發育之研究，中華民國第四十九屆中小學科學展覽會生物科作品

四、特有生物保育中心，<http://cec.tesri.gov.tw/cec/>

【評語】 030308

優點：

團隊合作精神令人佩服。同學們製作非常多實驗器具。體驗實驗樂趣。

缺點：

1. 請嘗試提問”新穎、未知”的問題（經文獻查詢後）再設計實驗工具，會更有意義。亦請思考其應用價值。
2. 實驗精準度可再提升。因自製器具，因此實驗區磁場強度應再確認。實驗刺激物的設計選擇要更切題、更精準、並更科學性。