

# 中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 生物科

080316

魚水相逢，金光燦爛-以光照探討觀察者眼中魚  
類腹色的變化

學校名稱：新北市板橋區沙崙國民小學

作者： 小六 林紫晴 小六 張嘉芯 小六 石芮甄 小六 陳品妍	指導老師： 魏嘉甫 王亭雅
---	---------------------

關鍵詞：金線魚、腹色、螢光

## 摘要

本研究在探討黃色腹色對金線魚生存、繁殖以及不同海洋環境下觀察者眼中不同腹色的影響。

我們針對金線魚金黃色部位進行顯微鏡、螢光光譜觀察，發現金線魚金黃色部位是表皮分泌出的螢光物質，非色素細胞。在照射藍光後會產生螢光，與黃色腹部的魚類不同，此為本研究貢獻。

我們用不同色光測量不同腹色的亮度，並計算出「魚腹亮度/背景亮度=亮度比值」來判斷消滅色的效果，再與棲息深度進行比較，符合比率達 76%，我們認為「魚腹顏色與棲息深度有關係」，此模擬方法為本研究特色。

市場上金線魚金黃腹色是季節性的，以不同光源及入射角實驗後發現，太陽仰角影響金線魚的腹色亮度，90 度時亮度比值最亮，我們認為金線魚金黃腹色與繁殖期有關。

## 壹、研究動機

我們在 FB 上看到一篇關於金線魚的文章，此文表示「金線魚的金黃色腹色會和其他藍光激發，然後組成白光，保護自己」。我們想進一步知道黃色腹色與金黃色腹色的構造有沒有不同呢?動物的構造常常與生存和繁殖有關，不同腹色是不是會影響消滅色及繁殖的功能呢?

這一篇很有趣跟大家分享，在海中，因為散射，除了上方是穿透光外，其他角度都是散射的短波長藍光，看到這魚有黃色的螢光色，就會猜是要利用藍光激發螢光然後組成白光，這樣其他魚由下往上看時，就以為上面沒有魚了，就比較少機會被吃掉。  
最有趣的部分是，我們的白光LED也是用藍光搭配黃色螢光粉，真是科學的巧合了! 還是我們人類偷偷學的 :)

金線下巴這個螢光黃是正常的嗎?因為便宜的令人懷疑



[圖 1] Facebook 看到的文章

## 貳、研究目的




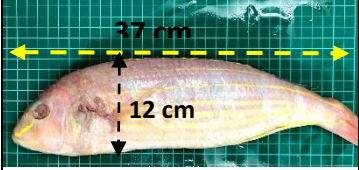
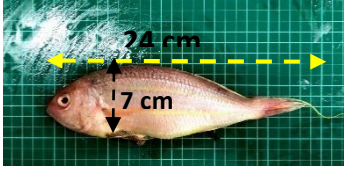
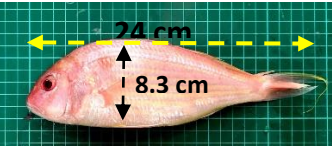
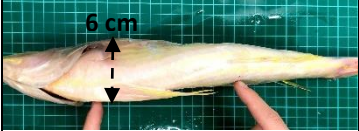
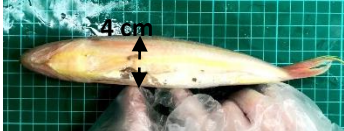
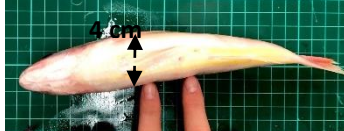
- 一、探討黃色腹色對金線魚生存或繁殖的影響
- 二、探討不同海洋環境觀察者眼中不同腹色的影響

## 參、文獻參考

### 一、相似的金線魚種類比較

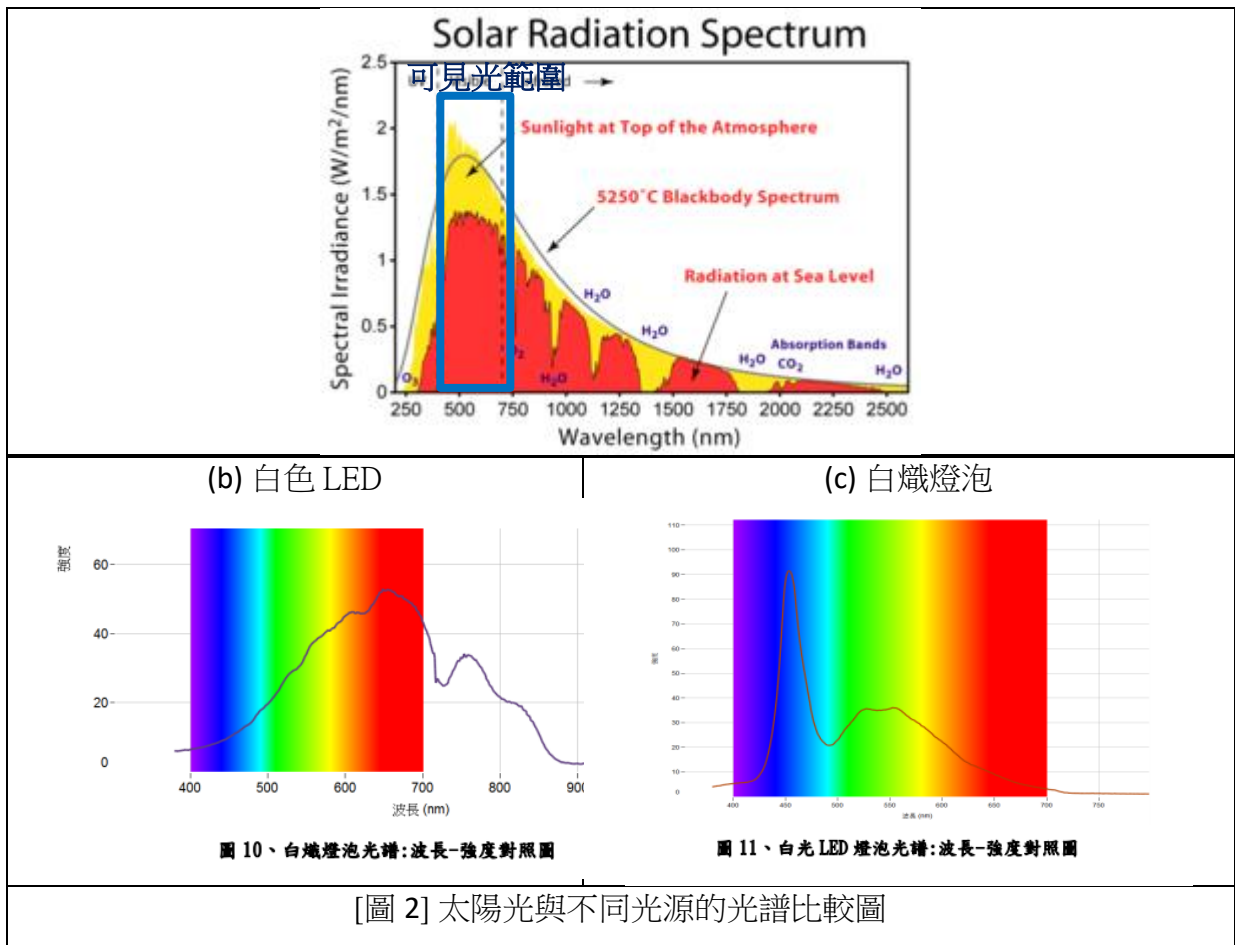
為了確認文章中所敘述腹色為金黃色的金線魚種類，我們查詢網路「台灣魚類資料庫」與照片中相似特徵的三種金線魚資料如下[表 1]，由表中的特徵敘述腹部是金黃色的，文章中的金線魚腹色明顯為金黃色，應該是屬於底金線魚。

[表 1]不同種的金線魚比較

	金線魚	底金線魚	日本金線魚
照片			
學名	<i>Nemipterus virgatus</i>	<i>Nemipterus bathybius</i>	<i>Nemipterus japonicus</i>
科別	金線魚科	金線魚科	金線魚科
棲息地	熱帶及亞熱帶海域 日本南部至澳洲西北部	熱帶及亞熱帶海域 琉球群島，南至印尼東部及澳洲西北部	熱帶及亞熱帶海域 北至日本琉球列島，南至印尼、菲律賓
體長	35 cm	20 cm	32cm
棲息深度	40 – 220 m	35-300 m	5-80 m
形態特徵	1.腹面銀白色 2.體側有 5-6 條黃色縱帶 3.體呈鮮粉紅色 4.尾鰭粉紅色，上葉延長，具鮮黃色緣	1.腹面金黃色 2.體側有 2 條黃色縱帶 3.體呈鮮桃紅色 4.尾鰭淡粉紅色，上葉先端為黃色。	1.腹面銀白色 2.體側有 11-12 條黃線 3.體呈粉紅色 4.尾鰭粉紅色，上葉延長呈絲狀為黃色
側面照			
腹面照			

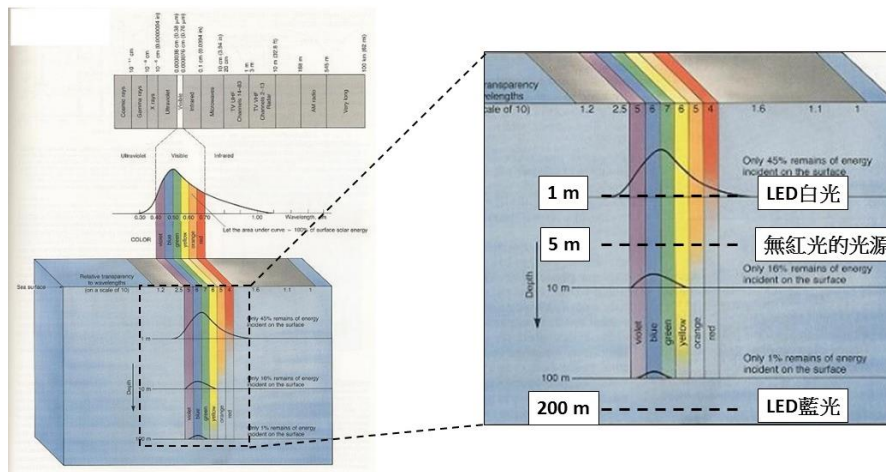
二、從「迴光返照-發光二極體的神秘面紗」科展作品以及維基百科中得知白熾燈泡及 LED 燈的光譜圖與太陽光不完全相同，決定測試 LED 燈和白熾燈泡在本實驗中何者適合作為實驗燈光。

大海中的光是由太陽照射，而我們想模擬此情形，查詢後得知太陽光、LED 燈及白熾燈泡的光譜圖中，太陽光在短波長和長波長的光都很強，而白光 LED 燈藍色波段較強，白熾燈泡是紅色波段較強，LED 燈和白熾燈泡與太陽都不完全一致，無法判斷要使用哪一個做為光源，所以我們決定測試 LED 燈和白熾燈泡在本實驗中何者適合作為實驗燈光。



三、從「海水的光學性質」得知，不同色光會因為消光作用在不同深度的水域被減弱。

我們為了要模擬海水環境，所以查了「海水的光學資料」(王冑，2001)的網站。資料原文顯示「日光入射海面後，紅光在最淺的分水層內便被吸收光了，黃色光與綠色光可達到較深水層，藍光與紫外光則可穿至更深的水層」(如下圖)，所以根據圖中海水中各層光學環境，我們決定使用 LED 白光模擬海水深度約 1 m，使用 LED 藍光模擬海水深度約 200 m 來進行實驗，但 5 m 是缺少紅光的光源，此部分我們需要進一步找光源進行模擬。



[圖 3]不同色光的消光作用(Thurman, H. V. , 1993)

#### 四、從「雷射螢光光譜分析第一天報告」得知，可以使用手機光譜儀和顯微鏡的組裝來拍攝螢光的光譜

在實驗三「探討金黃色腹色構造的螢光」中，我們想要證明短波長的光照射金線魚金黃色腹色，激發長波長的光而產生螢光，而不是反射光，所以想要測量出螢光的光譜，但使用分光光度計測量時，發現光太弱測量不到。

因此查詢文獻後，「雷射螢光光譜分析第一天報告」這篇提到「使用台大江宏仁教授研究的手機光譜儀接到顯微鏡，加上雷射螢光，在顯微鏡下調高放大倍率、也就是縮小觀測範圍到某個很小區域,取得該點的光譜，來觀察化石樣本中的元素組成」因為我們也需要偵測很弱的螢光光譜，所以我們決定使用文獻中的方法，**利用手機光譜儀和顯微鏡的組裝拍攝螢光的光譜。**



[圖 4]文獻中使用手機光譜儀連接顯微鏡的照片

#### 五、從「魚的體色」得到靈感，使用 $\frac{\text{魚腹亮度}}{\text{背景光亮度}}$ 的比值探討消滅色效果

實驗中想得知魚腹是否具有保護功能，查詢「魚的體色」(邱郁文,2017)後，提到「黑色、深藍色或深青色等腹部色大都為銀白色、白色或淡黃白色，這種上深下淺的顏色模式稱為消滅色。這種體色模式在捕食者如海鳥或獵食者在它的上方游泳或天空飛行往下看時，在自然光下背部與海水的顏色一致，所以不易辨別。相反的，當獵食者由下往上看時，魚的腹部和水面的顏色以及天空的亮背景相似，這樣的體色可以讓們在大洋水層中降低被發現的機會。」

由此可得知消滅色就表示「魚腹亮度與海洋背景亮度接近」，所以我們使用  $\frac{\text{魚腹亮度}}{\text{背景光亮度}}$  的比值來判斷是否具有消滅色，比值越接近 1，表示具有消滅色功能。

六、引用「消失星星的謎」中的推論方法，判斷消滅色  $\frac{\text{魚腹亮度}}{\text{背景光亮度}}$  比值的範圍為 0.8 – 1.2

因為想判斷魚腹是否具有消滅色，我們定義比值越靠近 1 即具有消滅色功能。但卻無法決定「代表魚腹擁有消滅色功能的比值範圍」。

從學長姐的科展作品「消失星星的謎-光害、水氣、懸浮微粒對觀測星星的影響」(108, 蕭郭念恩)提到眼睛在判別『星星』和『有光害的背景光』亮度太近會看不見星星，並發現當天可看見的星星  $\frac{\text{星星視星等}}{\text{背景光視星等}}$  都大於或等於 0.8，當天無法看見的星星

$\frac{\text{星星視星等}}{\text{背景光視星等}}$  都小於 0.8，因此推論當  $\frac{\text{星星視星等}}{\text{背景光視星等}} < 0.8$  時，星星就可以看得見。

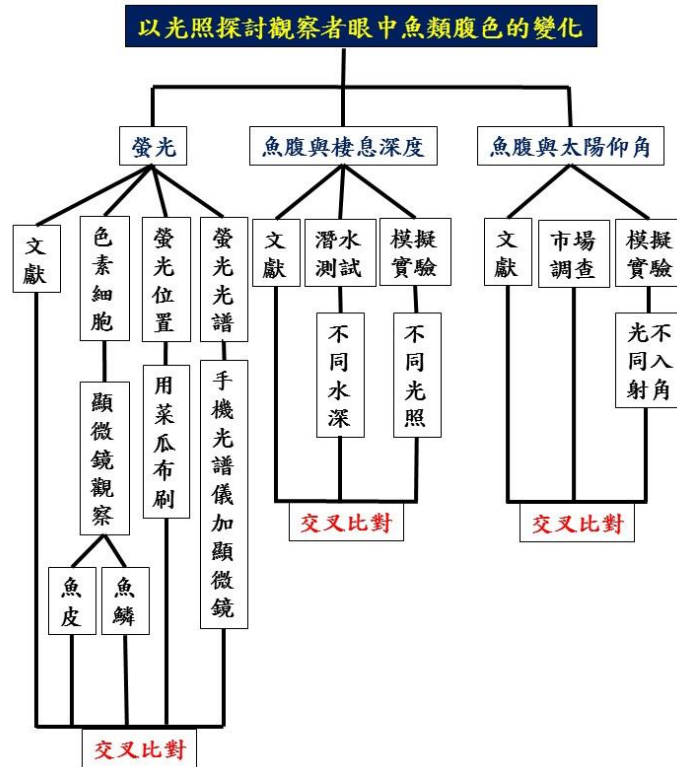
文獻裡面要測量的是「觀測星星的亮度與背景光亮度的比值」，跟我們要測量「觀測魚腹亮度與海洋環境的比值」是很相似的。所以我們引用了此篇文章所推論出的

$\frac{\text{魚腹亮度}}{\text{背景光亮度}} > 0.8$  作為判定消滅色依據，並取相等差值為 0.2，也就是  $\frac{\text{魚腹亮度}}{\text{背景光亮度}} < 1.2$  做為另一端的範圍。

## 肆、研究限制

- 一、因為活魚較難購買，所以本研究到魚市場購買魚來進行研究，但有些魚死後時間久體色可能會有變化，盡量以當日購買的新鮮魚種作為研究對象。
- 二、生活中無現成光源與太陽光完全相同，本研究依研究目的主要為藍光，故使用藍色波段強度較接近太陽的 LED 燈進行研究。
- 三、本研究使用不同色光來模擬海洋不同深度，但海洋廣大無邊且深度很深，海洋中除了鹽分及光學環境，其他因素目前無法模擬。
- 四、本研究以魚的腹色為研究目標，所以只由下往上觀測腹色的變化。
- 五、海洋的魚類有各種不同的感光細胞，此部分尚無儀器可以進行模擬，故本實驗以 GoPro 攝影進行觀測。

## 伍、架構圖



## 陸、研究設備與器材

### 一、器材清單

#### (一)儀器設備

LED 投射燈	UV 紫外光	照度計	自製固定魚的支架
4 米三吋水管	不同顏色色板	海水素	LED 燈泡
收納箱	底金線魚	自製大型量角器	載玻片
垃圾桶(360 L)	GoPro	顯微鏡	分光光度計
手機光譜儀	黑、白瓦楞板		

#### (二)使用到的魚種

日本金線魚	底金線魚	金線魚	黃魚
香魚	秋刀魚	銀紋笛鯛	

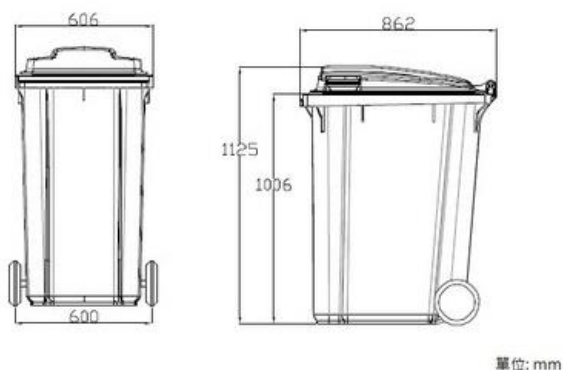
### 二、自製器材說明

#### (一)模擬海洋環境的設計理念

##### 1.容器的選擇

由於金線魚在海中生活，我們為了要模擬海洋中的光學環境，讓藍光易在水中散射，所以在水中加入海水素進行研究。而原本使用小型收納箱進行實驗，發現水不夠深不易產生散射情形，所以進一步使用長 862 mm、寬 606 mm 高 1125 mm 的

360 公升的二輪式垃圾桶進行實驗。而我們將垃圾桶內部貼上白色板子，讓垃圾桶內部的光在行進時不受影響。

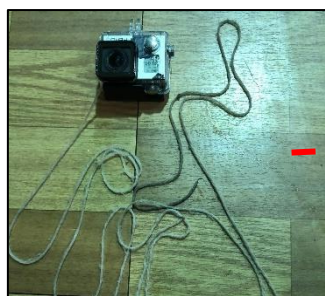


[圖 5] 360 公升之二輪式垃圾桶規格圖

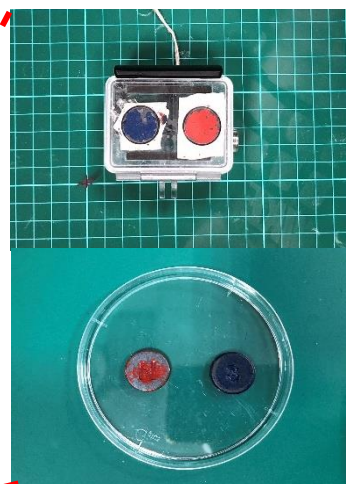
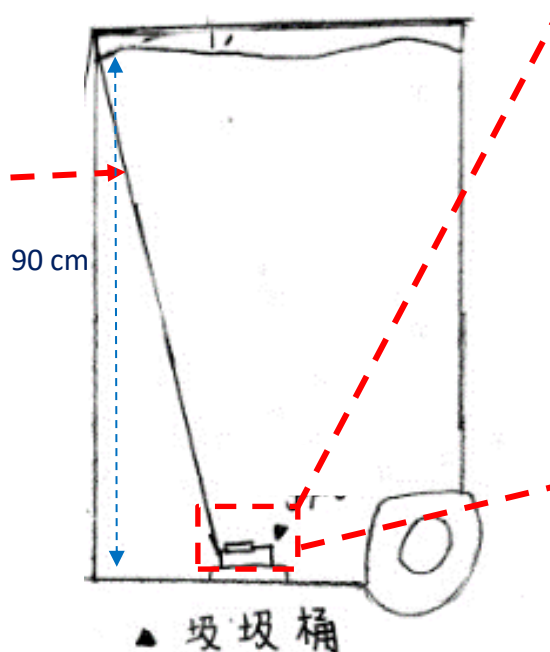
[圖 6] 將垃圾桶內部貼上白色板子

## 2. 拍攝器材

由於本研究主要是觀察魚類腹色觀測的變化情形，需由魚腹的下方進行觀測紀錄，所以選擇使用防水的 GoPro 進行拍攝。而為了在水深 90 cm 的垃圾中方便拿取及放置 GoPro，且每次錄製位置及角度相同，所以使用磁鐵異極相吸的原理，在 GoPro 背面和培養皿各黏貼兩塊磁鐵，不同磁極面向上，來保持位置固定，最後為了在實驗完成時方便拿取，所以在 GoPro 上綁線。



在 GoPro 綁繩子，方便將 GoPro 從 90 cm 水中拿出。



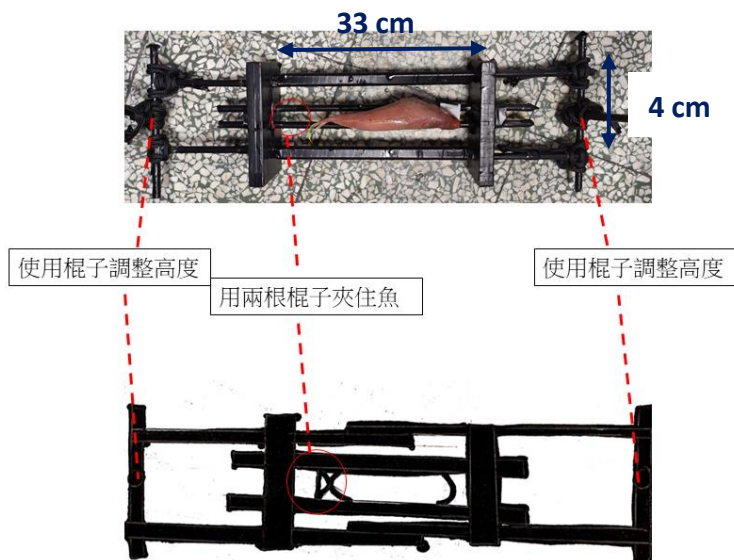
利用磁鐵異及相吸的原理讓 GoPro 在水底位置固定，錄影角度相同。

[圖 7] 模擬海洋環境的裝置說明圖 (作者手繪)



## (二)自製固定魚的魚架設計理念：

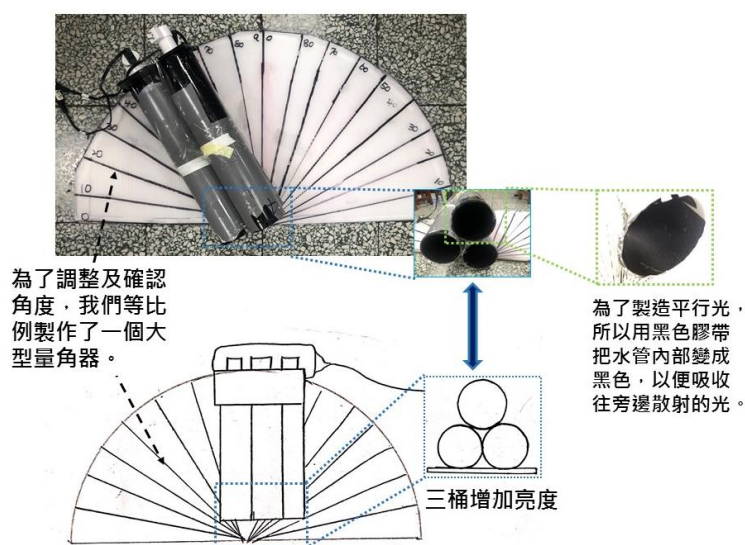
因為我們需要固定魚在水中的位置與高度，所以拿兩根棍子用來固定魚，在板子上綁上繩子方便升降，在板子的兩端黏上磁鐵，加重重量讓魚下沉，並黏上捲尺方便調整高度。



[圖 8] 自製固定魚架設計理念說明圖 (作者自製)

## (三) 模擬太陽光設計理念

為了模擬太陽的平行光，所以使用在光源處放置水管並貼上黑膠帶，減少其他角度的光線。而為了模擬不同時刻或季節時太陽仰角的不同，我們製作了大型量角器，可以方便調整光源入射角度。我們測試使用一個燈泡+水管的效果時，發現光太弱，使水裡不易產生散射，所以就再增加至三個燈炮+三個水管。



[圖 9] 自製不同角度平行光源說明圖 (作者自製)

# 柒、研究過程及方法

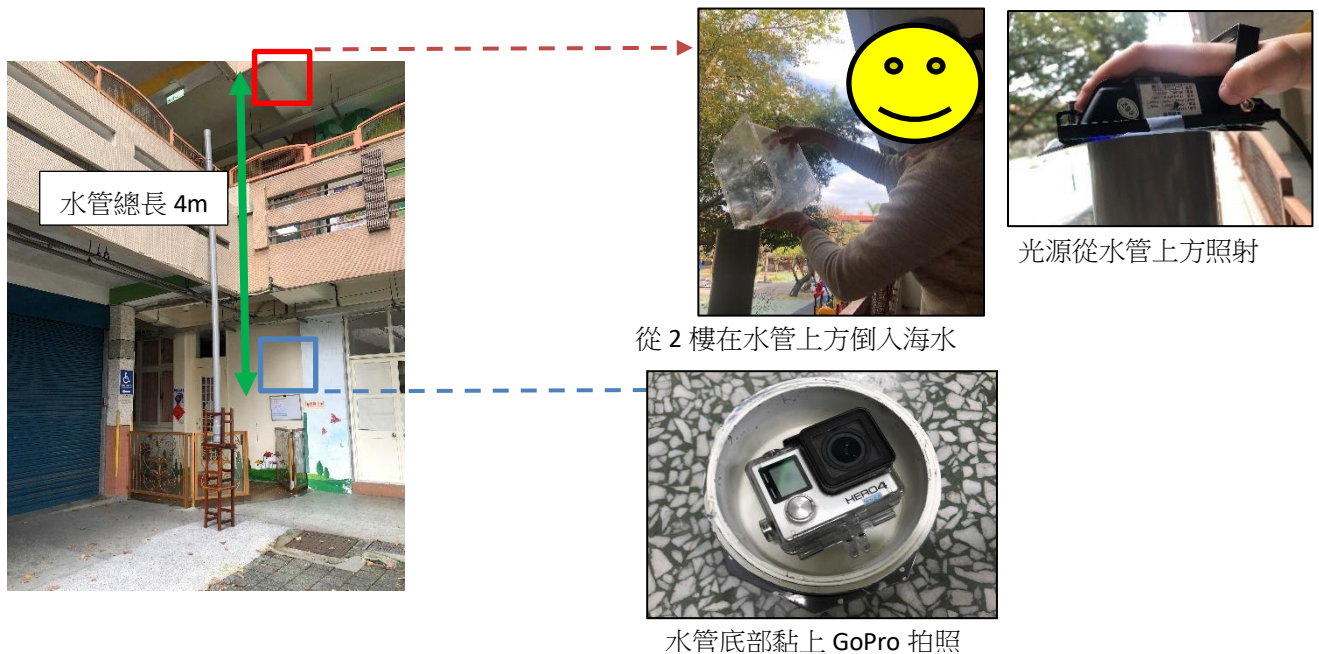
## 一、前置實驗

因為我們難以實際到海中進行實驗，也不方便取用 360 公升的海水，在網上搜尋後發現養殖海水魚時都會在水中加入海水素，所以我們測試看看各種器材或方法是否能夠模擬海水中的環境。

### (一)使用海水素模擬海水測試

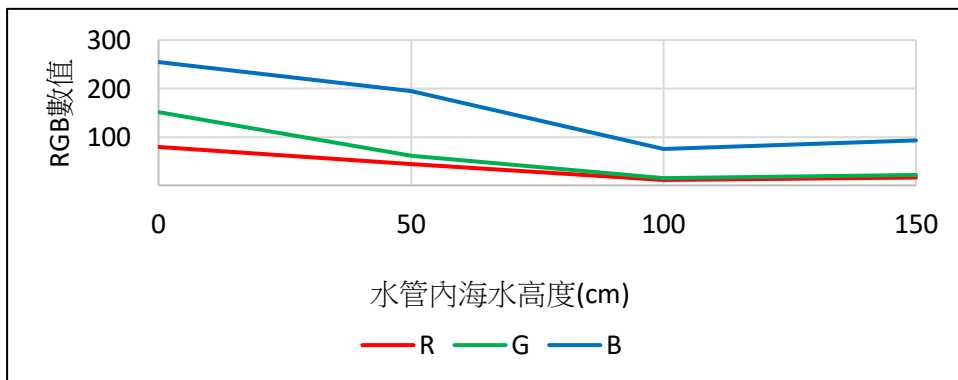
#### 1.研究方法

- (1)將 GoPro 黏在水管底部，與手機連線。
- (2)在水管內倒入 50 cm 高的海水。(依包裝上配置海水濃度 2.6%)
- (3)將光源蓋在水管上方，照射紅光、綠光及藍光，並用 GoPro 拍照。
- (4)再加入海水，使水面升高 50 cm、100 cm、150 cm，並將光源向上提高 50 cm，再重複步驟 3 拍攝結果。



[圖 10] 海水素模擬海水測試實驗裝置圖

#### 2.實驗結果



[圖 11]紅光、藍光、綠光在海水中的 RGB 數值折線圖

### 3.小結論

每次增加水位，RGB 數值都有明顯的下降，比較沒有加水和水深 100 cm 時的差值，藍色 B 值下降 155，差異較大，表示藍光在水管中穿透力最強。而紅色 R 值下降 65，差異最小，表示紅光在水管中穿透力最小，此結果與文獻三相符合，所以我們決定將海水素加入水中進行後續研究。

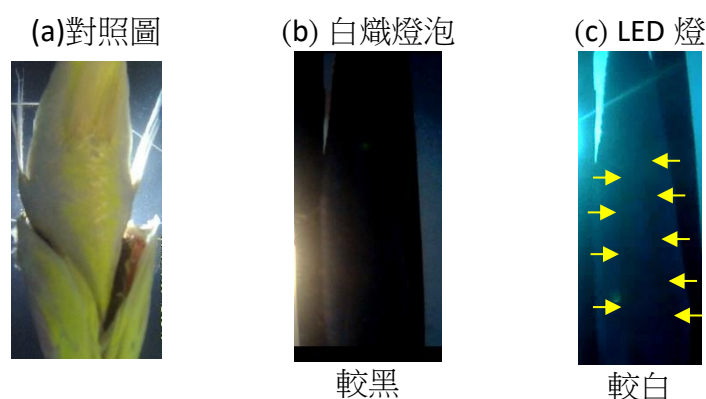
## (二)LED 燈與白熾燈泡模擬太陽光效果測試

文獻探討二有提到因為無法模擬真正的太陽光，我們想進一步測試 LED 燈和白熾燈泡哪一個較適合進行研究，所以利用金線魚金黃色腹色照光後產生銀白色的程度來進行比較。

### 1.實驗方法

- (1)在垃圾桶內加入海水，使水面達到 90 cm，把 GoPro 放到垃圾桶底部並錄影。
- (2)把魚放進魚固定裝置，並固定於 GoPro 上方 20 cm 處。
- (3)把有挖洞的紙箱蓋在垃圾桶上。
- (4)把 LED 燈開啟白光並放上紙板上的洞，關燈製造暗室，錄製 10 秒鐘。
- (5)將 LED 燈換成白熾燈泡，錄製 10 秒鐘，將結果整理成表格。

### 2.實驗結果



[圖 12]白熾燈泡和 LED 燈照射的結果  
(黃色箭頭指為金線魚的金黃色部位)

### 3.小結論

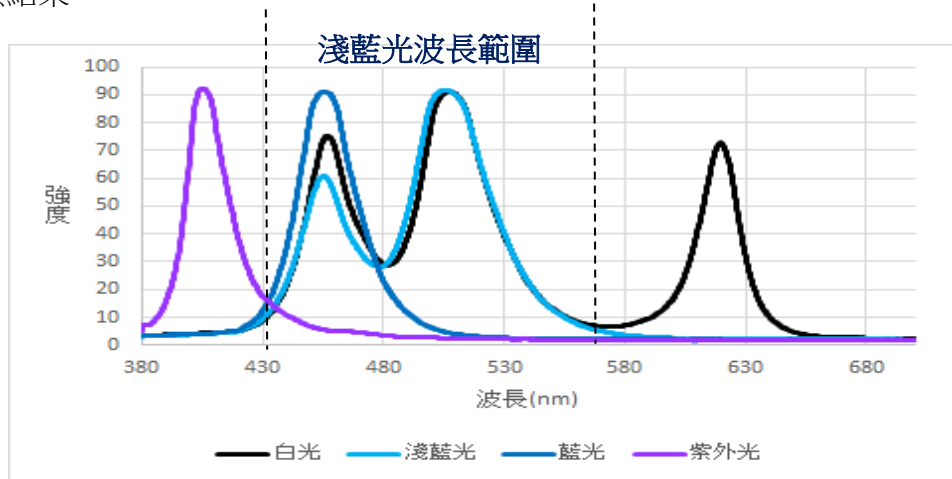
白熾燈泡照射水面時，從魚腹的金黃色看起來呈現黑色，而 LED 燈照射水面時，魚腹的金黃色腹色有顯現出與空氣中結果相似的白色，我們推論是因為白熾燈泡中藍色波段較弱，所以較在水中藍光散射的情形較小，而 LED 燈中的藍色波段較強，所以水中散射的藍光較多，較符合大海中的情形，所以我們後續實驗決定以 LED 燈進行。

### (三)測試缺紅色波長的光源

#### 1.實驗方法

- (1)將分光光度計連接到電腦並開啟，再把光纖配件的箭頭指向光譜插入。
- (2)打開電腦軟體「pasco spectrometer」，點選「分析光源」的按鈕開始分析。
- (3)打開待測光源，點選「開始感測光源波長」，並設定成「自動調整最佳時間」。
- (4)停止偵測，並匯出成 EXCEL 檔。

#### 2.實驗結果



[圖 13]白、淺藍、藍及紫外光的光譜圖

#### 3.小結論：

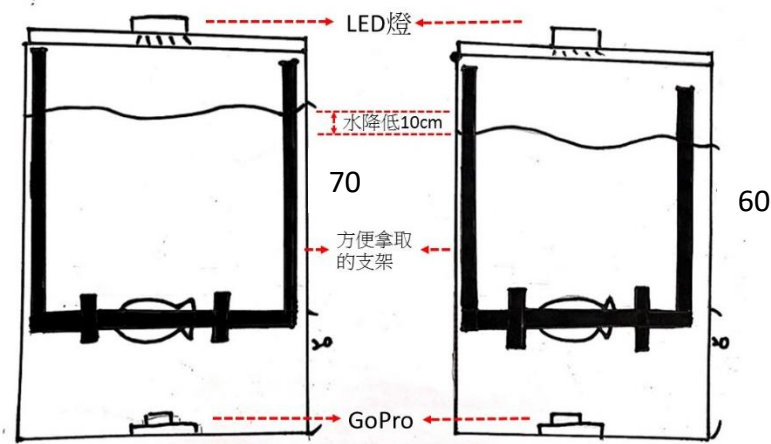
由圖中可以看到淺藍光涵蓋波長範圍約為 430 nm-570 nm，缺長波長的紅光，所以我們決定使用 LED 燈淺藍光做為模擬海水深度 5 m 的光源。

### (四)找出模擬海水環境實驗的最佳深度

由於我們使用垃圾桶模擬海洋，所以想試著探討在模擬的環境中最好的研究深度，所以利用金線魚金黃腹色在垃圾桶中的亮度來找出最佳深度。

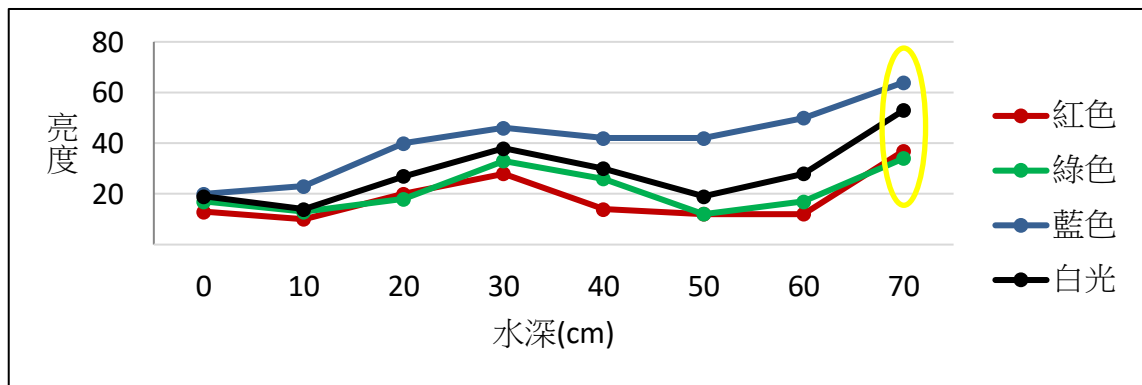
#### 1.實驗方法

- (1)先將 GoPro 開啟錄影，並放至垃圾桶底部。
- (2)將魚固定至 GoPro 上方 20 公分處，再將水高升至 90 公分
- (3)在垃圾桶上方蓋上自製的挖洞紙箱，並依序照射紅光、藍光、綠光和白光
- (4)重複 2~3 步驟，並在每次實驗時將水降低 10 公分。
- (5)將錄影的結果截圖，用 Maxim DL 將圖改成灰階，測量亮度值，製作成折線圖。



[圖 14] 「不同水深對金黃色魚腹體色的影響」實驗示意圖 (作者手繪)

## 2. 實驗結果



[圖 15] 垃圾桶的水深對魚腹亮度的折線圖

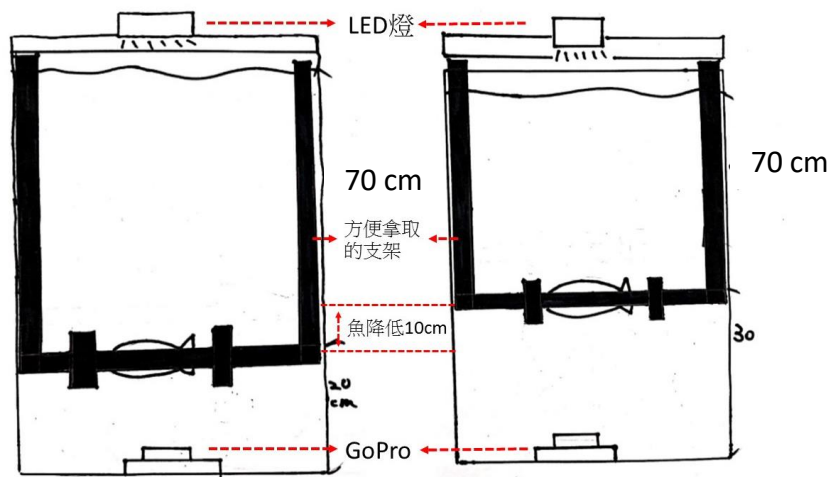
## 3. 小結論

由上圖中可得知在魚和水面相距 70 cm 時，不同色光亮度都最亮，由此可以推論在垃圾桶中水越深，魚腹的亮度比會較亮。但因為此垃圾桶高度的關係，魚和水面最大距離只能維持 70 cm，所以後續實驗都使用 70 cm 進行研究。

## (五) 找出模擬海水環境實驗的最佳觀測距離

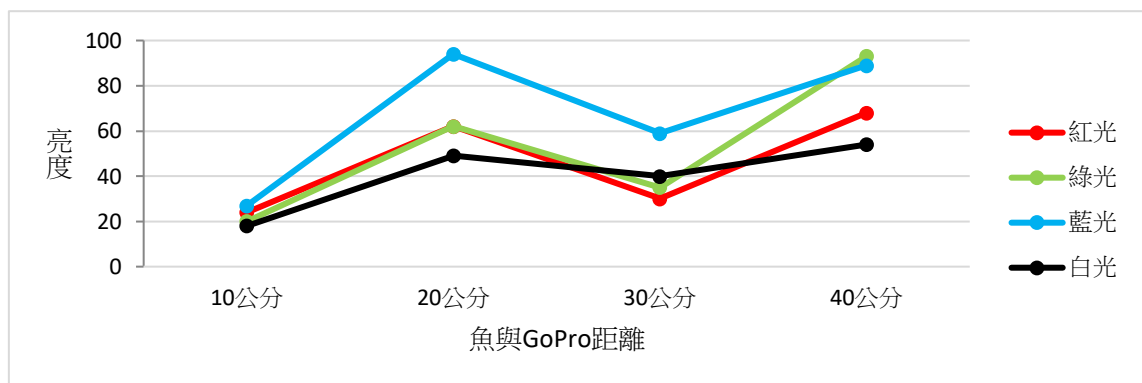
### 1. 實驗方法

- (1) 在垃圾桶加入高 90 cm 的海水。
- (2) 將 GoPro 黏至垃圾桶底部並開始錄影
- (3) 把魚固定至距離 GoPro 上方 20 cm 處。
- (4) 將紙箱蓋在垃圾桶上，依序照射紅綠藍白光，每個光持續 10 秒。
- (5) 換成其他魚種，重複 4-5 步驟。



[圖 16]離魚腹不同距離的實驗裝置示意圖 (作者手繪)

## 2.實驗結果



[圖 17] 改變觀測距離時，金線魚腹色的亮度變化折線圖

## 3.小結論

由上圖中可以看出 GoPro 距離魚腹 20 cm 和 40 cm 時亮度較高，表示 GoPro 距離魚腹 20 cm 和 40 cm 進行觀測會較好，而比較兩個距離在拍攝魚的視野，20 cm 較近較清楚，所以我們選擇使用 20 cm 進行後續研究。

## 二、不同腹色的魚類資料調查

(一)上網搜尋相關資料。

(二)去漁市進行訪問

1.蒐集魚市的地點及營業時間。

2.討論要進行訪問的問題。

- (魚名)什麼時間比較容易捕到?
- (魚名)什麼季節比較容易捕到?
- (魚名)怎麼捕捉上來的?
- (魚名)在多深的海捕?
- (魚名)活著的時候和死掉的時候體色會不會改變?

3.前往魚市，觀察不同顏色的腹色魚類，以及黃色腹色的魚類。

4.訪問魚販[步驟 3]的問題，並錄音及記錄。



[圖 18]作者實際訪問照片，看到不同腹色的魚

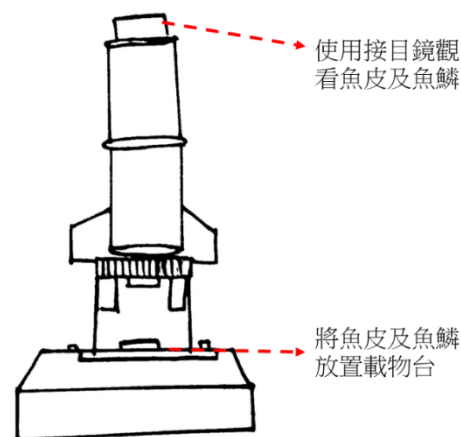
### 三、探討金黃色腹色構造的螢光

因為 FB 的文章中有提到金線魚會產生螢光，查詢文獻後得知「螢光生物本身非發光源，而是吸收發光源發散出來的高能量光(如 UV 或藍光)，瞬間轉換為較低能量的光(如綠、黃、橙、紅光)發散出去」(鄭明倫，2017)，屬於光致發光的物理現象。能吸光發光的稱為「螢光源」。所以我們想進一步探討金線魚的金黃色是單純金黃色的反射光，還是光致發光的螢光呢？也想知道是魚的哪一個構造產生螢光。

#### (一)使用顯微鏡觀察黃色魚皮及魚鱗構造之實驗步驟

利用顯微鏡去觀察同樣黃色腹色的金線魚及黃魚的魚皮及魚鱗構造有無差別。實驗步驟如下：

- 1.先取下金線魚的鱗片和切下腹部的魚皮
- 2.將魚皮和魚鱗分別放在載玻片上，並用吸管加點水，再蓋上蓋玻片。
- 3.將做好的樣本，放上顯微鏡
- 4.將黃魚的魚皮及魚鱗重複上述步驟

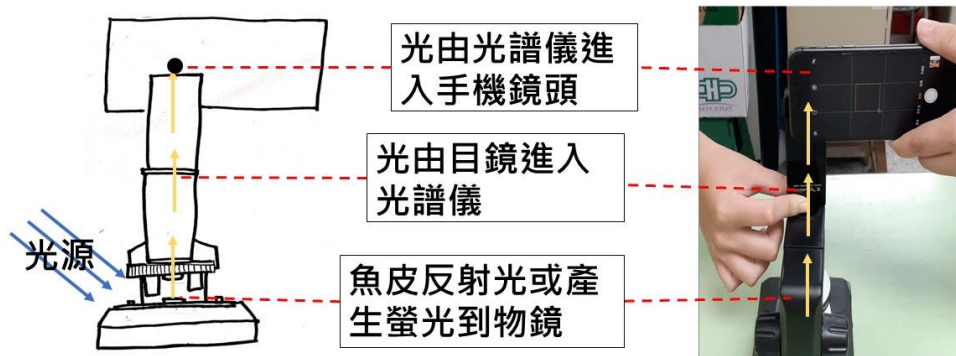


[圖 19]使用顯微鏡觀察魚皮和魚鱗

#### (二)「比較三原色光照射黃色魚皮產生的光譜」之實驗步驟

- 1.將底金線魚金黃色腹部的魚皮用鑷子放在玻片上，滴一滴鹽水，蓋上蓋玻片，製成標本。
- 2.將手機光譜儀、手機及顯微鏡固定如[圖 20]
- 3.將玻片放置顯微鏡的載物台上，並用調節輪調整焦距到能看清魚皮細胞。

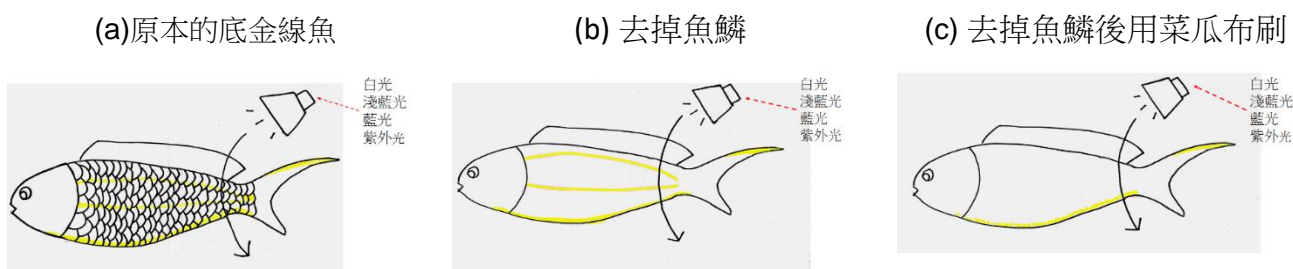
- 4.分別使用紅光、綠光、藍光及紫外光照射玻片。
- 5.使用手機拍照光譜，並使用 IMAGE J 分析成光譜圖。
- 6.將標本換成底金線魚側面黃色魚皮，並重複 4-5 步驟。
- 7.將魚皮標本拿下，放上空白載玻片並重複第 4-5 步驟，做為對照組。



[圖 20]手機光譜儀和顯微鏡組合示意圖和實際照片(作者自繪)

### (三)探討金黃色在魚皮的位置

- 1.利用紅光、藍光、綠光及 UV 光照射金線魚側面及腹面，並錄影紀錄。
- 2.將魚鱗去除後，利用紅光、藍光、綠光及 UV 光照射金線魚側面及腹面，並錄影紀錄。
- 3.用菜瓜布刷金線魚的側面及腹面後，利用紅光、藍光、綠光及 UV 光照射金線魚側面及腹面，並錄影紀錄。



[圖 21 a.b.c]使用菜瓜布刷魚皮實驗裝置示意圖

## 四、模擬海水中，探討魚類腹色與棲息深度的關係

我們想模擬海水中的環境中，在下方觀測魚腹時亮度會有什麼不同，所以使用自製魚架將魚固定在模擬的海水中，使用 GoPro 在魚下方當作觀測者，再由決定使用白光模擬海水深度約 5 m，LED 淺藍光模擬海水深度約 10 m，使用藍光模擬海水深度約 200 m 來進行實驗。

因為要找不同腹色的魚種來進行腹色與棲息深度的關係，而在挑選我們要進行研究魚之前，我們也到台灣魚類資料庫調查魚的棲息深度，然後我們挑的魚種如下：



紅色腹色：銀紋笛雕

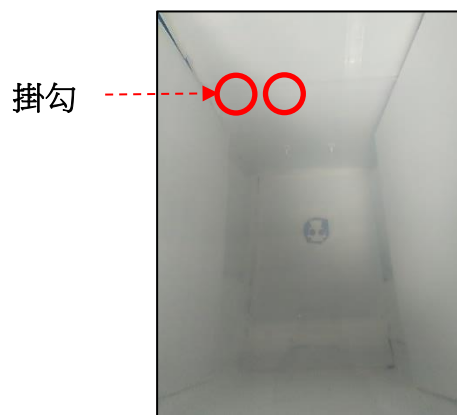
黃色腹色：黃魚、大金線

金黃腹色：底金線、金線魚、日本金線魚

白色腹色：秋刀魚、香魚

### (一) 以不同觀測距離對觀測者眼中腹色的影響

- (1)在垃圾桶加入水高 100 cm 的海水。
- (2)將 GoPro 黏至垃圾桶底部。
- (3)利用捲尺測量，把金線魚固定在距離 GoPro 上方 10 cm 處。
- (4)將有開動的紙箱蓋在垃圾桶上，依序照射紅綠藍白光，每個光持續錄製 10 秒。。
- (5)利用捲尺將魚的位置上升 10 cm，並重複步驟(4)-步驟(5)。
- (6)將金線魚換成黃魚及黃足笛鯛，並重複步驟(1)-步驟(7)。
- (7)將錄影的結果截圖整理成表格，並利用 Maxim DL 將圖改成灰階，並測量亮度，製作成折線圖。



[圖 22]利用掛勾固定魚架高度

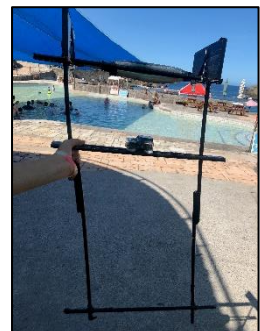


[圖 23]將教室燈關關閉形成暗室，再用有挖洞的紙板蓋上，形成暗箱，不同色光的光源

### (二) 在海洋中進行潛水測試

#### 1. 實驗方法

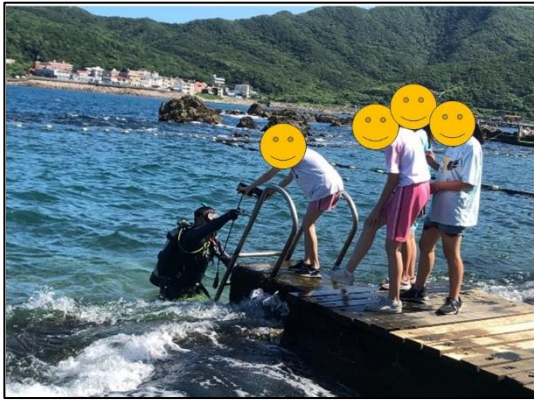
- (1) 和龍洞灣海洋公園聯繫，請潛水教練將魚下潛至深度 5 m 及 10 m 的海水中，對魚腹進行拍攝。
- (2) 將魚及 GoPro 放置魚架上(如右圖)，魚和 GoPro 的距離固定在 20 cm。



[圖 24]自製魚架，上方放魚下方放 GoPro。

(3) 將魚架交給潛水教練，請教練依步驟 1 協助至海中進行拍攝。

(4) 更換魚架上的魚類，重複步驟 2-4。



[圖 25]將魚架交給淺水教練情形

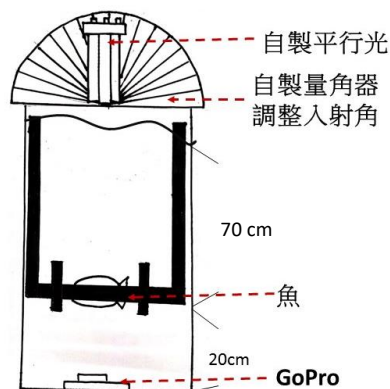


[圖 26]當場確認拍攝情形

### 五、探討魚類腹色與生殖的關係

由文獻得知金線魚的生殖期為 6-10 月(Puentes Granada.v.,2003)，而太陽在照射海洋時，因為五年級學過太陽會東升西落，一天和四季仰角都會不一樣，代表太陽光的入射角度也會不同，所以我們想研究如果將光源以不同入射角度照射時對觀測者眼中金線魚金黃色的魚腹會有什麼影響呢? 實驗步驟如下:

- (1) 在垃圾桶裡加水至 90 cm，放入 GoPro，並把魚固定在 GoPro 上方 20 cm 處。
- (2) 將水管對準大型量角器 15 度(光源照射角度 15 度)，中心點對準垃圾桶上方，照射 10 秒鐘。
- (3)將水管對準 大型量角器 30 度(光源照射角度 30 度)，中心點對準垃圾桶上方，照射 10 秒鐘。
- (4)以此類推，每次增加角度 15 度，共作 45 度、60 度、75 度及 90 度。
- (5)將錄影的結果截圖整理成表格，並利用 Maxim DL 將圖改成灰階，並測量亮度，製作成折線圖。



[圖 27] 實驗裝置示意圖 (作者手繪)及實驗照片

## 捌、實驗結果

### 一、金線魚、黃魚和黃足笛鯛生活習性資料調查

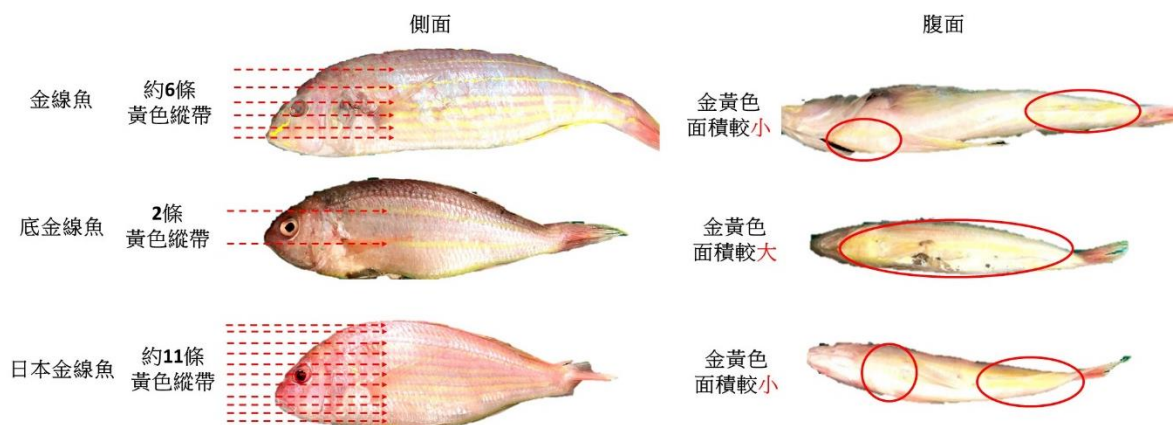
#### (一)漁市訪問

1.我們在漁市看到魚類的顏色大多是上深下淺，與文獻探討(六)所說的消滅色符合。在漁市中看到了許多不同腹色的魚，白色腹色有的秋刀魚、香魚、鯖魚...等，紅色腹色的銀紋笛鯛(紅槽)、，和黃色腹色的黃魚、日本金線魚、隆背笛鯛、底金限魚。大多數是白色腹色的魚，而黃色或紅色的腹色較少

詢問好幾攤魚販老闆時，我們發現大多數魚攤老闆並不知道金線魚還有不同的種類，只知道來源，所以稱為是「本港金線魚」和「進口金線魚」，依照老闆所敘述的特徵，我們認為本港金線魚可能是指金線魚或日本金線魚，而進口金線魚可能是指底金線魚。

2.我們在市場觀察到有不同的金線魚，並針對外表進行觀察與比較，整理成下方[圖 28]。我們發現底金線魚側面有 2 條黃色縱帶，金線魚體側有 5 條黃色縱帶，日本金線魚側面有 11 條黃色縱帶，此部分跟文獻一的[表 1]中相同。

但文獻一的敘述只有底金線魚為金黃色，但我們發現在某些月份幾乎三種金線魚都是金黃色腹色，但底金線魚幾乎整個腹色都是金黃色，而金線魚和日本金線魚的金黃色面積較少，此部分與資料不太相同。



[圖 28]市場的金線魚、底金線魚和日本金線魚比較

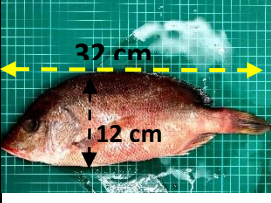
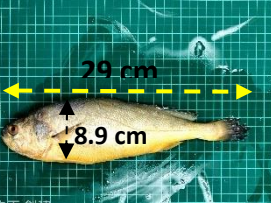
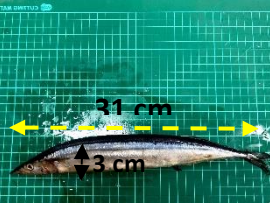
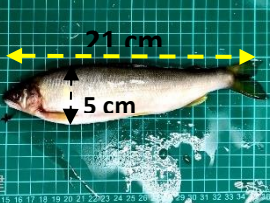
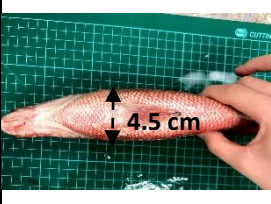
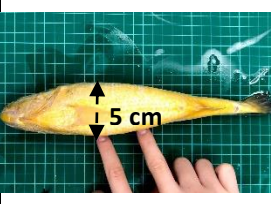
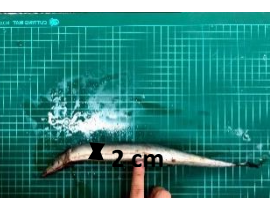
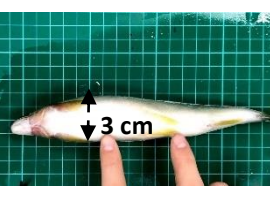
3.我們在約 9-10 月時，都買的到金黃色腹部的底金線魚或金線魚，但 11 月後，卻幾乎只剩白色腹色的金線魚，都看不到金黃色腹色。到了 5 月時，市場才又開始出現了

金黃色腹色的底金線魚、金線魚和日本金線魚。

## (二)魚類資料調查

在魚市中有看到很多魚種，無法一一進行說明，所以下方表格只顯示有進行深度研究的魚。

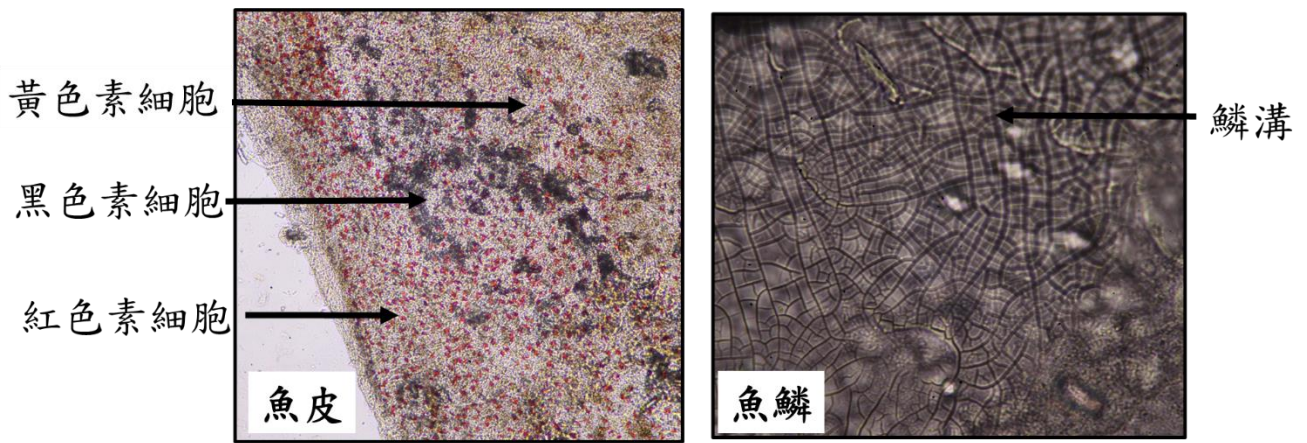
[表 2]不同腹色的魚類資料

名稱	銀紋笛鯛	黃魚	秋刀魚	香魚
科別	笛鯛科	石首魚科	秋刀魚科	胡瓜魚科
學名	<i>Lutjanus argentimaculatus</i>	<i>Larimichthys crocea</i>	<i>Cololabis saira</i>	Temminck & Schlegel
棲息深度	1-120 公尺	10-70 公尺	0-230m	1-10 公尺
繁殖季	4-9 月	夏季	2-3 月	每年 12 月至次年 5 月底
特徵	1. 體為一致之紅褐色至深褐色	1. 體側上半部為黃褐色 2. 臀、腹及胸鰭為鮮黃色。	1. 體背部及側上方為暗灰青色 2. 腹側面銀白色 3. 體側中央具一銀藍色縱帶。	1. 身體背部青黑色。 2. 體側和腹部銀白色
側面圖				
腹面圖				

## 二、探討黃色魚腹構造與螢光的關係

### (一) 使用顯微鏡觀察金線魚魚皮和魚鱗的構造

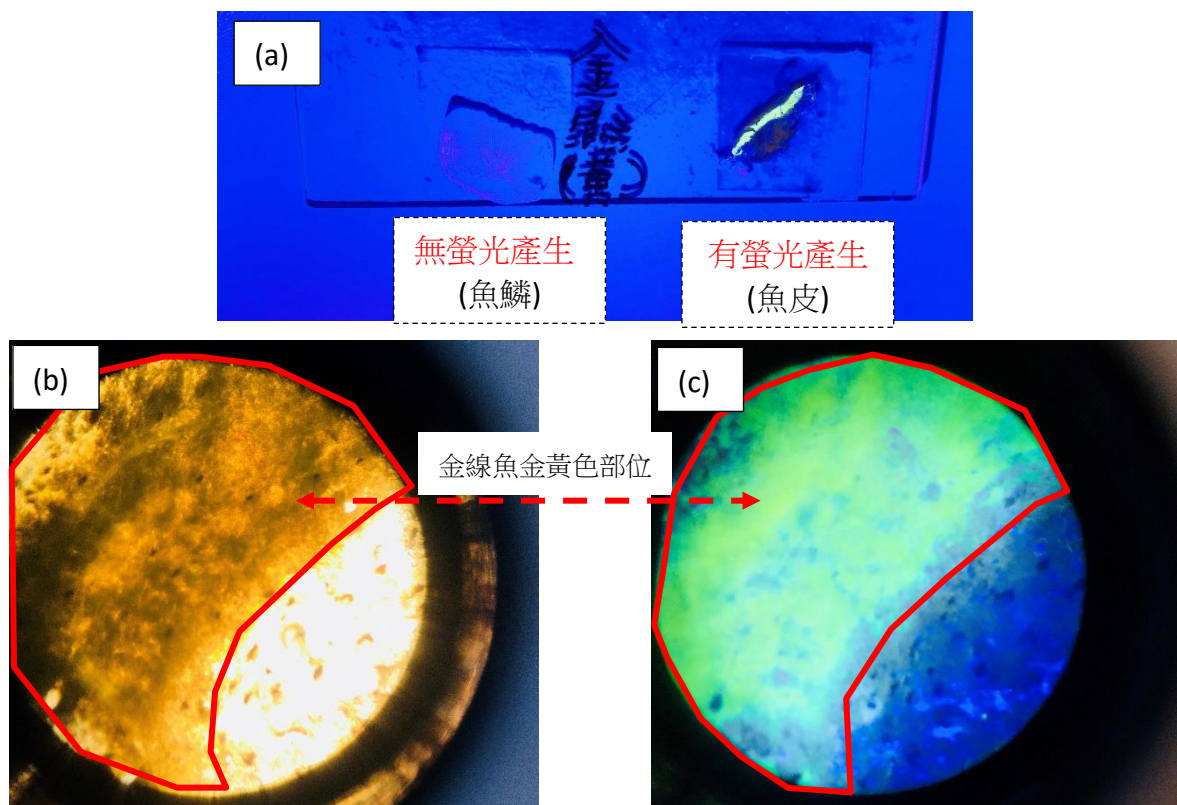
1. 下圖為使用複式顯微鏡觀察的結果，可以看到魚皮上明顯有黃色素細胞、黑色素細胞及紅色素細胞，而魚鱗上只觀察到鱗溝，未見到色素細胞。

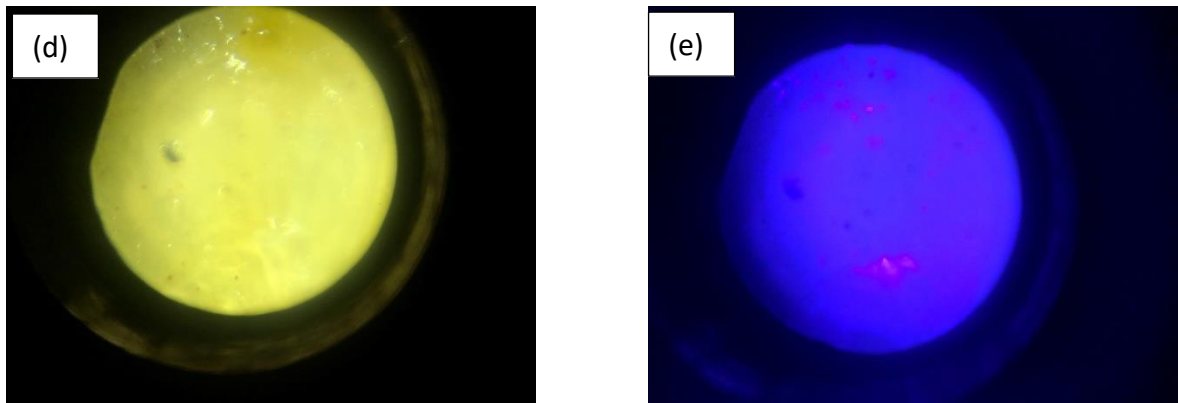


[圖 29]顯微鏡觀察金線魚魚皮及魚鱗的色素細胞圖(400X)

我們將魚鱗和魚皮同時照射紫外光(380 nm-420 nm)，如[圖 26(a)]，發現魚鱗沒有螢光產生，而金黃色魚腹更亮更明顯，且也不是由魚皮中的紅色色素細胞、黃色色素細胞或黑色色素細胞產生螢光。接著我們將金線魚和黃魚的魚皮放到顯微鏡下觀察，並分別照射白光及 UV 紫外光，發現金黃色魚腹在照射 UV 紫外光時，從黃色變成了黃綠色[圖 26(c)]，但黃魚的黃色魚皮卻呈現紫色，兩者不太相同

我們推測金線魚照射 UV 紫外光會產生黃綠色，是因為「短波長的 UV 紫外光照射到金黃色魚皮後後激發出長波長的黃綠光，才會顯現出黃綠色」，因此我們繼續測量光譜來證明。



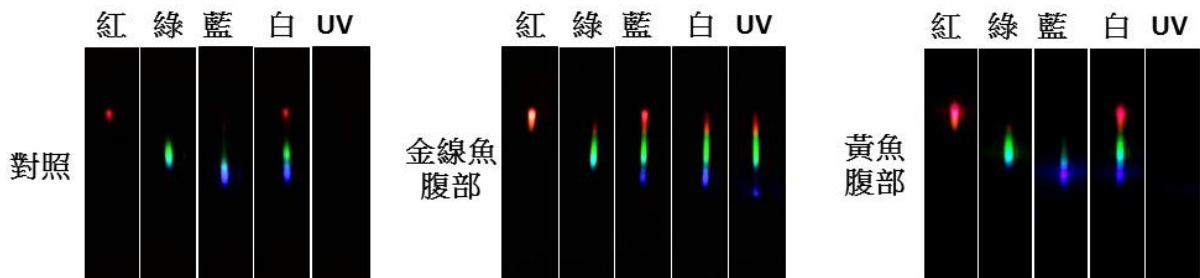


[圖 30]使用 UV 燈照射金線魚金黃色部位的情形圖

- (a) 用 UV 光照射魚鱗和魚皮的情形，魚鱗無變化，而魚皮產生黃綠色螢光
- (b) 使用顯微鏡的白光照射時，由顯微鏡觀看的金黃色魚皮呈現黃色(倍率 100X)
- (c) 使用 UV 光照射時，由顯微鏡觀看的金黃色魚皮呈現亮黃綠色(倍率 100X)
- (d) 使用顯微鏡的白光照射時，由顯微鏡觀看的黃魚黃色魚皮呈現黃色(倍率 100X)
- (e) 使用 UV 光照射時，由顯微鏡觀看的黃魚黃魚皮呈現紫色(倍率 100X)

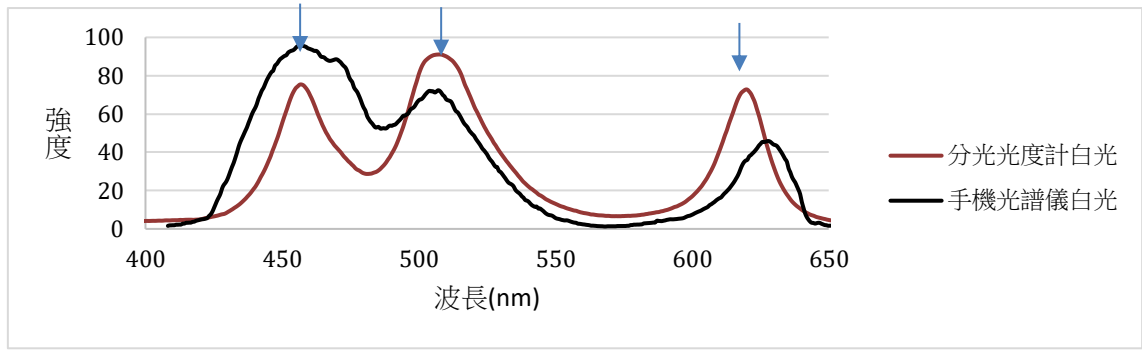
## (二) 比較不同色光照射黃色魚皮產生的光譜

使用手機光譜儀和顯微鏡組裝而成的儀器，將拍到的照片結果如下[圖 27]，可以看出在藍光及 UV 紫外光的時候有明顯的差異，多了其他顏色的光譜，代表說是由金黃色魚腹產生的螢光所造成的，尤其是在 UV 紫外光照射時，空白樣本完全沒有任何光譜，而在底金線魚腹有，因此我們可以證明有產生螢光。



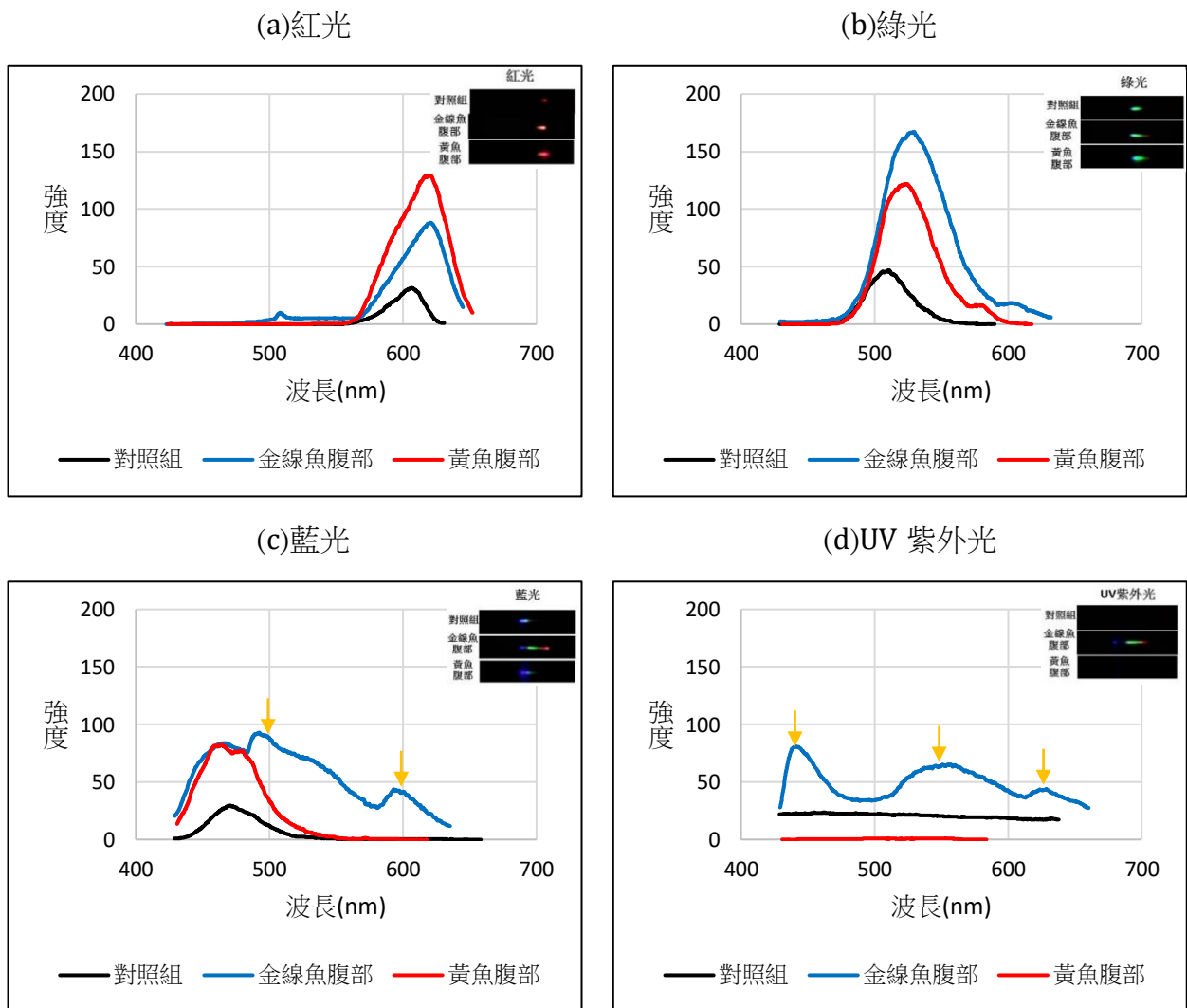
[圖 31]不同色光照射魚皮的光譜

我們也用 ImageJ 去分析上方照片的波長，由[圖 31]我們可以知道使用分光光度計和手機光譜儀所測得的白光光譜波峰差不多，可以推論手機光譜儀測量光譜是準確的，表示可以利用此方法來測量底金線的螢光光譜。



[圖 32] 手機光譜儀及分光光度計測量的白光光譜比較圖  
(藍色箭頭為光的三原色波峰，位置大致相同)

在紅光照射下的光譜分析結果如上，我們可以發現波峰幾乎都與紅光波長一致，因此看不出有螢光的情形。然而用綠光照射下，我們發現魚腹在 570 nm 左右有一波峰，強度不強，但推測有些微的黃光的波長。用藍光照射下，也清楚的看到在綠光及黃光有明顯的波峰。由以上結果可以推論「短波長的 UV 紫外光照射到金黃色魚皮後後激發出長波長的黃綠光，才會顯現出黃綠色」是正確的。



[圖 33 a.b.c.d] 紅光、綠光、藍光和 UV 紫外光照射金黃色魚腹與黃色魚腹的光譜圖  
(黃色箭頭表示有激發出的長波長波峰)

### (三)觀察金黃色在魚皮的位置

#### 1. 比較金線魚和底金線魚產生的螢光部位

我們用 UV 紫外光照射金線魚和底金線後，看到金線魚和底金線魚側面和腹部都有螢光產生，比較後發現金線魚和底金線魚側面的金黃色縱帶都會產生螢光;但金黃色腹部產生螢光的面積則是底金線比較大，金線魚比較少。



[圖 34 a.b]使用 UV 紫外光照射金線魚及底金線魚

(a)照射側面，金黃色縱帶都會產生螢光

(b)照射腹部，底金線魚整面都產生螢光，金線魚只有部分產生螢光

#### 2. 比較底金線魚有魚鱗、沒魚鱗及用菜瓜布刷魚皮時所產生的螢光

##### (1)側面的金黃色縱帶比較

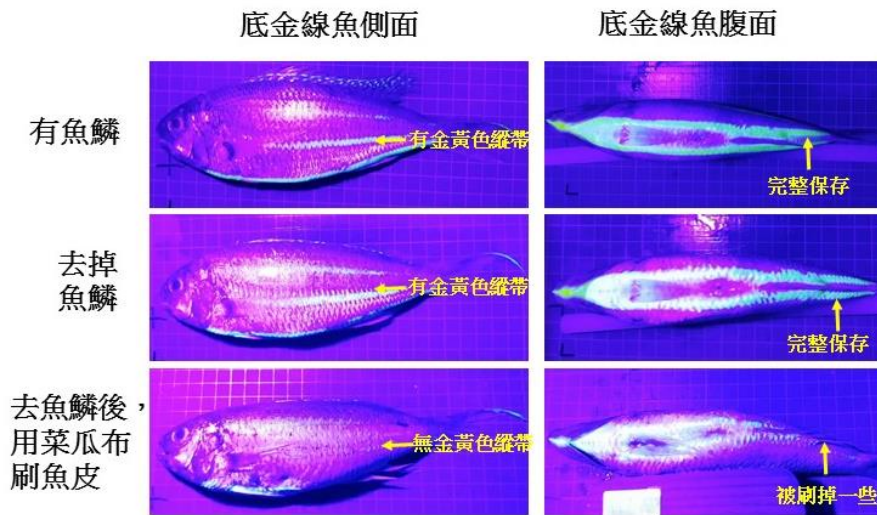
比較有魚鱗、去掉魚鱗和去魚鱗後用菜瓜布刷魚皮三種狀況下側面的金黃色縱帶，發現去掉魚鱗後的結果和有魚鱗的結果一樣，金黃色縱帶都還是會產生螢光。但是去掉魚鱗後再用菜瓜布刷魚皮(魚皮還在)，金黃色縱帶都幾乎被刷掉了，所以在 UV 紫外光照射下就沒有螢光產生了。

##### (2)金黃色腹部比較

比較有魚鱗、去掉魚鱗和去魚鱗後用菜瓜布刷魚皮三種狀況下的金黃色腹部，發現去掉魚鱗後的結果和有魚鱗的結果一樣，金黃色腹部都還是會產生螢光。而去掉魚鱗後再用菜瓜布刷魚皮(魚皮還在)，金黃色腹部刷不太掉，但可以看出有些區塊的螢光變弱。

從以上兩點側面及復部綜合比較，可以得知產生螢光的部位位在魚鱗和魚皮之間，我們推測金黃色縱帶和金黃色腹部皆為「表皮分泌出的螢光物質」，讓金線魚在短波長的照射下可以激發出螢光，只是金黃色腹部的螢光物質較難刷掉。





[圖 35] 有魚鱗、去掉魚鱗及去魚鱗後用菜瓜布刷魚皮，用紫光照射側面及腹部的結果

### 三、探討魚類腹色與棲息深度的關係

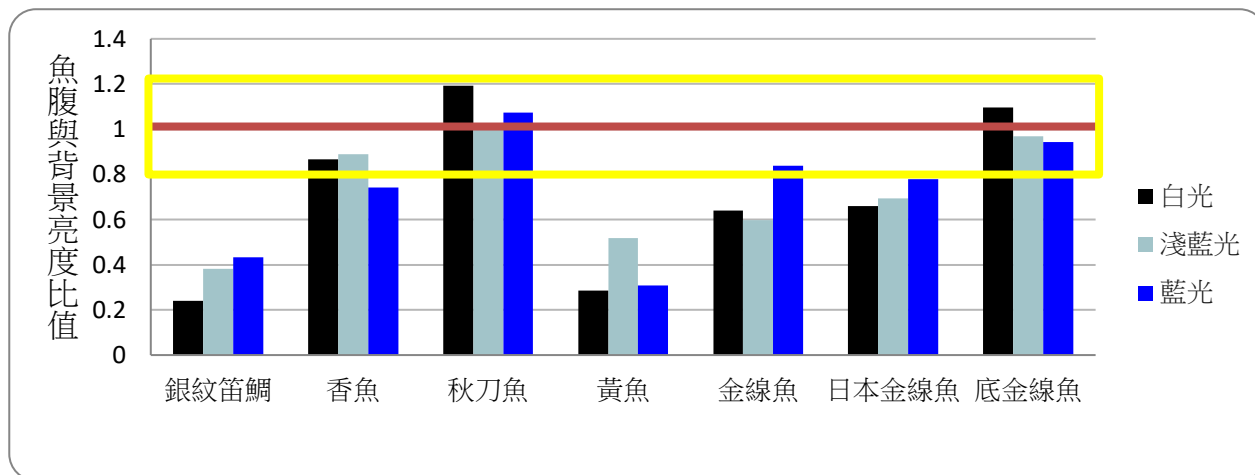
我們用顏色來模擬水深，1 公尺用白光、5 公尺用淺藍光、200 公尺用藍光，因此綜合比較了銀紋笛鯛、香魚、秋刀魚、黃魚、金線魚、日本金線魚、底金線魚這七種魚在不同水深的情形，另外我們也將各種魚類的活動範圍，繪製成表格，如[表 3]。

[表 3]不同種魚類的棲息深度

	日本金線魚	底金線魚	金線魚	黃魚	秋刀魚	香魚	銀紋笛鯛
1 m	√				√	√	√
5 m	√			√	√	√	√
200 m		√	√		√		

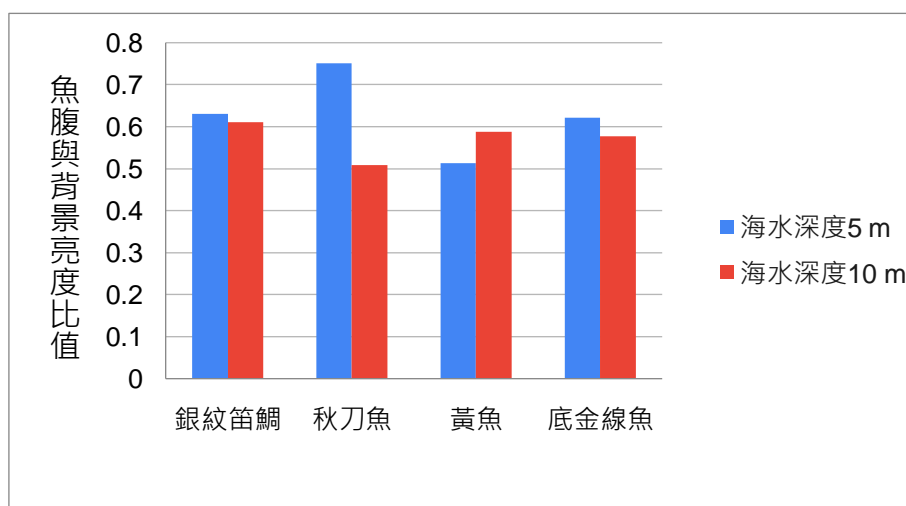
由[圖 36]可看出，當照射白光時，香魚、秋刀魚和底金線魚的亮度比值( $\frac{\text{魚腹亮度}}{\text{背景亮度}}$ )範圍在 0.8~1.2 之間，所以我們推測這三種魚可能比較適合生存在海水的上層，因為亮度比值越接近 1，代表魚腹與環境的顏色越接近，對魚來說較能形成保護色。而同時香魚、秋刀魚和底金線魚在淺藍光照射下，亮度比值一樣在 0.8~1.2 之間，更可確認這三種魚是在較上層的海域，另外我們也有去查這三種魚的資料，資料顯示香魚活動範圍在 1~10 公尺、秋刀魚在 0~230 公尺、底金線魚在 35~300 公尺，目前從查詢的資料與我們的實驗結果相比較，發現大多都符合，而底金線魚雖然與我們實驗不符合，但我們推測可能與底金線魚的繁殖期有關，因為我們在做實驗的這段期間，發現金線魚到了繁殖期的時候，金黃腹色會特別明顯，

而這個會造成我們實驗結果亮度比值會比較高，因此造成實驗結果與資料文獻不相符。而當照射藍光時，秋刀魚、金線魚、底金線魚的亮度在 0.8~1.2 範圍之間，所以推測這些魚可能在水深較深的地方生存，而我們也去查詢這些魚的活動範圍，秋刀魚在 0~230 公尺、金線魚在 40~220 公尺、底金線魚在 35~300 公尺，和我們的實驗結果相比，大多都符合。



[圖 36]不同魚的腹色亮度與背景光亮度比值長條圖 (n=15)

另外我們也有實際去海邊龍洞灣做實驗，請潛水教練協助幫我們拍攝不同魚腹在水深 5 公尺及水深 10 公尺的情況，結果如下[圖 37]，比對了我們的模擬實驗與海洋的實測，在黃魚與秋刀魚是與我們實驗結果非常接近的，而底金線魚與銀紋有差一些，之後的研究可以再更進一步探討原因。

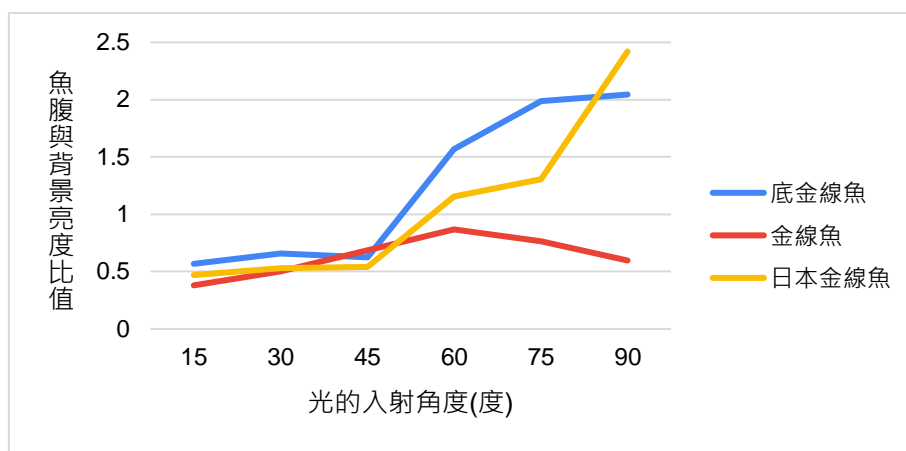


[圖 37] 實際海洋中，不同魚種魚腹與背景亮度比值長條圖 (n=15)

#### 四、探討魚類腹色與生殖的關係

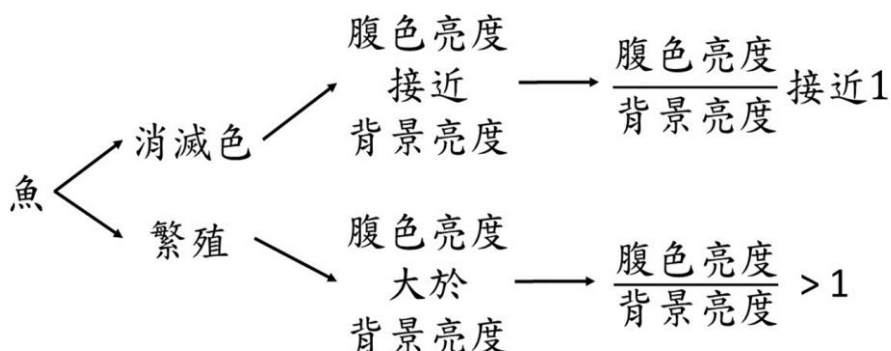
不同的季節，太陽的高度角不同，陽光的人射角也就不同，因此光在海水中散射程度就會有所差異，因此我們試著用不同角度的人射光來模擬太陽在天空中的位置，然後觀察對魚腹有無影響，而實驗結果如[圖 38]，我們從實驗結果可以發現到在光的人射角度越高時，底金

線魚和日本金線魚的腹色會較亮，亮度比值都大於 1，只有金線魚在不同角度亮度比值都小於 1，我們推測這與金黃腹色的多寡有關，這三種魚裡面就只有金線魚的魚腹金黃色較不明顯，因此能產生螢光的效果就相對較弱，所以在亮度比值上就會比較小。



[圖 38] 觀察光不同入射角度對不同種金線魚腹色的亮度比值折線圖(n=15)

另外我們覺得如果亮度比值是大於 1 的話，由於比較容易被別人看見，因此可能是繁殖期，而亮度比值接近 1 的話，魚腹的體色與環境相近，因此有保護的效果。



[圖 39] 魚類腹色亮度與消滅色、繁殖的關係圖

## 玖、討論

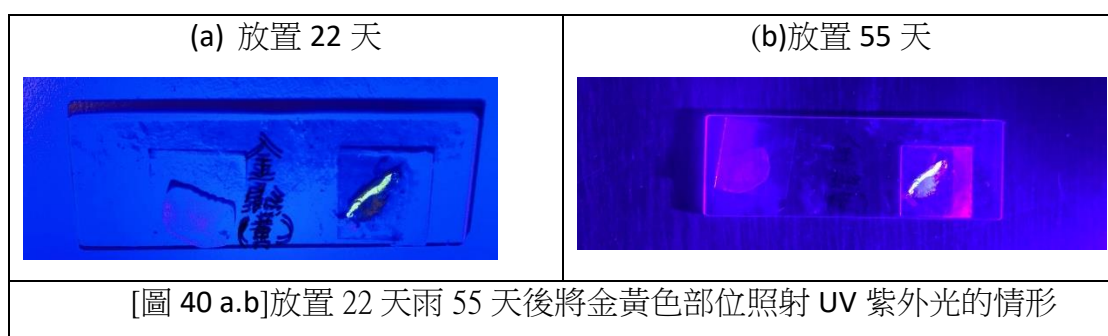
### 一、金線魚的表皮分泌螢光物質，在短波長光照射下會激發出螢光

由「實驗結果二探討金黃色腹色構造的螢光」中，我們得知以下四點推論：

- (一) 魚鱗沒有產生螢光。
- (二) 紅色色素細胞、黃色色素細胞或黑色色素細胞無產生螢光。
- (三) 短波長的 UV 紫外光照射到金黃色魚皮後，會釋放出長波長的黃綠光，才會顯現出黃綠色。
- (四) 金黃色縱帶和金黃色腹部皆為「表皮分泌出的螢光物質」，但腹部的螢光物質較難

清除。

而從文獻中查詢魚類的體色相關資料時，得知「魚的體色怎麼來，主要是皮膚內的色素細胞的反射結果，魚的色素細胞包括黑色素細胞、紅色素細胞、黃色素細胞和彩虹色素細胞四種。由於色素的多少不同，色素的轉化以及分佈而形成不同魚種色彩變化的基礎，而這些色素細胞的形狀可以改變，不同的形狀，會讓魚體表顯現出不同的色彩。」（邱郁文，2017），而文中的所提到魚類產生體色的原理跟我們所看到實驗結果不大符合，所以我們進一步將金線魚放置多天後進行觀察，結果如下圖。



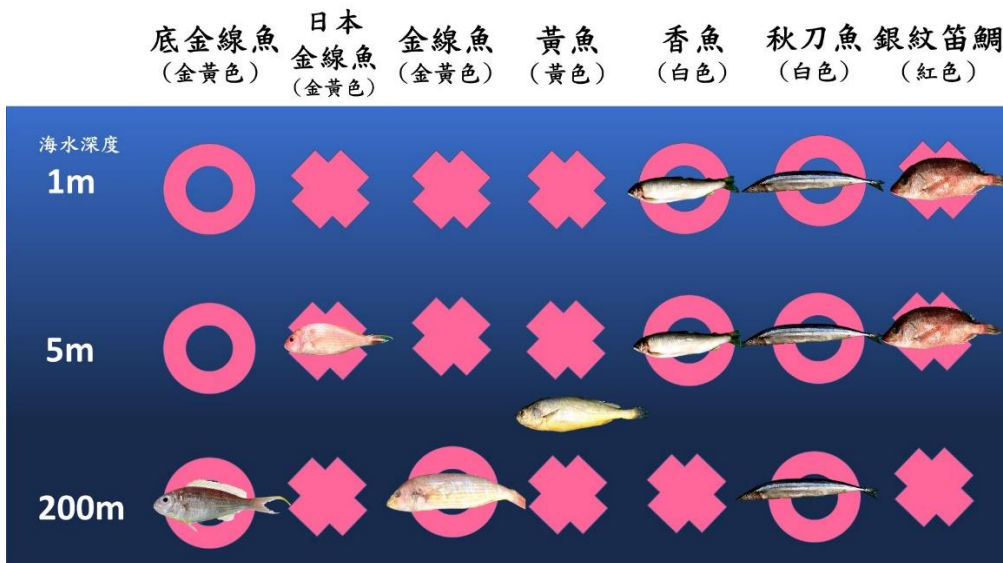
我們發現放置多天的金線魚體色會變得較黯淡，由上方文獻來判斷應該是色素細胞造成的影響。而有趣的是 UV 紫外光照射下，表皮分泌出的螢光物質仍然可以被激發螢光，由此可以得知螢光物質應該與各種色素細胞無關，此現象在動物的體色中我們認為屬於化學色。

綜合以上的推論我們整理成下表

	一般魚類體色	金線魚 其他體色部位	金線魚 金黃色部位
體色產生構造	黑色素細胞、紅色素細胞、黃色素細胞和彩虹色素細胞	黑色素細胞、紅色素細胞、黃色素細胞	表皮分泌出的螢光物質
是否可以產生螢光	否	否	是
物理色或化學色	化學色	化學色	化學色
放置多天後觀察	體色會變	體色會變	仍然可以產生螢光

## 二、魚類腹色可保護自己不被敵人發現

若將實驗三「 $\frac{\text{魚腹亮度}}{\text{背景亮度}} = \text{亮度比}$ 」的結果，將亮度比 0.8-1.2 間定義為消滅色效果較好打 O，亮度比 0.8-1.2 以外表示消滅色效果較差打 X，並與查詢的[表 3]不同魚腹的棲息深度進行比對，結果如[圖 37]，從結果中我們可以得知我們的實驗結果與實際海洋中魚的活動範圍，兩者相符性高達 76%，另外如果我們只看白色腹色的話，相符率更高達 100%，因此我們可以知道「魚腹顏色與棲息深度是有關係的」，因為不同色光在海水穿透的能力不同，因此會對不同的腹色造成不一樣的效果，所以這也是造成不同的魚會有不同活動範圍的原因之一，通常整隻身體都紅色的魚理論上應該比較適合活動在水深 1 公尺以下，因為 1 公尺以下紅光幾乎快消失，對紅魚來說可以形成保護色，掠食者較看不到。另外實際在海水中做實驗，也可以發現秋刀魚確實比較適合在淺海地帶活動，如果越往深處，秋刀魚腹色的保護效果就會較差。



[圖 41]不同腹色的魚種棲息深度與消滅色效果綜合體鱗圖

不同深度中有魚的圖，表示「此魚的棲息深度有此範圍內  
而 O 表示消滅色效果好，X 表示消滅色效果不好

$$\frac{\text{棲息深度與消滅色效果相同}}{\text{總數}} = \frac{16}{21} = \text{符合比率約 } 76\% \text{ (以所有腹色計算)}$$

$$\frac{\text{棲息深度與消滅色效果相同}}{\text{總數}} = \frac{6}{6} = \text{符合比率 } 100\% \text{ (以白色腹色計算)}$$

### 三、太陽光的入射角與魚類繁殖期有關係

在太陽光入射角為 60~90 度時，底金線和日本金線的腹色會較亮，而查詢臺灣四季代表日的仰角資料符合 60~90 度之間的有春分的 11:00-13:00、夏至的 10:00-14:00、秋分的 11:00-13:00，表示這些時間能使底金線和日本金線腹色的亮度增加。

如果我們是看亮度比值最高的角度 90 度來看，由[表 4]可以得知在日本地區，我們找不到高度角接近 90 度的，而印尼和台灣都有接近 90 度的，再由我們查詢到的金線魚資料顯示，金線魚的分布範圍在熱帶與亞熱帶，因此我們推測金線魚在這些地區，太陽的高度角會比較高，使得魚腹亮度與背景光亮度比值較高，因而讓同種魚類較能看到彼此，可增加繁衍後代的機會，加上我們也查詢了金線魚的繁殖期是在六月到十月之間，這時期剛好在臺灣也是太陽高度角較高的時候，然後在我們研究魚腹的這段期間，我們也發現到金線魚在冬天的時候比較不容易買，而且魚腹的金黃色也沒這麼明顯，直到五月多的時候，金線魚產量又開始變多，魚腹的金黃色也開始變明顯，所以我們推測金線魚的金黃腹色與繁殖有關。

	春分					夏至				
國家	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00
日本	27	49	59	46	23	40	66	81	59	34
台灣	26	51	66	54	29	35	62	89	63	36
印尼	30	60	90	60	30	28	54	67	52	26
	秋分					冬至				
國家	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00
日本	30	51	58	43	20	14	30	35	26	8
台灣	29	53	66	51	25	15	34	42	34	14
印尼	34	64	86	56	26	29	54	66	51	26

[表 4]日本、臺灣、印尼四季代表日的仰角資料  
(資料來源：太陽視運動軌跡模擬器)

## 拾、未來展望

- 一、利用金線魚可產生螢光的特性，來製作螢光衣服或是螢光飾品。
- 二、進行不同水域的魚類比較

## 拾壹、參考資料

- 一、Thurman, H. V. (1993) "Essentials of Oceanography", 4th ed.
- 二、邱郁文(2017)。魚的體色。海洋講堂系列專書。
- 三、邵廣昭。臺灣魚類資料庫。網路電子黨(2020-3-15)  
<http://fishdb.sinica.edu.tw/chi/home.php>
- 四、陳偉珩(民 105)。迴光返照-發光二極體的神秘面紗。台灣網路科教館
- 五、維基百科(2020年6月9日)。白熾燈泡及 LED 燈的光譜圖  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%99%BD%E7%86%BE%E7%87%88>
- 六、蕭郭念恩(民 108)。消失星星的謎-探討不同因素對觀測星星的影響。台灣網路科教館
- 七、雷射螢光光譜分析第一天報告
- 八、Puentes Geanada, V. (Kagoshima Univ. (Japan)) Masuda, Y. Matsuoka, T.
- 九、太陽視運動軌跡模擬器 <http://edson.tw/earth/sunrise/sunrisetw.html>

## 【評語】 080316

本研究利用多種光譜分析方式來探討金線魚的黃色腹色對其生存、繁殖以及不同海洋環境下觀察者眼中不同腹色的影響。

1. 經由光譜分析得知金線魚的黃色腹色為表皮分泌的螢光物質，為本作品的亮點。
2. 亮度比值的分析結果(圖 36)與棲息深度 (表 3)的相關程度有落差，建議增加樣本數或探討其可能的變因。
3. 使用的分儀器、軟體及概念都非常的高深，建議對其相關儀器及分析方法原理有更深入的了解。



# 摘要

本研究在探討黃色腹色對金線魚生存、繁殖以及不同海洋環境下觀察者眼中不同腹色的影響。

我們針對金線魚金黃色部位進行顯微鏡、螢光光譜觀察，發現金線魚金黃部位有螢光物質，非在色素細胞內，而在照射藍光後會產生螢光，與黃色腹色的其它魚類不同，此為本研究貢獻。

我們用不同色光來模擬不同海洋的深度，並計算出「 $\frac{\text{魚腹亮度}}{\text{背景亮度}} = \text{亮度比值}$ 」來判斷消滅色的效果，再與實際棲息深度進行比較，我們發現黃色及白色腹色具有消滅色的功能，而其它腹色可能有消滅色以外的功能，所以我們認為「魚腹顏色與棲息深度有關」，此模擬方法為本研究的特色。

市場上的金線魚金黃腹色是季節性的，以不同光的入射角度進行實驗後發現，太陽仰角會影響金線魚的腹色亮度，90度時亮度比值最亮，我們推測金線魚的金黃腹色與繁殖有關。

## 壹、研究動機

我們在FB上看到一篇關於金線魚的文章，此文表示「金線魚的金黃色腹色會和其它藍光激發，然後組成白光，保護自己」。我們想進一步知道黃色腹色與金黃色腹色的構造有沒有不同呢？動物的構造常常與生存和繁殖有關，不同腹色是不是會影響消滅色及繁殖的功能呢？

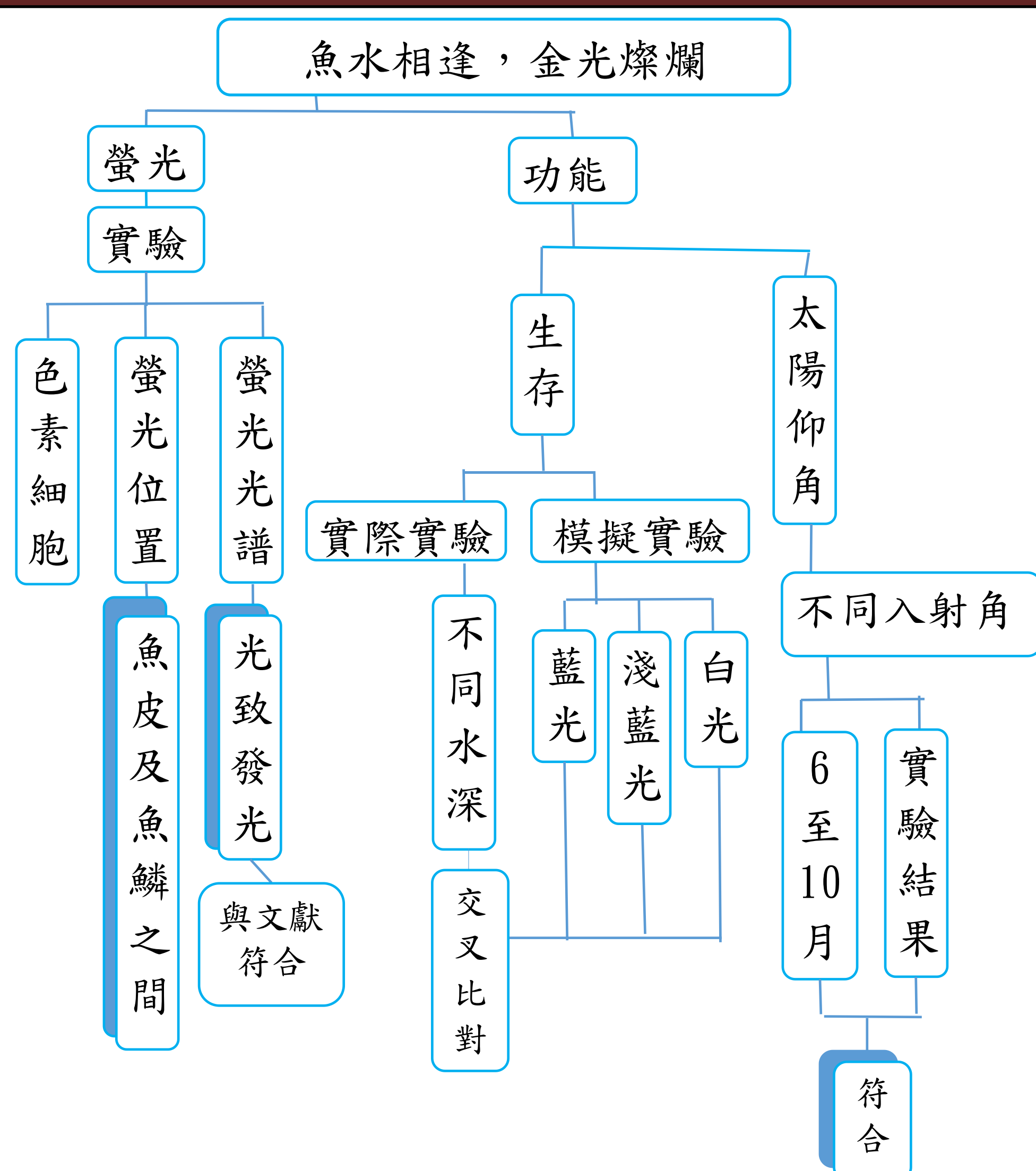
## 貳、研究目的

- 一、探討黃色腹色對金線魚生存或繁殖的影響
- 二、探討不同海洋環境觀察者眼中不同腹色的影響

## 參、研究限制

- 一、本研究因無法實際在海中進行，所以使用深度為90 cm的海水，用不同色光模擬深海的光學環境，但無法完全模擬海中實際環境。
- 二、因研究限制無法使用活魚，所以本研究以魚市場販售的魚來進行研究，無法推及原始魚群。

## 肆、研究架構



## 伍、研究方法及過程

### 一、探討金黃色腹色構造的螢光

#### (一)使用顯微鏡觀察黃色魚皮及魚鱗構造之實驗步驟

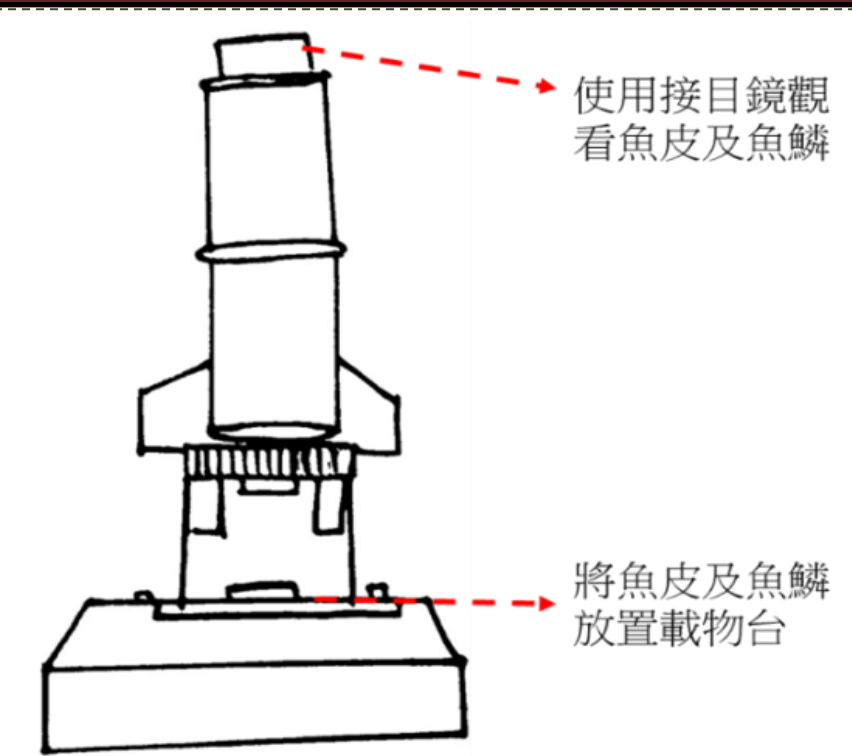
- 1.由文獻得知「螢光生物的光發散本身非發光源，而是吸收發光源發散出來的高能量光，瞬間轉換為較低能量出去」。(鄭明倫, 2017)
- 2.用顯微鏡觀察同樣黃色腹色的金線魚及黃魚的魚皮及魚鱗構造有無差別。

#### (二)探討金黃色在魚皮的位置

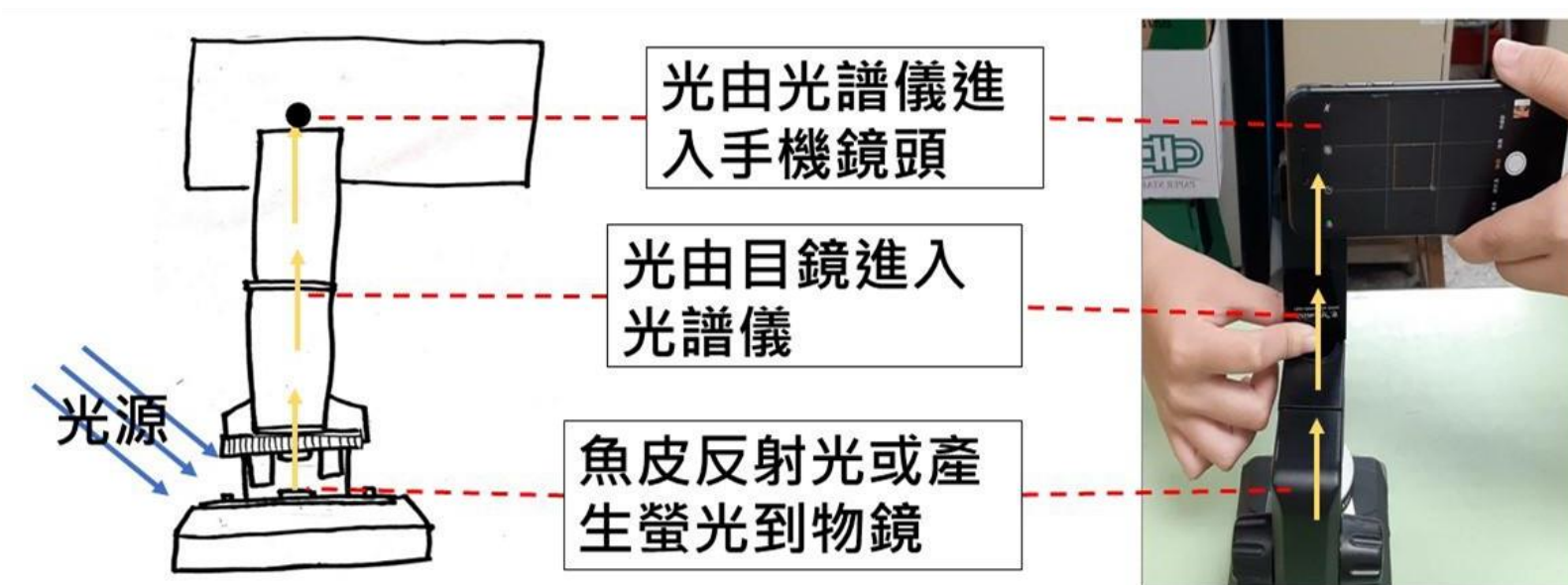
- 1.將有「魚鱗」、「魚鱗去除後及用菜瓜布刷洗」，並照射不同色光。
- 2.拍照及記錄後，做成比較。

#### (三)比較三原色光照射黃色魚皮產生的光譜之實驗步驟

- 1.將底金線魚金黃色腹部的魚皮製成標本，放上載物台。
- 2.分別使用紅、綠、藍及紫外光照射玻片並使用IMAGE J分析成光譜圖。
- 3.將標本換成底金線魚側面黃色魚皮和空白玻片重複4-5步驟。



[圖1]顯微鏡觀察魚皮及魚鱗構造示意圖 (作者手繪)



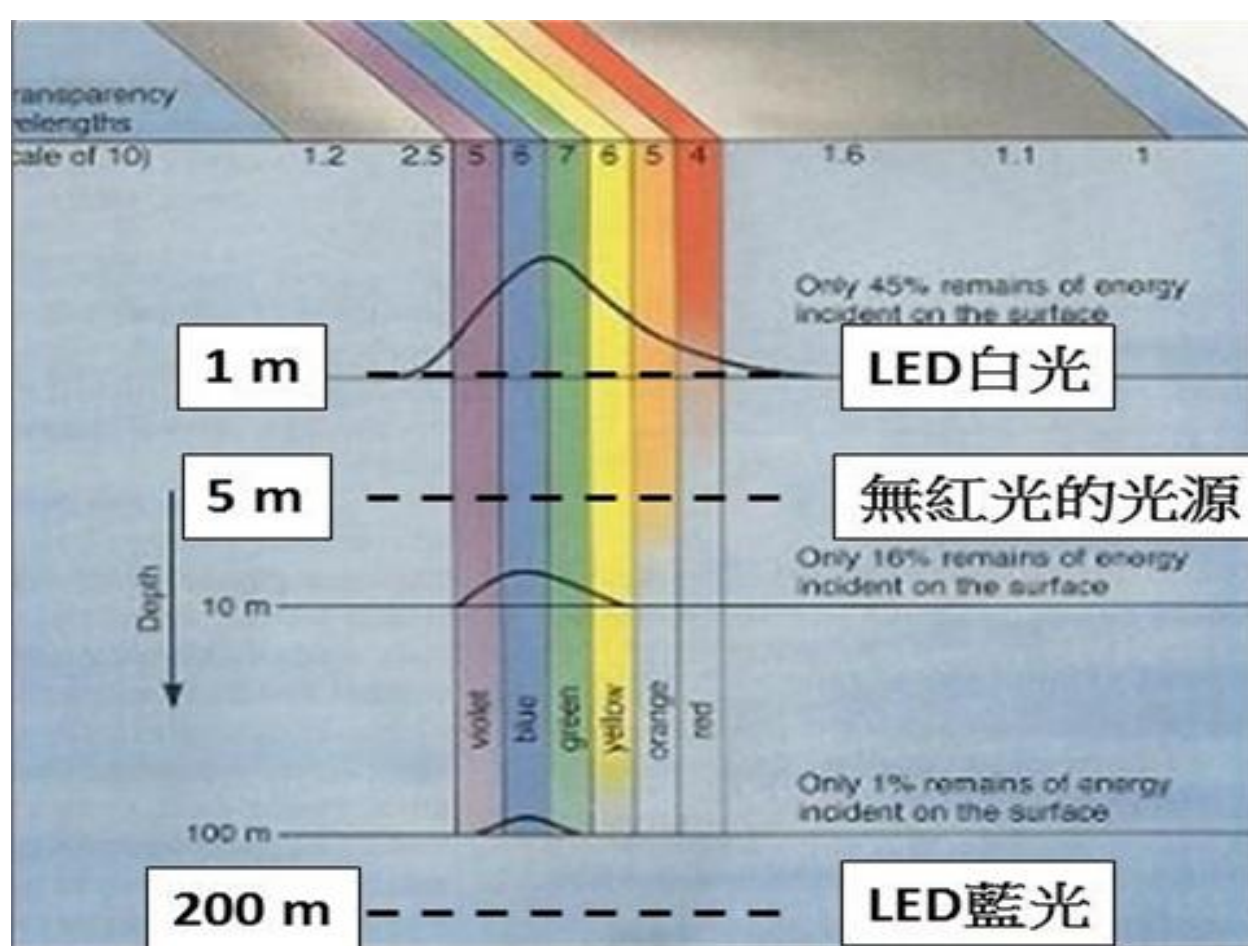
[圖2]手機光譜儀示意圖和實際圖(作者自繪)

### 二、探討魚類腹色與棲息深度的關係

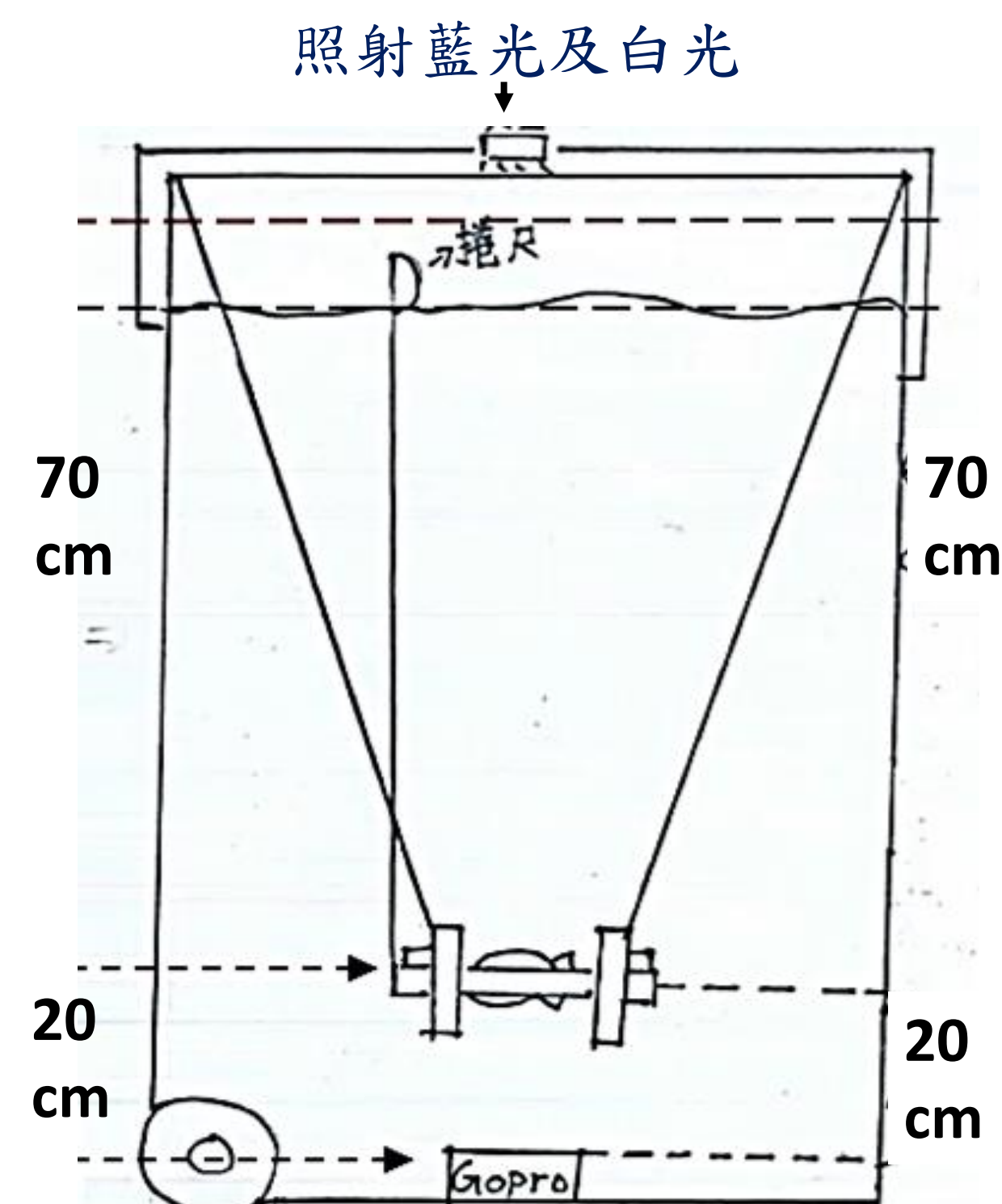
- (一)由文獻得知「可見光穿透水被消光的情形，藍光部分最弱，紅光部分最強」(Thurman, H. V., 1993)，決定使用不同色光照射水面模擬海水不同深度的光學環境。
- (二)查詢研究的魚類生活的棲息深度。
- (三)模擬實驗:海水中，不同海水深度對腹色的影響。不同腹色在不同水深時對魚腹體色的影響
- (四)實際實驗:到實際海水深度5 m和10 m進行實驗。



[圖3] 將魚架交給潛水教練情形



[圖4]電磁光譜以及可見光穿透水被消光的情形。摘自 Thurman, H.V.(1993)"Essentials of Oceanography", 4th ed.。

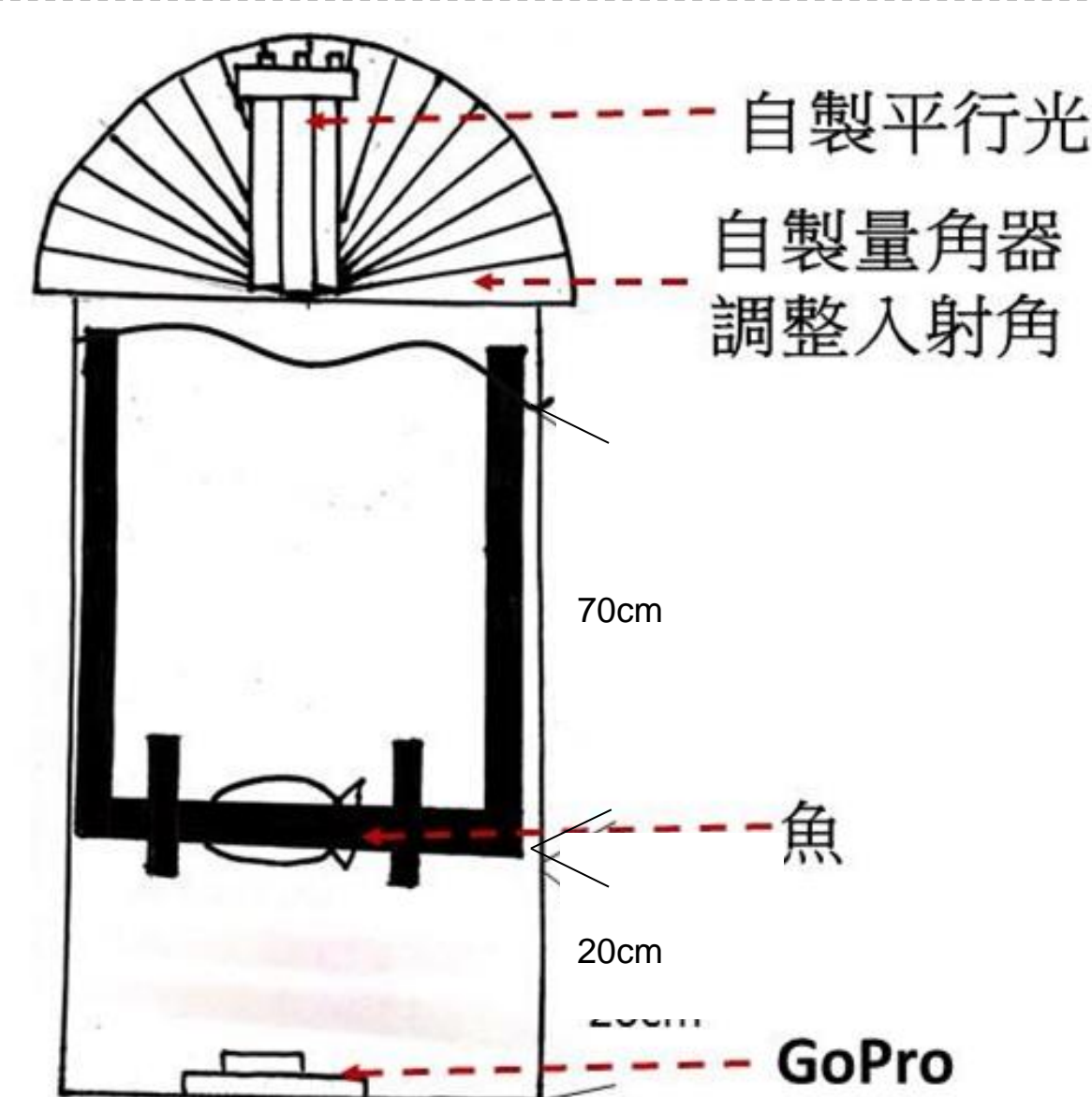


[圖5]「不同水深對金黃色魚腹體色的影響」實驗示意圖 (作者手繪)

### 三、探討魚類腹色與太陽仰角的關係

#### (一)模擬實驗:光的不同入射角度對金線魚腹色的影響

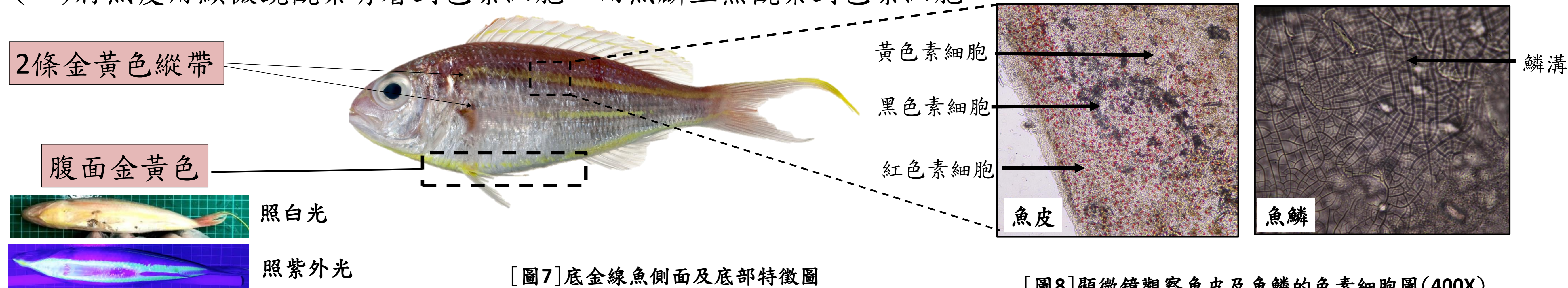
- 1.在垃圾桶裡加入水高90 cm的水，並魚固定在GoPro上方20 cm處
- 2.將LED白光調整入射角15度，放置在垃圾桶上方照射。
- 3.依步驟二照射30度、45度、60度、75度及90度。
- 4.將圖改成灰階測量亮度，製作成折線圖。



[圖6]「光源不同入射角度對金黃色魚腹體色的影響」實驗裝置示意圖 (作者手繪)

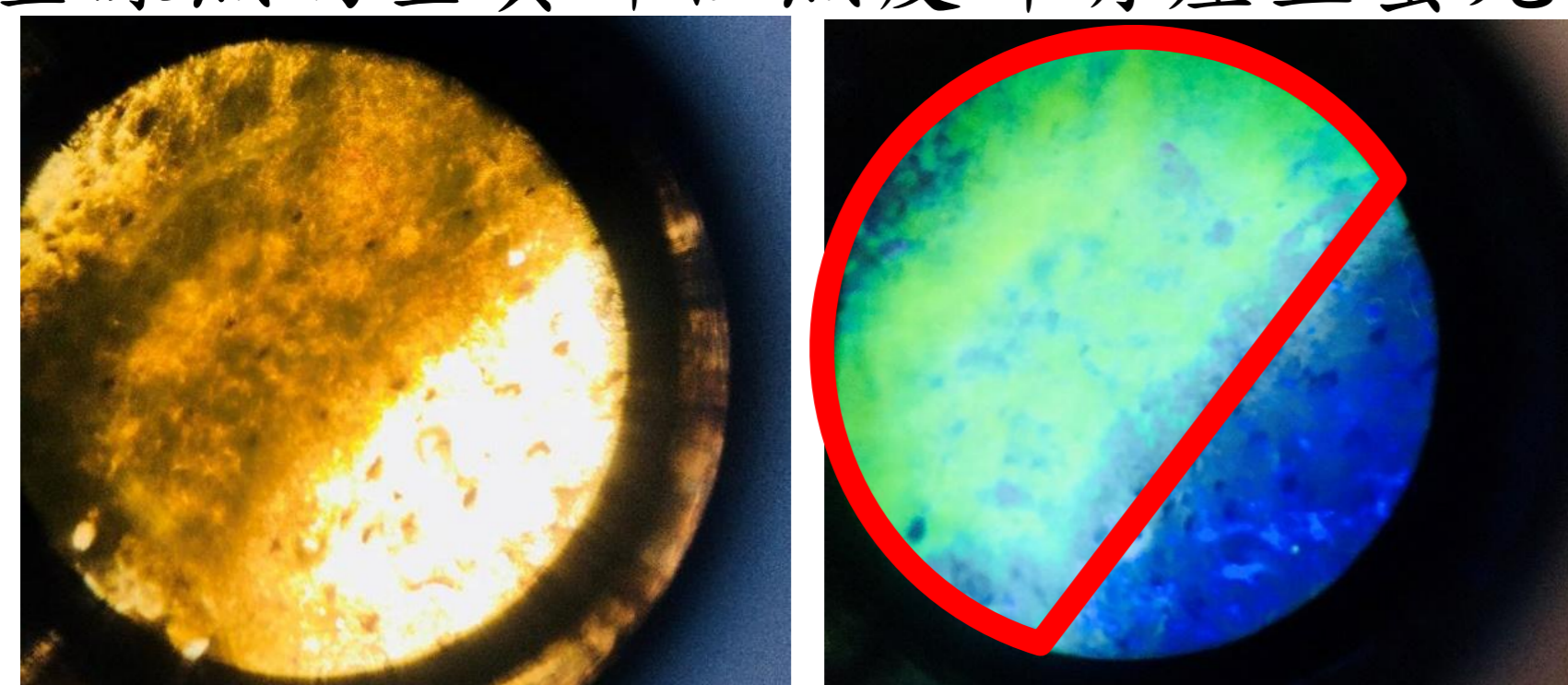
一、探討黃色魚腹構造與螢光的關係

- (一)底金線魚特徵為腹面金黃色，側面兩條金黃縱帶，且使用短波長的光照射時，金黃色魚腹顏色會變化。
- (二)將魚皮用顯微鏡觀察有看到色素細胞，而魚鱗上無觀察到色素細胞。

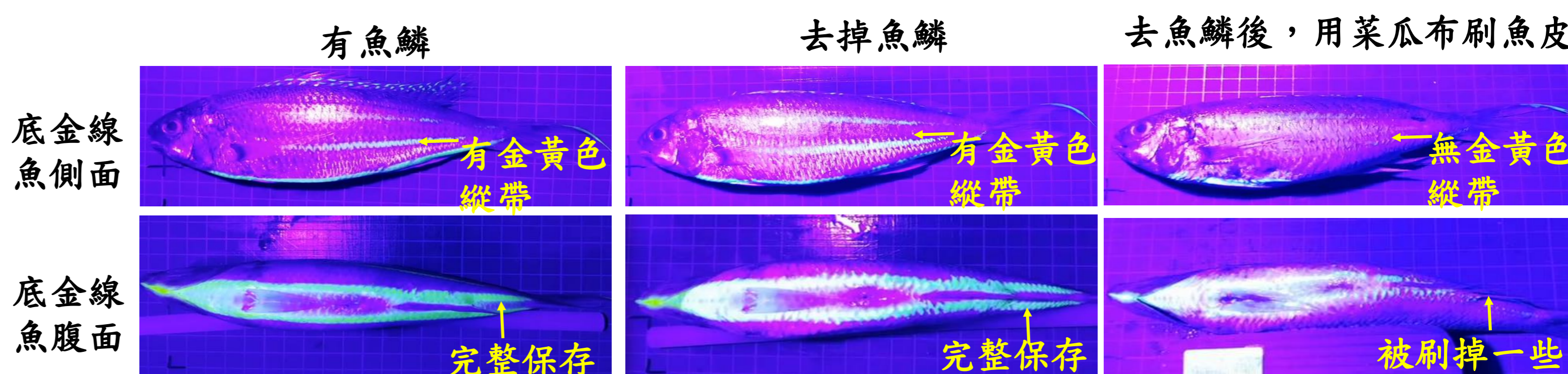


二、探討三原色光照射黃色魚皮產生的光譜

- (一)照紫外光時，黃魚的黃色部位魚皮沒有產生螢光，但金線魚的金黃部位魚皮卻有產生螢光。
- (二)我們發現產生螢光的物質是在魚皮和魚鱗之間，不是在魚皮裡面。

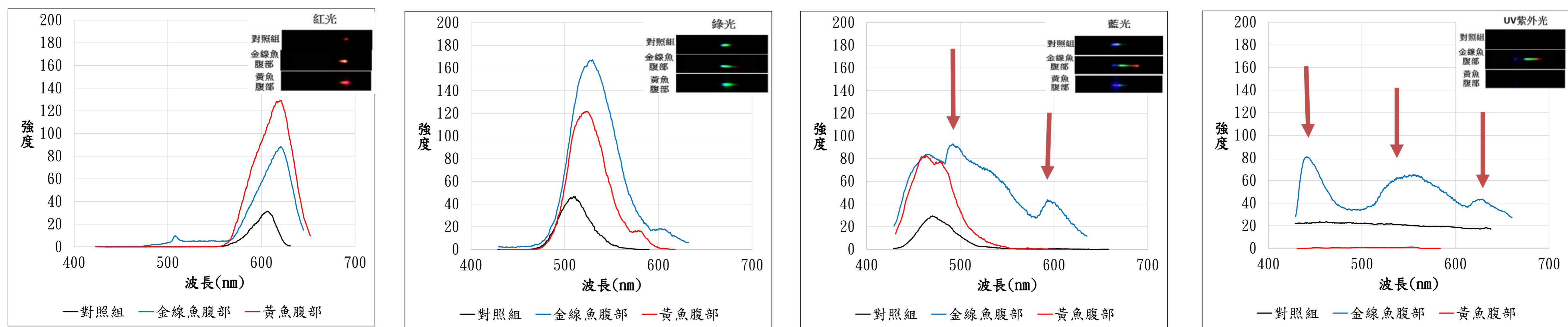


(a)使用顯微鏡的白光照射時，由顯微鏡觀看的金黃色魚皮呈現黃色(倍率100X)  
(b)使用UV光照射時，由顯微鏡觀看的金黃色魚皮呈現亮黃綠色(倍率100X)



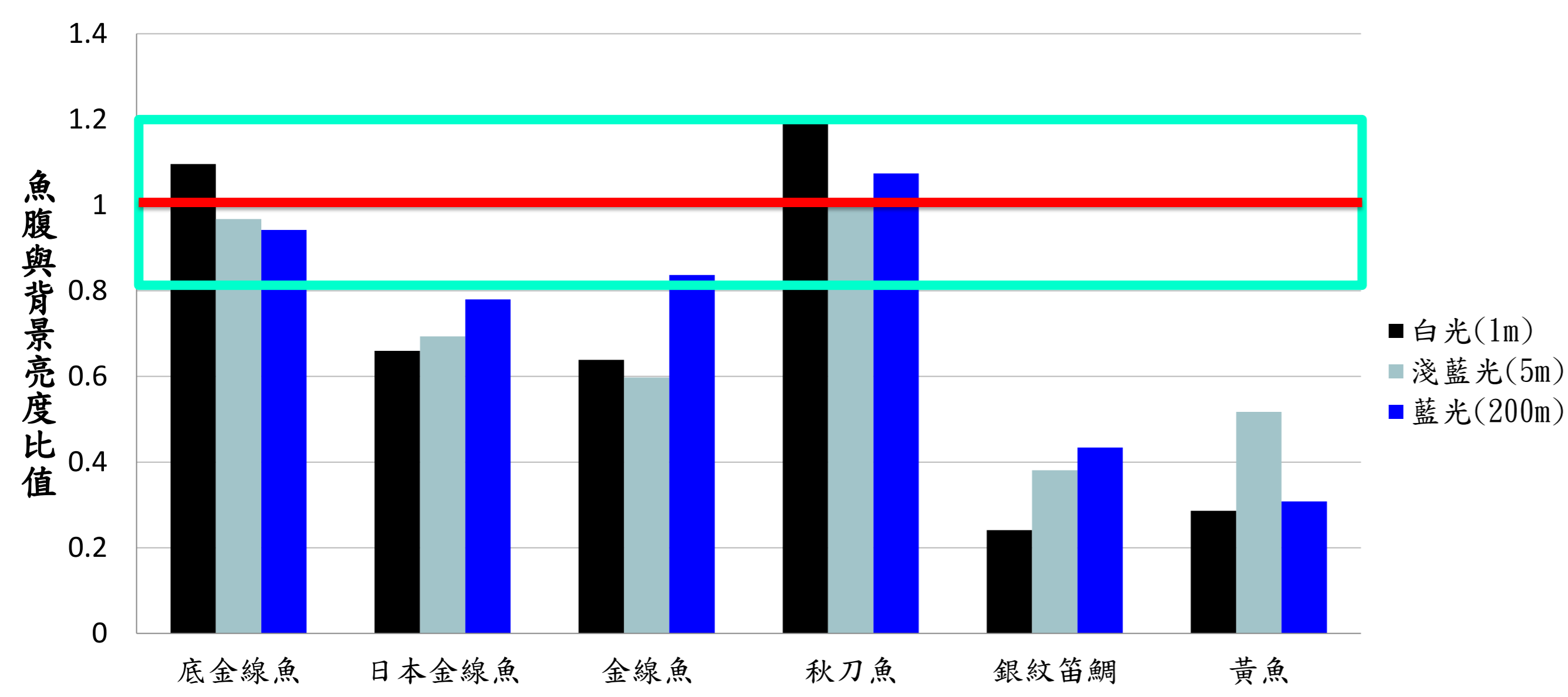
三、比較不同色光照射黃色魚皮產生的光譜

我們發現照射紅光和綠光時，對照組、金線魚腹部、黃魚腹部三者的光譜大致相同，但是在照射藍光和紫外光時，可以很明顯的看出差異，黃魚和對照組在長波長都沒有明顯波峰，而金線魚在長波長有明顯波峰，因此我們推論金線魚的金黃色腹部在照射藍光和紫外光等短波長色光時，會被激發而放出長波長的螢光。



四、探討魚類腹色與棲息深度的關係

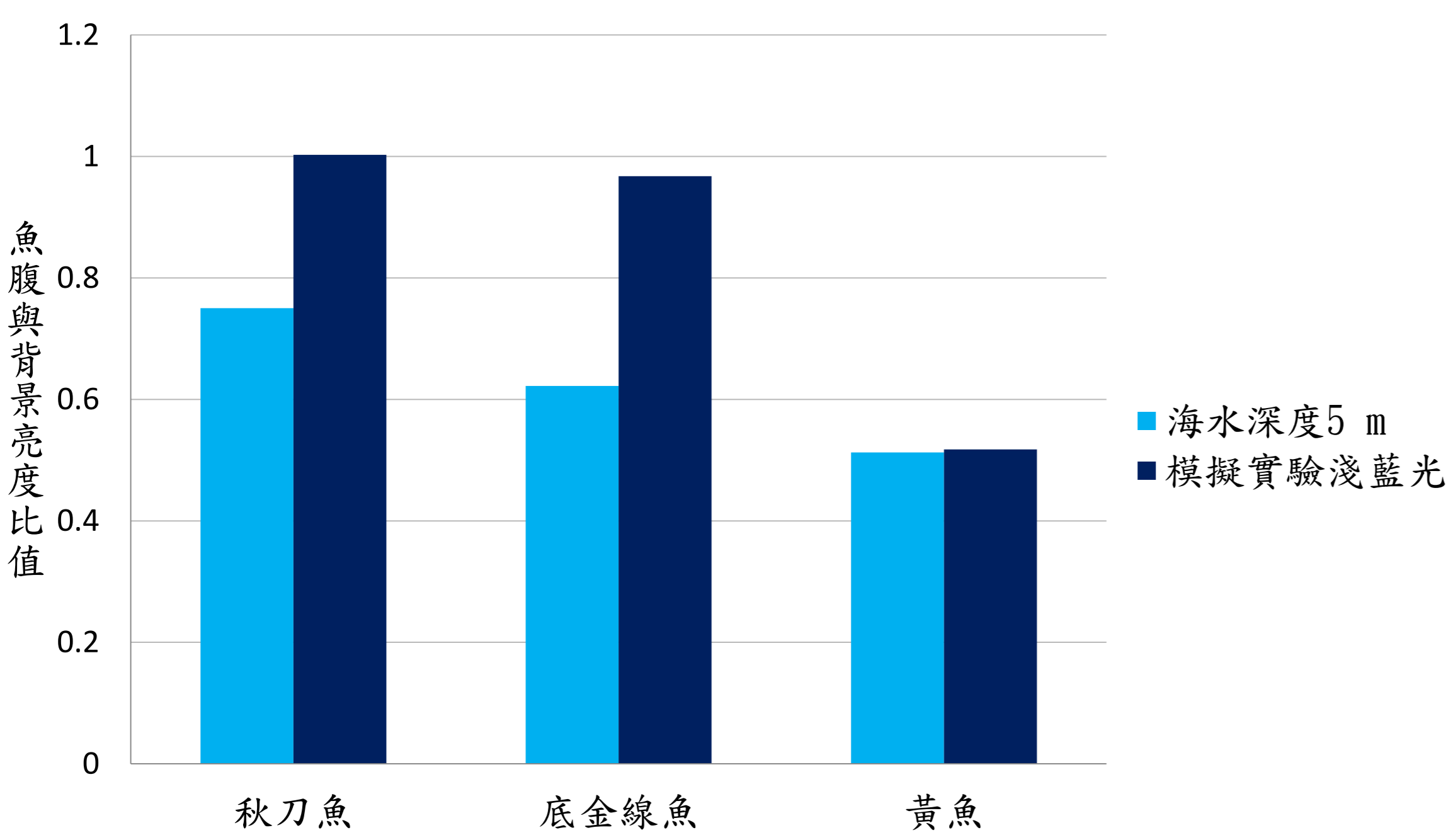
- (一)在圖12的結果顯示，秋刀魚和底金線魚在水深1 m、5 m、200 m的環境下及金線魚在水深200 m時，消滅色的效果好。



	底金線魚	日本金線魚	金線魚	秋刀魚	銀紋笛鯛	黃魚
1 m						
5 m						
200 m						

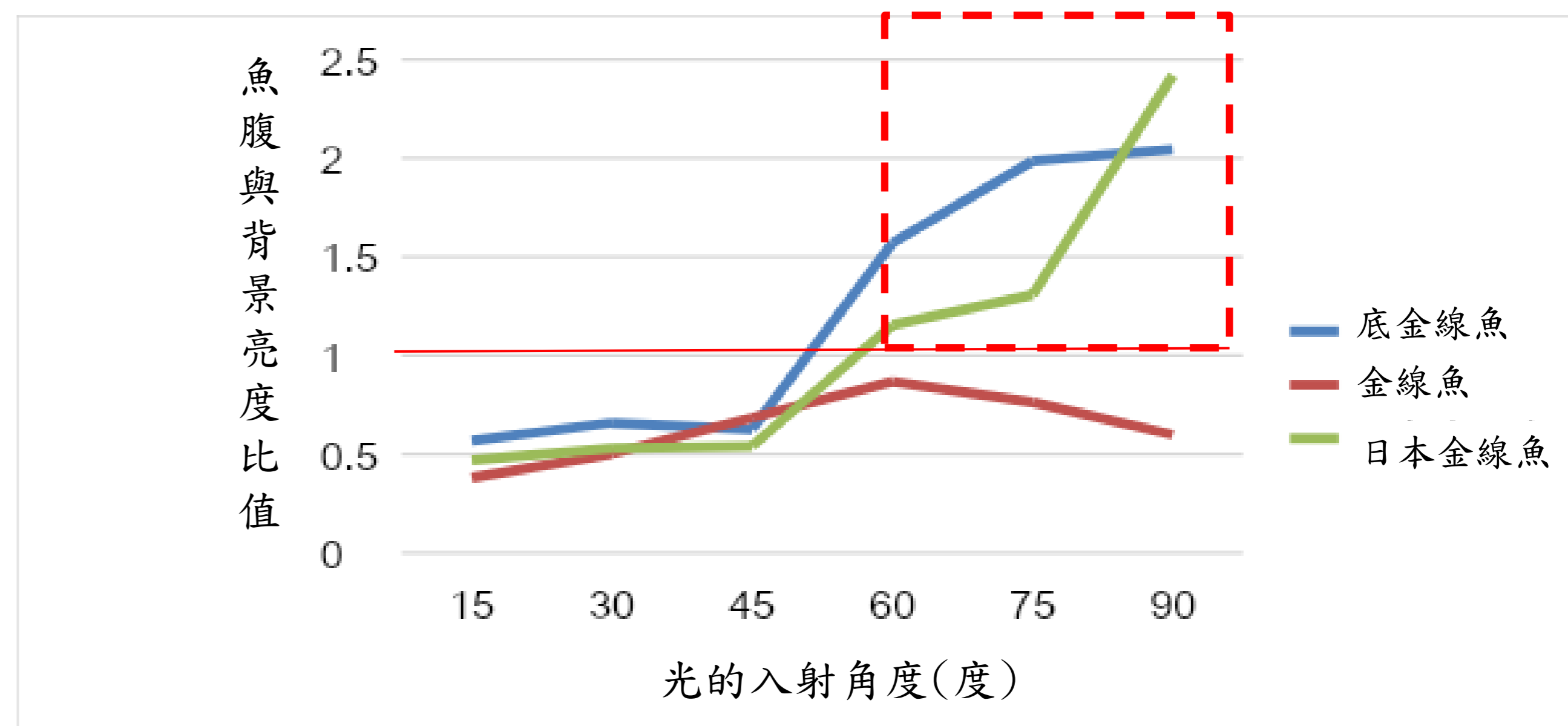
[表1]不同種魚類的棲息深度

- (二)將實際海洋中的結果與我們模擬的實驗結果進行比較，發現實驗數值具相關性。



五、探討金線魚腹色與太陽仰角的關係

太陽仰角不同，海水散射可能會有差異，金線魚的腹色亮度可能也會改變，實驗結果顯示，底金線魚和日本金線魚在光入射角為60-90度時，亮度比值大於1。

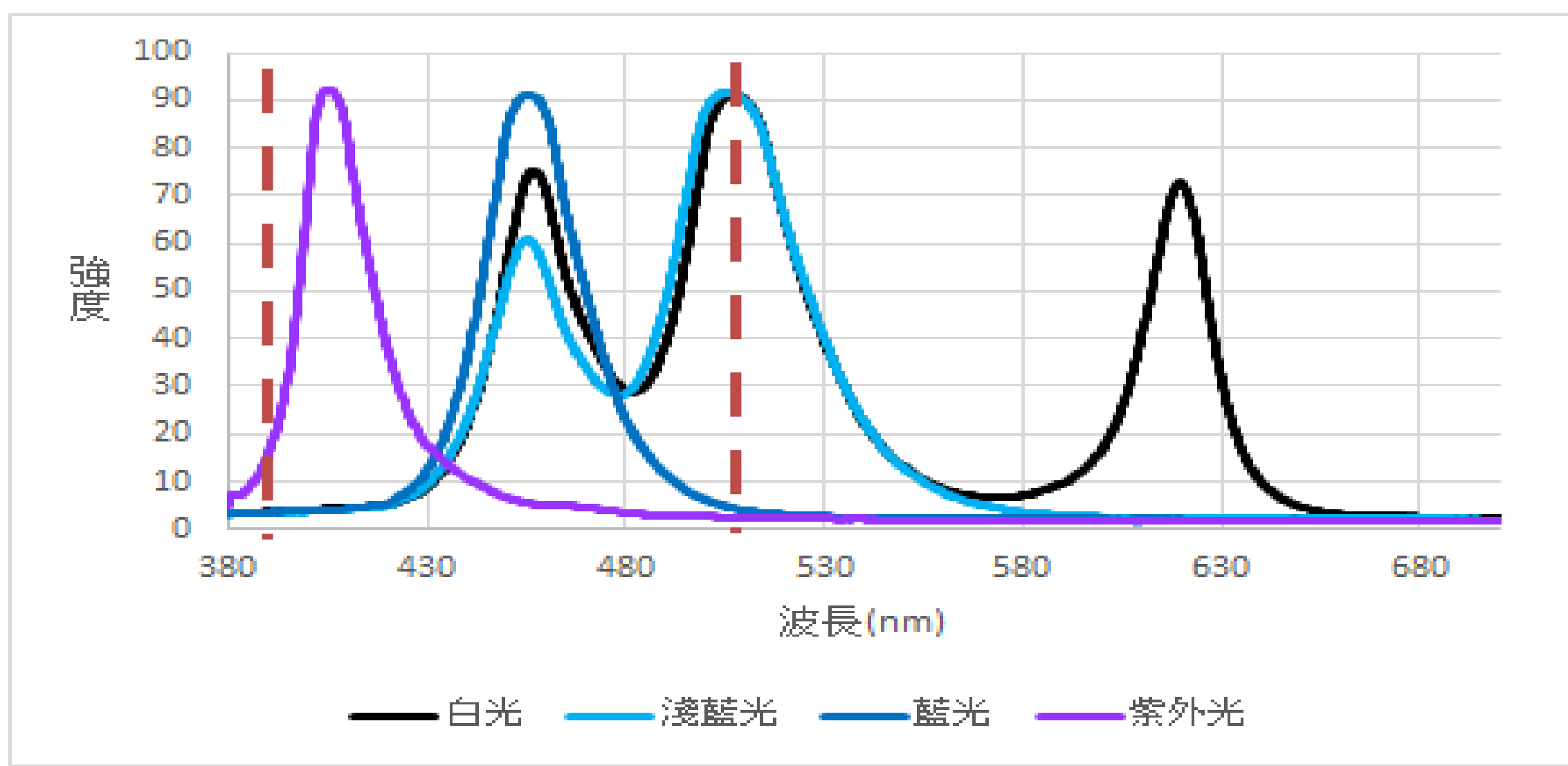


一、金線魚魚鱗和魚皮之間有螢光物質，在照射短波長的光時會產生螢光

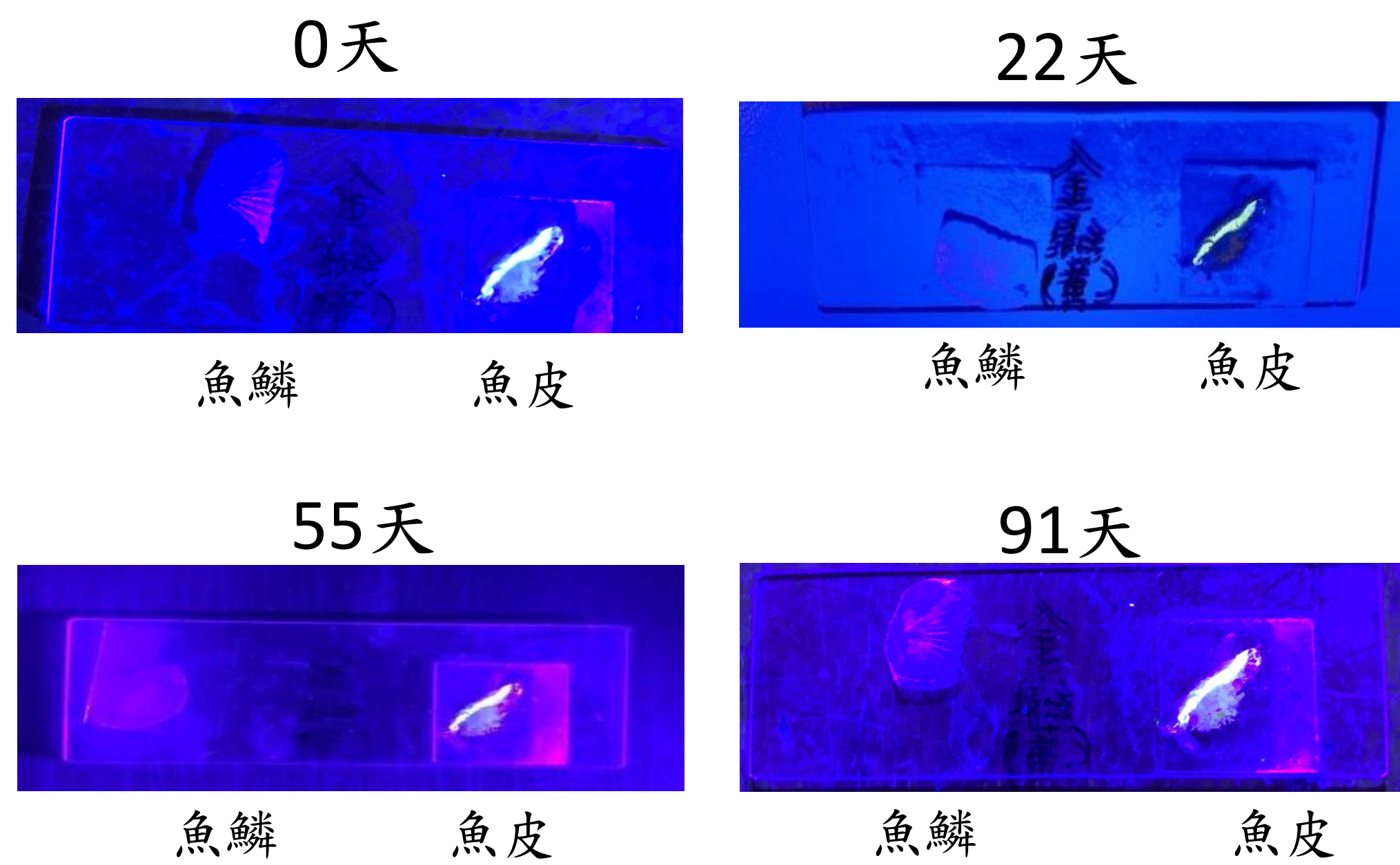
(一)照射波長大約380 nm-500 nm的光能產生螢光

(三)金線魚死亡後，螢光物質過了91天依然存在

藍光和紫外光可以產生螢光，波長範圍約380 nm-500 nm。

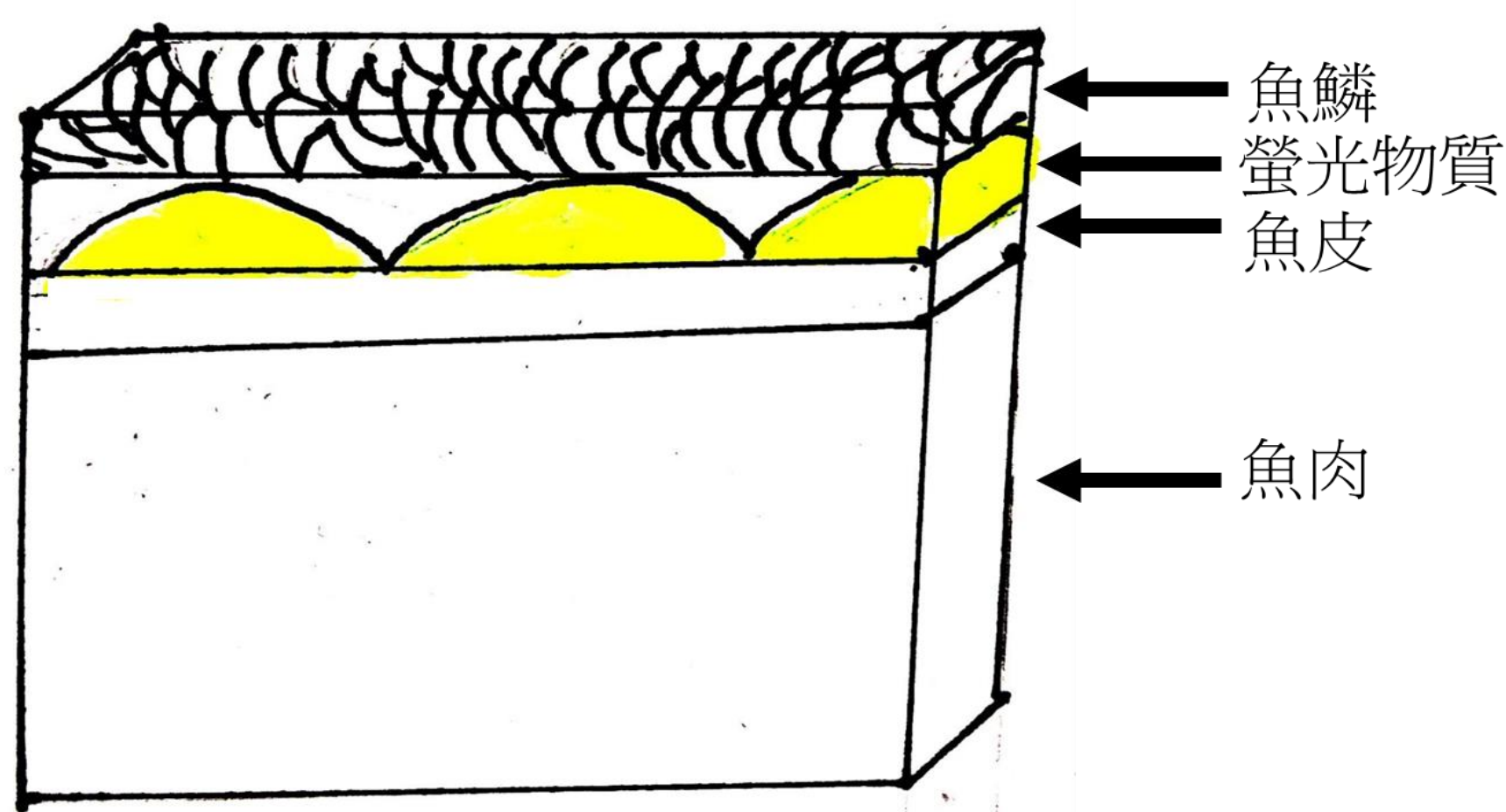


[圖15]不同的色光光譜圖



[圖16]金線魚魚皮0天、22天、55天與91天比較圖

(二)螢光物質在魚鱗和魚皮之間



[圖17]螢光物質所在位置示意圖

	黃魚	金線魚 (非金黃魚皮)	金線魚 (金黃魚皮)
照射短波長光後	短波長光	短波長光	短波長及長波長
黃色腹色來源	色素細胞	色素細胞	螢光物質
是否有螢光	否	否	是
產生顏色的原理	化學色	化學色	化學色
因時間而變化	會	會	不會

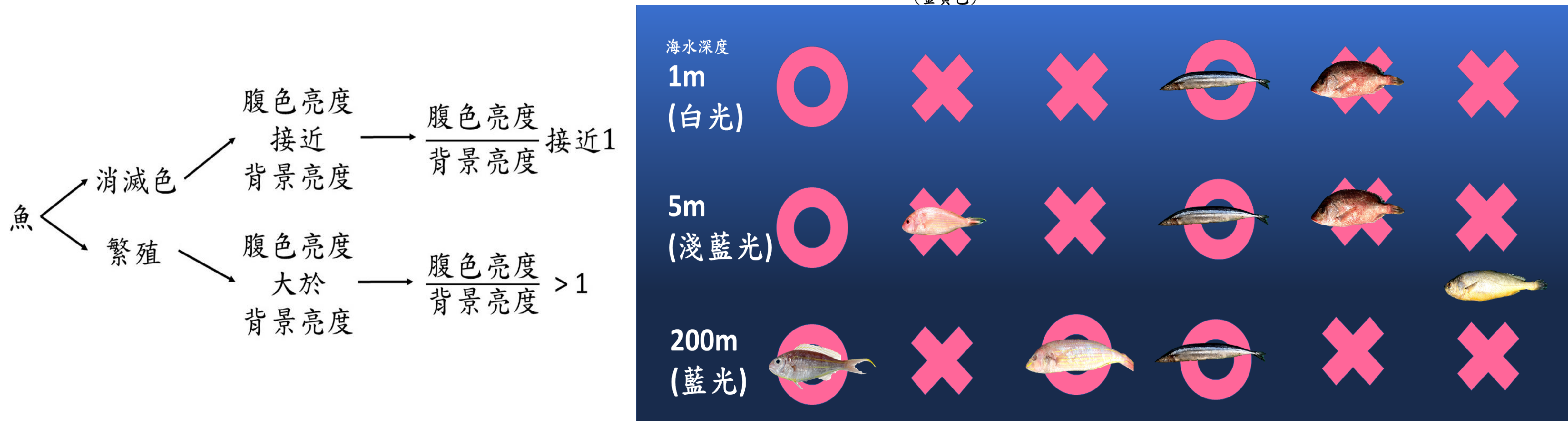
[表2]金線魚及黃魚比較圖

二、金線魚的金黃色腹色可能在不同水層或不同季節會有避敵或繁殖的目的

(一)金線魚和底金線魚在其原棲息深度，消滅色效果佳

(二)白色腹色魚種的消滅色和棲息深度相關，金黃色及紅色腹色魚種的消滅色和棲息深度較無關

消滅色與棲息深度 符合比率	33%	66%	100%	100%	33%	
	底金線魚 (金黃色)	日本 金線魚 (金黃色)	金線魚 (白色)	秋刀魚 (白色)	銀紋笛鯛 (紅色)	黃魚 (黃色)



[圖18]魚類腹色亮度與消滅色、繁殖的關係圖

[圖19]不同腹色的魚種棲息深度與消滅色效果綜合比較圖  
不同深度中有魚的圖，表示「此魚的棲息深度有此範圍內」  
○表示消滅色效果好，X表示消滅色效果不好

(三)三種金線魚的金黃色腹色可能與繁殖有關係

- 我們約5月才在市場又看到金黃色腹色的三種金線魚。
- 發現使魚腹較亮的時刻為春、夏、秋，而繁殖期為6月-10月的夏、秋兩季，這兩者季節大致符合。

[表3]日本、臺灣、印尼四季代表日的仰角資料  
(資料來源：太陽視運動軌跡模擬器)

國家	春分					夏至				
	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00
日本	27	49	59	46	23	40	66	81	59	34
台灣	26	51	66	54	29	35	62	89	63	36
印尼	30	60	90	60	30	28	54	67	52	26
國家	秋分					冬至				
	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	8:00	10:00	12:00	14:00	16:00
日本	30	51	58	43	20	14	30	35	26	8
台灣	29	53	66	51	25	15	34	42	34	14
印尼	34	64	86	56	26	29	54	66	51	26

捌、結論

我們發現金線魚螢光物質在魚皮及魚鱗之間，且金黃色部位在照射380 nm-500 nm的短波長藍光後會產生螢光，使魚腹亮度變亮。

我們將「 $\frac{\text{魚腹亮度}}{\text{背景亮度}} = \text{亮度比值}$ 」轉換為消滅色效果，與魚類棲息深度綜合比較，我們認為白色魚

腹和棲息深度有關，而金黃色及紅色腹色的魚種消滅色與棲息深度較無相關。

太陽仰角不同也會影響海水散射程度不同，進而影響金線魚的螢光亮度，可能會影響消滅色與繁殖的效果，但此部分需要進一步探討。

玖、未來展望

- 調查一整年不同種金線魚腹色的變化及金線魚在海水中的活動深度。
- 進行不同水域的魚類比較