

# 第十一屆旺宏科學獎

## 成果報告書

參賽編號：SA11-247

作品名稱：眼花撩亂－魚類群游行為

姓名：呂宛諭

關鍵字：魚群、群游行為、混淆、掠食

## 壹、研究動機

大自然的生物中有很多看似理所當然的行爲，其實蘊藏著深遠的智慧。大自然是高科技的綜合體，生物會發展出利用最大效益的方式來創造生活。好比魚類的群游行爲，幾乎一半種類的魚類被發現具有成群結隊的習性，一個巨大的魚群彷彿是一個完整的生命體；日本京都大學田野調查科學教育研究中心益田玲爾副教授也表示：「我們平常吃的魚，大多數都有成群結隊的習性，這種現象，並不是因爲魚要服從誰的命令，也不是因爲魚喜歡互相幫忙。」

對魚類來說，單獨行動跟團體行動將可能決定牠的存亡。「群游」會讓目標變得明顯，那遭到掠食者發現和攻擊的機率也將大大的增加；相對的，龐大有節奏的魚群，令觀賞者和掠食者「眼花撩亂」，個體被捕捉到的風險似乎也可能分散。這兩種行爲各有利弊，而多數魚類卻是以群游模式生存。因爲無法實際以活體做爲實驗的材料，因此藉由「模擬」的狀況，設計實驗驗證「群游」可以提高掠食者掠食的難度，並降低個體被掠食的風險。

## 貳、研究目的

以模擬實驗，探討魚群的群游行爲是否能夠提高個體存活率，以及個體單獨或群聚時，對掠食者是否能發揮混淆作用，進一步影響到掠食者捕食的成功機率。

## 參、研究材料

### 一、實驗工具

- (一) 人類 (*Homo sapiens*)
- (二) 直徑 5cm 的保麗龍球
- (三) 直徑 48cm 的圓形塑膠板
- (四) 電風扇馬達
- (五) 電源供應器 (30V, AC/DC)
- (六) BB 槍

## 肆、研究方法

### 一、製作魚類群游行為模擬器（圖一）

利用圓形塑膠板及電風扇馬達製作魚類群游行為模擬器，以模擬魚群在水中的聚集和活動的情況，製作過程如下：

- 甲、將電風扇裡的馬達接上電源供應器備用。
- 乙、將圓形塑膠板圓心，固定在電風扇馬達上的轉軸並平衡。
- 丙、參考文獻資料，魚群個體間距約為體長 1.5 倍。此次實驗以保麗龍球模擬為獵物，考量圓形塑膠板周長及保麗龍尺寸，故在圓形塑膠板邊緣上標記八個距離相同的點。
- 丁、將保麗龍球以膠帶黏貼在圓形塑膠板周圍各個點上。
- 戊、打開電源確保圓形塑膠盤及保麗龍球運作順利。
- 己、設定轉速，約  $1.07\text{m/s}$ ，大約等同  $3.38\text{km/hr}$ ；接近魚群在水中游泳時的速度。
- 庚、設定 BB 槍口（獵食構造）與保麗龍球（獵物）間的距離為  $1\text{m}$ 。



圖一：魚類群游行為模擬器

## 二、實驗流程

(一) 每一個受測者（模擬掠食者）皆須經歷四個關卡。

(二) 關卡的順序以兩種方式分開討論：

甲、各關卡保麗龍球數量設定依序如下：

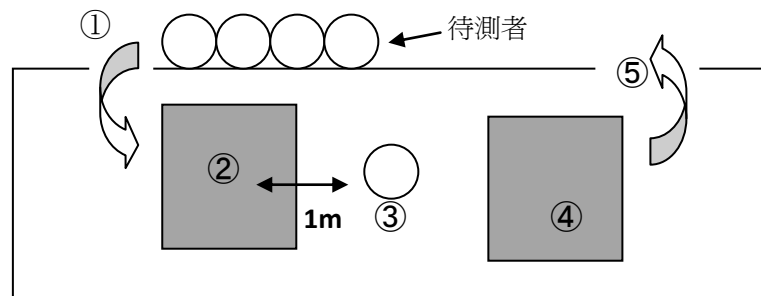
由 2 個 → 1 個 → 8 個 → 4 個。

乙、各關卡保麗龍球數量（1 個／2 個／4 個／8 個）由亂數表隨機排序。

(三) 跑關規則：

- 每個班級以亂數表抽取五人，並固定其受測順序。
- 正式受測前，每人皆有練習打擊的機會。確保受測者有擊中獵物的能力。
- 各關卡五個人依照順序進入。為避免連續打擊造成受測者有疲勞之狀況。
- 各關每人有三次攻擊機會。
- 每次一人進入實驗場地，其餘四人在實驗場地外待命，嚴禁交談以免互相影響。
- 每人於各關卡攻擊結束後，以問卷形式記錄其是否在該關卡有被混淆的情形。

(四) 場地示意圖：



①等候區及入口②魚群探測器③受測者攻擊位置④問卷調查區⑤出口

(五) 正式受測情形：



三、數據蒐集與分析

(一) 數據蒐集

1. 將受測者在各關成功擊中獵物的次數記錄於表格之中。
2. 以問卷調查並記錄受測者是否在該關卡有被混淆。

問卷格式

數量	高一	男/女
與練習時相比，數量的改變對你是否產生影響？ <input type="checkbox"/> 是，被混淆 <input type="checkbox"/> 是，目標更清楚 <input type="checkbox"/> 否		
與上一關相比，數量的改變對你是否產生影響？ <input type="checkbox"/> 是，被混淆 <input type="checkbox"/> 是，目標更清楚 <input type="checkbox"/> 否		
與上一關相比，數量的改變對你是否產生影響？ <input type="checkbox"/> 是，被混淆 <input type="checkbox"/> 是，目標更清楚 <input type="checkbox"/> 否		
與上一關相比，數量的改變對你是否產生影響？ <input type="checkbox"/> 是，被混淆 <input type="checkbox"/> 是，目標更清楚 <input type="checkbox"/> 否		

(二) 數據分析

1. 統計受測者在各關成功擊中獵物的次數。
2. 分析受測者被混淆及沒被混淆的成功擊中率。
3. 分析獵物個體被捕食的機率。

## 伍、研究結果與討論

### 一、實驗數據

甲、各關卡保麗龍球數量設定依序由 2 個 → 1 個 → 8 個 → 4 個。

1. 將每位受測者在各關成功擊中獵物的次數整理如下表一

表一

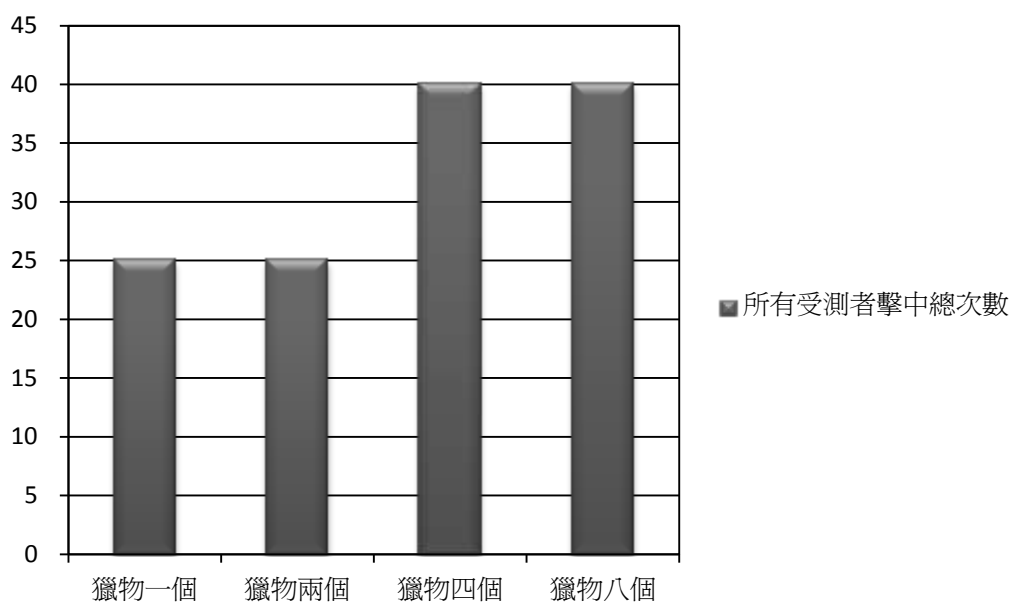
	獵物 2 個	獵物 1 個	獵物 8 個	獵物 4 個
受測者 1	0	0	0	2
受測者 2	2	1	2	1
受測者 3	0	0	1	2
受測者 4	0	1	1	1
受測者 5	0	1	0	1
受測者 6	1	0	1	1
受測者 7	0	0	2	1
受測者 8	0	0	0	1
受測者 9	2	0	1	0
受測者 10	0	0	1	0
受測者 11	0	0	0	0
受測者 12	0	0	2	1
受測者 13	0	0	0	0
受測者 14	0	2	0	1
受測者 15	0	1	0	0
受測者 16	0	0	1	0
受測者 17	1	0	2	3
受測者 18	2	1	2	1
受測者 19	2	1	0	1
受測者 20	0	0	1	0
受測者 21	0	1	1	0
受測者 22	0	1	3	3
受測者 23	2	3	2	1
受測者 24	1	2	0	0
受測者 25	0	1	1	2
受測者 26	2	3	3	3
受測者 27	1	1	0	0
受測者 28	0	0	1	2
受測者 29	2	1	2	2
受測者 30	0	0	1	2
受測者 31	0	1	1	1
受測者 32	3	1	1	2
受測者 33	1	0	1	3
受測者 34	0	0	1	0
受測者 35	0	0	2	1
受測者 36	2	2	3	1
受測者 37	1	0	0	0

(1) 將所有受測者在各關擊中的總獵物的總次數整理如下表二

表二：各關所有受測者擊中總次數

	獵物一個	獵物兩個	獵物四個	獵物八個
所有受測者擊中總次數	25	25	40	40

將表二的結果以長條圖繪製成圖二：



圖二：各關所有受測者擊中總次數

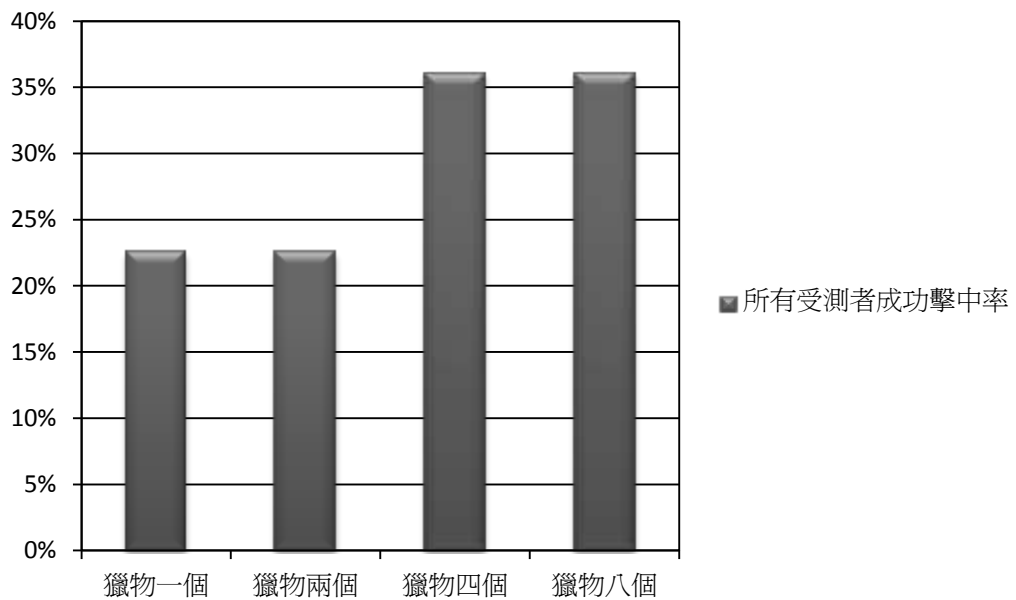
(2) 將所有受測者在各關成功擊中獵物的擊中率，整理如下表三

$$\text{擊中率} = \frac{\text{該關卡總擊中次數}}{\text{該關卡所有受測者之打擊機會}}$$

表三：所有受測者成功擊中率

	獵物一個	獵物二個	獵物四個	獵物八個
所有受測者成功擊中率	22.52%	22.52%	36.04%	36.04%

將表三的結果以長條圖繪製成圖三如下：



圖三：所有受測者成功擊中率



2. 將受測者在各關是否被混淆的情況，整理如下表四：

表四：受測者在各關是否被混淆的情況（○表被混淆 ×表沒被混淆）

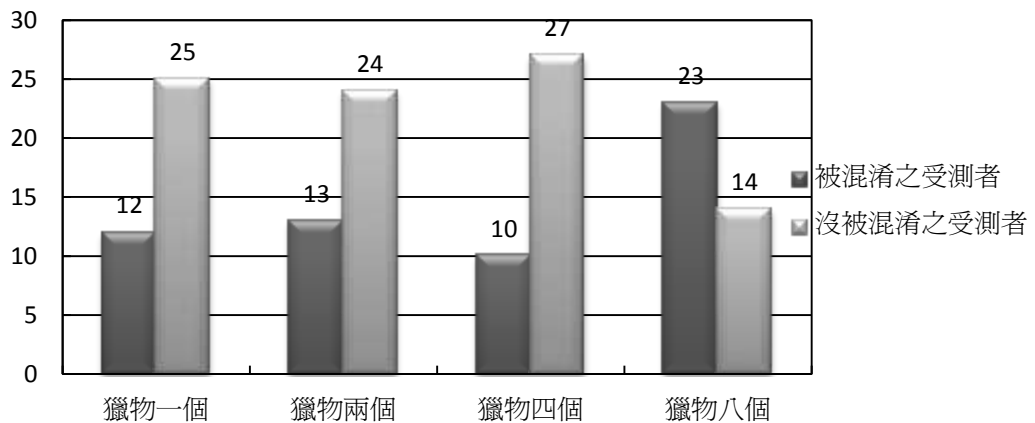
	獵物 2 個	獵物 1 個	獵物 8 個	獵物 4 個
受測者 1	○	×	○	×
受測者 2	×	○	×	×
受測者 3	×	×	○	×
受測者 4	×	×	○	×
受測者 5	○	×	○	×
受測者 6	×	×	○	×
受測者 7	○	○	×	○
受測者 8	○	×	○	×
受測者 9	×	×	×	×
受測者 10	○	○	×	×
受測者 11	○	○	×	○
受測者 12	×	×	×	×
受測者 13	○	×	×	○
受測者 14	×	×	○	×
受測者 15	○	×	○	×
受測者 16	×	×	×	×
受測者 17	○	×	○	○
受測者 18	×	×	○	×
受測者 19	○	○	○	×
受測者 20	○	○	○	○
受測者 21	×	×	○	×
受測者 22	×	×	○	×
受測者 23	×	×	○	×
受測者 24	×	×	○	○
受測者 25	×	×	○	×
受測者 26	×	×	×	×
受測者 27	×	×	×	×
受測者 28	×	×	○	×
受測者 29	×	○	×	○
受測者 30	○	○	×	○
受測者 31	○	×	○	×
受測者 32	×	○	×	×
受測者 33	×	○	○	×
受測者 34	×	×	○	×
受測者 35	×	×	○	×
受測者 36	×	○	×	○
受測者 37	×	○	○	○

(1) 由表四整理出各關受測者是否被混淆的總人數，如下表五：

表五：各關受測者是否被混淆的總人數

	獵物一個	獵物兩個	獵物四個	獵物八個
被混淆之受測者	12	13	10	23
沒被混淆之受測者	25	24	27	14

將表五的結果以長條圖繪製成圖四如下：



圖四：各關受測者是否被混淆的總人數

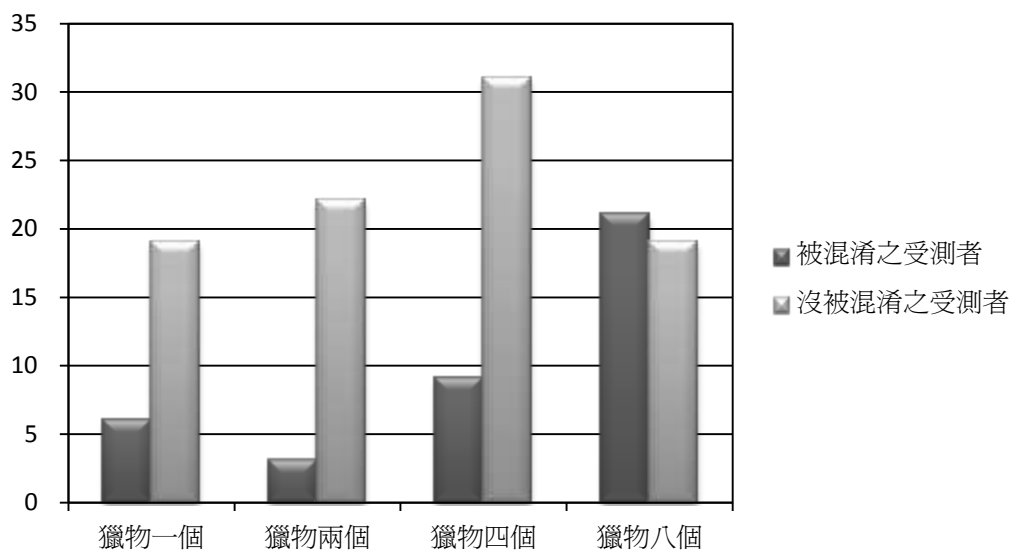
由圖四可看出，在獵物一個、獵物兩個和獵物四個時，各關「被混淆之受測者」的總人數，明顯低於各關「沒被混淆之受測者」總人數；並可發現在獵物八個時，此關「被混淆之受測者」總人數，大於「沒被混淆之受測者」總人數。由此可知，當獵物「到達一定數量」時，確實能對受測者造成混淆之效果。

- (2) 藉由表一和表四分別計算出各關內，所有「被混淆之受測者」，成功擊中獵物的總次數；及所有「沒被混淆之受測者」，成功擊中獵物的總次數。結果如表六

表六：各關所有受測者被混淆及沒被混淆時，分別擊中獵物的總次數

	獵物一個	獵物兩個	獵物四個	獵物八個
被混淆之受測者	6	3	9	21
沒被混淆之受測者	19	22	31	19

將表六的結果以長條圖繪製成圖五如下：



圖五：各關所有受測者被混淆及沒被混淆，分別擊中獵物的總次數

由圖五發現所有受測者在獵物一個、兩個和四個時較不易受到混淆。

(3) 為探討獵物數量變化而造成受測者混淆，是否影響到成功擊中率。

利用表六統計出的：各關「被混淆之受測者」及「沒被混淆之受測者」，個別擊中的獵物次數，分別除以表五統計出的：「被混淆之受測者」及「沒被混淆之受測者」的總人數。

① 擊中率的公式：

$$\text{擊中率} = \frac{\text{該關卡總擊中次數}}{\text{該關卡所有受測者之打擊機會}}$$

I. 被混淆之受測者擊中率：

- 獵物一個：6 ÷ (12×3)
- 獵物兩個：3 ÷ (13×3)
- 獵物四個：9 ÷ (10×3)
- 獵物八個：21 ÷ (23×3)

II. 沒被混淆之受測者擊中率：

- 獵物一個：19 ÷ (25×3)
- 獵物兩個：22 ÷ (24×3)
- 獵物四個：31 ÷ (27×3)
- 獵物八個：19 ÷ (14×3)

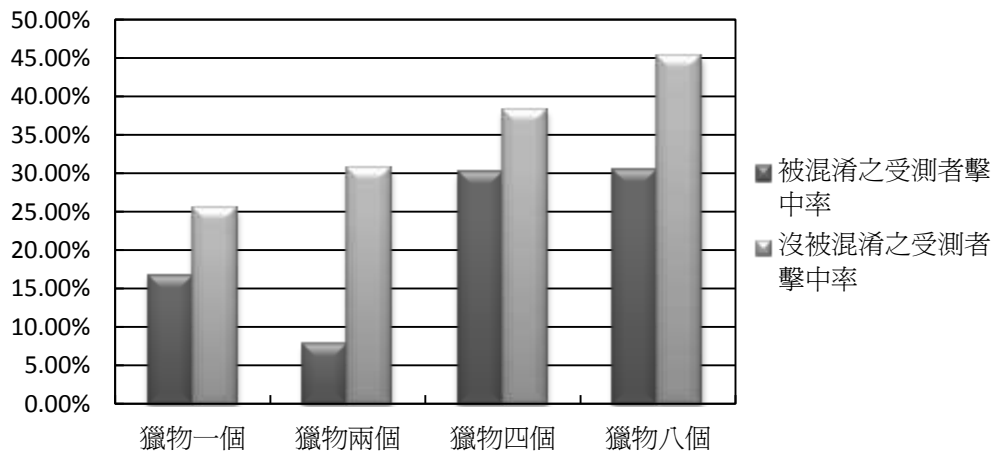
② 分析被混淆之受測者擊中率及沒被混淆之受測者擊中率。

結果如表七：

表七：各關所有被混淆之受測者及沒被混淆之受測者的擊中率

	獵物一個	獵物兩個	獵物四個	獵物八個
被混淆之受測者擊中率	16.67%	7.69%	30.00%	30.43%
沒被混淆之受測者擊中率	25.33%	30.56%	38.27%	45.24%

將表七的結果以長條圖繪製成圖六如下



圖六：各關所有被混淆之受測者及沒被混淆之受測者的擊中率

由圖可看出各關中不論獵物數量，「被混淆之受測者」的擊中率均低於「沒被混淆之受測者」的擊中率，故可得知當獵物數量造成受測者混淆時，受測者擊中率普遍下降，確實「可提高獵物的存活率」。

當獵物數量到達一個臨界值時，被混淆之受測者的擊中率也趨近一個定值。

3. 探討獵物「群游行爲」是否能提高個體存活率，故利用表七除以各關之獵物個數。

(1) 擊中率的公式：

$$\text{擊中率} = \frac{\text{該關卡受測者的擊中率(參考 p.13 表七)}}{\text{該關卡之獵物個數}}$$

I. 被混淆之受測者獵物被捕機率：

- 獵物一個：16.67% ÷ 1
- 獵物兩個：7.69% ÷ 2
- 獵物四個：30.00% ÷ 4
- 獵物八個：30.43% ÷ 8

II. 沒被混淆之受測者獵物被捕機率：

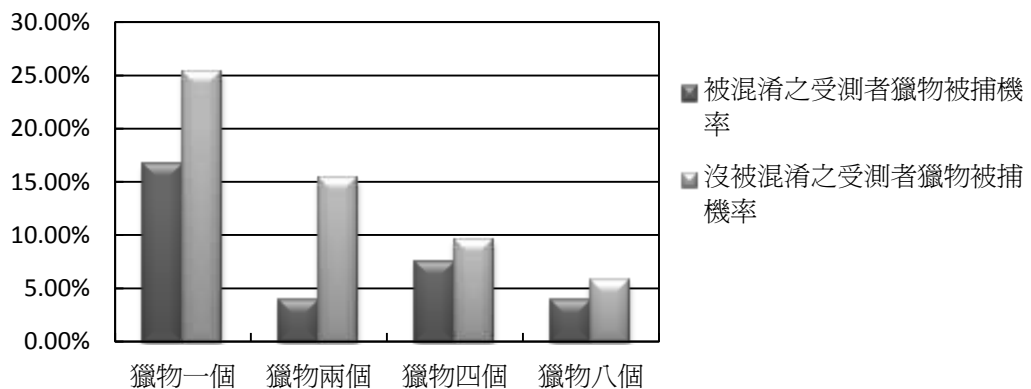
- 獵物一個：25.33% ÷ 1
- 獵物兩個：30.56% ÷ 2
- 獵物四個：38.27% ÷ 4
- 獵物八個：45.24% ÷ 8

(2) 統計結果如表八：

表八：「被混淆之受測者」及「沒被混淆之受測者」的獵物被捕機率

	獵物一個	獵物兩個	獵物四個	獵物八個
被混淆之受測者 獵物被捕機率	16.67%	3.85%	7.50%	3.80%
沒被混淆之受測者 獵物被捕機率	25.33%	15.28%	9.57%	5.65%

將表八的結果以長條圖繪製成圖七如下



圖七：被混淆之受測者及沒被混淆之受測者的獵物被捕機率

由圖可發現獵物被捕機率，隨著獵物數量增加而遞減，故可得知群游行爲對獵物而言，確實有「分散被掠食的風險」，「提高存活率」的效果。

而當獵物兩個的狀況時，所有「被混淆的受測者」之獵物被捕機率，低於獵物四個及八個，應是因其尚未熟練實驗的攻擊方式所造成的結果。

乙、各關卡保麗龍數量（1個／2個／4個／8個）由亂數表隨機排序。

1. 將每位受測者在各關成功擊中獵物的次數整理如下表九

表九

	獵物 1 個	獵物 2 個	獵物 4 個	獵物 8 個	關卡數量之順序
受測者 1	2	1	3	2	4→2→1→8
受測者 2	0	0	0	1	2→8→1→4
受測者 3	2	1	1	2	4→2→1→8
受測者 4	2	1	1	1	4→8→1→2
受測者 5	1	3	2	3	2→1→8→4
受測者 6	2	0	0	2	4→2→8→1
受測者 7	0	2	2	3	2→1→4→8
受測者 8	1	1	3	3	2→1→4→8
受測者 9	2	3	2	0	2→4→1→8
受測者 10	1	2	1	1	4→2→1→8
受測者 11	0	1	1	1	8→4→1→2
受測者 12	0	1	1	0	1→4→2→8
受測者 13	0	0	0	1	4→2→1→8
受測者 14	0	1	2	0	4→1→2→8
受測者 15	1	2	3	3	2→4→1→8
受測者 16	0	0	1	2	4→2→8→1
受測者 17	1	0	1	1	1→4→8→2
受測者 18	0	1	0	1	1→4→2→8
受測者 19	1	2	0	0	2→1→4→8
受測者 20	0	2	1	3	2→1→8→4
受測者 21	2	0	2	2	1→8→2→4
受測者 22	0	0	0	1	2→4→1→8
受測者 23	0	0	0	0	4→2→8→1
受測者 24	0	0	0	1	4→1→8→2
受測者 25	2	0	1	1	4→2→1→8
受測者 26	1	1	2	0	8→2→1→4
受測者 27	0	1	2	1	4→2→1→8
受測者 28	0	0	1	2	8→2→4→1
受測者 29	2	3	1	2	2→1→8→4
受測者 30	2	2	2	3	8→2→1→4
受測者 31	2	2	2	2	8→2→4→1
受測者 32	0	0	2	1	2→4→1→8
受測者 33	1	0	0	0	2→8→1→4
受測者 34	1	0	0	0	2→4→1→8



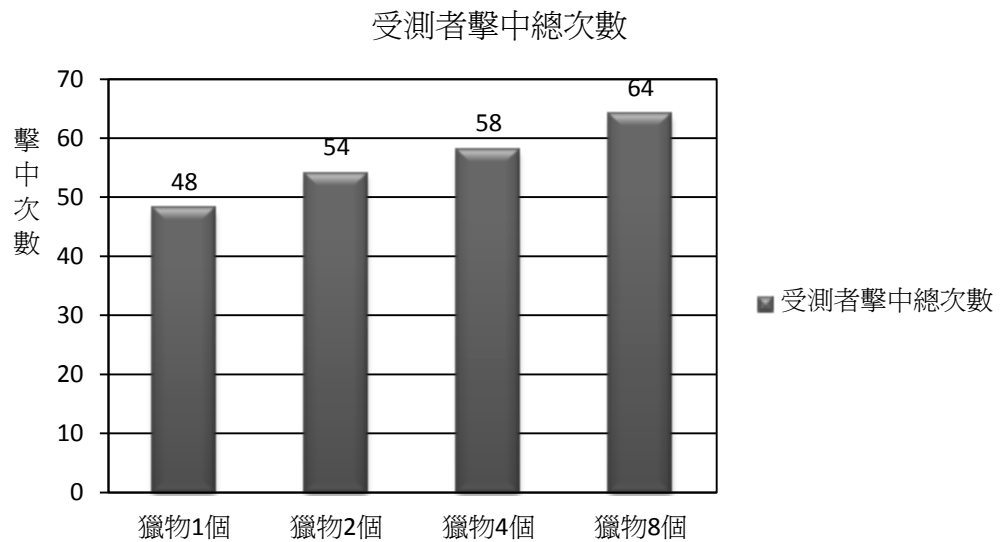
受測者 35	1	0	2	0	4→1→8→2
受測者 36	1	2	2	3	1→4→2→8
受測者 37	1	2	1	2	4→1→2→8
受測者 38	2	1	0	0	2→8→4→1
受測者 39	0	2	1	2	8→4→2→1
受測者 40	2	3	3	3	8→4→2→1
受測者 41	3	1	1	1	2→1→8→4
受測者 42	2	1	1	2	2→4→8→1
受測者 43	1	0	0	1	2→1→4→8
受測者 44	1	3	2	1	2→1→8→4
受測者 45	0	1	2	1	2→1→8→4
受測者 46	2	2	1	0	2→1→8→4
受測者 47	1	1	1	0	2→1→8→4
受測者 48	1	2	0	1	1→4→2→8
受測者 49	1	0	1	0	4→8→2→1
受測者 50	0	0	0	1	1→8→2→4

(1) 將受測者在各關擊中的總獵物的總次數整理如下表十

表十：各關受測者擊中總次數

	獵物一個	獵物兩個	獵物四個	獵物八個
受測者擊中總次數	48	54	58	64

將表十的結果以長條圖繪製成圖八：



圖八：各關受測者擊中總次數

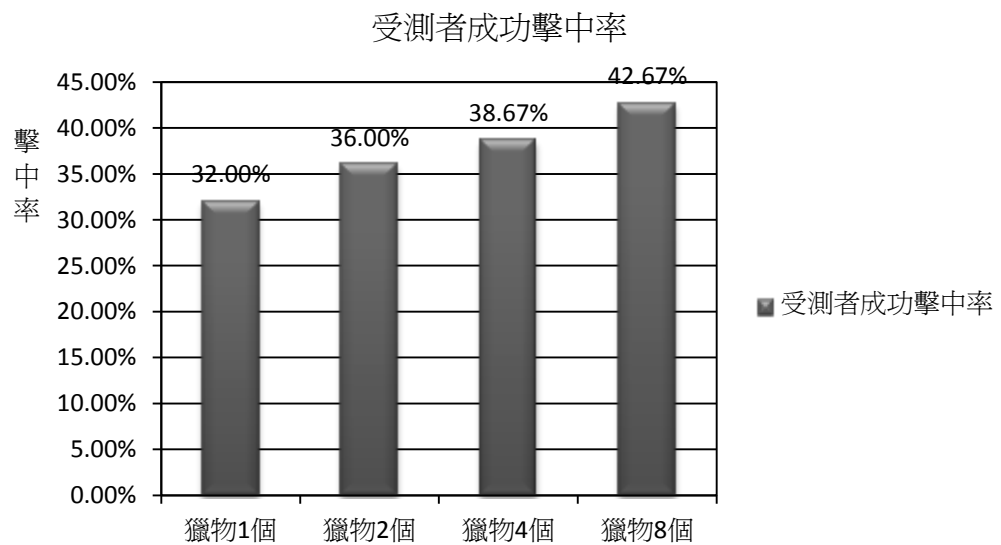
(2) 將受測者在各關成功擊中獵物的擊中率，整理如下表十一

$$\text{擊中率} = \frac{\text{該關卡總擊中次數}}{\text{該關卡所有受測者之打擊機會}}$$

表十一：受測者成功擊中率

	獵物一個	獵物二個	獵物四個	獵物八個
受測者成功擊中率	32.00%	36.00%	38.67%	42.67%

將表十一的結果以長條圖繪製成圖九如下：



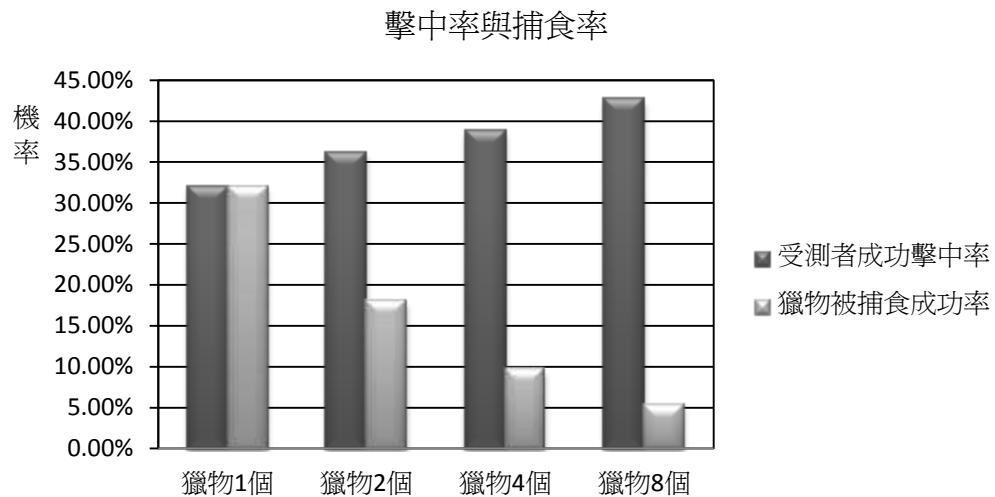
圖九：受測者成功擊中率

(3) 受測者成功擊中率與獵物被捕食成功率，整理如下表十二

表十二：受測者成功擊中率與獵物被捕食成功率

	獵物 1 個	獵物 2 個	獵物 4 個	獵物 8 個
受測者成功擊中率	32.00%	36.00%	38.67%	42.67%
獵物被捕食成功率	32.00%	18.00%	9.67%	5.33%

將表十二的結果以長條圖繪製成圖十如下：



圖十：受測者成功擊中率與獵物被捕食成功率

受測者成功擊中率與獵物被捕食成功率 ANOVA 分析

	SS	自由度	MS	F	P-值
組間	2.068194	3	0.689398	23.46604	0.00
組內	5.758194	196	0.029379		
總和	7.826389	199			

由圖可發現，當獵物數量增加時，受測者的成功擊中率有明顯上升的趨勢，也就是說，受測者在面對獵物數量較龐大時，更能成功擊中獵物；但從所有獵物被捕食成功率（該關卡總擊中數÷該關卡總獵物數）來看，當獵物成群結隊時，數量越龐大對單一獵物而言，被捕食成功率有顯著下降的趨勢。由此可知，雖然獵物數量較多時對受測者有利，但對單一獵物來說卻能有效分散風險，並藉此提高獵物本身的存活率。

2. 將受測者在各關是否被混淆的情況，整理如下表十三：

表十三：受測者在各關是否被混淆的情況（○表被混淆 ×表沒被混淆）

	獵物 1 個	獵物 2 個	獵物 4 個	獵物 8 個
受測者 1	×	×	×	○
受測者 2	○	○	×	×
受測者 3	×	×	×	○
受測者 4	×	×	×	○
受測者 5	○	×	×	○
受測者 6	×	×	×	○
受測者 7	○	○	×	×
受測者 8	×	×	×	○
受測者 9	×	×	×	○
受測者 10	×	×	×	○
受測者 11	×	×	×	○
受測者 12	×	×	×	○
受測者 13	×	×	○	×
受測者 14	×	○	×	○
受測者 15	×	○	×	×
受測者 16	×	×	×	×
受測者 17	×	×	○	○
受測者 18	×	×	○	○
受測者 19	×	×	○	○
受測者 20	×	×	○	×
受測者 21	×	○	×	○
受測者 22	×	×	○	×
受測者 23	×	×	○	×
受測者 24	○	×	×	○
受測者 25	×	×	×	×
受測者 26	×	×	×	×
受測者 27	×	×	×	○
受測者 28	○	○	×	○
受測者 29	×	×	×	○
受測者 30	×	×	×	○
受測者 31	○	×	×	×
受測者 32	×	○	×	○
受測者 33	×	×	○	○
受測者 34	×	×	○	○
受測者 35	×	×	×	×

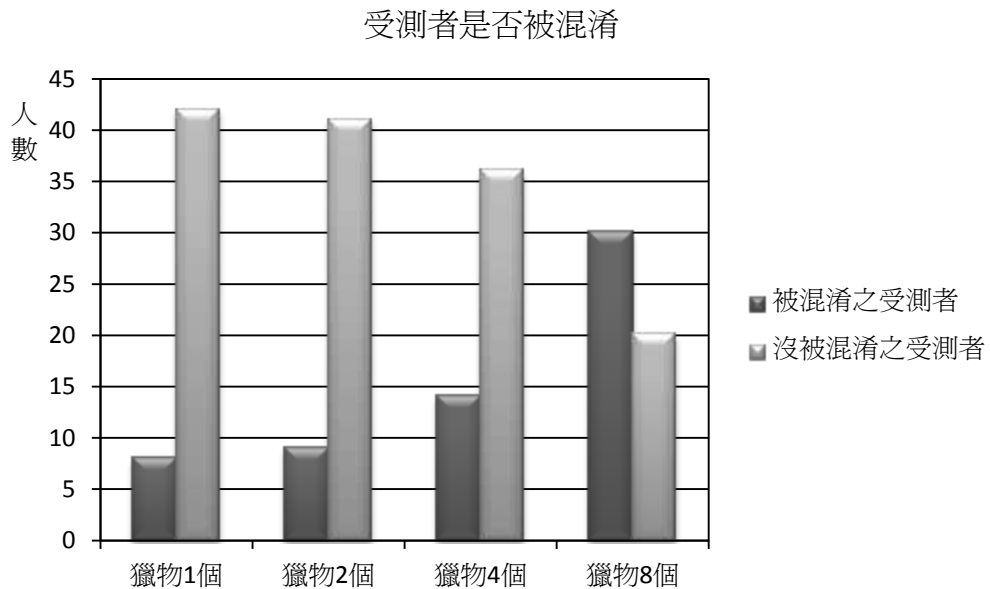
受測者 36	×	×	×	×
受測者 37	×	×	×	○
受測者 38	×	×	×	○
受測者 39	×	×	×	×
受測者 40	×	×	×	×
受測者 41	×	×	○	○
受測者 42	×	×	×	×
受測者 43	×	×	○	○
受測者 44	○	×	×	×
受測者 45	×	×	×	×
受測者 46	○	○	○	○
受測者 47	×	×	○	×
受測者 48	×	×	○	○
受測者 49	×	○	×	○
受測者 50	×	×	×	×

(1) 由表十三整理出各關受測者是否被混淆的總人數，如下表十四：

表十四：各關受測者是否被混淆的總人數

	獵物一個	獵物兩個	獵物四個	獵物八個
被混淆之受測者	8	9	14	30
沒被混淆之受測者	42	41	36	20

將表十四的結果以長條圖繪製成圖十一如下：



圖十一：各關受測者是否被混淆的總人數

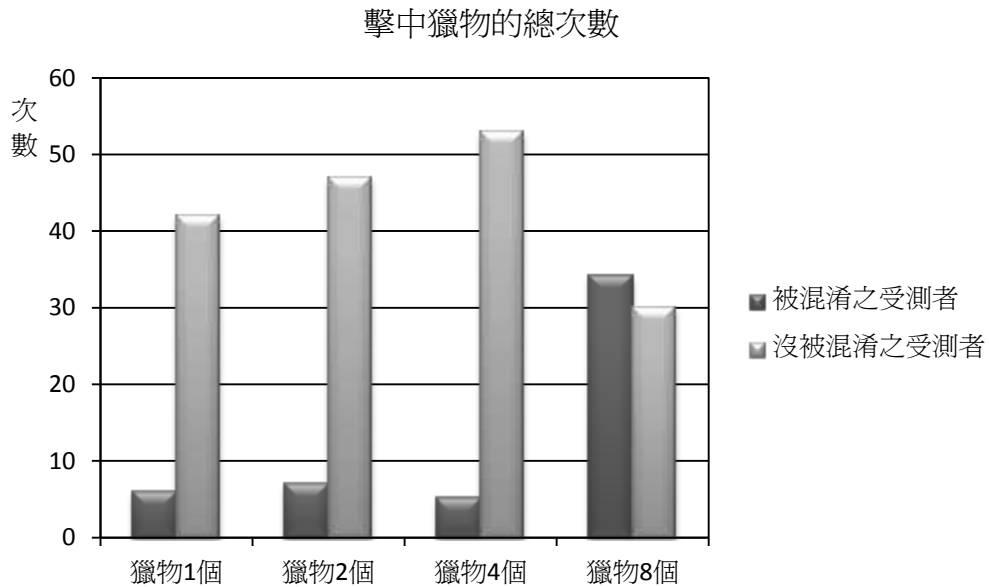
由圖可發現，在獵物一個、獵物兩個和獵物四個時，各關「被混淆之受測者」的總人數，明顯低於各關「沒被混淆之受測者」總人數，而在獵物八個時，此關「被混淆之受測者」總人數，明顯大於「沒被混淆之受測者」總人數以及其他關卡「被混淆之受測者」的人數。由此可知，當獵物「到達一定數量」時，確實能對受測者造成混淆之效果。

- (2) 藉由表九和表十三分別計算出各關內，所有「被混淆之受測者」，成功擊中獵物的總次數；及所有「沒被混淆之受測者」，成功擊中獵物的總次數。結果如表十五

表十五：各關所有受測者被混淆及沒被混淆時，分別擊中獵物的總次數

	獵物一個	獵物兩個	獵物四個	獵物八個
被混淆之受測者	6	7	5	34
沒被混淆之受測者	42	47	53	30

將表十五的結果以長條圖繪製成圖十二如下：



圖十二：各關所有受測者被混淆及沒被混淆，分別擊中獵物的總次數

由圖可知，所有受測者在獵物一個、獵物兩個和獵物四個時，不易受混淆。由於在獵物八個時，「被混淆之受測者」人數大於「沒被混淆之受測者」，故「被混淆之受測者」總擊中數累加的結果反而大於「沒被混淆之受測者」。



(3) 為探討獵物數量變化而造成受測者混淆，是否影響到成功擊中率。

利用表十五統計出的：各關「被混淆之受測者」及「沒被混淆之受測者」，個別擊中的獵物次數，分別除以表十四統計出的：「被混淆之受測者」及「沒被混淆之受測者」的總人數。

① 擊中率的公式：

$$\text{擊中率} = \frac{\text{該關卡總擊中次數}}{\text{該關卡所有受測者之打擊機會}}$$

I. 被混淆之受測者擊中率：

- 獵物一個：6 ÷ ( 8×3 )
- 獵物兩個：7 ÷ ( 9×3 )
- 獵物四個：5 ÷ ( 14×3 )
- 獵物八個：34 ÷ ( 30×3 )

II. 沒被混淆之受測者擊中率：

- 獵物一個：42 ÷ ( 42×3 )
- 獵物兩個：47 ÷ ( 41×3 )
- 獵物四個：53 ÷ ( 36×3 )
- 獵物八個：30 ÷ ( 20×3 )

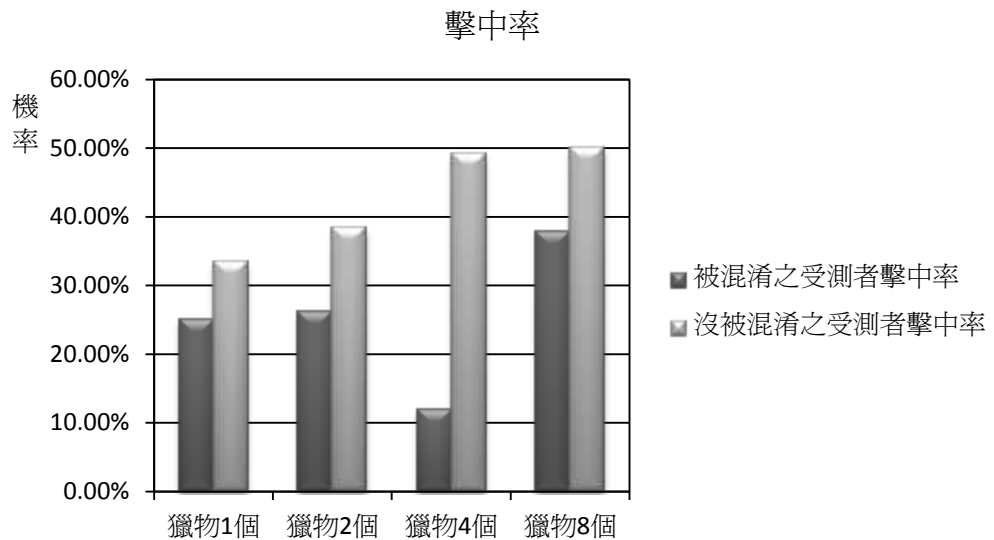
② 分析被混淆之受測者擊中率及沒被混淆之受測者擊中率。

結果如表十六：

表十六：各關所有被混淆之受測者及沒被混淆之受測者的擊中率

	獵物一個	獵物兩個	獵物四個	獵物八個
被混淆之受測者擊中率	25.00%	25.93%	11.90%	37.78%
沒被混淆之受測者擊中率	33.33%	38.21%	49.07%	50.00%

將表十六的結果以長條圖繪製成圖十三如下



圖十三：各關所有被混淆之受測者及沒被混淆之受測者的擊中率

由圖可看出各關中不論獵物數量，「被混淆之受測者」的擊中率均低於「沒被混淆之受測者」的擊中率，故可得知當獵物數量造成受測者混淆時，受測者擊中率普遍下降，確實「可提高獵物的存活率」。

3. 探討獵物「群游行爲」是否能提高個體存活率，故利用表十六除以各關之獵物個數。

(1) 擊中率的公式：

$$\text{擊中率} = \frac{\text{該關卡受測者的擊中率 (參考 p.26 表十六)}}{\text{該關卡之獵物個數}}$$

I. 被混淆之受測者獵物被捕機率：

- 獵物一個：25.00% ÷ 1
- 獵物兩個：25.93% ÷ 2
- 獵物四個：11.90% ÷ 4
- 獵物八個：37.78% ÷ 8

II. 沒被混淆之受測者獵物被捕機率：

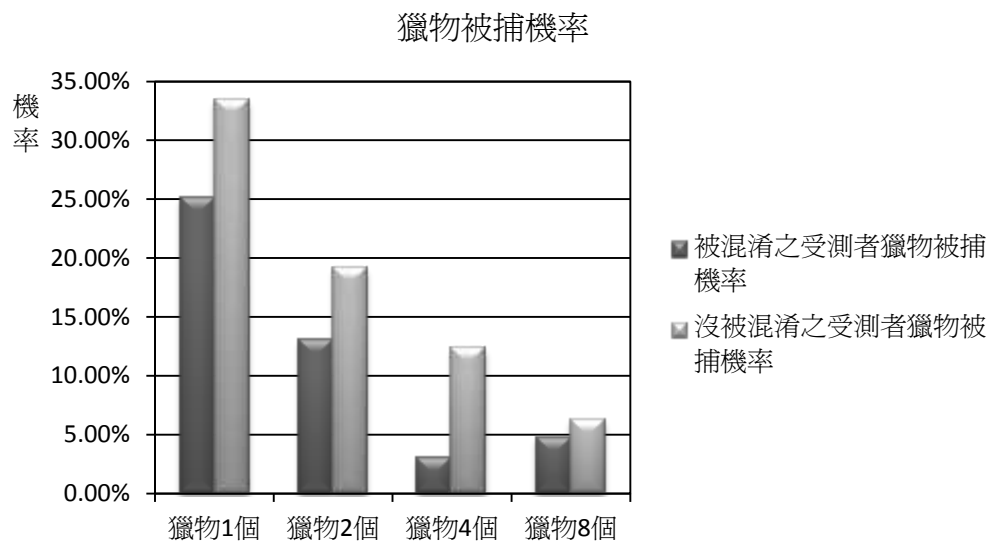
- 獵物一個：33.33% ÷ 1
- 獵物兩個：38.21% ÷ 2
- 獵物四個：49.07% ÷ 4
- 獵物八個：50.00% ÷ 8

(2) 統計結果如表十七：

表十七：「被混淆之受測者」及「沒被混淆之受測者」的獵物被捕機率

	獵物一個	獵物兩個	獵物四個	獵物八個
被混淆之受測者的獵物被捕機率	25.00%	12.96%	2.98%	4.72%
沒被混淆之受測者的獵物被捕機率	33.33%	19.11%	12.27%	6.25%

將表十七的結果以長條圖繪製成圖十四如下



圖十四：被混淆之受測者及沒被混淆之受測者的獵物被捕機率

由圖可發現不論受測者是否被混淆，獵物被捕機率隨著獵物數量增加而遞減，且「被混淆之受測者獵物被捕機率」均小於「沒被混淆之受測者獵物被捕機率」，因此當獵物數量足以造成受測者混淆時，能有效降低獵物被捕機率。故可得知群游行爲對獵物而言，確實有「分散被掠食的風險」，「提高存活率」的效果。

## 陸、結論

綜合前面的討論，魚群的「群游」行爲，確實能夠「降低個體被捕食的機率」，進而推測出群游行爲確實能「提高個體的存活率」。且「獵物數量」的改變，對部分掠食者的確能發揮「混淆」作用，且「降低」捕食的成功機率。因此魚類【若群游且數量到達一定值以上，可以達到混淆的效果，降低掠食者的成功率；又可在每一次「被獵食」的情況下，降低風險】。

## 柒、討論

### 一、影響被混淆之受測者擊中獵物總次數的因素

參考 p.23 圖十二：各關所有受測者被混淆及沒被混淆，分別擊中獵物的總次數。

由圖可發現，「被混淆之受測者」在獵物八個時，擊中獵物的總次數高於「沒被混淆之受測者」擊中獵物的總次數。因總人數及攻擊機會固定，當「被混淆之受測者」人數大於「沒被混淆之受測者」人數時，「被混淆之受測者」總攻擊機會大於「沒被混淆之受測者」總攻擊機會，雖然受測者受混淆，但因獵物數量較密集，「被混淆之受測者」成功攻擊到的獵物未必是「被混淆之受測者」所瞄準的獵物，當受測者感受到混淆，對受測者而言不見得會影響其成功擊中率。因此所有「被混淆之受測者」成功擊中次數累加下來的結果會高於所有「沒被混淆之受測者」成功擊中次數。

### 二、關卡順序的影響

參考 p.12 圖六：各關所有被混淆之受測者及沒被混淆之受測者的擊中率。

參考 p.25 圖十三：各關所有被混淆之受測者及沒被混淆之受測者的擊中率。

比較兩圖不同處，圖五在獵物兩個時，被混淆之受測者擊中率低於其他關卡；而圖十二在獵物兩個時，被混淆之受測者擊中率並未低於其他關卡。透過將關卡順序排序分爲兩種方式，一爲關卡順序固定爲 2 個 → 1 個 → 8 個 → 4 個時，因此所有受測者面對的第一個關卡均是 2 個，此次實驗受測者必須使用 BB 槍進行射擊，但並非所有受測者均熟悉使用 BB 槍，即使經過練習，受測者在第一關時仍有熟悉度不足的情形，因而造成圖五被混淆之受測者擊中率偏低；二爲關卡順序由亂數表排序，因此每位受測者面對的第一關不盡相同，因此能降低因熟悉度不足的誤差。

### 三、受測模式的影響

參考 p.25 圖十三：各關所有被混淆之受測者及沒被混淆之受測者的擊中率。

參考 p.27 圖十四：「被混淆之受測者」及「沒被混淆之受測者」的獵物被捕機率。

由此兩圖均可發現，在獵物四個時「被混淆之受測者擊中率」和「被混淆之受測者獵物被捕機率」較低於各關「被混淆之受測者擊中率」和「被混淆之受測者獵物被捕機率」。因實驗設計考量每位受測者均非經常使用 BB 槍，故在受測開始前有練習打擊的機會，用來練習打擊的獵物數量即是四個，雖然關卡的排序已採亂數排定，但受測者對獵物四個已感到熟悉，因此正式受測時不易受混淆，導致在獵物四個時被混淆人數低，所以總擊中數也偏低，擊中率及獵物被捕機率因此受到影響。

## 捌、參考資料

- 一、益田玲爾著。魚爲什麼成群出現？Newton 量子科學雜誌 26 號（2009/12）  
p.94-p.99。
- 二、熊苓。2003。這不是群體防禦－反駁行爲學家對魚群行爲的高估。
- 三、李宗遠 譯。自然界大變化（2011/4）。