

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 動物與醫學學科

第三名

052006

雀屏中選 — 母孔雀魚的交配偏好

學校名稱： 高雄市立高雄高級中學

作者： 高二 洪得凱 高二 吳大睿	指導老師： 謝佳昌
---------------------------------	------------------

關鍵詞： 孔雀魚、交配偏好、性擇

壹、摘要

本研究主要了解(一)人工培育孔雀魚交配偏好、(二)人工培育孔雀魚與野生孔雀魚的交配偏好是否有所不同。透過觀察母魚選擇不同體色或不同熟悉程度的公魚，了解母魚的交配偏好。有以下幾點重要發現(1)對於各種不同體色的母魚而言，牠們沒有偏好特定體色的公魚；(2)在熟悉彼此體色的個體間，母魚偏好與自身體色相同的公魚；(3)熟悉度對母魚的交配偏好有顯著的影響，不同體色的母魚有相似的偏好，不熟悉的公魚最受偏愛，其次是熟悉的稀有公魚，熟悉的常見公魚最不受青睞；(4)人工培育母魚交配偏好比野生母魚更為強烈，暗示有較強的性擇作用(5)人工培育的母魚會偏好較鮮艷的人工培育公魚，而野生的母魚沒有較偏好人工培育或野生公魚。

貳、介紹

孔雀魚(*Poecilia reticulata*)有許多不同的體色(圖一)，在家裡養孔雀魚的時候，看到不同體色的孔雀魚在彼此求偶，因此好奇母魚是否會特別偏好某種特定的公魚，這樣也能預測在一大群中孔雀魚的後代會有哪種公魚的特徵。

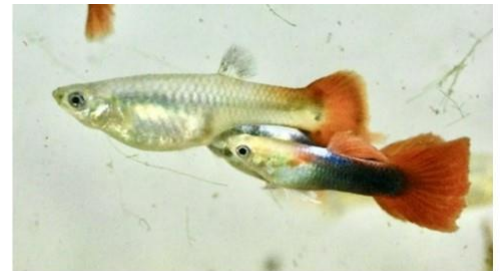
孔雀魚是一種常見的小型熱帶觀賞魚，具有明顯的性別二態性，體色鮮豔且雄性孔雀魚會比雌性更加鮮豔(圖二)，品系多，繁殖週期短，從孵化到具繁殖能力的成魚僅需 2 至 3 個月。因此孔雀魚常透過人工選擇被培育成較野生更加鮮豔的觀賞魚(圖二、三)。而平時養殖時就能看到公魚無時無刻的在追著母魚(圖二)，這是公魚求愛的表現。孔雀魚的交配由母魚主導，當母魚接受公魚的求愛時，母魚會去靠近雄性，選擇與牠較偏好的雄性交配，因此公魚之間需要彼此競爭和母魚交配，而在其他人對野生孔雀魚的研究中也可以發現母魚會選擇去偏好擁有某種特徵的公魚。

在臺灣的水塘或溝渠中也可以發現野生族群，但是野外族群的個體通常體色較為平淡，沒有鮮豔的顏色，一般而言被稱為大肚魚(圖三)。野外孔雀魚的交配偏好常常受到許多外貌因素影響，像是體色、大小等。在 Helen *et al.* (2002)關於顏色的研究中，說明了體色會去影響母魚的偏好，母魚偏好橘色斑點更多的雄性，因為在樣區內孔雀魚的主要食物為橙色，所以母魚對橙色的物體反應較大，且母魚也能透過公魚身上橘色斑點的多寡來判斷公魚在競爭食物方面的優劣。

除此之外母孔雀魚的交配偏好也會受到其他非外貌因素所影響。例如在 Godin *et al.* (1996)的研究中，利用不同公孔雀魚靠近獵食者的頻率找出大膽的公魚，且發現母孔雀魚會偏好大膽的公魚。在 Kimberly *et al.* (2019)的研究中，利用來自不同河流流域捕捉回來的孔雀魚進行實驗，發現母魚會偏好不熟悉體色的公魚。而在 Anne *et al.* (2013)的研究中，將野外河流不同圖案公魚進行分組，有相似圖案公魚歸類為同一群體，再利用計算子代數目來驗證野生的母孔雀魚會偏好整體族群中較稀有的公魚。在 Jennifer *et al.* (2019)的研究中提到野生孔雀魚中的 Negative frequency-dependent selection (NFDS)，NFDS 擁有維持族群多態性的潛力，因為一個物種中相對稀有的變異個體比



圖一、不同顏色的孔雀魚



圖二、人工培育孔雀魚的交配行為



圖三、野生孔雀魚

常見的變異個體在天擇上更具有優勢，因此稀有群體的頻率傾向增加，使較稀有的群體不會在當地滅絕。在野外的孔雀魚族群中，較稀有的變異個體其基因頻率低，而在掠食者的作用下，常見的群體較容易被掠食者捕食，因此稀有的變異個體在天擇上具有優勢，導致其頻率增加。頻率較高的常見個體則較容易被掠食者捕食，在天擇上不具有優勢，所以野生孔雀魚會偏好群體中稀有的公魚。

透過上述介紹可知野生族群中母魚會偏好大膽、橘斑較多、擁有不熟悉體色或是整體族群中較稀有的公魚。先前的研究都以野生族群進行探討，本研究主要以人工培育的孔雀魚為主，最後比較人工培育母魚與野生母魚的交配偏好，以了解在人擇的作用下，性擇的作用強度是否發生改變。

參、實驗目的

一、人工培育孔雀魚的交配偏好是否和野生的孔雀魚一樣受體色與熟悉度影響？

(一) 對體色之偏好

1. 母魚是否會偏好特定體色的公魚
2. 不同體色公魚對母魚的吸引力大小
3. 母魚對體色的偏好是否為交配偏好

(二) 對不熟悉體色之偏好

1. 母魚是否會偏好熟悉或不熟悉的公魚
2. 母魚對不同熟悉度公魚的偏好程度

二、人工培育母魚的交配偏好是否與野生母魚有所不同？

(一) 人工培育母魚的交配偏好是否比野生母魚得更強烈

(二) 人工培育母魚和野生母魚是否會偏好更鮮艷的人工培育孔雀魚

肆、實驗動物選擇與取得

在本研究中，為確保可以穩定的獲取大量孔雀魚來進行實驗，選擇了在市面上最常看到且較容易大量取得的孔雀魚(紅、黃、藍、黑和白五種體色)，以及野生的孔雀魚來進行實驗。在購買孔雀魚時會選擇體型相近的公魚和母魚，減少可能會影響到孔雀魚選擇的因素。

分別從三個地方購買符合三個需求(穩定大量獲取、能確定飼養情況、體型大小相近)的人工培育孔雀魚，以及從一野外濕地中取得野生的孔雀魚。一般市面上販售的孔雀魚常已接觸過不同體色的個體，所以在實驗操作上除了需要取得大量的魚隻外，也需要取得未曾接觸過其他體色的魚隻。已接觸過其他體色的魚隻可以不需特別處理用來進行特定實驗，而未接觸過其他體色的魚隻則可透過飼養方式訓練，進行熟悉度的實驗。因為顏色是孔雀魚最明顯的特徵，但不同地方購買的魚在紋路上都有差異，所以每一組實驗中，同種體色的魚均使用相同樣區取得的魚隻進行操作，以排除不必要變因，增加實驗準確度。人工培育孔雀魚在這三個樣區的原飼養情況分別是：

一、繁殖場 A：紅尾禮服(紅)、黃尾禮服(黃)、藍鑽孔雀魚(藍)和黑化紅尾禮服(黑)四種體色飼養在一起。

二、繁殖場 B：紅尾禮服(紅)、黃尾禮服(黃)和藍電光(藍)三種體色分開飼養。

三、水族館：紅尾禮服(紅)、黃尾禮服(黃)、藍鑽孔雀魚(藍)和黑化紅尾禮服(黑)四種體色飼養在一起。白金禮服(白)由另一水族館取得，並飼養在另一魚缸。

伍、實驗設計

一、實驗總述：

實驗總共分為三個部分，第一部分為顏色實驗，第二部分為熟悉度實驗，第三部分比較野生孔雀魚和人工飼養孔雀魚的交配偏好(圖四)。因為顏色是孔雀魚最明顯的特徵，所以先討論「體色」對母魚交配偏好的影響。「顏色實驗 1」探討母魚是否會對某個特定體色公魚產生偏好；「顏色實驗 2」探討不同體色公魚對母魚吸引力大小的程度差異；「顏色實驗 3」確定母魚的顏色偏好與公魚之間的關聯。實驗動物來自繁殖場 A 和繁殖場 B。

(一)「顏色實驗 1」：母魚選擇 2 隻不同體色的熟悉公魚。(繁殖場 B)

(二)「顏色實驗 2」：母魚選擇 4 隻不同體色的熟悉公魚。(繁殖場 A)

(三)「顏色實驗 3」：母魚選擇 2 隻不同體色的熟悉母魚。(繁殖場 B)

在探討完「體色」對母魚交配偏好的影響後，接著要探討「熟悉度」對母魚交配偏好的影響，因為「熟悉度」是許多研究中提到會影響野生母孔雀魚偏好的因素之一。「熟悉度實驗」共分成兩大組，分別是「熟悉度實驗 1」與「熟悉度實驗 2」，每一大組內都有兩小組實驗。「熟悉度實驗 1」探討「熟悉/不熟悉」與「體色」如何共同影響母魚的偏好；「熟悉度實驗 2」將熟悉區分為常見與稀有兩種類型，探討「常見/稀有/不熟悉」與「體色」如何共同影響母魚的偏好。魚隻來源為繁殖場 B 和水族館，魚隻在實驗前僅熟悉本身體色的個體。

(四)「熟悉度實驗 1-1」：母魚選擇 1 隻熟悉公魚與 1 隻不熟悉公魚。

(五)「熟悉度實驗 1-2」：母魚選擇 2 隻不熟悉公魚。

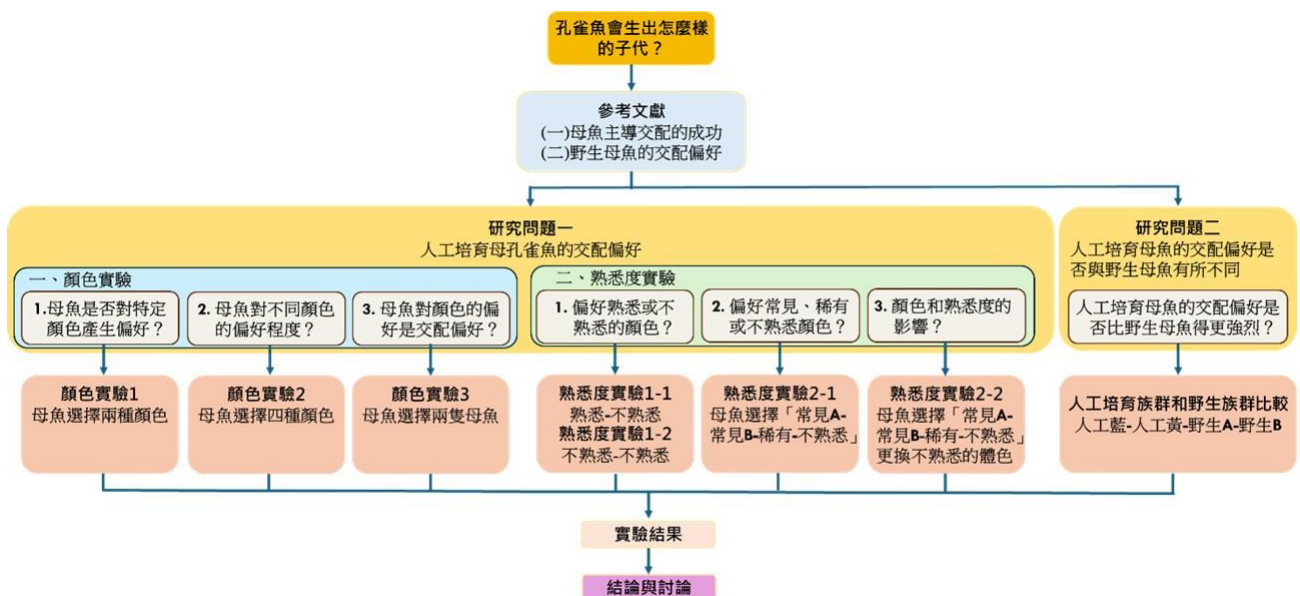
(六)「熟悉度實驗 2-1」：母魚選擇 2 隻常見公魚、1 隻稀有公魚和 1 隻不熟悉公魚。

(七)「熟悉度實驗 2-2」：母魚選擇 2 隻常見公魚、1 隻稀有公魚和 1 隻不熟悉公魚，

其中不熟悉公魚的體色與「熟悉度實驗 2-1」不同。

在討論完「體色」與「熟悉度」對母魚交配偏好的影響後，我們也好奇實驗中使用的人工培育母魚的偏好與先前研究中野生母魚是否有所不同，所以設計了「人工培育和野生母魚的交配偏好比較實驗」來了解不同族群間的交配偏好。

(八)「人工培育族群和野生族群比較」：母魚選擇 2 隻熟悉野生公魚和 2 隻熟悉人工培育公魚。



圖四、實驗架構圖

二、顏色實驗：

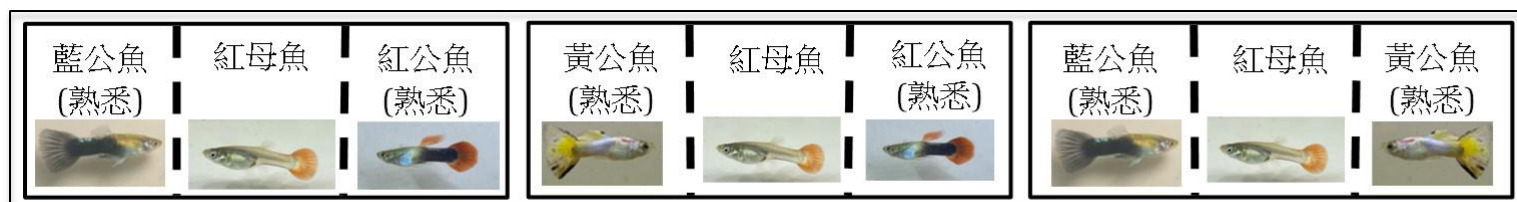
「顏色實驗」總共分成三組，探討「體色」對母魚交配偏好的影響。「顏色實驗 1」觀察了不同體色母魚對兩種不同體色公魚的選擇，藉此看出母魚是否會對某個特定體色公魚產生偏好。「顏色實驗 1」母魚只觀察了兩種不同體色的公魚，為了觀察不同體色對母魚的吸引力大小的程度差異，因此設計了「顏色實驗 2」來探討。「顏色實驗 2」觀察不同體色母魚對四種不同體色公魚的選擇，藉此看出不同體色公魚對母魚吸引力大小的程度差異。由於孔雀魚是群聚生物，因此需要確定「顏色實驗 1 和 2」中母魚的偏好是交配偏好，且沒有受到其他非交配相關因素的影響，因此設計了「顏色實驗 3」來驗證。「顏色實驗 3」觀察了不同體色母魚對兩種不同體色母魚的選擇，藉此確定母魚的顏色偏好與公魚之間的關聯。

(一) 顏色實驗 1

為了觀察母魚是否會對某個特定體色公魚產生偏好。實驗中觀察不同體色母魚對兩種不同體色公魚的選擇(表一)。這裡的母魚都已熟悉公魚的體色。觀察了紅、黃、藍母魚對不同體色公魚的選擇，這是因為要讓母魚在選擇時可以選擇兩種與自己不同體色的公魚，這樣才能知道母魚是否是偏好特定體色的公魚。因此實驗中觀察了三種體色母魚的偏好，使母魚可以選擇一隻與自己同樣體色以及一隻與自己不同體色的公魚或選擇兩種與自己不同體色的公魚。「顏色實驗 1」中觀察了紅母魚、黃母魚和藍母魚分別選擇紅、黃和藍這三種公魚(圖五、六和七)，所以「顏色實驗 1」中共有 9 組實驗，總共使用了 90 隻母魚和 90 隻公魚。

表一、母魚選擇紅、黃和藍公魚
(底色代表魚的顏色)

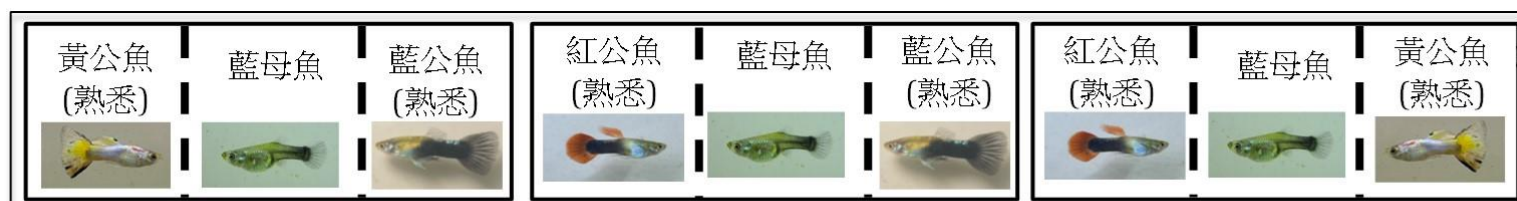
母魚	公魚	
紅	熟悉	熟悉
黃		
藍		
紅	熟悉	熟悉
黃		
藍		
紅	熟悉	熟悉
黃		
藍		



圖五、觀察紅母魚對紅、藍或黃公魚的偏好



圖六、觀察黃母魚對紅、藍或黃公魚的偏好



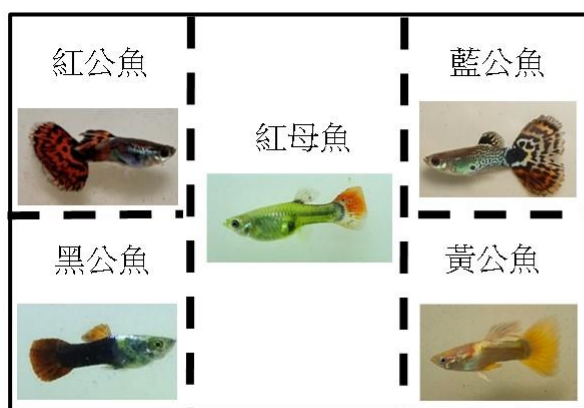
圖七、觀察藍母魚對紅、藍或黃公魚的偏好

(二) 顏色實驗 2

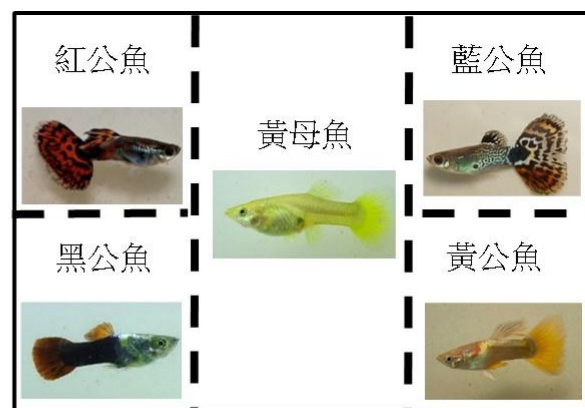
因為「顏色實驗 1」中母魚一次都只選擇兩種體色的公魚，而為了觀察母魚對四種體色公魚的偏好，「顏色實驗 2」中使母魚一次選擇四種不同體色的公魚(表二)，增加母魚的選項以此來看出母魚對特定體色的偏好。這裡的母魚都已熟悉公魚的體色。因為是使母魚一次選擇四種體色的公魚，因此可以看出母魚對這四種體色公魚的偏好程度，同時也能夠看出母魚的偏好是否會因為更多選擇的存在而有所差異。使母魚選擇四種不同體色是因為只選擇紅、黃和藍三種公魚的話，會使實驗觀察魚缸中兩側公魚的數量不同，因為孔雀魚為群居動物，所以為了避免母魚因此待在較多公魚的一側，「顏色實驗 2」中觀察了母魚對紅、黃、藍和黑公魚的選擇，使實驗魚缸左右兩側的公魚數量一致。而因實驗中需使用黑公魚，所以在此也觀察了黑母魚的偏好。「顏色實驗 2」中觀察了這四種不同體色母魚對這四種不同體色公魚的選擇(圖八~十一)，所以「顏色實驗 2」中共有 4 組實驗，總共使用了 40 隻母魚和 40 隻公魚。

表二、母魚一次選擇紅、黃、藍和黑公魚(底色代表魚的顏色)

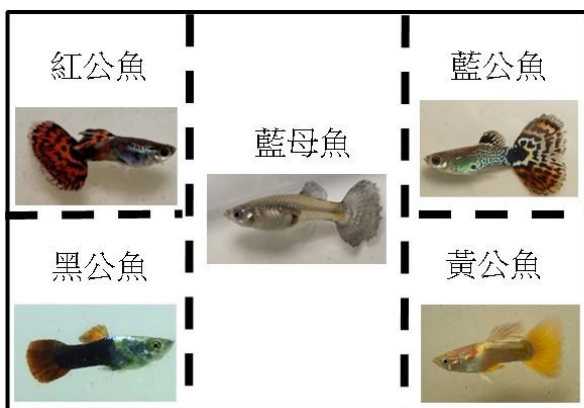
母魚	公魚			
紅	熟悉	熟悉	熟悉	熟悉
黃				
藍				
黑				



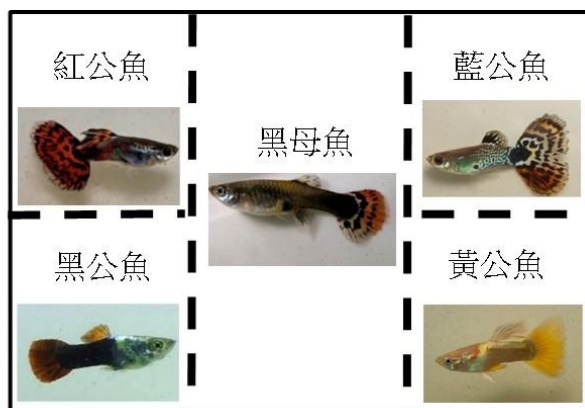
圖八、觀察紅母魚對紅、黃、藍和黑公魚的偏好



圖九、觀察黃母魚對紅、黃、藍和黑公魚的偏好



圖十、觀察藍母魚對紅、黃、藍和黑公魚的偏好



圖十一、觀察黑母魚對紅、黃、藍和黑公魚的偏好

(三) 顏色實驗 3

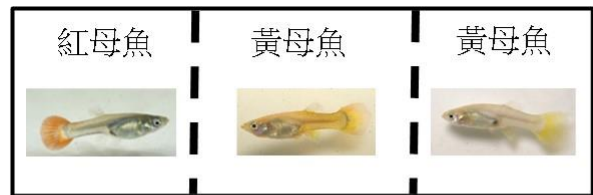
因為孔雀魚是群聚生物，所以這裡要確定母魚的偏好是因為公魚的吸引力產生，而不是因其他非交配有關的因素所造成，例如因相同體色的個體所帶來的安全感。因此「顏色實驗 3」中觀察了母魚對兩隻不同體色「母魚」的選擇(表三)。如果母魚都去偏好特定體色的母魚，代表有其他非交配相關的因素會去影響母魚的偏好。「顏色實驗 3」中觀察了紅和黃母魚對紅和黃母魚的選擇(圖十二和十三)，所以「顏色實驗 3」中共有 2 組實驗，總共使用 40 隻母魚。

表三、母魚選擇不同顏色母魚
(底色代表魚的顏色)

母魚	母魚	
紅	熟悉	熟悉
黃		



圖十二、觀察紅母魚對紅和黃「母魚」的偏好



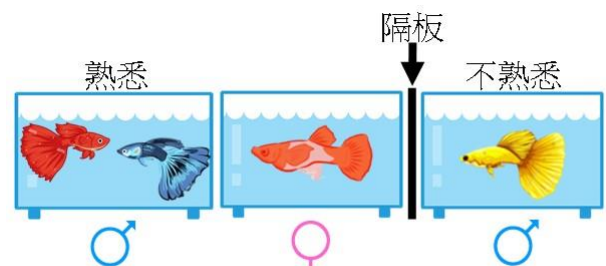
圖十三、觀察黃母魚對紅和黃「母魚」的偏好

三、熟悉度實驗：

「熟悉度實驗」總共分成兩大組，分別是「熟悉度實驗 1」與「熟悉度實驗 2」，探討「熟悉度」對母魚交配偏好的影響。「熟悉度實驗 1」共分成兩組實驗，分別是「熟悉度實驗 1-1」與「熟悉度實驗 1-2」，探討「熟悉/不熟悉」與「體色」如何共同影響母魚的偏好。「熟悉度實驗 2」總共分成二組，分別是「熟悉度實驗 2-1」與「熟悉度實驗 2-2」，並將熟悉的公魚區分為常見與稀有兩種類型，討論「常見/稀有/不熟悉」與「體色」如何共同影響母魚的偏好。

在 Siân *et al.* (1977)的研究中，讓母魚透過視覺接觸的方式，使其熟悉特定體色，發現母魚持續用視覺接觸特定的體色 1 個禮拜後，母魚則會熟悉該種體色，並持續熟悉該體色數個月。在本研究中，為了操作母魚對特定體色的熟悉度，使母魚透過視覺接觸來熟悉特定體色，並持續至少 1 個禮拜(圖十四)，藉此來影響母魚對特定體色的熟悉與否。

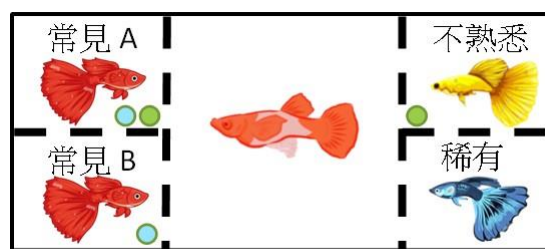
使用 Kimberly *et al.* (2013)研究中相似方式來定義「熟悉」、「不熟悉」的魚。熟悉的公魚為母魚看過或混養至少一個星期的特定體色，而不熟悉的公魚則會是母魚從未看過的體色，分出「熟悉」與「不熟悉」之後。再利用數量上的差異，可以營造出「常見」、「稀有」二種熟悉度，數量較多的為「常見」，數量較少的為「稀有」。因此，在本研究中會有 3 種熟悉度(圖十五)：



圖十四、熟悉方式示意圖

- ✧ 常見：2 隻相同體色，母魚已熟悉的公魚。
- ✧ 稀有：1 隻與常見公魚不同體色，母魚也已熟悉的公魚。
- ✧ 不熟悉：1 隻母魚不曾接觸過的公魚，其體色上與常見、稀有不同。

因為在「熟悉度實驗 2」中常見的公魚有 2 隻，母魚對其偏好程度應該分開記錄。母魚對相同熟悉度的偏好應該一致，透過比較母魚對這 2 隻公魚的偏好，可以檢驗實驗中是否有其他因素影響母魚的偏好。此組實驗總共有 10 次重複(樣本數=10)，每次重複會使用不同的母魚及公魚進行實驗。此外，為了避免母魚可能偏好特定方位，在不同實驗的重複中，會依原體色的分配位置，將新的一批公魚以順時針方向前進一格的方式放入。因為公魚在實驗中會一直更換到不同的隔間，不會一直處於固定的隔間，所以需要將兩隻常見的公魚區分為「常見 A」和「常見 B」，在統計分析數據時才能將「常見 A」和「常見 B」的資料合理的分組。以實驗魚缸位置來區分，位置在魚缸左方或者上方的定義為「常見 A」，另一隻則為「常見 B」。換句話說，若定出順位，前到後依序為●→●→●，「常見 A」為處於順位較前的隔間內的常見公魚(圖十五)，「常見 B」為另外一隻常見公魚(圖十五)。



圖十五、定義(常見 A)、(常見 B)公

(一) 熟悉度實驗 1

「熟悉度實驗 1」總共有 9 組不同體色與熟悉度的公魚組合(表四)，討論 3 種體色的母魚如何選擇 3 種體色和 2 種熟悉度的公魚。此部分再分成 2 組，實驗中觀察了「熟悉/不熟悉」與「體色」如何共同影響母魚的偏好。「熟悉度實驗 1-1」觀察了母魚選擇一隻不熟悉的公魚和一隻熟悉且與母魚相同體色的公魚，藉此看出母魚對「熟悉/不熟悉」的偏好(表五)。為了瞭解熟悉度對母魚顏色偏好的影響，因此設計了「熟悉度實驗 1-2」來驗證。觀察母魚對兩隻不熟悉公魚的選擇，藉此看出熟悉度對母魚顏色偏好的影響。為了使實驗中的母魚可以選擇不同體色的不熟悉公魚，以及使母魚觀察兩隻不熟悉的公魚，在這裡多觀察了藍母魚的選擇(表六)。

表四、「熟悉度實驗 1」實驗總表

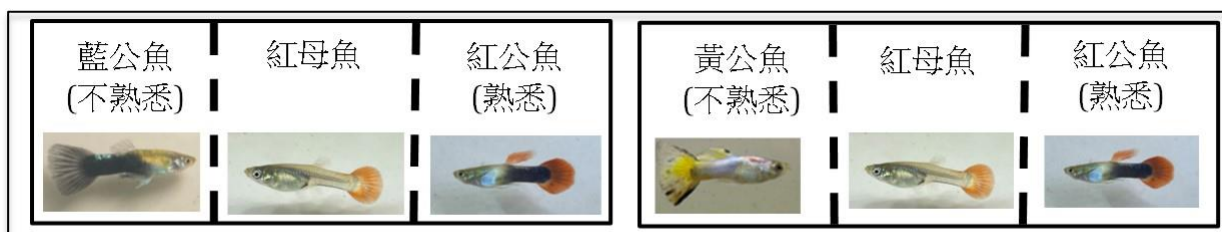
公魚組合	母魚		
	紅	黃	藍
	紅 F - 藍 NF	黃 F - 紅 NF	藍 F - 黃 NF
	紅 F - 黃 NF	黃 F - 藍 NF	藍 F - 紅 NF
	藍 NF - 黃 NF	紅 NF - 藍 NF	紅 NF - 黃 NF
	NF=不熟悉；F=熟悉		

1. 熟悉度實驗 1-1

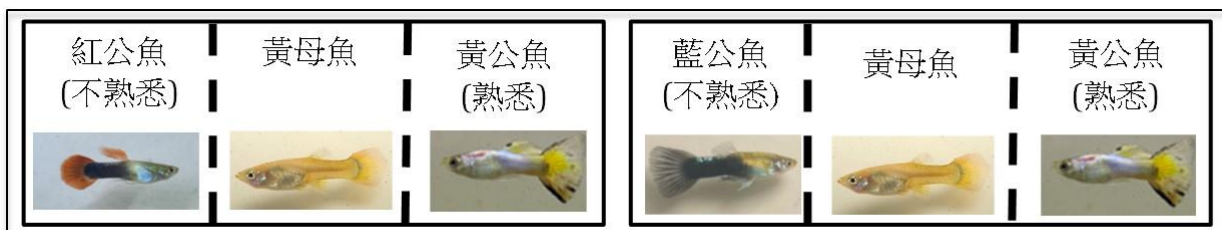
為了看出母魚對「熟悉/不熟悉」公魚的偏好，「熟悉度實驗 1-1」共有 6 組實驗，觀察了母魚選擇一隻不熟悉公魚和一隻熟悉且與母魚相同體色的公魚(表五)。「熟悉度實驗 1-1」觀察了紅、黃和藍母魚分別對紅、黃和藍一隻熟悉和一隻不熟悉公魚的選擇(圖十六~圖十八)，總共使用 60 隻母魚和 60 隻公魚。

表五、母魚選擇熟悉和不熟悉的公魚
(底色代表魚的顏色)

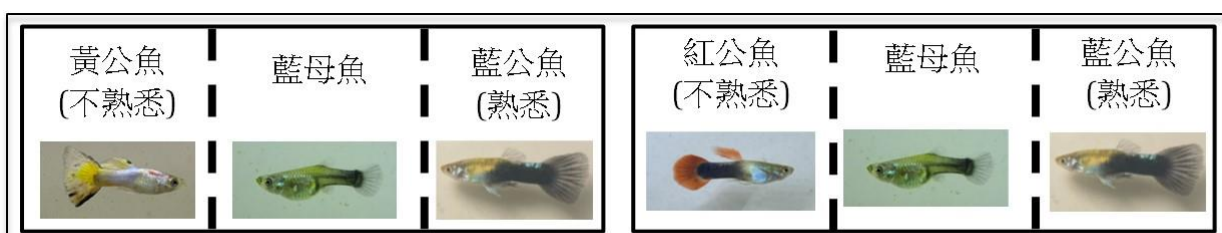
母魚	公魚	
紅	熟悉	不熟悉
紅	熟悉	不熟悉
黃	熟悉	不熟悉
黃	熟悉	不熟悉
藍	熟悉	不熟悉
藍	熟悉	不熟悉



圖十六、觀察紅母魚對熟悉的紅或不熟悉的藍和黃公魚的偏好



圖十七、觀察黃母魚對熟悉的黃或不熟悉的紅和藍公魚的偏好



圖十八、觀察藍母魚對熟悉的藍或不熟悉的黃和紅公魚的偏好

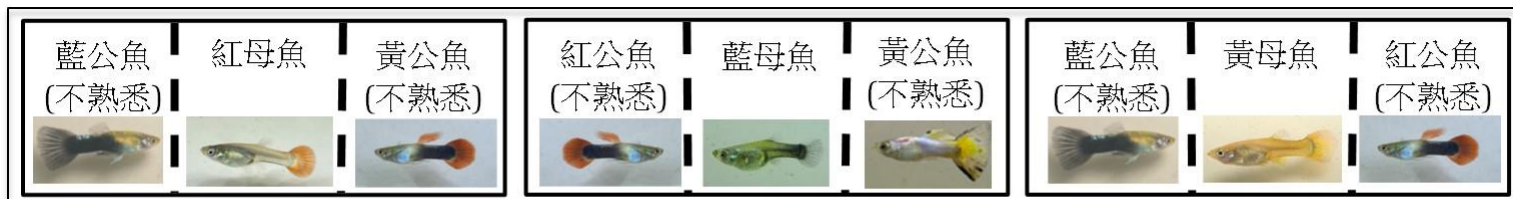
2. 熟悉度實驗 1-2

「熟悉度實驗 1-2」共有 3 組實驗，觀察了母魚對兩隻不熟悉公魚的選擇(表六)。而這三組實驗和「顏色實驗 1」最大的差別是所有的公魚對母魚來說都是不熟悉的，代表沒有熟悉度的影響，且公魚體色皆與母魚不同，因此這 3 組實驗中母魚的偏好可以直接反映公魚體色的影響。

因為紅、黃和藍母魚都只熟悉與自己相同體色的公魚，所以每種體色的母魚會分別不熟悉兩種不同體色的公魚。「熟悉度實驗 1-2」中觀察了紅、黃和藍母魚對兩隻不熟悉公魚的選擇(圖十九)，總共使用了 30 隻母魚和 60 隻公魚。

表六、母魚選擇兩隻不熟悉的公魚
(底色代表魚的顏色)

母魚	公魚	
藍	不熟悉	不熟悉
黃	不熟悉	不熟悉
紅	不熟悉	不熟悉



圖十九、觀察紅、黃和藍母魚對兩隻不熟悉公魚的偏好

(二) 熟悉度實驗 2

「熟悉度實驗 2」總共分成 2 組，討論「常見/稀有/不熟悉」與「體色」如何共同影響母魚的偏好。「熟悉度實驗 2-1」將熟悉的公魚區分為常見與稀有兩種類型，並觀察了紅、黃和藍母魚對常見、稀有和不熟悉公魚的選擇，藉此可觀察母魚對「常見/稀有/不熟悉」的偏好。但「熟悉度實驗 2-1」中的黃和藍母魚只有一種體色的不熟悉公魚可以

選擇，所以無法確認母魚的偏好是受熟悉度影響而不是顏色，因此在「熟悉度實驗 2-2」中加入白色的不熟悉公魚來驗證。「熟悉度實驗 2-2」觀察了黃母魚選擇不同體色的不熟悉公魚，並同時比較討論體色與不同熟悉度的影響，藉此確認母魚展現出的是對特定熟悉度公魚的偏好，而不是對特定體色的偏好。

1. 熟悉度實驗 2-1

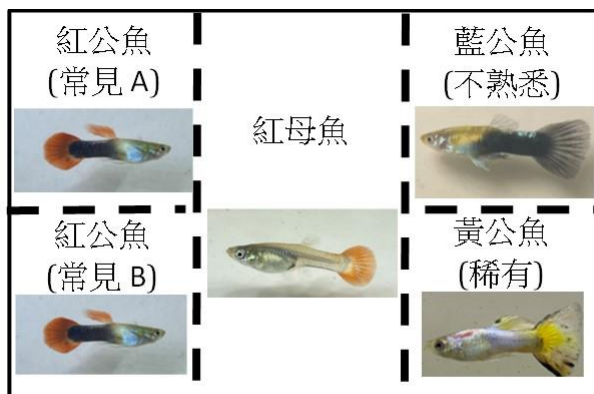
為了看出不同熟悉程度是否會影響母魚的偏好，所以實驗中觀察了母魚對常見、稀有和不熟悉公魚的偏好(表七、八)。因為母魚一定熟悉跟自己相同體色的公魚，所以能使母魚分別熟悉另外兩種體色，且熟悉的公魚可以再透過數量分成常見或稀有公魚，因此對一種體色的母魚來說會有四種公魚體色組合。「熟悉度實驗 2-1」觀察了紅母魚對所有體色組合的選擇(圖二十~二十三)，以此來比較體色和熟悉度的影響力。以及觀察黃和藍母魚的選擇(圖二十四~二十五)，以此來知道不同體色的母魚是否會偏好特定熟悉程度的公魚，所以「熟悉度實驗 2-1」共有 6 組實驗，總共使用了 60 隻母魚和 120 隻公魚。

表七、紅母魚選擇所有顏色組合的常見、稀有和不熟悉的公魚(底色代表魚的顏色)

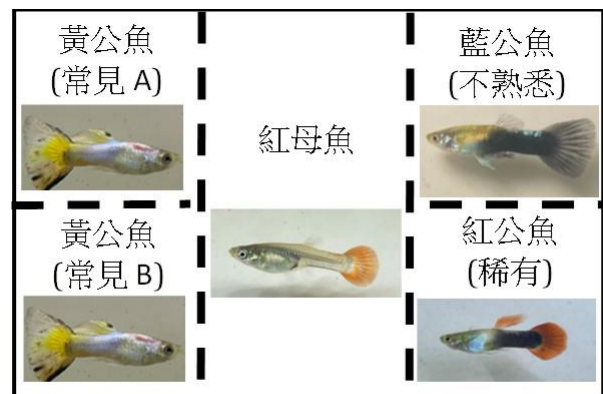
母魚	公魚			
紅	常見 A	常見 B	稀有	不熟悉
紅	常見 A	常見 B	稀有	不熟悉
紅	常見 A	常見 B	稀有	不熟悉
紅	常見 A	常見 B	稀有	不熟悉

表八、黃和藍母魚選擇常見、稀有和不熟悉的公魚(底色代表魚的顏色)

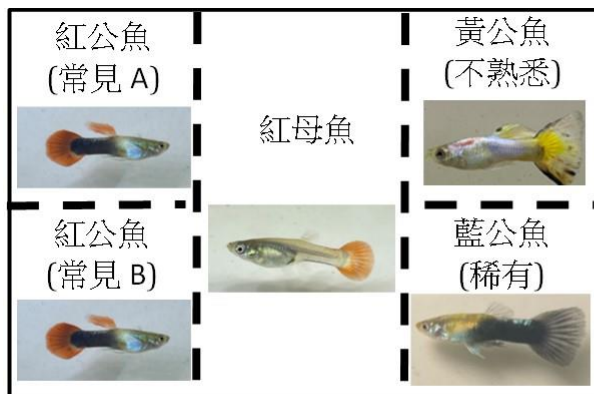
母魚	公魚			
藍	常見 A	常見 B	稀有	不熟悉
黃	常見 A	常見 B	稀有	不熟悉



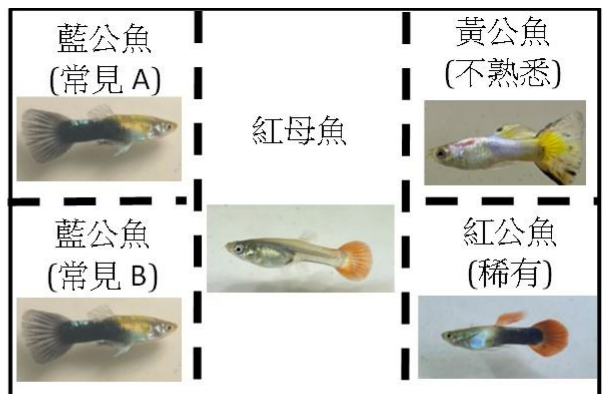
圖二十、觀察紅母魚對常見(紅)、稀有(黃)或不熟悉(藍)公魚的偏好



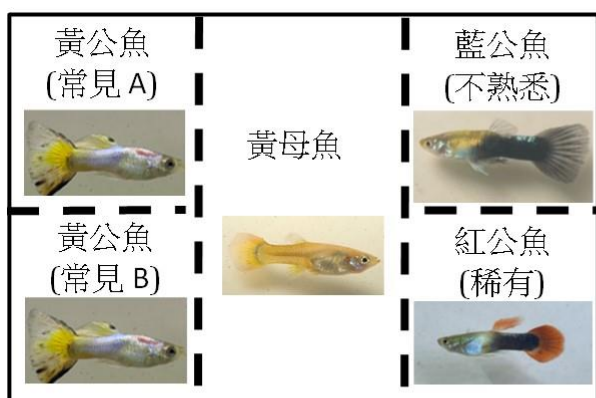
圖二十一、觀察紅母魚對常見(黃)、稀有(紅)或不熟悉(藍)公魚的偏好



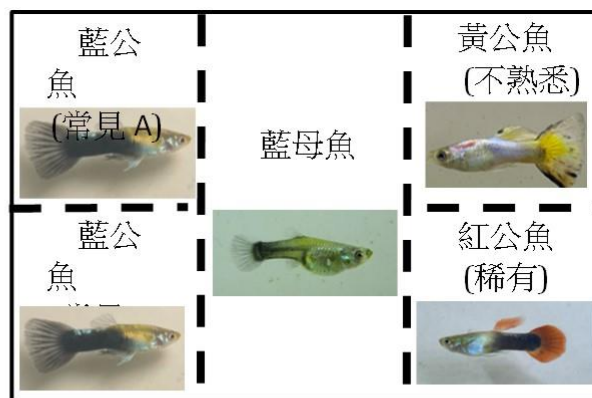
圖二十二、觀察紅母魚對常見(紅)、稀有(藍)或不熟悉(黃)公魚的偏好



圖二十三、觀察紅母魚對常見(藍)、稀有(紅)或不熟悉(黃)公魚的偏好



圖二十四、觀察黃母魚對常見(黃)、稀有(紅)或不熟悉(藍)公魚的偏好



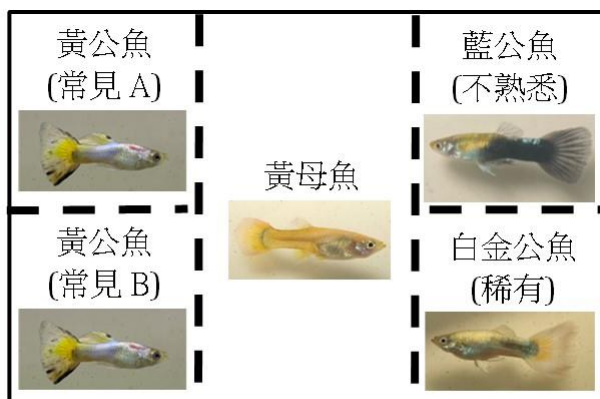
圖二十五、觀察藍母魚對常見(藍)、稀有(紅)或不熟悉(黃)公魚的偏好

2. 熟悉度實驗 2-2

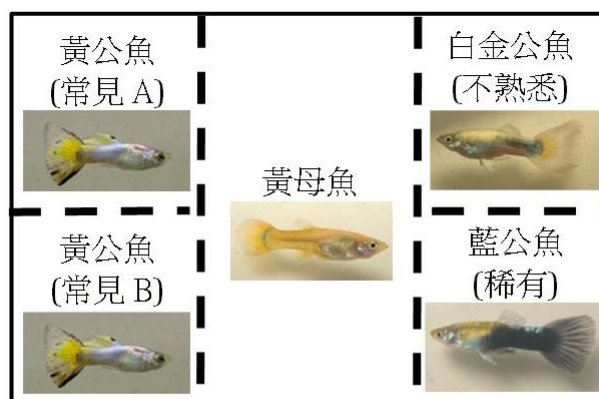
因「熟悉度實驗 2-1」中藍、黃母魚只選擇了藍色的不熟悉公魚，所以為了確認黃母魚在前一實驗中的偏好是受熟悉度影響而不是顏色，因此實驗中加入了白金公魚，使黃母魚能選擇不同體色的不熟悉公魚。「熟悉度實驗 2-2」中觀察了黃母魚在分別熟悉藍或白金公魚的情況下對常見、稀有和不熟悉公魚的選擇(表九)。如果母魚在分別熟悉不同體色後還都偏好同一熟悉度的公魚，可以確認母魚展現出的是對特定熟悉度公魚的偏好。「熟悉度實驗 2-2」觀察了黃母魚在熟悉白金後對不同熟悉度公魚的選擇(圖二十六)，以及黃母魚在熟悉藍後的選擇(圖二十七)。「熟悉度實驗 2-2」共有 2 組實驗，總共用了 20 隻母魚和 40 隻公魚。

表九、黃母魚選擇常見、稀有和不熟悉的公魚(底色代表魚的顏色)

母魚	公魚			
黃	常見 A	常見 B	稀有	不熟悉
黃	常見 A	常見 B	稀有	不熟悉



圖二十六、觀察黃母魚在熟悉白金後是否偏好常見、稀有或不熟悉(藍)公魚



圖二十七、觀察黃母魚在熟悉藍後是否偏好常見、稀有或不熟悉(白金)公魚

四、人工培育族群和野生族群比較：

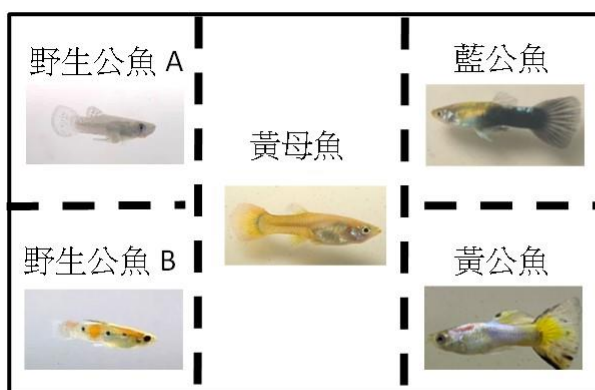
比較野生族群和人工培育的孔雀魚族群中母魚對公魚的交配偏好，可以了解經過人工培育的過程，孔雀魚是否發生不同的交配偏好。自然棲地因為其他掠食性魚類的存在，較人工飼育環境具有較強的天擇壓力；人工培育目的是要選擇出較鮮豔的個體，人擇的作用是否對性擇的作用具有加成的效果？實驗中觀察人工培育母魚與野生母魚對人工培育公魚及野生公魚的偏好，實驗採取 1 隻母魚選擇 4 隻公魚的實驗方式(表十)。因為野生公魚在體色、紋路上有些許差異，實驗過程中，自野外捕捉個體中隨機挑選 2 隻野生公

魚放入實驗缸；在人工培育的公魚方面，選擇 2 隻不同體色的公魚。2 隻野生公魚位置在魚缸左方或者上方的定義為「野生 A」，另一隻則為「野生 B」。

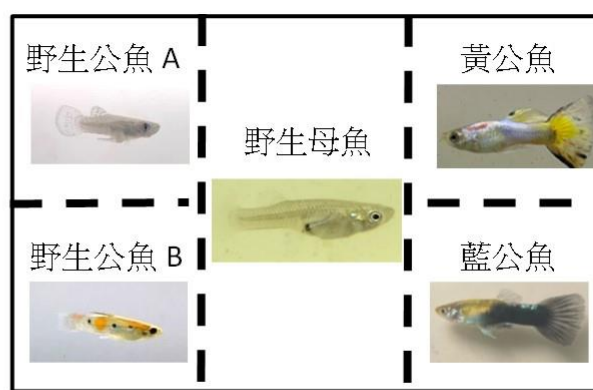
實驗共分成 2 組，一組為黃色的人工培育的母孔雀魚(圖二十八)，另一組為野生母孔雀魚(圖二十九)。二種母魚在實驗前都已熟悉不同體色的公魚。在公魚的選擇上，人工培育孔雀魚的公魚選擇黃色與藍色的個體，而野生孔雀魚則是隨機選擇 2 隻野生公魚。透過比較人工培育母魚及野生母魚的偏好，可以比較野生孔雀魚和人工培育孔雀魚是否有不同的偏好，也可以了解人工培育出的公魚是否具有較大的吸引力。實驗中，使用了 10 隻野生母魚和 10 隻黃色人工培育母魚；10 隻黃色人工培育公魚、10 隻藍色人工培育公魚、20 隻野生公魚。

表十、黃和野生母魚選擇人工培育黃、藍公魚和野生公魚(底色代表魚的顏色)

母魚	公魚			
野生	人工	人工	野生 A	野生 B
黃	人工	人工	野生 A	野生 B



圖二十八、觀察黃母魚對人工培育(黃、藍)或野生公魚的的偏好



圖二十九、觀察野生母魚對人工培育(黃、藍)或野生公魚的的偏好

五、統計方法

- (一) Shapiro-Wilk test：檢查資料有沒有常態分布，若為常態分布，可進行 T 檢定(二組資料)、ANOVA(二組資料以上)。若非常態分布，則進行無母數檢定(如：Mann-Whitney U Test、Kruskal-wallis test)。
- (二) 成對樣本 T 檢定(簡稱為 paired t test)：因為實驗中記錄 1 隻母魚同時選擇 2 隻公魚，因此母魚選擇 2 隻公魚的時間會互相影響並非獨立收集而得的資料，因此採用 paired t test 來檢定兩組成對樣本的平均數間是否存在顯著差異，若檢驗出的 P 值 <0.05 則兩組資料間存在顯著差異，代表實驗中的母魚具有偏好，並且代表實驗變因(體色或熟悉度)會影響交配偏好。
- (三) 隨機區集設計 ANOVA(Randomized Block Design ANOVA，簡稱為 RBD ANOVA)：因為實驗中記錄 1 隻母魚同時選擇 4 隻公魚，因此母魚選擇 4 隻公魚的時間為不獨立資料，因此採用 RBD ANOVA 來進行檢定，了解二組以上有關聯之常態分布的資料間是否有顯著差異存在。若檢驗出的 P 值 <0.05 ，則代表群體間有顯著差異，顯示變因(熟悉程度或體色)會影響到實驗結果。
- (四) Tukey HSD Test：隨機區集設計 ANOVA 結果顯示實驗中的變因有顯著影響後，為了瞭解母魚偏好的情況，進行 Tukey HSD 比較樣本兩兩之間是否有差異，以了解差異存在那些組別間。不同樣本之間如果有顯著差異，則在長條圖上以不同英文字母標示。

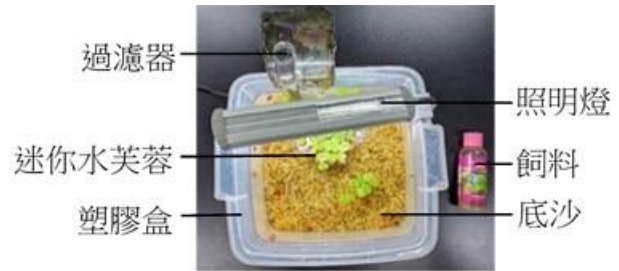
陸、實驗過程與方法

一、孔雀魚飼養方法

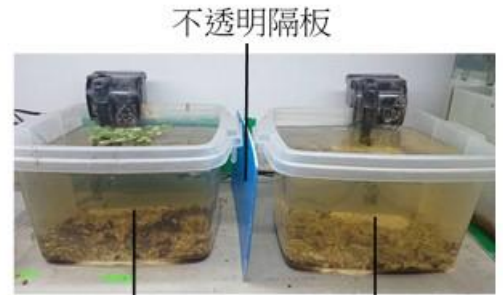
(一) 目的：飼養出健康的魚，使所有魚的生活狀況相同及讓母魚熟悉特定的體色。

(二) 飼養設備及方式：(圖三十)

1. 飼養設備：將孔雀魚飼養在室溫且鋪有底沙的塑膠盒(20cm*20cm*13cm)中，魚缸內裝入約九分滿的水，並使用過濾器打氣。水面上放置迷你水芙蓉，避免魚隻跳缸。
2. 餵食與整理：
每日餵食二次飼料(8：00 和 16：00)、一次紅蟲(12：00)和一次圓水蚤(12：00)。
3. 每天給予所有魚缸 8 小時照明。
- 4 為了維持水質的穩定，在沒有魚隻大量死亡的情況下，不會去更換魚缸中的水，因此在魚缸內飼養蘋果螺，用來清理魚隻的排泄物。
5. 一個魚缸中最多同時飼養 30 隻孔雀魚，避免魚缸內的空間過於擁擠。
6. 平常飼養時將公、母魚分開養，以提高實驗時的交配和求偶動機(圖三十一)。
7. 所有的孔雀魚在從養殖場或水族館買回來後都必須適應我們的飼養環境至少 3 天，才能夠進行實驗，以降低環境變動對實驗結果的影響。
8. 在魚缸和魚缸之間放置不透明隔板，避免母魚因為看到鄰近魚缸的魚，而熟悉其他體色(圖七)。



圖三十、飼養魚缸布置圖



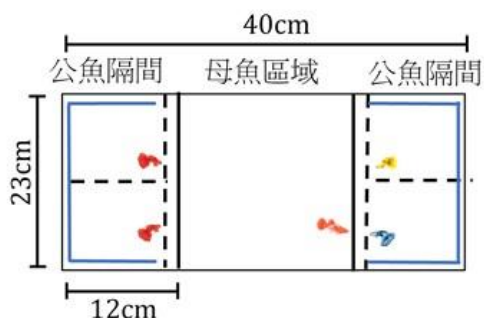
藍公魚飼養魚缸 黃母魚飼養魚缸
圖三十一、分開不同顏色和性別飼養



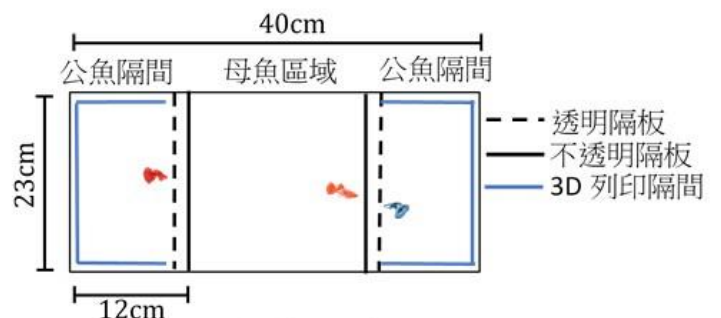
圖三十二、實驗魚缸布置圖

二、實驗設置：(圖三十二)

- (一) 實驗觀察魚缸：40cm*23cm*32cm 玻璃缸(圖三十三、圖三十四)(圖中的魚為實際比例)
- (二) 隔間：3D 列印出白色隔間來隔絕外界干擾和統一背景。為了讓母魚可以選擇到所有的公魚，用隔板分隔出魚缸中間可以同時選擇兩側公魚的母魚區域，並分出兩個或四個放置公魚的隔間。3D 列印出可放置隔板的溝槽，溝槽可以固定隔板並且方便隔板的抽換，使實驗中抽換隔板時減少對魚隻的干擾(圖三十三、圖三十四)。



圖三十三、實驗魚缸示意圖
(四個公魚隔間)



圖三十四、實驗魚缸示意圖
(兩個公魚隔間)

(三) 透明隔板：隔開公魚且讓母魚可以在不接觸公魚的情況下選擇公魚。也在公魚與公魚間設置透明隔板，確保公魚在實驗中會處於各自的隔間中，方便後續紀錄母魚對個別公魚得偏好時間。

(四) 不透明隔板：放置白色隔板讓母魚在適應期不會先看到公魚。

(五) 攝影機：在魚缸上方設置攝影機來紀錄實驗過程

三、實驗操作：

(一) 實驗方法：

1. 在第一組實驗開始時，將公魚隨機放置在周圍的隔間內，而母魚放置在選擇區域，使母魚可以去選擇所有的公魚。

2. 一次實驗有三個階段，魚隻在實驗魚缸中總共 25 分鐘：(圖三十五)(照片中的魚不代表實際比例)

(1) 適應期：持續 10 分鐘，使魚適應環境，避免實驗中因孔雀魚不熟悉環境而影響其交配行為。用不透明隔板分隔母魚與公魚，使公魚和母魚習慣環境並冷靜，期間以幫浦打氣，保證實驗過程氧氣充足。

(2) 觀察期：持續 5 分鐘，抽開不透明隔板，使母魚可以觀察到所有可選擇的公魚，期間不紀錄母魚的選擇。

(3) 實驗期：持續 10 分鐘，記錄母魚靠近各隻公魚的時間。

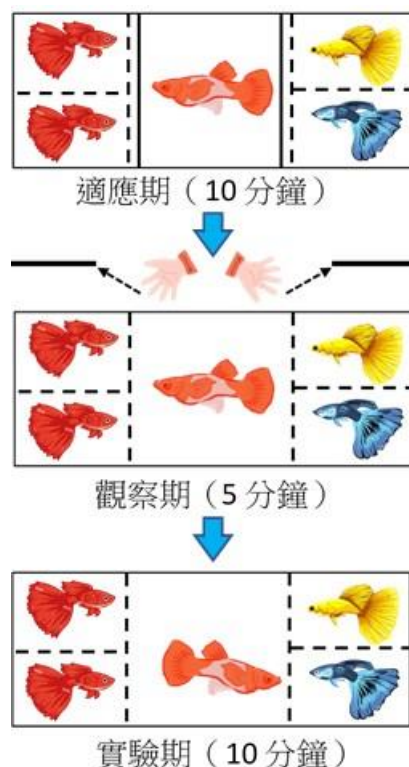
(二) 記錄方式：

在 Farr *et al.* (1999)的研究中提到，可以用母魚靠近且看向公魚的時間來預測母魚的交配選擇。所以實驗中將母魚靠近且看向公魚的時間(圖三十六)作為判斷母魚偏好的依據。若母魚靠近但沒看向公魚(圖三十七)的時間並非因對公魚產生偏好，因此不列入計算。最後將母魚選擇各隻公魚的時間加總。

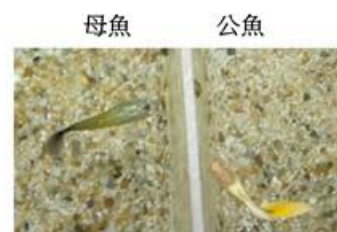
(三) 實驗動物輪替：

1. 母魚更換：為了減少動物(公魚)的使用量，同時比較不同體色的母魚對同一批公魚的偏好。這些不同體色母魚都剛好有相同的常見、不熟悉與稀有公魚，每進行一次實驗後，更換另一種體色的母魚繼續下一次實驗。直到該配置中所有體色的各一隻母魚皆與同一批公魚進行一次實驗，此視為一輪實驗。再換成下一種配置來進行實驗，重複以上方法，直到所有配置中的母魚都進行一次實驗(圖三十八)。

2. 公魚更換：為避免位置影響結果，且排除特定公魚個體造成的潛在影響，每進行完一輪實驗後，更換一批新的公魚繼續下一輪實驗，所有公魚的位置依順時針前進一格的方式放入隔間(圖三十八)。



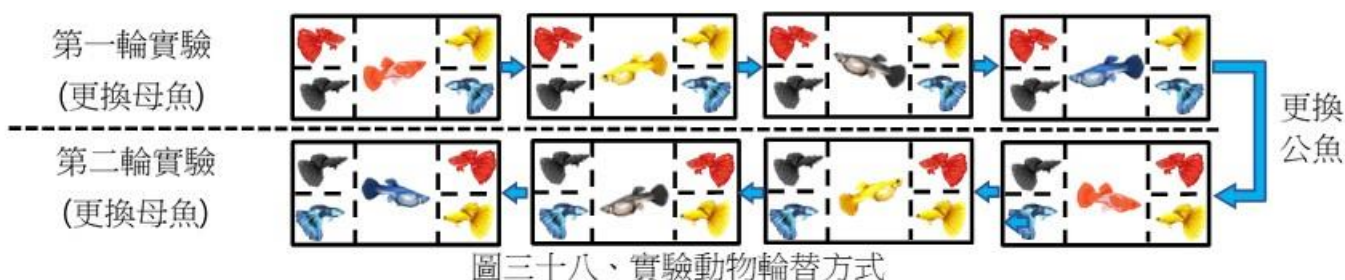
圖三十五、實驗步驟



圖三十六、母魚看向公魚



圖三十七、母魚沒看向公魚



圖三十八、實驗動物輪替方式

表十一、實驗總表

實驗名稱	實驗目的	實驗母魚	實驗公魚	熟悉情況	組數	每組 樣本數	動物總數	統計分析
顏色實驗 1	了解母魚是否會對特定體色公魚產生偏好	黃 紅 藍	黃 紅 藍	母魚熟悉所有體色	9 組	10 個 樣本	母魚：90 隻 公魚：90 隻	Shapiro-Wilk test paired t test
顏色實驗 2	了解母魚對四種體色公魚的偏好程度	黑 紅 黃 藍	黑 紅 黃 藍	母魚熟悉所有體色	4 組	10 個 樣本	母魚：40 隻 公魚：40 隻	Shapiro-Wilk test RBD ANOVA Tukey HSD
顏色實驗 3	確認母魚是否只於與公魚互動時才會展現對特定體色的偏好	紅 黃	X	母魚熟悉所有體色	2 組	10 個 樣本	母魚：40 隻	Shapiro-Wilk test paired t test
熟悉度實驗 1-1	了解母魚對「熟悉」或「不熟悉」公魚的偏好	黃 紅 藍	黃 紅 藍	母魚只熟悉 自身體色	6 組	10 個 樣本	母魚：60 隻 公魚：60 隻	Shapiro-Wilk test paired t test
熟悉度實驗 1-2	確認公魚體色對母魚偏好的影響	黃 紅 藍	黃 紅 藍	母魚只熟悉 自身體色	3 組	10 個 樣本	母魚：30 隻 公魚：60 隻	Shapiro-Wilk test paired t test
熟悉度實驗 2-1 是否偏好常見、稀有或不熟悉公魚	了解母魚對「常見」、「稀有」或「不熟悉」公魚的偏好	黃 紅 藍	黃 紅 藍	部分紅母魚熟悉黃 部分紅母魚熟悉藍 黃母魚熟悉紅魚 藍母魚熟悉黃魚	6 組	10 個 樣本	母魚：60 隻 公魚：120 隻	Shapiro-Wilk test RBD ANOVA Tukey HSD
熟悉程度實驗 2-2 比較體色和熟悉度的影響	確認母魚對「常見」、「稀有」或「不熟悉」公魚的偏好是受熟悉度影響	黃	黃 白金 藍	部份黃母魚熟悉黃和藍 部份黃母魚熟悉黃和白	2 組	10 個 樣本	母魚：20 隻 公魚：40 隻	Shapiro-Wilk test RBD ANOVA Tukey HSD
人工培育族群和野生族群比較	探討人工培育母魚的交配偏好是否與野生母魚有所不同	黃 野生	黃 藍 野生	母魚熟悉所有體色	2 組	10 個 樣本	母魚：20 隻 公魚：40 隻	Shapiro-Wilk test RBD ANOVA Tukey HSD

柒、實驗結果

一、顏色實驗

顏色實驗共分成三個部分，探討「體色」對母魚交配偏好的影響。「顏色實驗 1」了解母魚是否會對特定體色公魚產生偏好；「顏色實驗 2」了解不同體色公魚對母魚吸引力大小的程度差異，並和「顏色實驗 1」進行比較了解母魚的偏好是否因為更多選擇的存在而有所差異；「顏色實驗 3」觀察母魚對兩隻不同體色母魚的偏好，確認母魚在「顏色實驗 1」和「顏色實驗 2」的偏好是因為公魚的吸引力產生。

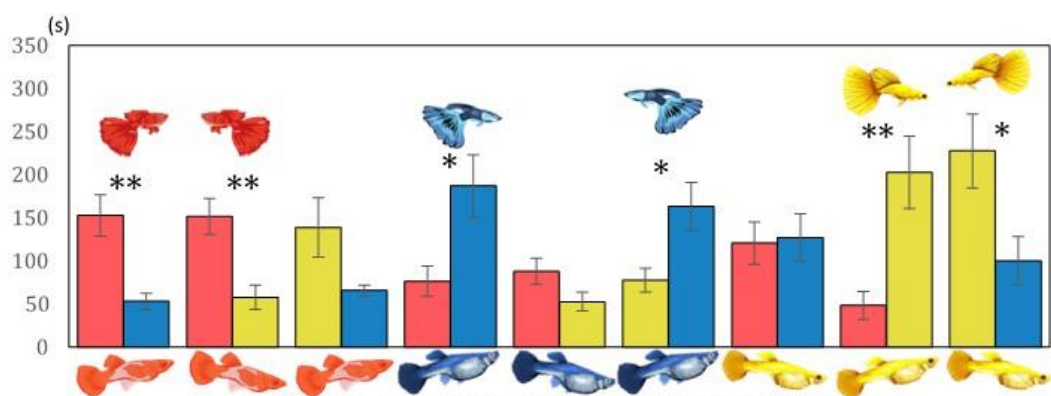
(一) 顏色實驗一

為了觀察母魚在熟悉所有體色時是否會有對某種特定體色公魚的偏好。「顏色實驗 1」中觀察了不同體色母魚對兩種不同體色公魚的選擇。

表十二、母魚選擇 2 隻不同體色公魚的時間、平均時間及 paired t test 結果(df=9)

公魚 \ 母魚	紅 1	紅 2	紅 3	紅 4	紅 5	紅 6	紅 7	紅 8	紅 9	紅 10	平均	paired t test
熟悉	92	122	100	116	197	77	218	236	290	82	153	P 值<0.01**
熟悉	44	57	38	36	47	129	60	36	73	14	53.4	
公魚 \ 母魚	紅 1	紅 2	紅 3	紅 4	紅 5	紅 6	紅 7	紅 8	紅 9	紅 10	平均	paired t test
熟悉	84	226	188	235	66	73	226	167	126	128	151.9	P 值<0.01**
熟悉	162	53	22	19	12	75	76	81	50	30	58	
公魚 \ 母魚	紅 1	紅 2	紅 3	紅 4	紅 5	紅 6	紅 7	紅 8	紅 9	紅 10	平均	paired t test
熟悉	104	44	62	71	44	59	90	70	42	72	65.8	P 值=0.06
熟悉	124	232	12	110	138	119	133	87	36	398	138.9	
公魚 \ 母魚	藍 1	藍 2	藍 3	藍 4	藍 5	藍 6	藍 7	藍 8	藍 9	藍 10	平均	paired t test
熟悉	149	50	30	15	93	45	175	117	68	24	76.6	P 值=0.04*
熟悉	140	33	178	229	217	408	40	101	272	254	187.2	
公魚 \ 母魚	藍 1	藍 2	藍 3	藍 4	藍 5	藍 6	藍 7	藍 8	藍 9	藍 10	平均	paired t test
熟悉	108	13	106	91	72	188	110	46	105	42	88.1	P 值=0.09
熟悉	12	84	80	46	6	46	116	33	70	36	52.9	
公魚 \ 母魚	藍 1	藍 2	藍 3	藍 4	藍 5	藍 6	藍 7	藍 8	藍 9	藍 10	平均	paired t test
熟悉	196	156	129	155	97	68	376	223	98	136	163.4	P 值=0.03*
熟悉	44	56	173	124	109	58	59	28	49	78	77.8	
公魚 \ 母魚	黃 1	黃 2	黃 3	黃 4	黃 5	黃 6	黃 7	黃 8	黃 9	黃 10	平均	paired t test
熟悉	68	25	248	48	108	65	160	242	150	95	120.9	P 值=0.87
熟悉	76	33	149	268	38	272	145	50	92	150	127.3	
公魚 \ 母魚	黃 1	黃 2	黃 3	黃 4	黃 5	黃 6	黃 7	黃 8	黃 9	黃 10	平均	paired t test
熟悉	12	38	28	188	52	30	5	51	30	53	48.7	P 值=0.01**
熟悉	162	346	294	46	323	379	110	45	266	60	203.1	
公魚 \ 母魚	黃 1	黃 2	黃 3	黃 4	黃 5	黃 6	黃 7	黃 8	黃 9	黃 10	平均	paired t test
熟悉	82	31	288	205	45	16	48	44	154	92	100.5	P 值=0.04*
熟悉	498	256	176	104	33	228	304	160	370	150	227.9	

*代表 P 值<0.05 **代表 P 值<0.01



圖三十九、母魚選擇兩隻熟悉且不同體色公魚

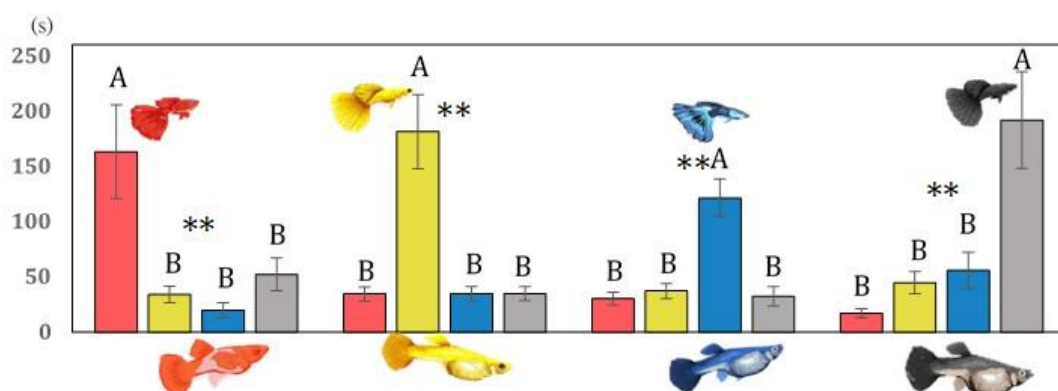
「顏色實驗 1」中可以看到不同體色的母魚都會偏好跟自己有相同體色的公魚(圖三十九)，在選擇一隻跟自己相同體色及一隻不同體色的公魚時共有六組有顯著差異。在母魚選擇兩隻跟自己不同體色的公魚時，沒有展現出對特定體色公魚的偏好。因此可以知道母魚會偏好跟自己同樣體色的公魚。而在這個實驗當中我們只能透過兩兩顏色比較，瞭解兩種體色相對的吸引力大小。為了知道母魚對不同體色公魚確切的偏好，下一實驗使母魚一次選擇四種體色的公魚。

(二) 顏色實驗 2

為了同時比較所有體色公魚吸引力大小的程度差異，且使實驗觀察魚缸的兩側公魚數量相同，因此使用「顏色實驗 1」中的三種體色的公魚加上黑色的公魚，所以「顏色實驗 2」中觀察了母魚一次對四隻不同熟悉體色公魚的選擇。因為是使母魚一次選擇四種體色的公魚，因此可以看出四種體色公魚的吸引力大小關係。此實驗同時也能夠看出 1 隻母魚選擇 4 隻公魚時，母魚的偏好是否因為更多選擇的存在而有所差異。

表十三、母魚選擇四隻不同體色公魚的時間、平均時間及 RBD ANOVA 結果

公魚 \ 母魚	紅 1	紅 2	紅 3	紅 4	紅 5	紅 6	紅 7	紅 8	紅 9	紅 10	平均	RBD ANOVA
熟悉	3	121	398	95	49	384	170	124	218	70	163.2	P 值<0.01**
熟悉	67	11	0	51	51	58	12	16	50	24	34	
熟悉	31	1	0	0	58	3	23	0	38	42	19.6	
熟悉	6	86	106	3	37	0	110	109	52	12	52.1	
公魚 \ 母魚	黃 1	黃 2	黃 3	黃 4	黃 5	黃 6	黃 7	黃 8	黃 9	黃 10	平均	RBD ANOVA
熟悉	32	4	30	26	81	52	28	19	35	36	34.3	P 值<0.01**
熟悉	331	369	239	89	80	243	102	132	106	122	181.3	
熟悉	10	43	47	4	7	43	58	60	50	21	34.3	
熟悉	18	2	30	72	28	32	45	53	42	25	34.7	
公魚 \ 母魚	藍 1	藍 2	藍 3	藍 4	藍 5	藍 6	藍 7	藍 8	藍 9	藍 10	平均	RBD ANOVA
熟悉	43	25	27	15	49	5	64	16	21	35	30	P 值<0.01**
熟悉	40	23	21	17	40	79	26	62	11	52	37.1	
熟悉	54	57	89	77	167	146	190	168	180	86	121.4	
熟悉	53	29	91	19	56	0	8	21	4	41	32.2	
公魚 \ 母魚	黑 1	黑 2	黑 3	黑 4	黑 5	黑 6	黑 7	黑 8	黑 9	黑 10	平均	RBD ANOVA
熟悉	20	2	16	11	41	14	3	7	36	18	16.8	P 值<0.01**
熟悉	98	4	63	66	45	82	24	11	34	17	44.4	
熟悉	164	3	15	64	31	62	24	129	46	19	55.7	
熟悉	174	407	375	365	131	163	67	122	76	36	191.6	



圖四十、母魚選擇四隻不同體色公魚

不同體色的母魚都會偏好跟自己同樣體色的公魚(圖四十)。而在經過 RBD ANOVA 分析後，P 值皆低於 0.05，代表體色會影響母魚的偏好。Tukey HSD 的結果顯示不同體色的母魚顯著花費較多的時間在同樣體色的公魚身上，而在其他體色之間沒有存在顯著差異。在「顏色實驗 1 和 2」中，可以知道母魚面對熟悉的公魚時，會偏好與自己相同體色的公魚。而在「顏色實驗 2」中可以知道，除了不同體色的母魚偏好跟自己相同體色的公魚以外，並不會展現出對任何特定體色的偏好。

	組別	紅	黃	藍
1 選 2 實驗	A	153(♂：紅 vs.藍)	203.1(♂：黃 vs.紅)	187.2(♂：藍 vs.紅)
	B	151.9(♂：紅 vs.黃)	227.9(♂：黃 vs.藍)	163.4(♂：藍 vs.黃)
1 選 4 實驗	C	163.2	181.3	121.4
差異秒數	C-A	+10.2	-21.8	-65.8
	C-B	+11.3	-46.6	-42

比較「顏色實驗 1」、「顏色實驗 2」，紅色母魚在選擇 4 隻公魚時，對最偏好的公魚花費的時間會增加，但是黃母魚和藍母魚在選擇 4 隻公魚時，對其最偏好的公魚花費的時間均減少(表十四)。這表示較多的公魚會有某程度的影響，但是不會改變母魚的偏好，因此 1 選 4 的實驗應可更直接證明母魚的偏好。然而，在完成「顏色實驗 1 和 2」後，因為母魚都選擇和自己體色相同的公魚，因此好奇其中母魚的偏好是否為交配偏好，所以進行「顏色實驗 3」這個實驗，探討母魚的顏色偏好與公魚之關連。

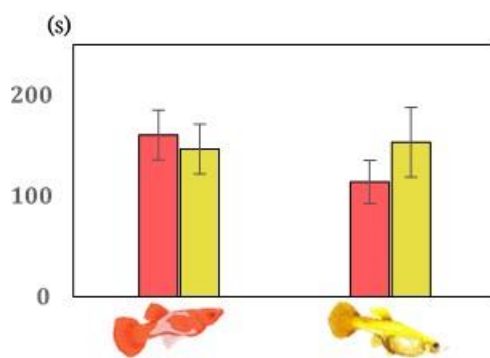
(三) 顏色實驗 3

在「顏色實驗 1 和 2」中，母魚偏好跟自己相同體色的公魚。因此我們想了解母魚的偏好是不是因為公魚的吸引力產生，還是因其他非交配相關因素所造成，例如因相同體色個體帶來的安全感。因此觀察紅黃母魚分別對紅黃兩種體色母魚的選擇。如果母魚不會偏好和自己相同體色的母魚，代表「顏色實驗 1 和 2」母魚的偏好為交配偏好。

表十五、母魚選擇兩隻不同顏色母魚的時間、平均時間及 paired t test 結果(df=9)

母魚	母魚	紅 1	紅 2	紅 3	紅 4	紅 5	紅 6	紅 7	紅 8	紅 9	紅 10	平均	paired t test
熟悉		296	143	156	113	110	71	96	130	204	287	160.6	P 值=0.73
熟悉		166	192	250	16	186	231	122	115	162	26	146.6	
母魚	母魚	黃 1	黃 2	黃 3	黃 4	黃 5	黃 6	黃 7	黃 8	黃 9	黃 10	平均	paired t test
熟悉		24	50	4	114	50	103	86	54	8	284	77.7	P 值=0.49
熟悉		80	122	172	60	66	221	198	55	74	10	105.8	

從「顏色實驗 3」中，可以看出不管是黃母魚還是紅母魚對於不同體色母魚的選擇結果沒有顯著差異(表十四、圖四十一)，代表他們都變成沒有偏好特定體色的母魚。與「顏色實驗 1」的實驗結果比較後，可以知道母魚在「顏色實驗 1 和 2」的偏好和自己體色相同公魚是因公魚的吸引力而產生。



圖四十一、母魚選擇兩隻不同顏色母魚

總結：不同體色的母魚均選擇與自己體色相同的公魚，不存在對於單一體色的交配偏好。因此體色應該不是影響母魚交配偏好最主要的因素。我們在後續的實驗中將會對熟悉度作探討。

二、熟悉度實驗

「熟悉度實驗」總共分成兩大組，「熟悉度實驗 1」探討「熟悉/不熟悉」與「體色」如何共同影響母魚的偏好；「熟悉度實驗 2」討論「常見/稀有/不熟悉」與「體色」如何共同影響母魚的偏好。

(一) 熟悉度實驗 1

總共分成 2 組，討論「熟悉/不熟悉」與「體色」如何共同影響母魚的偏好。「熟悉度實驗 1-1」了解母魚對「熟悉/不熟悉」的偏好；「熟悉度實驗 1-2」確認熟悉度對母魚顏色偏好的影響。

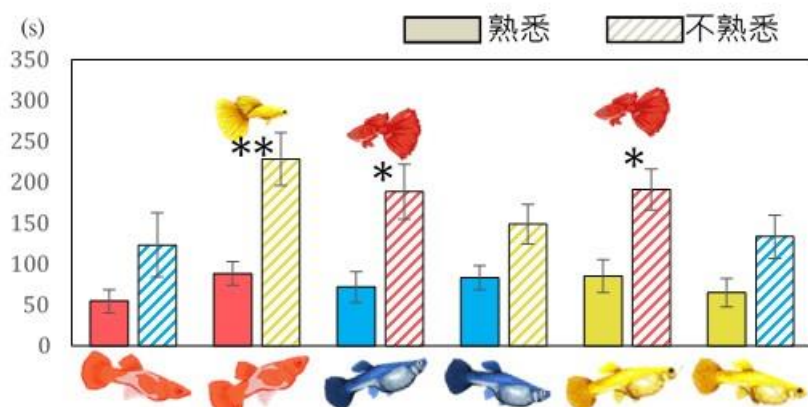
1. 熟悉度實驗 1-1：觀察了不同體色母魚對一隻熟悉和一隻不熟悉公魚的選擇。

表十六、母魚選擇一隻熟悉和一隻不熟悉公魚的時間、平均時間及 paired t test 結果(df=9)

公魚 \ 母魚	紅 1	紅 2	紅 3	紅 4	紅 5	紅 6	紅 7	紅 8	紅 9	紅 10	平均	paired t test
熟悉	150	44	20	92	4	20	80	47	73	16	54.6	P 值=0.17
不熟悉	110	192	72	69	68	268	26	0	36	390	123.1	
公魚 \ 母魚	紅 1	紅 2	紅 3	紅 4	紅 5	紅 6	紅 7	紅 8	紅 9	紅 10	平均	paired t test
熟悉	62	104	76	56	94	52	164	122	140	12	88.2	P 值<0.01**
不熟悉	128	226	196	188	146	370	104	310	206	409	228.3	
公魚 \ 母魚	藍 1	藍 2	藍 3	藍 4	藍 5	藍 6	藍 7	藍 8	藍 9	藍 10	平均	paired t test
熟悉	18	160	98	18	50	116	15	51	170	21	71.7	P 值=0.03*
不熟悉	310	52	200	98	300	284	319	113	66	142	188.4	
公魚 \ 母魚	藍 1	藍 2	藍 3	藍 4	藍 5	藍 6	藍 7	藍 8	藍 9	藍 10	平均	paired t test
熟悉	88	52	146	96	64	53	176	36	88	33	83.2	P 值=0.1
不熟悉	196	202	98	130	118	95	6	190	171	282	148.8	
公魚 \ 母魚	黃 1	黃 2	黃 3	黃 4	黃 5	黃 6	黃 7	黃 8	黃 9	黃 10	平均	paired t test
熟悉	50	100	76	26	106	142	26	231	64	32	85.3	P 值=0.03*
不熟悉	350	82	148	194	192	120	282	139	222	184	191.3	
公魚 \ 母魚	黃 1	黃 2	黃 3	黃 4	黃 5	黃 6	黃 7	黃 8	黃 9	黃 10	平均	paired t test
熟悉	26	82	18	66	22	191	125	24	46	50	65	P 值=0.09
不熟悉	140	240	104	124	300	109	8	60	122	127	133.4	

*代表 P 值<0.05 **代表 P 值<0.01

在「熟悉度實驗 1-1」中可以清楚的看出母魚花在不熟悉公魚身上的時間都比花在熟悉公魚身上時間多(圖四十二)。用 paired t test 分析過後，有六組實驗裡有三組實驗母魚花在熟悉和不熟悉公魚的時間存在顯著差異。而在沒有顯著差異的三組實驗裡，從母魚花在公魚身上的平均時間來看，母魚花在不熟悉公魚身上的平均時間明顯大於花在熟悉公魚身上的平均時間。造成沒有顯著差異的原因可能是因為不同母魚選擇兩種不同體色公魚的時間差異太大，導致數據過度分散，因此沒有顯著差異，但從整體的趨勢來看可以看出母魚對不熟悉公魚的偏好。如果增加樣本數後，母魚對熟悉和不熟悉公魚的偏好將可能有顯著差異。所以在「熟悉度實驗 1-1」裡可以得知母魚會偏好不熟悉的公魚，以及了解熟悉度會影響母魚的選擇。



圖四十二、母魚選擇一隻熟悉和一隻不熟悉公魚

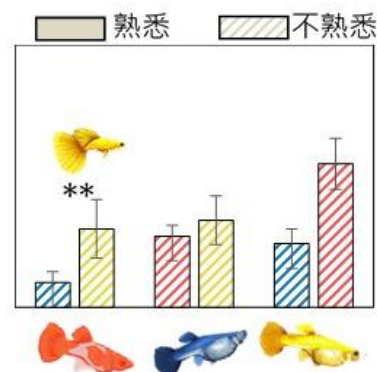
2. 熟悉度實驗 1-2

了解「熟悉度實驗 1-1」中「熟悉/不熟悉」與「體色」如何共同影響母魚的偏好後，為了再次確定體色是否影響母魚的偏好，「熟悉度實驗 1-2」觀察了不同體色母魚對兩隻不熟悉公魚的選擇。因為兩隻公魚對母魚來說都是不熟悉的，因此熟悉度的影響不存在，如果母魚產生偏好就可知道體色會影響母魚的偏好。

表十七、母魚選擇兩隻不熟悉公魚的時間、平均時間及 paired t test 結果(df=9) **代表 P 值<0.01

公魚 \ 母魚	紅 1	紅 2	紅 3	紅 4	紅 5	紅 6	紅 7	紅 8	紅 9	紅 10	平均	paired t test
不熟悉	82	214	114	104	122	122	81	32	31	142	104.4	P 值<0.01**
不熟悉	32	4	22	60	56	49	16	15	19	62	33.5	
公魚 \ 母魚	藍 1	藍 2	藍 3	藍 4	藍 5	藍 6	藍 7	藍 8	藍 9	藍 10	平均	paired t test
不熟悉	180	122	108	70	174	120	68	68	40	42	99.2	P 值=0.41
不熟悉	92	240	66	236	94	166	106	116	46	52	121.4	
公魚 \ 母魚	黃 1	黃 2	黃 3	黃 4	黃 5	黃 6	黃 7	黃 8	黃 9	黃 10	平均	paired t test
不熟悉	152	216	264	306	328	96	30	170	98	58	171.8	P 值>0.05
不熟悉	126	44	24	16	16	182	75	25	82	92	68.2	

在「熟悉度實驗 1-2」中，在母魚選擇兩隻不熟悉公魚的實驗裡，三組實驗中有一組有顯著差異，結果顯示紅黃母魚互相偏好對方體色的公魚。三組實驗中母魚沒有偏好特定一種體色的公魚(圖四十三)。又因為在這裡的兩隻公魚皆為不熟悉的，所以熟悉度的影響在這裡不存在，因此可以知道體色會影響母魚的偏好只是影響可能不大。在「熟悉度實驗 1」中可知道熟悉度會影響母魚的偏好後，為了知道熟悉度對母魚的偏好是否有程度上的變化，後續再從熟悉的公魚中定義出兩種不同的熟悉度，分別是常見和稀有。



圖四十三、母魚選擇兩隻不熟悉公魚

(二) 熟悉度實驗 2

熟悉度實驗共分成二組，「熟悉度實驗 2-1」討論「常見/稀有/不熟悉」三種狀況下的公魚的引吸力；「熟悉度實驗 2-1」比較討論體色與熟悉度的影響。

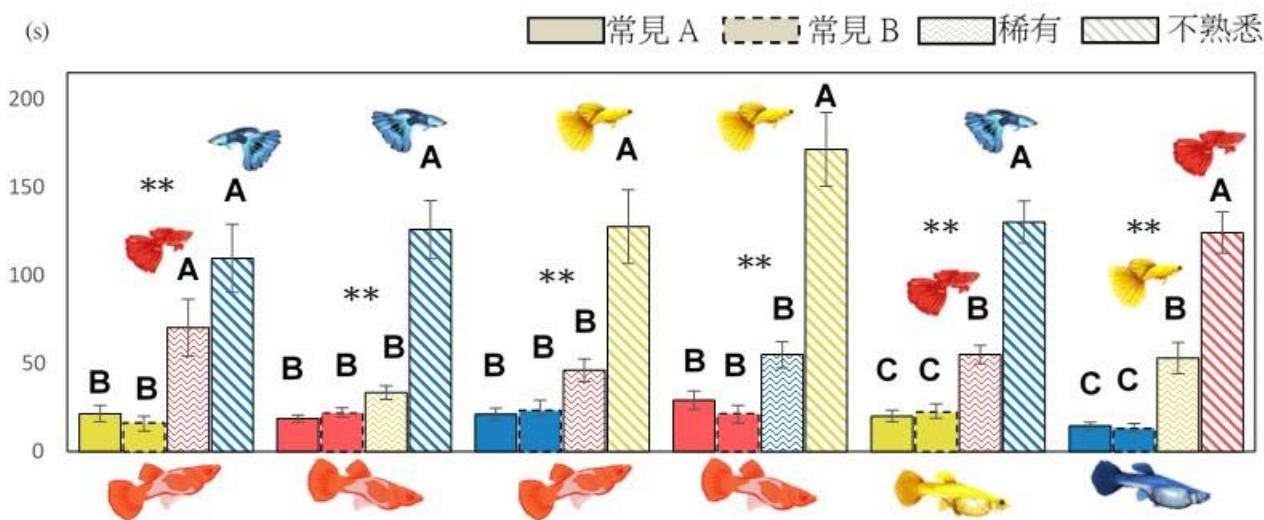
1. 熟悉度實驗 2-1

觀察母魚是否會偏好常見、稀有或不熟悉的公魚(p.6)，以及因為常見和稀有的公魚都是母魚所熟悉的，因此這裡先使母魚熟悉兩種體色後觀察母魚對不同熟悉程度的選擇。藉此來看不同熟悉程度是否會影響母魚的偏好。

表十八、母魚選擇四隻不同熟悉程度公魚的時間、平均時間及 RBD ANOVA 結果

公魚 \ 母魚	紅 1	紅 2	紅 3	紅 4	紅 5	紅 6	紅 7	紅 8	紅 9	紅 10	平均	RBD ANOVA
常見 A	8	50	6	42	26	12	12	26	10	24	21.6	P 值<0.01**
常見 B	2	32	4	38	24	20	14	8	8	14	16.4	
稀有	66	20	44	28	134	18	52	162	56	124	70.4	
不熟悉	154	106	64	90	78	160	90	52	248	56	109.8	
公魚 \ 母魚	紅 1	紅 2	紅 3	紅 4	紅 5	紅 6	紅 7	紅 8	紅 9	紅 10	平均	RBD ANOVA
常見 A	20	18	16	16	6	12	24	26	22	28	18.8	P 值<0.01**
常見 B	8	28	22	24	30	14	34	35	16	8	21.9	
稀有	32	36	56	38	22	10	30	32	44	36	33.6	
不熟悉	76	172	188	212	114	84	154	54	108	98	126	
公魚 \ 母魚	紅 1	紅 2	紅 3	紅 4	紅 5	紅 6	紅 7	紅 8	紅 9	紅 10	平均	RBD ANOVA
常見 A	33	11	27	16	36	21	20	10	4	34	21.2	P 值<0.01**
常見 B	15	6	53	24	19	53	10	30	0	24	23.4	
稀有	58	87	40	44	11	54	20	48	56	44	46.2	
不熟悉	129	237	43	87	117	148	104	78	246	88	127.7	
公魚 \ 母魚	紅 1	紅 2	紅 3	紅 4	紅 5	紅 6	紅 7	紅 8	紅 9	紅 10	平均	RBD ANOVA
常見 A	46	0	32	46	46	14	30	42	10	26	29.2	P 值<0.01**
常見 B	32	54	28	6	32	18	18	6	5	16	21.5	
稀有	68	84	26	34	70	84	74	48	24	38	55	
不熟悉	160	206	254	132	102	222	136	286	120	98	171.6	
公魚 \ 母魚	黃 1	黃 2	黃 3	黃 4	黃 5	黃 6	黃 7	黃 8	黃 9	黃 10	平均	RBD ANOVA
常見 A	46	18	20	26	10	22	20	18	16	6	20.2	P 值<0.01**
常見 B	56	24	22	12	8	4	18	18	26	36	22.4	
稀有	48	86	36	78	48	60	60	54	44	38	55.2	
不熟悉	89	186	158	90	86	178	148	148	106	114	130.3	
公魚 \ 母魚	藍 1	藍 2	藍 3	藍 4	藍 5	藍 6	藍 7	藍 8	藍 9	藍 10	平均	RBD ANOVA
常見 A	8	34	22	10	18	12	18	6	23	21	17.2	P 值<0.01**
常見 B	12	4	22	20	8	4	10	8	13	5	10.6	
稀有	38	6	48	90	90	80	62	28	31	58	53.1	
不熟悉	118	150	194	86	94	104	102	114	178	103	124.3	

**代表 P 值<0.01



圖四十四、母魚選擇四隻不同熟悉度公魚

「熟悉度實驗 2-1」裡可以看到，母魚都花最多時間在不熟悉的公魚，接著是稀有的公魚然後花最少的時間在常見的公魚身上(圖四十四)。經過 RBD ANOVA 分析後，可以知道熟悉程度會顯著影響母魚的偏好。經過 Tukey HSD 分析後可以知道，4 組紅母魚的實驗裡，有 3 組的紅母魚都對不熟悉公魚展現出顯著偏好，且都沒有展現出對稀有和常見公魚的偏好。在黃、藍母魚的實驗組中，顯著差異存在於不同熟悉程度之間，母魚最偏好不熟悉公魚，最不偏好常見公魚。而「常見 A」和「常見 B」在所有的實驗裡皆沒有受到母魚的偏好。從整體資料趨勢來看，可以知道三種體色的母魚偏好均受熟悉度影響，對不熟悉公魚產生顯著偏好；在面對同樣是熟悉的稀有和常見公魚的情況下，也會較偏好實驗中數量較少的稀有公魚。

2. 熟悉度實驗 2-2 - 比較熟悉度及體色影響

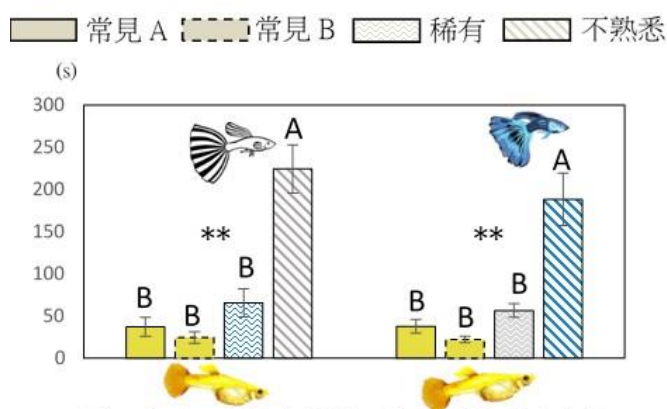
因為「熟悉度實驗 2-1」中黃母魚只有藍色的不熟悉公魚可以選擇，且在前一實驗中只觀察了紅母魚對所有體色組合的偏好，為了確認黃母魚在前一實驗中的偏好是受熟悉程度影響而不是體色。「熟悉度實驗 2-2」中觀察了黃母魚在分別熟悉藍或白金公魚的情況下對常見、稀有和不熟悉公魚的選擇，藉此確認熟悉度與體色對母魚偏好的影響。

表十九、黃母魚選擇四隻不同熟悉程度公魚的時間、平均時間及 RBD ANOVA 結果

公魚 \ 母魚	黃 1	黃 2	黃 3	黃 4	黃 5	黃 6	黃 7	黃 8	黃 9	黃 10	平均	RBD ANOVA
常見 A	48	15	103	2	84	10	10	10	66	24	37.2	P 值<0.01**
常見 B	20	26	13	2	75	2	24	20	16	48	24.6	
稀有	36	66	2	183	47	132	34	52	32	72	65.6	
不熟悉	376	291	305	189	140	252	114	124	290	162	224.3	
公魚 \ 母魚	黃 1	黃 2	黃 3	黃 4	黃 5	黃 6	黃 7	黃 8	黃 9	黃 10	平均	RBD ANOVA
常見 A	6	26	50	22	26	28	100	34	56	31	37.9	P 值<0.01**
常見 B	32	20	36	8	18	22	19	16	8	44	22.3	
稀有	50	66	77	84	90	74	29	14	34	48	56.6	
不熟悉	120	266	150	343	320	248	153	65	112	106	188.3	

**代表 P 值<0.01

「熟悉度實驗 2-2」中可以看到黃母魚在分別熟悉白和藍的情況下，都偏好不熟悉的公魚(圖四十五)。因此可以知道在「熟悉度實驗 2-2」中母魚是偏好不熟悉的公魚而不是偏好特定體色的公魚。因為在實驗中，黃母魚仍然會去選擇不熟悉的公魚，而不是去選擇前一實驗中偏好的藍公魚。



圖四十五、黃母魚選擇四隻不同熟悉度公魚

總結：從「熟悉度實驗 1-1」中，得知母魚會偏好不熟悉的公魚，以及了解熟悉度會影響母魚的選擇。「熟悉度實驗 1-2」再次驗證了體色會影響母魚的偏好只是影響不大。「熟悉度實驗 2-1」中了解母魚會最偏好不熟悉的公魚，再來是稀有，最後則是常見。「熟悉度實驗 2-2」中更換了不同體色的公魚，再次驗證「熟悉度實驗 2-1」的結果是受到熟悉度影響。

六、人工培育族群和野生族群比較

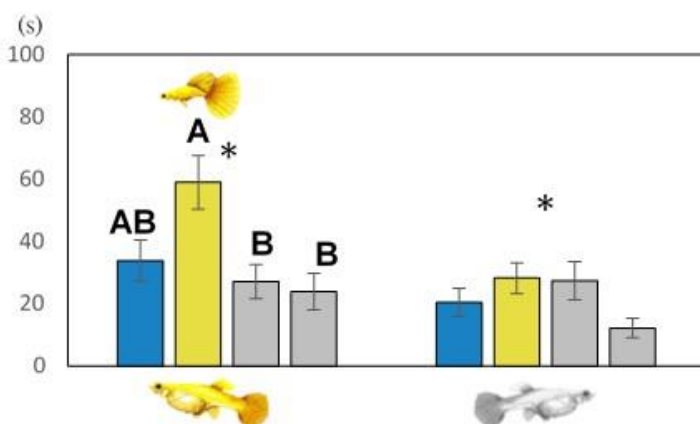
在「顏色實驗」和「熟悉度實驗」中發現人工培育母魚和我們看到論文中的野生母魚偏好有相似的趨勢，因此我們讓母魚選擇同樣的公魚，比較人工培育的交配偏好是否比野生母魚的更為強烈，以及了解母魚是否會偏好體色較鮮豔的人工培育孔雀魚。

表二十、母魚選擇四隻熟悉公魚的時間、平均時間及 RBD ANOVA 結果

公魚 \ 母魚	黃 1	黃 2	黃 3	黃 4	黃 5	黃 6	黃 7	黃 8	黃 9	黃 10	平均	RBD ANOVA
人工藍	52	36	32	28	9	30	78	16	10	47	33.8	P 值=0.04*
人工黃	44	22	60	93	32	115	54	58	61	51	59	
野生 A	20	53	28	47	9	48	28	8	7	23	27.1	
野生 B	30	17	12	7	28	5	28	47	5	60	23.9	
公魚 \ 母魚	野 1	野 2	野 3	野 4	野 5	野 6	野 7	野 8	野 9	野 10	平均	RBD ANOVA
人工藍	49	7	3	9	33	32	14	14	18	25	20.4	P 值=0.03*
人工黃	10	55	15	40	52	26	17	24	24	19	28.2	
野生 A	70	28	12	9	45	43	19	20	15	13	27.4	
野生 B	19	8	3	10	33	8	0	4	19	18	12.2	

*代表 P 值<0.05

經過 RBD ANOVA 檢定後，兩組實驗中的 P 值均小於 0.05，代表兩組實驗中公魚對母魚的交配偏好有顯著影響。又透過事後分析檢定 Tukey HSD 兩兩比較，知道人工培育的黃母魚花在黃公魚身上的時間和花在兩隻野生時間存在顯著差異，野生母魚則沒有偏好任何一種公魚。可以看出人工培育的母魚會偏好較鮮豔的人工培育公魚，而野生的母魚沒有較偏好人工培育或野生公魚，因此人工培育母魚交配偏好比



圖四十六、人工培育和野生母魚選擇四隻公魚

野生母魚的更為強烈。且人工培育母魚會偏好更鮮艷的人工培育孔雀魚，而野生母魚則不會，代表說人工培育母魚和野生母魚的擇偶條件可能不同。

捌、結論

一、體色還是熟悉度對人工培育孔雀魚交配偏好的影響更大？

(一) 母魚沒有偏好特定體色的公魚

在「顏色實驗中」，母魚都選擇和自己相同體色的公魚，而沒有都偏好某一種特定體色的公魚。所以我們推論母魚沒有特定的體色偏好，而母魚在不受熟悉度影響情況下，會偏好與自己相同體色的公魚。

(二) 母魚偏好不熟悉的公魚

在「熟悉度實驗 1-1」中，六組(60 隻母魚，紅黃藍色)中，有三組熟悉和不熟悉之間存在顯著差異，且在無顯著差異的組別中，母魚花在不熟悉公魚身上的時間都比花在熟悉公魚身上時間多，所以我們得知母魚會偏好不熟悉的公魚。

(三) 母魚的偏好：不熟悉 > 稀有 > 常見

在「熟悉度實驗 2」中，母魚花在不熟悉公魚身上的時間都最多，再來是稀有，而常見最少。我們得知母魚的偏好是不熟悉 > 稀有 > 常見。

二、人工培育母魚的交配偏好是否與野生母魚有所不同？

(一) 人工培育母魚交配偏好是否比野生母魚更為強烈？

在「人工培育族群和野生族群比較」中，人工培育黃母魚偏好人工培育黃公魚，野生母魚沒有偏好任何一種公魚。我們推論人工培育母魚交配偏好比野生母魚更為強烈。

(二) 人工培育母魚和野生母魚是否會偏好更鮮艷的人工培育孔雀魚？

在「人工培育族群和野生族群比較」中，人工培育的母魚會偏好較鮮艷的人工培育公魚，而野生的母魚沒有較偏好人工培育或野生公魚。

玖、討論

一、顏色的意義

從我們的「顏色實驗」中，知道了母魚會選擇和自己體色相同的公魚，但沒有對特定體色有特別的偏好。而從「熟悉度實驗」中都可以看出母魚能夠透過體色區分不同公魚，並選擇不熟悉體色的公魚。因此我們認為顏色對母魚的意義是一個用來區分不同公魚的特徵，從實驗中也發現，在熟悉度相同的情況下，顏色之間也會存在不同大小的吸引力。

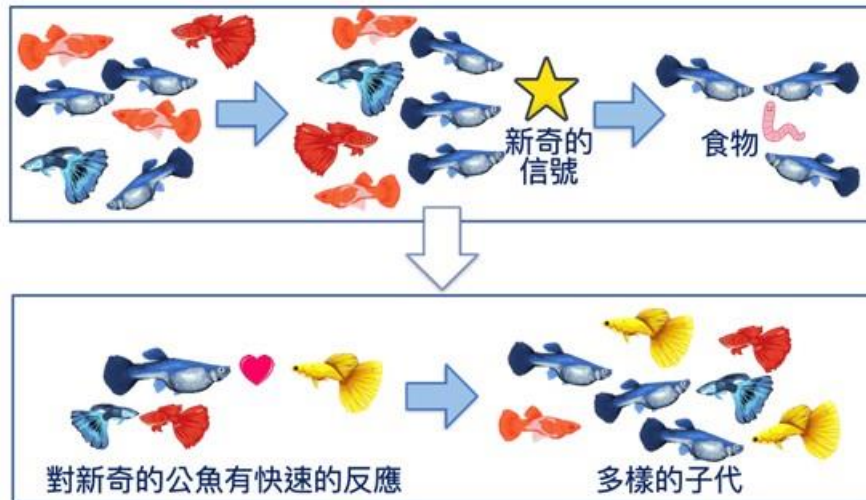
二、為什麼母魚會偏好不熟悉的公魚？

「熟悉度實驗」中母魚皆熟悉與自己同樣體色的公魚，而實驗中母魚皆偏好不熟悉的公魚。因此我們可以知道母魚對不熟悉公魚的偏好會比對跟自己同樣體色的公魚的偏好更強大。透過閱讀文獻，我們知道如果母魚偏好不熟悉公魚會有以下優勢。

(一) 覓食優勢

在 Hughes *et al.* (2019)的研究中提到偏好不熟悉體色的母魚有覓食優勢。在一個族群內(圖四十七)，如果魚對於新的視覺信號會有快速反應的話，他們更容易的找到食物，也更容易活下去。同樣的這樣的母魚也會對於新奇的公魚有快速反應並和他交配，如此能夠生出更多樣的子代。這樣的優勢會使母魚偏好不熟悉也就是新奇體色的公魚，

同時也能夠避免近親交配。



圖四十七、覓食優勢和母魚偏好的關聯

(二) 基因多樣性

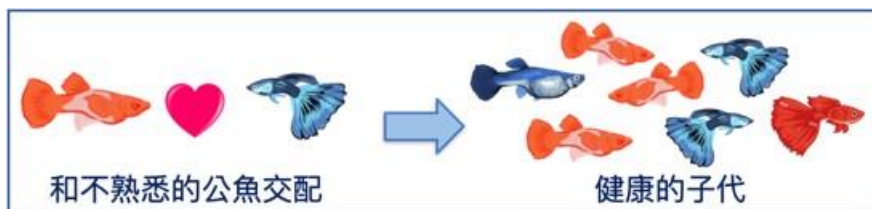
在 Farr *et al.* (1977)的研究中提到偏好不熟悉公魚會增加族群內的基因多樣性。在一個族群當中(圖四十八)，因為母魚會習慣平常生活環境中其他孔雀魚的體色，所以當族群中出現新奇體色的公魚，也就是新的刺激，母魚會喜歡那隻公魚，並與新奇體色的公魚交配，生出多樣的子代。這樣的行為會增加該族群內的基因多樣性。



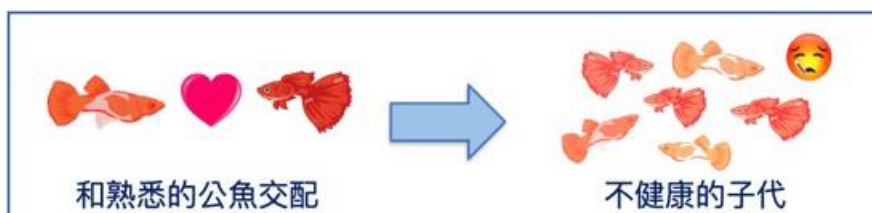
圖四十八、母魚偏好如何影響族群的基因多樣性

(三) 生存優勢

在 Zajitschek *et al.* (2009)的研究中提到偏好不熟悉公魚的母魚所生出的子代有生存優勢。因為母魚偏好不熟悉公魚能夠避免近親交配，所以母魚和不熟悉公魚所生出的子代比和熟悉公魚所生出的子代更健康(圖四十九、五十)。如此一來子代帶有偏好不熟悉基因的更有生存優勢，所以整個族群都會偏好不熟悉的公魚。



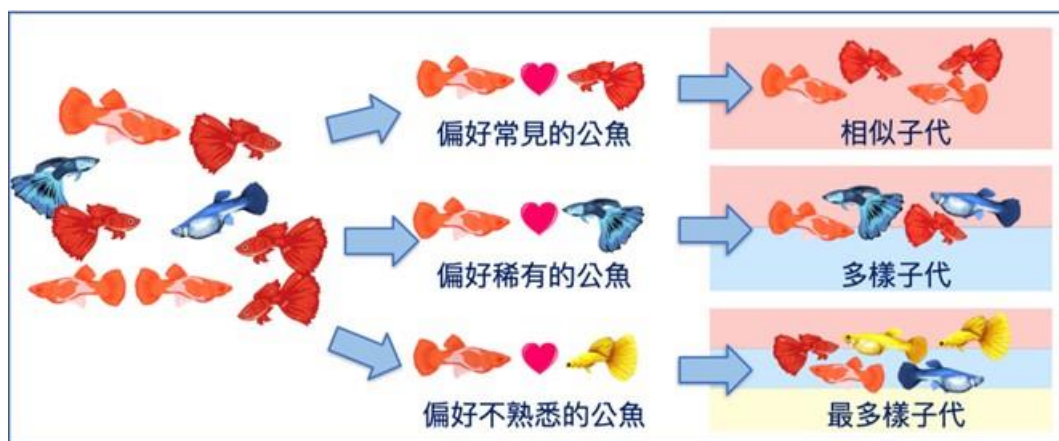
圖四十九、母魚偏好不熟悉公魚對子代生存優勢的影響



圖五十、母魚偏好熟悉公魚對子代生存優勢的影響

三、為什麼母魚的偏好程度會「不熟悉」>「稀有」>「常見」？

在 Zajitschek *et al.* (2009)的研究中提到生存優勢，因為在「熟悉度實驗 2」中，母魚偏好不熟悉的公魚。我們假設在一個族群內有紅和藍兩種體色的魚(圖五十一)，因為魚之間相互熟悉，且多數的魚為紅色，所以對於這個族群內的母魚來說紅色為常見，藍色為稀有，黃色為不熟悉。如果母魚有對不同熟悉程度公魚的偏好，會生出不同健康程度的子代，因此造成子代的基因多樣性不同。偏好不熟悉的母魚生出來的子代基因多樣性最高，也最為健康。而偏好稀有的母魚生出來的子代次之。偏好常見的母魚生出來的子代基因多樣性最低，也最不健康。這樣的情況下，偏好不熟悉和稀有會增加族群的基因多樣性，所以整個族群都會漸漸變得偏好他們。



圖五十一、母魚對不同熟悉程度公魚的偏好生出不同基因多樣性的子代

四、為什麼母魚熟悉所有體色後會偏好和自己相同體色的公魚？

因為在 Farr *et al.* (1977)、Hughes *et al.* (2019)、Hughes *et al.* (2020)的研究中提到母魚偏好不熟悉的公魚是因為他們對母魚來說是新奇的刺激，因此在母魚熟悉所有體色後，公魚對母魚來說就都不再是新奇的，所以才改變了母魚的偏好。我們推測有這兩種可能的假設以及未來我們希望可以透過實驗驗證這兩個假設，因此提出兩個驗證的方法。

(一) 假設

1. 安全感：因為母魚最常接觸跟自己有同樣體色的公魚，因此他們會給母魚提供一個安全感，使其偏好這種的公魚。
2. 過去經驗：因為母魚只與跟自己有同樣體色的公魚交配過，因此母魚可能養成習慣跟這種公魚交配，因此產生對跟自己同樣體色公魚的偏好。

(二) 驗證的方法

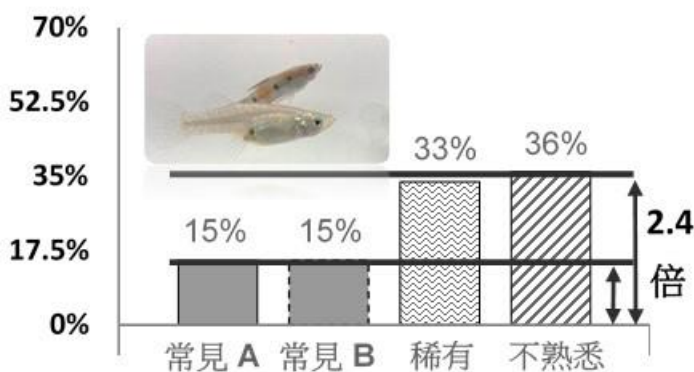
1. 安全感：可使母魚單獨與不同體色的公魚飼養在一起後，再觀察他們的偏好，來驗證此偏好是否因母魚最常接觸跟自己有同樣體色的公魚而產生。
2. 過去經驗：透過將母魚跟特定體色的魚養在一起，並和其交配後，再觀察母魚是否一樣會偏好跟自己同樣體色公魚，來驗證此偏好是不是因為過去的交配經驗而產生。

五、人工培育母孔雀魚的交配偏好比野生母魚更強烈？

進行了「人工培育族群和野生族群比較」，也比較論文(Hughes *et al.*, 2019)中的野生孔雀魚和我們實驗中的人工培育孔雀魚的交配偏好，因為實驗設計的不同，因此我們能夠

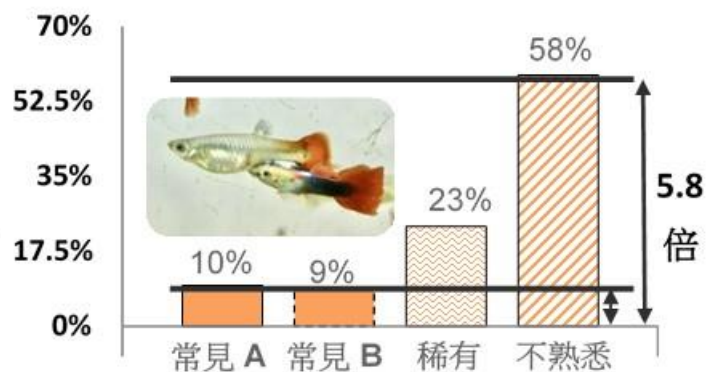
驗證「人工培育族群和野生族群比較」中的結果，了解人工培育母孔雀魚的交配偏好是否都比野生母魚更強烈。

為了和論文中的野生孔雀魚做比較，首先將「熟悉度實驗 2」所有的結果相加後取平均轉換成百分比。因為我們比較母魚花在四隻公魚身上的時間，因此將在 Hughes et al., (2019)的研究中兩隻常見公魚的時間取平均。又因為人工培育的母魚花在各隻公魚身上時間都大於野生的母魚，所以我們將時間標準化，比較兩者之間的母魚花在不同熟悉程度的公魚身上的時間百分比(圖五十二、五十三)，藉此了解兩種母魚花在不同熟悉程度的公魚的時間比例。在野生的孔雀魚中，母魚花在不熟悉公魚的時間是花在常見公魚的 2.4 倍 (圖五十二)。在人工培育的孔雀魚中，母魚花在不熟悉公魚的時間是花在常見公魚的 5.8 倍 (圖五十三)。經過兩者的比較，我們知道人工培育的孔雀魚會比野生孔雀魚對不熟悉公魚展現出更強烈的偏好，所以知道人工培育母孔雀魚的交配偏好比野生母魚更強烈。這個結果也和「人工培育族群和野生族群比較」相同，再次驗證了人工培育母孔雀魚的交配偏好比野生母魚更強烈。



圖五十二、野生母孔雀魚所花的時間百分比

Hughes et al. (2019)



圖五十三、人工培育母孔雀魚所花的時間百分比

六、為什麼人工培育母孔雀魚的交配偏好比野生母魚更強烈？

在「人工培育族群和野生族群比較」中，我們推論人工培育母孔雀魚的交配偏好比野生母魚更強烈的原因是野生孔雀魚在天擇壓力較強的環境下，過於鮮豔的孔雀魚會容易被掠食者發現，因此偏好鮮豔的公魚的母魚生出的子代更容易被掠食者捕食，導致野生的母魚交配偏好較不強烈。相較之下，人工培育的孔雀魚生活在天擇壓力較小的環境下，因此性擇更加明顯，人工培育母魚的交配偏好更強烈。所以人工培育的母魚更會選擇和體色鮮豔的公魚交配，生出來的鮮豔子代也更容易在人類的培育下所保留。

七、為什麼人工培育母魚偏好更鮮豔的人工培育公魚而野生母魚則不會？

從「人工培育族群和野生族群比較」中，我們推論可能是因為人工培育母魚和野生母魚的擇偶條件不同。野生的孔雀魚在天擇壓力較大的環境下，偏好鮮豔公魚的母魚所生出的子代更容易被掠食者捕食，因此這樣的偏好在野生的母魚中不明顯，因此我們認為熟悉度和其他因素(例如：身體紋路、個性、體型大小……)可能對野生的母魚來說是更重要的擇偶條件。

八、在人工培育的孔雀魚中，人擇對於性擇有什麼影響？

「人工培育族群和野生族群比較」中，人工培育的孔雀魚野生的孔雀魚相比，人工培育的孔雀魚性擇較為明顯，我們推論這可能是人擇造成的結果。在人工培育的孔雀魚中，人擇會留下較鮮豔的個體，其中偏好鮮豔個體的母魚所生出的子代會更鮮豔，這些子代更容易被人類所保留，因此人工培育的母魚會偏好鮮豔的公魚。這也代表說人擇會對性擇有加成的作用。

性擇會對演化有重要的影響，性擇更加明顯會影響一些特徵的發展，如孔雀魚的體色更加鮮豔和魚鰭更大等。如此一來，公魚更能夠藉由這些特徵吸引母魚，增加繁殖的成功率，也會讓整個族群演化成該特徵特別明顯的魚。在「人工培育族群和野生族群比較」中，人工培育的母魚偏好人工培育的公魚，可能是因為人工培育和野生族群間特徵的差異過大，因此母魚認為野生的公魚和自己並非相同物種，所以偏好人工培育的公魚。因此推論在性擇更明顯的人工培育的孔雀魚中，當和其他族群的差異過大時，可能演化成不同的內聚種。所以我們認為在人工培育的孔雀魚中，人擇會增強性擇的影響，並且加速演化甚至種化的發生。

拾、參考資料

- Astrid, K. B. (1985). Female preference and sexual selection for male coloration in the guppy (*Poecilia reticulata*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 17, 199 – 205.
- Coraline, B., Dustin J. P., Yoshan, M., Luc D., Elise, C., Marie, B., Arnaud, G., Stéphane, G., & Gabriele, S. (2014). Females tend to prefer genetically similar mates in an island population of house sparrows. *BMC Evolutionary Biology*, 14, 47.
- Fraser, B. A., Hughes, K. A., Tosh., D. N., & Rodd, F. H. (2013). The role of learning by a predator, *Rivulus hartii*, in the rare-morph survival advantage in guppies. *Evolutionary Biology*, 26(12), 2597-2605.
- James, A. F. (1977). Male rarity or novelty, female choice behavior, and sexual selection in the guppy, *Poecilia reticulata* peters (pisces : Poeciliidae). *Evolution*, 31(1), 162 – 168.
- Jean, G. G., & Lee, A. D. (1996). Female mating preference for bold males in the guppy, *Poecilia reticulata*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 93(19), 10262 – 10267.
- Jennifer, J. V., Rodd, F. H., & Kimberly, A. H. (2019). Consistent female preference for rare and unfamiliar male color patterns in wild guppy populations. *Behavioral Ecology*, 30(6), 1672 – 1681.
- Kimberly, A. H., Anne, E. H., Anna, C. P., & Rodd, F. H. (2013). Mating advantage for rare males in wild guppy populations. *Nature*, 503, 108-110. 10.1038/nature12717
- Kimberly, A. H., Linh, D., Helen, R., & David, N. R. (1999). Familiarity leads to female mate preference for novel males in the guppy, *Poecilia reticulata*. *Animal Behaviour*, 58(4), 907-916.
- Mitchel, J. D., Laura, K., & Kimberly, A. H. (2020). Mating preference for novel phenotypes can be explained by general neophilia in female guppies. *The American Naturalist*, 196(4).
- Robert, O., Rodd, F. H., David, P., Anne, E. H., Carla, H., David, N. R., & Kimberly, A. H. (2006). Frequency-dependent survival in natural guppy populations. *Nature*, 441, 633 – 636.
- Robin, E. G., Madhavi, S., Elizabeth, R., Anne, E. H., & Kimberly, A. H. (2014). Mate preference for

- novel phenotypes : A fresh face matters. *Ethology*, 121(1), 17-25.
- Sato, A., & Kawata, M. (2020). Genetic segregation for male body coloration and female mate preference in the guppy. *BMC Res Notes*, 13, 49.
- Siân, W. G., & Anne, E. M. (1997). Familiarity in schooling fish : how long does it take to acquire ? . *Animal Behaviour*, 53(5), 945-949.
- Susanne, R. K. Z., & Robert, C. B. (2009). Distinguishing the effects of familiarity, relatedness, and color pattern rarity on attractiveness and measuring their effects on sexual selection in guppies (*Poecilia reticulata*). *The American Naturalist*, 172(6), 843-854. 10.1086/593001

圖片來源說明：

圖序	圖片來源
圖、一	自行拍攝
圖、二	自行拍攝
圖、三	自行拍攝
圖、四	自行製作
圖、五	自行拍攝
圖、六	自行拍攝
圖、七	自行拍攝
圖、八	自行拍攝
圖、九	自行拍攝
圖、十	自行拍攝
圖、十一	自行拍攝
圖、十二	自行拍攝
圖、十三	自行拍攝
圖、十四	自行整理，Shutterstock(2023/07/29)和facebook(2023/07/29)。 取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my
圖、十五	自行整理，Shutterstock(2023/07/29)和facebook(2023/07/29)。 取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my
圖、十六	自行拍攝
圖、十七	自行拍攝
圖、十八	自行拍攝
圖、十九	自行拍攝
圖、二十	自行拍攝
圖、二十一	自行拍攝
圖、二十二	自行拍攝
圖、二十三	自行拍攝
圖、二十四	自行拍攝
圖、二十五	自行拍攝
圖、二十六	自行拍攝
圖、二十七	自行拍攝
圖、二十八	自行拍攝
圖、二十九	自行拍攝
圖、三十	自行拍攝
圖、三十一	自行拍攝
圖、三十二	自行拍攝
圖、三十三	自行整理，Shutterstock(2023/07/29)和facebook(2023/07/29)。 取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my
圖、三十四	自行整理，Shutterstock(2023/07/29)和facebook(2023/07/29)。 取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my
圖、三十五	自行整理，Shutterstock(2023/07/29)和facebook(2023/07/29)。 取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my
圖、三十六	自行拍攝
圖、三十七	自行拍攝

圖序	圖片來源
圖、三十八	自行整理，Shutterstock(2023/07/29)和facebook(2023/07/29)。 取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my
圖、三十九	自行整理，Shutterstock(2023/07/29)和facebook(2023/07/29)。 取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my
圖、四十	自行整理，Shutterstock(2023/07/29)和facebook(2023/07/29)。 取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my
圖、四十一	自行整理，Shutterstock(2023/07/29)和facebook(2023/07/29)。 取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my
圖、四十二	自行整理，Shutterstock(2023/07/29)和facebook(2023/07/29)。 取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my
圖、四十三	自行整理，Shutterstock(2023/07/29)和facebook(2023/07/29)。 取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my
圖、四十四	自行整理，Shutterstock(2023/07/29)和facebook(2023/07/29)。 取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my
圖、四十五	自行整理，Shutterstock(2023/07/30)和Adobe(2023/07/30)。 取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.adobe.com
圖、四十六	自行整理，Shutterstock(2023/08/03)。 取自： https://www.shutterstock.com
圖、四十七	自行整理，Shutterstock(2023/07/29)和facebook(2023/07/29)。 取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my
圖、四十八	自行整理，Shutterstock(2023/07/29)和facebook(2023/07/29)。 取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my
圖、四十九	自行整理，Shutterstock(2023/07/29)和facebook(2023/07/29)。 取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my
圖、五十	自行整理，Shutterstock(2023/08/05)、Adobe(2023/08/05)和facebook(2023/07/29)。 取自： https://www.shutterstock.com 、 https://www.adobe.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my
圖、五十一	自行整理，Shutterstock(2023/07/29)和facebook(2023/07/29)。 取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my
圖、五十二	自行拍攝
圖、五十三	自行拍攝

【評語】 052006

實驗的目的在探討（一）人工培育孔雀魚交配偏好、（二）人工培育孔雀魚與野生孔雀魚的交配偏好是否有所不同。

1. 這是很有趣的生態實驗，作者對於實驗的掌握、設計和分析都做得很好，討論部分也依據實驗結果做了仔細的探討。然而顏色實驗部分，必須先釐清魚類視覺對於色彩的感受與認知跟作者所假設的相同，後續的討論才有意義。
2. 儘管觀察到母魚對於熟悉和不熟悉公魚表現出不同的反應，但對於這些行為背後的生態學和進化機制的深入解釋尚有所欠缺。例如，為何人工培育的母魚比野生母魚更偏好特定體色的公魚，這需要進一步的生態學和進化生物學分析來解釋。
3. 研究未清楚描述實驗中的控制條件，例如是否確保母魚對不同公魚的選擇在相同的環境條件下進行。光線和水質等環境因素對於魚類的行為和視覺偏好有重要影響，因此在實驗中保持這些因素的一致性是非常關鍵的。

作品簡報

雀屏中選



母孔雀魚的交配偏好



摘要

本研究主要了解(一)人工培育孔雀魚交配偏好(二)人工培育孔雀魚與野生孔雀魚的交配偏好是否有所不同。透過觀察母魚選擇不同體色或不同熟悉程度的公魚，了解母魚的交配偏好。有以下幾點重要發現(1)不同體色的母魚都沒有偏好特定體色的公魚；(2)在熟悉彼此體色的個體間，母魚偏好與自身體色相同的公魚；(3)熟悉度對母魚的交配偏好有顯著的影響，不同體色的母魚有相似的偏好，不熟悉的公魚最受偏愛，其次是稀有的公魚，常見公魚最不受青睞；(4)人工培育母魚交配偏好比野生母魚更為強烈，暗示有較強的性擇作用(5)人工培育母魚會偏好較鮮艷的人工培育公魚，而野生母魚沒有較偏好人工培育或野生公魚。

研究動機

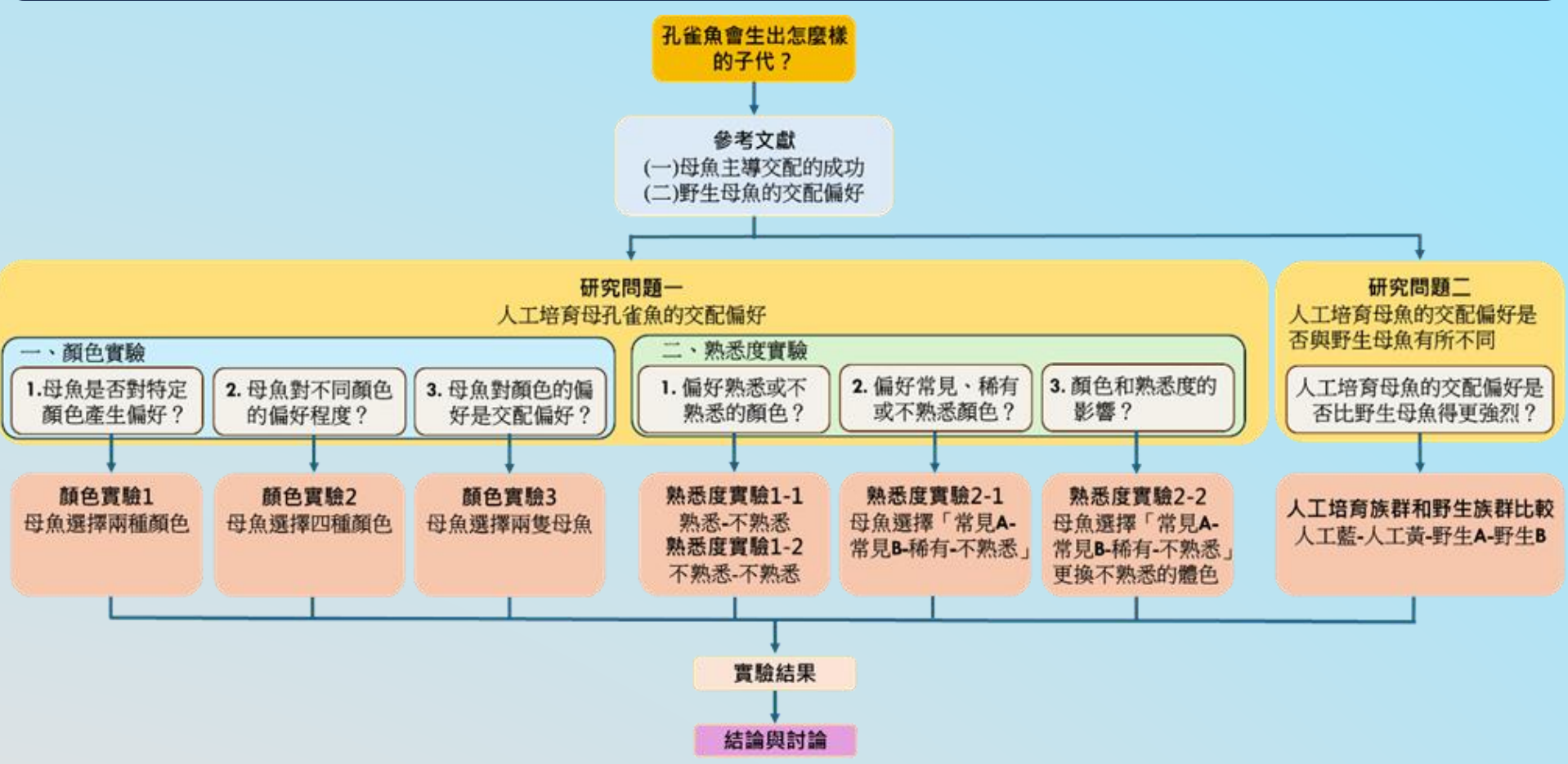
孔雀魚是市面上常見的觀賞魚，身上有著許多的顏色和花紋，常常會透過人工培育的方式來培養出顏色更加炫麗、更加多樣的魚鰭樣式，也常在觀賞魚展覽中看到各種不同顏色的孔雀魚。在飼養孔雀魚時，常會看到母魚生出許多的小魚，因此好奇母魚是否會特別偏好某種特定的公魚。

介紹

- 一、各式各樣的顏色(圖五)
- 二、明顯且容易觀察的交配行為(圖一)
- 三、人工培育的個體十分鮮豔(圖一、圖二)
- 四、交配由母魚主導(圖三)
- 五、文獻探討(圖四)：
- Rod(2002)：橘色公魚
- Hughes(1998)：不熟悉公魚
- Houde(2013)：稀有公魚
- Godin(1996)：勇敢的公魚



實驗架構



目的

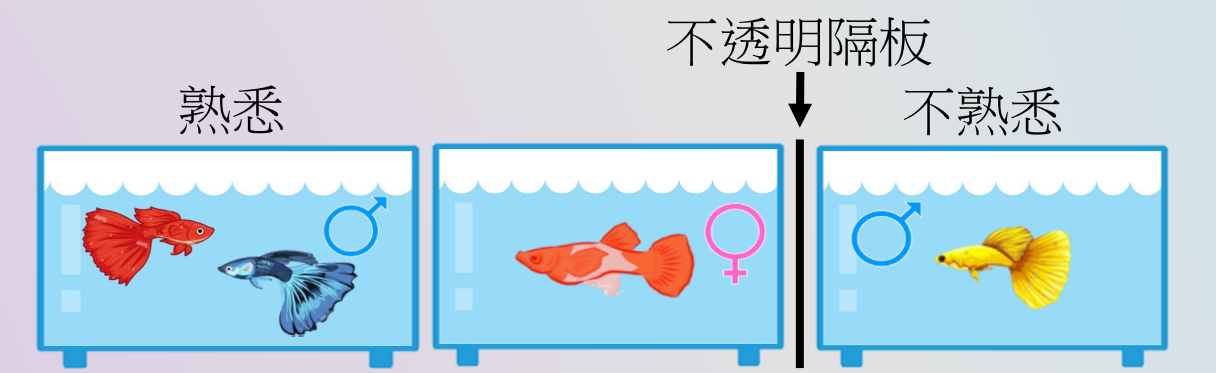
- 一、人工培育孔雀魚的交配偏好是否和野生的孔雀魚一樣受體色與熟悉度影響？
- (一)對體色之偏好
1. 母魚是否會偏好特定體色的公魚
2. 不同體色公魚對母魚的吸引力大小
3. 母魚對體色的偏好是否為交配偏好
- (二)對不熟悉體色之偏好
1. 母魚是否會偏好熟悉或不熟悉的公魚
2. 母魚對不同熟悉度公魚的偏好程度
- 二、人工培育母魚的交配偏好是否與野生母魚有所不同？
- (一)人工培育母魚的交配偏好是否比野生母魚得更強烈
- (二)人工培育母魚和野生母魚是否會偏好更鮮艷的人工培育孔雀魚



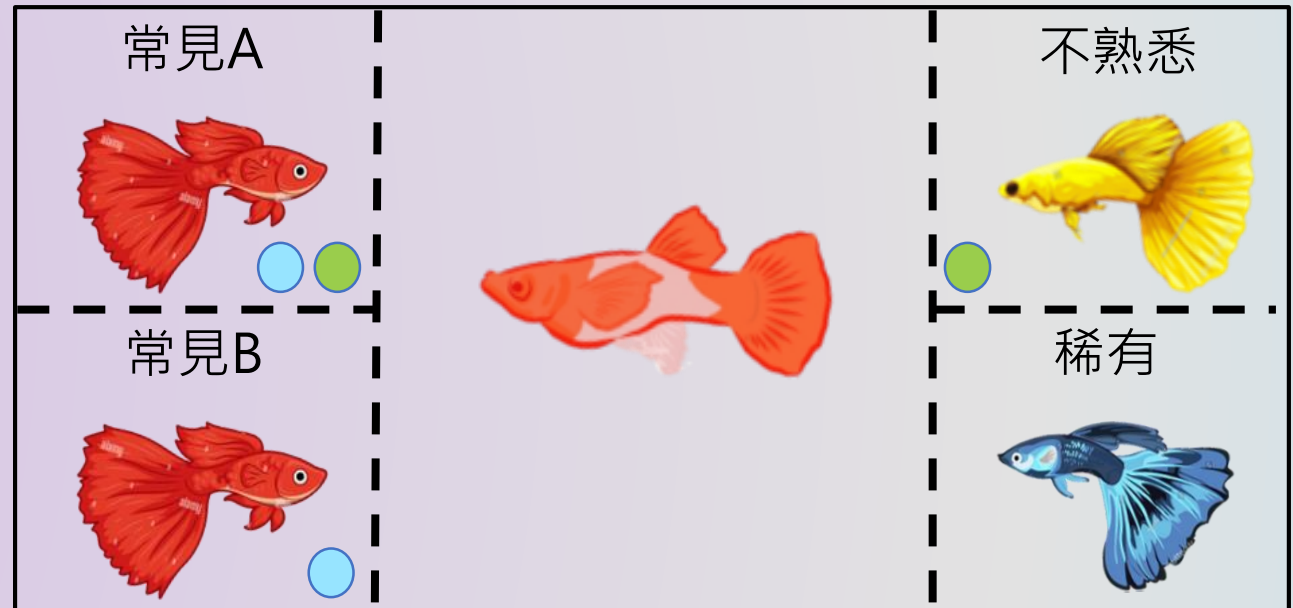
圖五、不同顏色的孔雀魚

實驗設計

- 一、顏色實驗：探討母魚是否偏好特定體色公魚、不同體色公魚的吸引力大小，以及母魚的偏好與公魚的關聯。
- 二、熟悉度實驗：
- (一)目的：探討「不同的熟悉度」與「體色」如何共同影響母魚的偏好。
- (二)熟悉方法：透過視覺接觸或混養，使母魚熟悉特定顏色，並持續至少1個禮拜(圖六)。
- (三)熟悉度定義：用數量的差異，將熟悉的公魚再分為「常見」與「稀有」兩種熟悉度。
- ▲常見：2隻相同顏色且熟悉 ▲稀有：1隻熟悉 ▲不熟悉：從未看過。
- (四)公魚輪替、常見公魚數據分群(圖七)：
- 1.每輪實驗中，公魚位置需要交換。
- 2.常見公魚分別定義為「常見A」和「常見B」。
- 3.依公魚位置，進行分群(隔間順位依序為●●●>●●>●●)：
- 常見A：隔間順位較前的常見公魚。
- 常見B：另外一隻常見公魚。
- 三、人工培育族群和野生族群比較：觀察人工培育母魚交配偏好是否與野生母魚不同。



圖六、熟悉度操作示意圖



圖七、定義「常見A」和「常見B」公魚

顏色實驗

一、顏色實驗1
母魚是否偏好特定體色的公魚

表一、母魚選擇紅、黃和藍公魚

母魚	公魚	
紅	熟悉	熟悉
黃	熟悉	熟悉
藍	熟悉	熟悉
紅	熟悉	熟悉
黃	熟悉	熟悉
藍	熟悉	熟悉
紅	熟悉	熟悉
黃	熟悉	熟悉
藍	熟悉	熟悉

圖八、觀察紅、黃和藍母魚對紅、藍或黃公魚的偏好

二、顏色實驗2
四種體色對母魚的吸引力大小差異

表二、母魚一次選擇4隻公魚(紅、黃、藍和黑公魚)

母魚	公魚			
紅	熟悉	熟悉	熟悉	熟悉
黃	熟悉	熟悉	熟悉	熟悉
藍	熟悉	熟悉	熟悉	熟悉
黑	熟悉	熟悉	熟悉	熟悉

圖九、觀察紅、黃、藍和黑母魚對紅、黃、藍或黑公魚的偏好

三、顏色實驗3
母魚的體色偏好因公魚產生

表三、母魚選擇不同顏色母魚

母魚	母魚	
紅	熟悉	熟悉
黃	熟悉	熟悉
紅母魚	熟悉	熟悉
黃母魚	熟悉	熟悉

圖十、觀察母魚對母魚的偏好

熟悉度實驗

一、熟悉度實驗1 – 母魚對「熟悉/不熟悉」的偏好

(一)熟悉度實驗1-1：「熟悉/不熟悉」

表四、母魚選擇熟悉和不熟悉的公魚

母魚	公魚	
紅	熟悉	不熟悉
紅	熟悉	不熟悉
黃	熟悉	不熟悉
黃	熟悉	不熟悉
藍	熟悉	不熟悉
藍	熟悉	不熟悉

圖十一、觀察紅、黃和藍母魚對熟悉和不熟悉公魚的偏好

(二)熟悉度實驗1-2：「不熟悉/不熟悉」

表五、母魚選擇兩隻不熟悉的公魚

母魚	公魚	
藍	不熟悉	不熟悉
黃	不熟悉	不熟悉
紅	不熟悉	不熟悉

圖十二、觀察紅、黃和藍母魚對兩隻不熟悉公魚的偏好

二、熟悉度實驗2 - 母魚對「常見/稀有/不熟悉」的偏好

(一)熟悉度實驗2-1：「常見/稀有/不熟悉」

表六、紅母魚選擇常見、稀有和不熟悉公魚

母魚	公魚			
紅	常見A	常見B	稀有	不熟悉
紅	常見A	常見B	稀有	不熟悉
紅	常見A	常見B	稀有	不熟悉
紅	常見A	常見B	稀有	不熟悉

表七、黃和藍母魚選擇常見、稀有和不熟悉的公魚

母魚	公魚			
藍	常見A	常見B	稀有	不熟悉
黃	常見A	常見B	稀有	不熟悉

圖十三、觀察紅、黃和藍母魚對常見、稀有或不熟悉公魚的偏好

(二)熟悉度實驗2-2：顏色vs.熟悉度

表八、黃母魚選擇不同體色的常見、稀有和不熟悉公魚

母魚	公魚			
黃	常見A	常見B	稀有	不熟悉
黃	常見A	常見B	稀有	不熟悉

圖十四、觀察黃母魚熟悉不同顏色後對常見、稀有或不熟悉公魚的偏好

比較人工、野生族群

一、人工培育族群和野生族群比較
探討人工培育母魚交配偏好是否與野生母魚不同

表九、黃和野生母魚選擇人工培育黃、藍公魚和野生公魚

母魚	公魚			
野生	人工	人工	野生A	野生B
黃	人工	人工	野生A	野生B

圖十五、觀察黃和藍母魚對常見、稀有或不熟悉公魚的偏好

統計分析

一、Shapiro-wilk test：檢定資料是否常態分布

二、成對樣本T 檢定(paired t test)：檢定兩組成對常態分佈資料的平均數間是否存在顯著差異

三、隨機區集設計ANOVA (RBD ANOVA)：檢定多組有關聯之常態分布資料間是否有顯著差異

四、Tukey HSD Test：RBD ANOVA顯示有顯著差異後，比較樣本倆倆之間是否有顯著差異

實驗動物選擇

- 一、選擇條件：可穩定大量獲取、飼養情況明確、體型大小相近
- 二、顏色：共5種體色，分別為紅、黃、藍、黑、白，以及野生的孔雀魚。
- 三、樣區：3樣區(A、B、C)及1野生濕地，不同樣區飼養情形及魚隻狀況如下：
- (一)樣區差異：花紋、體型、熟悉情況皆有所不同。每組實驗使用來自同樣區的魚進行實驗。
- (二)魚隻熟悉：樣區A：均互相熟悉。
- 樣區B：除白魚外，均互相熟悉。
- 樣區C：各顏色單獨飼養，每種魚只熟悉自身顏色。

四、實驗用魚來源：

- (一)顏色實驗：從樣區A、B取得紅、黃、藍和黑孔雀魚。因自然界中，孔雀魚為群體生物，群體中有各種體色個體。
- (二)熟悉度實驗：從樣區B、C取得紅、黃、藍和白孔雀魚，在實驗前魚隻只熟悉自身顏色。
- (三)人工培育族群和野生族群比較：從野外取得野生孔雀魚，由樣區C取得黃、藍孔雀魚，所有魚都實驗前都已熟悉彼此體色。

實驗過程與方法

一、孔雀魚飼養：

- (一)目的：養出健康、生活情況相同的魚，使母魚熟悉特定的顏色。
- (二)飼養設備：20cm*20cm*13cm塑膠盆(圖十六)
- (三)飼養方式：1. 每日餵3次、2. 每天光照8小時、3.缸中不超過30隻、4.公、母魚分開飼養(圖十七)、5.適應環境至少3天、6.魚缸間放置不透明隔板。

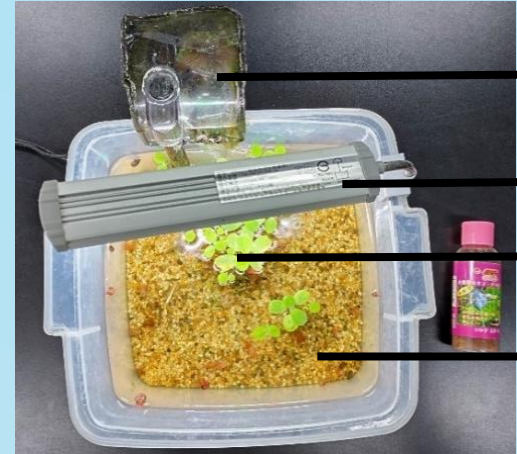
二、實驗設置(圖十八、圖十九、圖二十)：

- (一)40cm*23cm*32cm玻璃魚缸
- (二)隔間：1. 隔絕外界干擾、2. 使背景相同、3. 分出母魚區域與公魚隔間。
- (三)透明隔板：1. 隔開公魚及母魚、2. 使魚待在各自隔間中。
- (四)不透明隔板：讓母魚在適應期不會先看到公魚。

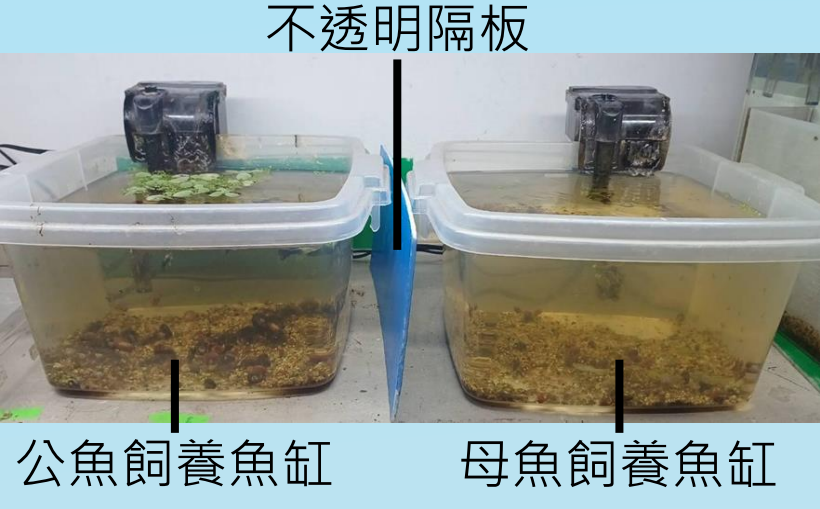
三、實驗操作：

- (一)實驗方法：將公魚隨機放置在公魚隔間內，母魚放置在選擇區域使母魚可以去選擇所有的公魚。
- (二)實驗步驟(圖二十一)：
- 適應期：10分鐘，使魚適應環境。
 - 觀察期：5分鐘，讓母魚可以觀察到所有公魚。
 - 實驗期：10分鐘，開始記錄母魚靠近各公魚的時間。
- (三)數據收集：記錄母魚花費時間(圖二十二)，加總時間。
- (四)實驗動物輪替(圖二十三)：
- 母魚更換：
 - 一輪實驗=所有顏色母魚皆觀察同一批公魚。
 - 比較不同顏色母魚對同一批公魚的偏好。
 - 減少公魚的使用量。
 - 公魚更換：
 - 避免位置影響、排除特定公魚個體造成偏差。
 - 進行一輪實驗後，更換一批公魚，將不同顏色公魚依順時針放入下一格隔間。

表十、實驗總表						
實驗名稱	實驗目的	實驗母魚	實驗公魚	熟悉情況	組數	每組樣本數
顏色實驗1	了解母魚是否會對特定體色公魚產生偏好	黃紅母魚	黃紅藍公魚	母魚熟悉所有體色	9組	10個樣本
顏色實驗2	了解母魚對四種體色公魚的偏好程度	黑紅黃藍母魚	黑紅黃藍公魚	母魚熟悉所有體色	4組	10個樣本
顏色實驗3	確認母魚的體色偏好是因公魚而產生	紅黃母魚	X	母魚熟悉所有體色	2組	10個樣本
熟悉度實驗1-1	了解母魚對「熟悉/不熟悉」公魚的偏好	黃紅藍母魚	黃紅藍公魚	母魚熟悉自身體色	6組	10個樣本
熟悉度實驗1-2	確認公魚體色對母魚偏好的影響	黃紅藍母魚	黃紅藍公魚	母魚熟悉自身體色	3組	10個樣本
熟悉度實驗2-1	了解母魚對「常見/稀有/不熟悉」公魚的偏好	黃紅藍母魚	紅母魚分別熟悉黃、藍 黃母魚熟悉紅魚 藍母魚熟悉黃魚		6組	10個樣本
熟悉度實驗2-2	確認母魚對「常見/稀有/不熟悉」公魚的偏好是受熟悉度影響	黃母魚	黃白金藍母魚 部份黃母魚熟悉黃和藍 部份黃母魚熟悉黃和白		2組	10個樣本
人工培育族群和野生族群比較	探討人工培育母魚的交配偏好是否與野生母不同	黃野生母魚	黃藍野生公魚	母魚熟悉所有體色	2組	10個樣本



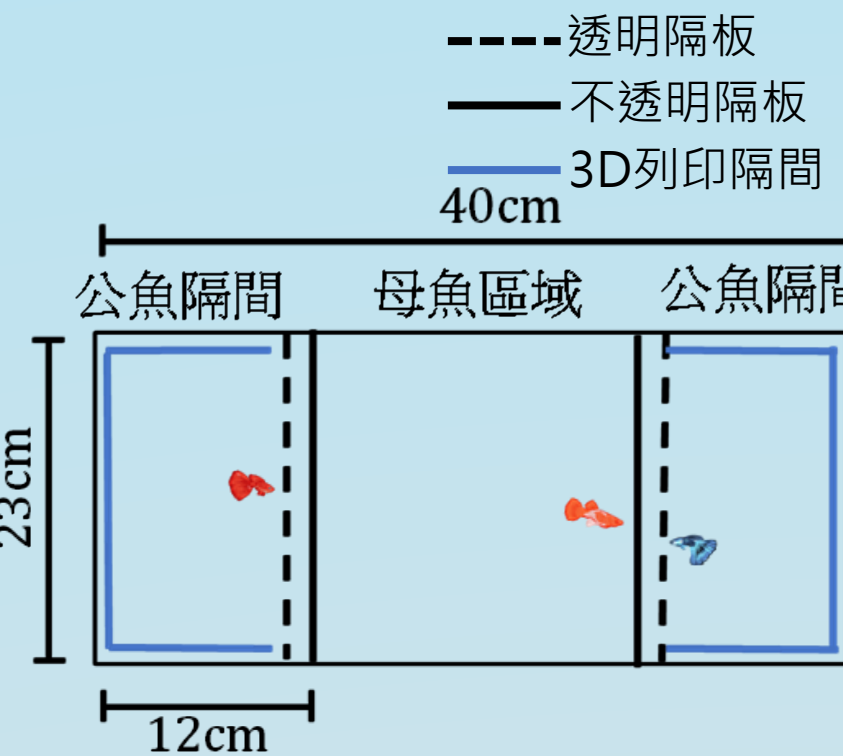
圖十六、飼養魚缸布置圖



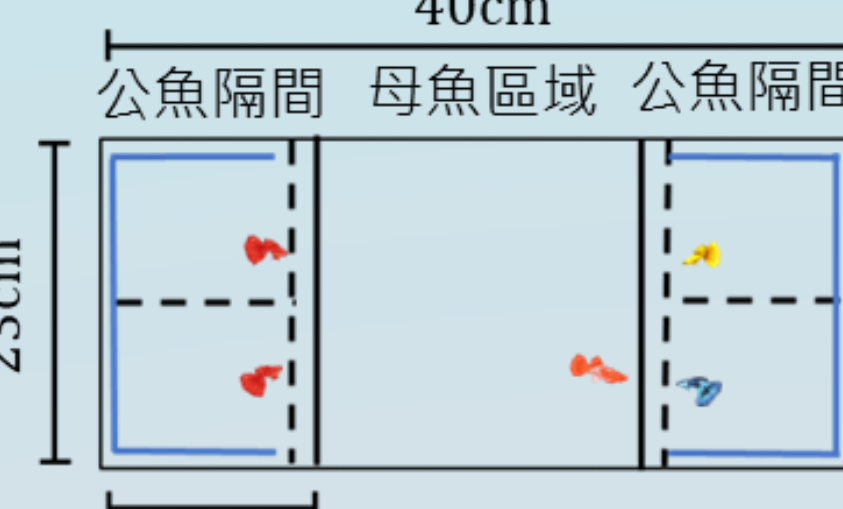
圖十七、分開不同顏色和性別飼養



圖十八、實驗魚缸布置圖



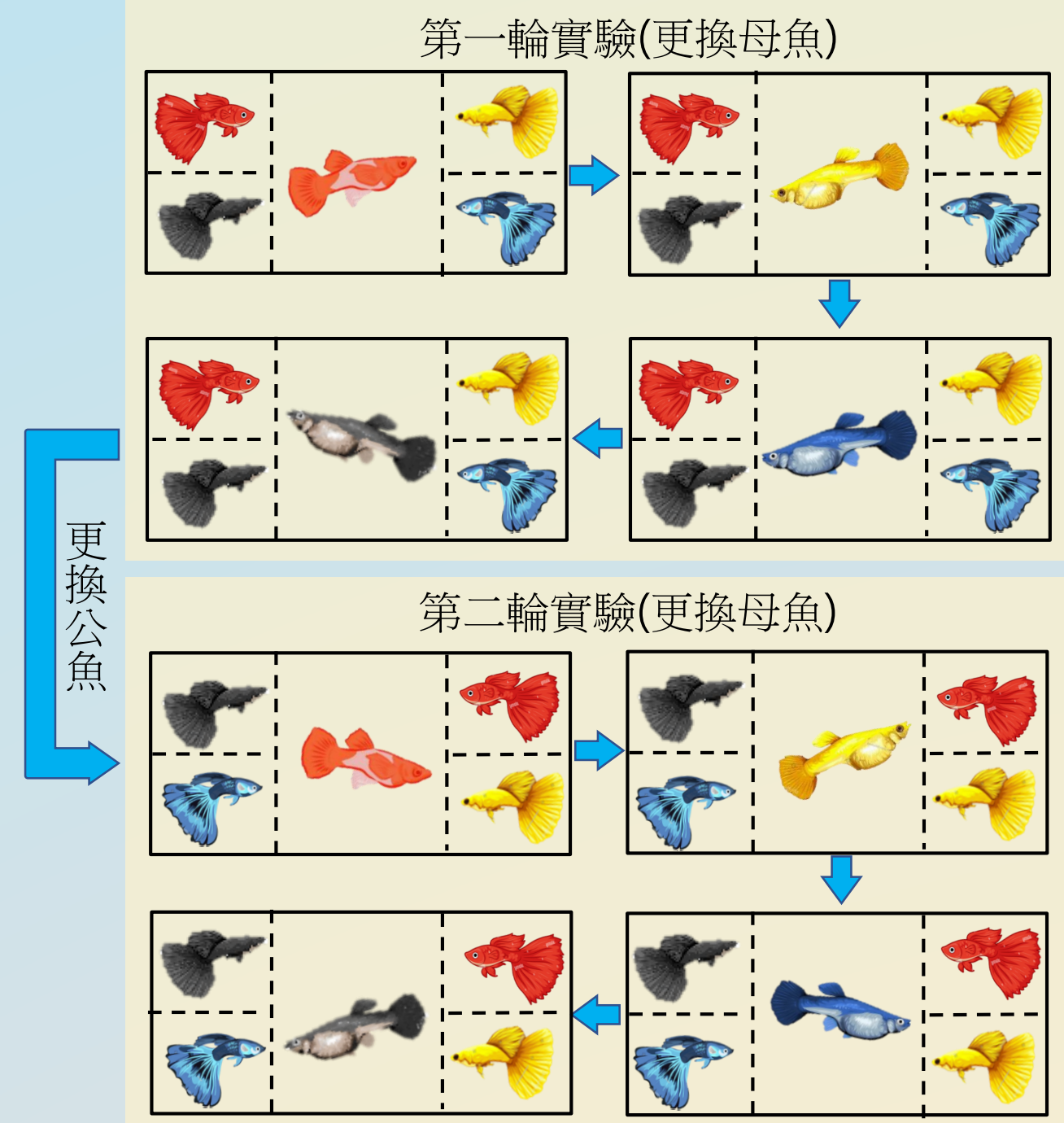
圖十九、實驗魚缸示意圖(兩個公魚隔間)



圖二十、實驗魚缸示意圖(四個公魚隔間)



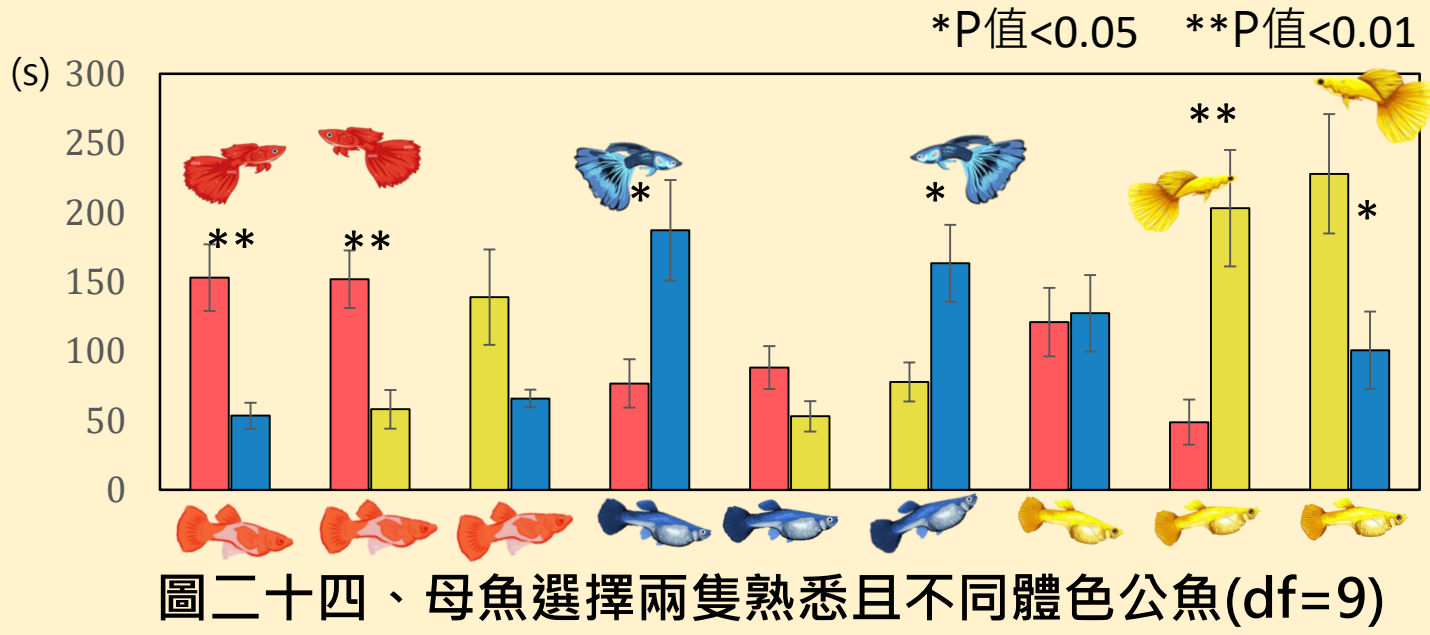
圖二十二、記錄真正的交配偏好



圖二十三、實驗動物輪替方式

實驗結果

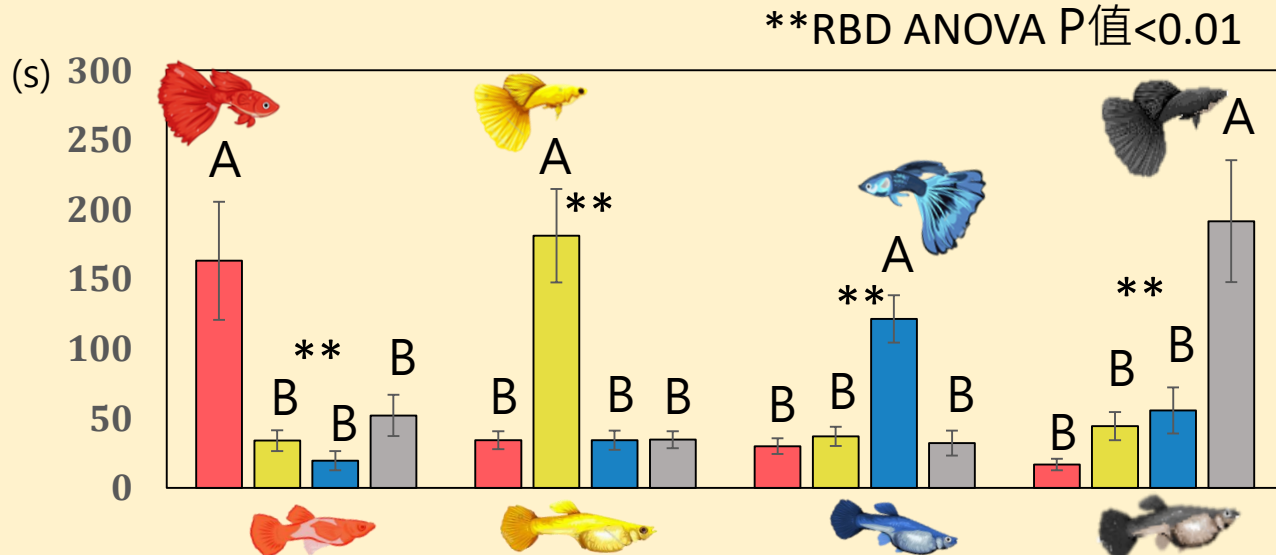
一、顏色實驗1 – 母魚是否偏好特定體色公魚



圖二十四、母魚選擇兩隻熟悉且不同體色公魚(df=9)

- 結果：透過成對T檢定顯示有六組實驗中存在顯著差異。
- 推論：
- 體色對孔雀魚的交配偏好有顯著影響。
 - 不同顏色的母魚都顯著偏好與自己相同體色的公魚。
 - 整體而言，母魚沒有對特定某一體色公魚產生偏好。

二、顏色實驗2 - 四種體色公魚對母魚的吸引力



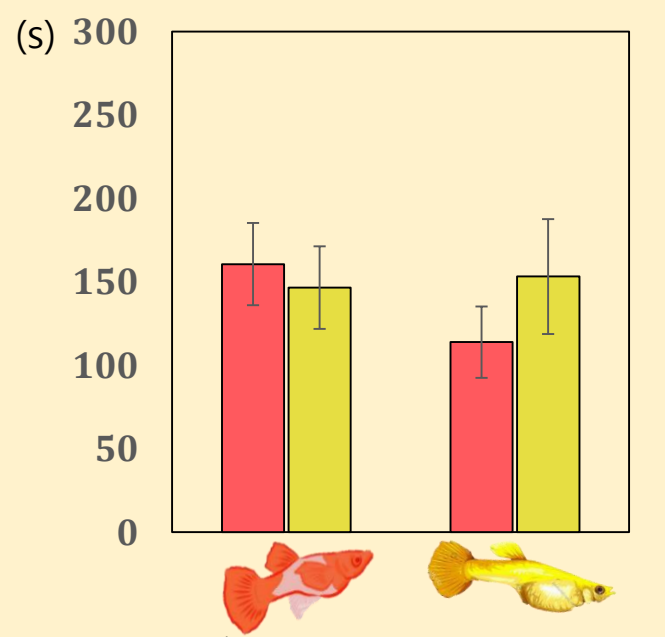
圖二十五、母魚一次選擇四隻熟悉且不同體色公魚

實驗	組別	紅母魚	黃母魚	藍母魚
1選2實驗	A	153(紅vs.藍)	203.1(黃vs.紅)	187.2(藍vs.紅)
	B	151.9(紅vs.黃)	227.9(黃vs.藍)	163.4(藍vs.黃)
1選4實驗	C	163.2	181.3	121.4
差異秒數	C-A	+10.2	-21.8	-65.8
	C-B	+11.3	-46.6	-42

表十一、比較顏色實驗1與顏色實驗2中，母魚花費的時間

- 結果：
- 經RBD ANOVA分析，可知四組實驗皆出現顯著差異。
 - 與前實驗相比，公魚數量影響母魚偏好的程度但不改變母魚偏好。
- 推論：
- 體色顯著影響交配偏好。
 - 母魚都偏好與自己體色相同的公魚，沒有偏好特定一體色。
 - 除本身相同體色的公魚外，母魚對其他體色公魚沒有偏好程度差異。

三、顏色實驗3 - 母魚的顏色偏好因公魚產生

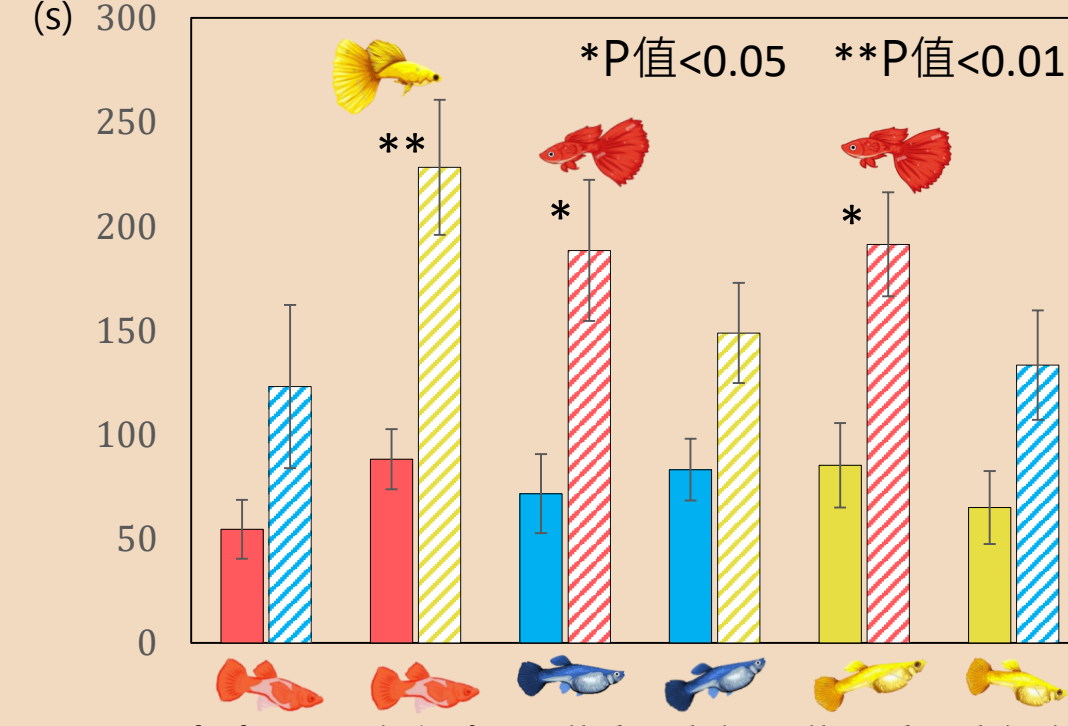


圖二十六、母魚選擇「母魚」(df=9)

- 結果：透過成對T檢定，發現2組實驗中皆沒有顯著差異。
- 推論：
- 紅和黃母魚不偏好特定體色的母魚。
 - 與「顏色實驗1」結果不同，可知「顏色實驗1和2」中母魚的偏好是因公魚產生，是母魚的交配偏好。

一、熟悉度實驗1 - 母魚對「熟悉/不熟悉」的偏好

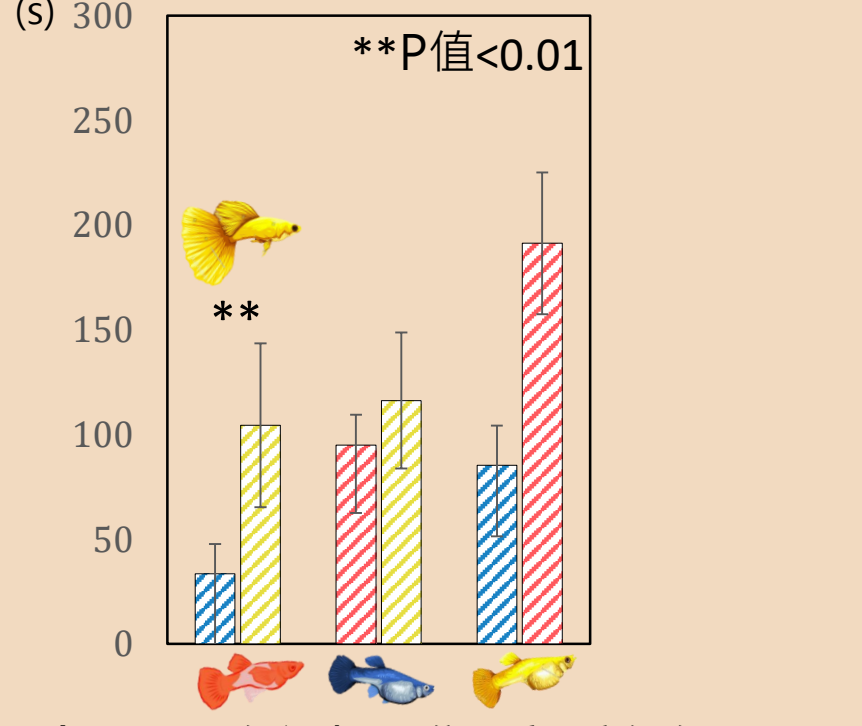
(一)熟悉度實驗1-1：「熟悉/不熟悉」



圖二十七、母魚選擇一隻熟悉和一隻不熟悉公魚(df=9)

- 結果：顯著差異存在3組，整體趨勢都是偏好不熟悉的公魚。
- 推論：熟悉度的影響大於體色的影響。

(二)熟悉度實驗1-2：「不熟悉/不熟悉」

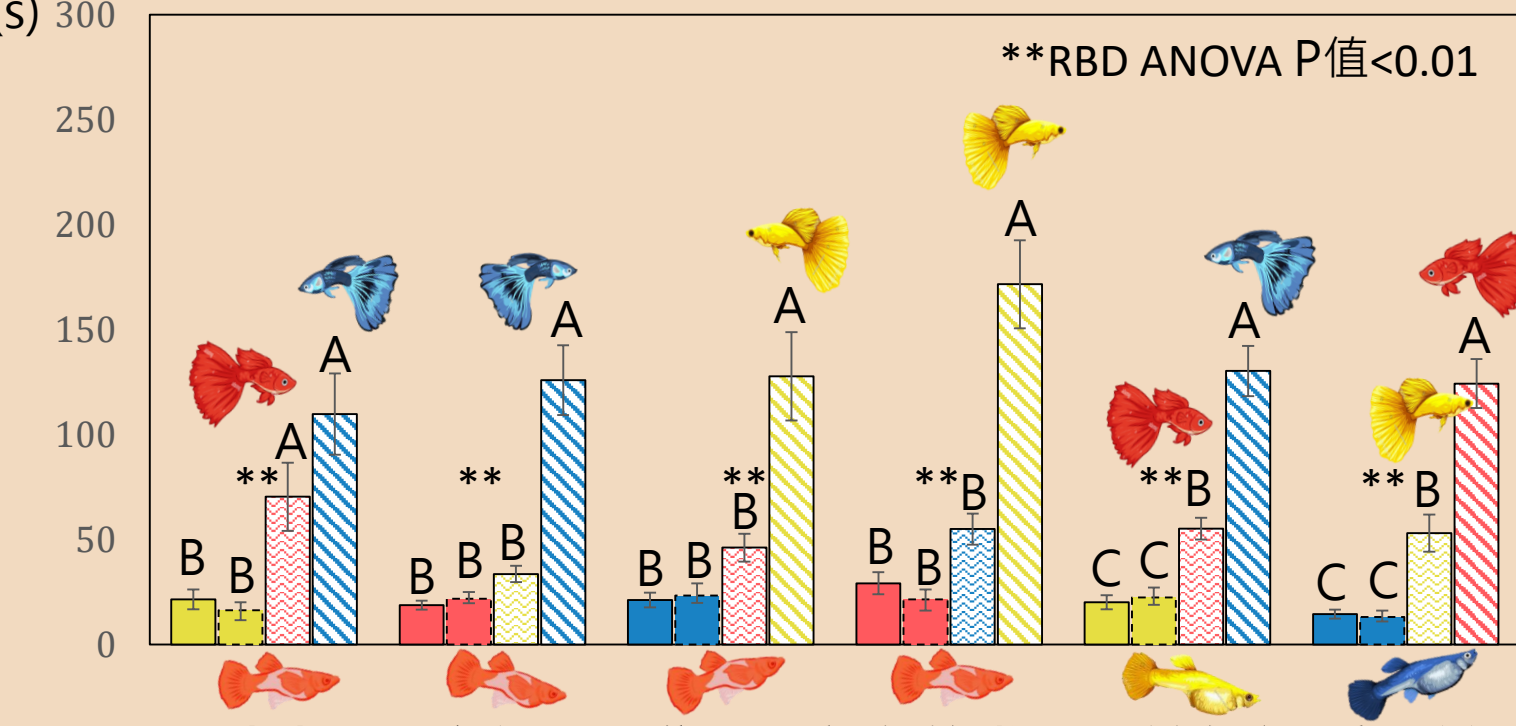


圖二十八、母魚選擇兩隻不熟悉公魚(df=9)

- 結果：選擇兩隻不熟悉公魚時，有一組存在顯著差異。
- 推論：顏色會影響交配偏好，但較弱。

二、熟悉度實驗2 - 母魚對「常見/稀有/不熟悉」的偏好

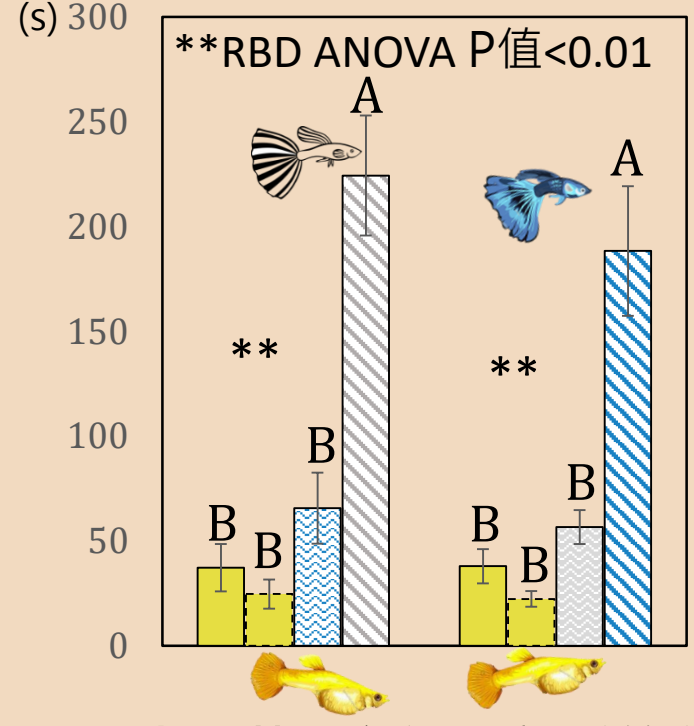
(一)熟悉度實驗2-1：「常見/稀有/不熟悉」



圖二十九、母魚選擇四隻不同顏色的常見、稀有和不熟悉公魚

- 結果：1. 六組實驗都出現顯著差異(RBD ANOVA P<0.01)。
2. 母魚選擇不熟悉公魚時間顯著多於其他公魚。
- 推論：1. 不同顏色的母魚都顯著偏好不熟悉公魚。
2. 母魚會偏好稀有的公魚。

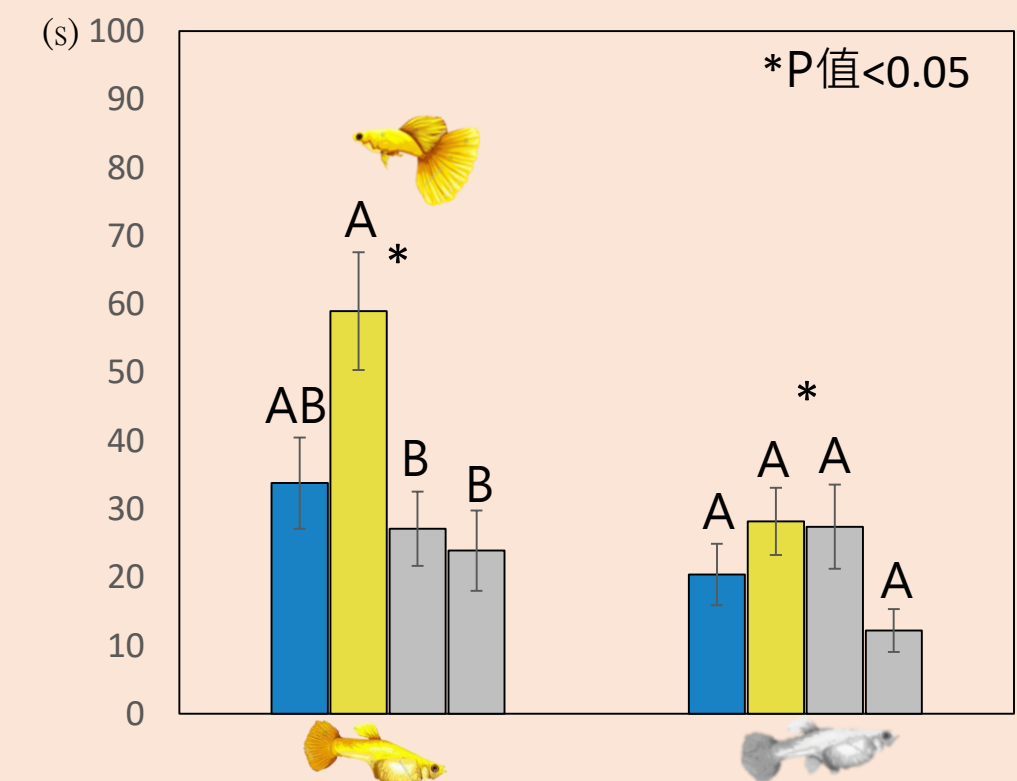
(二)熟悉度實驗2-2：顏色vs.熟悉度



圖三十、黃母魚選擇熟悉的公魚

- 結果：1. 二組實驗都存在顯著差異(RBD ANOVA P<0.01)。
2. 無論黃母魚熟悉的何種公魚體色(白或藍)，都偏好不熟悉的公魚。
- 推論：母魚的偏好主要受熟悉度影響。

比較人工、野生族群



圖三十一、人工培育和野生母魚選擇四隻公魚

- 結果：
- 經過RBD ANOVA檢定後，在兩組實驗中都存在顯著差異。
 - 人工培育黃母魚選擇黃公魚的時間和兩隻野生公魚存在顯著差異。
 - 野生母魚沒有偏好任何一種公魚。
- 推論：
- 人工培育母魚交配偏好比野生母魚更強烈。
 - 野生母魚不會偏好更鮮艷的人工培育公魚，代表人工培育母魚和野生母魚的擇偶條件可能不同。

總結

- 母魚沒有偏好特定顏色的公魚，在熟悉彼此體色的個體間，母魚會偏好與自己相同顏色的公魚，而其他顏色之間則無差異。
- 面對熟悉與不熟悉的公魚時，母魚會偏好不熟悉的公魚。
- 母魚最偏好不熟悉的公魚，而常見和稀有的公魚之間，母魚偏好數量較少的稀有公魚。
- 母魚的交配偏好主要受熟悉度影響，顏色也會影響只是影響較小。
- 人工培育母魚會偏好較鮮艷的人工培育公魚，而野生母魚沒有較偏好人工培育或野生公魚，人工培育母魚交配偏好比野生母魚的更為強烈

結論

一、 體色還是熟悉度對人工培育孔雀魚交配偏好的影響更大？

- (一) 母魚沒有偏好特定體色的公魚
- 「顏色實驗」母魚皆選擇和自己相同顏色的公魚(圖二+四)，沒有偏好1種特定顏色的公魚，推論母魚沒有特定的顏色偏好。
- (二) 母魚偏好不熟悉的公魚
- 「熟悉度實驗一」母魚花在不熟悉公魚身上的時間都比熟悉的多(圖二+七)，且6組實驗中有3組熟悉和不熟悉之間存在顯著差異，所以我們得知母魚會偏好不熟悉的公魚。
- (三) 母魚的偏好：不熟悉 > 稀有 > 常見
- 「熟悉度實驗二」由母魚花在公魚身上的時間，可得知母魚的偏好是：不熟悉 > 稀有 > 常見。

二、人工培育母魚的交配偏好是否與野生母魚有所不同？

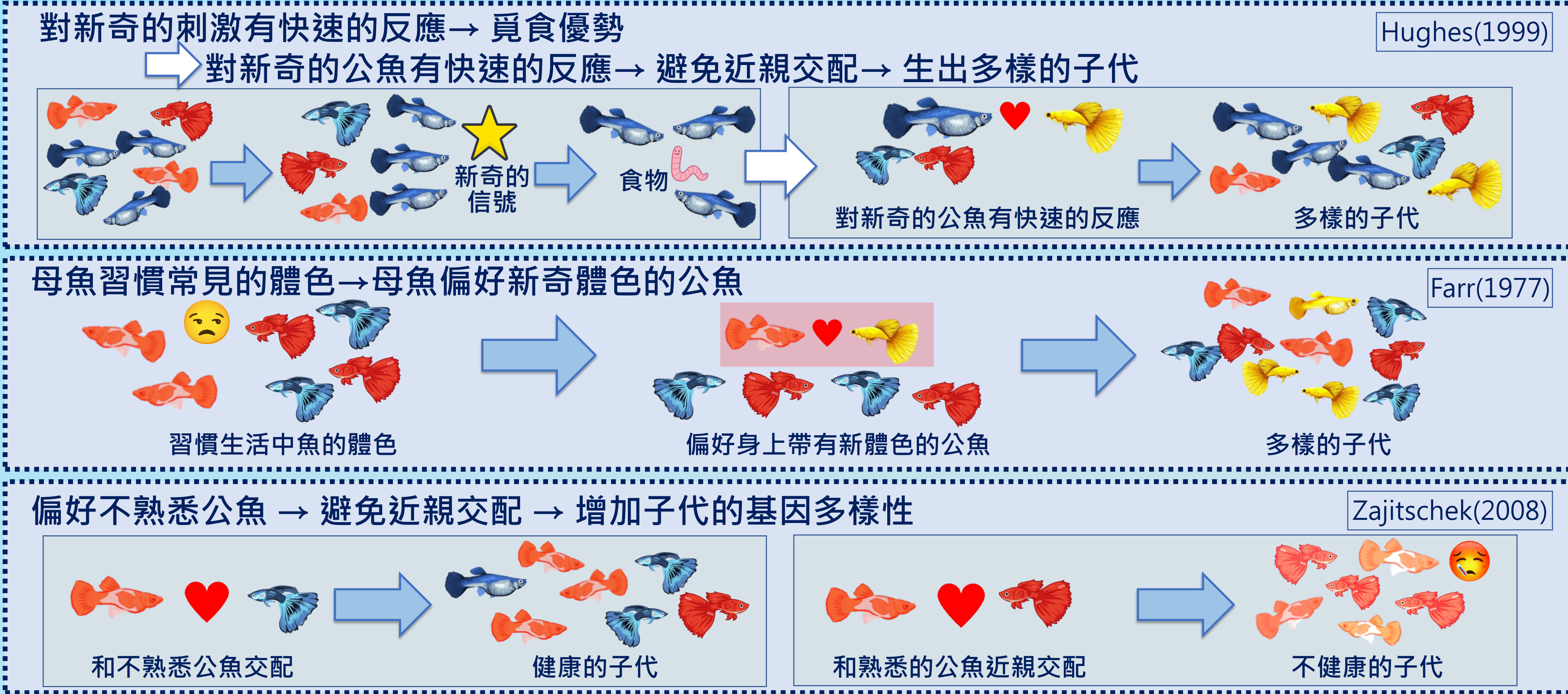
- (一)人工培育母魚交配偏好是否比野生母魚更為強烈？
- 「人工培育族群和野生族群比較」中，人工培育黃母魚偏好人工培育黃公魚，野生母魚沒有偏好任何一種公魚。我們推論人工培育母魚交配偏好比野生母魚更為強烈。
- (二)人工培育母魚和野生母魚是否會偏好更鮮艷的人工培育孔雀魚？
- 「人工培育族群和野生族群比較」中，人工培育的母魚會偏好較鮮艷的人工培育公魚，而野生的母魚沒有較偏好人工培育或野生公魚。

結果討論

一、 顏色的意義

「顏色實驗」 和「熟悉度實驗」都可以看出母魚能夠透過顏色區分不同公魚，因此我們認為顏色對母魚的意義是一個用來區分不同公魚的特徵；而從實驗中也發現，在熟悉度相同的情況下，顏色之間也會存在不同大小的吸引力。

二、 為什麼母魚會偏好不熟悉的公魚？



三、 為什麼母魚的偏好程度會「不熟悉」>「稀有」>「常見」？

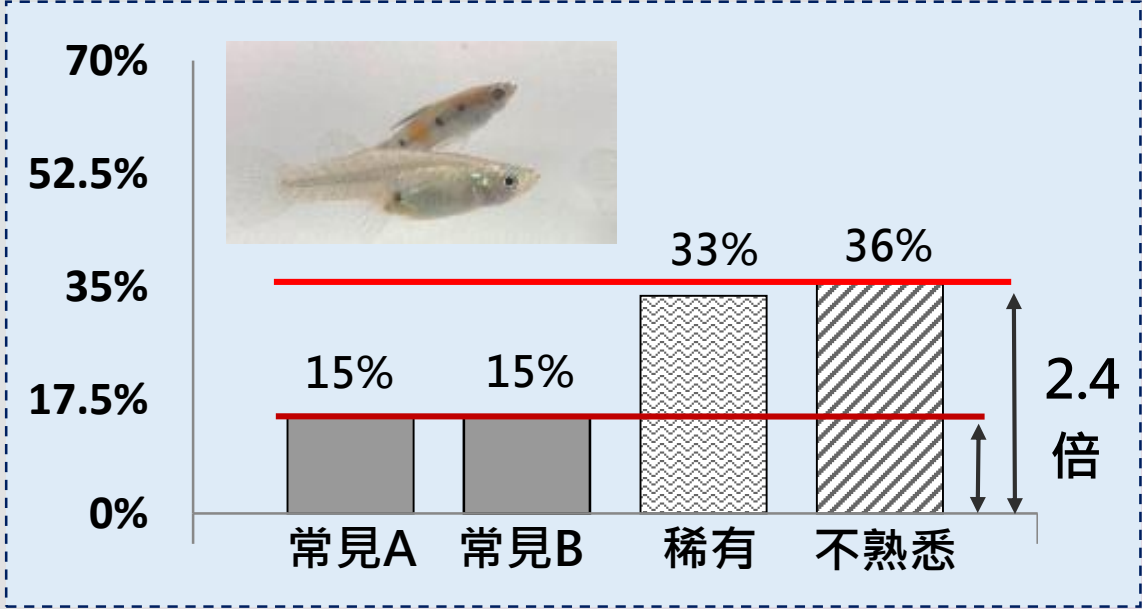


四、 為什麼母魚熟悉所有體色後會偏好和自己相同體色的公魚？

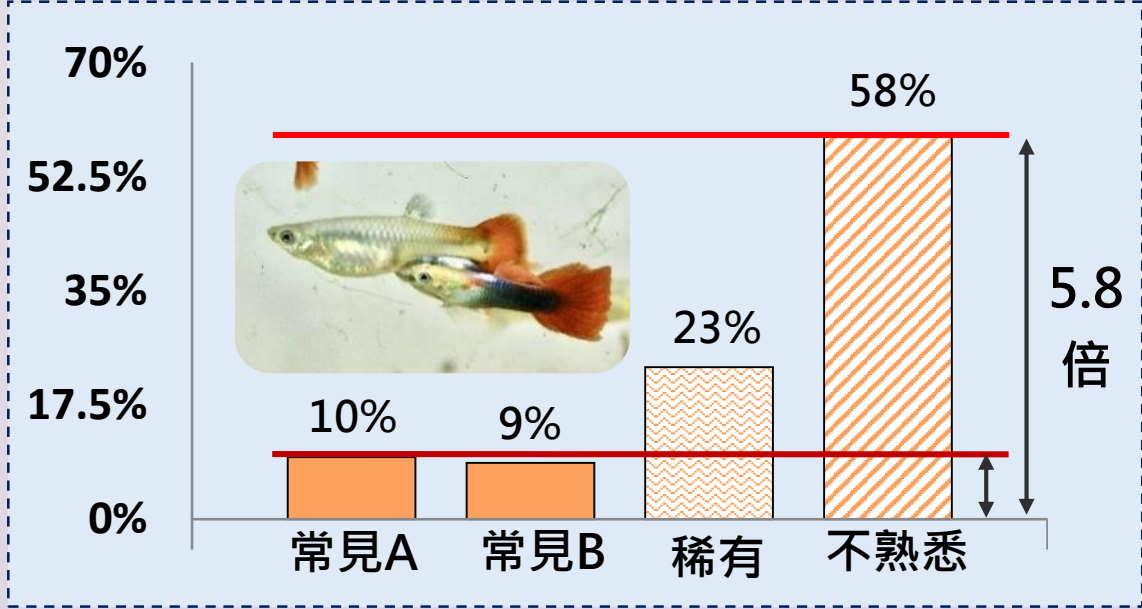
- 安全感：母魚最常接觸和自己相同體色的公魚，因此母魚容易產生安全感，使其偏好這種的公魚。
- 過去經驗：母魚只與自己相同體色的公魚交配過，因此習慣跟這種公魚交配，使其偏好這樣的公魚。

五、人工培育母孔雀魚的交配偏好比野生母魚更強烈？

- 比較野生孔雀魚(圖三+二)和人工培育孔雀魚(圖三+三)
- 將母魚偏好公魚的時間轉變成百分比，進行比較
 - 野生的母魚：不熟悉/常見=2.4 倍
 - 人工培育孔雀魚：不熟悉/常見= 5.8 倍
- 人工培育的魚比野生的魚展現更強偏好
- 人工培育母孔雀魚的交配偏好更強烈

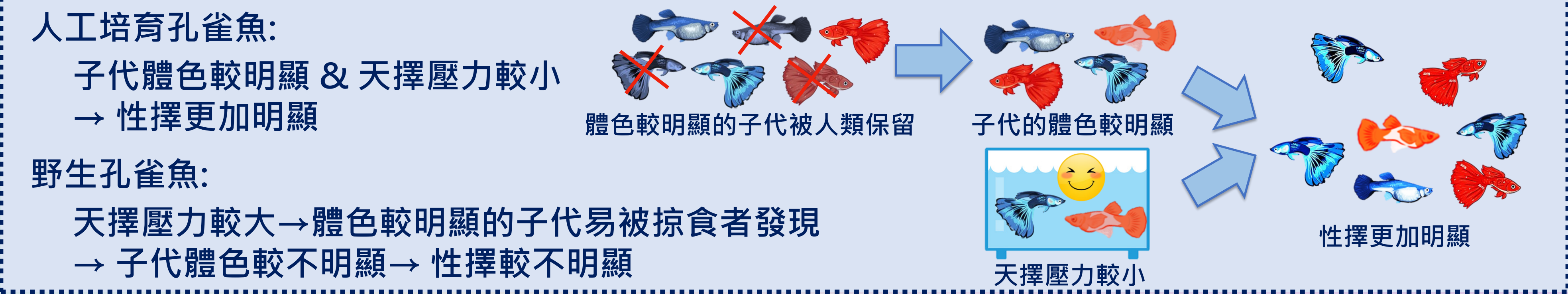


圖三十二、野生母孔雀魚所花的時間百分比 Hughes *et al.* (2019)

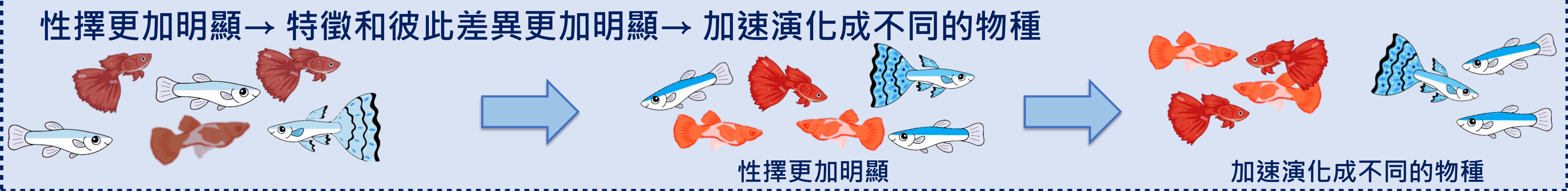


圖三十三、人工培育母孔雀魚所花的時間百分比

六、為什麼人工培育母孔雀魚的交配偏好比野生母魚更強烈？



七、在人工培育的孔雀魚中，人擇對於性擇有什麼影響？



參考資料

Astrid, K. B. (1985). Female preference and sexual selection for male coloration in the guppy (*Poecilia reticulata*). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 17, 199–205.

Coraline, B., Dustin J. P., Yoshan, M., Luc D., Elise, C., Marie, B., Arnaud, G., Stéphane, G., & Gabriele, S. (2014). Females tend to prefer genetically similar mates in an island population of house sparrows. *BMC Evolutionary Biology*, 14, 47.

Fraser, B. A., Hughes, K. A., Tosh, D. N., & Rodd, F. H. (2013). The role of learning by a predator, *Rivulus hartii*, in the rare-morph survival advantage in guppies. *Evolutionary Biology*, 26(12), 2597–2605.

James, A. F. (1977). Male rarity or novelty, female choice behavior, and sexual selection in the guppy, *Poecilia reticulata* peters (pisces : Poeciliidae). *Evolution*, 31(1), 162–168.

Jean, G. G., & Lee, A. D. (1996). Female mating preference for bold males in the guppy, *Poecilia reticulata*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 93(19), 10262–10267.

Jennifer, J. V., Rodd, F. H., & Kimberly, A. H. (2019). Consistent female preference for rare and unfamiliar male color patterns in wild guppy populations. *Behavioral Ecology*, 30(6), 1672–1681.

Kimberly, A. H., Anne, E. H., Anna, C. P., & Rodd, F. H. (2013). Mating advantage for rare males in wild guppy populations. *Nature*, 503, 108–110. 10.1038/nature12717

Kimberly, A. H., Linh, D., Helen, R., & David, N. R. (1999). Familiarity leads to female mate preference for novel males in the guppy, *Poecilia reticulata*. *Animal Behaviour*, 58(4), 907–916.

Mitchel, J. D., Laura, K., & Kimberly, A. H. (2020). Mating preference for novel phenotypes can be explained by general neophilia in female guppies. *The American Naturalist*, 196(4), 401–410.

Robert, O., Rodd, F. H., David, P., Anne, E. H., Carla, H., David, N. R., & Kimberly, A. H. (2006). Frequency-dependent survival in natural guppy populations. *Nature*, 441, 633–636.

Robin, E. G., Madhavi, S., Elizabeth, R., Anne, E. H., & Kimberly, A. H. (2014). Mate preference for novel phenotypes: A fresh face matters. *Ethology*, 121(1), 17–25.

Sato, A., & Kawata, M. (2020). Genetic segregation for male body coloration and female mate preference in the guppy. *BMC Res Notes*, 13, 49.

Sian, W. G., & Anne, E. M. (1997). Familiarity in schooling fish - how long does it take to acquire? . *Animal Behaviour*, 53(5), 945–949.

Susanne, R. K. Z., & Robert, C. B. (2009). Distinguishing the effects of familiarity, relatedness, and color pattern rarity on attractiveness and measuring their effects on sexual selection in guppies (*Poecilia reticulata*). *The American Naturalist*, 172(6), 843–854. 10.1086/593001

圖片來源

圖序	圖片來源	圖序	圖片來源	圖序	圖片來源
圖、一	自行拍攝	圖、十三	自行拍攝	圖、二十一	自行整理，圖片取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my
圖、二	自行拍攝	圖、十四	自行拍攝	圖、二十二	自行拍攝
圖、三	自行整理，圖片取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my	圖、十五	自行整理，圖片取自： https://www.facebook.com/happyfishy.my	圖、二十三	自行拍攝
圖、四	自行整理，圖片取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my	圖、十六	自行整理，圖片取自： https://www.facebook.com/happyfishy.my	圖、三十四	自行整理，圖片取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my
圖、五	自行拍攝	圖、十七	自行整理，圖片取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my	圖、三十五	自行整理，圖片取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my
圖、六	自行整理，圖片取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my	圖、十八	自行整理，圖片取自： https://www.facebook.com/happyfishy.my	圖、三十六	自行整理，圖片取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my
圖、七	自行整理，圖片取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my	圖、十九	自行整理，圖片取自： https://www.facebook.com/happyfishy.my	圖、三十七	自行整理，圖片取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my
圖、八	自行拍攝	圖、二十	自行整理，圖片取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my	圖、三十八	自行整理，圖片取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my
圖、九	自行拍攝			圖、三十九	自行整理，圖片取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my
圖、十	自行拍攝			圖、四十	自行整理，圖片取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my
圖、十一	自行拍攝			圖、四十一	自行整理，圖片取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my
圖、十二	自行拍攝			圖、四十二	自行整理，圖片取自： https://www.shutterstock.com 和 https://www.facebook.com/happyfishy.my