

# 中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

國中組 生活與應用科學科

**第二名**

030810

**光之黑影吸引力—具牛頓光環的 LED 集魚燈**

學校名稱：臺南市立民德國民中學

|                                 |                  |
|---------------------------------|------------------|
| 作者：<br><br>國一 沈妤蓁<br><br>國一 梁瓊芳 | 指導老師：<br><br>林鴻仁 |
|---------------------------------|------------------|

關鍵詞：LED 燈、集魚燈、牛頓光環透鏡

## 摘要

本研究利用折射與凸透鏡原理，以電腦繪製牛頓環透鏡所需之尺寸，訂做 Lens I 及 Lens II 兩組透鏡，整合 LED 光源，完成具牛頓光環的 LED 集魚燈具。其中 Lens I 由內而外為暗環、亮環、暗環、亮環之光型；Lens II 則反之。本實驗目的是：為瞭解魚群對水下光線的行為模式，故設計三種實驗(光線明度、特殊光型、顏色敏感度)，以觀察魚類在水下對光型的反應行為與習性，繼而提出以特殊光型設計 LED 集魚燈以取代傳統燈具之建議，以達到節能減碳之目的。本研究發現，當魚群習慣環境中同一強度的光刺激後，便會逐漸的離開強光區，並在明、暗交界處逗留及徘徊，因此，可藉由具牛頓光環之 LED 集魚燈具，在海下營造出明、暗相間之光型，實現光之黑影吸引力，取代傳統高耗能的集魚燈。



(作品簡介短片)

<https://youtu.be/3WiRqZ2cHG8>

## 壹、研究動機

在偶然的機會與家人來到高雄市前鎮漁港，意外的發現許多大型漁船都掛滿大顆電燈泡，光線亮到讓人眼睛無法直視。一問之下，才得知原來這麼多大的電燈泡是為了捕撈更多的魚獲而裝設的。這時在我腦中突然閃過一段文詞「... 魚戲蓮葉東、魚戲蓮葉西 ...」，發覺有異！古人觀察魚兒行為應該是穿梭在光亮處(陽光下)與光暗處(蓮葉下方)之間，而非飛蛾撲火。倘若如此，那魚兒對「光」真的具有趨光性嗎？漁船裝設這麼多的燈具真的可以提高魚獲量嗎？還是只是浪費能源、徒勞無功呢？

再細數1艘船上的傳統燈具約有250盞不等且每盞燈具為4仟瓦，若每晚工作時間為8小時，每天的耗電量為8仟度(仟瓦-小時)，電費為2萬8仟元(1度電以3.5元計算)，等於在台灣一個小型城鎮每晚的用電量。若能利用新興LED光源取代傳統燈具，定可大幅減少漁船工作時的耗電量(耗油量)，降低捕漁成本，達到節能減碳並提高台灣國際形象之目的。

魚類在水下的生活環境，光線不僅能影響魚類的攝食、生長、繁殖及存活，還能影響著魚類的趨光與群集等行為[1~2]，所以魚類對於光刺激的反應有好奇心、索餌與群集等現象，如魷魚與紅球魚等趨光性魚類都具有上述之特性[3~5]。因此，本實驗將利用光線折射與凸透鏡原理設計、製作能產生明、暗相間光影的LED集魚燈—即是具牛頓環光型的LED集魚燈。本研究也利用不同照度與不同色光的LED光源，在大型水族箱中運用高解析攝影機，設計一系列的實驗以觀察魚類對水下光照的反應行為，企圖找出魚類在水中對光的反應之習性，以驗證古人的說法正確，還是現在漁民的作法正確？此外，我們也將透過統計漁船的燈泡數目與漁獲量來證實，「燈泡數目越多、漁獲量就越大嗎？」。



## 貳、研究目的

本研究的主要目的是為瞭解魚群對水下光線的行為模式，因此透過光線折射與凸透鏡原理，設計出多重同心圓光型(具明、暗相間的光型)之牛頓環透鏡，以製作 LED 集魚燈具，使其在水下營造出如陽光從雲端間片片灑落在海面之現象，藉以誘集魚群以取代傳統高耗能燈具。換句話說，就是以智取而不力敵的方式獲得魚獲，幫助漁船節能、省油、省電。實驗中，將觀察魚群在水下明、暗相間光型，與在不同顏色、不同照度環境下的行為模式與習性，以瞭解魚群對水下光影的反應是否為趨光性，也驗證具牛頓環光型的 LED 集魚燈，能否取代傳統高耗能的集魚燈具。此外，本研究也把漁船的燈泡數目與漁獲量分析結果納入，提供更多對魚群行為的觀察面向。

## 參、研究設備器材

### 一、研究設備表：

| 設備說明  | 電腦  | 3D列印機  | 攝影機   |
|-------|---|--|---|
| 圖片或照片 |  |  |  |
| 設備說明  | 照度計   | 縮時攝影機  | 三用電表  |
| 圖片或照片 |  |  |  |

### 二、材料與零件規格表

| 項次 | 品名                                      | 數量    | 規格                           |
|----|---|-------|------------------------------|
| 1  | 紅球魚<br>( <i>Xiphophorus maculatus</i> ) | 100 隻 | 60 隻實驗，40 隻備用                |
| 2  | 大型水族箱                                   | 1 座   | 長 120cm x<br>寬 60cm x 高 45cm |
| 3  | 照度計                                     | 1 台   |                              |

|   |           |              |  |
|---|-----------|--------------|--|
| 4 | 具牛頓環光型之透鏡 | 2 個          | 1、透鏡直徑 7cm、透鏡焦距 7cm<br>2、暗、明相間光型透鏡(Lens I)<br>3、明、暗相間光型透鏡(Lens II) |
| 5 | LED 燈源    | 白、紅、藍、綠各 1 顆 | 直徑 5mm<br>電壓(V) : 3.0-3.2V<br>電流(MA) : 20mA<br>各種顏色的備用光源數顆         |
| 6 | 縮時攝影機     | 1 台          | 每秒取影 1 張   |
| 7 | 高解析度攝影機   | 1 台          | 每秒取影 35 張，可長時間攝影取像   |
| 8 | 計時器       | 1 台          |  |

## 肆、研究過程或方法

本次科展我們設計一個能產生明、暗相間光型的LED集魚燈以光之黑影吸引力的觀念，幫助漁民以節能、省油、省電的方式獲得魚獲。本研究我們設計了三個實驗分別為光線明度、特殊光型與顏色敏感度，來驗證魚群將會停留在明、暗相間處，亦即「光之黑影吸引力」。

實驗一：在水族箱置入60隻紅球魚，以日光燈直接照射水族箱，進行對照組實驗，以建立前置觀察及魚群行為特徵；再利用特定光型調整不同的光照度，觀察魚群在水中的活動行為與習性。

實驗二：設計單一色光配合不同光型，以高解析度攝影機持續觀察魚群在水中的活動行為與習性，觀察魚群對光線趨光與擴散之時間，並擷取魚群對趨光、擴散與停留之影像圖，再以時間為主軸，建表討論魚群對不同光型的行為特徵。

實驗三：以不同照度配合不同光型，以高解析度攝影機持續觀察魚群在水中的活動行為與習性，並擷取魚群對趨光、擴散與停留之影像圖，再以時間為主軸建表討論魚群對不同色光的行為特徵。

最後，蒐集相同大小的遠洋漁船，討論其使用的集魚燈數目與其漁獲量，再與本實驗成果相互驗證。以下將針對各細節逐一介紹、說明並討論之：

## 一、 關鍵元件介紹

- 1、紅球魚 (*Xiphophorus maculatus*)，是一種花鱗科劍尾魚屬的淡水魚，又稱紅茶壺、紅球魚，乃是屬於一種直接生產小魚的魚類且對光線敏感[2]。紅球魚有許多不同的顏色，常見的有紅色和黃色，本實驗選用較長見的紅色魚種，如圖 1 所示。此外，本實驗所選用之魚種是依據漁政單位研究人員之介紹及文獻記載[2]，其生物特性與海魚相似且養殖的存活率高。
- 2、LED (Light-emitting diode, LED 發光二極體) 是一種能發光的半導體電子元件，透過三價與五價元素所組成的複合光源[6]。此種電子元件早在 1962 年出現，早期只能夠發出低光度的紅光，發展至今已具有效率高、壽命長、不易破損、反應速度快、可靠性高等傳統光源不及的優點。近年來白光 LED 的發光效率有大幅進步，成本降低且越來越多被用在照明用途上的趨勢，白光 LED 燈源如圖 2 所示。

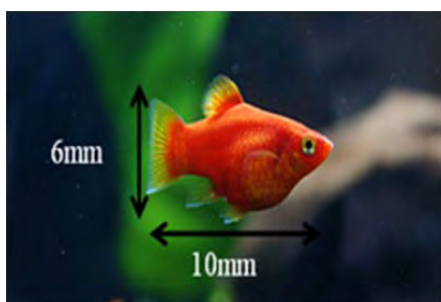


圖 1 紅球魚大小示意圖



圖 2 白光 LED 燈源

- 3、牛頓環透鏡(Newton's rings Lens)，將光直射向透鏡，可以觀察到一個個明暗相間的圓環條紋。光型近似英國物理學家艾薩克·牛頓爵士，所發現的牛頓環，故稱為牛頓環透鏡[7]，如圖 3~4 所示。

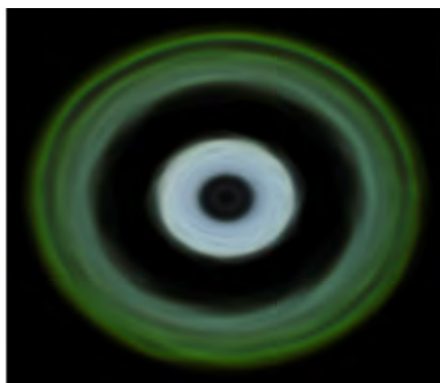


圖 3 Lens I 牛頓環光型

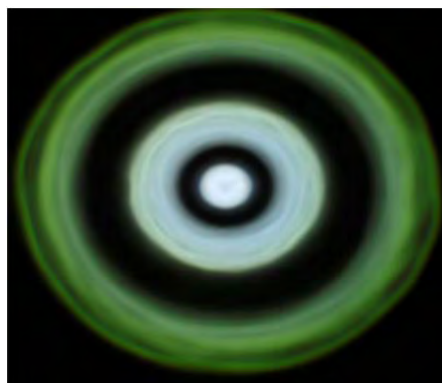


圖 4 Lens II 牛頓環光型

4、縮時攝影機，(Time-lapse photography)，亦稱為間隔攝影，是一種將畫面拍攝頻率設定在遠低於一般觀看連續畫面所需頻率的攝影技術[8]。對一個變動中的景象以每秒一張的速度進行連續拍攝，之後以每秒 30 張的速度播放，那麼便會呈現出加速 30 倍的視覺效果。針對人眼所能捕捉的微妙過程，例如太陽的移動、空中的繁星等等，透過縮時攝影能夠清楚、完整地呈現，本實驗將其用於觀察魚群在水中的活動行為與對光形的趨集習性。

## 二、光線的折射分析

利用透鏡的成像原理，分析光的進行路徑與成像位置，設計透鏡外型以決定牛頓環的尺寸，使光型可完全成像於大型水族箱底部，進而營造出明、暗相間的牛頓環光型。根據凸透鏡的成像原理得知，當平行光線經過凸透鏡時，會有折射且聚焦之現象。因此，(1)當 LED 光源當成平行光入射凸透鏡時，光線會聚焦形成光影，而形成亮區；(2)當光線經過凸透鏡的節點時，光線將不會產生折射與透射，故不會形成光影，而形成暗區。Lens I 或 Lens II 牛頓環光型的成象概念圖如圖 5~6 所示。之後，因應寬度 60cm、高度 45cm 的水族箱，選定焦點為 10cm 的牛頓光環透鏡，使其光型可在水族箱底部成像，以符合光學設計要求而產生最大的牛頓光環光形，俾利於觀察魚群對水下光影的行為模式。

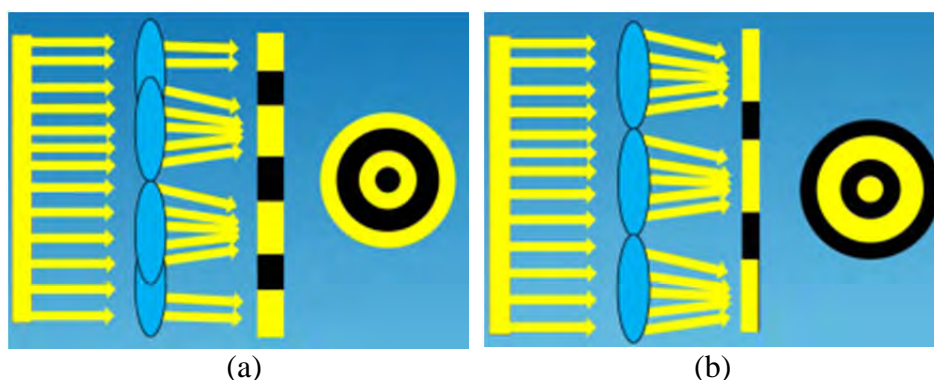
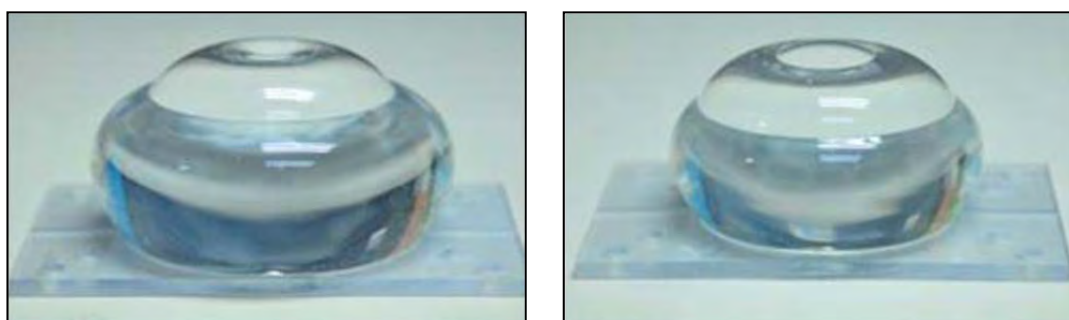


圖 5 牛頓環透鏡光學示意圖(a)Lens I 透鏡與(b) Lens II 透鏡

依上述設計條件，利用電腦繪製牛頓環透鏡所需之尺寸，接著再委託廠商利用 CNC 加工機製作 Lens I 及 Lens II 兩組透鏡，Lens I 透鏡其光照分佈，由中心依序往外為暗環、亮環、暗環、亮環；Lens II 透鏡其光照分佈，由中心依序往外為亮環、暗環、亮環、暗環，藉此在水中實現明、暗相間之誘魚光型。下圖 6 分別為 Lens I 與 Lens II 透鏡經 CNC

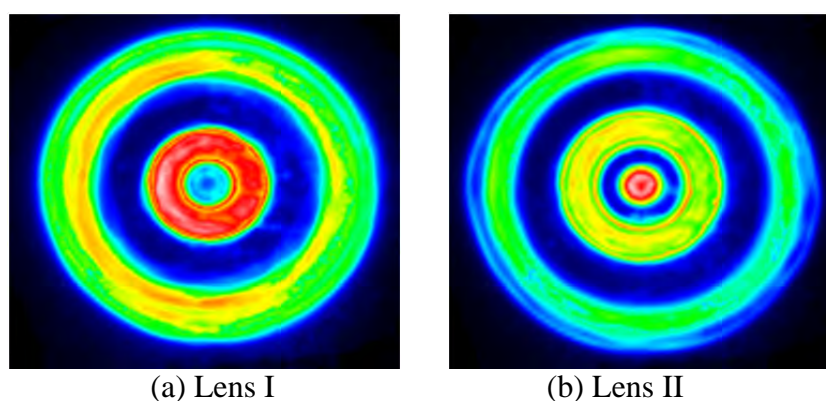
精密加工後的實體，其透鏡下方的底座，讓透鏡主體與 LED 光源緊密結合，以製成 LED 集魚燈具。



(a) (b)  
圖 6 牛頓環透鏡(a) Lens I 與(b) Lens II 透鏡

### 三、光型量測

Lens I 或 Lens II 牛頓環光型的 LED 燈具，放置於長、寬、高分別為 120cm、60cm、45cm 的水槽中心處正上方，水槽內側鋪設黑色吸光紙，以減少光線在水槽壁面產生反射而影響實驗觀察。水下光型量測，係採用 Konica Minolta 公司的光能量影像量測系統，其測量單位為  $\text{cd}/\text{m}^2$ ，用以擷取 Lens I 與 Lens II LED 燈具在水下所呈現之光型。量測時必須將光能量影像量測系統置於 LED 燈具的正下方，且兩者需在同一法線上。如圖 7 所示為 LED 燈具在水下所呈現出 Lens I 與 Lens II 的牛頓環光型，但無論是 Lens I 或 Lens II 的 LED 燈具，其光型在最外側環帶的亮區中光較為發散，主因是透鏡外側的曲率較大，使光束在相同的水深中無法有效聚焦，進而產生光能量擴散。因此，光束在水中傳遞時，隨著傳輸距離，其光型的分布也會有明顯的變化。換句話說，傳輸距離越長、光型外側光照度的擴散特徵就越明顯。同時本實驗亦同時使用 Nikon D300S 相機做拍攝如圖 8 所示，為光線通過透鏡時，所產生的牛頓環光型。



(a) Lens I (b) Lens II  
圖 7 Lens I 與 Lens II 透鏡牛頓環光型的能量影像圖



圖 8(a)為 Lens I 水中照度實測的情況，可明顯看出光型在水面及空氣的交接處產生明、暗相間的光照度分佈，其光線一直穿透至水槽底部，同時也在底部產生牛頓環光型之明、暗相間的光能量分佈；圖 8(b)為 Lens II 的實際照度分佈情形，同 Lens I 之透鏡，光線在水面上亦有牛頓環明暗相間的光強度分佈，而其光線一直延伸至水底，達到所需照度分佈。由水中照度實測可知，兩者皆可在水中呈現牛頓環的光照度分布情形，符合實驗設計之需求。

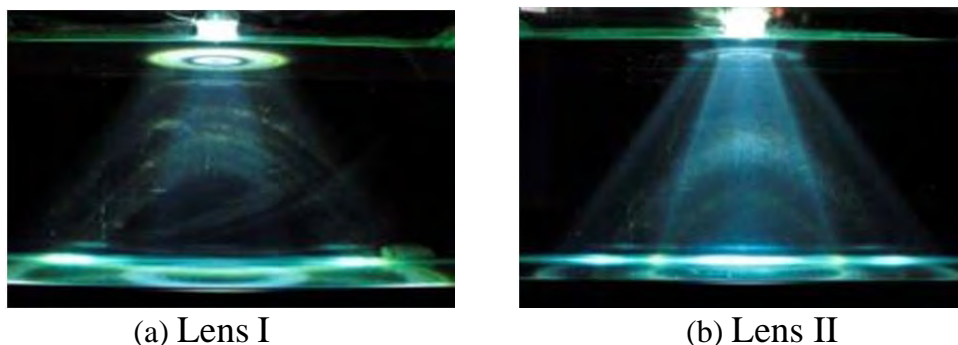


圖 8 Lens I 與 Lens II 燈具在水中實際照度分佈圖

#### 四、實驗觀察環境的設立：

1、觀察環境的設立：將具牛頓光環型的 LED 集魚燈裝置於大型水族箱(120cm×60cm×45cm)之上方位置，在其周圍圍上黑色紙幕吸收光線，以防止光線的反射影響實驗進行，並在正前方架設高解析度錄影機。此外，縮時攝影機則是架設於 LED 燈具的上面，以觀察魚群在光型中的行為特徵。在燈具的電源供給方面，本研究是採用電源供應器，可調整電壓、電流值以搭配實驗中 LED 集魚燈所需之照度值。圖 9 所示為實驗佈置實體圖，在圖中標示有 1、2、3、4 等 4 個區域，用於計算魚群對光線趨集與擴散之時間與數量比率。

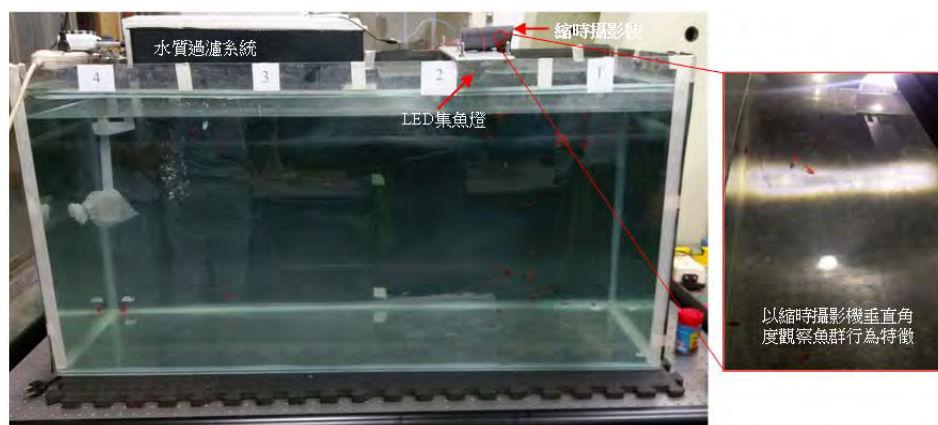
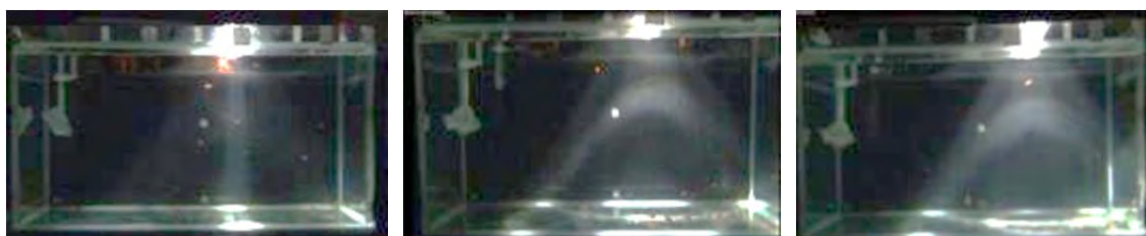


圖 9 具特殊光型之 LED 集魚燈的魚群誘集實驗佈置實體圖

## 2、實驗觀察流程：

- (1)注入純淨水(不含氯)，放入約 60 隻紅球魚，在自然光照下環境飼養 48 小時後，開始進行對照組實驗，並運用影像攝影紀錄之。
- (2)選定特定光型，分別使水下產生矩型、Lens I 牛頓環、Lens II 牛頓環等光型後，開啟白光 LED 集魚燈，運用高解析度錄影機連續紀錄 3 小時後，再變換紅、藍、綠不同光色之 LED 集魚燈，重複上述觀察實驗並觀察魚群對不同光色與不同光型的行為特徵，各種光型在水中的呈現如圖 10 所示。
- (3)在亮度轉換上則是藉由改變電流值，使 LED 集魚燈產生不同亮度，重複上述實驗並觀察魚群對不同亮度的行為特徵，圖 11 為不同亮度的白光 LED 集魚燈。



(a)矩形光型

(b)Lens I 牛頓環光型

(c)Lens II 牛頓環光型

圖 10 在特定光型之白光 LED 集魚燈之實驗設置圖



(a)照度為 150Lux

(b) 照度為 350Lux

(c) 照度為 700Lux

圖 11 不同亮度的白光 LED 集魚燈之設置圖

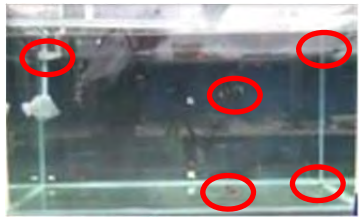




## 五、實驗結果

在整體實驗的步驟上，本研究將(1)首先以一般日光燈照明進行對照組之實驗，接著(2)以白光矩形光形觀察魚群在水下對光型的反應行為與習性，然後(3)採用Lens I牛頓環光型與Lens II牛頓環光型，運用高解析度錄影機連續紀錄3小時後，再變換紅、藍、綠不同光色與不同亮度之LED集魚燈，重複上述實驗並觀察魚群對不同光型與不同光色的行為特徵。最後，本研究結果分為三個部分討論，(a)魚群在不同光型下，其聚集行為特性；(b)在不同光色時，魚群的聚集速度與停留時間；(c)在不同亮度時，魚群的聚集速度與停留時間。

# 1、對照組

## 1-1.一般日光燈照明其照度值400 Lux

由實驗觀察發現，魚群在正常光照下，會四處隨意游動，期間有部分魚群群集游動現象，但魚群的位置並未固定，當實驗進行30分鐘後，可發現大部魚群會在魚缸底部活動，個體或魚群一直在水族箱中游動改變位置，因此，在水族箱中並未見特殊群聚或一直停留於某處之現象，此對照組錄影觀察時間為3小時，相應時間與敘述如下表所示。







| 時間 | 前3分鐘  | 10分鐘   | 30分鐘  |
|----|---|--|---|
| 照片 |    |    |    |
| 敘述 | 在剛開燈時，魚群就呈現均勻分散，無聚集之現象。   | 在開燈約10分鐘後，魚群也是均勻分散，並無聚集之現象。  | 在開燈約30分鐘後，魚群也是均勻分散，並無聚集之現象。   |
| 時間 | 1小時   | 2小時  | 3小時   |
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 在開燈約60分鐘後，魚群雖是呈均勻分散，但大部分都在整個魚缸底部。   | 在開燈約120分鐘後，魚群仍在魚缸底部呈均勻分散。  | 在開燈約180分鐘後，魚群仍在魚缸底部呈均勻分散。   |

## 2、矩形光場







觀察魚群在(1)照度 700Lux 矩形光型下的行為特徵，當開燈 30~120 分鐘後，發現魚群逐漸往水域下層與暗處擴散並停留在暗處；在 180 分鐘時，多數魚群均停留於矩形光型的週邊的暗區，第 2 區約佔 70%；第 1、3 區則佔 30%，第 4 區則無(如圖文 2-1)。(2)在照度 350Lux 時，當開燈 30~180 分鐘間，85% 以上魚群擴散停留在光型暗區右側(如圖文 2-2)。(3)照度 150Lux 時，當開燈 10 分鐘後，90% 的魚群分散於光型暗區的左側，30~180 分鐘間，魚群在水域下層變換移動(如圖文 2-3)。在矩形光場照度 700~350Lux 的環境下，約需 60 分鐘後魚群可穩定停留於明暗交界處；在照度 150Lux 環境中，魚群的反應如同對照組魚群的行為特徵一般，推論 150Lux 的照度不足以對魚群造成誘集的效果。

觀察紅球魚在矩形白光下的趨光行為後，發現魚群有躲在亮光周圍暗處之行為而且會沿著暗處擴散，無法將魚群留在特定的位置。因此，本研究將設計一種可營造出明暗明暗的牛頓光環透鏡，再搭配 LED 光源形成具牛頓光環之 LED 集魚燈具，觀察魚群的活動範圍是否可被限制在光型內。故委託製造兩種牛頓環透鏡，一種是 Lens I，可形成暗亮暗亮環帶，另一種是 Lens II 可形成亮暗亮暗環帶，分別加裝於 LED 集魚燈下，以利後續實驗觀察。

### 2-1. LED白光、照度值700 Lux

| 時間 | 前3分鐘  | 10分鐘   | 30分鐘  |
|----|---|--|---|
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 剛開燈時，魚群就被光線吸引聚集在第2區的亮區，少部分在第1區，3與4區則無魚群存在。  | 在開燈約10分鐘後，魚群逐漸向下游動，然後逐漸擴散，第1~2區約佔70%；第3~4區則佔30%。                                     | 在開燈約30分鐘後，魚群逐漸擴散魚缸上、中、下層，第1~2區約佔60%；第3~4區則佔40%。                                       |
| 時間 | 1小時   | 2小時  | 3小時   |
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 在開燈約60分鐘後，魚群稍微停留在下層，第1~2區約佔50%；第3~4區則佔50%。  | 在開燈約120分鐘後，魚群開始聚集於矩形光型的底部(包括亮、暗區)，第2區約佔80%；第1、3區則佔20%，第4區則無發現魚群。                     | 在開燈約180分鐘後，多數魚群均停留於矩形光型的週邊的暗區，第2區約佔70%；第1、3區則佔30%，第4區則無發現魚群。                          |

## 2-2. LED白光、照度值350 Lux

| 時間 | 前3分鐘  | 10分鐘   | 30分鐘  |
|----|---|--|---|
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 剛開燈時，大部分魚群就被光線吸引聚集在第2區的亮區的上層，少部分在下層亮區，其餘區域則無魚群存在。                                 | 開燈10分鐘後，魚群逐漸向下游動，然後逐漸擴散，在第1~2區約佔80%；第3~4區則佔20%。                                    | 開燈30分鐘後，約有90%的魚群擴散至光型暗區的右側，其餘區域則無魚群存在。  |
| 時間 | 1小時   | 2小時  | 3小時   |
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 在開燈約60分鐘後，約有85%的魚群仍停留於光型暗區的右側，有少許魚隻在光形亮區中，其餘區域則無魚群存在。                             | 在開燈約120分鐘後，約有85%的魚群停留於光型暗區的右側，有少許魚隻在光形亮區中，其餘區域則無魚群存在。                              | 在開燈約180分鐘後，約有90%的魚群停留於光型暗區的右側，有少許魚隻在光形亮區中，其餘區域則無魚群存在。                               |

## 2-3. LED白光、照度值150Lux

| 時間 | 前3分鐘  | 10分鐘   | 30分鐘  |
|----|---|--|---|
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 剛開燈時，部分魚群就被光線吸引聚集在第1~2區域，魚群並無明顯的聚集於亮區中，其餘區域則無魚群存在。                                  | 開燈約10分鐘後，約有90%的魚群遠離並分散於光型暗區的左側，有少許魚隻在光形亮區，其餘區域則無魚群存在。                                | 開燈約30分鐘後，魚群全數在水域下層，並分散在1~4區域中。  |
| 時間 | 1小時   | 2小時  | 3小時   |
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 開燈約60分鐘後，魚群逐漸游向亮區附近，但仍洄游在暗處，有少許魚隻在光形亮區，其第4區域則無魚群存在。                                 | 開燈約120分鐘後，魚群停留於光型亮區附近，但仍洄游於暗處，第4區域則無魚群存在。  | 開燈約180分鐘後，約有50%的魚群遠離並分散於光型暗區的左側，有25%在第2區域的亮區、25%在暗區，第4區域則無魚群存在。                       |

### 3、Lens I 牛頓環透鏡光場

Lens I牛頓環透鏡其光照度分佈，由中心依序往外為暗環、亮環、暗環、亮環，觀察魚群在LED白光下的行為特徵敘述如下表所示。在照度700~350Lux的環境下，從開燈至10分鐘後，魚群即開始呈現穩定停留於明暗交界處之現象，而且停留時間可達2.5小時、聚集程度約佔全部魚群的90%。在照度150Lux環境中，魚群雖可穩定停留於明暗交界處，但魚群聚集程度僅佔全部魚群的70%，其餘則擴散在牛頓環光型之外。

綜觀採用Lens I 牛頓環光型的實驗，當環境完全黑暗後，打開Lens I 集魚燈，幾乎所有紅球魚聚集於水族箱底牛頓環帶，魚群並無明顯快速洄游亮暗處行為，而代以緩慢間游間停行為聚集，因透過牛頓環照於箱底面積加大，所以聚集面積也相對較大。此外，只有零星幾隻偶被水面上集魚燈吸引。魚群聚集於水族箱底牛頓環帶持續3小時，期間雖有游動位置變換(大多水平游動，僅極少數垂直游動)，但幾乎都未遠離環帶，僅見零星個體洄游進出水箱底部的牛頓環帶，直至錄影結束。緊接著本研究再利用不同色光(依序採用紅光、綠色與藍光)，觀察魚群在不同色光環境中，是否仍會聚集在Lens I牛頓光型內。

#### 3-1. LED白光、照度值700 Lux

| 時間 | 前3分鐘  | 10分鐘  | 30分鐘  |
|----|---|---|---|
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 剛開燈時，絕大部分魚群就被光線吸引聚集在第1~2區的牛頓光環中，第4區無魚存在。  | 開燈約10分鐘後，魚群逐漸向下游動，並明顯聚集於牛頓環的明暗相間處。  | 開燈約30分鐘後，魚群停留於牛頓環的明暗相間處，並在附近游動，魚群沒有長距離的移動。  |
| 時間 | 1小時   | 2小時   | 3小時   |
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 開燈60分鐘後，魚群停留於牛頓環的明暗相間處，並在附近游動，魚群無長距離的移動。  | 開燈120分鐘後，魚群仍停留於牛頓環的明暗相間處，少數個體魚會在附近游動，魚群沒有長距離的移動。                                    | 開燈180分鐘後，魚群仍停留於牛頓環的明暗相間處，少數個體魚會在附近游動，魚群沒有長距離的移動。                                      |

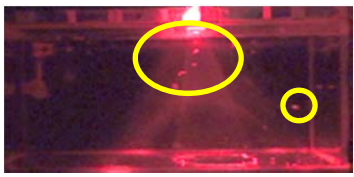
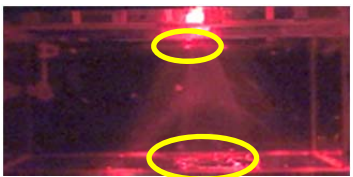




### 3-2. LED白光、照度值350 Lux

| 時間 | 前3分鐘  | 10分鐘   | 30分鐘  |
|----|---|--|---|
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 剛開燈時，絕大部分魚群就被光線吸引聚集在第1~2區的牛頓光環中的上、下層水域，第4區無魚存在。                                   | 開燈約10分鐘後，大部分魚群即開始聚集於牛頓環底部的明暗相間處。   | 開燈約30分鐘後，魚群停留於牛頓環的明暗相間處，並在附近游動，魚群沒有長距離的移動。  |
| 時間 | 1小時   | 2小時  | 3小時   |
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 開燈約60分鐘後，魚群停留於牛頓環的明暗相間處，並在光型範圍內游動，魚群沒有長距離的移動。                                     | 開燈約120分鐘後，魚群仍停留於牛頓環的明暗相間處，少數個體魚會在光型範圍內游動，魚群沒有長距離的移動。                               | 開燈約180分鐘後，魚群仍停留於牛頓環的明暗相間處，少數個體魚會在光型範圍內游動，魚群沒有長距離的移動。                                |







### 3-3. LED白光、照度值150 Lux

| 時間 | 前3分鐘  | 10分鐘   | 30分鐘  |
|----|---|--|---|
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 剛開燈時，絕大部分魚群就被光線吸引聚集在牛頓光環下層水域，但有散擴現象。  | 開燈約10分鐘後，大部分魚群即開始聚集於牛頓環底部的明暗相間處。   | 開燈約30分鐘後，魚群仍停留於牛頓環的明暗相間處，並在附近游動，魚群沒有長距離的移動。   |
| 時間 | 1小時   | 2小時  | 3小時   |
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 開燈60分鐘後，80%魚群仍停留於牛頓環的明暗相間處，少數魚隻會在光型範圍外游動。   | 開燈約120分鐘後，魚群仍停留於牛頓環的明暗相間處，但有散擴現象。  | 開燈約180分鐘後，80%魚群仍停留於牛頓環的明暗相間處，少數個體魚會在光型範圍外游動。  |

### 3-4. LED紅光、照度值700 Lux







| 時間 | 前3分鐘  | 10分鐘   | 30分鐘  |
|----|---|--|---|
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 剛開燈時，絕大部分魚群就被光線吸引聚集在第1~2區的牛頓光環中的上水域，第4區無魚存在。                                      | 開燈約10分鐘後，有一部分魚群仍在光源處，但大部分魚群即開始聚集於牛頓環底部的明暗相間處。                                      | 開燈約30分鐘後，魚群仍停留於牛頓環的明暗相間處，並在附近游動，魚群沒有長距離的移動。   |
| 時間 | 1小時   | 2小時  | 3小時   |
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 開燈約60分鐘後，魚群仍停留於牛頓環的明暗相間處，少數個體魚會在光型範圍內游動，魚群沒有長距離的移動。                               | 開燈約120分鐘後，魚群仍停留於牛頓環的明暗相間處，魚群沒有長距離的移動。  | 開燈約180分鐘後，大部分魚群仍停留於牛頓環的明暗相間處，少數個體魚會在光型範圍內游動，魚群沒有長距離的移動。                             |

### 3-5. LED紅光、照度值350 Lux







| 時間 | 前3分鐘  | 10分鐘   | 30分鐘  |
|----|---|--|---|
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 剛開燈時，絕大部分魚群就被光線吸引聚集在第1~2區的牛頓光環中的上水區域，第4區無魚存在。                                       | 開燈約10分鐘後，有一部分魚群仍在光源處，但大部分魚群即開始聚集於牛頓環底部的明暗相間處。  | 開燈約30分鐘後，魚群仍停留於牛頓環的明暗相間處，並在附近游動，魚群沒有長距離的移動。   |
| 時間 | 1小時   | 2小時  | 3小時   |
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 開燈約60分鐘後，魚群無明顯快速洄游亮暗處行為，而代以緩慢間游間停行為聚集。  | 開燈約120分鐘後，魚群仍停留於牛頓環的明暗相間處，且有高聚集性現象。  | 開燈約180分鐘後，大部分魚群仍停留於底部牛頓環的明暗相間處，少數個體魚會在光型範圍內游動。  |









### 3-6. LED紅光、照度值150 Lux

| 時間 | 前3分鐘  | 10分鐘   | 30分鐘  |
|----|---|--|---|
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 剛開燈時，絕大部分魚群就被光線吸引聚集在第1~2區的牛頓光環中的上層水域。   | 開燈約10分鐘後，大部分魚群即開始聚集於牛頓環底部的明暗相間處移動。   | 開燈約30分鐘後，魚群無明顯快速洄游亮暗處行為，而代以緩慢間游間停行為聚集。  |
| 時間 | 1小時   | 2小時  | 3小時   |
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 開燈約60分鐘後，魚群仍停留於牛頓環的下層水域之明暗相間處，並且在附近游動。  | 開燈約120分鐘後，魚群仍停留於底部牛頓環的明暗相間處，少數個體魚隻會在光型範圍內游動。                                       | 開燈約180分鐘後，魚群仍停留於牛頓環的下層水域之明暗相間處，並且在附近游動。   |







### 3-7. LED綠光、照度值700 Lux

| 時間 | 前3分鐘  | 10分鐘  | 30分鐘  |
|----|---|---|---|
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 剛開燈時，絕大部分魚群就被牛頓光環吸引聚集在第1~2區的上、下層水域。   | 開燈約10分鐘後，大部分魚群仍被牛頓光環吸引聚集在第1~2區的上、下層水域。  | 開燈約30分鐘後，大部分魚群漸漸的往牛頓光環的下層水域移動，上方的魚群變得稀疏   |
| 時間 | 1小時   | 2小時   | 3小時   |
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 開燈約60分鐘後，魚群仍停留於底部牛頓環的明暗相間處，但有往3~4區擴散之趨勢。  | 開燈約120分鐘後，魚群仍停留於底部牛頓環的明暗相間處，但明顯往1~2區擴散。   | 燈約180分鐘後，停留於底部牛頓環的明暗相間處的魚群，明顯減少。  |







### 3-8. LED綠光、照度值350 Lux

| 時間 | 前3分鐘  | 10分鐘   | 30分鐘  |
|----|---|--|---|
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 剛開燈時，絕大部分魚群就被光線吸引聚集在牛頓光環下層水域。   | 開燈10分鐘後，更多魚群聚集於牛頓環底部的明暗相間處。  | 開燈約30分鐘後，魚群仍停留於牛頓環的下層水域之明暗相間處，並且在附近游動。  |
| 時間 | 1小時   | 2小時  | 3小時   |
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 開燈約60分鐘後，魚群仍停留於底部牛頓環的明暗相間處，但有往第3區擴散之趨勢。   | 開燈約120分鐘後，魚群無明顯快速洄游亮暗處行為，而代以緩慢間游間停行為聚集。  | 開燈約180分鐘後，魚群無明顯快速洄游亮暗處行為，而代以緩慢間游間停行為聚集。   |




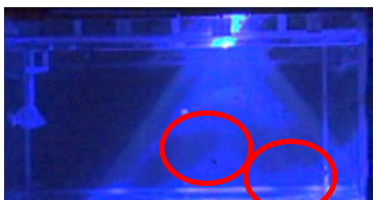


### 3-9. LED綠光、照度值150Lux

| 時間 | 前3分鐘  | 10分鐘  | 30分鐘  |
|----|---|---|---|
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 剛開燈時，絕大部分魚群就被光線吸引聚集在牛頓光環下層水域。   | 開燈約10分鐘後，大部分魚群聚集於牛頓環底部的明暗相間處。   | 開燈約30分鐘後，大部分魚群聚集於牛頓環底部的明暗相間處，但有向左偏移趨勢   |
| 時間 | 1小時   | 2小時   | 3小時   |
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 開燈約60分鐘後，魚群仍停留於底部牛頓環的明暗相間處，有向第3區擴散之趨勢。  | 在開燈約120分鐘後，魚群無明顯快速洄游亮暗處行為，而代以緩慢間游間停行為聚集於光型內。  | 在開燈約180分鐘後，魚群仍停留於底部牛頓環的明暗相間處，但有往第1區擴散之趨勢。   |

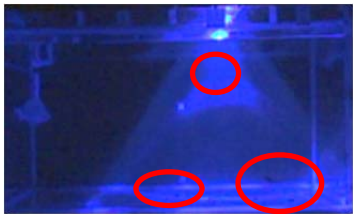
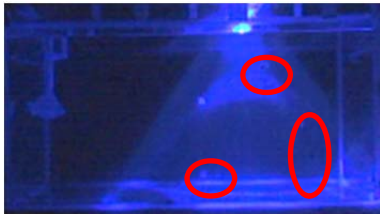
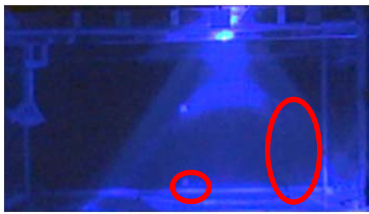
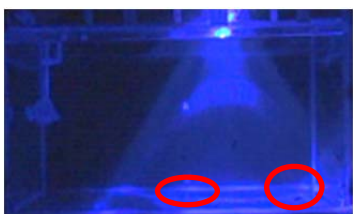

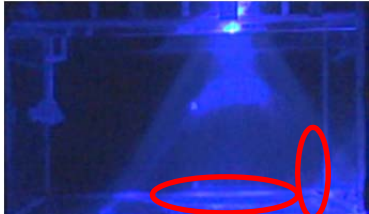
### 3-10. LED藍光、照度值700 Lux

| 時間 | 前1分鐘  | 10分鐘   | 30分鐘  |
|----|---|--|---|
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 剛開燈時，大部分魚群被藍光吸引慢慢聚集在牛頓光環上、下層水域。   | 開燈10分鐘後，大部分魚群仍被牛頓光環吸引聚集在光型內的下層水域且魚群會漸漸的靠光源。  | 開燈約30分鐘後，魚群仍停留於牛頓環的明暗相間處，並在附近游動。  |
| 時間 | 1小時   | 2小時  | 3小時   |
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 開燈約60分鐘後，魚群仍停留於牛頓環的明暗相間處，並在附近游動，且有向上游之趨勢。   | 開燈約120分鐘後，魚群仍舊停留於牛頓環的明暗相間處，但停留區域擴散至第1~3區域。   | 開燈約180分鐘後，魚群仍舊停留於牛頓環的明暗相間處，但停留區域擴散至第1~3區域，且有向上游之趨勢。                                 |

### 3-11. LED藍光、照度值350 Lux

| 時間 | 前1分鐘  | 10分鐘   | 30分鐘  |
|----|---|--|---|
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 剛開燈時，魚群被藍光光線吸引聚集在第1~2區的牛頓光環中的上、下層水域中。   | 開燈10分鐘後，大部分魚群逐漸被牛頓光環吸引聚集在光型下層水域。   | 開燈30分鐘後，大部分魚群逐漸被牛頓光環吸引聚集在光型下層水域，有部分魚群停留第1區的中層水域緩慢移動。                                  |
| 時間 | 1小時   | 2小時  | 3小時   |
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 開燈60分鐘後，大部分魚群仍被牛頓光環吸引聚集明暗光型內之下層水域，有部分魚群停留第1區的中層水域緩慢移動。                              | 開燈120分鐘後，魚群逐漸分散，但依舊停留在光圈內  | 開燈180分鐘後，大部分魚群仍被牛頓光環吸引聚集明暗光型內之下層水域，有部分魚群則緩慢游向光源處。                                     |

### 3-12. LED藍光、照度值150Lux

| 時間 | 前1分鐘  | 10分鐘   | 30分鐘  |
|----|---|--|---|
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 在剛開燈時，魚群被藍光光線吸引聚集在第1~3區的牛頓光環中的上、下層水域中。  | 開燈10分鐘後，大部分魚群逐漸被牛頓光環吸引聚集在光型上、中、下層水域中。  | 開燈30分鐘後，有部份魚群仍在牛頓光環內的下層水域，有部分魚群停留第1區的中層水域。  |
| 時間 | 1小時   | 2小時  | 3小時   |
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 開燈60分鐘後，大部分魚群仍被牛頓光環吸引聚集明暗光型內之下層水域，有部分魚群停留第1區的中層水域緩慢移動。                            | 開燈120分鐘後，魚群逐漸分散，但依舊停留在光圈內  | 開燈180分鐘後，大部分魚群仍被牛頓光環吸引聚集明暗光型內之中、下層水域，有部分魚群則停留在水族箱右側。                                |

綜合上述 Lens I牛頓環光型的實驗結果如圖12所示，**(1)**對於不同色光的實驗觀察，白光的700Lux、350Lux；紅色的700Lux、350Lux；綠光350 Lux、150 Lux以及藍光的700Lux，對於魚群的聚集效果最佳。可使大部份的魚群都能以緩慢間游間停行為聚集、停留於牛頓光環內，至少約2小時以上，再仔細探究光色的聚集力則是綠光>白光>紅光>藍光。**(2)**針對不同亮度的實驗觀察，綠光的700Lux雖然一開始具有不錯的魚群聚集能力，但經過約60分鐘後，開始觀察到魚群有逐漸游向水族箱兩側暗區，而待在牛頓光型之外。據推論是700Lux的綠光太過強烈，造成牛頓光環內的明暗差異不明顯所致。這種現象也類似於白光的150Lux、紅色的150Lux與矩形光型的150Lux，三者皆因光照亮度太弱，造成明暗區域的亮度值不夠明顯，無法誘集魚群到特定的光型內停留。

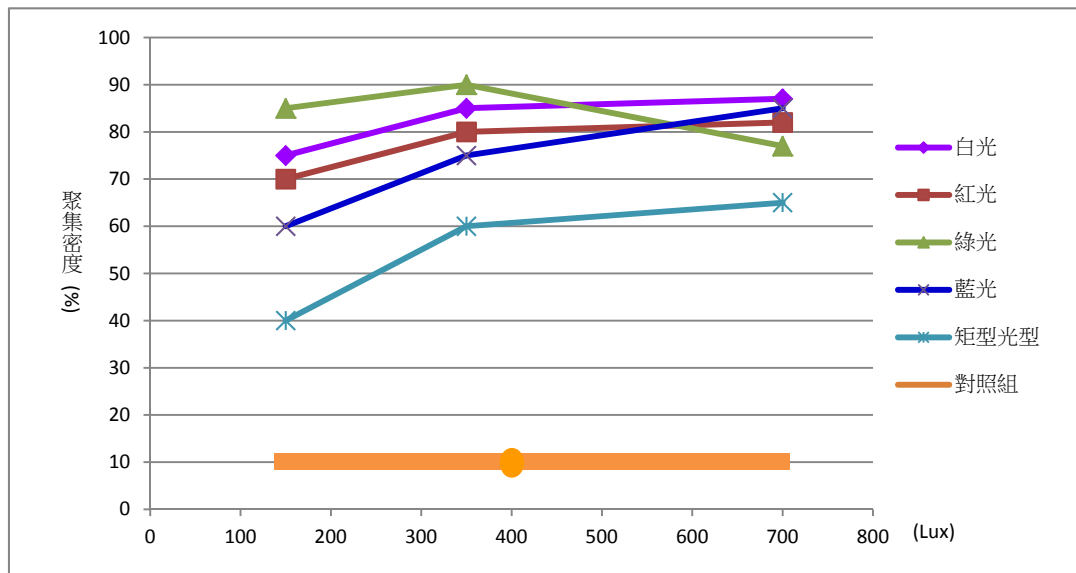




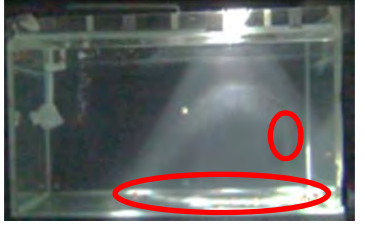



圖12 Lens I 牛頓環光型的實驗結果與矩型光型、對照組比較

#### 4、Lens II 牛頓環透鏡光場







Lens II 牛頓環透鏡其光強度分佈，由中心依序往外為亮環、暗環、亮環、暗環，觀察魚群(1)在照度700Lux與350Lux白光下的行為特徵，當打開集魚燈後，魚群密集聚集於水面集魚燈下，並呈現亮處暗處洄游，少數個體游向箱底環帶處，造成數量漸減，持續時間25分後，水面集魚燈下只剩稀疏幾隻，大部分魚群停留於箱底環帶處(仍見水平游動，變動在環帶中位置，垂直游動較先前LensI稍微增多)，直至3小時錄影觀察結束(如圖文4-1與4-2)。(2)在照度150Lux白光時，從開燈後至觀察時間結束，魚群雖仍停留於牛頓環的明暗相間處，但聚集的程度並較700Lux與350Lux的照度差(如圖文4-3)。

**Lens II 白光牛頓環透鏡光場觀察結論為**，在照度350Lux的環境下，魚群很快即呈現穩定停留於明暗交界處之現象，聚集程度約佔全部魚群的90%，而且在光型停留時間可達2.5小時，僅有零星幾隻偶被水面上集魚燈吸引，游去又游回，似乎在尋找獵物般。在照度700Lux與150Lux環境中，魚群雖可穩定停留於明暗交界處，但魚群聚集程度僅佔全部魚群的70%，其餘側擴散在牛頓環光型之外。







#### 4-1. LED白光、照度值700 Lux

| 時間 | 前3分鐘  | 10分鐘   | 30分鐘  |
|----|---|--|---|
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 在剛開燈時，絕大部分魚群就被光線吸引聚集在牛頓光環中  | 在開燈約10分鐘後，魚群明顯聚集於牛頓環底部的明暗相間處。  | 在開燈約30分鐘後，魚群仍停留於牛頓光環底部的明暗相間處。   |
| 時間 | 1小時   | 2小時  | 3小時   |
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 在開燈約60分鐘後，魚群仍停留於牛頓光環底部的明暗相間處。   | 在開燈約120分鐘後，魚群仍停留於牛頓光環底部的明暗相間處，有少數魚隻游向光源處。  | 在開燈約180分鐘後，絕大部分魚群仍停留於牛頓光環底部的明暗相間處。  |




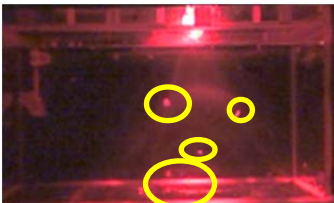


#### 4-2. LED白光、照度值350 Lux

| 時間 | 前3分鐘  | 10分鐘   | 30分鐘  |
|----|---|--|---|
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 剛開燈時，絕大部分魚群就被光線吸引聚集在牛頓光環中   | 開燈約10分鐘後，魚群明顯聚集於牛頓環底部的明暗相間處。   | 開燈約30分鐘後，魚群稍微移動至魚缸右側，但仍有光型內。  |
| 時間 | 1小時   | 2小時  | 3小時   |
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 開燈60分鐘後，全部魚群仍停留於牛頓光環底部的明暗相間處。   | 開燈約120分鐘後，魚群稍微移動至魚缸右側，但仍有光型內。  | 開燈約180分鐘後，魚群仍停留於牛頓光環底部的明暗相間處，有魚群向右側聚集。  |


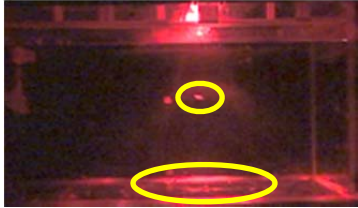
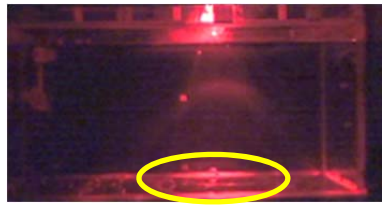
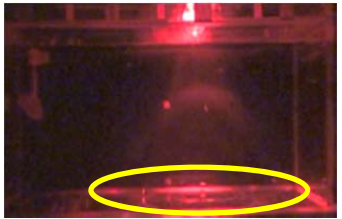
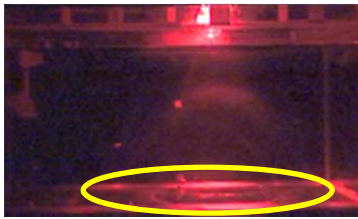

### 4-3. LED白光、照度值150 Lux

| 時間 | 前3分鐘  | 10分鐘   | 30分鐘  |
|----|---|--|---|
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 剛開燈時，絕大部分魚群就被光線吸引聚集在光源下方。   | 開燈約10分鐘後，大部分魚群漸漸往牛頓環底部明暗相間處聚集。   | 開燈約30分鐘後，魚群仍停留於牛頓光環底部的明暗相間處，但向右側聚集。   |
| 時間 | 1小時   | 2小時  | 3小時   |
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 開燈約60分鐘後，全部魚群則開始停留於牛頓光環底部的明暗相間處。  | 開燈約120分鐘後，全部魚群仍停留於牛頓光環底部的明暗相間處。  | 開燈約180分鐘後，魚群則聚集於第1暗圈和第2暗圈處。   |


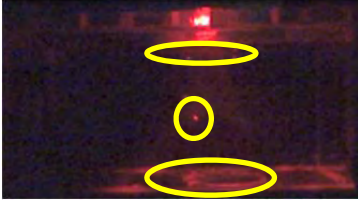




### 4-4. LED紅光、照度值700 Lux

| 時間 | 前3分鐘  | 10分鐘   | 30分鐘  |
|----|---|--|---|
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 剛開燈時，大部分魚群就被光型吸引聚集在第2區的上、中、下水域，第4區無魚存在。   | 開燈約10分鐘後，少部分魚群仍在光源處，大部分魚群開始聚集於牛頓環底部的明暗相間處。   | 開燈約30分鐘後，有部分魚群在光型內的中層水域，部分魚群開始聚集於牛頓環底部明暗相間處。  |
| 時間 | 1小時   | 2小時  | 3小時   |
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 開燈約60分鐘後，魚群仍停留於牛頓環的明暗相間處，至聚集範圍較大。   | 開燈約120分鐘後，少部分魚群仍在光源處，大部分魚群仍聚集於牛頓環底部的明暗相間處。   | 開燈約180分鐘後，大部分魚群停留於牛頓環底部的明暗相間處，魚群沒有長距離的移動。   |

#### 4-5. LED紅光、照度值350 Lux







| 時間 | 前3分鐘  | 10分鐘   | 30分鐘  |
|----|---|--|---|
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 剛開燈時，絕大部分魚群就被光線吸引聚集在第2區的光源下方。第4區無魚群。  | 開燈約10分鐘後，魚群開始往下水域游動，但仍在光型內。  | 開燈約30分鐘後，大部分魚群停留於牛頓環底部的明暗相間處，魚群沒有長距離的移動。  |
| 時間 | 1小時   | 2小時  | 3小時   |
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 開燈約60分鐘後，魚群停留於牛頓環底部的明暗相間處，魚群沒有長距離的移動。   | 開燈約120分鐘後，魚群仍停留於牛頓環底部的明暗相間處，但較為擴散。   | 開燈約180分鐘後，大部分魚群停留於牛頓環底部的明暗相間處，魚群沒有長距離的移動。   |

#### 4-6. LED紅光、照度值150 Lux



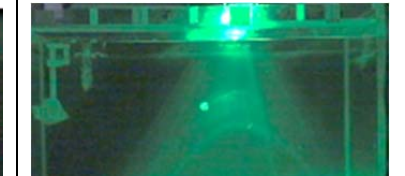



| 時間 | 前3分鐘  | 10分鐘   | 30分鐘  |
|----|---|--|---|
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 開燈時，絕魚群就被光線吸引聚集在光源正下方的上層水域中。  | 在開燈約10分鐘後，魚群則慢慢的往，牛頓環底部的明暗相間處游動。   | 在開燈約30分鐘後，大部分魚群停留於牛頓環底部的明暗相間處，魚群沒有長距離的移動。   |
| 時間 | 1小時   | 2小時  | 3小時   |
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 在開燈約60分鐘後，魚群仍停留於牛頓環底部的明暗相間處，魚群沒有長距離的移動。   | 在開燈約120分鐘後，魚群更集中的停留於牛頓環底部的明暗相間處。   | 在開燈約180分鐘後，魚群仍停留於牛頓環底部的明暗相間處，恢復常態。  |




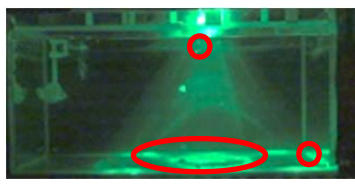
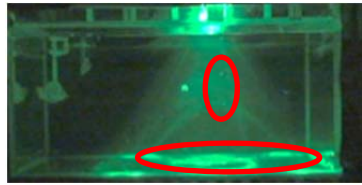
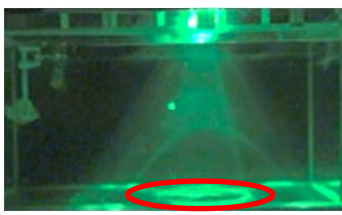
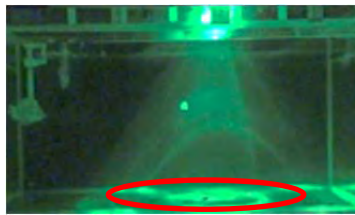

#### 4-7. LED綠光、照度值700 Lux

| 時間 | 前3分鐘  | 10分鐘  | 30分鐘  |
|----|---|---|---|
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 在剛開燈時，大部分魚群就被吸引聚集在牛頓光環的下層水域。  | 在開燈約10分鐘後，魚群停留於底部牛頓環的明暗相間處，往1~2區聚集。   | 在開燈約30分鐘後，魚群仍停留於底部牛頓環的明暗相間處，往1~2區聚集。  |
| 時間 | 1小時   | 2小時   | 3小時   |
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 在開燈約60分鐘後，魚群仍停留於底部牛頓環的明暗相間處，但有往3區擴散之趨勢。   | 在開燈約120分鐘後，魚群仍停留於底部牛頓環的明暗相間處，往1~2區聚集。   | 在開燈約180分鐘後，魚群仍停留於底部牛頓環的明暗相間處，但有往3區擴散之趨勢。  |




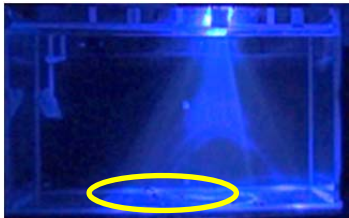
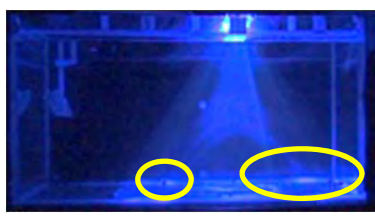

#### 4-8. LED綠光、照度值350 Lux

| 時間 | 前3分鐘  | 10分鐘  | 30分鐘  |
|----|---|---|---|
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 在剛開燈時，絕大部分魚群就被光線吸引聚集在牛頓光環下層水域。  | 在開燈約10分鐘後，魚群漸漸分布於光型中的上、下水域中   | 在開燈約30分鐘後，魚群仍分布於光型中的上、下水域中，但有漸漸向下移動。  |
| 時間 | 1小時   | 2小時   | 3小時   |
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 在開燈約60分鐘後，魚群仍停留於底部牛頓環的明暗相間處，但有往第3區擴散之趨勢。  | 在開燈約120分鐘後，魚群仍停留於底部牛頓環的明暗相間處，停留區域包括第1~3區。   | 在開燈約180分鐘後，魚群仍停留於底部牛頓環的明暗相間處，有稍微集中於1~2區域中。  |

#### 4-9. LED綠光、照度值150Lux

| 時間 | 前3分鐘  | 10分鐘   | 30分鐘  |
|----|---|--|---|
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 在剛開燈時，絕大部分魚群就被光線吸引聚集在牛頓光環下層水域。  | 在開燈約10分鐘後，大部分魚群聚集於牛頓光環底部，少部分在水源下方與水域右側。  | 在開燈約30分鐘後，大部分魚群聚集於牛頓光環底部偏左側，少部分魚群在聚集在水域右側。  |
| 時間 | 1小時   | 2小時  | 3小時   |
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 在開燈約60分鐘後，魚群再度停留聚集於底部牛頓環的明暗相間處。   | 在開燈約120分鐘後，魚群幾乎不移動的停留聚集於底部牛頓環的明暗相間處。   | 開燈約180分鐘後，魚群幾乎不移動的停留聚集於底部牛頓環的明暗相間處。且幾乎停留於同一處。                                       |

#### 4-10. LED藍光、照度值700 Lux

| 時間 | 前3分鐘  | 10分鐘   | 30分鐘  |
|----|---|--|---|
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 在剛開燈時，大部分魚群被藍光吸引慢慢聚集在牛頓光環下層水域。  | 在開燈10分鐘後，魚群聚集在牛頓光環下層水域，但魚群有微微分散趨勢。   | 開燈30分鐘後，魚群聚集在牛頓光環下層水域，且魚群有分成兩群。   |
| 時間 | 1小時   | 2小時  | 3小時   |
| 照片 |  |  |  |
| 敘述 | 開燈60分鐘後，魚群聚集在牛頓光環下層水域，且魚群仍分成兩群。   | 開燈120分鐘後，大部分魚群聚集在牛頓光環下層右側水域，   | 在開燈180分鐘後，魚群再度聚集於牛頓光環左下層水域。   |

#### 4-11. LED藍光、照度值350 Lux

| 時間 | 前3分鐘                           | 10分鐘                                | 30分鐘                             |
|----|--------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| 照片 |                                |                                     |                                  |
| 敘述 | 在剛開燈時，絕大部分魚群就被光線吸引聚集在牛頓光環下層水域。 | 在開燈10分鐘後，魚群聚集在牛頓光環下層水域，但魚群有微微分散趨勢。  | 開燈30分鐘後，魚群聚集在牛頓光環下層水域，且魚群明顯分成兩群。 |
| 時間 | 1小時                            | 2小時                                 | 3小時                              |
| 照片 |                                |                                     |                                  |
| 敘述 | 在開燈60分鐘後，魚群又聚集於牛頓光環左下層水域。      | 在開燈120分鐘後，魚群聚集在牛頓光環下層水域，但魚群有微微分散趨勢。 | 在開燈180分鐘後，魚群又聚集於牛頓光環左下層水域。       |

#### 4-12. LED藍光、照度值150 Lux

| 時間 | 前3分鐘                             | 10分鐘                                 | 30分鐘                               |
|----|----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 照片 |                                  |                                      |                                    |
| 敘述 | 開燈後，魚群聚集在牛頓光環下層水域，且魚群明顯分成兩群。     | 開燈後10分鐘後，魚群漸漸聚集於光型中央位置               | 在開燈30分鐘後，魚群聚集在牛頓光環下層水域，但魚群有微微分散趨勢。 |
| 時間 | 1小時                              | 2小時                                  | 3小時                                |
| 照片 |                                  |                                      |                                    |
| 敘述 | 開燈後60分鐘後，魚群雖聚集在牛頓光環下層水域，但明顯分成兩群。 | 在開燈120分鐘後，魚群仍聚集在牛頓光環下層水域，但魚群有微微分散趨勢。 | 開燈後180分鐘後，魚群雖聚集在牛頓光環下層水域，但明顯又分成兩群。 |

綜合上述Lens II牛頓環光型的實驗結果如圖13所示，(1)對於不同色光的實驗觀察，白光的350Lux；紅色的350Lux；綠光700Lux、350 Lux、150 Lux以及藍光的700Lux，對於魚群的聚集效果最佳，且停留於牛頓光環內至少2小時以上，再仔細探究光色的聚集力則發現綠光>白光>紅光>藍光，此結果與Lens I 相似。(2)針對不同亮度的實驗觀察，發現當水中的亮度約在350Lux時，其魚群聚集密度較高且停留時間較長，其次亮度為700Lux、之後才是150Lux。白光700Lux與紅光的700Lux雖有不錯的聚魚與留魚效果，但魚群聚集密度則低於照度為350Lux的白光與紅光。推論是700Lux的光線太強，造成水族箱環境中明暗差異不明顯所致。這種現象也類似於150Lux的照度，因光照亮度太弱，使得光型不夠明顯，無法誘集魚群到特定的光型內停留。

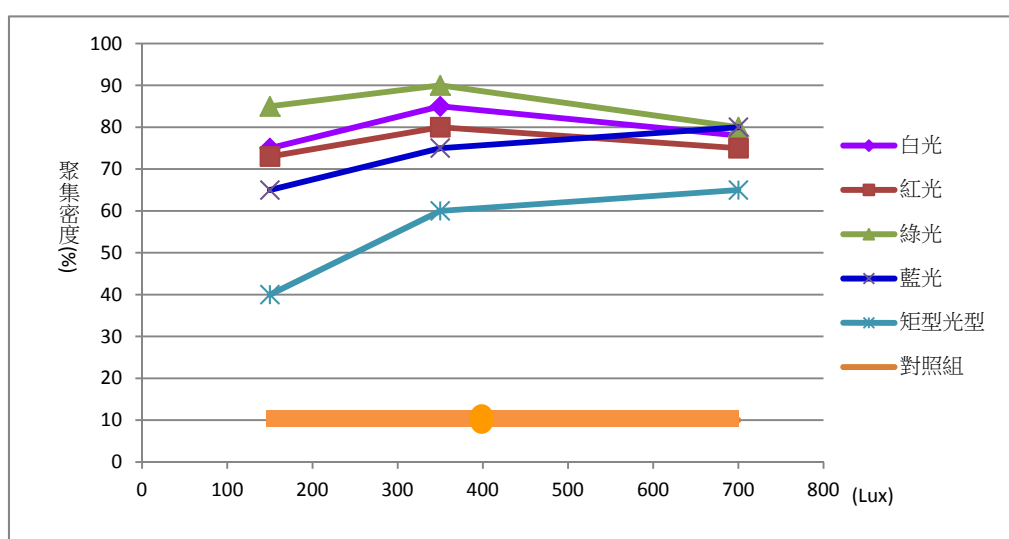


圖13 Lens II 牛頓環光型的實驗結果與矩型光型、對照組比較

## 伍、實驗結果與討論

本研究引用高雄中信造船公司的遠洋漁船團隊，提供2015年的船隊資料(包括船名、集魚燈盞數與漁獲量)。「漁獲最多的安豐118號遠洋漁船其集魚燈具共有250盞，而漁獲最少的永大明號，也是使用250盞集魚燈具，裝置300盞集魚燈的安豐111號、富國1號與順慶1號，其漁獲量也並非最多」。因此，上述資料說明，「燈泡數目越多、漁獲量並非最大」。而且一艘船的傳統燈具約有250盞不等(1盞燈耗電量為4仟W)，每天的耗電量為8000度(仟瓦-小時)，電費為2萬8仟元(1度電以3.5元計算)；若能換裝具牛頓光環的LED集魚燈(1盞燈耗電量為300W)，每天的耗電量為600度(仟瓦-小時)，電費為2100元，約僅為傳統燈具的1/10。由以上數據推論，未來若引用本研究的概念，「光之黑影吸引力—具牛頓光環的LED集魚燈」，以科學的方法誘集魚群，不需採用大耗電量的集魚燈，勢必可減少90%以上的耗油量(耗電量)，大幅降低漁獲成本，達到節能減碳、提高台灣國際形象之目的。

綜整全部實驗結果如下表所示，對照組與矩型光型的魚群聚集密度與停留時間，都比 Lens I 和 Lens II 牛頓環光型較差。且 Lens I 和 Lens II 牛頓環光型在 700 Lux 和 350 Lux 有相同的魚群聚集能力。由實驗觀察顯示，集魚燈不需一味著追求亮度，只要利用光型引誘即可達到聚集魚群之效果。以下分別依照(1)魚群在不同光型下，其聚集行為特性；(2)在不同光色時，魚群的聚集速度與停留時間與(3)在不同亮度時，魚群的聚集速度與停留時間，進行討論之。

表2 綜整全部實驗之魚群聚集密度與停留時間表示圖

| 光型       | 無 矩         |             | Len I 牛頓環光型 |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             | Len II 牛頓環光型 |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |   |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---|
|          | 白           | 白           | 白           |             |             | 紅           |             |             | 綠           |             |             | 藍           |             |             | 白            |             |             | 紅           |             |             | 綠           |             |             | 藍           |             |             |   |
| 照度 (Lux) | 4<br>0<br>0 | 7<br>0<br>0 | 7<br>0<br>0 | 3<br>5<br>0 | 1<br>5<br>0 | 7<br>0<br>0 | 3<br>5<br>0 | 1<br>5<br>0 | 7<br>0<br>0 | 3<br>5<br>0 | 1<br>5<br>0 | 7<br>0<br>0 | 3<br>5<br>0 | 1<br>5<br>0 | 7<br>0<br>0  | 3<br>5<br>0 | 1<br>5<br>0 | 7<br>0<br>0 | 3<br>5<br>0 | 1<br>5<br>0 | 7<br>0<br>0 | 3<br>5<br>0 | 1<br>5<br>0 | 7<br>0<br>0 | 3<br>5<br>0 | 1<br>5<br>0 |   |
| 聚集密度     | ×           | △           | ○           | ○           | △           | ○           | ○           | △           | △           | ○           | ○           | ○           | △           | △           | △            | ○           | △           | △           | ○           | △           | ○           | ○           | ○           | ○           | ○           | △           | △ |
| 停留時間     | ×           | ×           | ○           | ○           | ○           | ○           | ○           | ○           | ○           | ○           | ○           | ○           | ○           | △           | ○            | ○           | ○           | ○           | ○           | ○           | ○           | ○           | ○           | ○           | ○           | ○           | △ |

註：×表示魚群無聚集性(低於 60%)；△表示魚群略有聚集性(低於 80%)；○表示魚群聚集性佳(高於(含)80%)

(a)魚群在不同光型下，魚群的聚集行為特性

在上述觀察實驗得知，對照組無法聚魚行為，而矩形光型的集魚速度雖然比 Lens I 和 Lens II 牛頓環光型來得快，但魚群停留時間卻只有短短的 2~3 分鐘。此差異在於牛頓環光型提供了魚群躲藏的地方，大大從 3 分鐘拉長到 2.5 小時以上的魚群聚集時間。再比較 Lens I 和 Lens II 牛頓環光型的差異，就魚群聚集密度而言，**Lens I > Lens II > 矩型 > 無光型**，推論是牛頓環光型具亮暗相間的環境供魚群躲藏，所以魚群聚集密度大於矩型與無光型。另外 Lens I 最外圈為亮圈，光型提供了中間與第二環兩處暗圈讓魚群停留，故 Lens I 的魚群聚集密度高於 Lens II。

(b)在不同光色時，魚群的聚集速度與停留時間

本實驗也使用白、紅、綠與藍四種光色去比對何種光色對魚群吸引力較強，觀察分析後發現白光與綠光較其他光色具有較佳的吸引力。因此，就光色的聚集力而言，則是**綠光 > 白光 > 紅光 > 藍光**。

(c)在不同亮度時，魚群的聚集速度與停留時間

以照度為討論對象，無論是 Lens I 和 Lens II 牛頓環光型，在照度 350Lux 的環境下，魚群呈現穩定停留於明暗交界處，僅有零星幾隻魚，偶被水面上集魚燈吸引，游去又游回或穿梭在亮暗相間處。在照度 700Lux 與 150Lux 環境中，魚群雖可穩定停留於明暗交界處，但魚群也容易擴散在牛頓環光型之外。

最後，由本實驗獲知，無論是 Lens I 或 Lens II，魚群無明顯快速洄游亮暗處行為，而是以緩慢間游間停行為聚集、停留於牛頓環光型之內。換句話說，當魚群習慣環境中同一強度的光刺激後，便會逐漸的離開強光區，並在明、暗交界處逗留及徘徊。

## 陸、結論

- 1、包括矩形光，Lens I 及 Lens II 之白光、紅光、藍光，在 150 Lux 光照下，因亮度太弱，造成明暗亮度值不夠明顯，而無法誘集魚群到特定處聚集。
- 2、亮度愈高，聚魚效果不見得愈佳，在 Lens I 綠光 700 Lux 及 Lens II 白光 700Lux、紅光 700Lux，反而造成牛頓光環內的明暗差異不明顯，在 60 分鐘後，逐漸減弱牛頓環內聚集效果。
- 3、在矩形光場實驗中，開始為趨光性聚魚，但持續時間短暫，使用 700~350Lux 照明，約需 60 分鐘後，才能使魚群逐漸聚於明暗交接處。在矩形光聚魚觀察過程中，350Lux 在 60 分鐘後聚魚效果，反而優於 700Lux，此呼應上述之亮度愈高，聚集效果不一定愈好。
- 4、如表 2 所示，利用牛頓環 Lens I 和 Lens II 的實驗中，其魚群聚集且停留的時間遠優於傳統如矩形光場，可使大部份的魚群停留在牛頓光環內，以緩慢間游間停行為聚集、停留於光型內，可達 2.5 小時以上。
- 5、綜上所述，牛頓光環在趨光集魚，短效未必比矩形光場佳，但其所產生的明暗環境，可營造出緩慢間游間停的長期聚集行為。此外，不管矩形光場或牛頓光環，亮度不夠，聚集效果不佳；亮度太亮，聚集效果反而有下降趨勢，適當的亮度，既可以達到聚集效果，也可以有效省電節能。
- 6、若引用本研究的概念，「光之黑影吸引力—具牛頓光環的 LED 集魚燈」，以科學的方法誘集魚群，不需採用大耗電量的集魚燈，勢必可減少 90% 以上的耗油量(耗電量)，大幅降低漁獲成本，達到節能減碳、提高台灣國際形象之目的。

由本研究的實驗結果證實，「生物科技方式捕魚，並非需要耗盡大量能源的方式來換取魚獲」。從實驗中得知魚群確有趨光性的行為產生，若漁民能透過魚種敏感的色光波長與適當照度，進而使用正確設計的 LED 集魚燈之光型，透過選擇性的漁法，不但能提高漁獲量，也能達到節能減碳的目的，進而對漁業資源做最好的保護。在節能減碳的氛圍下，提供省能、高效率的捕魚方法。期待我們小小的實驗研究成果，能喚醒漁民們用生物科技方式捕魚，避免消耗大量能源方式來換取魚獲，以配合節能減碳的社會政策。

## 柒、參考文獻

1. 邵廣昭、陳麗淑 (2016)，魚類觀察入門(2版)，台灣，遠流出版社。
2. 何大仁 (1990)，魚類行為學，台灣，水產試驗所。
3. 何太榮 (1988)，魚類行為與捕撈，台灣，五洲出版社。
4. 雅風齋 (2012)，奇妙的魚類世界，三民書局，金盾出版社
5. 台灣海洋生態資訊學習網，高年級教案 (2016 年 12 月 10 日)，取自：  
[http://study.nmmba.gov.tw/Rebooks/100h/Book.aspx /](http://study.nmmba.gov.tw/Rebooks/100h/Book.aspx/)
6. 維基百科，白光發光二極體的原理，取自  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%99%BC%E5%85%89%E4%BA%8C%E6%A5%B5%E7%AE%A1>
7. 維基百科，牛頓環透鏡介紹與原理  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%89%9B%E9%A0%93%E7%92%B0>
8. 維基百科，縮時攝影機介紹  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%B8%AE%E6%99%82%E6%94%9D%E5%BD%B1>

## 【評語】 030810

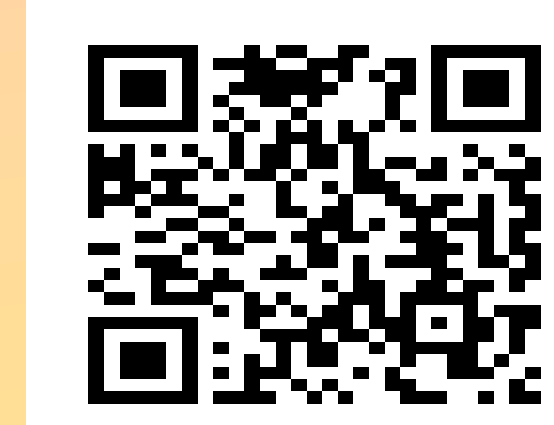
1. 本研究係以產生牛頓光環的 LED，擬取代傳統耗能的集魚燈，研究具有物理實驗精神且具有創意，以科學的方法誘集魚群。
2. 實驗內容相當完整豐富，包括了不同光型的牛頓光環、搭配不同顏色與照度的 LED，並有對照組的設計，值得肯定。
3. 實驗結果證實了產生牛頓光環能取代傳統耗能的集魚燈的可行性。
4. 魚的數量稍嫌少了點，未來可思索集魚燈外之應用，以擴大其價值。



# 摘要

本研究利用折射與凸透鏡原理，以電腦繪製牛頓環透鏡所需之尺寸，訂做Lens I及Lens II兩組透鏡，結合LED光源，完成具牛頓光環的LED集魚燈具。其中Lens I由內而外為暗環、亮環、暗環、亮環之光型；Lens II則反之。本實驗目的是為瞭解魚群對水下光線的行為模式，故設計三種實驗(1)光照亮度、(2)顏色敏感度及(3)不同光型，以觀察魚類在水下對光型的反應行為與習性，繼而提出以特殊光型設計LED集魚燈以取代傳統燈具之建議，以達到節能減碳之目的。本研究發現，當魚群習慣環境中同一強度的光刺激後，便會逐漸的離開強光區，並在明、暗交界處逗留及徘徊，因此，可藉由具牛頓光環之LED集魚燈具，在海下營造出明、暗相間之光型，實現光之黑暗吸引力，取代傳統高耗能的集魚燈。

關鍵字：LED光源、集魚燈、牛頓光環透鏡



(作品簡介短片)

## 研究動機與目的

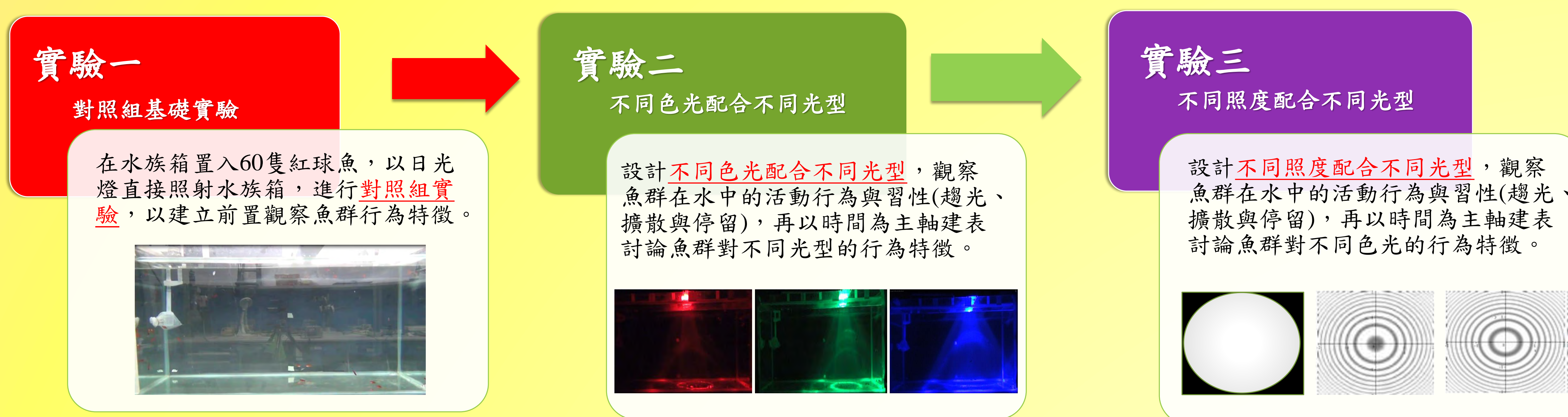
細數每艘遠洋漁船的傳統燈具約有250盞不等且每盞燈具為4仟瓦，若每晚工作時間為8小時，每天的耗電量為8仟度(仟瓦-小時)，電費為2萬8仟元(1度電以3.5元計算)，等於在台灣小型城鎮一個晚上的用電量。若能結合LED光源與科學技術取代傳統燈具，將可大幅減少漁船的耗電量及耗油量，降低捕魚成本，達到節能減碳並提高台灣國際形象之目的。

本研究將觀察魚群在水下明、暗相間光型與在不同顏色、不同照度環境下的行為模式與習性，瞭解魚群對水下光影的反應是否為趨光性，也瞭解魚群在相同的光型下、不同光色，長時間的行為模式，驗證具牛頓環光型的LED集魚燈能取代傳統高耗能的集魚燈具。



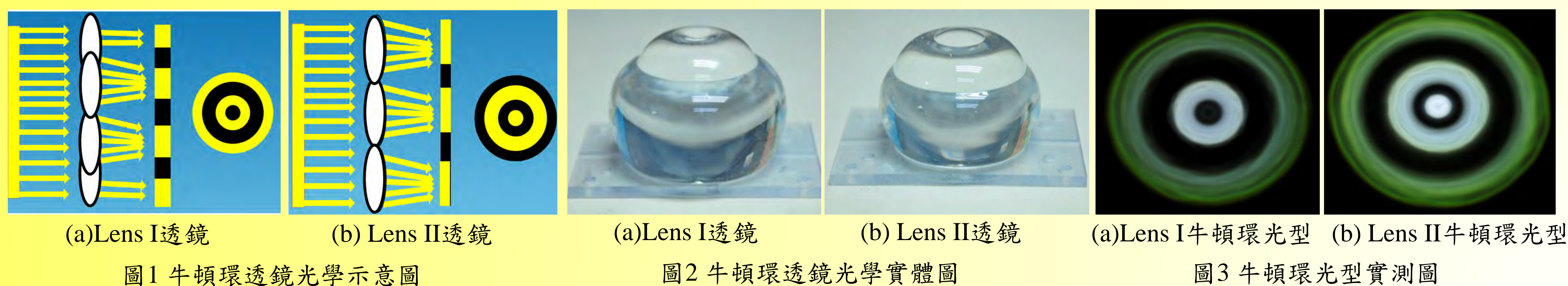
## 研究過程與方法

本研究設計一個能產生明、暗相間光型的LED集魚燈，幫助漁民以節能、省油、省電的方式獲得漁獲。因此，分別設計(1)光照亮度、(2)顏色敏感度與(3)不同光型等3項實驗，驗證魚群將會停留在明、暗相間處，亦即「光之黑影吸引力」之觀念。



### ➤ 關鍵元件介紹

1、牛頓光環透鏡設計原理，根據凸透鏡的成像原理得知，當平行光線經過凸透鏡時，會有折射且聚焦之現象。因此，(1)當平行光入射凸透鏡時，光線會聚焦形成光影，設定亮區；(2)當光線經過凸透鏡的節點時，光線將不會產生折射與透射，故不會形成光影，設定為暗區。Lens I 或Lens II牛頓環光型的概念圖、實體圖與光型圖如圖1~3所示。



- 2、**紅球魚 (*Xiphophorus maculatus*)**，是一種花鱗科劍尾魚屬的淡水魚，又稱紅茶壺，屬於直接生產小魚的魚類且對光線敏感。本研究選用紅球魚是依據漁政單位研究人員介紹及文獻記載[6]，其生物特性與海洋魚類相似且養殖的存活率高。
- 3、**建立實驗觀察環境**，將具牛頓環光型的LED集魚燈裝置於大型水族箱(120cm×60cm×45cm)之上方位置，圖5所示為實驗佈置實體圖，在圖中標示有1、2、3、4等4個區域是用於觀察魚群對光線趨集與擴散時間的比率關係。

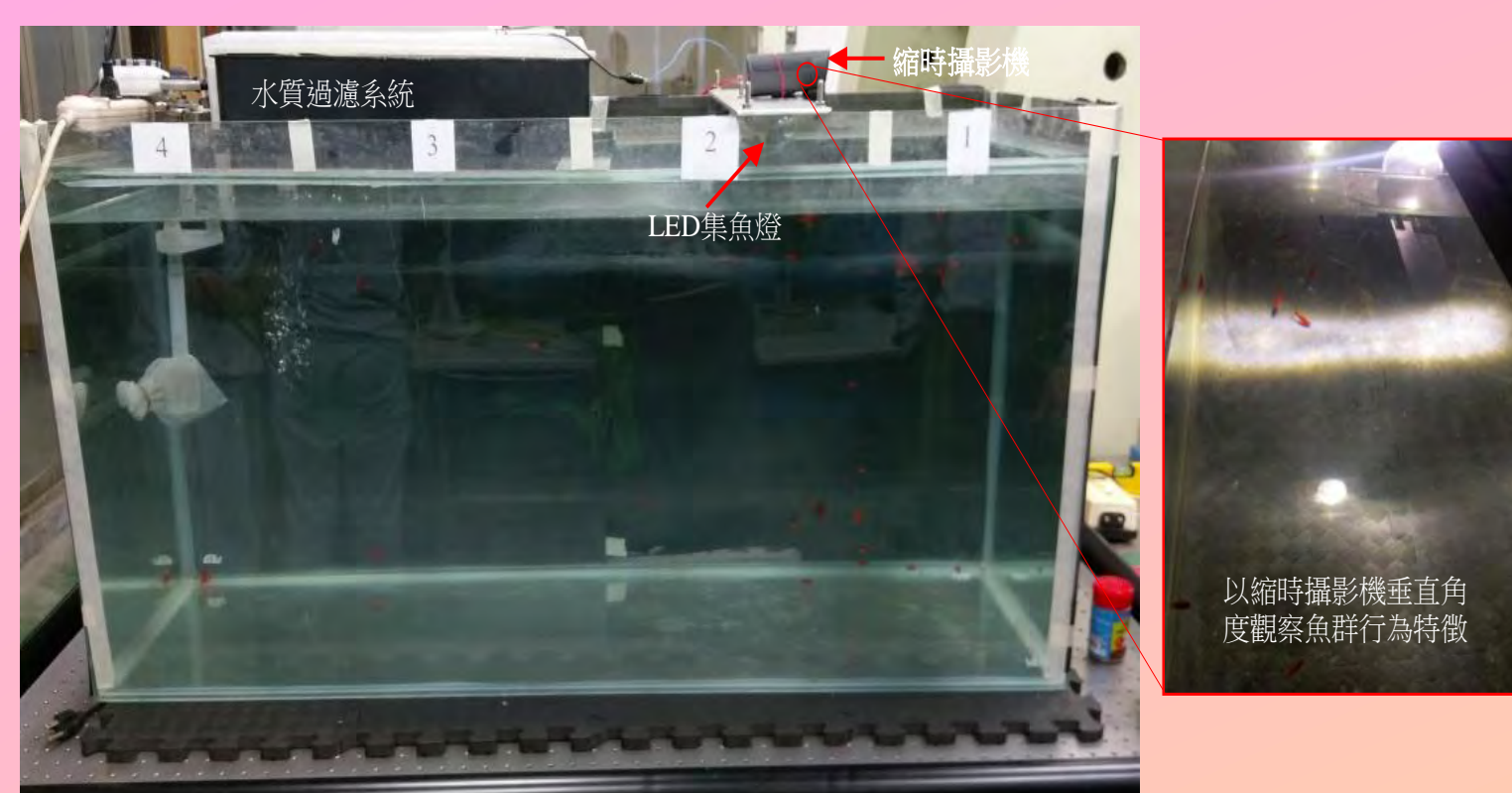


圖5 實驗佈置實體圖

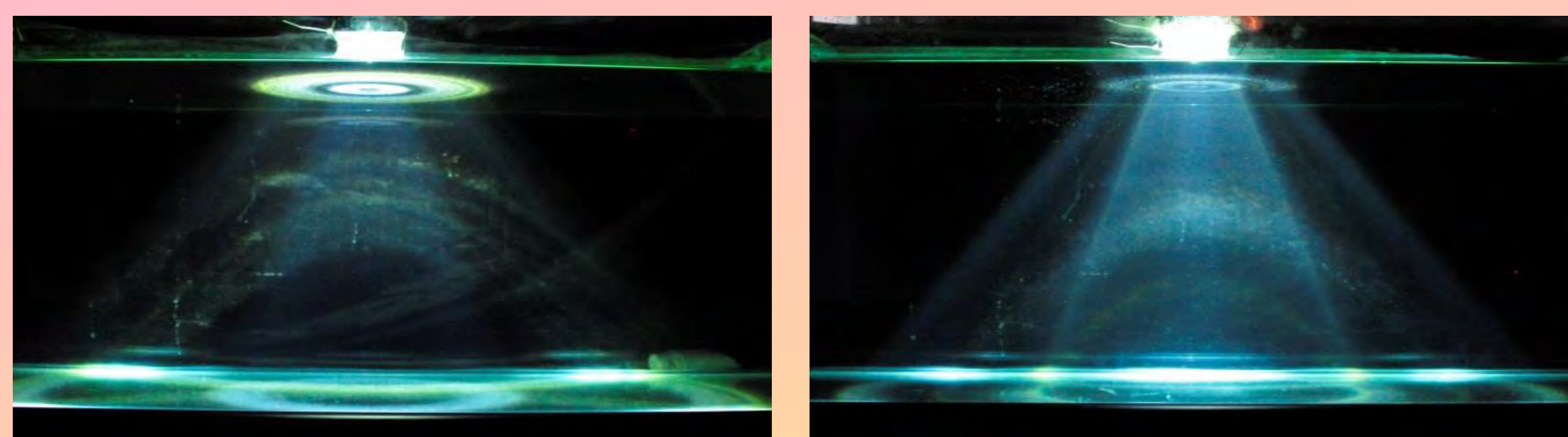


圖6 Lens I與Lens II 燈具在水中實際照度分佈圖

## 實驗結果

整體觀察實驗的步驟，(1)首先以日光燈照明進行對照組之實驗，接著(2)以不同光型觀察魚群在水下的反應行為與習性，然後(3)變換白、紅、藍、綠不同光色與不同照度之LED集魚燈，重複實驗(2)~(3)並觀察魚群的行為特徵。

一、**對照組實驗**，如圖7所示，魚群在照度為400Lux的日光燈照射下，會四處且隨意游動，經長時間的觀察，魚群一直在水族箱中游動改變位置，未見群聚於某處之現象。

二、**矩形光型實驗**，如圖8所示，在照度350~700Lux的環境下，約60分鐘後魚群可穩定停留於明暗交界處且遂漸向暗處擴散；在照度150Lux環境中，魚群的反應如同對照組魚群的行為特徵一般，推論150Lux的照度不足以對魚群造成誘集的效果。

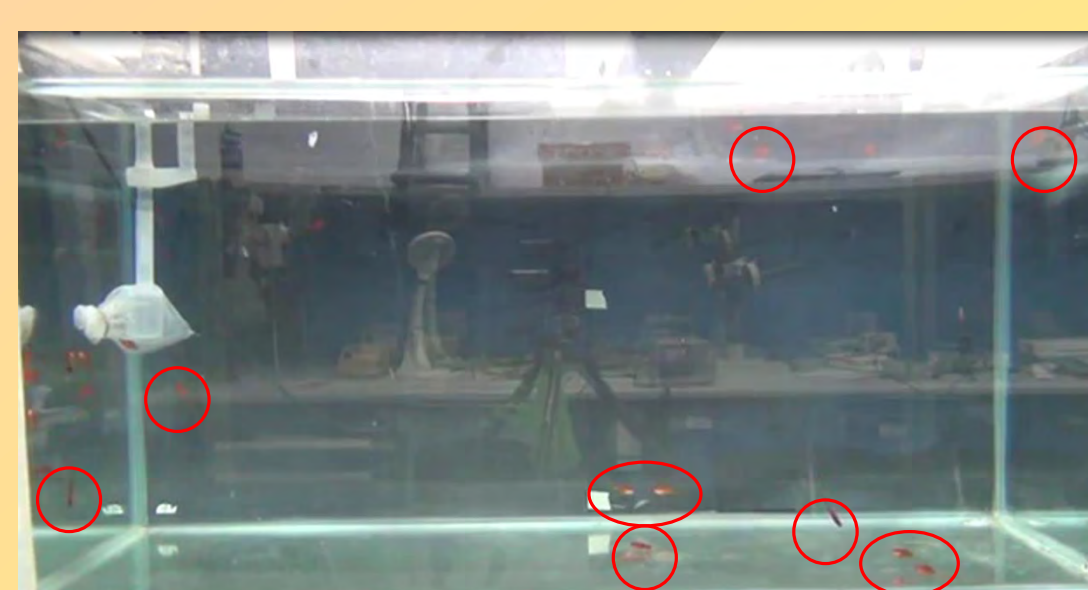


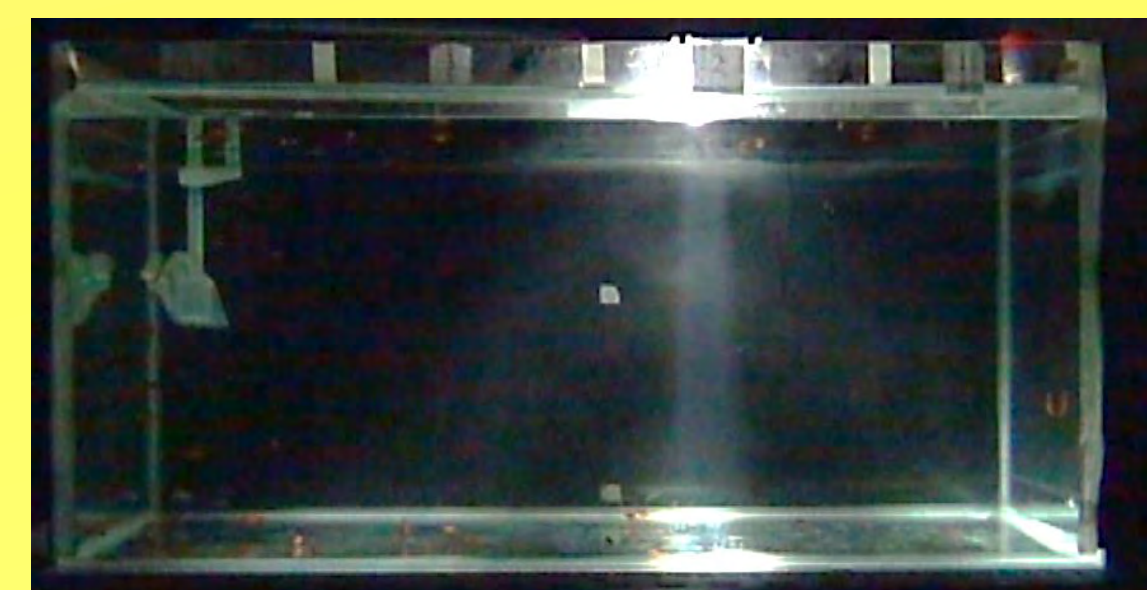
圖7 對照組魚群行為特徵與習性觀察情況



(a) 照度值為150Lux



(b) 照度值為350Lux



(c) 照度值為700Lux

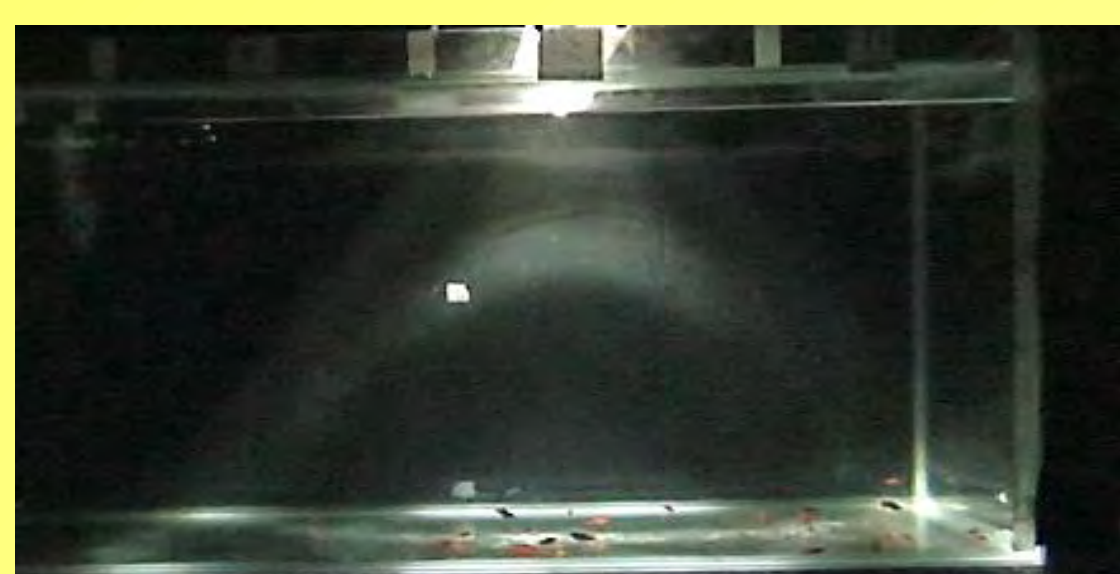
圖8 矩形光型魚群行為特徵與習性觀察情況

觀察紅球魚在矩形光型的趨光行為後，**發現魚群有躲在亮光周圍暗處之行為而且會沿著暗處擴散，無法將魚群留在特定的位置**。因此，本研究設計一種可營造出明暗明暗及暗明暗明的牛頓環光透鏡，再搭配LED光源形成具牛頓環光環之LED集魚燈具，將能夠把魚群的活動範圍限制在光型內。

三、**Lens I、Lens II 牛頓環光型實驗**，如圖9~10所示在照度350~700Lux的白光環境下，從開燈後到10分鐘內，**魚群即開始呈現穩定停留於明暗交界處之現象，而且在光型內停留時間可達2.5小時**，聚集程度約佔全部魚群的85%。在照度150Lux環境中，魚群雖可穩定停留於明暗交界處，魚群聚集程度佔全部魚群的75%。

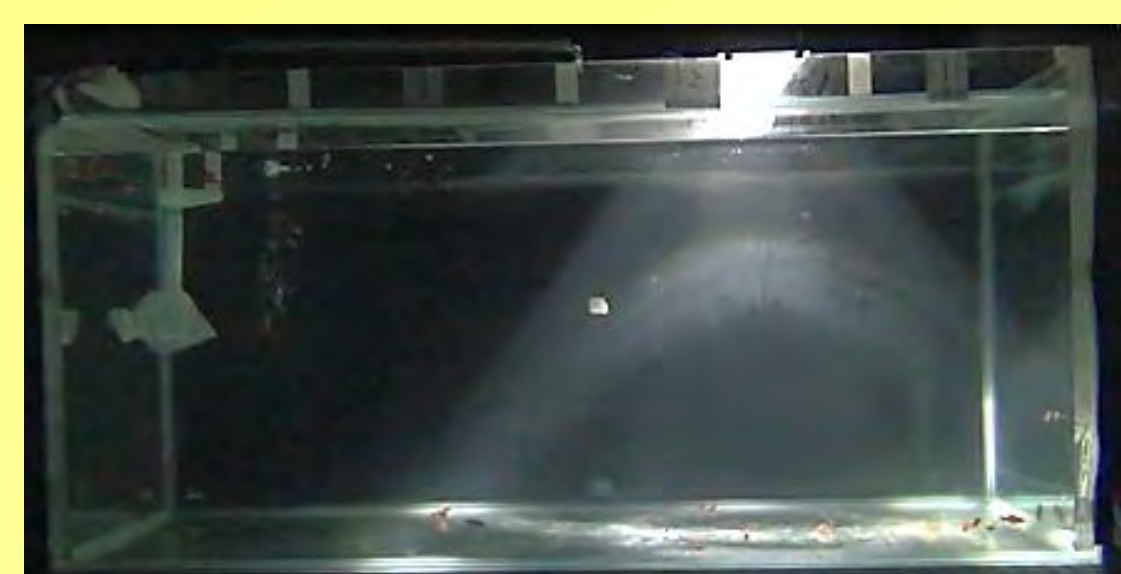


(a) 照度值為350Lux



(b) 照度值為150Lux

圖9 Lens I 牛頓環光型魚群聚集特徵情況



(a) 照度值為350Lux



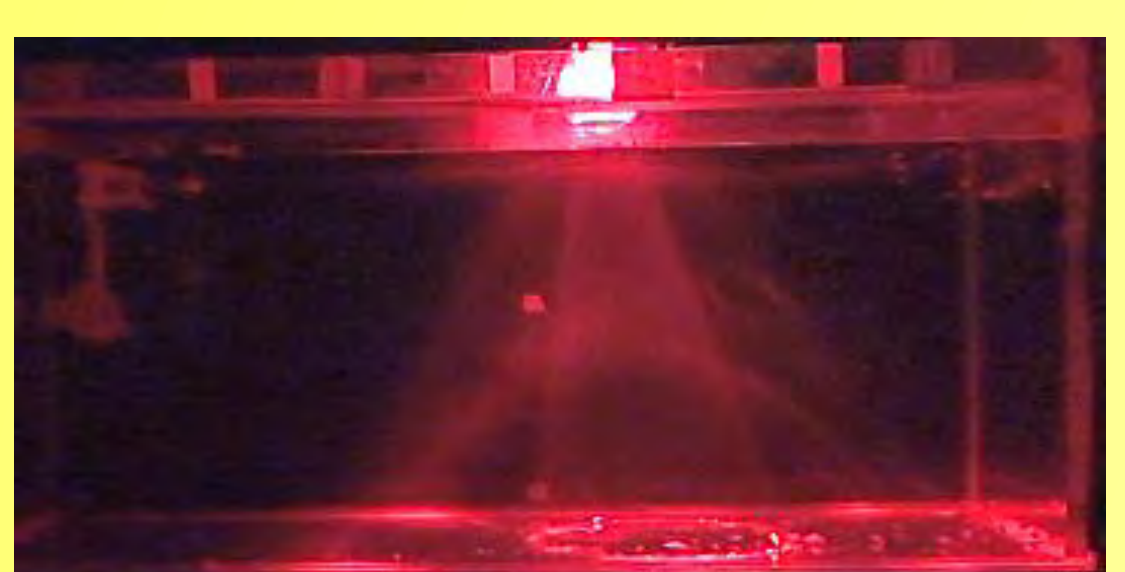
(b) 照度值為150Lux

圖10 Lens II 牛頓環光型魚群聚集特徵情況

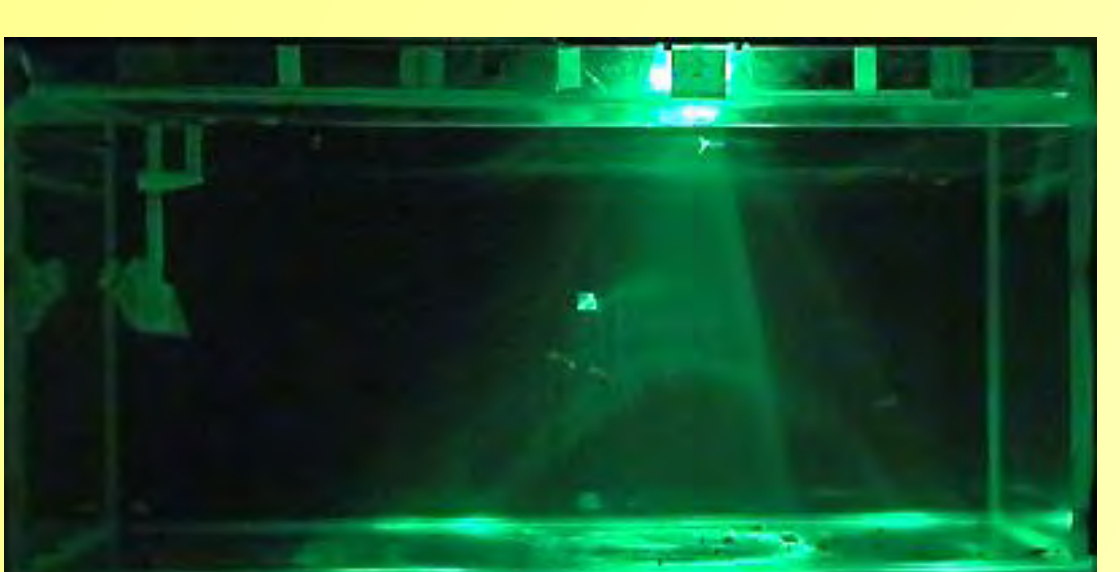
四、**不同光色與照度實驗**，如圖11~12所示，Lens I與Lens II牛頓環光型的實驗結果相似。

(1)不同光色的實驗觀察，發現白、紅、綠、藍光於350Lux以上，魚群有較佳的聚集效果，並於牛頓光環內停留約2小時，**光色的聚集力則是綠光>白光>紅光>藍光**。

(2)不同照度的實驗觀察，發現亮度約在350Lux時，其魚群聚集密度較高且停留時間較長，**照度的聚集力則是350Lux>700Lux>150Lux**。白光與綠光照度在350Lux時其魚群聚集密度最高。



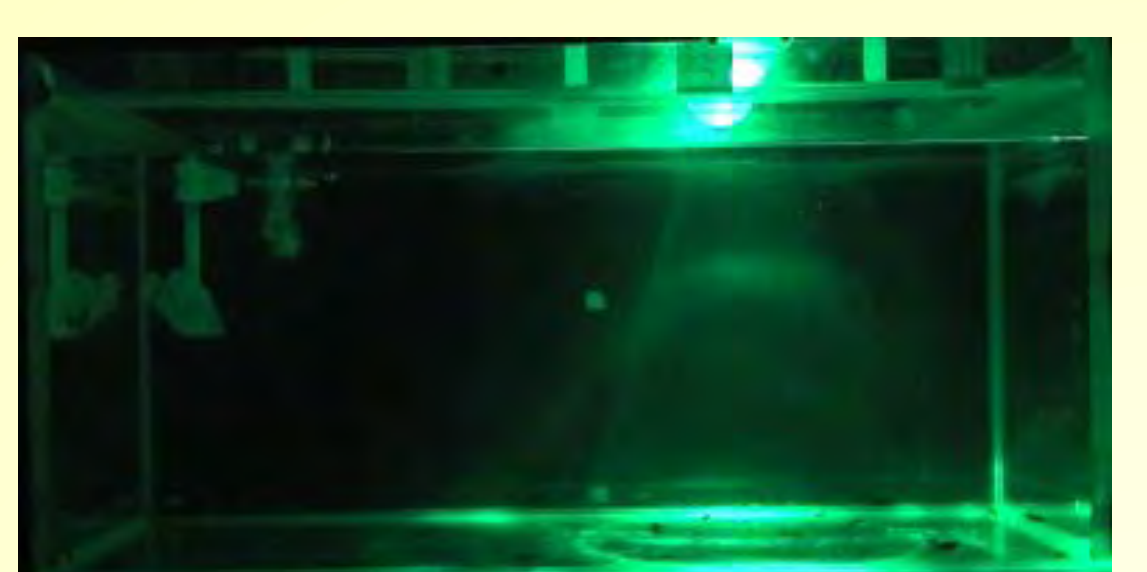
(a) 照度值為350Lux



(b) 照度值為150Lux



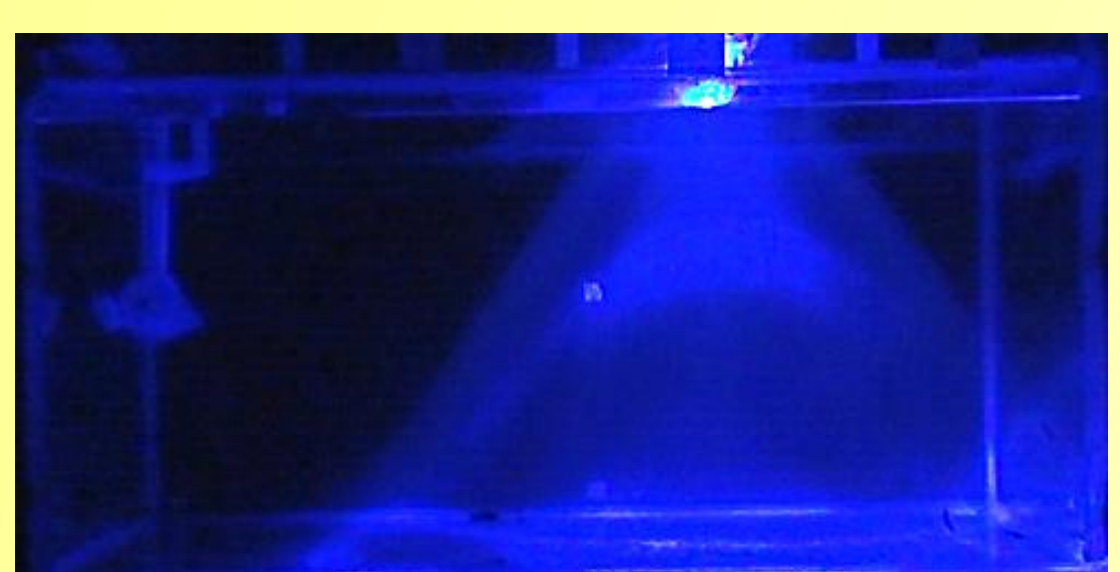
(a) 照度值為350Lux



(b) 照度值為150Lux

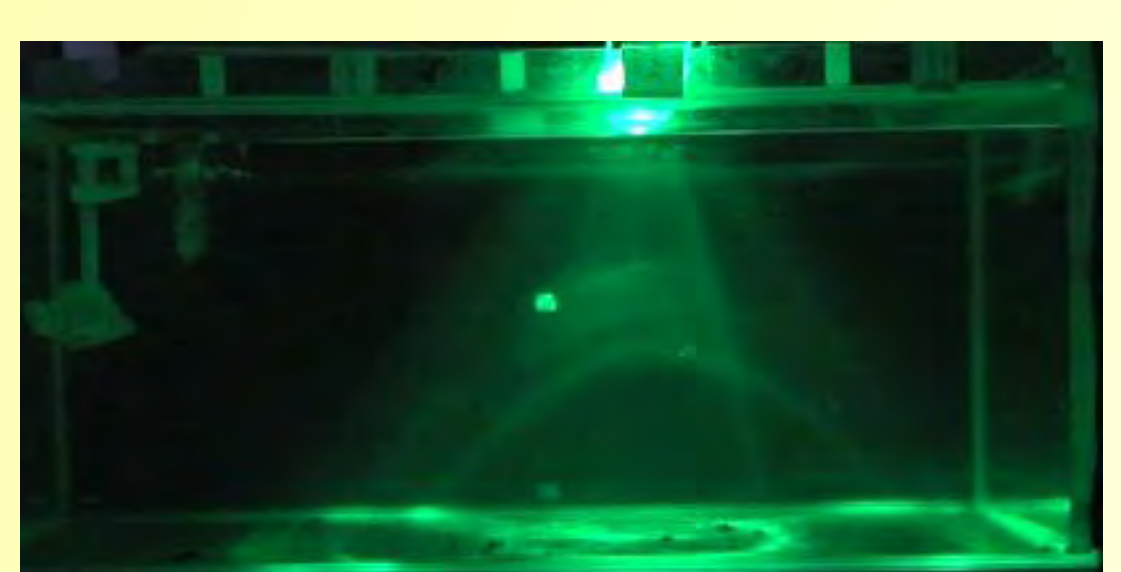


(c) 照度值為350Lux

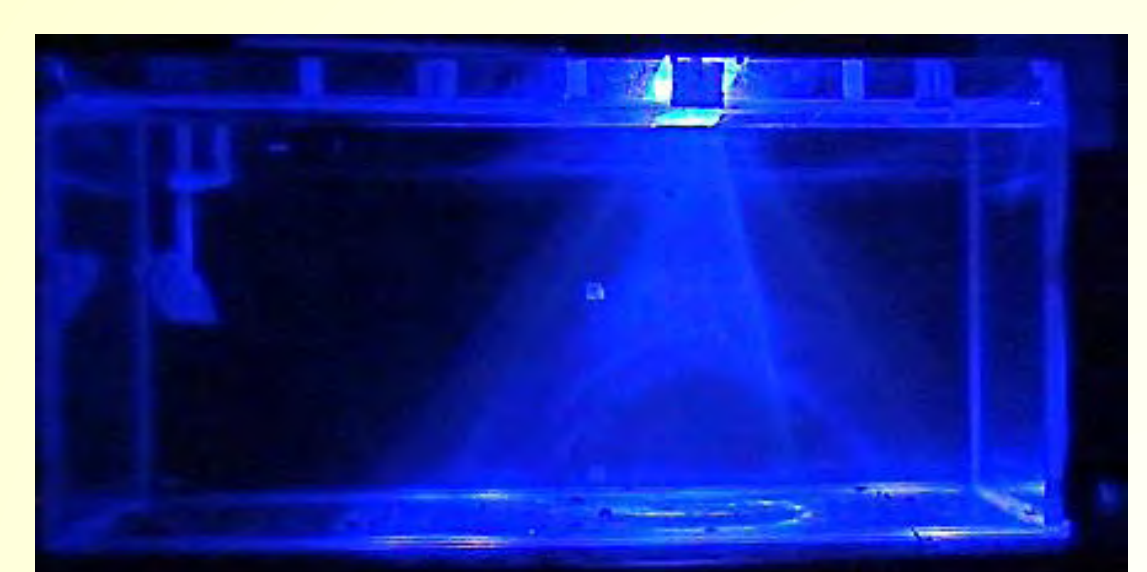


(d) 照度值為700Lux

圖11 Lens I 牛頓環光型不同光色魚群聚集特徵情況



(c) 照度值為350Lux



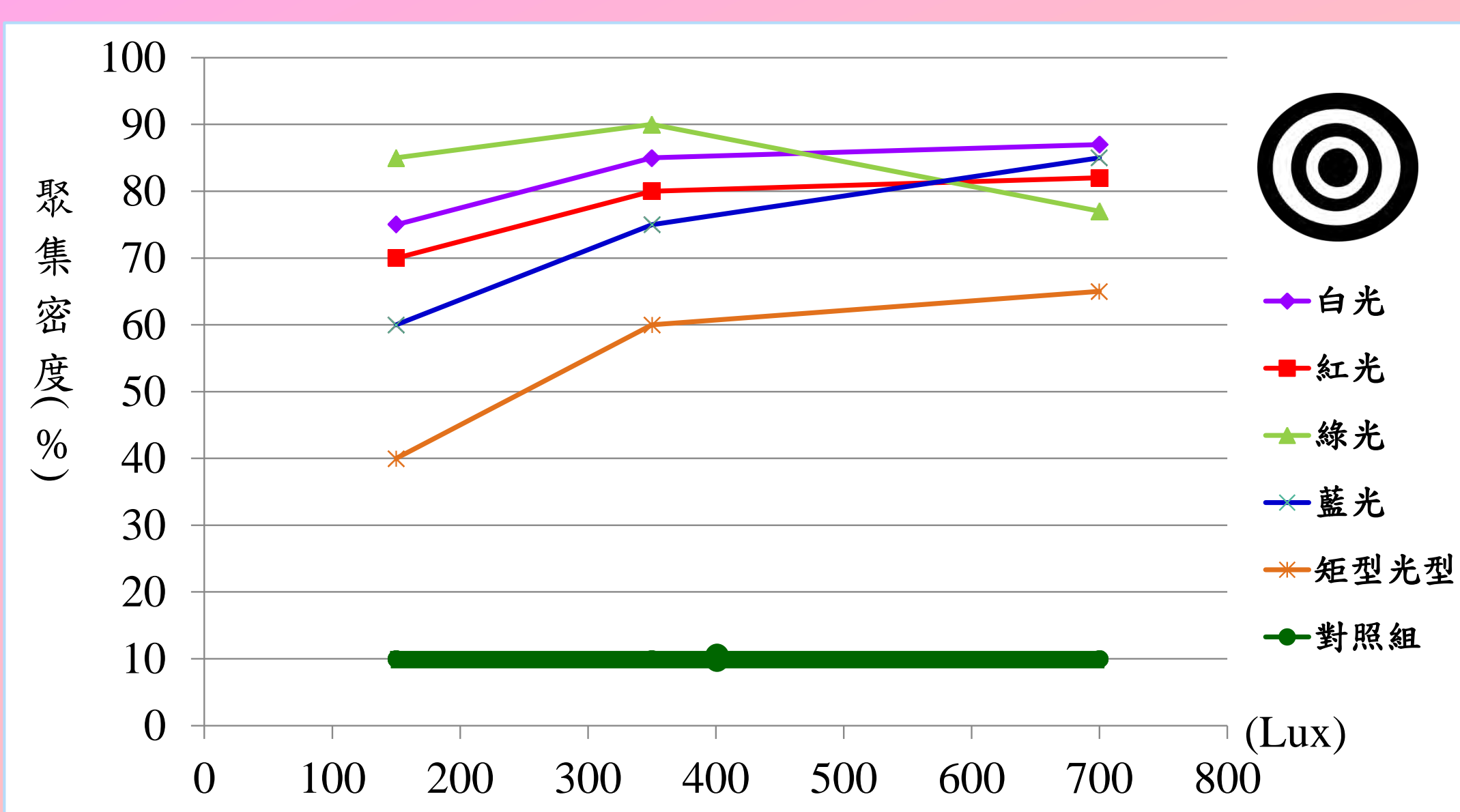
(d) 照度值為700Lux

圖12 Lens II 牛頓環光型魚群聚集特徵情況

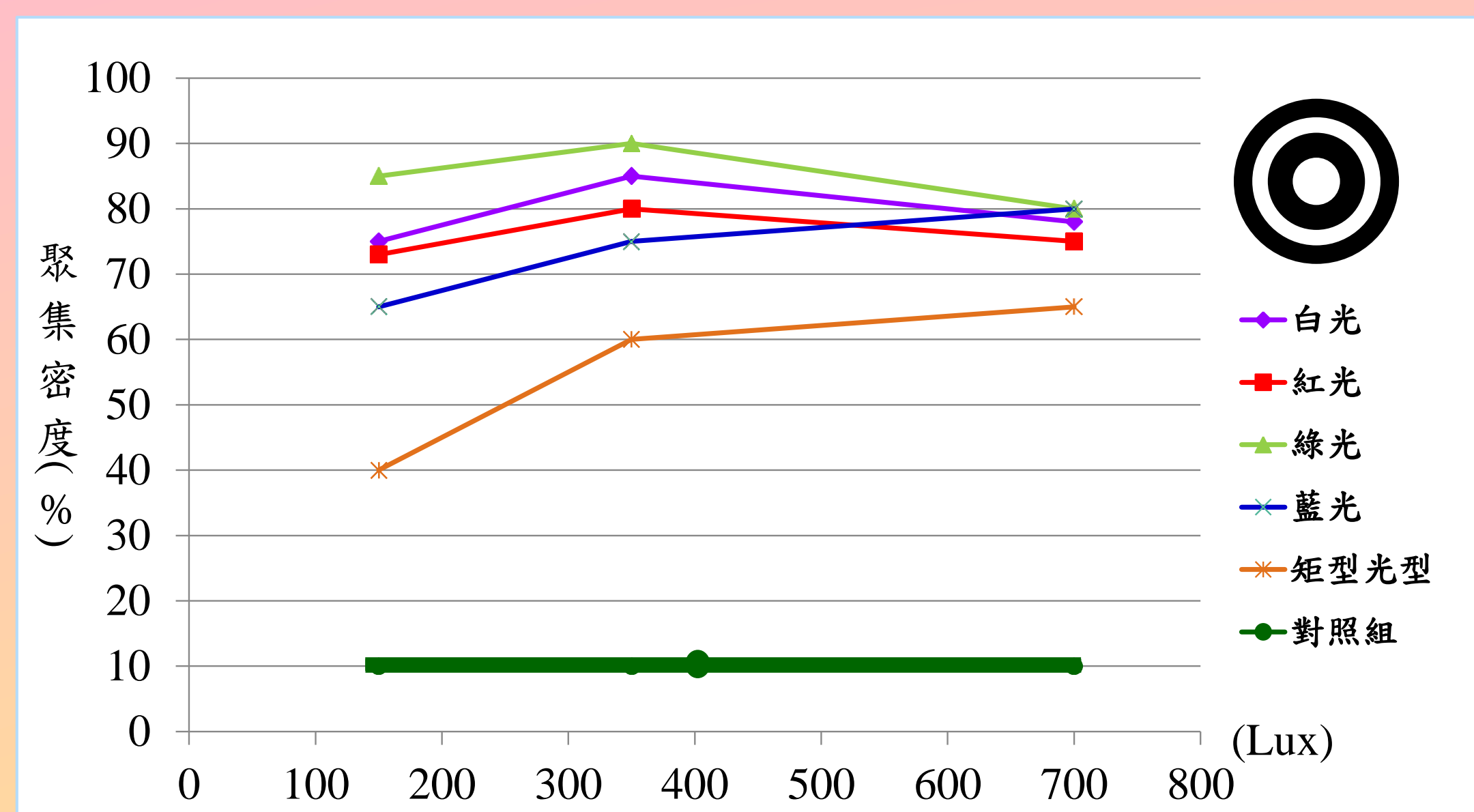
# 結果與討論

綜整全部實驗結果，Lens I 和 Lens II 牛頓環光型其魚群聚集密度與停留時間，均優於對照組與矩型光型，且 Lens I 和 Lens II 牛頓環光型在 350 Lux 和 700 Lux 有相似的魚群聚集能力。因此，**集魚燈不需一味追求亮度，只要利用光型引誘即可達到聚集魚群之效果。**

Lens I 牛頓環光型的實驗結果與矩型光型、對照組比較



Lens II 牛頓環光型的實驗結果與矩型光型、對照組比較



| 光型       | 無   |     | Len I 牛頓環光型 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Len II 牛頓環光型 |     |     |     |     |     |     |     |     |   |   |   |
|----------|-----|-----|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|---|---|
|          | 白   | 白   | 白           |     |     | 紅   |     |     | 綠   |     |     | 藍   |     |     | 白            |     | 紅   |     | 綠   |     | 藍   |     |     |   |   |   |
| 照度 (Lux) | 400 | 700 | 700         | 350 | 150 | 700 | 350 | 150 | 700 | 350 | 150 | 700 | 350 | 150 | 700          | 350 | 150 | 700 | 350 | 150 | 700 | 350 | 150 |   |   |   |
| 聚集密度     | ×   | △   | ○           | ○   | △   | ○   | ○   | △   | ○   | ○   | ○   | ○   | △   | △   | △            | ○   | △   | △   | ○   | △   | ○   | ○   | ○   | ○ | △ | △ |
| 停留時間     | ×   | ×   | ○           | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | △   | ○            | ○   | ○   | △   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○   | ○ | ○ | △ |

註：×表示魚群無聚性(低於60%)；△表示魚群略有聚集性(低於80%)；○表示魚群聚集性佳(高於(含)80%)

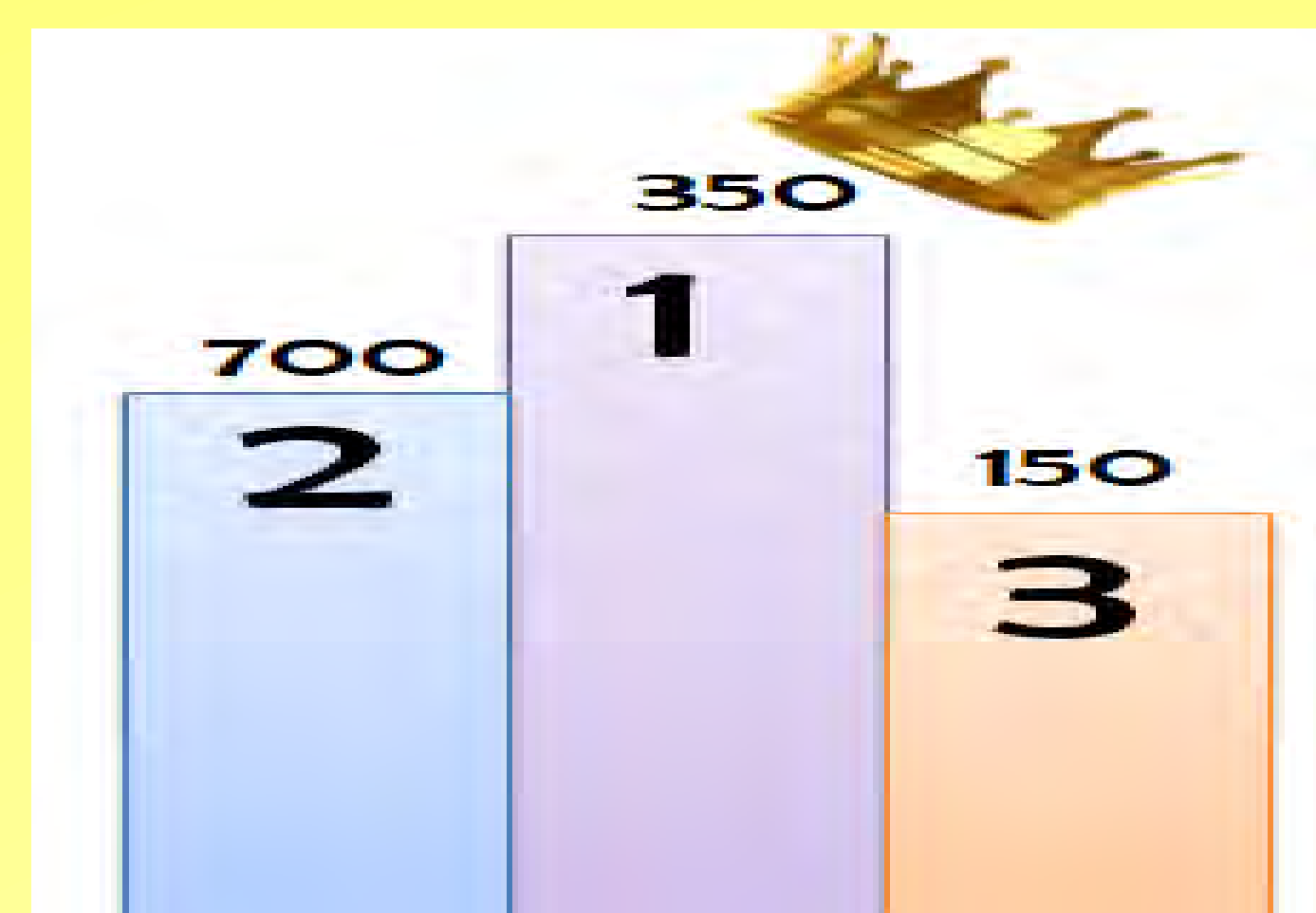
- (1)就魚群聚集密度而言，**Lens I > Lens II > 矩型 > 無光型**，推論是牛頓環光型具亮暗相間的環境供魚群躲藏，所以魚群聚集密度大於矩型與無光型。
- (2)就光色的聚集力而言，則是**綠光 > 白光 > 紅光 > 藍光**。
- (3)就不同照度的聚集力而言，Lens I 和 Lens II 牛頓環光型，**350 Lux > 700 Lux > 150 Lux**。
- (4)無論是 Lens I 或 Lens II，魚群無明顯快速洄游亮暗處行為，而是以緩慢間游間停行為聚集、停留於牛頓環光型之內。實驗觀察得知，**當魚群習慣環境中同一強度的光刺激後，便會逐漸的離開強光區，並在明、暗交界處逗留及徘徊。**



牛頓環集魚效果較佳



使用魚種敏感色光，集魚效果較好



並非亮度越高，集魚效果越好

## 結論

- 1、牛頓環光型所產生的明暗環境，可營造出緩慢間游間停的長期聚集行為。不管何種光型，亮度不夠，則聚集效果不佳；亮度太亮，聚集效果也有下降之趨勢。因此，只要採用適當的照度，即可提高魚群的聚集效果。
- 2、藉由漁業公司提供的數據顯示，**「裝設越多的集魚燈具其魚獲量不會最大」**。若能正確使用 LED 集魚燈，其**每晚耗電費用可從 2.8 萬元降至 0.21 萬元，約傳統燈具的 1/10**。
- 3、引用本研究的概念，**「光之黑影吸引力—具牛頓光環的 LED 集魚燈」**，以科學的方法誘集魚群，不需採用耗電量高的傳統集魚燈，不僅可減少 90% 以上的耗油量(耗電量)，而且可大幅降低漁獲成本，達到節能減碳、提高台灣國際形象之目的。

## 參考資料

1. 邵廣昭、陳麗淑 (2016), 魚類觀察入門(2版), 台灣, 遠流出版社。
2. 何大仁 (1990), 魚類行為學, 台灣, 水產試驗所。
3. 何太榮 (1988), 魚類行為與捕撈, 台灣, 五洲出版社。
4. 雅風齋 (2012), 奇妙的魚類世界, 三民書局, 金盾出版社
5. 台灣海洋生態資訊學習網, 高年級教案 (2016年12月10日), 取自：  
<http://study.nmmba.gov.tw/Rebooks/100h/Book.aspx/>
6. 維基百科, 紅球魚介紹, 取自：<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%B0%8F%E7%B4%85%E8%B1%86>
7. 維基百科, 白光發光二極體的原理, 取自  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%99%BC%E5%85%89%E4%BA%8C%E6%A5%B5%E7%AE%A1>
8. 維基百科, 牛頓環透鏡介紹與原理 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%89%9B%E9%A0%93%E7%92%B0>
9. 維基百科, 縮時攝影機介紹 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%B8%AE%E6%99%82%E6%94%9D%E5%BD%B1>