

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 生物科

080305

警戒行動？

探討大肚魚群體覓食決策行為的特性

學校名稱：高雄市前金區建國國民小學

作者： 小五 蔡雨芹 小六 黃麟雅 小五 蕭妤彤 小五 邱泯嘉	指導老師： 陳明賢 謝宜和
---	---------------------

關鍵詞：大肚魚、生物群體決策、肢體語言

摘要

在各式自製魚網都捕不到魚的情形下，利用逐一增加立體框架的網面數阻斷魚群游入游出立體框架的方向，分析出大肚魚具有危險空間的概念。並提出發生魚群覓食行為之前，魚群會先出現警戒行為；且定義此警戒行為依序分成巡邏、偵查、試探、魚群覓食四個決策階段，且這四個決策階段都會有領袖領導的群體決策特質。運用魚群在立體框架內的危險程度（ α 值分析圖法）說明紅色立體框架及不明的震動會使魚群提高空間的危險程度。由於找到魚群行為可增強或減弱覓食的訊息傳遞方式，並發展出雙框法證實大肚魚的群體覓食行為有可被“操作制約”的特性。

壹、研究動機

在我們學校裡，有個美麗的生態水池，無論上課或下課都有我們的身影。有一天，和老師在水池旁討論曾得獎的科展作品^[1]時，我們突然想到可不可以利用學校生態水池中的大肚魚來做有關生物群體覓食決策的實驗？我們就開始一步一步地探索下去。

貳、研究目的

- 一、建立表達大肚魚群覓食決策的方法
- 二、尋找出影響大肚魚群覓食決策的空間因素
- 三、探討大肚魚群覓食決策行為中警戒行動的含義
- 四、尋找魚群覓食的訊息傳遞
- 五、發展雙框法，探索魚群覓食決策的特性

參、研究設備及儀器

一、硬體：

大魚缸：長 350 × 寬 72 × 深 77 cm³

小魚缸：長 60 × 寬 30 × 深 25 cm³



大魚缸



小魚缸

自製誘捕漁具(沉水型、浮水型 x2)，浮水魚飼料、鋁線、鉛塊、錄影機、腳架、長尾夾、沙網、香皂袋(放置魚飼料)、大肚魚、珠鱗、手電筒、3D 列印機、木棍、棉繩、壓克力顏料(紅)。

二、軟體：影片播放軟體、影片格式轉換軟體。

肆、研究過程與方法

一、文獻探討：

(一) 大肚魚魚種在生物學的分類地位與特性如下：

名稱	中文名：大肚魚；學名： <i>Gambusia affinis</i>
分類地位	動物界/脊索動物門/輻鰭魚綱/鯉齒目/花鱗科/食蚊魚屬
別名	柳條魚、大肚魚、山坑魚、大眼叮噹、白頭婆及大肚摑等。
外貌特徵	本魚體長形，略側扁，體色為金中帶綠色，腹部明顯鼓脹，雄魚有長長的生殖孔，而雌魚臀鰭為扇形，長 15.5 至 37.5 毫米。齒細小，吻尖，眼大，無側線，屬於卵胎生魚類。背鰭軟條 7 至 9 枚；臀鰭軟條 9 至 10 枚。
圖片	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <p>圖 1</p>  <p>雄性 (圖 1)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>圖 2</p>  <p>雌性 (圖 2)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>圖 3</p>  <p>群體覓食 (圖 3)</p> </div> </div>

註：交尾器位於臀鰭的地方左右，可見一根棒狀，約是比臀鰭長一些，若過長就是所謂的長公，長公是無生殖力的。

(二) 警戒：

“警戒”是防敵襲擊和偵察的警衛措施，是戰鬥保衛的內容之一。警戒，通常在部隊行動的全縱深組織，一般由多兵種編成，具有較強的機動能力和獨立作戰能力。警戒一詞，始見於《六韜·虎韜》：“視我軍之警戒，至而必還”。春秋戰國時期，軍隊行軍、作戰、宿營時，就有派斥候、遊兵或散騎，作為警戒。在本實驗中嘗試以魚群(大肚魚魚群)對未知陌生的環境中所產生的特有群體警戒行為，進而試探環境危險性及提高魚群感受的安全性，其目的是在較低危險的情況下進行魚群覓食行為。

(三) 魚群領袖行為：

文獻^[1]中所提“魚群領袖行為”。是指大肚魚群中會出現具有魚群領袖特質的「菁英份子」，帶領魚群找到食物或避開危險。其的決策品質會優於一般個體，可以提高群體的決策品質。具有此特徵的大肚魚在本實驗中就以“領袖魚”稱之。

(四) 操作制約：

是指“經由行為後的結果來改變行為，學習是經由不斷操作練習而產生”。實驗依據：斯肯納箱的大白鼠壓桿實驗學習歷程。在本實驗中，提出魚群覓食是否會因群體覓食過程中回饋飼料的多寡，而改變魚群覓食的行為。

(五) 本實驗大肚魚魚群覓食危險程度的定義：

大肚魚的群體覓食行為是魚群須在確認魚群較安全(低危險)情況下，經群體決策後魚群體才會出現覓食的行為。對於立體框架內魚飼料的覓食，魚群會基於安全與不安全情況下分別出現多種警戒行為，因此將這些多種行為定義成危險的程度等級。用計算危險數值的方式來衡量整個魚群的空間危險程度：

- 0：直接進來吃，或持續吃。
- 1：游進立體框架中徘徊游動後，吃。
- 2：不採用（用以區隔魚群吃與不吃的行為）。
- 3：游進立體框架內，穿越框架未吃而離開框架。
- 4：以錄影畫面為限，僅框架外徘徊游動，未游入立體框架內。

大肚魚群在立體框架內的危險程度 = $\frac{\text{每隻的魚危險程度}}{\text{魚數目}}$ 的總和 - 0.1 * (魚數目 - 1)

0.1：是魚群常數 (是自定值)。

此公式 簡稱 魚群危險程度(α 值)，是觀察魚群行為與反覆討論的經驗公式。

ex: a. 若有一隻大肚魚游進立體框架內，穿越框架未吃離開(沒有魚群效果)。

$$\alpha = 3/1 - 0.1 \times (1-1) = 3$$

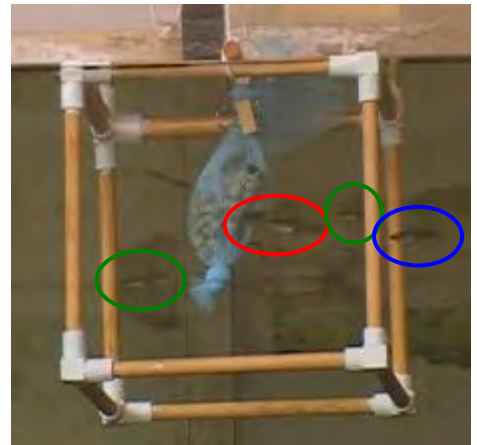
b. 若同時有兩隻大肚魚游進立體框架內，穿越框架未吃離開。

$$\alpha = 3/2 \times 2 - 0.1 \times (2-1) = 2.9$$

c. 如右圖為例。兩隻大肚魚正在吃魚飼料(0)，一隻大肚魚游進立體框架內，尚未吃(3)。另一隻大肚魚已在體框架內，正穿越框架未吃離開(3)。另一隻正要游入框架中(4)，共5隻。

$$\alpha = 0/5 \times 2 + 3/5 + 3/5 + 4/5 - 0.1 \times (5-1) = 1.6$$

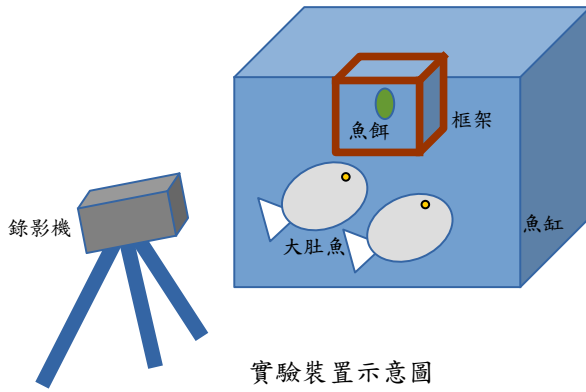
本實驗想利用 α 值來表示大肚魚魚群對立體框架內的危險程度，數值越小越不危險。當 $\alpha < 2$ 時，表示有魚正在吃魚飼料；出現小數時表示有非單一隻魚在立體框架內；且在立體框架附近覓食魚群數量越多，越能提供相互警戒的效果，則 α 值越小，故設計 $0.1 \times (\text{魚數目} - 1)$ 。



二、研究方法：

(一) 資料取得方式 (觀測魚群覓食的操作流程)：

1. 依下列實驗裝置圖，飼養大肚魚。
2. 將魚飼料放入香皂袋中。
3. 製作立體框架並將魚飼料袋放置中間，然後用長尾夾固定。
4. 再將立體框架放入魚缸適當位置，且用棉線固定。
5. 調整錄影機在適當距離(魚缸與錄影機相距 250cm，高度差 30cm)，錄影 10-15 分鐘。



實驗裝置示意圖



實驗裝置照片

(二) 資料分析：

1. 觀看錄影資料並紀錄。
2. 將魚群的警戒及覓食行為寫入“魚群—框架行為敘述表”中。(如附件一)
3. 依魚群行為所發生的事件，記錄時間並計算 α 值。
4. 繪出 α 值與時間的關係圖，即是“ α 值分析圖”。

(三) 影片轉成 α 值分析圖：

1. 對 α 值公式的說明：

經驗公式是基於：“在魚群可以自由進出立體框架為前提，框架內的魚隻數目越多，危險值越少；又能進行覓食活動，其危險值更少”而建立的。因為是魚群，故以總和計算。又魚群之間彼此有警覺性，能同時存在框架內會降低危險值。須設計魚群的大小會降低危險值。使用 0.1 是自行設定的數值，是考慮到在立體框架內很少會同時出現 10 隻以上的情況。

2. 目前此公式會出現某些不合理的情況，如下：

一隻正在覓食，另一隻正穿越立體框架：

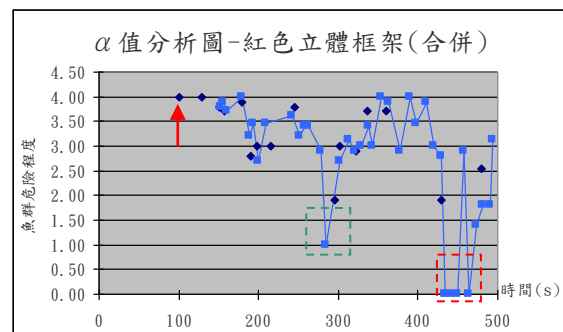
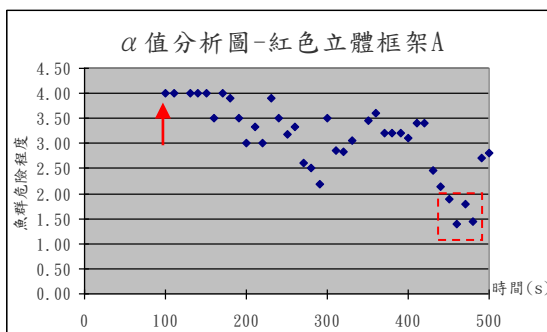
$$1/2+3/2 - 0.1 \times (2-1) = 1.9$$

如果下一時刻為“一隻正在覓食，有兩隻正穿越立體框架”：

$$1/3+3/3 \times 2 - 0.1 \times (3-1) = 2.1$$

此時不僅違反“框架內的魚隻數目越多危險值越少”且 α 值會高於 2，從數值上會被判定沒有魚在覓食。因此在 α 值在略比 2 大時，須進一步了解有多少隻魚在立體框架中。不過目前的定義已經可以用來判定魚群的覓食活動出現多寡的情況了。

3. 因為不同人對影片的判讀會有差異，使用 α 值公式會造成真實魚群活動的差異嗎？



我們進行了“同一實驗不同人判讀”的試驗。請了三個人，其中兩人相互檢查有無不合理的數據點後，再行合併成一張圖，共獲得三組資料兩個 α 值分析圖(如上)。分析如下：

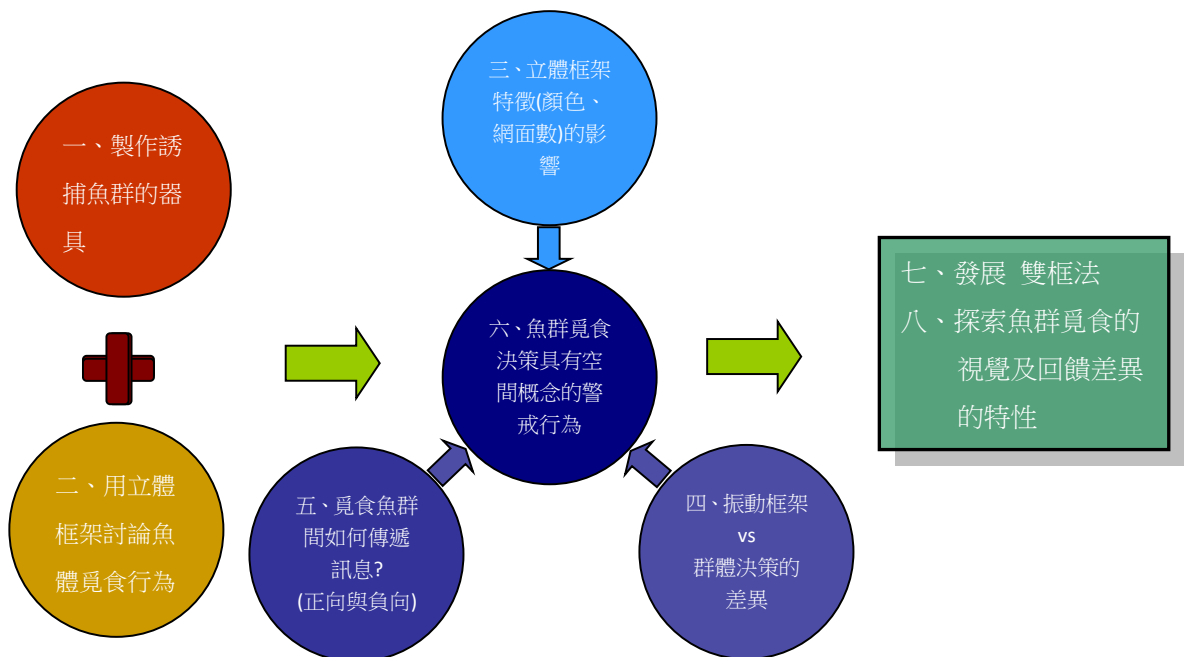
- i. 三組資料點的分布差異很大。
- ii. 約在 100 秒後，兩張圖皆出現巡邏的行為(紅箭頭)。
- iii. 約在 280 秒左右出現 α 值低於 2，經影片再確認是單一隻魚在立體框架內，魚群活動行為會使人決定有差別，但肯定是未出現魚群覓食(綠矩形)。可看出約在 450 秒後，出現魚群覓食(紅矩形)。

小結：

- a. 資料點的分布會有差異，但所發生的事件還是會被記錄呈現。
- b. 判讀原則：5-10 秒為一間隔紀錄一次，當魚群出現吃飼料活動須記錄。
- c. 採多人判讀，再經討論後的結果。合併多人資料在同一圖表中，效果更佳。
- d. 若有疑問須回至影片討論。

所以，經過上述原則後， α 值分析圖就較能呈現真實魚群活動的行為。

三、實驗流程及步驟：



伍、研究結果

實驗 1：調查大、小魚缸中魚數目與體型大小

說明：依之前的文獻^[1]，將大肚魚分為“領袖魚”實際大小約 4.5-5 公分，“非領袖魚”實際大小約 3-4.5 公分。在本實驗中將領袖魚分記為“大隻”，非領袖魚分記為“小隻”，若介於兩者之間無法分辨時分記為“中隻”。

步驟：

1. 在小魚缸中，放入水草。
2. 隔天後數出大肚魚的數量，並填入下表中。
3. 在大魚缸中間上方中，灑下魚飼料。錄影方式記錄魚群數量及大小。
4. 兩人同時在大魚缸的兩側觀察記錄大肚魚，記錄魚群數量及大小。
5. 將步驟 3 和 4 獲得的魚群資料填入下表中。



圖 1-1 計算小魚缸的魚群

結果：

表 1-1 大、小魚缸的魚群資料

	大隻 (領袖大小)	中隻	小隻 (非領袖大小)	總和
小魚缸	4	3	10	17
大魚缸	21	4	12	37



圖 1-2 計算大魚缸的魚群

討論：

1. 在小魚缸中，放入水草。是為了讓大肚魚不要因人靠近牠們時，過於驚恐而快速游動，增加計數的困難。
2. 為了增加小魚缸計算的正確性，把整個小魚缸拍照，再重新計算一次。
3. 大魚缸底部有汙泥，曾用拉網方式將魚群推至右側縮小空間方便計算。但因汙泥擾動水質變汙濁無法計算。
4. 因此設計此誘捕方式及人工計算來估算大魚缸中的大肚魚數量。
5. 大小魚缸的體積比約是 43 倍，大小魚缸的魚數目約是 2.2 倍。大魚缸寬度(350cm)的一半皆超過 1 公尺且深度是 77cm。在大魚缸中魚群皆可以自由遠離或靠近放置在中央水面上的立體框架，而小魚缸中立體框架皆在魚群的視線範圍內(50cm 內)^[1]。

實驗 2：測試框架大小與公式的可用性

說明：使用自製誘捕漁具捕捉生態池中的大肚魚，一開始用沉水型漁具捕到的都不是大肚魚。所以改用吸管製成的浮水型漁具(I)就可以捕獲大肚魚。再改進成木製成的浮水型漁具(II)時，又都捕不到大肚魚。因此假設大肚魚對於木製框架有警覺性才無法捕獲。



圖 2-1 自製各型誘捕漁具

步驟：

1. 魚飼料置於立體框架中心。
2. 將製作的大、中、小框架放入大魚缸中。
3. 錄影紀錄大肚魚吃魚飼料的過程。
4. 嘗試繪製 α 值分析圖並討論之。

結果：

1. 各型立體框架（大— $36 \times 36 \times 36 \text{ cm}^3$ 、中— $25 \times 25 \times 25 \text{ cm}^3$ 、小— $18 \times 18 \times 18 \text{ cm}^3$ ）：



圖 2-2 各型立體框架

2. 拍攝在水中大、中、小立體框架：



圖 2-3 在水中的各型立體框架

3. 填寫魚群—框架行為敘述表後，轉成中、小框架之 α 值分析圖，如下：

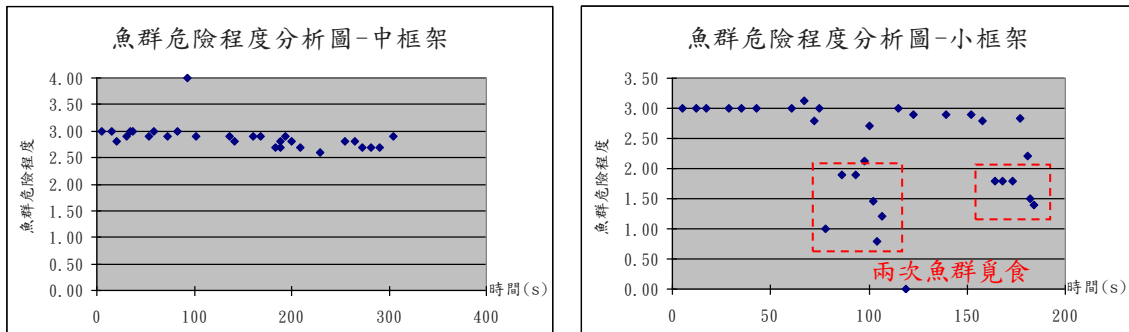


圖 2-4 中、小框架之 α 值分析圖

4. 因錄影的縮小比率導致大框架之魚群行為不易區分，故未繪製 α 值分析圖。

討論：

1. 拍攝在水中的大立體框架時，左下角會受玻璃反光影響而無法看清楚，大肚魚也被縮小太多沒辦法清楚辨識，所以大立體框架不被採用。
2. 使用中立體框架時，大肚魚可辨識清楚。但框架常受水面震動而引起框架轉動，此時會多出“框架轉動”的干擾因素，且使用小魚缸時也無法放入其中，故也不採用中立體框架。
3. 當使用小立體框架時，少了大、中立體框架的缺點。而且運用魚群危險程度(α 值)公式計算後，繪製成 α 分析圖。利用數值變化與時間的關係可以清楚地表達出魚群兩次魚群覓食的歷程，所以採用小立體框架來進行相關的實驗。

實驗 3：單一網面框架時，群體覓食決策為何？

說明：大肚魚是表層水面游動的魚類，鞋型漁具的側面有魚網；而上方沒有魚網。我們認為這樣是較符合大肚魚習性。但依然捕不到魚……

步驟：

1. 在立體框架左面織上單面魚網(如右圖)。
2. 魚飼料置於框架中心，放入大魚缸中。
3. 依序測量單面網立體框架(上方、下方、左側)。
4. 錄影紀錄大肚魚吃魚飼料的過程。
5. 繪製成 α 分析圖，並討論之。

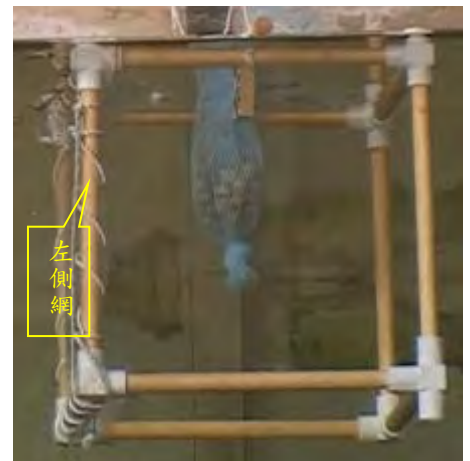


圖 3-1 單面左側網

結果：

1. 因立體框架與實驗設備的關係，在單面網時又可細分為上方、下方、側面、後面。實驗設計時，單面僅以上方、下方、左側面來測試。

2. 三種單面網 α 值分析圖：

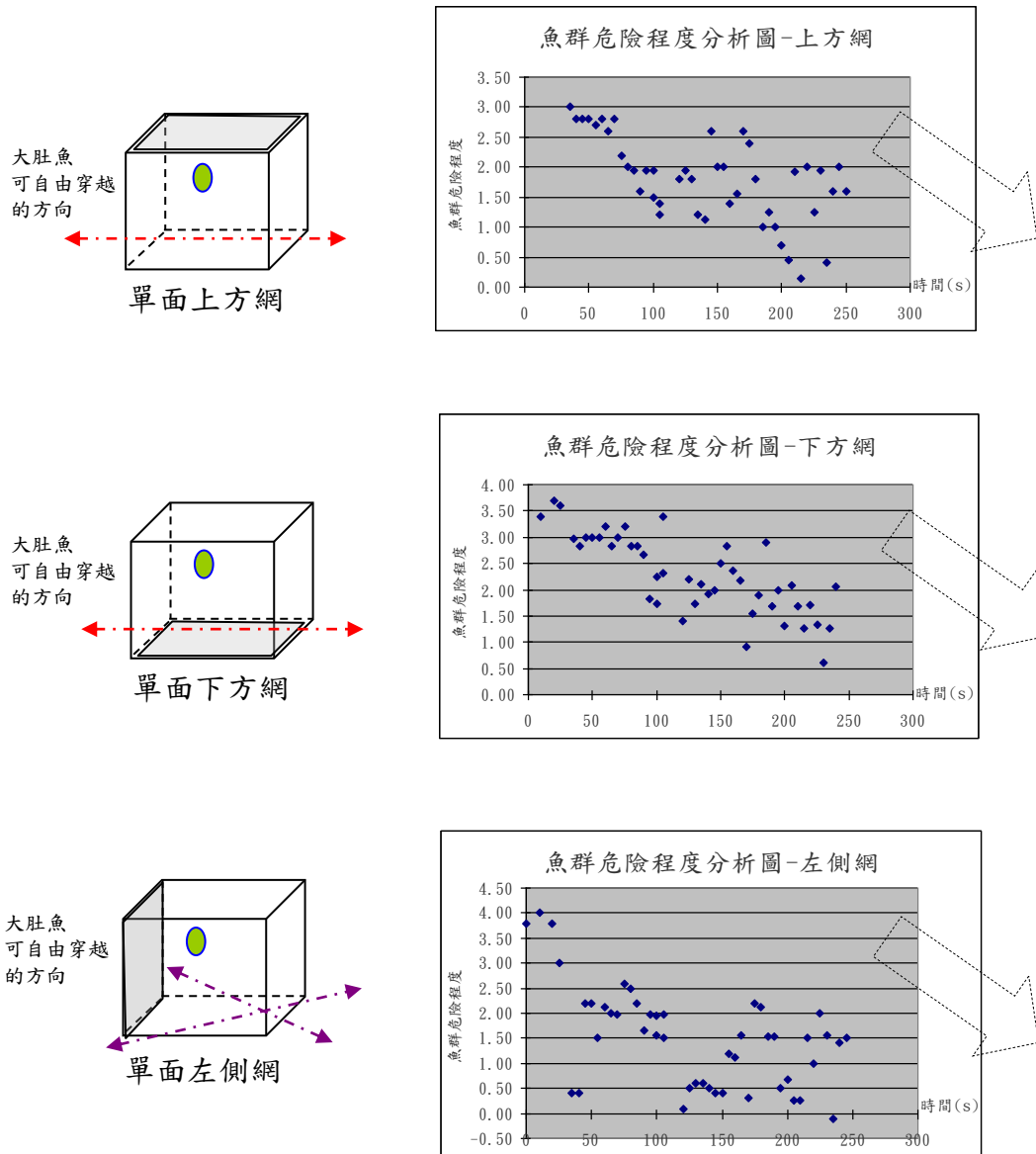


圖 3-2 各型單面網與 α 值分析圖的對應關係圖

討論：

1. 這三張 α 值分析圖的趨勢大致相同， α 值點的分布是向右下偏且會擴散開來。
2. 單面上方、下方網沒有像水草一樣提供遮蔽的效果，讓大肚魚隱蔽在其中。
3. 分析大肚魚穿越立體框架的方向，在水平方向仍可自由穿越。當穿越左側網的立體框架時，大肚魚能穿越立體框架的方向已經發生改變，僅能以對角方向通過。但還是會在網面附近暫停一下(如圖 3-3 之左下角所示)。
4. 單面左側網雖在約 40-50 秒有群體覓食行為，但之後的趨勢大致相同，約 100 秒左右。
5. 如果將立體框架朝鏡頭的那面(正面)與水缸內側玻璃面相鄰，不讓大肚魚穿越立體框架。穿越立體框架的方向就剩下一個方向(如下圖)，那會不會改變了 α 值分析圖？



圖 3-3 單面左側網中魚群的通經路徑

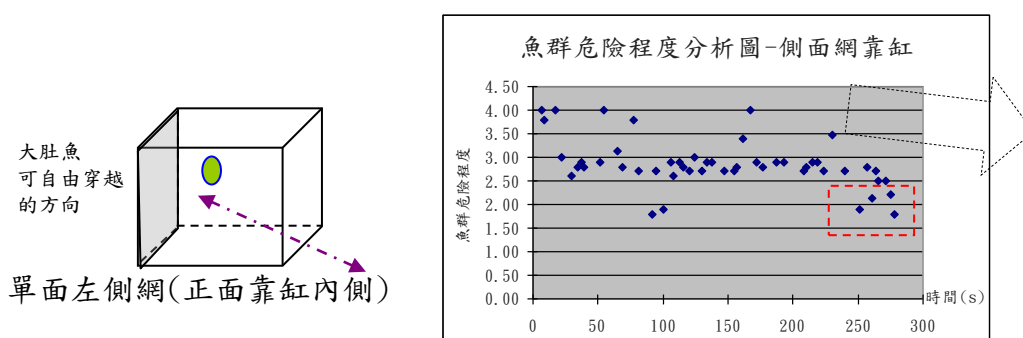


圖 3-2 穿越受阻的單面左側網與 α 值分析圖的對應關係圖

6. 經實驗求得， α 值下降較為趨緩，且發生魚群開始群體覓食的時間增加一倍以上(約 250 秒後)。
7. 魚群通過立體框架的難易程度是影響魚群發生覓食行為的主因之一。

實驗 4：兩網面框架時，群體覓食決策的為何？

說明：

1. 從實驗 3 了解：“若減少大肚魚進入穿越立體框架的方向，則 α 值下降較為趨緩且魚群開始群體覓食的時間會增長”。那使用兩個網面時，勢必會降低魚群通過立體網架的方向。
2. 因立體框架與大魚缸的關係，在雙面網時可細分為上下方、兩旁側、上方旁側、下方旁側……。實驗設計時，雙面僅以下方旁側網和兩旁側網來測試魚群覓食決策行為與空間因素的關係。

步驟：

1. 在立體框架上織上雙面魚網(如下圖)。
2. 魚飼料置於框架中心，放入大魚缸中。
3. 依序放入雙面下方左側網及雙面左右側網的立體框架。
4. 錄影紀錄大肚魚是否吃魚飼料及歷經時間。
5. 繪製成 α 值分析圖，並討論之。

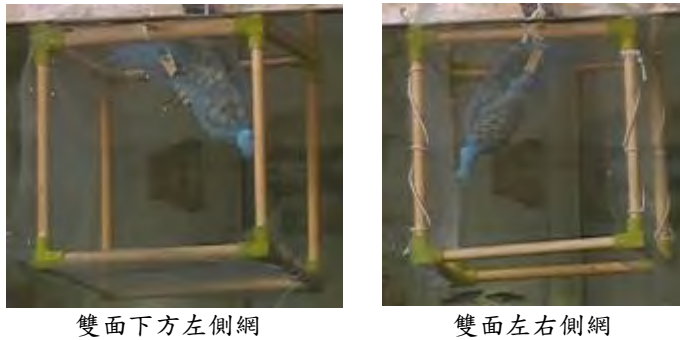


圖 4-1 兩種雙面網

結果：

1. 魚群行為就如同推論的一樣： α 值下降較為趨緩且魚群開始群體覓食的時間會增長。魚群覓食的位置會較靠框架的右側。

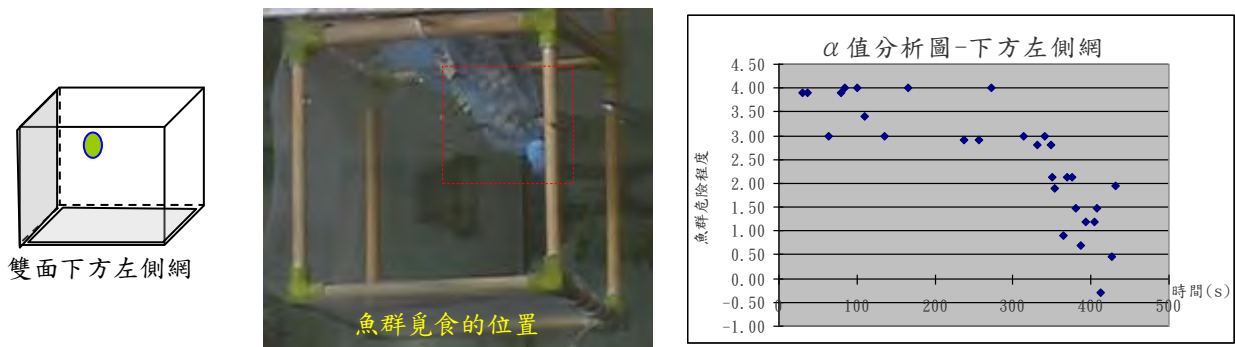


圖 4-2 雙面網與 α 值分析圖的對應關係圖

2. 當使用雙面左右側網的立體框架時，魚群更無法直接穿越到魚飼料附近。且常在立體框架的下方或下盤游動。

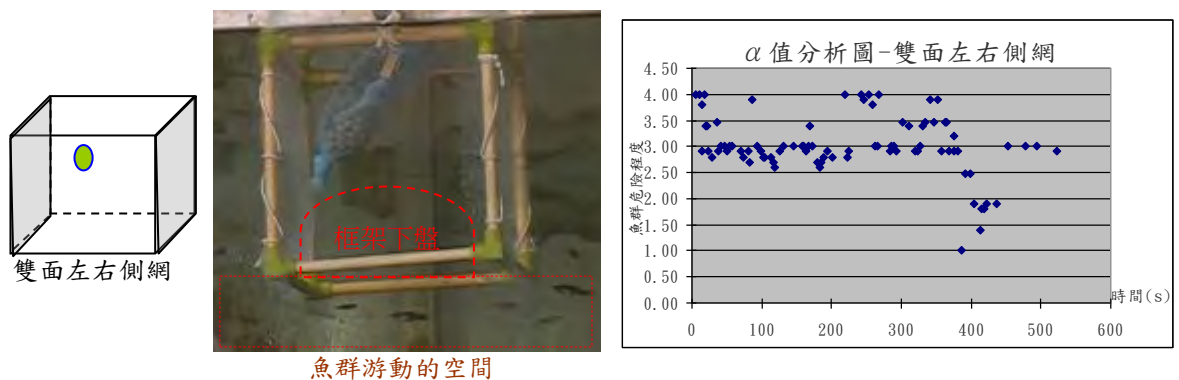
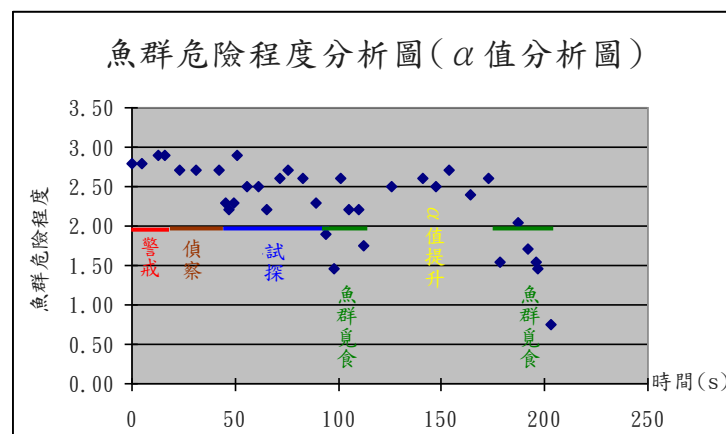


圖 4-3 雙面網與 α 值分析圖的對應關係圖

討論：

1. 使用雙面左右側網時，大肚魚多次繞入立體框架下盤，甚至在內停留，最後還是離開立體框架。魚群會出現在立體框架外部下方游動。
2. 從魚覓食的嗅覺與視覺角度來看：魚的嗅覺引來了魚群在魚飼料附近，魚的視覺使魚群繞入立體框架下盤。但為何魚群不會開始覓食呢？
3. 因此，依據觀察魚群行為與 α 值變化的對應關係。依序自訂分成：**巡邏**、**偵查**、**試探**、**魚群覓食**四個階段。來說明為何進入立體框架的路徑受阻時，會造成魚群覓食的時間會延後的結果。
巡邏階段：會從通過不明區域的外部周圍，感覺是否此空間有危險性。
偵查階段：會穿越不明區域的局部空間，感覺是否此空間有危險性。
試探階段：開始在不明區域的空間內**緩慢游動或暫停**，是否有其他魚隻進行相同試探活動。若有，則開始降低對此空間的危險性。
魚群覓食階段：降低對此空間的危險性後，然後出現覓食的先驅者，進而**魚群開始持續覓食**。若有危險性提高的訊號，則重複上述階段。
4. 每階段的劃分及時間有時不會很明顯，但 α 值(魚群危險程度)降低時才會有魚群覓食的行為是確定的。



5. 分階段了解後，得到結論是：有適當的穿越途徑，才能歷經上述前三階段。之後大肚魚才能降低空間的危險程度，進而發生魚群覓食的行為。而嗅覺與視覺屬於感覺，而非魚群覓食決定性條件(須歷經四個階段)。不過在這些階段之中，視覺是比較重要——“需要同時有食物及同伴的存在”。
6. 一直希望能用 α 值區分明確四個階段，但目前僅能大致區分是否發生“魚群覓食”的行為。

實驗 5：紅色立體框架對於魚群覓食決策的差異

說明：從文獻^[1]得知，在三原色中大肚魚最沒有威脅的是綠色，而紅色是最不喜歡的。織上網面是禁止魚群通過，我們將框架塗上紅色是為了瞭解紅色是否對魚群會造成穿越立體框架的障礙，或是整體框架的危險值提高？

步驟：

1. 將 12 根木棍用紅色壓克力顏料漆成紅色並組裝。放置在水桶中浸泡兩天除味。
2. 把魚飼料放入肥皂袋中，固定在紅色立體框架上。
3. 將紅色立體框架放入大魚缸中。
4. 架設錄影機並開始錄影 10-15 分鐘。
5. 再用原木色的框架(對照框架)依上述步驟進行。
6. 繪製成 α 值分析圖，並討論之。



圖 5-1 紅色立體框架

結果：

1. 製作的紅色立體框架如右圖。
2. 比較兩組大肚魚穿越立體框架時，行為並無明顯差異。(快慢、暫停、角度……等等)
3. 繪製紅色立體框架與對照框架之 α 值分析圖

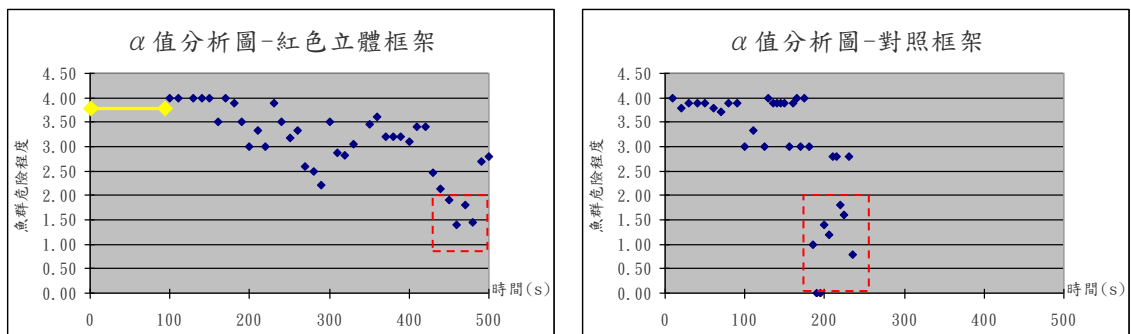


圖 5-2 紅色與原木色立體框架的 α 值分析圖對照圖

討論：

1. 在相同時間內，對照框架已出現魚群覓食的行為(200 秒左右)而紅色立體框架尚未出現(400 秒後)。所以，大肚魚會將“整個紅色框架”視為的較高危險的空間。
2. 比較兩者出現巡邏階段的時間，在紅色立體框架的 α 值分析圖中直到約 100 秒才出現。也是視為的較高危險空間的有利證明。

實驗 6：當有與其他魚種(珠鱗)時的空間因素

說明：平常飼養魚群時，常會和其他魚種一起飼養。當與珠鱗一起飼養時，大肚魚又會出現何種空間因素呢？

步驟：

1. 大魚缸中放入四隻珠鱗。
2. 把魚飼料放入肥皂袋中，固定在原木色立體框架上。
3. 將立體框架放入大魚缸中。
4. 觀察魚群覓食的活動，並紀錄討論。

結果：

1. 有珠鱗存在的立體框架：

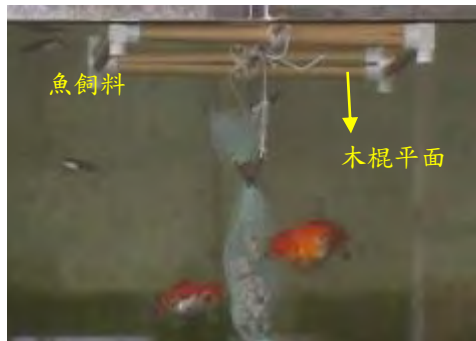


結果：

觀察到只有珠鱗吃魚飼料。大肚魚只是通過立體框架。

是紅色造成的？還是害怕體型大的紅色珠鱗造成的？或是其他因素造成的？

2. 拆除八根後的木棍平面：

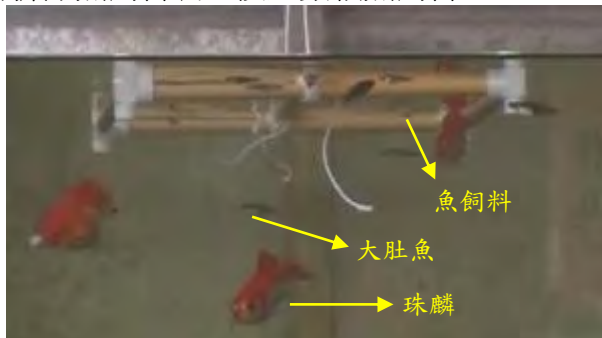


結果：

觀察到只有珠鱗吃魚飼料。大肚魚只是在周圍游動且未進食。特別是珠鱗啄食魚飼料時，造成木棍平面的震動，大肚魚魚群會游開立體框架。

框架震動因素是否真的會影響大肚魚覓食？

3. 再拆除魚飼料袋，投入數顆魚飼料：



結果：

觀察到大肚魚及珠鱗兩魚群相互搶食木棍平面內的魚飼料。

討論：

1. 雖然珠麟是紅色且身體是大肚魚的數倍，但大肚魚認為這不是高危險程度。依然會一同搶食魚飼料。
2. 當珠麟進食會牽動木棍平面震動，此時大肚魚魚群皆未進食。這可能是大肚魚認為危險程度提高了。
3. 在立體框架放入大魚缸後，珠麟率先進入立體框架中進食，因而造成立體框架不正常的震動。所以，會震動的立體框架使大肚魚認為整個立體空間是有高危險的。

實驗 7：誰先擔任魚群覓食的警戒任務

說明：在研究中將警戒任務分成**巡邏**、**偵查**、**試探**、**魚群覓食**四個階段來說明大肚魚群體覓食的決策過程，仍須要進一步說明的是“誰(哪些魚)擔任警戒任務？”，“擔任警戒任務的魚有何特徵？”。而在一份文獻^[1]中也談到大肚魚是有領袖領導的群體決策(大肚魚已有三日沒有進食的情況下，p.12)。因此，想了解我們的方法和文獻有無相似之處。

步驟：

1. 依據文獻及我們的實驗觀察製成附件二的表格。
2. 將實驗錄影的結果紀錄於表格中。
3. 計算發生行為的次數，繪製圓餅圖並討論。

結果：

1. 第一隻穿越立體框架的大肚魚體型：

表 7-1

大肚魚的體型	大隻	中隻	小隻
次數	26	5	8
百分比(%)	66.7	12.8	20.5

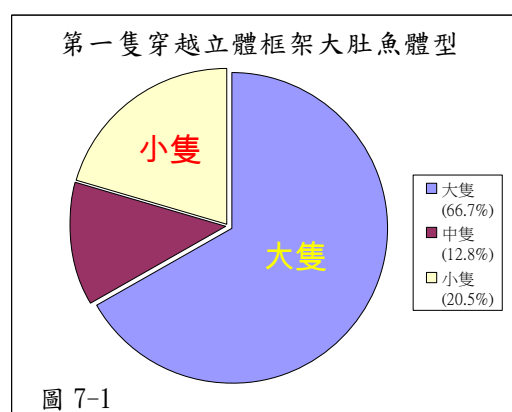


圖 7-1

2. 可引發群體覓食的大肚魚體型(自己吃隨後引起其他魚跟著吃)：

表 7-2

大肚魚的體型	大隻	中隻	小隻
次數	21	0	5
百分比(%)	80.8	0	19.2

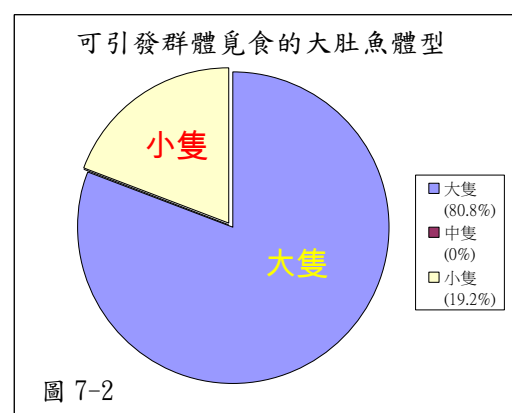


圖 7-2

討論：

1. 根據實驗一，將魚體型分類為大、中、小隻。
2. 在大肚魚群中，哪一隻擔任**巡邏**、**偵查**、**試探**任務是無法標定，且擔任此任務的魚數目是多少也是無法了解。因此，我們就以第一隻穿越立體框架的大肚魚當做是第一位執行偵查、試探任務的大肚魚，並以其為我們的觀察對象。

3. 在實驗一中，大魚缸的領袖魚約占 56.8% (21 隻/37 隻)，發生領袖行為的比值 (66.7%、80.8%)均高於此值。又從文獻^[1]與許多生物行為皆有分工性質的角度來看，大肚魚魚群是有領袖特徵的。
4. 從兩種比例上得知，經歷偵查、試探、魚群覓食三階段，皆以具有領袖特徵的大肚魚所佔的比率較高。
5. 警戒任務應是由具有領袖特徵的大肚魚來帶領魚群共同執行的。
6. 此結果與文獻上的結果相同。但我們不必先讓魚群飢餓 72hr，也可以測出相同的結果，這是和文獻不同的。
7. 在觀察是否可引起群體覓食時，發現一個特殊的現象。當第一隻“大隻的大肚魚”覓食後，有時候會一邊覓食一邊將跟隨而來的大肚魚驅離飼料的框架外。這種行為不能以“領袖”來形容他，反而以“獨裁者”解釋較為適當。就是要建立屬於自己的空間範圍。當出現獨裁者現象時，我們就視為群體覓食的行為發生了。

實驗 8：尋找魚群覓食的訊息傳遞

說明：之前的研究運用了“Y 字型水道”為測量工具，是基於魚的視覺與嗅覺來傳遞覓食的訊息，本實驗以“立體框架”為測量工具，在魚群的警戒行為中是以什麼來傳遞覓食的訊息。那麼此訊息有正向覓食訊息(引來更多魚群覓食)及負向覓食訊息(停止或減緩魚群覓食)之分嗎？若能觀察並記錄到這兩種不同的訊息傳遞，這實在太有趣也太重要了。

步驟：

1. 放置附有飼料袋的立體框架在大魚缸中。
2. 在立體框架外圍附近的水面上，投入單顆魚飼料。
3. 實驗錄影，觀看錄影結果並討論(實驗 8-1)。
4. 放置附有飼料袋的立體框架在小魚缸中。
5. 人在遠處(3 公尺外)且躲藏在柱子後，手拿可聚光手電筒待命。
6. 等待發生魚群覓食時，用閃爍強光照射立體框架。
7. 實驗錄影，觀看錄影結果並討論(實驗 8-2)。

結果：

1. 在實驗 8-1 中，較多魚群到立體框架外圍的單顆魚飼料覓食，很少在立體框架中大包的魚飼袋覓食。
2. 在實驗 8-2 中，未照光前，魚群一如往常在立體框架中的魚飼料袋覓食。開始照射閃爍強光時，魚群會慢慢整個下沉至立體框架的下面，魚飼料袋無魚群覓食。操作數次都是相同結果。



圖 8-1 單顆 vs 一包 魚飼料



圖 8-2 照射強光在覓食魚群

討論：

1. 在實驗 8-1 中，魚群吃飼料袋中飼料的流程是：選定位置、暫停位置、用啄食方式。而吃立體框架外圍的單顆魚飼料的流程是：選定位置、咬或(吸)住魚飼料且魚身會左右甩動。我們懷疑吃飼料的行動差異會透過視覺傳遞其他魚群，所以大都魚群往單顆魚飼料覓食，而非看見較大面積的飼料有較高的覓食機會。
2. 為了確認是肢體語言會透過視覺傳遞訊息，又設計實驗如下：
準備兩個立體框架，左側是飼料袋，而右側是十顆魚飼料 (相同的魚飼料)。

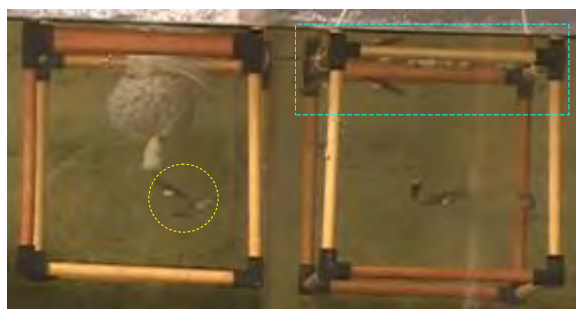


圖 8-3 實驗開始 2 分鐘

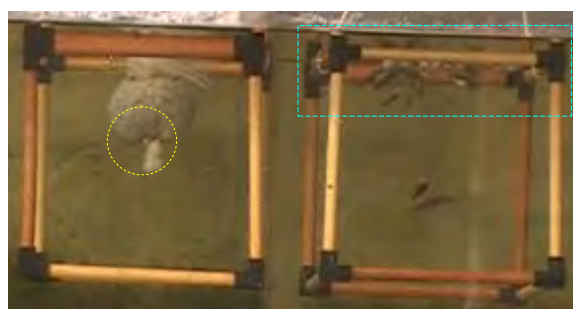


圖 8-4 實驗 4 分鐘時

3. 雖然右側的飼料量遠少於左側，但是右側覓食魚群的數目是大於左側。**所以，肢體行動會經過視覺傳遞訊息(肢體語言)，也傳遞較安全的訊息(正向覓食訊息)。**
4. 在實驗 8-2 中，突來的閃爍強光使魚群泳速有變慢(遲滯)並離開飼料袋。整個魚群是慢慢的往下偏移，而不是個別的反射動作(快速逃離)。在圖 8-5-3 中，有一隻遲滯在立體框架內，之後隨著另一隻於游出立體框架外。

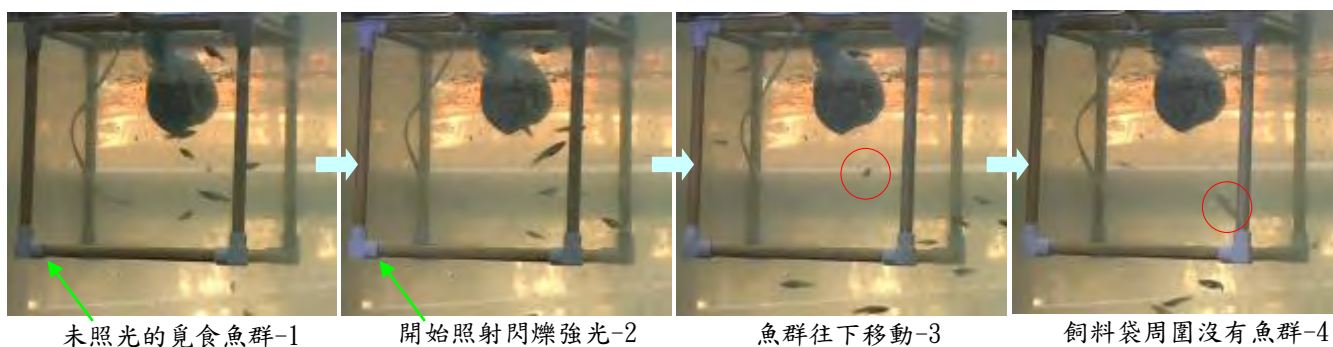


圖 8-5 覓食魚群照光後的反應

所以，肢體行動會經過視覺傳遞訊息，也傳遞遠離危險的訊息(負向覓食訊息)。

5. 廣義來說 大肚魚魚群中的“領袖行為”就是一種經過視覺傳遞的肢體語言。

實驗 9：發展雙框法用來探討魚群覓食的行為

說明：對魚群覓食的變因來說，“Y 字型水道”具有二分法。如何使“立體框架”也具有二分法。那麼就能探討更多的魚群覓食的相關特性。因此，提出了將“兩個立體框架”同時投入大魚缸中，並利用閃光產生負向覓食訊息來確定“雙框法”是否可以分析魚群覓食的行為。雖然實驗八已有此想法的雛形了。

步驟：

1. 置入兩個附有魚飼料的立體框架在大水缸中，錄影記錄(空白實驗)。
2. 用手電筒閃光照射右側魚飼料袋，錄影記錄。
3. 改用手電筒閃光照射左側魚飼料袋，錄影記錄。
4. 繪製成雙框- α 值分析圖，並討論之。

結果：

1. 三組 α 值分析圖如下：

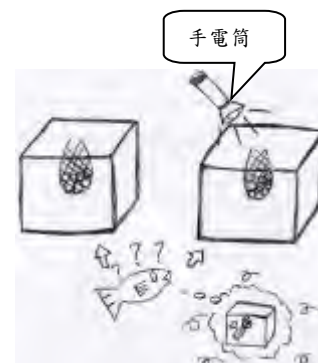


圖 9-1 裝置圖-負向覓食訊息

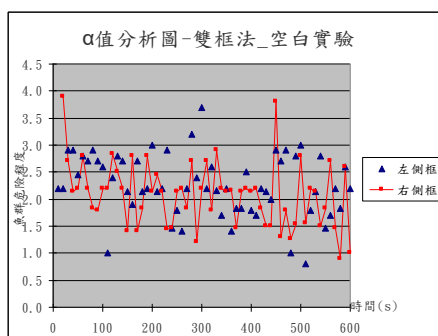


圖 9-2 雙框- α 值分析圖
-空白實驗

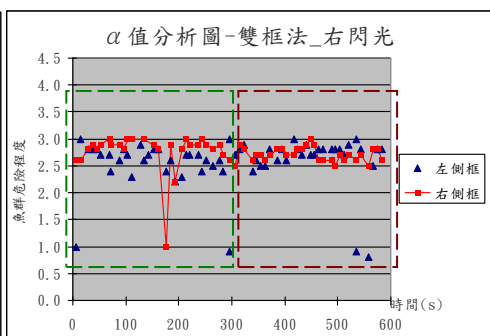


圖 9-3 雙框- α 值分析圖
-右側框閃光

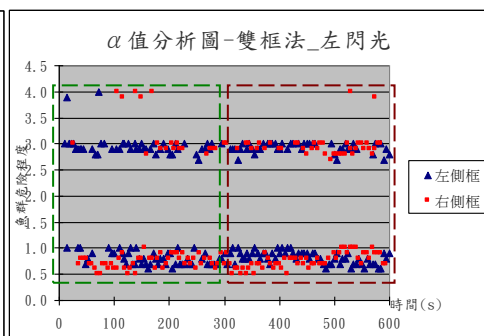


圖 9-4 雙框- α 值分析圖
-左側框閃光

討論：

1. 開始測試時，兩個立體框架相距在 50 公分。大都是左側框架有魚群覓食的現象，這可能是環境因素造成偏差。但相距在 10 公分內時，左右立體框架魚群覓食的情形才會較相近。故每次操作變因之前，須先做空白實驗來確定有無明確偏差後再進行實驗變因的操作。當產生偏差時，若要探討負向覓食訊息須從魚群覓食行為多的一方操作，若要探討正向覓食訊息須從魚群覓食行為少的一方操作。
2. 簡單說，圖中哪一側低數值的點越多，則魚群就是偏向哪一側框架覓食(藍點-左側框，紅點-右側框)。
3. 為了區分使用雙框法所繪製的 α 值分析圖與之前的使用單一立體框架的 α 值分析圖在名稱上的不同，所以就稱之為“雙框- α 值分析圖”。
4. 當閃光照射右側框架時，從圖 9-3 雙框- α 值分析圖得知，只有左側框的前半部 α 值分布(綠矩形的藍點)會較低-魚群偏向左側框覓食。反之，當閃光照射左側框架時，從圖 9-4 雙框- α 值分析圖得知，也只是右側框的前半部的 α 值分布(綠矩形的紅點)會低-魚群偏向右側框覓食。而兩圖的後半部皆很難區分高低(棕色矩形)。因此再回到影片去進一步推論，可能是魚群對閃光經一段時間後就認為無危險性了。所以，雙框法的實驗設計是可以適時反映出變因對魚群覓食的影響。

實驗 10：減少的嗅覺刺激是否會影響群體覓食的決策

說明：實驗 9 是針對視覺的探討，那嗅覺上的差異是否也會影響魚群覓食的決策呢？

步驟：

1. 置入兩個附有魚飼料的立體框架在大水缸中，將預設以透明塑膠袋包覆的框架先附上鉛塊，並調整左右兩框架相同高度，錄影記錄(空白實驗)。
2. 改為右側魚飼料用透明塑膠袋包覆，錄影記錄。
3. 改為左側魚飼料用透明塑膠袋包覆，錄影記錄。
4. 繪製成雙框- α 值分析圖，並討論之。

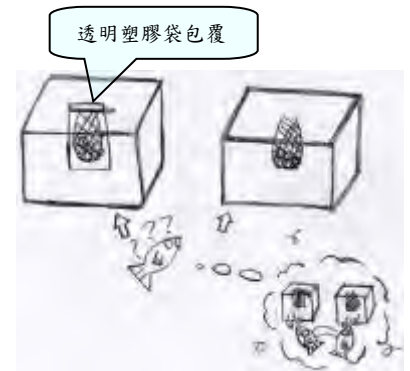


圖 10-1 裝置圖-減少味覺刺激

結果：

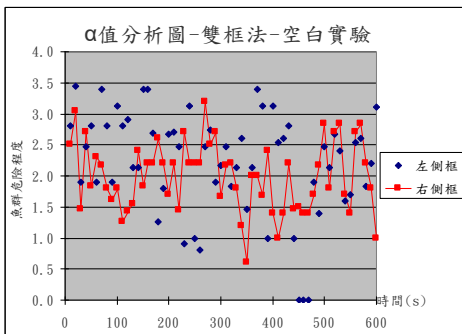


圖 10-2 雙框- α 值分析圖
-空白實驗

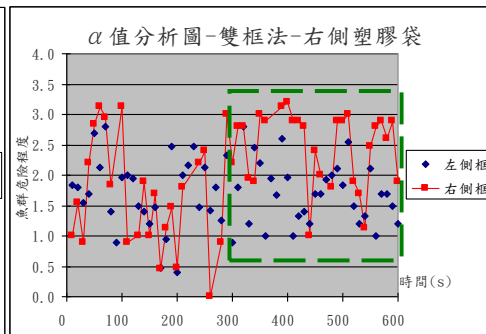


圖 10-3 雙框- α 值分析圖
-右側塑膠袋

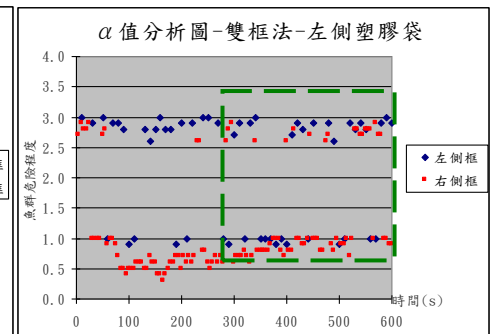


圖 10-4 雙框- α 值分析圖
-左側塑膠袋

討論：

1. 當右側飼料袋包覆透明塑膠袋時，右側飼料的氣味會減少。從圖 10-3 得知，在左側框的 α 值分布較低(藍點分布較低-魚群偏向左側框覓食)。反之，當左側飼料袋包覆透明塑膠袋時，從圖 10-4 得知，在右側框的 α 值分布也較低(紅點分布較低-魚群偏向右側框覓食)。所以，氣味的差異也會對魚群覓食有影響？
2. 不過進一步思考，透明塑膠袋會減少飼料的氣味，同時也減少每次吃到飼料的量(回饋差異)。那魚群覓食的回饋差異會影響群體覓食的決策嗎？因此我們設計了下一個實驗來探討。

實驗 11：回饋差異是否會影響群體覓食的決策

說明：對魚群覓食來說：看得到，聞得到，經過魚群警戒行動後就可以吃得到。若每次吃到飼料量較少時，會改變魚群覓食行為嗎？

步驟：

1. 置入兩個附有魚飼料的立體框架在大水缸中，錄影記錄(空白實驗)。
2. 改用右側魚飼料用雙層網袋包覆，錄影記錄。
3. 改為左側魚飼料用雙層網袋包覆，錄影記錄。
4. 繪製成雙框- α 值分析圖，並討論之。

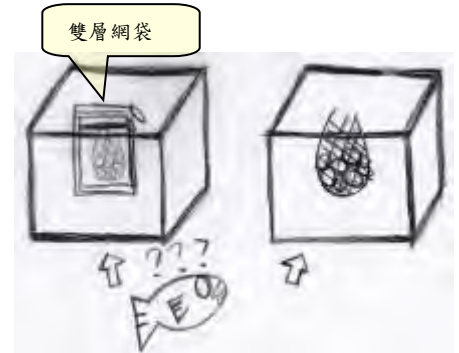


圖 11-1 裝置圖-覓食回饋差異

結果：

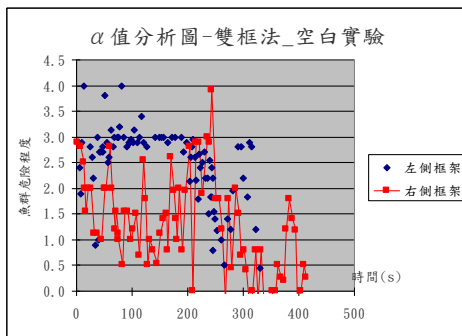


圖 11-2 雙框- α 值分析圖
-空白實驗

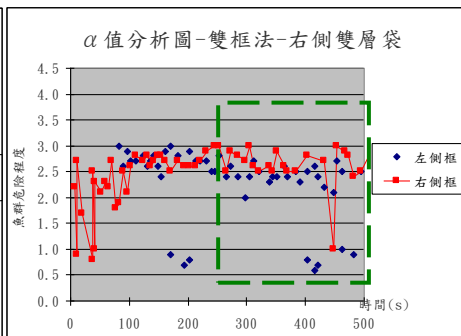


圖 11-3 雙框- α 值分析圖
-右側雙層袋

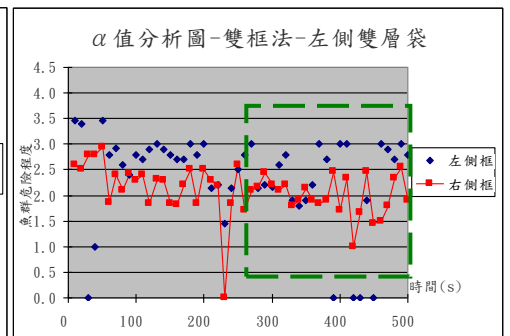


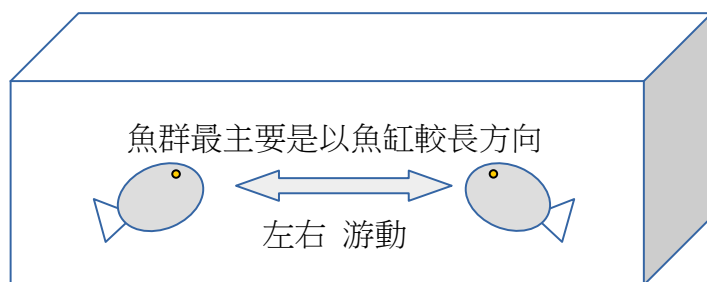
圖 11-4 雙框- α 值分析圖
-左側雙層袋

討論：

1. 實驗須要是兩側視覺與嗅覺相同，並有一側框架減少每次吃得飼料的量(回饋差異)。因此設計用雙層網袋包覆魚飼料來達成此變因的操縱。
2. 在空白實驗中，右側框架的 α 值分布大都比左側框架低，因此魚群都偏向右側框架覓食。所以先將雙層網袋裝置在右側框架，試試看是否會轉換成左側框中覓食的魚群較多。
3. 當右側框包覆雙層網袋時，則每次吃到魚飼料的量在右側框會較少。從圖 11-3 得知，在左側框的 α 值分布較低(藍點分布較低-魚群偏向左側框覓食)；反之，當左側包覆雙層網袋時，從圖 11-4 得知，在右側框的 α 值分布較低(紅點分布較低-魚群偏向右側框覓食)。且實驗時間越久此現象越明顯。所以，我們可以確定減少魚吃得到飼料的量是會對降低魚群覓食的機會。換句話說：“魚群覓食的回饋差異是會影響魚群覓食決策”，因此大肚魚的群體覓食行為是具有操作制約的特性。

陸、綜合實驗討論

1. 人們常用一些數字(指數) 行為來表達一些狀態、情境或行為模式，進而有客觀性的衡量及評估方式。例如：昏迷指數^[2]、生物多樣性指標^[3]、生物棲地指數^[4]、健康行為指數(M 值)^[5]。我們按照相同的方式，根據魚群與立體框架的反應行為，討論出簡易的數學公式處理，用來評估魚群對立體框架的危險程度。依序進行觀察魚群、填寫行為敘述表、計算成 α 值與時間關係圖的反覆操作與微調公式。讓 α 值分析圖 盡可能表示影片中魚群群體決策的行為。
2. α 值的數值接近，可能是立體框架內的魚群數目或警戒行為不同所同時造成的。若將魚群數目不同就用不同顏色標明， α 值分析圖 更可以區分魚群活動的事實。
3. 我們相信魚群在框架內的“魚的體型大小、距飼料遠近、泳速快慢、進食方式、飼料位置、停留時間、游入立體框架的路徑(直線或折線)……等等”對魚群來說都是有意義的。如何放入公式中需進一步深入研究。
4. 長期觀察大肚魚的主要游動方向是左右來回游動，可能是大魚缸是長方體(長 350 × 寬 72 × 深 77 cm³)的緣故，所以我們設計實驗是阻礙左右來回的游動方向。



5. 為了控制變因，每次實驗都是使用同一廠牌的魚飼料。
6. 水缸中突如其來的立體框架對魚群來說是“危險空間”，若魚群的嗅覺與視覺已察覺到有食物存在，進而啟動警戒的行動。但對於觀察者而言是一種識別魚群覓食的方法。
7. 大肚魚是活動在水面表層的魚類，而魚的嘴型往往與進食的方式有關。從右圖來看，大肚魚的嘴型略朝上。因此推論浮於水面的飼料最能符合這些特徵，若能推動飼料顆粒離開立體框架(遠離危險區域)更佳。
8. 從實驗可以觀察到在操作“雙框法”時，有些魚會穿梭在兩個立體框架間游動，“雙框法”是魚群可以依據情境因素不斷決策並依據魚群表現的行為及魚群數量多寡來確認因果的一種實驗方法。而文獻^[1]所用的“Y字型水道”是魚群在岔路時依當時情境瞬間決策呈現選擇結果的一種實驗方法。
9. 在判讀影片魚群個別警戒行為轉換成 α 值的過程中，是一件花時間及花眼力的事情。雖有明確的規則還是會因每個人的認知差異造成轉換成 α 值的有所不同。若使用人工智慧(AI)協助，將會提升 α 值分析圖法 的可信度。亦可以運用到其他生物群體決策的行為研究上。



柒、結論

1. 大肚魚魚群會將突如其來的立體框架視為危險空間，並會進行警戒行為。此警戒任務的決策依序分成：**巡邏、偵查、試探、魚群覓食**四個階段。我們建立魚群在立體框架內的危險程度分析法（ α 值分析圖法），用來探討此四個階段的變化及感受空間的危險程度。
2. 魚群間除了嗅覺與視覺之外，研究中找到魚群可用肢體行為語言來傳遞“正向”及“負向”群體覓食的訊息。
3. 設計同時兩組立體框架相互對照來操作變因(雙框法)可以探討更多的魚群覓食行為的特性，最後發現魚群覓食行為是一種具有“可被操作制約性質的行為”。
4. 可用阻斷魚群游入游出立體框架的方向來干擾魚群覓食決策的四個階段，由 α 值與時間的變化關係瞭解干擾的程度。
5. 大肚魚對於紅色的立體框架及不明的震動會感受到危險程度的提高。
6. 魚群警戒任務的四個階段都是具有“領袖”領導魚群的群體決策的特質。

捌、參考資料

- 一、郭東穎，中華民國第 54 屆中小學科學展覽會國中組生物科：生物的群聚行為與生存優勢—大肚魚的群體決策行為研究及電腦模擬。
- 二、昏迷指數 Glasgow Coma Scale。民 107 年 04 月 5 日，取自
http://www.ysvh.gov.tw/ysvh/code_upload/HealthCate/file1_915_3330742.pdf
- 三、生物多樣性指標，100 年濕地生態環境監測系統標準作業程序(SOP)_芳苑濕地場進階講義。民 107 年 04 月 5 日，取自
<http://wetland-tw.tcd.gov.tw/WetLandWeb/training-info.php?id=560>
- 四、生物棲地指數,柏林運用 Biotope Area Factor(生物棲地指數) 將自然帶回都市。民 107 年 04 月 5 日，取自 <http://e-info.org.tw/node/4231>
- 五、健康行為指數(M 值)，健康行為指數獲權威認可，國民健康實現量化。民 107 年 04 月 5 日，取自 <https://kknews.cc/health/zner3ng.html>
- 六、國小自然第六冊第二單元 動物世界面面觀。康軒出版社，2015。
- 七、朱汶偵，(2008)，背景顏色與色差及群體效應對麻雀選擇覓食環境及其覓食行為之影響，國立成功大學生命科學系研究所碩士論文。台南。
- 八、李姮蓓等，(2012.06)，棲地類型與群體規模對紅鳩之覓食與警戒行為的影響。Taiwania 57: 2，頁 99-105。
- 九、鷓鴣的群體覓食。民 107 年 03 月 5 日，取自：
<http://npgis.cpami.gov.tw/public/default/ToDayListIframe.aspx?doc=2009-08-18-00003>。
- 十、警戒。民 107 年 03 月 5 日，取自：
<https://baike.baidu.com/item/警戒/10643728>
- 十一、大肚魚圖片來源。民 107 年 03 月 5 日，取自：
雄性：<https://goo.gl/images/M2p2DT>
雌性：<https://goo.gl/images/cg67WS>
群體覓食：<https://goo.gl/images/cr5Ejs>
排水溝中的大肚魚：<http://mypaper.pchome.com.tw/ftliu/post/1340545182>
- 十二、大肚魚。民 107 年 03 月 5 日，取自維基百科 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/食蚊魚>
- 十三、操作制約。民 107 年 04 月 5 日，取自
https://spiketren.gitbooks.io/psy101/ch6/operant_conditioning.html
- 十四、行為主義心理學的學習理論。民 107 年 04 月 5 日，取自
<http://blog.xuite.net/kc6191/study/15805866-行為主義心理學的學習理論>

附件一：

魚群-框架行為敘述表

序號	時間	魚的大小	危險程度	隻(備註)	序號	時間	魚的大小	危險程度	隻(備註)
1		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小			26		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小		
2		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小			27		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小		
3		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小			28		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小		
4		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小			29		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小		
5		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小			30		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小		
6		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小			31		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小		
7		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小			32		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小		
8		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小			33		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小		
9		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小			34		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小		
10		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小			35		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小		
11		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小			36		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小		
12		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小			37		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小		
13		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小			38		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小		
14		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小			39		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小		
15		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小			40		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小		
16		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小			41		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小		
17		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小			42		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小		
18		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小			43		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小		
19		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小			44		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小		
20		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小			45		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小		
21		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小			46		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小		
22		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小			47		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小		
23		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小			48		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小		
24		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小			49		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小		
25		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小			50		<input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小		

0：直接進來吃，或持續吃

3：游進立體框架內，穿越框架未吃離開

1：游進立體框架中徘徊游動後，吃

4：僅框架外徘徊游動，未游入立體框架內。

2：不採用(用以區隔魚群吃與不吃的覓食行為)

檔名：.....

附件二：

實驗七的統計表

	=3(第一隻) <input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小	引發群體覓食 <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否	=引發群體覓食 =0.1.2 <input type="checkbox"/> 大 <input type="checkbox"/> 中 <input type="checkbox"/> 小	實驗編號
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				

【評語】 080305

本設計實驗探討大肚魚的覓食行為及警戒行動，研究中定義了魚群危險程度並推算出的公式，就各種情況進行長時間的觀察紀錄，實驗具有創意且內容豐富探討許多面向。雖然動物行為的觀察較費心神且易受人為判斷影響，但這份研究對魚群行為觀察入微仔細，對於人為判斷的影響也有進行試驗。研究結論與推論能審慎宜循研究數據趨勢進行推衍，形成明確的研究結論。組員的講解內容多，但略顯匆忙，且因會場雜音較大，建議在講解的過程中應要放大音量，貫穿整體研究的重要公式〔魚群危險程度(α 值)〕為本研究的核心，更應要進行詳細的公式建立了解與解釋。由於本研究著重於動物行為，建議應多參考動物行為學通用的名詞及定義，舉例而言，最後結論推測為「操作制約」的論述，應該謹慎區分「操作制約」與「古典制約」的定義。

壹、摘要 利用逐一增加立體框架的網面數阻斷魚群游入游出立體框架的方向，分析出大肚魚具有危險空間的概念。提出發生魚群覓食行為之前，魚群會先出現警戒行為；此警戒行為依序分成巡邏、偵查、試探、魚群覓食四個決策階段，這四個決策階段都有領袖領導的群體決策特質。運用魚群在立體框架內的危險程度(α值分析圖法)說明紅色立體框架及不明的震動會使魚群提高空間的危險程度。由於找到魚群行為可增強或減弱覓食的訊息傳遞方式，並發展出雙框法證實大肚魚的群體覓食行為有可被“操作制約”的特性。

貳、研究目的

- 一、建立表達大肚魚群覓食決策的方法
- 二、找出影響大肚魚群覓食決策的空間因素
- 三、探討大肚魚群覓食決策行為的中警戒行動含義
- 四、找魚群覓食的訊息傳遞
- 五、發展雙框法，探索魚群覓食決策的特性

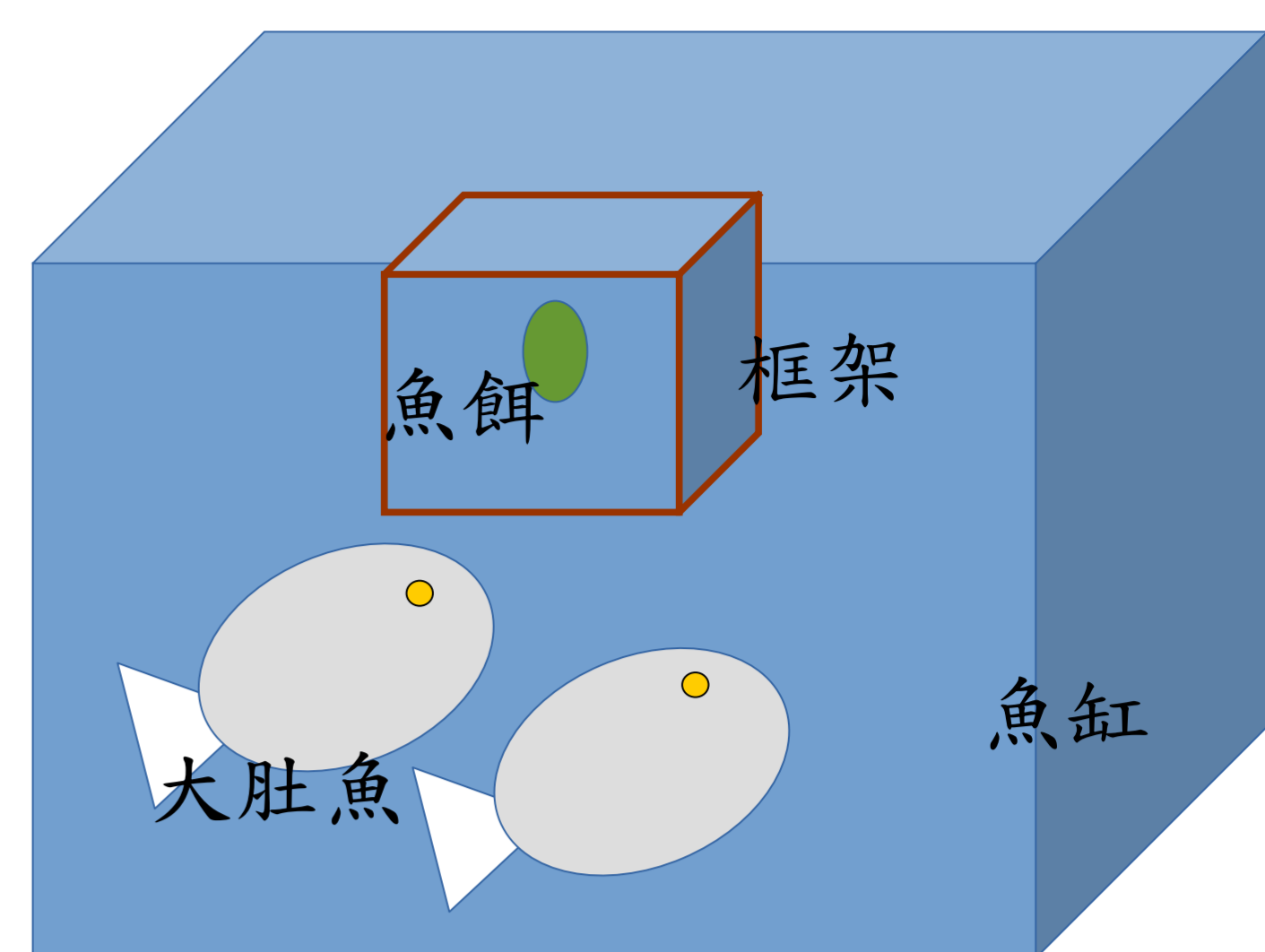
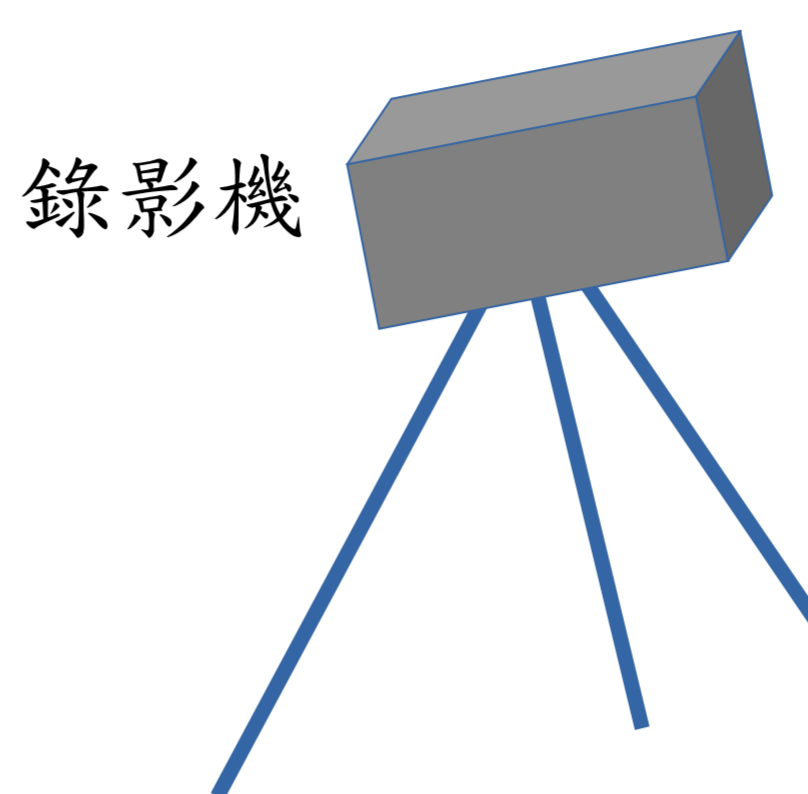
參、研究設備及器材



大魚缸：長350 × 寬72 × 深77 cm³



小魚缸：長60 × 寬30 × 深25 cm³



實驗裝置示意圖

肆、研究過程或方法

三、實驗流程及步驟

本實驗大肚魚魚群覓食危險程度的定義：對於立體框架內魚飼料的覓食，魚群會基於的安全與不安全情況下分別出現多種行為，因此將這些多種行為定義成危險的程度等級。用計算危險數值的方式來衡量整個魚群的空間危險程度：

- 0：直接進來吃，或持續吃。
- 1：游進立體框架中徘徊游動後，吃。
- 2：不採用(用以區隔吃與不吃的行為)。
- 3：游進框架內，穿越框架未吃而離開。
- 4：以錄影畫面為限，僅框架外徘徊游動，未游入立體框架內。

(一) 資料取得方式(觀測魚群覓食的操作流程)：

1. 依下列實驗裝置圖，飼養大肚魚。
2. 將魚飼料放入香皂袋中。
3. 製作立體框架並將魚飼料袋放置中間。
4. 再將立體框架放入魚缸適當位置，且用棉線固定。
5. 調整錄影機在適當距離，錄影紀錄10至15分鐘。(魚缸與錄影機相距250cm，高度差30cm)

(二) 資料分析：

1. 觀看錄影並紀錄。
2. 將魚群的覓食行為寫入“魚群—框架行為敘述表”
3. 大肚魚在立體框架內的危險程度計算(α值)。
4. 繪出α值與時間的關係圖，即是“α值分析圖”。

大肚魚群在立體框架內的危險程度 = $\frac{\text{每隻的魚危險程度}}{\text{魚數目}}$ 的總和 - 0.1 * (魚數目 - 1)

0.1：是魚群常數(是自定值)。

此公式簡稱 魚群危險程度(α值)，是觀察魚群行為與反覆討論的經驗公式。

我們進行了“同一實驗不同人判讀”的試驗，小結：

- a. 資料點的分布會有差異，但所發生的事件還是會被記錄呈現。
- b. 判讀原則：5-10秒為一間隔紀錄一次，當魚群出現吃飼料活動須記錄。
- c. 採多人判讀，再經討論後的結果。合併多人資料在同一圖表中，效果更佳。
- d. 若有疑問須回至影片討論。所以，α值分析圖就較能呈現真實魚群活動的行為。

伍、研究結果與討論 實驗1：調查大、小魚缸中魚數目與體型大小

說明：將大肚魚分為“領袖魚”實際大小約4.5-5公分，“非領袖魚”實際大小約3-4.5公分。在本實驗中將領袖魚分記為“大隻”，非領袖魚分記為“小隻”，若介於兩者之間無法分辨時分記為“中隻”。

步驟：

1. 在小魚缸中，放入水草。
2. 隔天後數出大肚魚的數量，並填入下表中。
3. 在大魚缸中間上方中，灑下魚飼料。錄影方式記錄魚群數量及大小。
4. 兩人同時在大魚缸的兩側觀察記錄大肚魚，記錄魚群數量及大小。

討論：在大魚缸中魚群皆可以自由遠離或靠近放置在中央水面上的立體框架，而小魚缸中立體框架皆在魚群的視線範圍內(50cm內)^[1]。

表1-1大、小魚缸的魚群資料

	大隻 (領袖大小)	中隻	小隻 (非領袖大小)	總和
小魚缸	4	3	10	17
大魚缸	21	4	12	37



圖1-1計算小魚缸的魚群



圖1-2計算大魚缸的魚群

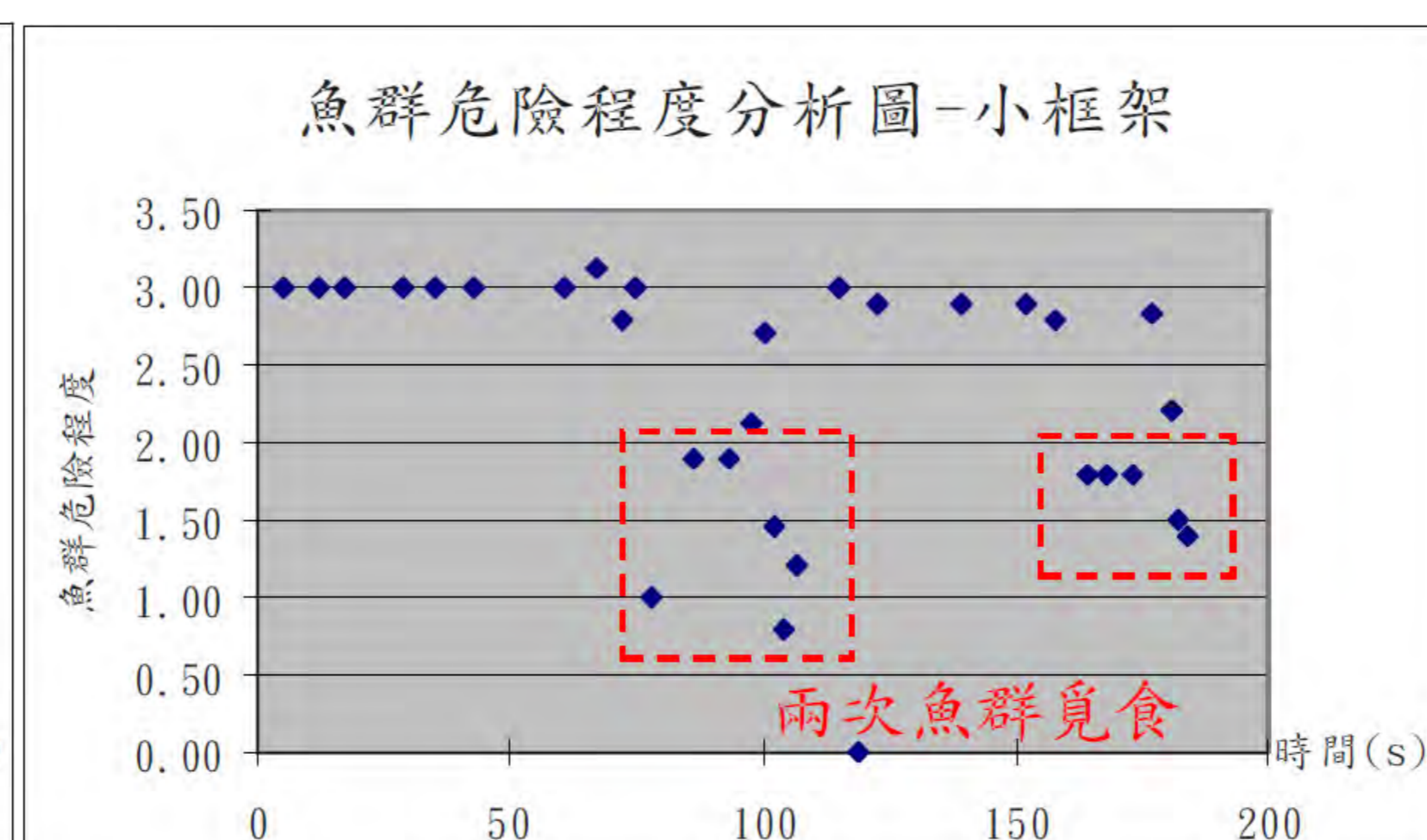
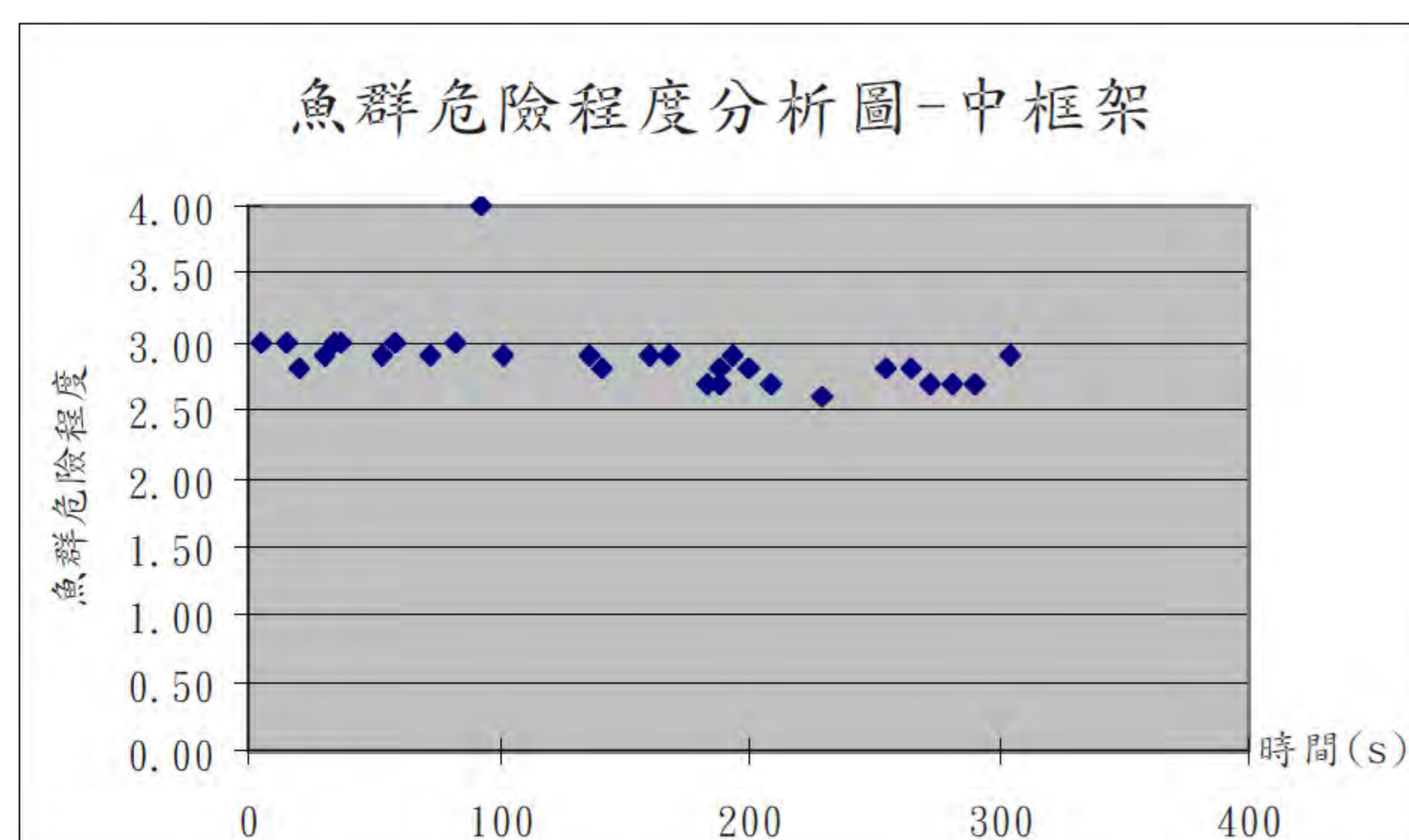
實驗2：測試框架大小與公式的可用性



立體框架(大-36cm、中-25cm、小-18cm)



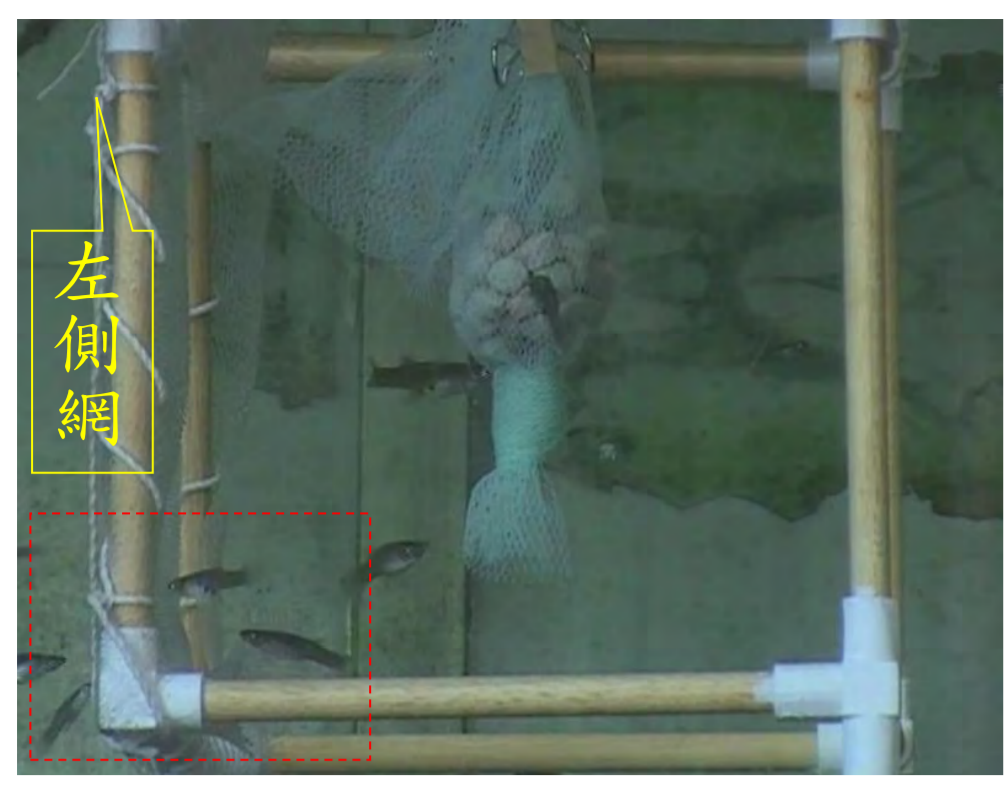
小框架



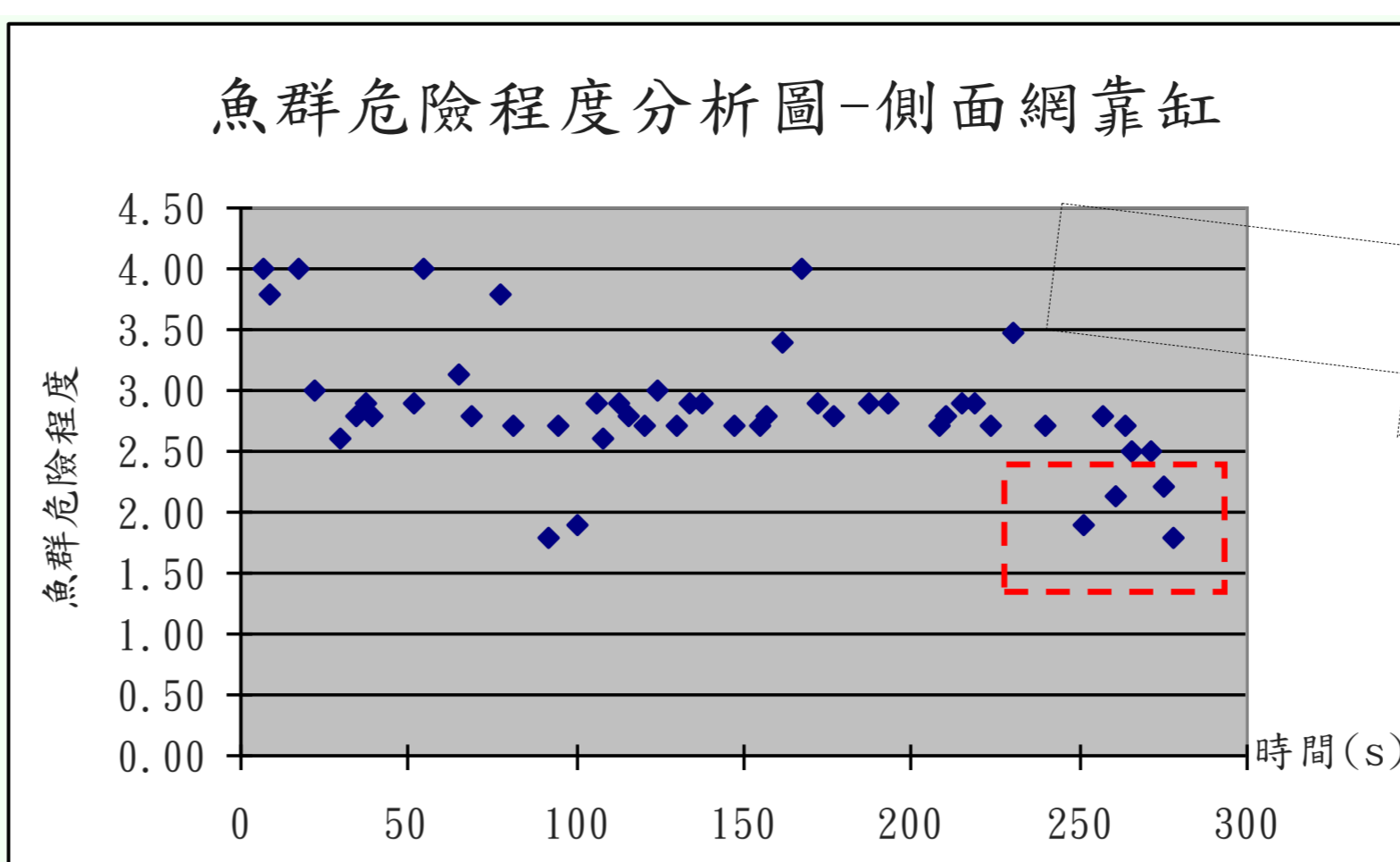
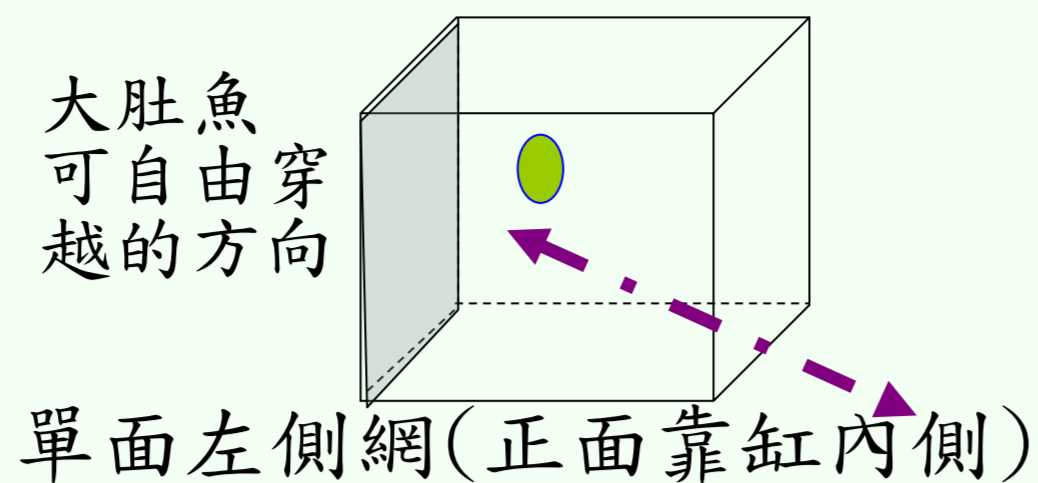
討論：

當使用小立體框架時，少了大、中立體框架的缺點。而且運用魚群危險程度(α值)公式計算後，繪製成α分析圖。利用數值變化與時間的關係可以表達出魚群兩次覓食的歷程，所以採用小立體框架來進行相關的實驗。

實驗3：單一網面框架時，群體覓食決策為何？

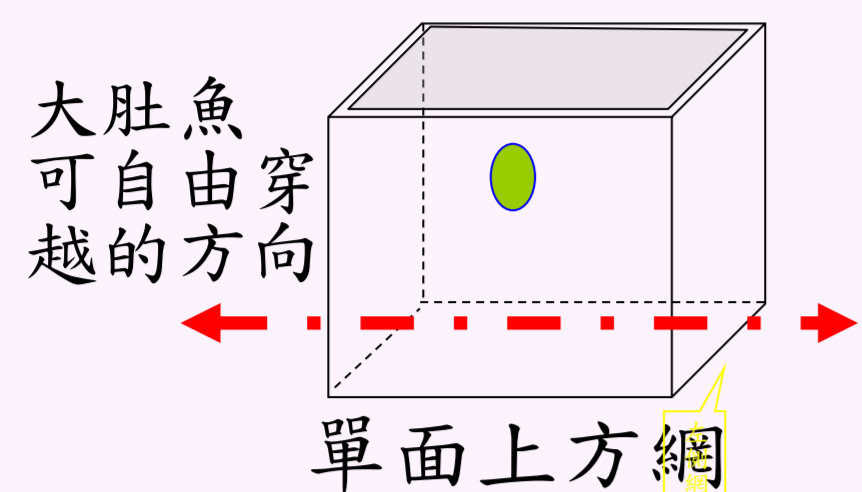


單面左側網

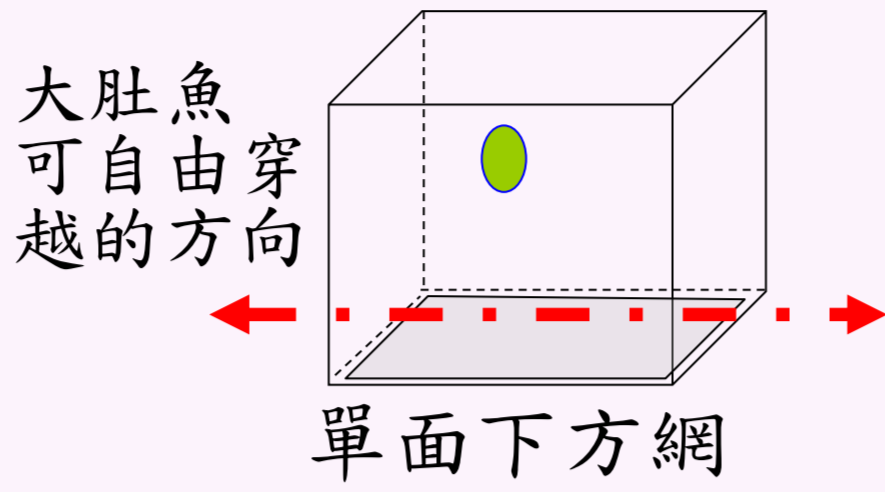


穿越立體框架的方向就剩下一個方向(如左圖)，那會不會改變了 α 值分析圖？
 α 值下降較為趨緩，且發生魚群開始群體覓食的時間增加一倍以上。

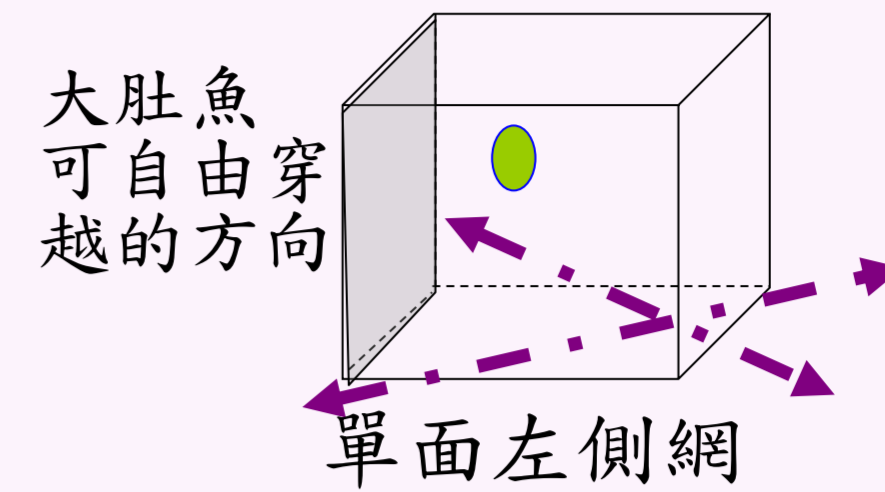
魚群通過立體框架的難易程度是影響魚群發生覓食行為的主因之一



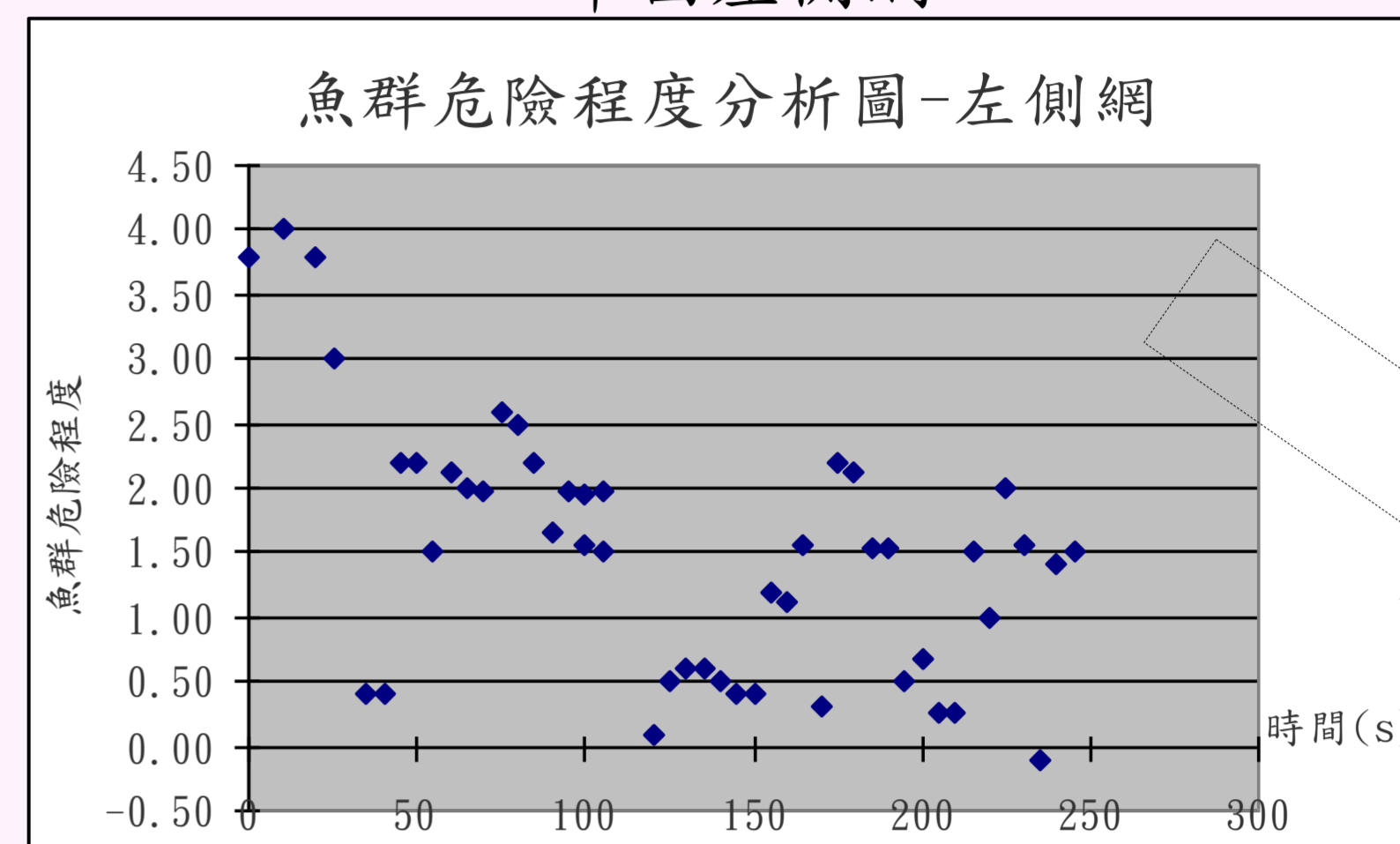
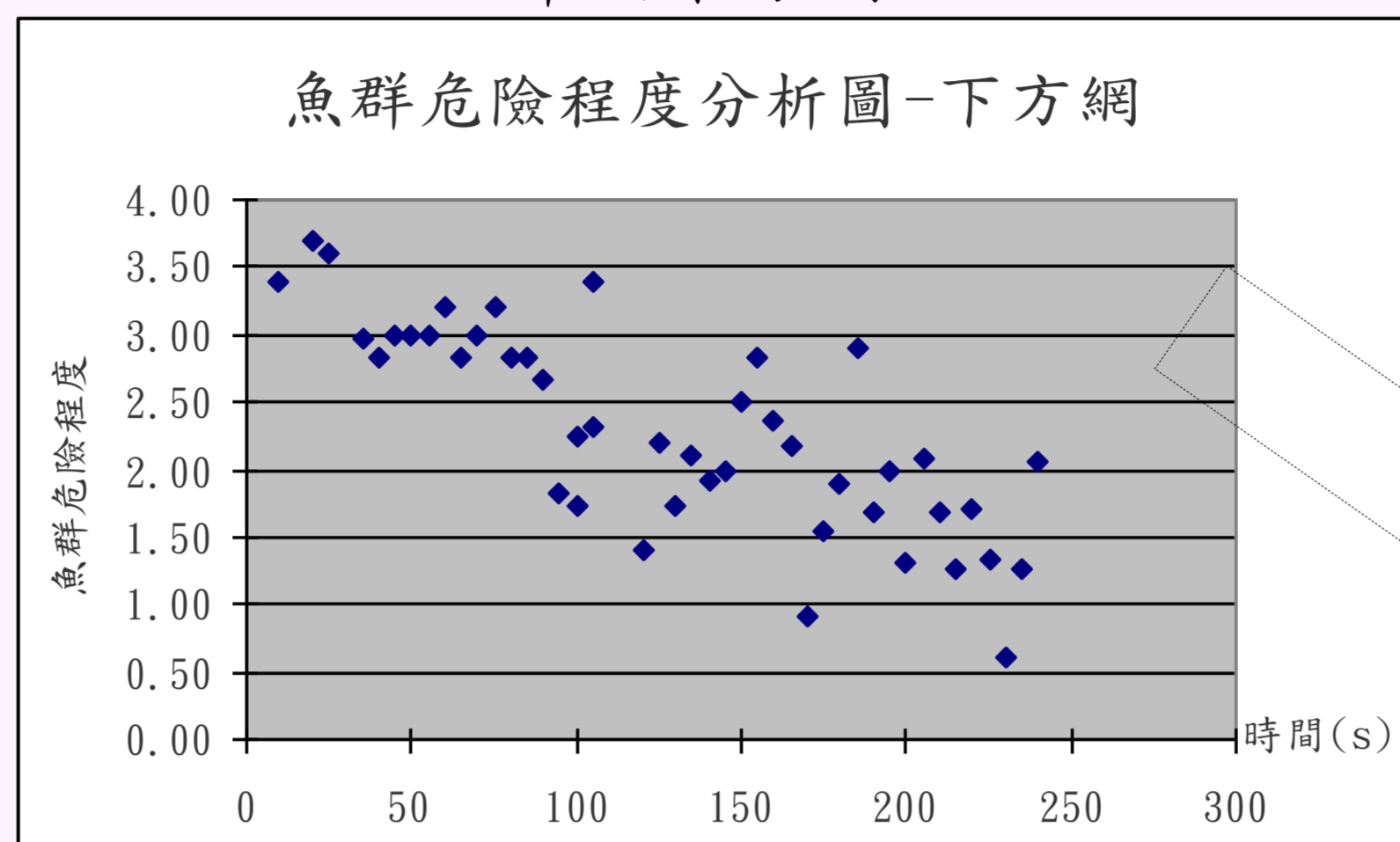
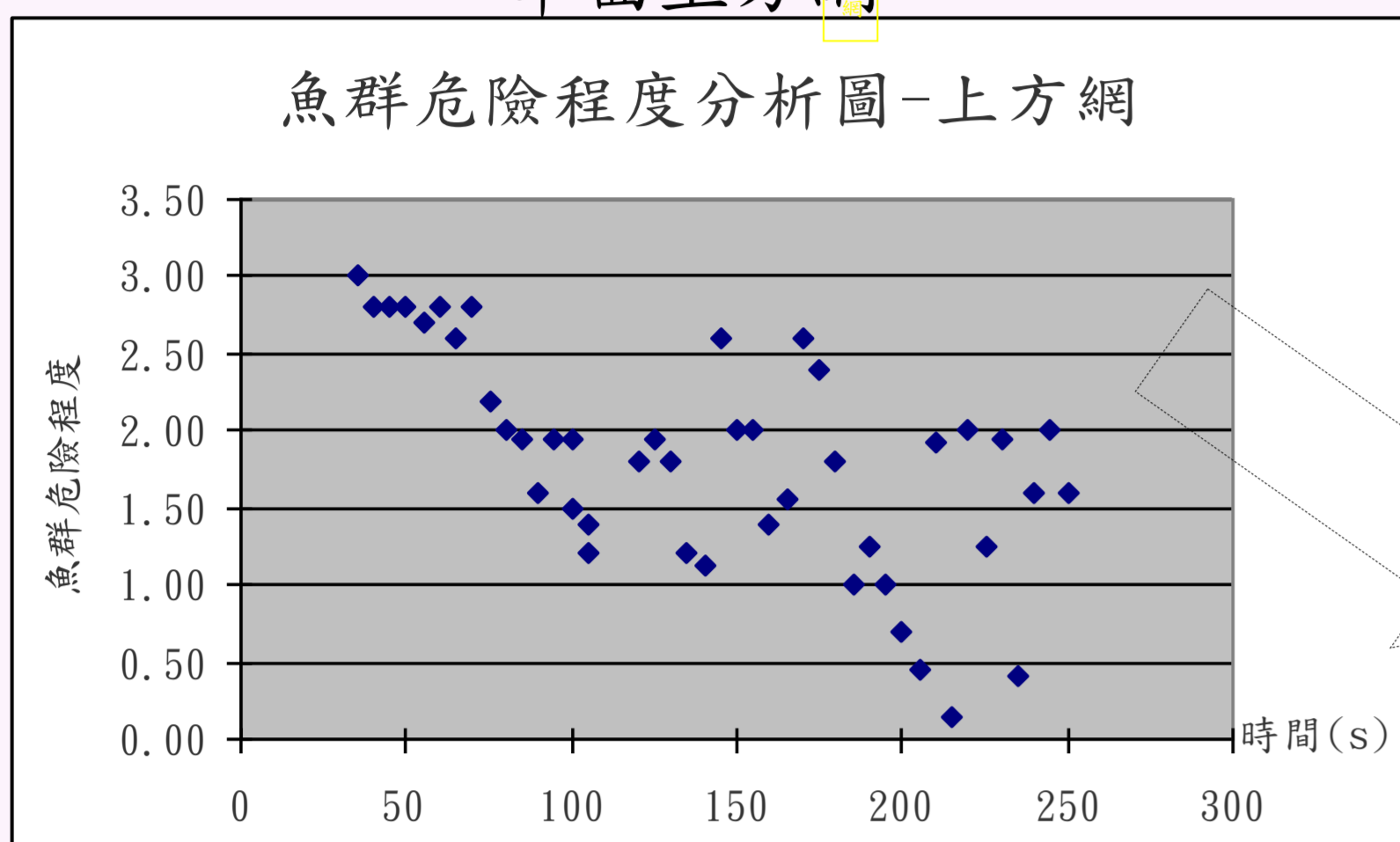
單面上方網



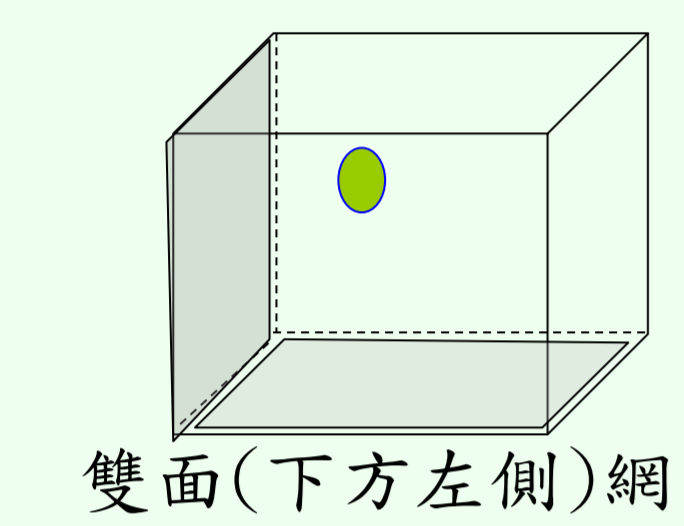
單面下方網



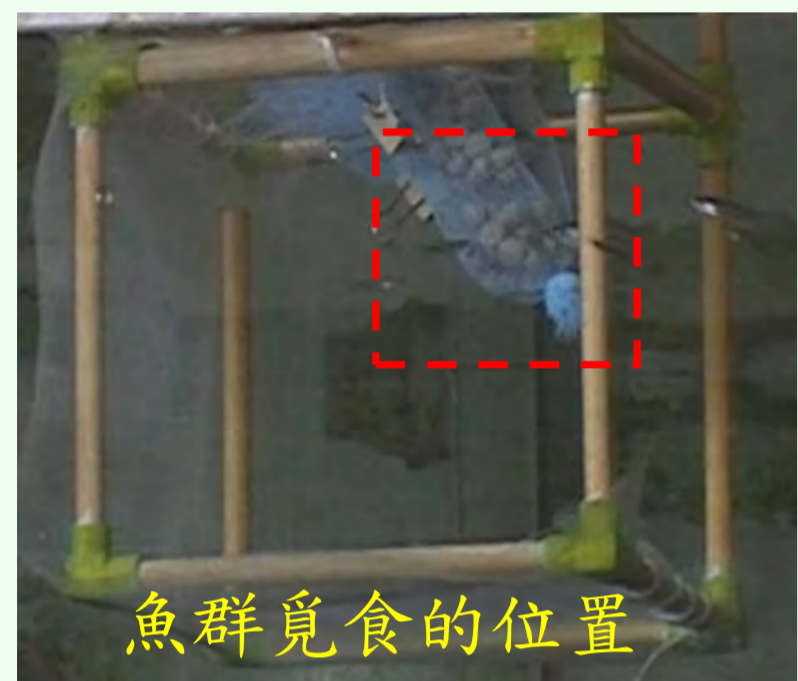
單面左側網



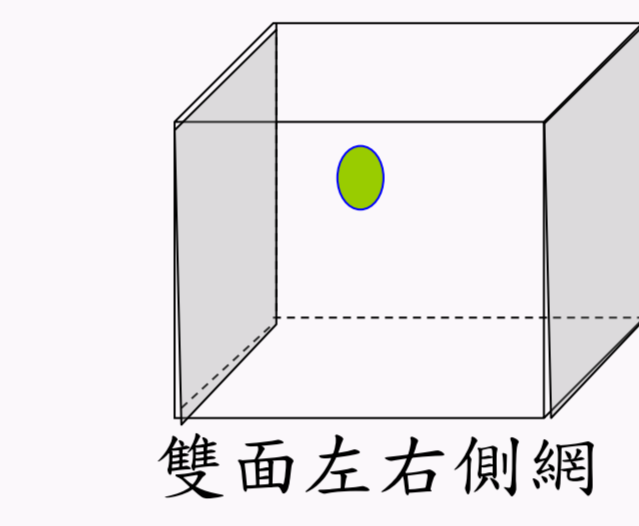
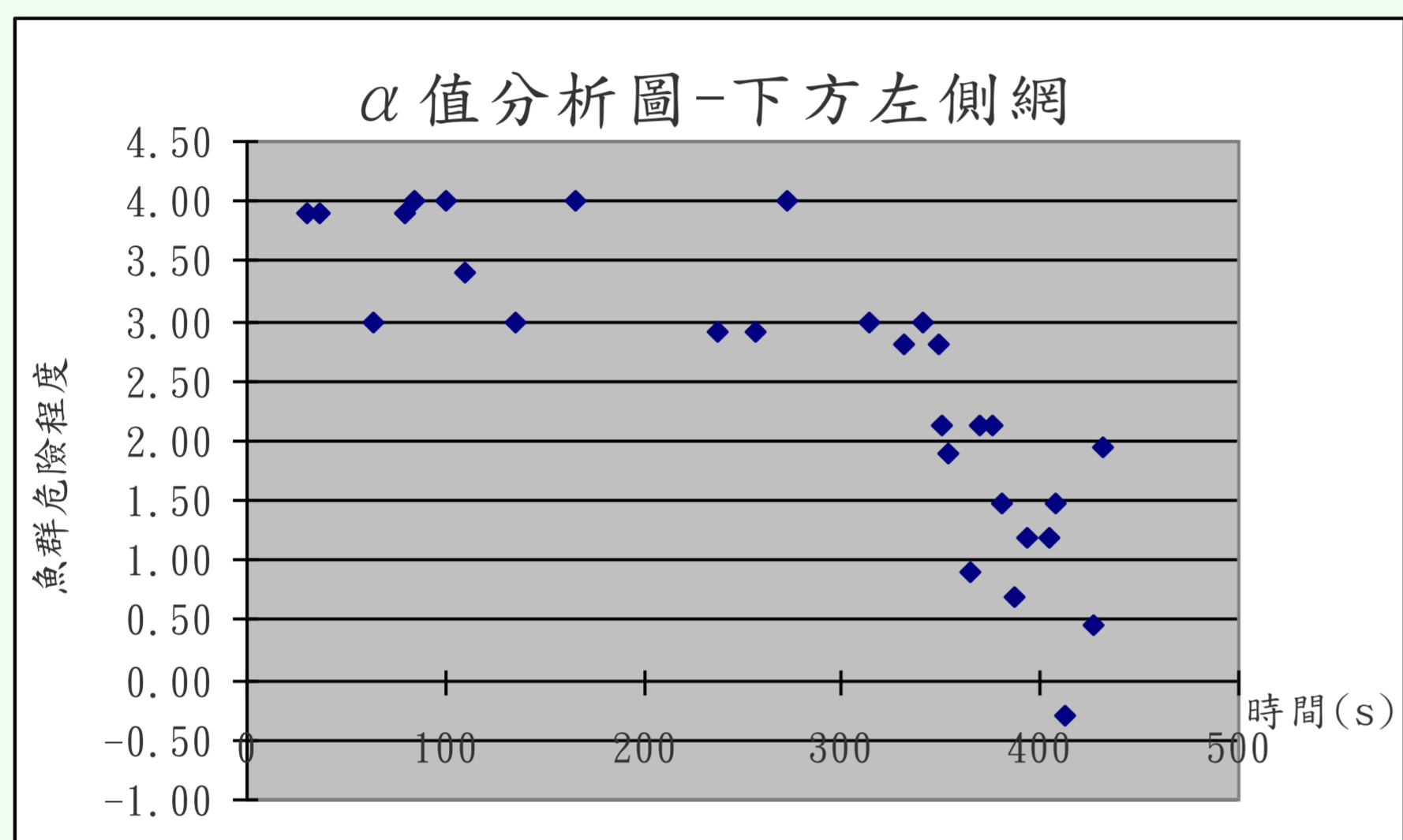
實驗4：雙網面框架時，群體覓食決策為何？



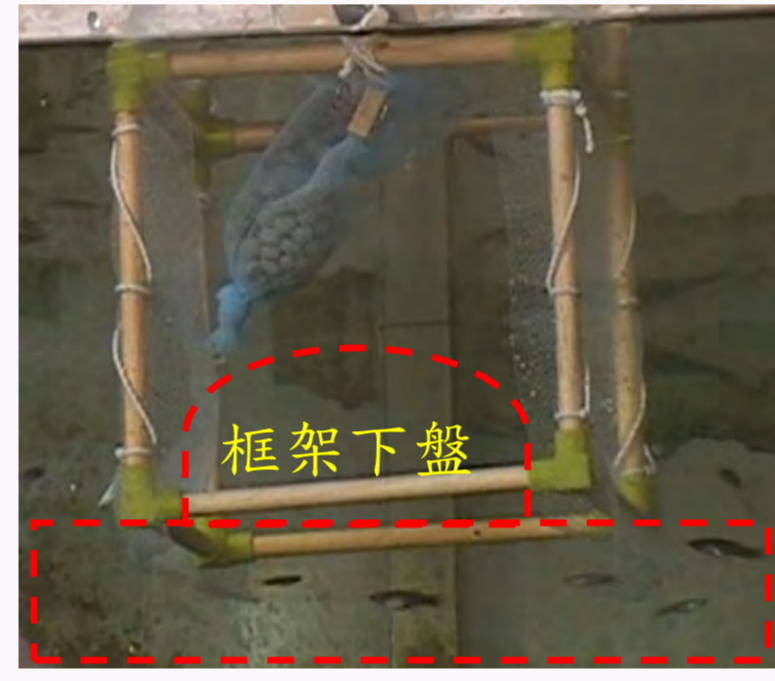
雙面(下方左側)網



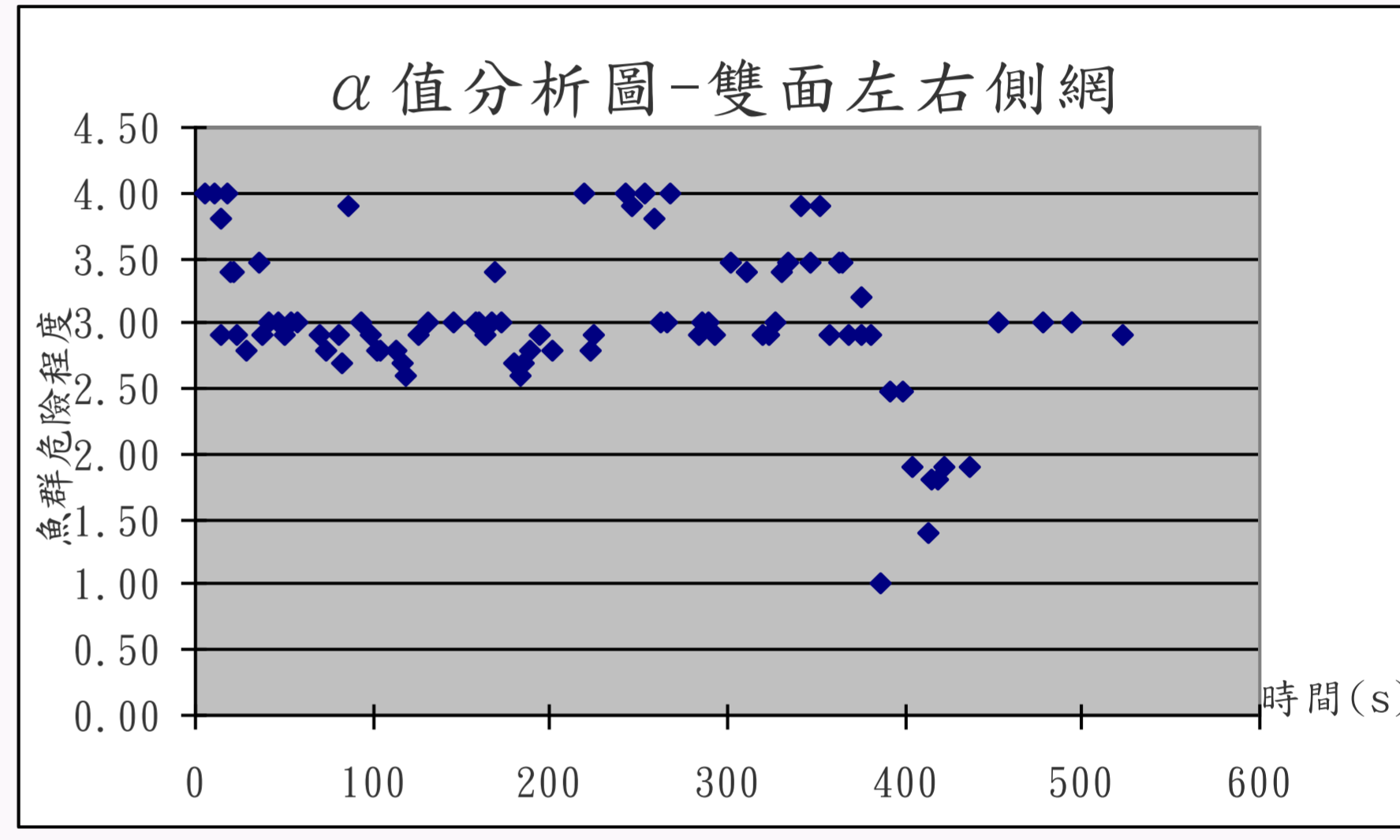
魚群覓食的位置



雙面左右側網



魚群游動的空間

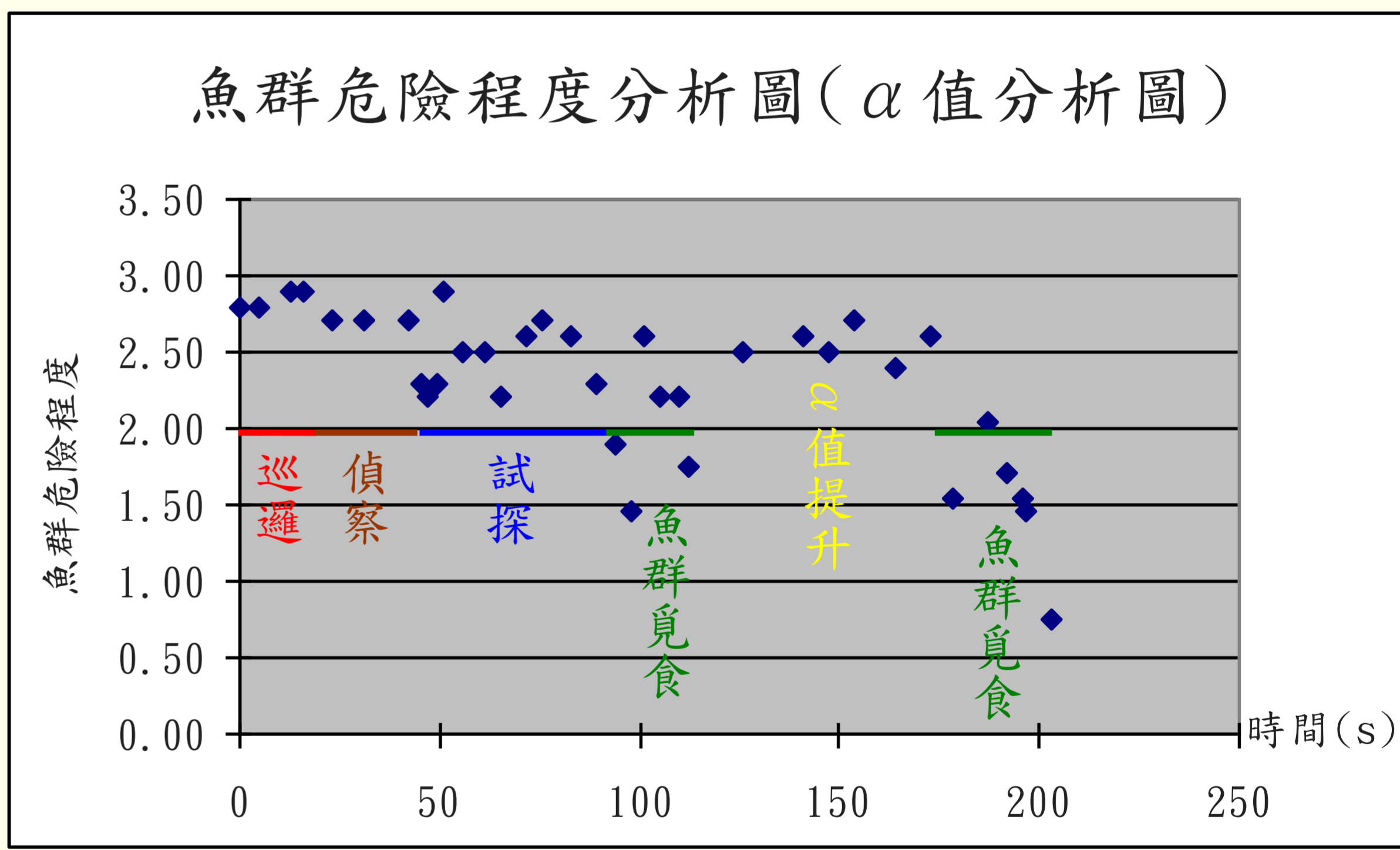


- 魚群行為就如同推論的一樣： α 值下降較為趨緩且魚群開始群體覓食的時間會增長。魚群覓食的位置會較靠框架的右側。
- 當使用雙面左右側網的立體框架時，魚群無法直接穿越到魚飼料附近。在 α 值分析圖中就保持2.5以上很久。

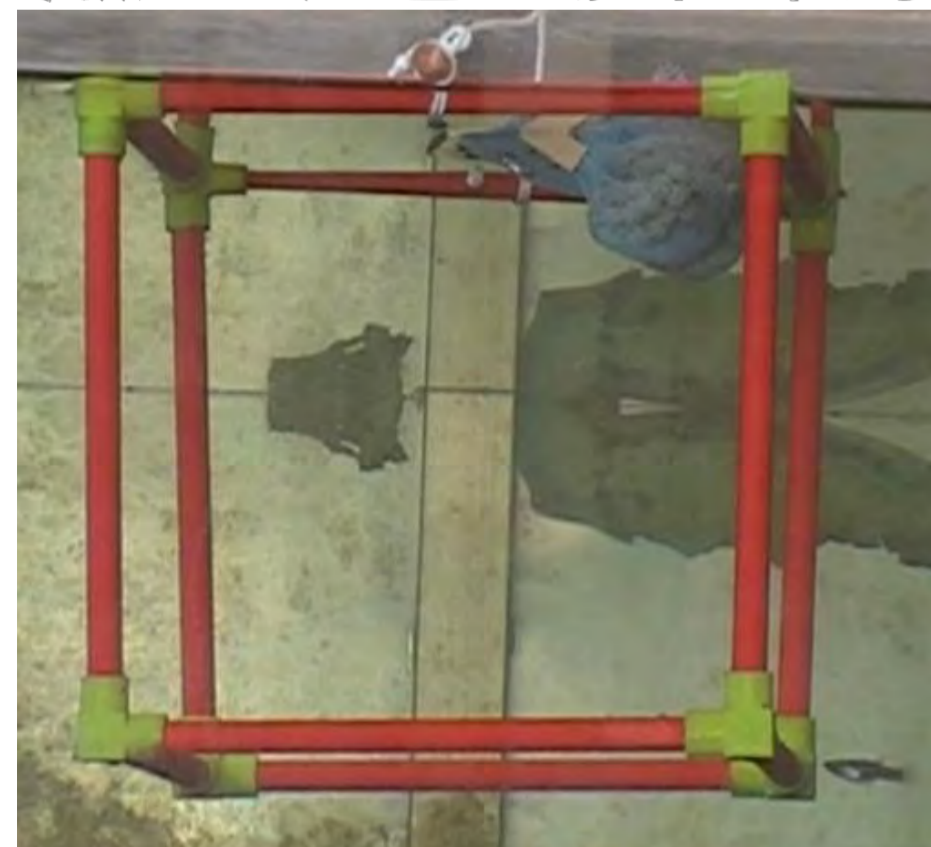
因此，依據觀察魚群行為與 α 值變化的對應關係。依序自訂分成：巡邏、偵查、試探、魚群覓食四個階段。

- 巡邏階段：**會從通過不明區域的外部周圍，感覺是否此空間有危險性。
 - 偵查階段：**會穿越不明區域的局部空間，感覺是否此空間有危險性。
 - 試探階段：**開始在空間內緩慢游動或暫停，是否有其他魚隻進行相同試探活動。若有，則開始降低對此空間的危險性。
 - 魚群覓食階段：**降低對此空間的危險性後，然後出現覓食的先驅者，進而魚群開始覓食。若有危險性提高的訊號，則重複上述階段。
- 每階段的劃分及時間有時不會很明顯，但 α 值(魚群危險程度)降低時才會有魚群覓食的行為是確定的。

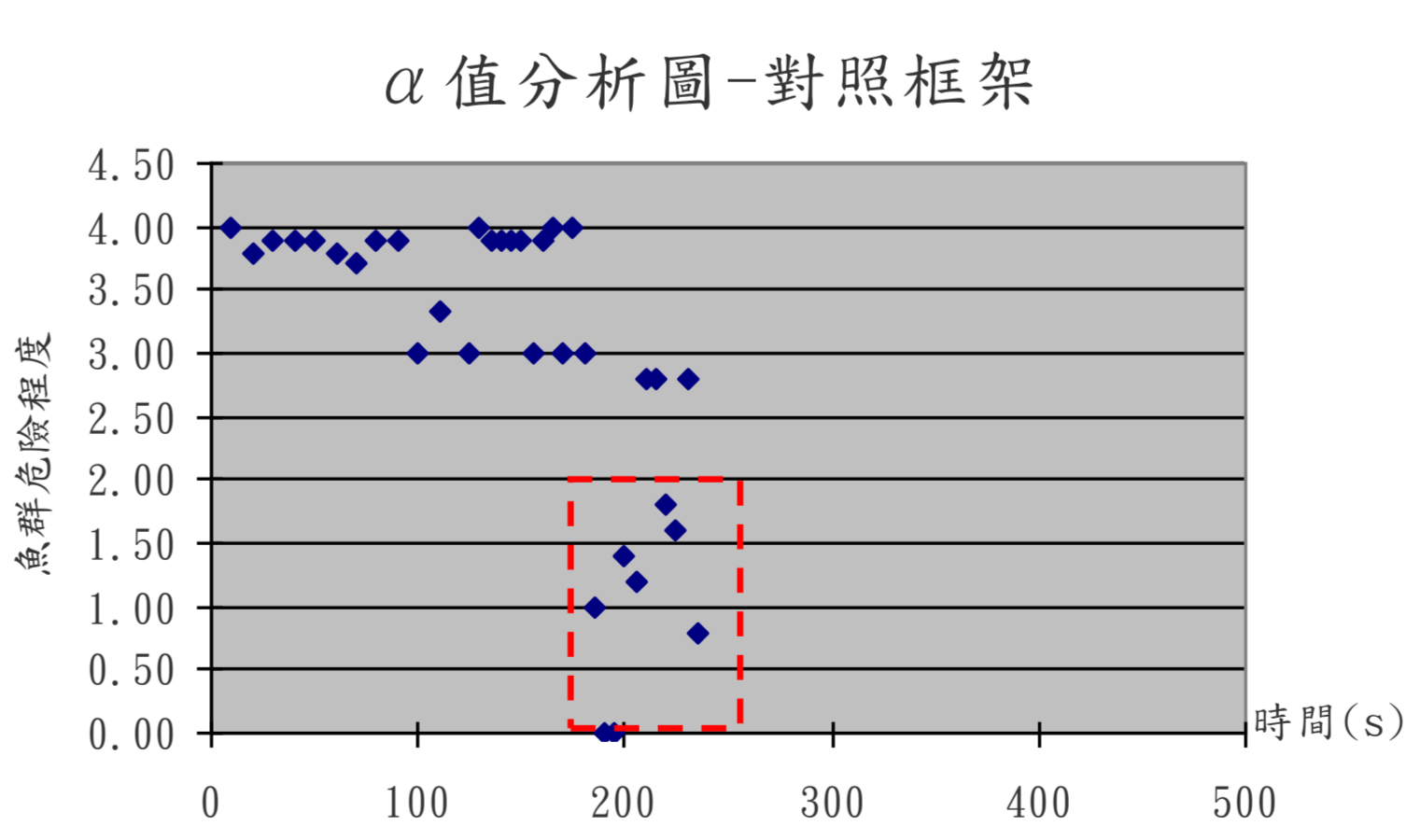
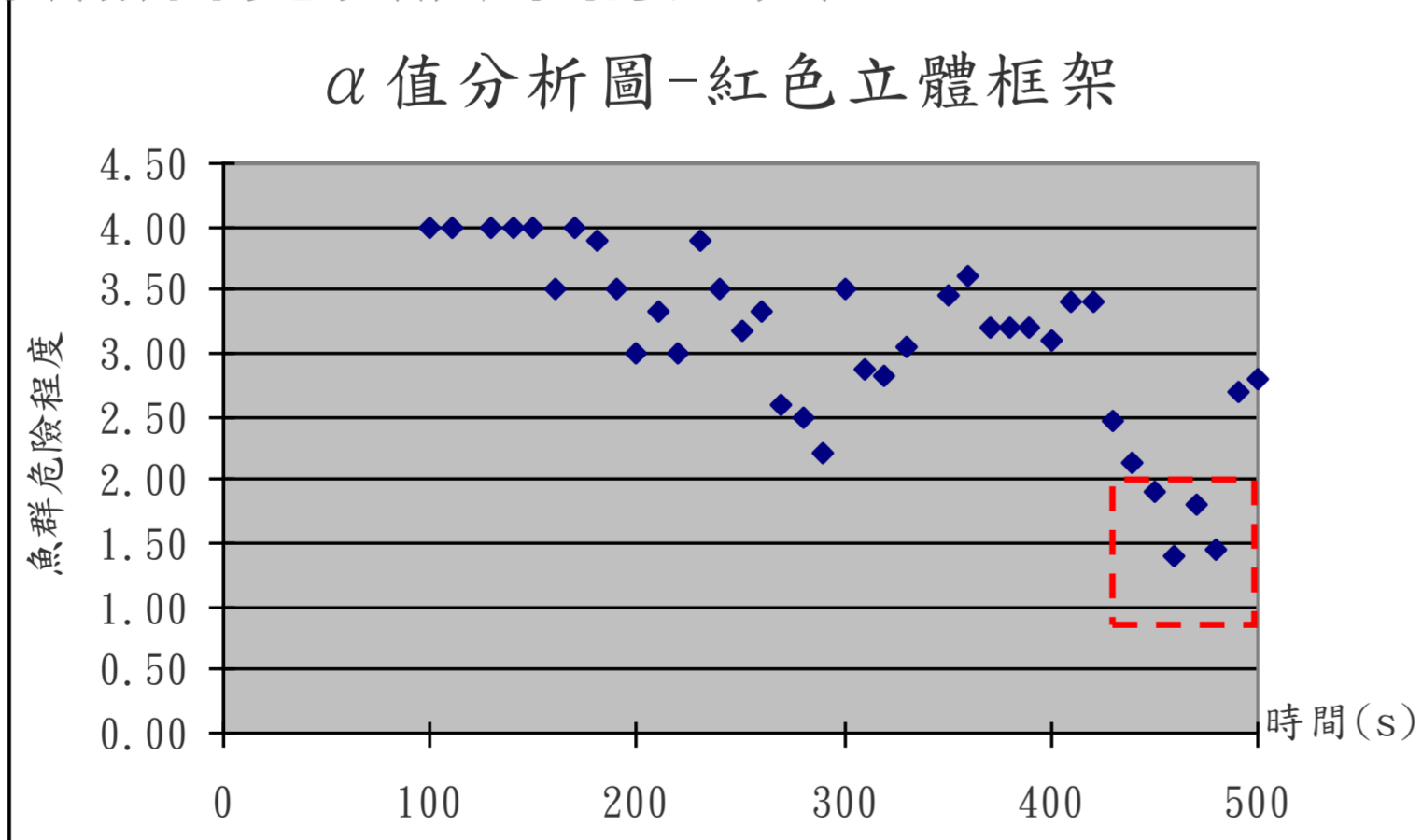
分階段了解後，得到結論是：有適當的穿越途徑，才能歷經上述前三階段。之後大肚魚才能降低空間的危險程度，進而發生魚群覓食的行為。而嗅覺與視覺屬於感覺，而非魚群覓食決定性條件(需經歷四階段)。



實驗5：紅色立體框架對於魚群覓食決策的差異



紅色立體框架



- 討論：
- 在相同時間內，對照框架已出現魚群覓食的行為(200秒左右)而紅色立體框架未出現。所以，大肚魚會將“整個紅色框架”視為的高危險警戒狀態的空間。

實驗6：當有與其他魚種(珠鱗)時的空間因素

- 有飼料袋的立體框架：



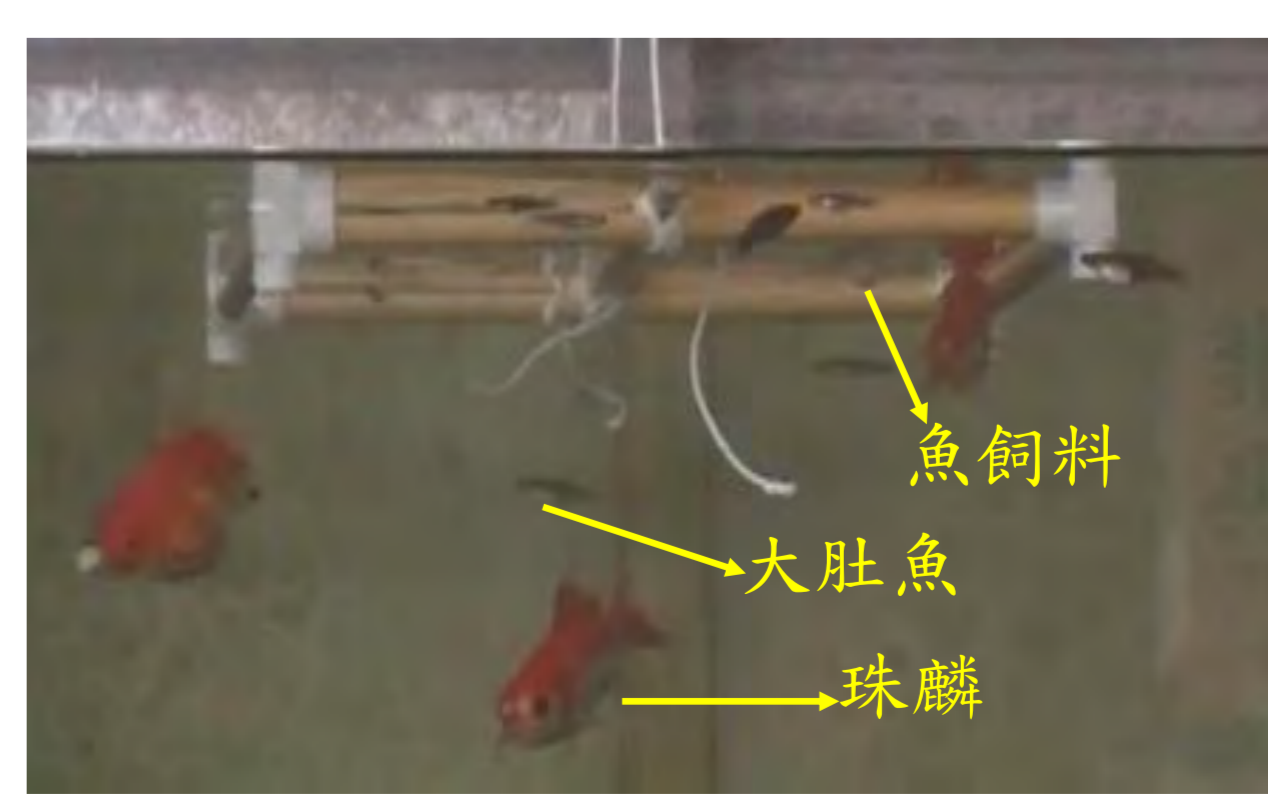
說明：
觀察到只有珠鱗吃魚飼料。大肚魚只是通過立體框架。

- 有飼料袋的木棍平面：



說明：
觀察到只有珠鱗吃魚飼料。大肚魚只是在周圍游動且未進食。特別是珠鱗啄食魚飼料時，造成木棍平面的震動，大肚魚魚群會游開。

- 僅木棍平面時：



說明：
觀察到大肚魚及珠鱗兩魚群相互搶食木棍平面內的魚飼料。

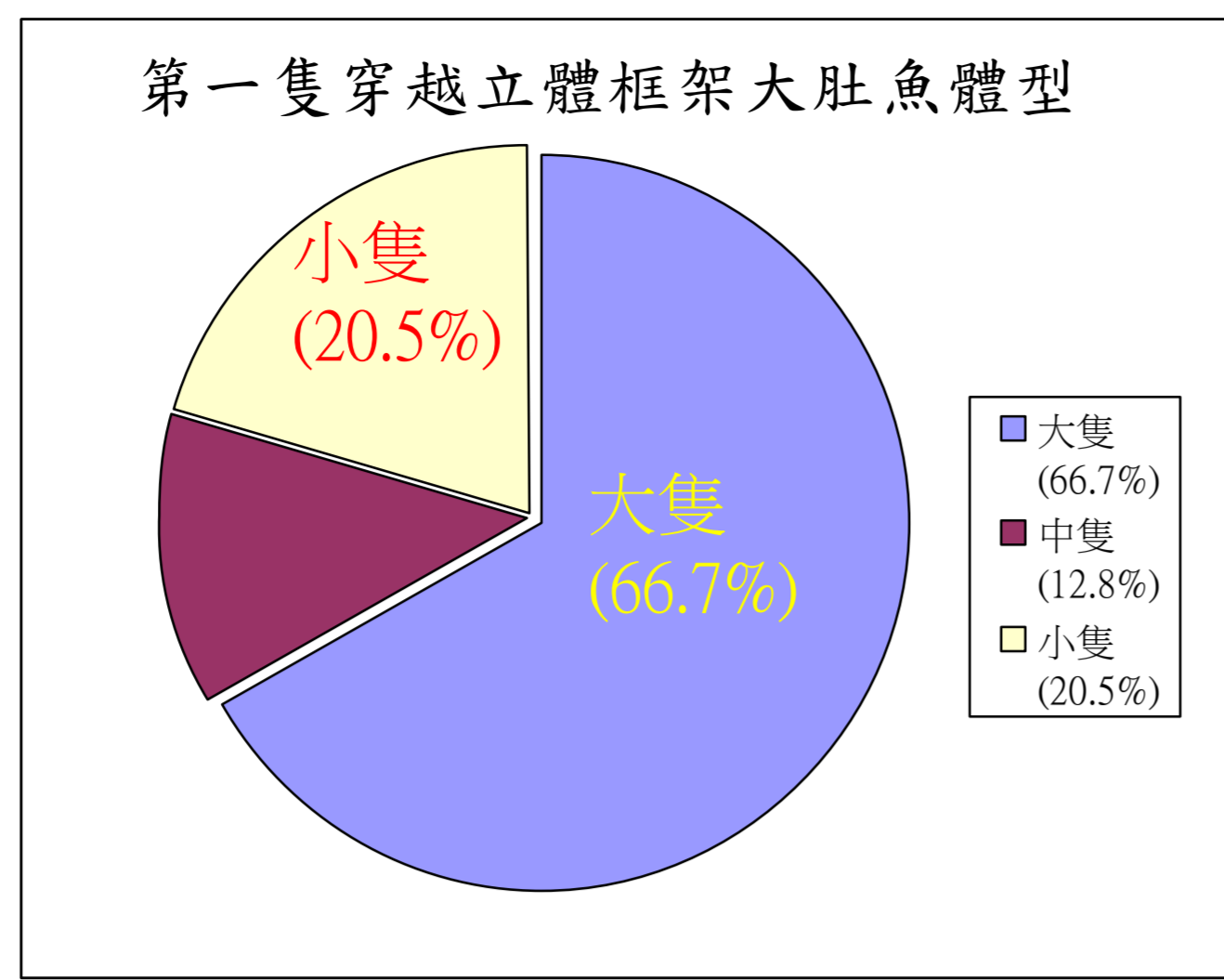
討論：

- 觀察大肚魚雖通過立體框架，但未進食。
- 當珠鱗進食會牽動木棍平面震動，此時大肚魚魚群皆未進食。
- 珠鱗雖是紅色且身體是大肚魚的數倍，依然會一同搶食魚飼料。推論出不正常的震動立體框架會使大肚魚認為整個立體空間是有危險的。

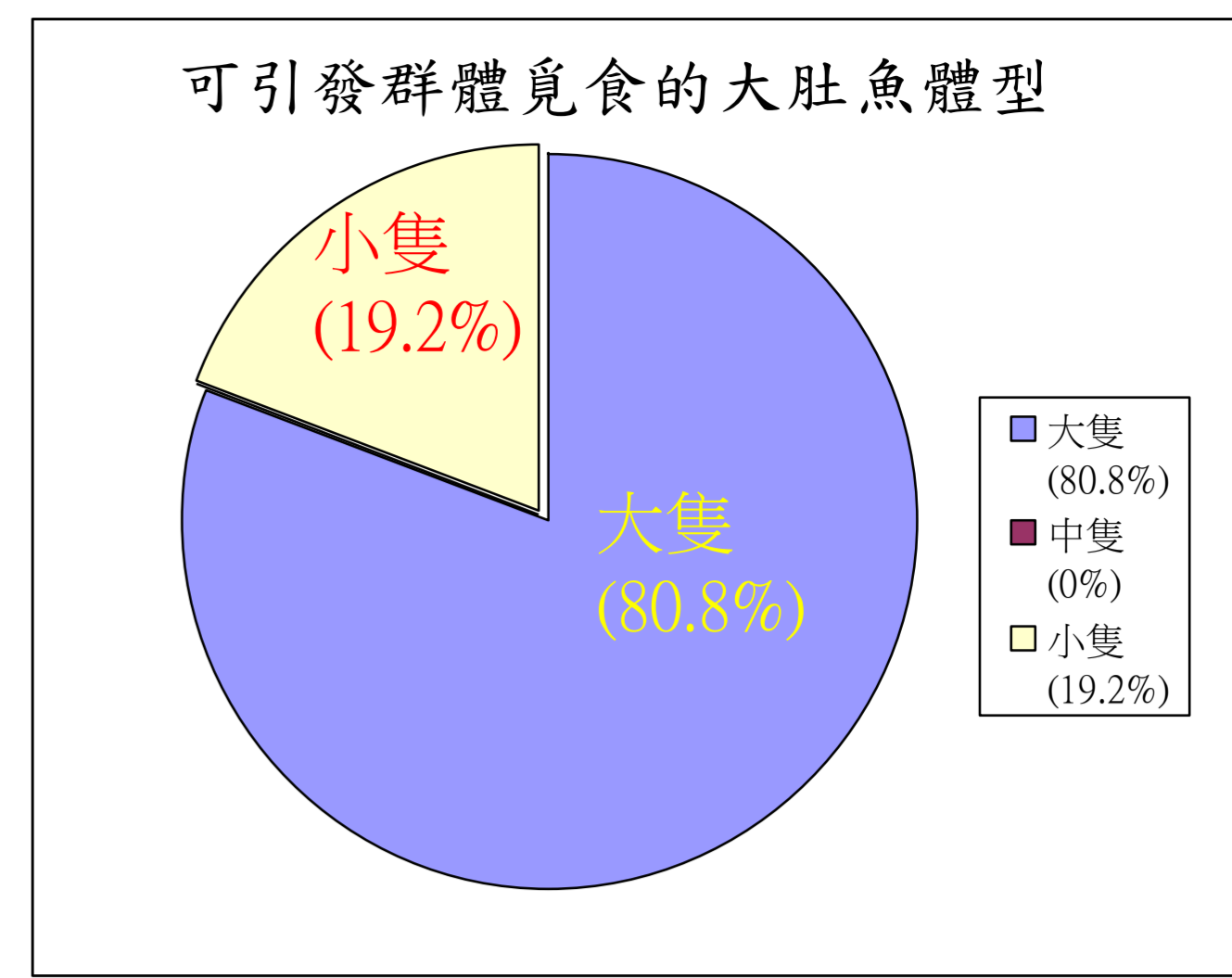
實驗7：誰先擔任魚群覓食的警戒任務 在研究中分成巡邏、偵查、試探、魚群覓食四個階段來說明大肚魚群覓食的決策過程，仍須要進一步說明的是“誰(哪些魚)擔任這些任務？”，“擔任這些任務的魚有何特徵？”

結果：1. 第一隻穿越立體框架的大肚魚體型： 結果：2. 可引發群體覓食的大肚魚體型：

大肚魚的體型	大隻	中隻	小隻
次數	26	5	8
百分比(%)	66.7	12.8	20.5



大肚魚的體型	大隻	中隻	小隻
次數	21	0	5
百分比(%)	80.8	0	19.2



討論：

- 從兩種比例上得知，經歷偵查、試探、魚群覓食三階段，皆以具有領袖特徵的大肚魚所佔的比率高。此結果與文獻上的結果相同。但我們不必先讓魚群飢餓72hr，也可以測出相同的結果，這是和文獻不同的。
- 哨兵任務應是由具有領袖特徵的大肚魚來帶領魚群共同執行的。

實驗8：尋找魚群覓食的訊息傳遞 說明：在魚群的警戒行為中是以什麼來傳遞覓食的訊息。那麼訊息有正向覓食訊息(引來更多魚群覓食)及負向覓食訊息(停止或減緩魚群覓食)之分嗎？若能觀察並記錄到這兩種不同的訊息傳遞，這實在太有趣也太重要了。



圖8-1 單顆 vs 一包 魚飼料

為了確認是肢體語言會透過視覺傳遞訊息，又設計實驗如下：準備兩個立體框架，左側是飼料袋，而右側是十顆魚飼料。



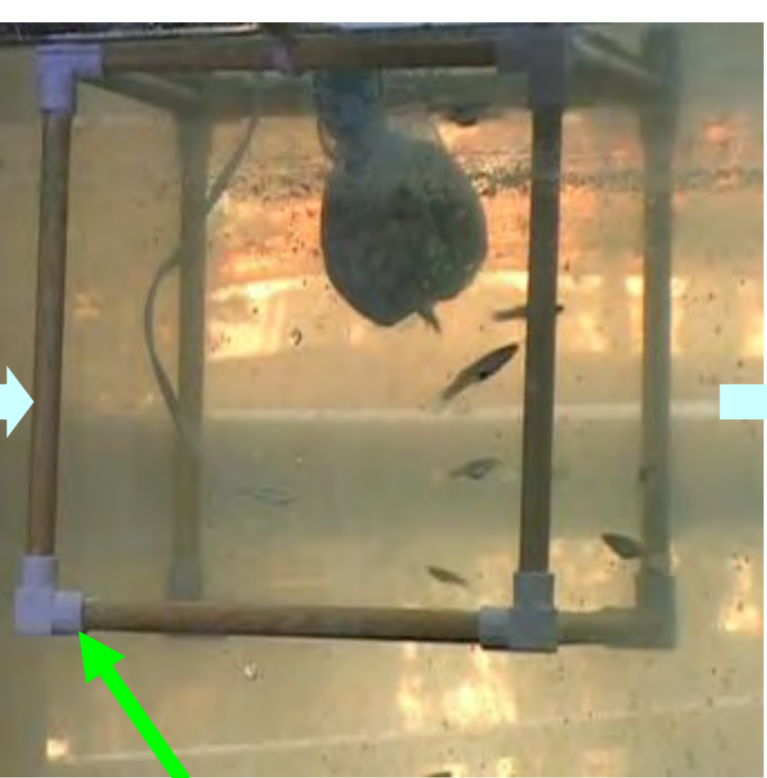
圖8-2 照射強光在覓食魚群



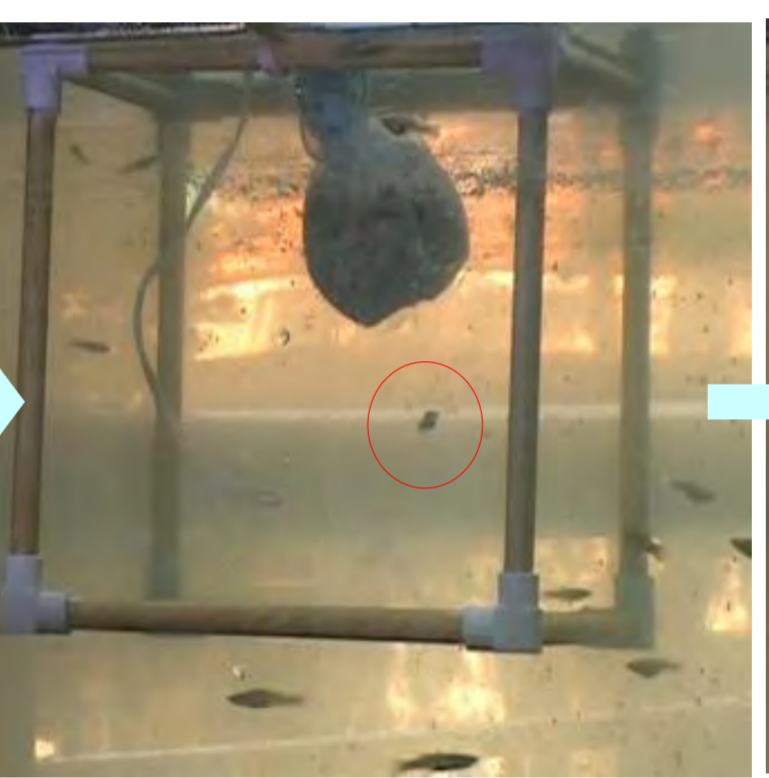
圖9-3 實驗開始2分鐘時



未照光的覓食魚群-1



開始照射閃爍強光-2



魚群往下移動-3



飼料袋周圍沒有魚群-4

實驗9：發展雙框法用來探討魚群覓食的行為

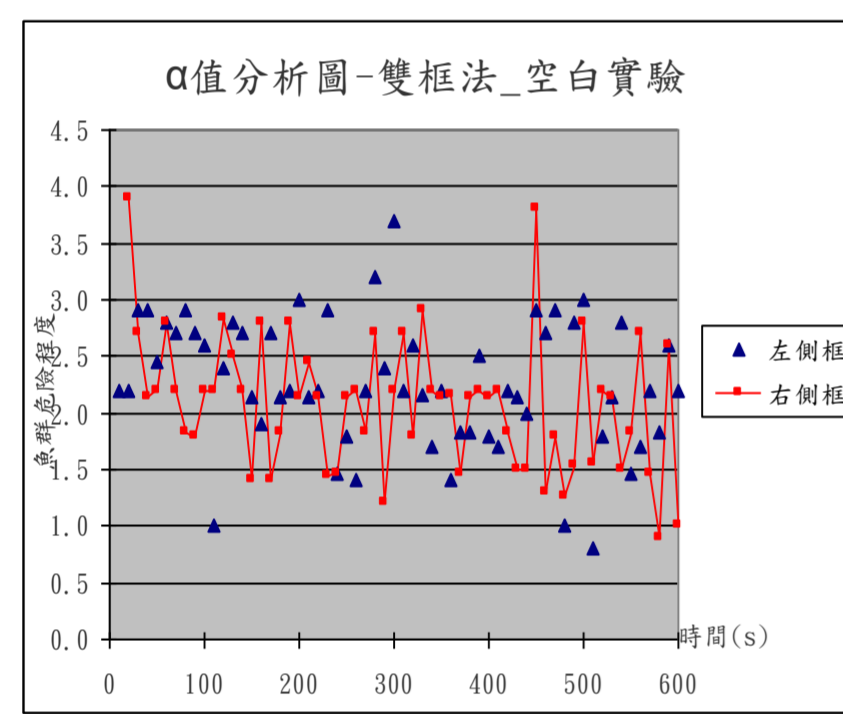


圖9-2 雙框- α 值分析圖

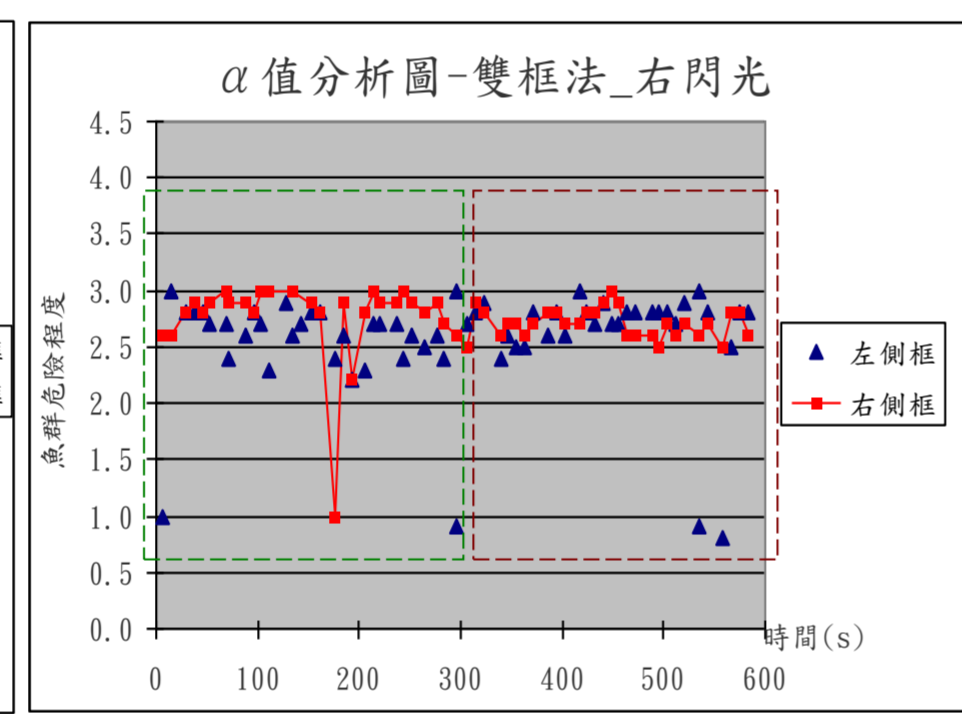


圖9-3 雙框- α 值分析圖

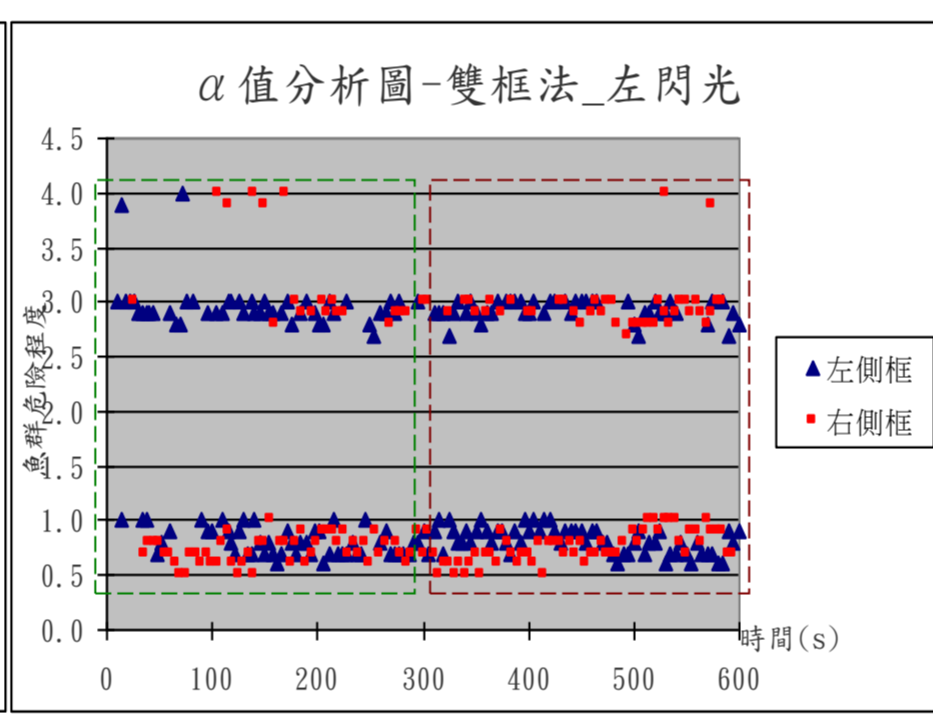


圖9-4 雙框- α 值分析圖

- 簡單說，圖中哪一側低數值的點越多，則魚群就是偏向哪一側框架覓食(藍點-左側框，紅點-右側框)。
- 為了區分使用雙框法所繪製的 α 值分析圖與之前的不同，所以就稱之為“雙框- α 值分析圖”。
- 所以，雙框法的實驗設計是可以適時反映出變因對魚群覓食的影響。

說明：提出了將“兩個立體框架”同時投入大魚缸中，並利用閃光產生負向覓食訊息來確定“雙框法”是否可以分析魚群覓食的行為。

- 每次操作變因之前，須先做空白實驗來確定有無明確偏差後再進行實驗變因的操作。

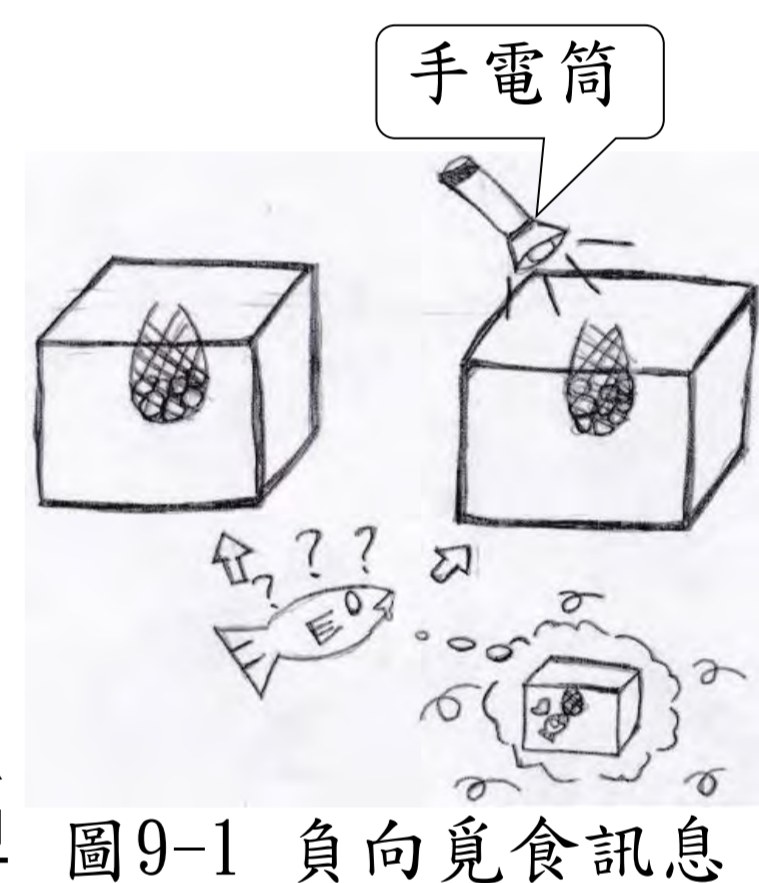


圖9-1 負向覓食訊息

實驗10：減少的嗅覺刺激是否會影響群體覓食的決策

說明：實驗9是針對視覺的探討，那嗅覺上的差異是否也會影響魚群覓食的決策呢？

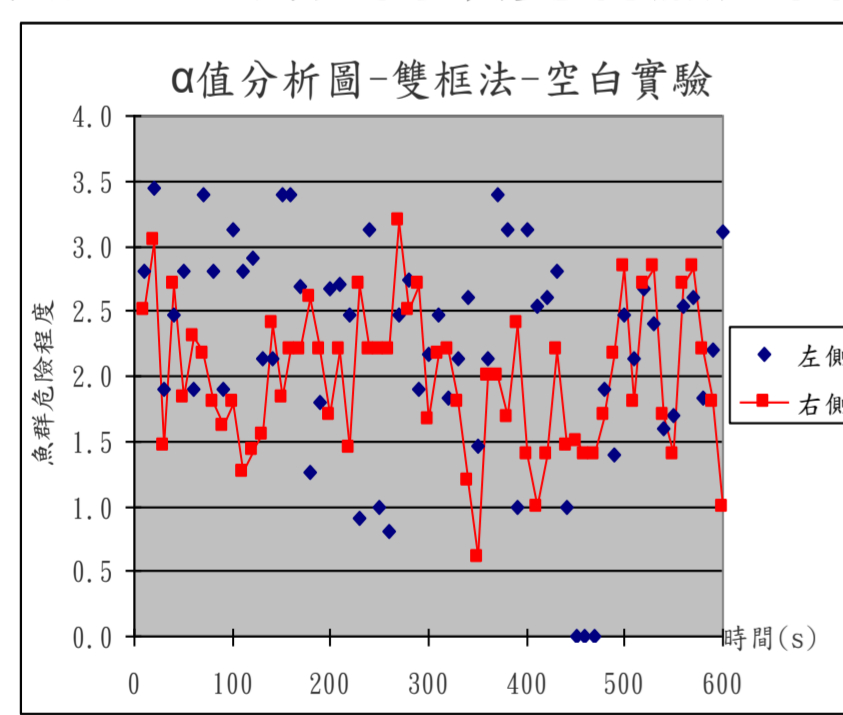


圖10-2 雙框- α 值分析圖

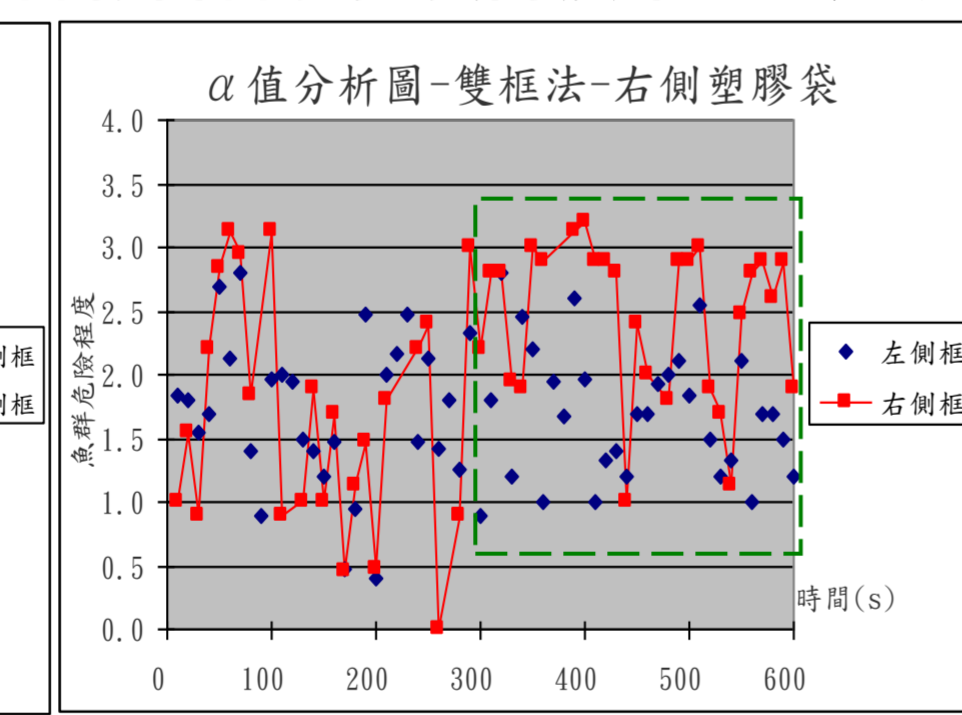


圖10-3 雙框- α 值分析圖

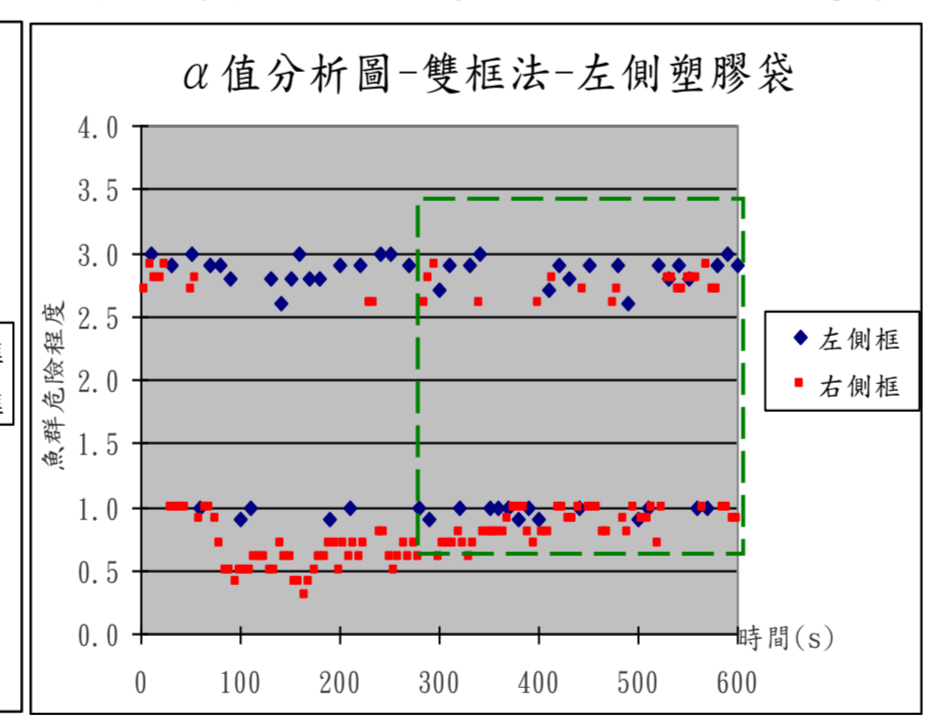


圖10-4 雙框- α 值分析圖

- 當右側飼料袋包覆透明塑膠袋時，從圖10-3得知，在左側框的 α 值分布較低(藍點分布較低-魚群偏向左側框覓食)。反之成立。所以，氣味的差異也會對魚群覓食有影響嗎？

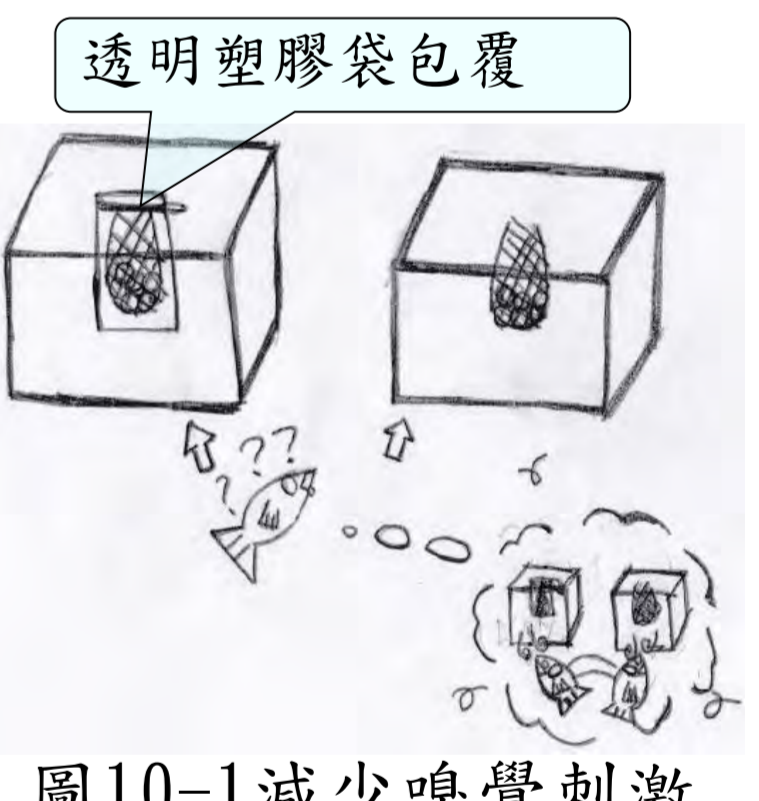


圖10-1 減少嗅覺刺激

實驗11：回饋差異是否會影響群體覓食的決策 說明：若每次吃到飼料量較少時，會改變魚群覓食行為嗎？

當右側框包覆雙層網袋時，從圖11-3得知，在左側框的 α 值分布較低；反之成立。且實驗時間越久此現象越明顯。所以，我們可以確定減少魚吃得到飼料的量是會對降低魚群覓食的機會。

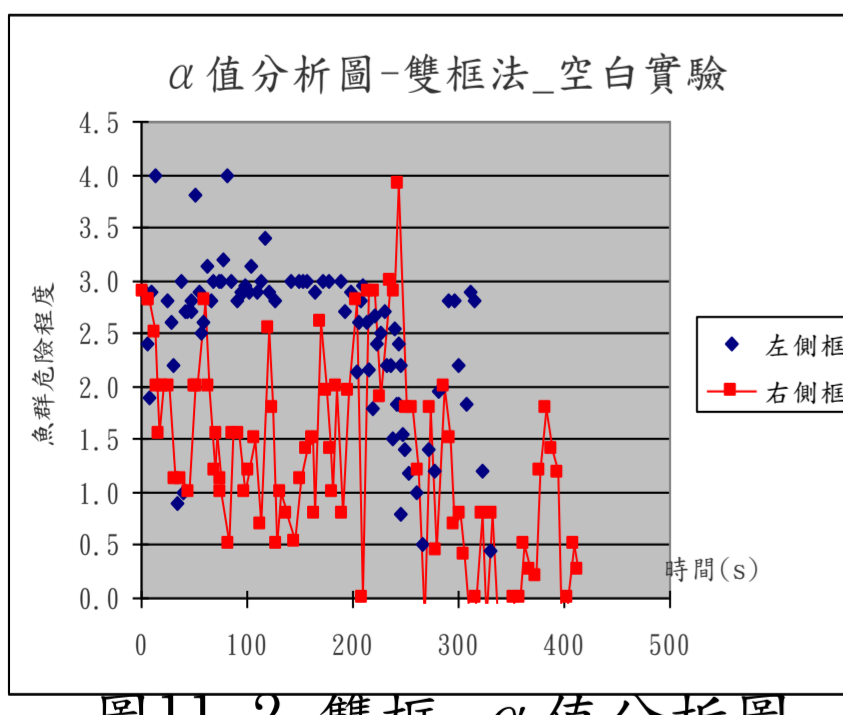


圖11-2 雙框- α 值分析圖

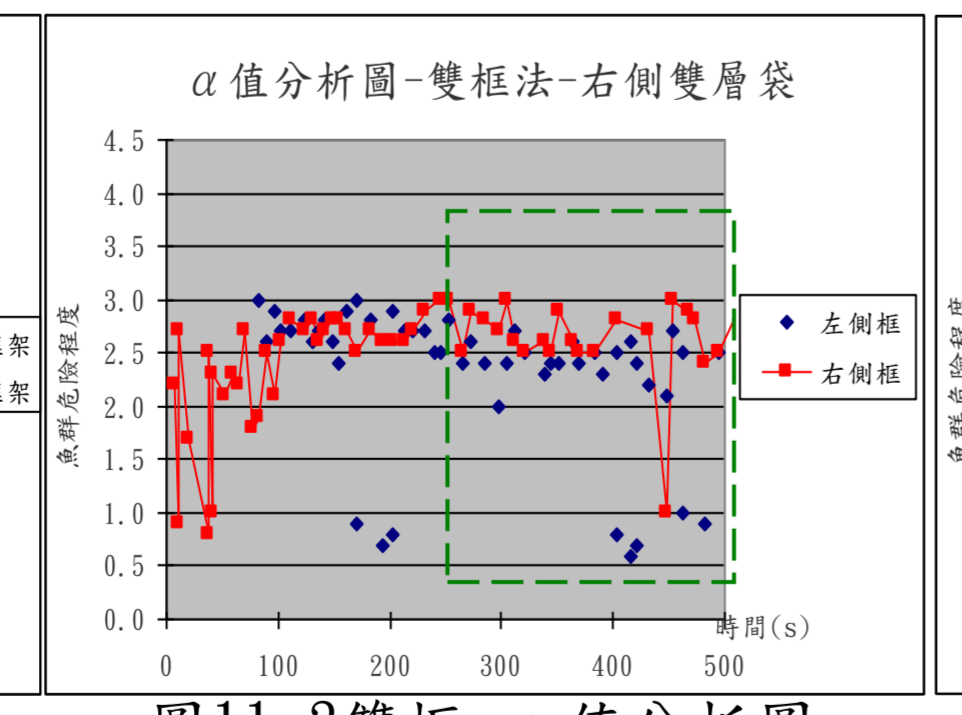


圖11-3 雙框- α 值分析圖

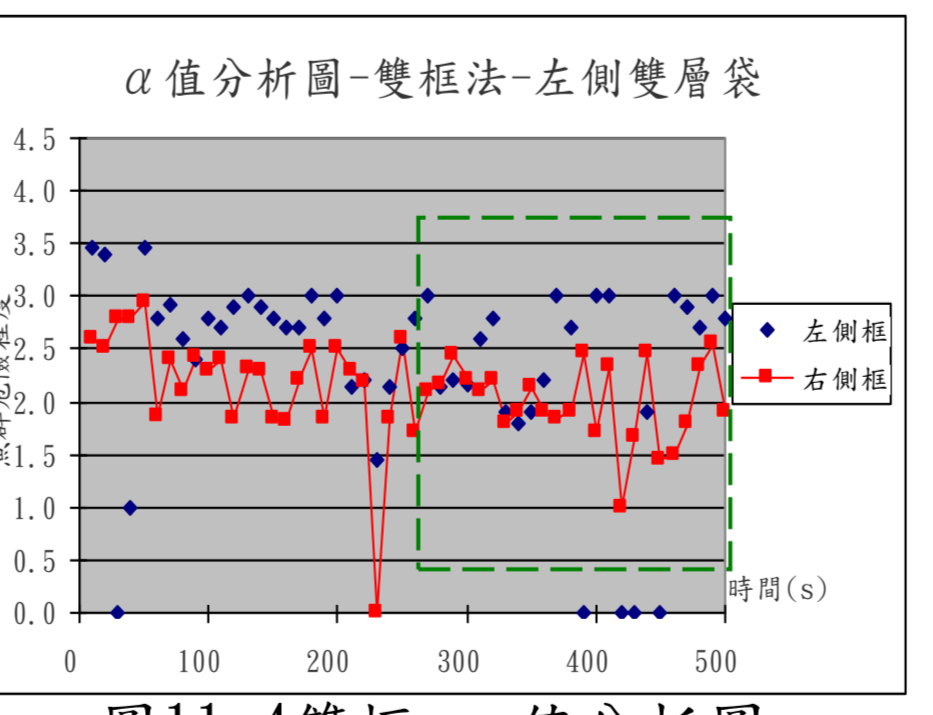


圖11-4 雙框- α 值分析圖

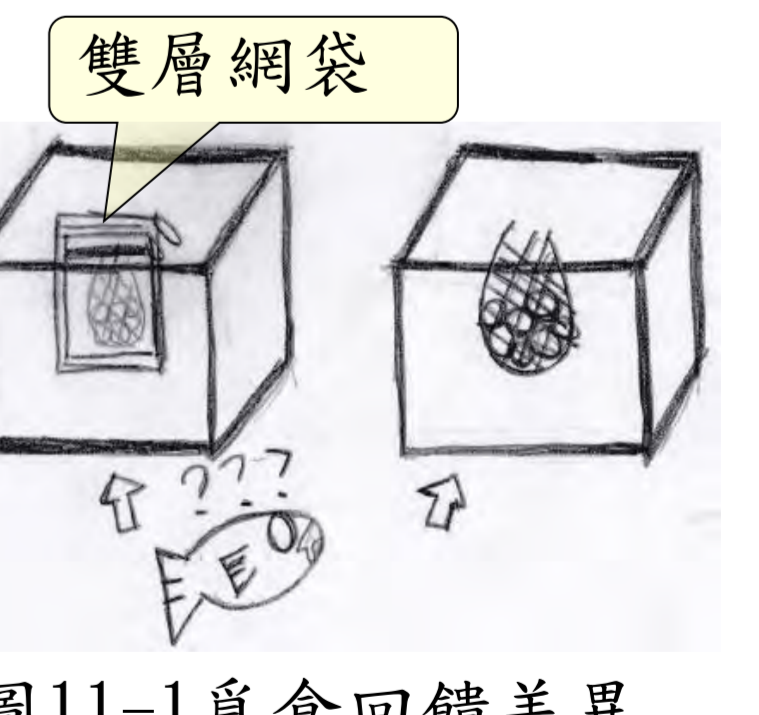


圖11-1 覓食回饋差異

因此大肚魚的群體覓食行為是具有操作制約的特性。

陸、綜合實驗討論

1. 人們常用一些數字(指數)行為來表達一些狀態、情境或行為模式，進而有客觀性的衡量及評估方式。例如：昏迷指數[2]、生物多樣性指標[3]、生物棲地指數[4]、健康行為指數(M值)[5]。我們按照相同的方式，根據魚群與立體框架的反應行為，討論出簡易的數學公式處理，用來評估魚群對立體框架的危險程度。依序進行觀察魚群、填寫行為敘述表、計算成 α 值與時間關係圖的反覆操作與微調公式。讓 α 值分析圖盡可能表示影片中魚群群體決策的行為。

2. 若將魚群數目不同就用不同顏色標明， α 值分析圖更可以區分魚群活動的事實。

柒、結論

- 大肚魚魚群會將突如其來的立體框架視為危險空間，並會進行警戒行為。此警戒任務的決策依序分成：巡邏、偵查、試探、魚群覓食四個階段。我們建立魚群在立體框架內的危險程度分析法(α 值分析圖法)，用來探討此四個階段的變化及感受空間的危險程度。
- 研究中找到魚群可用肢體行為語言來傳遞“正向”及“負向”群體覓食的訊息。
- 設計同時兩組立體框架相互對照來操作變因(雙框法)可以探討更多的魚群覓食行為的特性，最後發現魚群覓食行為是一種具有“可被操作制約性質的行為”。

捌、參考資料

- 郭東穎，中華民國第54屆中小學科學展覽會國中組生物科：生物的群聚行為與生存優勢—大肚魚的群體決策行為研究及電腦模擬。