

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

團隊合作獎

030301

AI 監測技術追蹤蓋斑鬥魚攀葉行為之研究

學校名稱：彰化縣立彰安國民中學

作者： 國二 黃彥筑 國一 黃彥嘉	指導老師： 侯松男 陳清文
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：AI 監測、蓋斑鬥魚、攀葉行為

壹、摘要

我們觀察到蓋斑鬥魚會攀爬到漂浮水面的葉片，這獨特行為引起我們的興趣。為探討蓋斑鬥魚攀葉行為，本研究開發「鬥魚攀葉行為 AI 監測系統」，可準確、穩定地收集攀葉行為歷程，並直接提供研究數據。我們探討了競爭者數量與葉片特徵對蓋斑鬥魚攀葉行為之影響。

研究結果顯示，蓋斑鬥魚間的競爭行為是影響攀葉行為的重要因素。競爭後，弱者會有兩種不同的避敵行為，一是積極攀葉，二是消極側躺在角落不動。此外，當鬥魚攀上吃水較淺的葉片上，需要以側躺姿勢攀附，但這也是一個相對安全的避敵空間。我們曾記錄到一天高達 92% 的攀葉時間。

本研究找到了蓋斑鬥魚攀葉行為的原因，提出競爭後的弱者避敵模式，也為動物行為監測技術提供了一個可能性。

貳、研究動機

在生物課老師提及一則特別的新聞——鬥魚會爬上蓮葉睡覺，我們覺得這個現象很有趣。在查找資料時，發現這個現象並不少見，網路上也很多人討論。甚至水族館還有販賣名為「鬥魚休息室」的人工葉片。但其中無一提及鬥魚攀葉行為的真正原因，只有一些網友猜測是葉片上較舒服，鬥魚是上去曬太陽，或是鬥魚是爬上葉子休息睡覺。

此外葉子上的鬥魚並無保護色，會讓鳥類等魚類的天敵更容易發現牠們，為何鬥魚會讓自己暴露在危險條件，也讓我們很感興趣。因此我們設計一系列實驗來探討鬥魚攀葉行為的可能原因。

參、研究目的

為了解鬥魚攀葉行為的可能原因，我們以台灣原生種——蓋斑鬥魚為研究對象，進行攀葉行為的觀察與研究，本研究擬定以下三項研究目的：

- 一、蓋斑鬥魚攀葉行為觀察。
- 二、蓋斑鬥魚競爭行為觀察。
- 三、探討葉片條件對於鬥魚攀葉行為之影響。



圖 1 暹羅鬥魚攀上葉片新聞



圖 2 蓋斑鬥魚攀上葉片的網誌



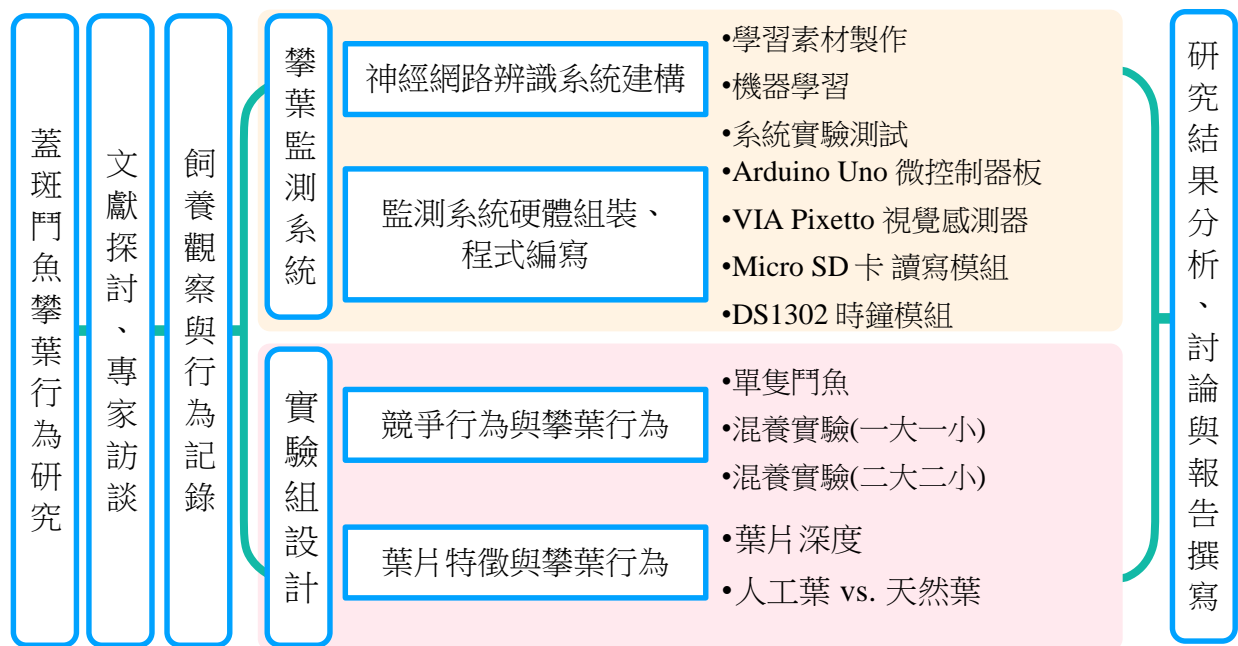
圖 3 鬥魚休息室（水族用品）

肆、研究流程與方法

蓋斑鬥魚是台灣原生種魚類，台灣各地都曾有族群分佈的紀錄。實際訪談蓋斑鬥魚專家—詹見平校長後，得知蓋斑鬥魚的生活習性與飼養時的技巧，也了解現在棲地破壞的嚴重性。目前蓋斑鬥魚雖然在水族館隨處可見，但在野外棲地卻難得一見。

經過這次訪談我們也確認了具體研究方向，本研究除了飼養蓋斑鬥魚進行長期觀察，並同步發展「蓋斑鬥魚攀葉行為 AI 監測系統」，利用學校科技中心的 AI 鏡頭與 Arduino 開發板等模組，製作能記錄收集數據的監測系統，以此收集實驗數據。以下為蓋斑鬥魚攀葉行為研究之研究架構圖。

一、研究架構圖



二、研究設備與器材

(一) 鬥魚與飼養觀察實驗設備

研究材料與工具	用途	數量
蓋斑鬥魚 <i>Macropodus opercularis</i> (圖 4)	研究對象	大魚 8 尾 (魚總長 $\geq 5\text{cm}$) 小魚 8 尾 (魚總長 $< 5\text{cm}$)
陽光黃金葛 <i>Epipremnum aureum</i>	實驗材料	6 片 (葉長 8~9cm)
人工葉片、葉片支架(圖 5)	實驗材料	6 片 (葉長 8~9cm) 、12 組
透明塑膠盒(實驗水缸)	實驗容器	6 個
檯燈、藍色 pp 塑膠板	背景光源調整	6 組
魚飼料(磨碎)	引誘鬥魚定位測試用	1 罐
Brinno TLC200 pro 縮時攝影機	輔助記錄	1 台

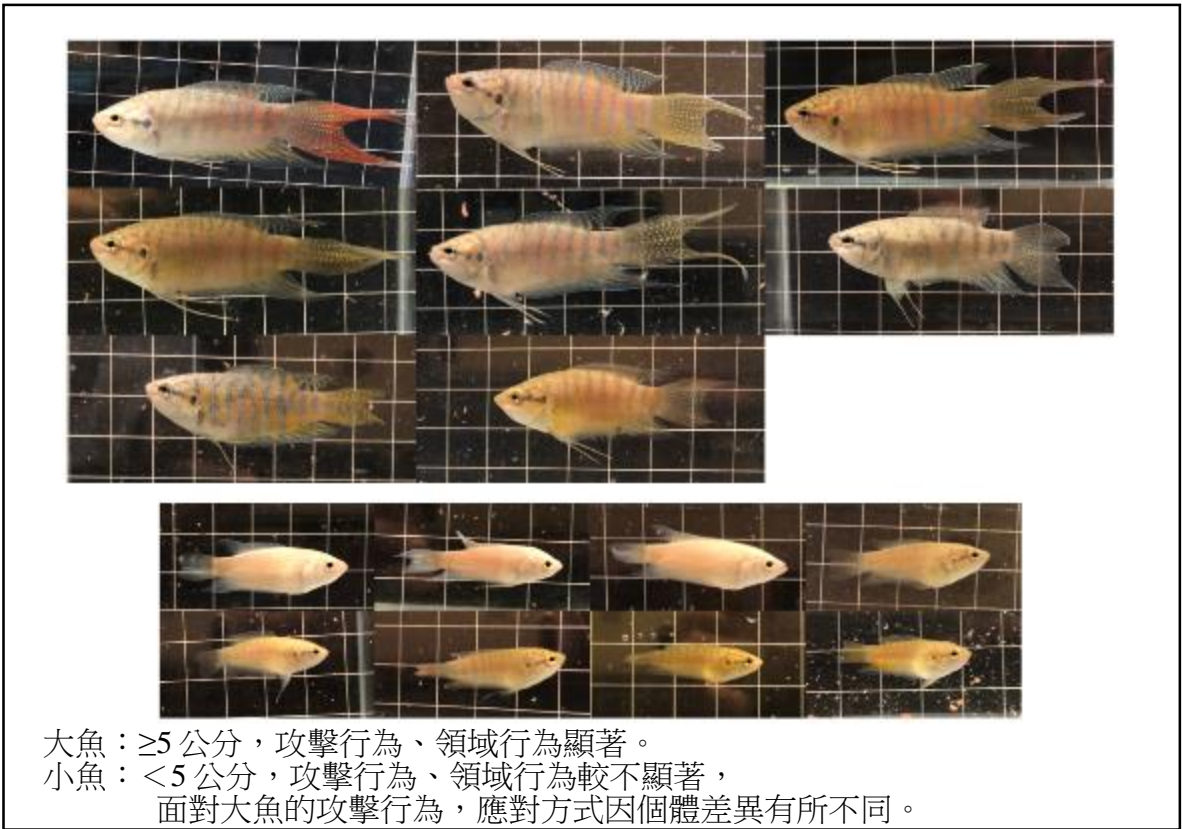


圖 4 本實驗觀察之蓋斑鬥魚(共 8 大、8 小)

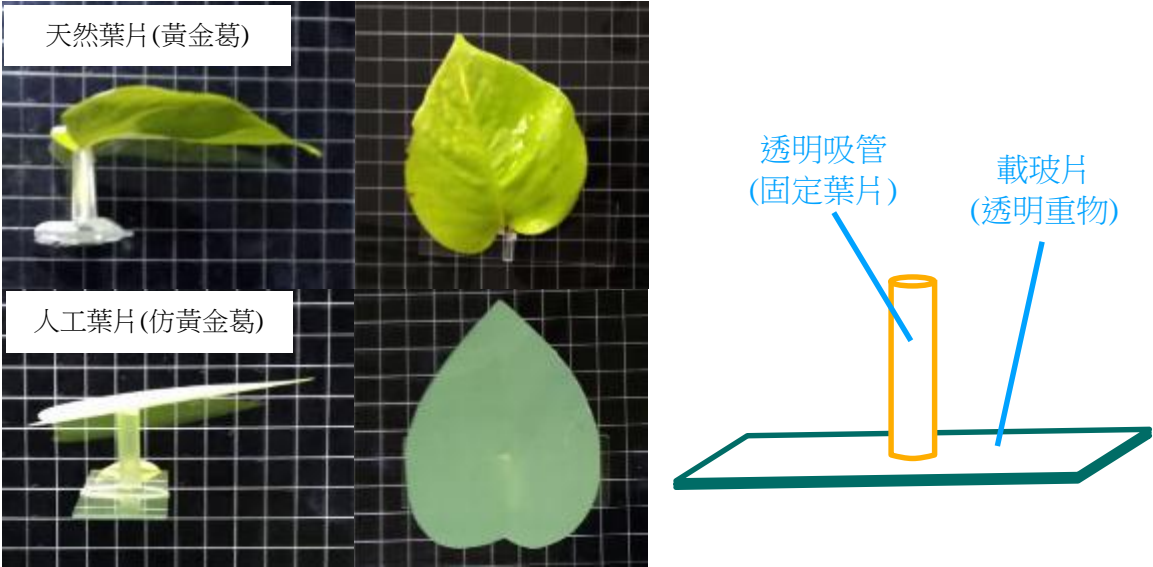


圖 5 葉片支架設計

(二)蓋斑鬥魚攀葉行為 AI 監測系統

監測系統組成	功能	數量
威盛 Pixetto AI 鏡頭	人工智慧影像辨識	6 台
Arduino Uno 微控制器 + 擴充板	模組連結、處理整合	6 組
DS1302 時鐘模組	提供時間資訊	6 組
Micro SD 卡讀寫模組	資料記錄	6 組
木製鏡頭架	固定 A I 鏡頭	6 座
ASUS 筆記型電腦	機器學習+資料統計	1 台

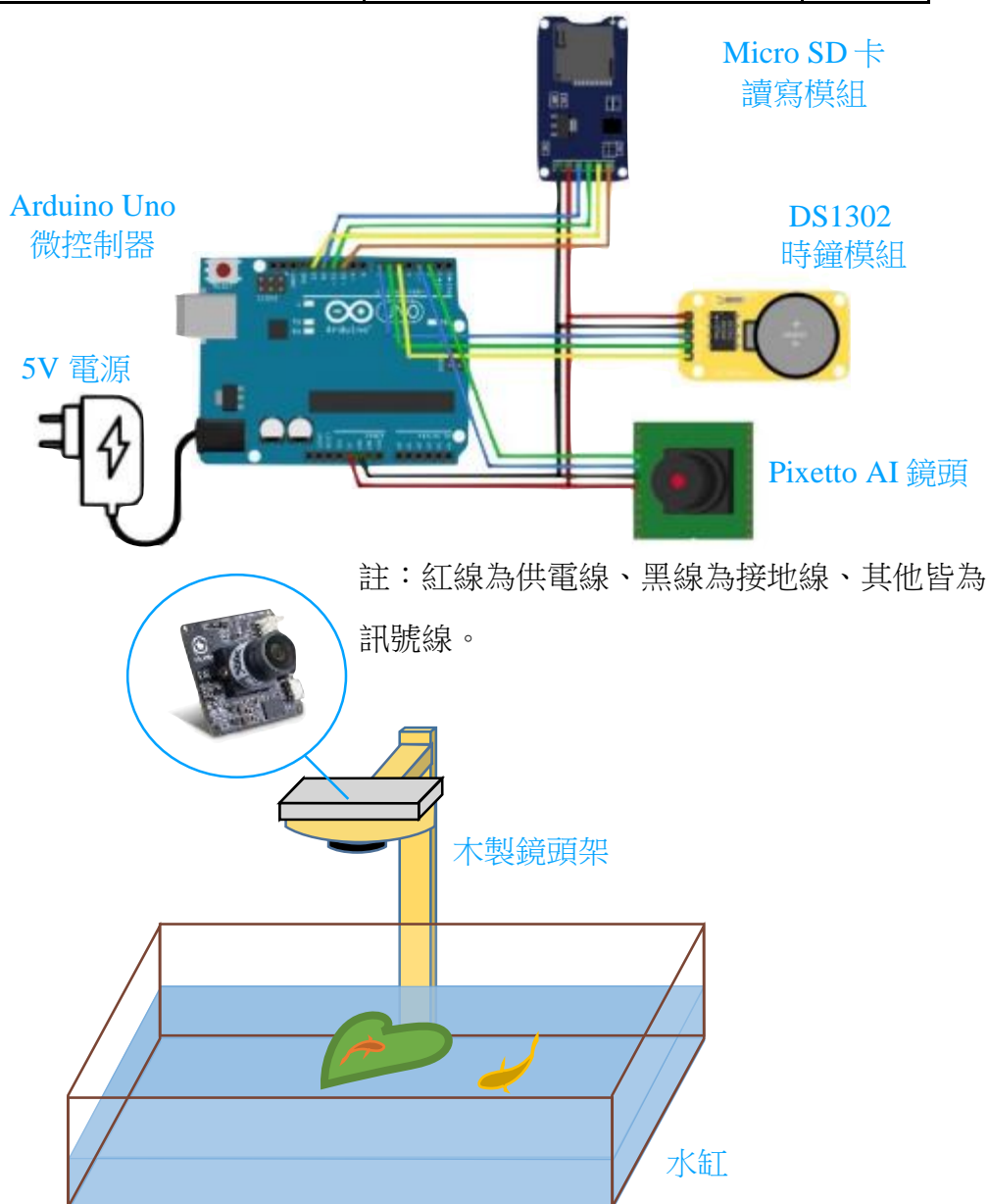


圖 6 蓋斑鬥魚攀葉行為 AI 監測系統示意圖(含各模組配線圖)

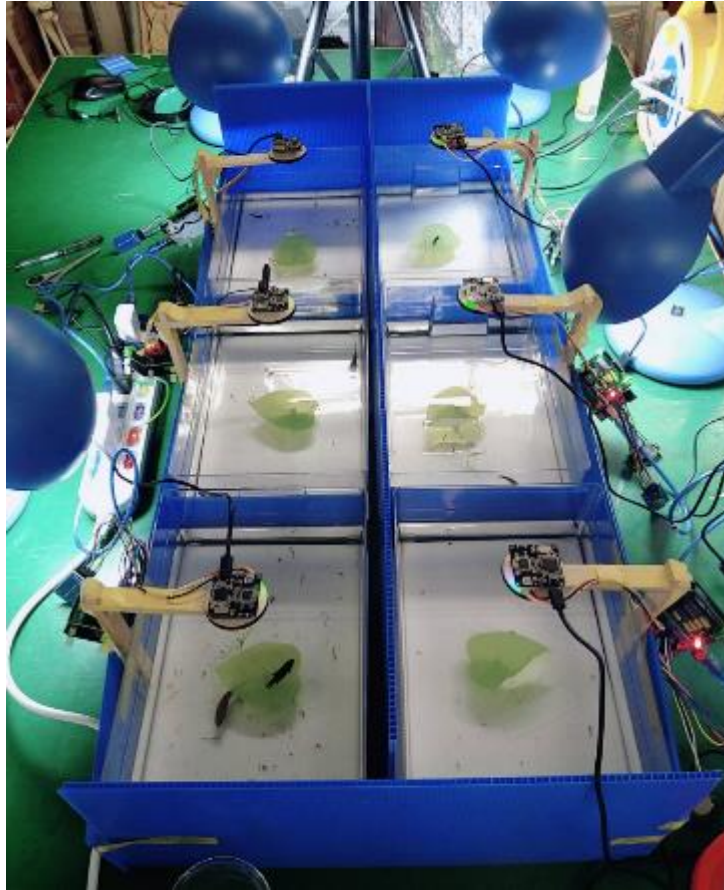


圖 7 「蓋斑鬥魚攀葉行為 AI 監測系統」與攀葉行為實驗設備(共六套)

三、研究方法

(一) 鬥魚飼養與行為觀察記錄方法

蓋斑鬥魚為小型魚類，因棲地破壞，野外族群已日漸稀少。在水族館我們觀察到有不同體色特徵的蓋斑鬥魚。經實際訪談蓋斑鬥魚專家—詹見平校長，他表示：「台灣野外各地蓋斑鬥魚體色有些許差異，但習性都差不多，經DNA鑑定差異性不顯著，皆屬同種」。

另外，鬥魚可以活動在靜止的水域，一般未受汙染河川的溶氧量是 6 ppm，一般魚類需要生活在溶氧 5

ppm 的水中，而蓋斑鬥魚只需約 2 ppm~3 ppm 的溶氧即可存活。詹校長建議：

「鬥魚飼養過程中，以空缸飼養即可，不須特別換水，僅須按時加水，確保水位高度的維持，亦不需特別打氣，維持一般溶氧量即可。」

因此，本研究即以詹校長建議的飼養條件，作為觀察蓋斑鬥魚攀葉行為的基本操作條件。條件包括：空缸、不打氣、水溫室溫、使用放置一天的自來水補充蒸發的水分、鬥魚混養、每缸放置黃金葛數片，大魚每天餵食 4 顆飼料、小魚每天餵食 2 顆飼料。

每日將行為觀察記錄於實驗紀錄簿上，並輔助手機攝影記錄，重點內容包括：競爭行為、攀葉行為、特殊情況記錄。

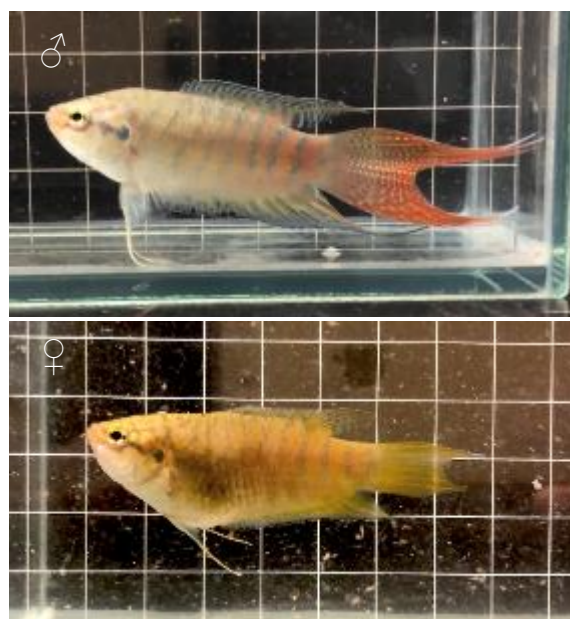


圖 8 蓋斑鬥魚 *Macropodus opercularis*

(二) 蓋斑鬥魚攀葉行為 AI 監測系統建置

雖本研究已使用縮時攝影機記錄鬥魚攀葉行為，但無法準確記錄時間，也無法直接提供鬥魚攀葉行為的量化數據，因此我們自製蓋斑鬥魚攀葉行為 AI 監測系統以收集資料，下圖為監測系統建置流程。

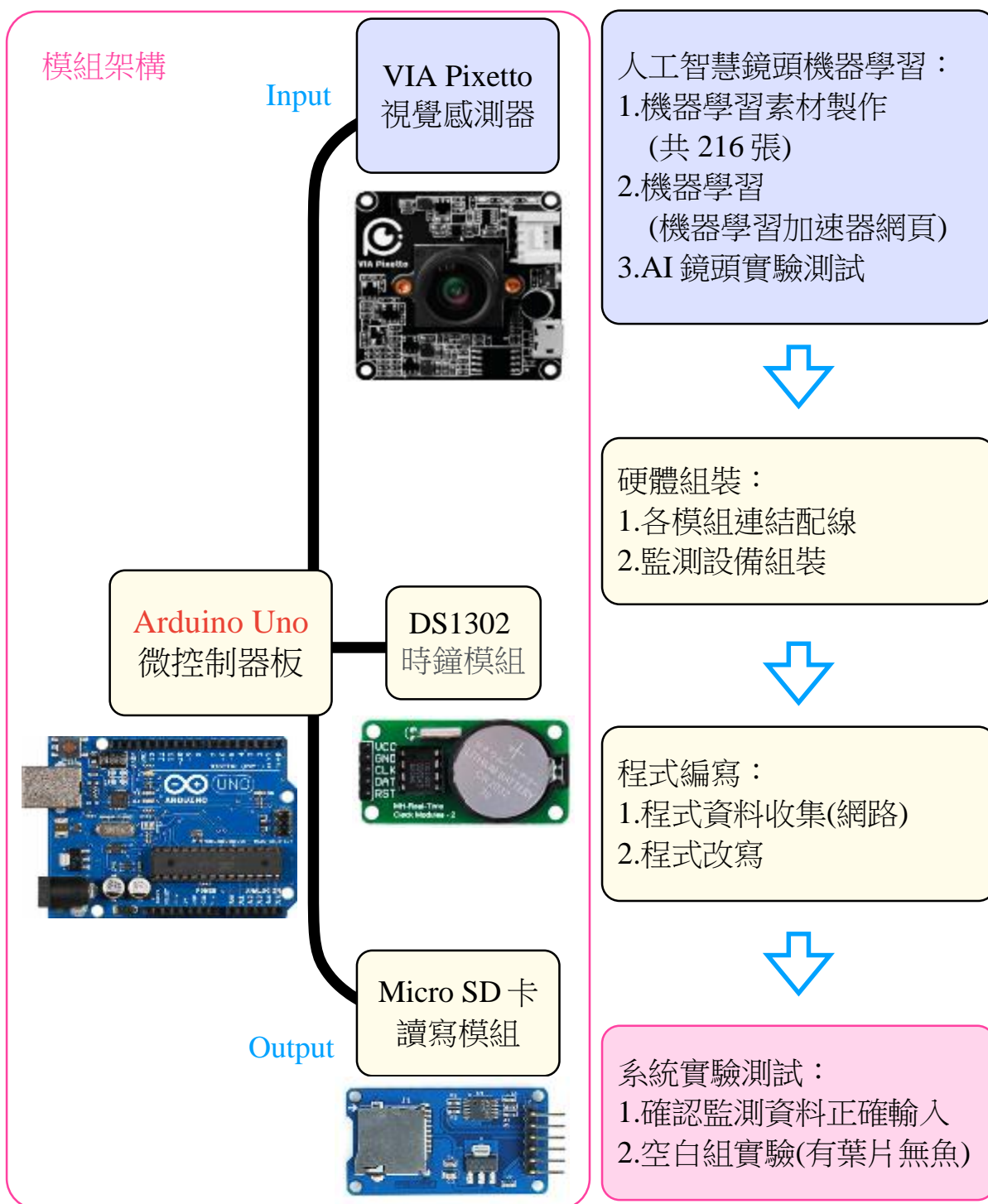


圖 9 蓋斑鬥魚攀葉行為 AI 監測系統建立流程

1. 人工智慧鏡頭機器學習流程：

(1) 學習素材製作

由於鬥魚攀葉的角度與位置差異，經過各種嘗試，最後本研究選擇合成蓋斑鬥魚攀葉模擬照片作為機器學習素材，合成照片利用 Photopea 線上繪圖軟體製作，將拍攝的三種葉片照片與三種鬥魚攀葉照片，分別以 10° 旋轉組合，取得 108 張葉片照片與 108 張鬥魚攀葉照片，共 216 張，如圖 10、圖 11 所示。

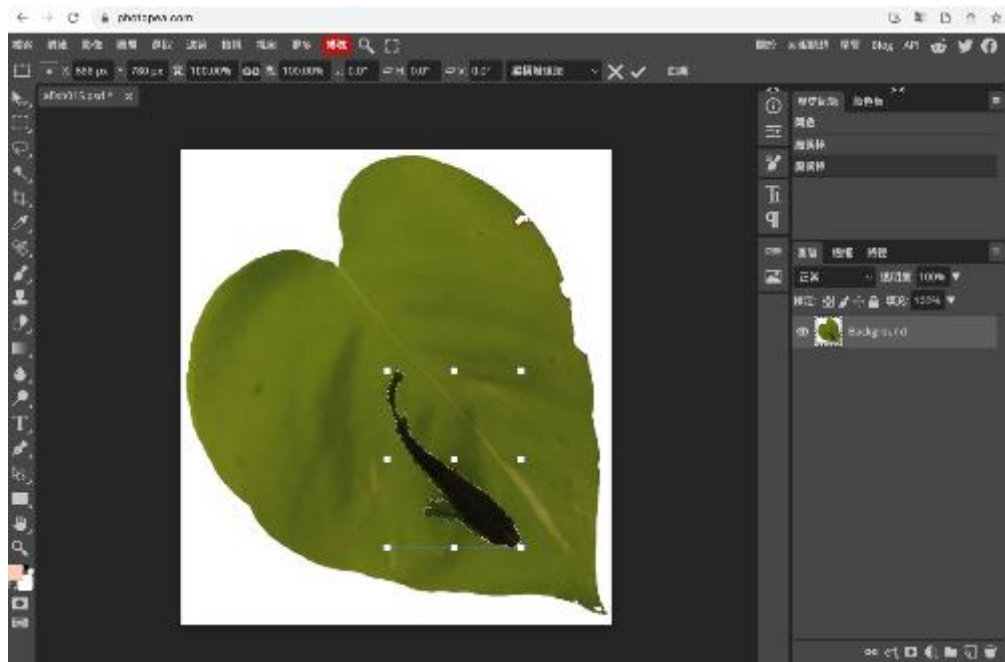


圖 10 Photopea 線上繪圖軟體製作機器學習素材



圖 11 機器學習素材示意圖(fish、leaf 共 216 張)

(2) AI 鏡頭機器學習

本研究使用利用威盛公司提供的 Pixetto AI 鏡頭機器學習加速器網頁，直接進行線上的機器學習訓練，將前述 216 張素材，分別壓縮成 fish.zip、leaf.zip 上傳至機器學習網站。

以積木程式建立神經網路的模型架構(圖 12)，並開始訓練。訓練時會依造前述建立的神經網路架構與參數進行訓練，訓練結果如圖 12。

將訓練獲得之神經網路模型檔案(fishdetect.tflite)匯入 Pixetto AI 鏡頭，即完成 Pixetto AI 鏡頭之機器學習。



圖 12 神經網路模型架構與機器學習訓練結果

(3) AI 鏡頭辨識準確率測試

此測試目的是為了解 AI 鏡頭機器學習之成效，直接將 Pixetto AI 鏡頭與電腦連接，利用監控軟體直接確認 AI 鏡頭是否能正確辨識。

實驗一：

在 AI 鏡頭經不同學習素材與調整機器學習的參數後，為能即時測試「機器學習」成效。針對鬥魚攀葉位置、比例、攀附姿態、葉片顏色、形狀之差異，使用多張照片，直接進行測試。(圖 13)



圖 13 機器學習測試用照片

實驗二：

經過實驗一的考驗，我們挑戰以水缸中的真魚目標。使用訓練好的 AI 鏡頭，觀察水缸內的鬥魚攀上葉片瞬間是否能精準判斷。過程利用磨碎的魚飼料撒在葉片上，吸引鬥魚爬上葉片。

圖 14 為 AI 鏡頭監控時之螢幕畫面截圖，綠色方框為 AI 鏡頭辨識之物件，無鬥魚的葉片顯示“LEAF(1)(1.00)”，當鬥魚游上葉片瞬間則顯示“FISH(0)”，圖中 (1.00)指物件辨識準確率為 100%。



圖 14 Pixetto AI 鏡頭實驗測試畫面

2. 硬體組裝：

(1) 各模組連結配線

本監測系統以 Arduino Uno 微控制器為處理單元，Pixetto AI 鏡頭為輸入單元，搭配 DS1302 時鐘模組偵測時間，再輸出至 Micro SD 卡讀寫模組收集資料。

以上模組皆有一個供電腳位 (VCC)、一個接地腳位(GND)與 2~3 個訊號腳位提供訊號。

各模組之連結配線皆使用一公頭、一母頭的杜邦線，另外因 Arduino Uno 微控制器供電腳位不足，選擇加裝擴充板以增加連結腳位。

組合完成之「蓋斑鬥魚攀葉行為 AI 監測系統」如圖 15，各模組腳位配線詳見圖 6 (page 4)。

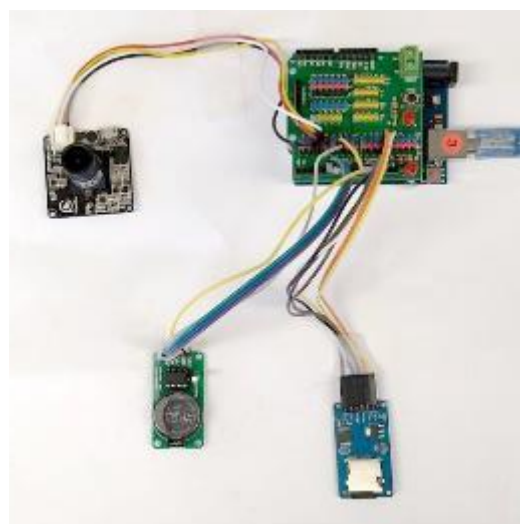


圖 15 蓋斑鬥魚攀葉行為 AI 監測系

(2) 鬥魚攀葉行為監測設備組立

利用方木條製作固定 AI 鏡頭的鏡頭架，鏡頭距離缸底為 16cm。為了避免水缸周圍額外的雜訊影響 AI 鏡頭判讀的準確度，本研究將 AI 鏡頭的視野範圍以固定於缸底的葉片為中心，限制範圍於拍攝水缸底面。(圖 16)

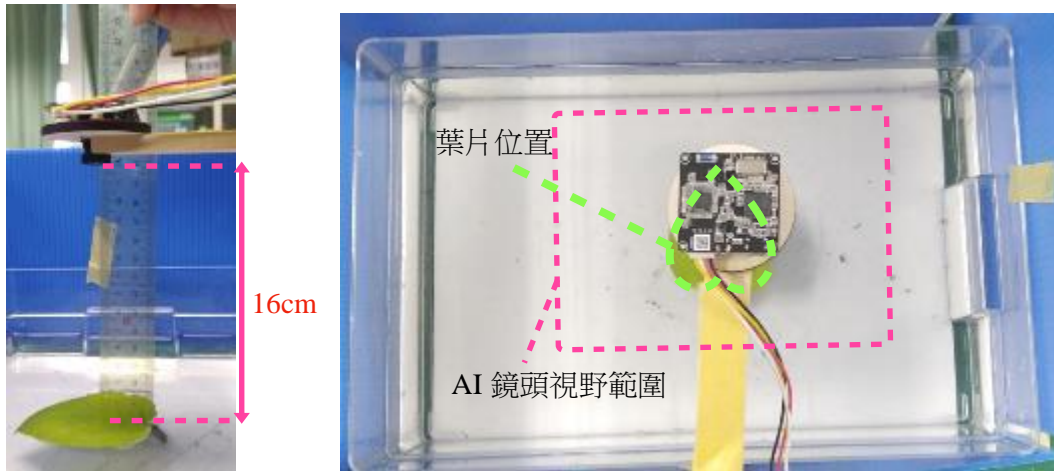


圖 16 鬥魚攀葉行為 AI 監測設備設定參數

3. 程式編寫：

(1) 程式資料收集

直接參考網路部落格分享之程式，資料來源詳見參考文獻。

(2) 程式改寫

主要改寫的部分有以下三部分：

- 更改模組函式庫：包含 AI 鏡頭的函式(Pixetto.h)、DS1302 時鐘模組函式(RtcDS1302.h)。
- 修改腳位：將模組腳位修改為 AI 監測系統各元件使用的腳位。
- 以 Pixetto Junior 積木程式，編寫接受 AI 鏡頭訊號的程式，取得原始編碼後併入改寫程式。

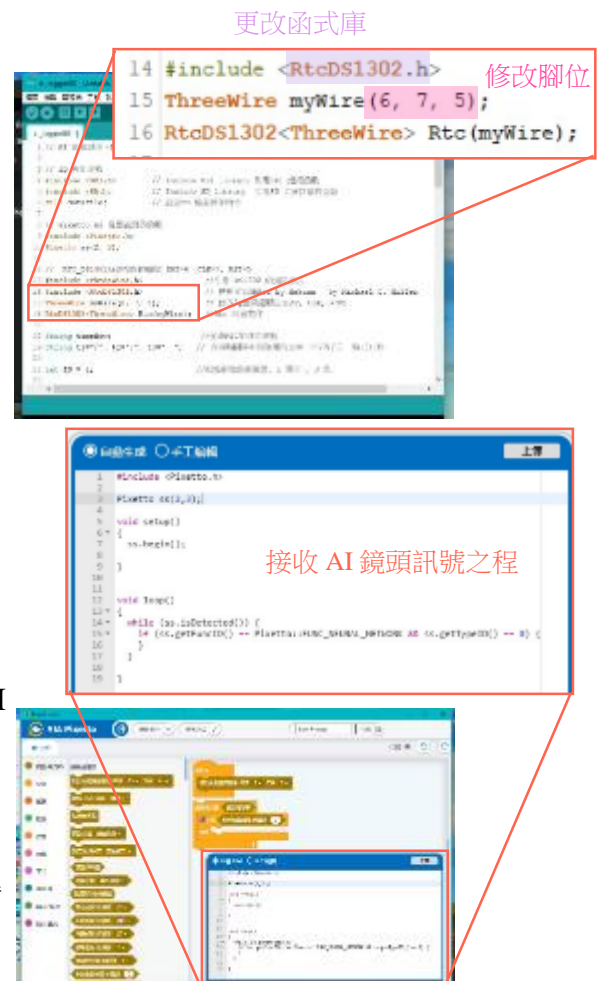


圖 17 AI 監測系統程式編寫

4. 監測系統穩定性測試：

(1) 確認監測資料正確輸入

監測系統建構完畢之後，必須確認 AI 鏡頭能準確辨識，且監測資料能正確記錄。我們使用吸管製作之假魚進行測試，讓假魚連續出現在葉片上十次，AI 監測系統能正確記錄十次的數據與時間即完成測試。(圖 18)

每次更換實驗條件，進行下一組實驗前，皆會以此步驟確認 AI 監測系統能正確穩定的收集資料。



圖 18 蓋斑鬥魚攀葉行為 AI 監測系統測試

(2) 空白實驗

六組水缸中央放置葉片，水缸中無魚，使用監測系統連續監測 24 小時，期間訊號穩定且並無收到任何攀葉行為數據，空白測試結果符合期待。(表 1)

表 1 空白實驗結果

實驗條件	實驗組編號	攀葉次數	平均停留時間	最長停留時間	說明
<ul style="list-style-type: none">鬥魚數量：0 尾平均水溫：19.9°C葉片條件： 天然葉片、 吃水 1 cm監測時間：24 小時	1	0	0	0	六組空白對照組，皆無鬥魚攀葉行為資料，運作正常。
	2	0	0	0	
	3	0	0	0	
	4	0	0	0	
	5	0	0	0	
	6	0	0	0	

(三) 攀葉行為與競爭行為

蓋斑鬥魚的領域性強，是一種具有明顯競爭行為的魚類。基於飼養觀察經驗，我們懷疑鬥魚攀葉行為與競爭行為有關。因此我們設計了三個實驗，分別是一隻魚(對照組)、一大魚一小魚(混養)、二大魚二小魚(混養)，利用 AI 監測系統觀察期間的鬥魚攀葉行為的次數與停留時間，再輔助縮時攝影與實際觀察記錄競爭行為。

(四) 葉片特徵與攀葉行為

飼養蓋斑鬥魚的過程我們發現葉片的吃水深度似乎會影響鬥魚攀葉行為，因此我們安排了不同吃水深度的葉片觀察攀葉行為的差異。

另外訪問販賣有「鬥魚休息室」的人工葉片，為了解人工葉片是否會影響鬥魚的攀葉行為我們也自製了人工葉片進行攀葉行為實驗。人工葉片使用與天然葉片顏色相近的資料夾剪切而成，資料夾成分為聚氯乙烯(PVC)，在水中表面較天然葉片光滑。

伍、研究結果與討論

一、蓋斑鬥魚攀葉行為監測記錄

為了解蓋斑鬥魚攀葉行為的原因，我們利用本研究自行開發之蓋斑鬥魚 AI 攀葉行為監測系統進行資料之收集。

實驗採逐日收集資料的方式，每日傍晚進行一次資料收集備份，並改換實驗條件進行下一組實驗，各組實驗監測時間皆大於 20 小時。實驗過程水溫介於 18.9~20.6°C。

每一組實驗開始前，會先進行 AI 監測系統的測試校正。開啟監測系統後，收集蓋斑鬥魚爬上葉片與離開葉片的時間，並以此計算出現攀葉行為的次數與攀葉停留時間。

由於蓋斑鬥魚可能「路過」葉片，而此時 AI 監測系統也會敏銳地記錄下「路過」的歷程。為了解決這個問題，我們僅收集鬥魚上、下葉時間大於二分鐘的數據，亦指本研究定義的攀葉行為是蓋斑鬥魚攀上葉片後停留大於二分鐘的時間。

另外，透過縮時錄影資料，我們發現部分蓋斑鬥魚會以葉片為中心在周圍遊動 (Ø120 mm)，領域範圍如圖 19 所示。



圖 19 鬥魚以葉片為中心的領域行為(Ø120 mm)

實驗一、獨居實驗(人工葉片，吃水 1 cm)

為了解蓋斑鬥魚是否會在獨居情形下攀上人工葉片，我們在六個水缸中採一缸一魚的方式觀察，水缸中央放置一片人工葉片，葉片沉於水下，葉片基部距水面 1cm，AI 監測數據如表 2 所示。

研究結果顯示：

1. 六個水缸中有三個水缸出現攀葉行為，第 4、6 缸僅出現一次。第 3 缸出現次數極多，有 14 次攀葉行為記錄。
2. 第 4、6 水缸中的大魚皆出現領域行為，會躲在葉片下。
3. 第 6 缸大魚曾出現一次攀葉行為(16 分鐘)。
4. 小魚並無出現領域行為。

表 2 獨居實驗(人工葉片，吃水 1 cm)

實驗組編號	監測時間	攀葉次數	平均停留時間	最長停留時間	領域行為	行為觀察描述
實驗條件 • 鬥魚數量：一缸 1 尾 • 平均水溫：20.6°C • 葉片條件：人工葉片、吃水 1 cm						
1	23:36:59	0	0:00:00	0:00:00	X	<ul style="list-style-type: none"> • 觀察對象為小魚。 • 無固定領域，沿水缸周圍游動。
2	23:55:04	0	0:00:00	0:00:00	X	<ul style="list-style-type: none"> • 觀察對象為小魚。 • 無固定領域，沿水缸周圍游動。
3	23:24:43	14	0:33:00	1:40:42	X	<ul style="list-style-type: none"> • 觀察對象為小魚。 • 出現積極攀葉行為，但人工葉片較滑，滑下來次數較多。滑下來後，會在葉片周圍游動，積極嘗試攀葉。
4	23:57:42	1	0:04:26	0:04:26	O	<ul style="list-style-type: none"> • 觀察對象為大魚。 • 以葉片周圍為領域游動。
5	23:48:35	0	0:00:00	0:00:00	X	<ul style="list-style-type: none"> • 觀察對象為大魚。 • 無固定領域，沿水缸周圍不停游動。
6	23:39:00	1	0:16:03	0:16:03	O	<ul style="list-style-type: none"> • 觀察對象為大魚。 • 以葉片周圍為領域游動。 • 曾出現一次攀葉行為，停留 16 分鐘。

實驗二、獨居實驗(天然葉片，吃水 1 cm)

為了解蓋斑鬥魚是否會在獨居情形下攀上天然葉片，我們在六個水缸中採一缸一魚的方式觀察，水缸中央放置一片天然葉片，葉片沉於水下，葉片基部距水面 1 cm，AI 監測數據如表 3 所示。

研究結果顯示：

1. 六個水缸中僅第 3 缸出現攀葉行為，同樣是第三缸的小魚出現攀葉行為次數最多，但這階段次數僅有三次，且都發生在開始監測前 50 分鐘。由於本實驗接續在實驗一後，判斷是因為長時間水中無大魚出現，所以攀葉行為減少。
2. 水缸 4、5、6 中之鬥魚皆出現領域行為，會躲在葉片下，以葉片為中心在周圍游動(Ø120 mm)。
3. 大魚皆具有明顯領域行為，小魚無領域行為。

表 3 獨居實驗(天然葉片，吃水 1 cm)

實驗組編號	監測時間	攀葉次數	平均停留時間	最長停留時間	領域行為	行為觀察描述
實驗條件 • 鬥魚數量：一缸 1 尾 • 平均水溫：19.5°C • 葉片條件：天然葉片、吃水 1 cm						
1	22:45:20	0	00:00:00	00:00:00	X	<ul style="list-style-type: none"> • 觀察對象為小魚。 • 無固定領域，四處游動
2	22:47:06	0	00:00:00	00:00:00	X	<ul style="list-style-type: none"> • 觀察對象為小魚 • 無固定領域，四處游動
3	22: 49:11	3	0:12:21	0:21:07	X	<ul style="list-style-type: none"> • 觀察對象為小魚。 • 無固定領域，四處游動 • 初期，出現三次攀葉行為，監測 50 分鐘後，沒有再出現攀葉行為，大多沿缸壁游動。
4	22:39:25	0	0:00:00	0:00:00	○	<ul style="list-style-type: none"> • 觀察對象為大魚。 • 以葉片周圍為領域游動。
5	22:40:59	0	00:00:00	00:00:00	○	<ul style="list-style-type: none"> • 觀察對象為大魚。 • 以葉片周圍為領域游動。
6	22:43:54	0	00:00:00	00:00:00	○	<ul style="list-style-type: none"> • 觀察對象為大魚。 • 以葉片周圍為領域游動。

實驗三、混養實驗(每缸一大魚一小魚，天然葉片，吃水 1 cm)

為了解蓋斑鬥魚是否會在競爭條件下攀上天然葉片，我們在六個水缸中採一缸一大魚一小魚的方式觀察，水缸中央放置一片天然葉片，葉片沉於水下，葉片基部距水面 1 cm，AI 監測數據如表 4 所示。

研究結果顯示：

1. 混養實驗之小魚出現攀葉行為比例遠高於獨居實驗，推測小魚之攀葉行為可能是在大魚競爭行為下出現積極的「避敵行為」，停留在葉片上的鬥魚會不斷更換位置。(表 5)
2. 其中第 2、3、6 缸之攀葉行為最為明顯，計算攀葉停留時間比例，分別為 36%、46%、92%，以第 6 缸的小魚為例，等於一天有 22 小時都停留在葉片上。
3. 由於葉片吃水較淺(1 cm)，出現攀葉行為的小魚在葉片上會呈現側躺姿勢，在葉片上停留時會不斷的改變姿勢。(表 5)
4. 第 1、5 缸攀葉行為次數明顯較少，由縮時攝影記錄發現大魚有顯著領域行為，會積極追趕接近領域的小魚。小魚則會出現「側移向後動作」，再「直接逃跑」以遠離大魚的攻擊。(表 5)
5. 第 1、5 缸的小魚大多數時間「側躺角落不動」，表現類似假死行為，以躲避大魚的威脅。(表 5)

曾億萍(2011)提到蓋斑鬥魚之成魚在領域競爭時會表現頭尾展示行為(Head-Tail Display, HTD)，強者為「攻擊者」，弱者為「防守者」，HTD 後期會轉成「優勢者」與「服從者」二個角色，服從者會擺動胸鰭，藉此產生向後的推進力離開 HTD 的成對行為。報告也提到 HTD 的過程可避免因激烈打鬥帶來的直接傷害。

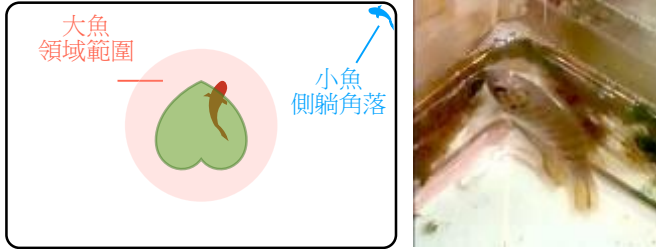
本研究觀察到小魚在避敵時出現「側移向後動作」，與 HTD 中「服從者」的動作相當類似，都會側身、藉胸鰭的擺動出現向後的動作，離開大魚。本研究懷疑小魚這個行為也具有避免大魚直接攻擊帶來傷害的實質意義。

簡單的說，我們認為對攻擊的大魚來說，小魚出現「服從者」的姿態，等於向大魚表示「我認輸！不要再攻擊我了！」的訊息。

表 4 混養實驗(每缸一大魚一小魚，天然葉片，吃水 1 cm)

實驗條件		<ul style="list-style-type: none"> 鬥魚數量：一缸 1 尾大魚、1 尾小魚 平均水溫：19.25°C 葉片條件：天然葉片、吃水 1 cm 				
實驗組編號	監測時間	攀葉次數	平均停留時間	最長停留時間	領域行為	行為觀察描述
1	22:12:00	1	00:06:07	00:06:07	O	<ul style="list-style-type: none"> 明顯競爭行為。 大魚以葉片為領域，會追逐游近的小魚。 小魚大多時間側躺躲在角落，唯一攀葉記錄是被大魚追逐時，攀上葉片躲避。停留 6 分鐘之後，大魚發現小魚在葉片上，再將小魚趕下葉片。
2	22:09:59	36	00:13:23	00:54:55	O	<ul style="list-style-type: none"> 明顯競爭行為。 大魚以葉片為領域，會追逐游近的小魚。甚至會將攀上葉片的小魚趕下來。 小魚出現積極攀葉行為。
3	45:49:04	10	2:05:16	6:10:12	O	<ul style="list-style-type: none"> 明顯競爭行為。 大魚以葉片為領域，會追逐游近的小魚。 小魚出現積極攀葉行為，且停留時間長，側躺在葉片上會更換攀葉姿勢。
4	21:53:30	8	0:08:25	0:21:50	O	<ul style="list-style-type: none"> 明顯競爭行為。 大魚以葉片為領域，會追逐游近的小魚。但不會攻擊葉片上的小魚。 小魚曾出現攀葉行為，也會在水缸內四處遊動。
5	21:07:06	3	0:13:58	0:22:58	O	<ul style="list-style-type: none"> 明顯競爭行為。 大魚以葉片為領域，會追逐游近的小魚。 小魚大多在角落停留，身體側躺歪斜完全不動。
6	46:14:56	10	4:14:29	13:08:13	O	<ul style="list-style-type: none"> 明顯競爭行為。 大魚以葉片為領域，常躲在葉片下不動，大魚會試圖攻擊葉片上的小魚，由於葉片較淺，大魚無法順利攻擊。 小魚攀葉技巧佳，出現積極攀葉行為，停留時間極長，出現連續停留時間 13 小時的紀錄，側躺在葉片上會持續更換攀葉姿勢。

表 5 蓋斑鬥魚受到威脅時出現的四種避敵行為

避敵行為種類	說明
側移向後動作 (避敵過程行為)	<p>小魚在避敵時會出現「側移向後動作」，與文獻中提到的 HTD 中「服從者」的動作一致，都會藉胸鰭的擺動出現向後的動作，離開大魚。</p> <p>通常出現「側移向後動作」的小魚，最後都會在水缸角落側躺不動。</p> 
直接逃跑 (避敵過程行為)	<p>小魚在避敵過程會「直接逃跑」，追逐過程會不斷改變方位，且會積極嘗試攀葉。本研究多次觀察到小魚是在被追逐後，直接攀上葉片。</p> 
側躺角落不動 (消極避敵)	<p>無法順利攀葉的鬥魚會以水缸角落作為避敵區域，側躺、完全不動，表現類似假死行為。</p> 
攀葉行為 (積極避敵)	<p>鬥魚會攀上葉片，躲避大魚的威脅。因葉片吃水較淺，鬥魚會以側躺方式停留葉片。</p> <p>停留過程會不斷改變位置。</p> 

實驗四、混養實驗(每缸一大魚一小魚，人工葉片，吃水 1 cm)

為了解蓋斑鬥魚是否會在競爭條件下攀上人工葉片，我們在六個水缸中採一缸一大魚一小魚的方式觀察，水缸中央放置一片人工葉片，葉片沉於水下，葉片基部距水面 1 cm，AI 監測數據如表 6 所示。

研究結果顯示：

1. 從天然葉片更換人工葉片後，蓋斑鬥魚的攀葉行為依然明顯。
2. 但是人工葉片葉面材質較滑，小魚在更換姿態時，容易從葉片上滑下。觀察攀葉行為最顯著的小魚，其最長攀葉停留時間也明顯縮短，以第 6 缸為例，小魚的最長攀葉停留時間就由 13 小時降為 9 小時。第 3 缸的最長攀葉停留時間也 6 小時降為 2.5 小時。
3. 另外較滑的葉片也較容易因為大魚的侵擾，小魚滑離葉片。而小魚選擇躲在牆角表現避敵的情形更為顯著(圖 20)。

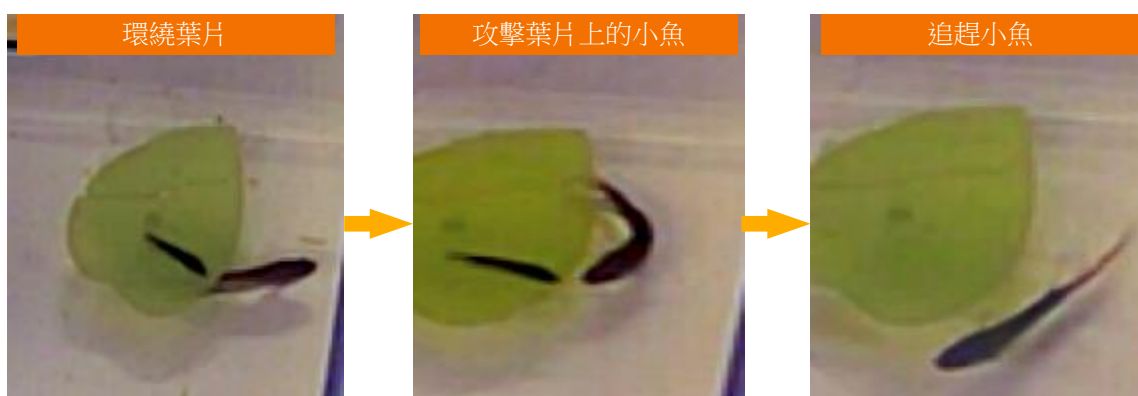


圖 20 大魚侵擾人工葉片上的小魚(侵擾三部曲)

表 6 混養實驗(每缸一大魚一小魚，人工葉片，吃水 1 cm)

實驗條件						
實驗組編號	監測時間	攀葉次數	平均停留時間	最長停留時間	領域行為	行為觀察描述
<ul style="list-style-type: none"> 鬥魚數量：一缸 1 尾大魚、1 尾小魚 平均水溫：20°C 葉片條件：人工葉片、吃水 1 cm 						
1	46:16:22	1	00:02:11	00:02:11	O	<ul style="list-style-type: none"> 明顯競爭行為。 大魚以葉片為領域，會追逐游近的小魚。 小魚在角落停留，身體側躺歪斜完全不動。
2	46:27:24	3	00:32:57	01:24:11	O	<ul style="list-style-type: none"> 明顯競爭行為。 大魚以葉片為領域，會追逐游近的小魚。甚至會將攀上葉片的小魚趕下來。 小魚出現積極攀葉行為，但人工葉片較滑，攀葉過程較不順利。
3	23:28:58	29	00:33:23	02:31:03	O	<ul style="list-style-type: none"> 明顯競爭行為。 大魚以葉片為領域，會追逐游近的小魚。甚至會將攀上葉片的小魚趕下來。 小魚出現積極攀葉行為，但容易因大魚侵擾滑下葉片。
4	46:02:12	3	0:07:24	0:17:39	O	<ul style="list-style-type: none"> 明顯競爭行為。 大魚以葉片為領域，會追逐游近的小魚。但不會攻擊葉片上的小魚。 小魚曾出現攀葉行為，也會曾停在水缸角落，或在水缸內四處遊動。
5	46:29:41	9	00:14:37	01:03:17	O	<ul style="list-style-type: none"> 明顯競爭行為。 大魚有時攻擊小魚，會沿水缸周圍游動。 小魚會出現攀葉行為，也會停在水缸角落，在角落時身體側躺歪斜完全不動。
6	23:05:44	22	00:57:43	09:07:23	O	<ul style="list-style-type: none"> 明顯競爭行為。 大魚以葉片為領域，常躲在葉片下不動，大魚會試圖攻擊葉片上的小魚，由於葉片吃水較淺，大魚無法順利攻擊。 小魚攀葉技巧佳，出現積極攀葉行為，停留時間極長，側躺在葉片上會更換攀葉姿勢，常因大魚干擾滑下葉片。追逐後，再重新攀葉。

實驗五、混養實驗(每缸一大魚一小魚，天然葉片，吃水 1.5 cm)

為了解蓋斑鬥魚在競爭條件下攀上吃水較深的葉片的情形，本實驗將葉片吃水深度增加 0.5 cm(約一隻小型鬥魚體高)。我們在六個水缸中採一缸一大魚一小魚的方式觀察，水缸中央放置一片天然葉片，葉片沉於水下，葉片基部距水面 1.5 cm，AI 監測數據如表 7 所示。

研究結果顯示：

1. 吃水較深的葉片有利於小魚攀葉，小魚不必以側躺方式平躺葉片上，但仍會不斷更改攀葉姿態。(圖 21)
2. 吃水較深的葉片對小魚來說較不安全，大魚會更容易攀上葉片，小魚被趕下來的次數更多。以第 6 缸為例因為小魚被趕下來的次數變多，所以攀葉次數也明顯增加(10→33)，停留時間也大幅減少。
3. 另外我們也觀察到小魚反而減少攀葉行為次數，第 3 缸中的大魚因為頻繁上葉侵擾小魚，因此小魚改逃到「角落側躺不動」，攀葉行為次數也由(10→4)。
4. 簡單的說，大魚的侵擾行為，直接影響到攀葉行為的次數。第 1、2、4、5 缸的小魚都因為無法攀葉而側躺在角落。

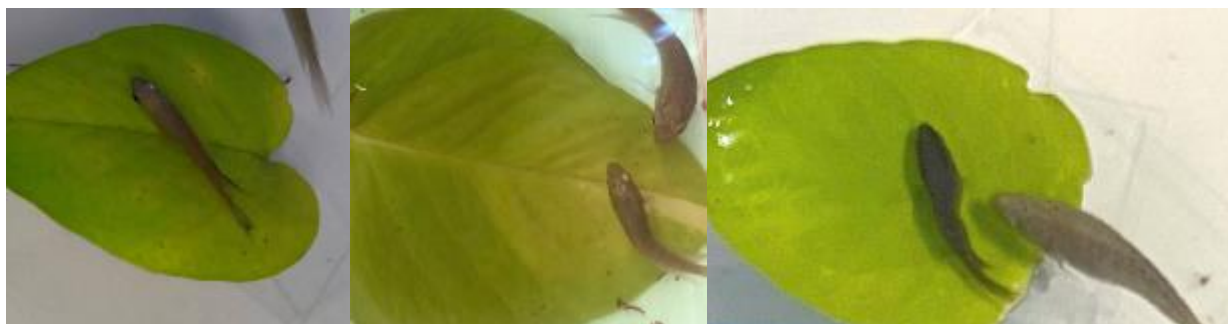


圖 21 吃水較深的葉片有利於小魚攀葉，但容易受到大魚侵擾

表 7 混養實驗(每缸一大魚一小魚，天然葉片，吃水 1.5 cm)

實驗條件						
實驗組編號	監測時間	攀葉次數	平均停留時間	最長停留時間	領域行為	行為觀察描述
<ul style="list-style-type: none"> 鬥魚數量：一缸 1 尾大魚、1 尾小魚 平均水溫：18.9°C 葉片條件：天然葉片、吃水 1.5 cm 						
1	46:23:53	0	0:00:00	0:00:00	O	<ul style="list-style-type: none"> 明顯競爭行為。 大魚以葉片為領域，會追逐游近小魚。 小魚在角落停留，身體側躺歪斜完全不動。
2	46:36:43	27	00:14:26	01:37:38	O	<ul style="list-style-type: none"> 明顯競爭行為。 大魚以葉片為領域，會追逐游近的小魚。甚至會將攀上葉片的小魚趕下來。 小魚會積極攀葉，由於葉片吃水較深，常因大魚侵擾而滑下葉片。追逐後，再重新攀葉。
3	46:36:20	4	00:09:18	00:15:40	O	<ul style="list-style-type: none"> 明顯競爭行為。 大魚以葉片為領域，會追逐游近的小魚。甚至會將攀上葉片的小魚趕下來。 小魚在角落停留，身體側躺歪斜完全不動。
4	32:08:22	2	00:16:50	00:19:20	O	<ul style="list-style-type: none"> 明顯競爭行為。 大魚以葉片為領域，會追逐游近的小魚。甚至會將攀上葉片的小魚趕下來。 小魚在角落停留，身體側躺歪斜完全不動。
5	46:13:43	2	00:06:24	00:09:44	O	<ul style="list-style-type: none"> 明顯競爭行為。 大魚以葉片為領域，會追逐游近小魚。 小魚攀葉技巧差，大多在角落停留，身體側躺歪斜完全不動。
6	46:36:20	33	00:25:02	2:42:35	O	<ul style="list-style-type: none"> 明顯競爭行為。 大魚以葉片為領域，會追逐游近的小魚。甚至會將攀上葉片的小魚趕下來。 小魚攀葉技巧佳，出現積極攀葉行為，由於葉片吃水較深，容易被大魚侵擾而滑下葉片。但追逐後，再重新攀葉。

實驗六、混養實驗(每缸二大魚二小魚，天然葉片，吃水 1 cm)

本實驗增加每一缸中的個體數量，觀察在更多競爭者的情況下，蓋斑鬥魚攀上天然葉片的情形，我們在四個水缸中採取一缸中二大魚二小魚的方式觀察，水缸中央放置一片天然葉片，葉片沉於水下，葉片基部距水面 1 cm，AI 監測數據如表 8 所示。

研究結果顯示：

1. 混養個體數由一大一小增為二大二小，共四隻，攀葉行為次數明顯大增。(每日平均 10 次→22 次)
2. 蓋斑鬥魚會在競爭行為中出現一名「優勢者」，其餘皆為「服從者」，而服從者皆表現出前述各種避敵行為，有趣的是服從者們會攀上同一片葉片。(圖 22)
3. 競爭失利成為服從者的大魚很少出現攀葉行為，推測是因為大魚因體型較大，無法在有明顯領域行為的優勢者看守下，順利攀葉，所以大部分改在角落側躺不動(消極避敵行為)。
4. 由第三缸的實驗組可以發現，大魚在競爭行為中，若勢均力敵，則優勢者的角色會隨時更換，二隻大魚會不斷爭奪葉下的領域空間。魚缸中的小魚也會受到影響，無法順利攀葉。(圖 23)

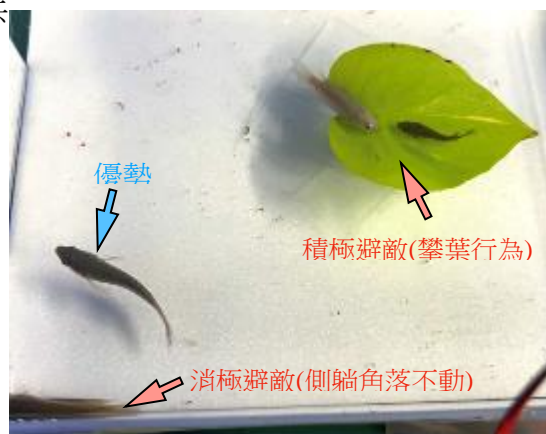


圖 22 積極避敵 vs 消極避敵。



圖 23 競爭時表現的頭尾展示行為

表 8 混養實驗(每缸二大魚二小魚，天然葉片，吃水 1 cm)

實驗組編號	監測時間	攀葉次數	平均停留時間	最長停留時間	領域行為	行為觀察描述
1	24:04:27	18	01:08:21	04:56:09	O	<ul style="list-style-type: none"> • 明顯競爭行為。 • 優勢者：葉片為領域，追逐游近葉片的鬥魚。 • 服從者：攀葉技巧較佳的小魚積極攀葉，一大魚、一小魚角落側躺。
2	24:03:30	27	00:26:48	03:23:44	O	<ul style="list-style-type: none"> • 明顯競爭行為。 • 優勢者：葉片為領域，追逐游近葉片鬥魚。 • 服從者：二隻小魚皆積極攀葉，共享避敵空間，一大魚角落側躺。

實驗條件	<ul style="list-style-type: none"> 鬥魚數量：一缸 2 尾大魚、2 尾小魚 平均水溫：20.6°C 葉片條件：天然葉片、吃水 1 cm 					
實驗組編號	監測時間	攀葉次數	平均停留時間	最長停留時間	領域行為	行為觀察描述
3	24:03:58	1	00:04:40	00:04:40	O	<ul style="list-style-type: none"> 明顯競爭行為。 優勢者：二隻大魚勢均力敵，爭奪葉片下的地盤。優勢者角色互換。 服從者：因大魚競爭激烈，無暇顧及二隻小魚，小魚無出現角落側躺的避敵行為。葉片周圍為大魚主要競爭範圍，因此小魚難以靠近葉片，無法攀葉。
4	24:03:42	44	00:24:15	02:38:37	O	<ul style="list-style-type: none"> 明顯競爭行為。 優勢者：以葉片為領域，會追逐游近葉片的鬥魚。會出現侵擾葉片上小魚的行為。 服從者：二隻小魚皆積極攀葉，共享避敵空間，一大魚角落側躺。

綜合分析：

由於本研究各實驗組監測時間有所差異，為能互相比較，將監測數據進行比例之換算數據如下表所示：

表 9 蓋斑鬥魚攀葉行為 AI 監測系統監測結果

平均攀葉次數(次/日)	no1	no2	no3	no4	no5	no6	平均值
獨居(天然葉)	0	0	3	0	0	0	1
獨居(人工葉)	0	0	14	1	0	1	3
混養(一大一小、天然葉)	1	39	5	9	3	5	10
混養(一大一小、人工葉)	1	2	30	2	5	23	10
混養(一大一小、天然葉、水深)	0	14	2	1	1	17	6
混養(二大二小、天然葉片)	18	27	1	44	-	-	22

平均攀葉停留時間(小時/日)	no1	no2	no3	no4	no5	no6	平均值
獨居(天然葉)	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.1
獨居(人工葉)	0.0	0.0	7.9	0.1	0.0	0.3	1.4
混養(一大一小、天然葉)	0.1	8.7	10.9	1.2	0.8	22.0	7.3
混養(一大一小、人工葉)	0.0	0.9	16.5	0.2	1.1	22.0	6.8
混養(一大一小、天然葉、水深)	0.0	3.3	0.3	0.4	0.1	7.1	1.9
混養(二大二小、天然葉片)	20.4	12.0	0.1	17.7	-	-	12.6

攀葉時間比例(%)	no1	no2	no3	no4	no5	no6	平均值
獨居(天然葉)	0	0	3	0	0	0	0.5
獨居(人工葉)	0	0	33	0	0	1	5.7
混養(一大一小、天然葉)	0	36	46	5	3	92	30.4
混養(一大一小、人工葉)	0	4	69	1	5	92	28.2
混養(一大一小、天然葉、水深)	0	14	1	2	0	30	7.8
混養(二大二小、天然葉片)	85	50	0	74	-	-	52.4

二、競爭行為對蓋斑鬥魚攀葉行為之影響

分析結果顯示，攀葉行為次數與魚缸中混養之個體數量呈正比，比較天然葉片、水深 1 cm 的實驗組，攀葉行為次數平均值由小而大排序分別為，獨居(1 次)、一大一小混養(10 次)、二大二小混養(22 次)。

攀葉停留時間也有一樣趨勢，攀葉行為停留時間與魚缸中混養之個體數量呈正比，攀葉停留時間比例平均值由小而大排序分別為，獨居(0.5%)、一大一小混養(30.40%)、二大二小混養(52.38%)。

由綜合分析資料可發現，蓋斑鬥魚個體的競爭行為會增加攀葉行為的次數。通常競爭行為後產生的弱者(服從者)會出現多種避敵行為，而攀葉行為是避敵行為的首選。葉片上是相對安全的避敵空間，因此本研究判斷攀葉行為是為積極性的避敵行為。

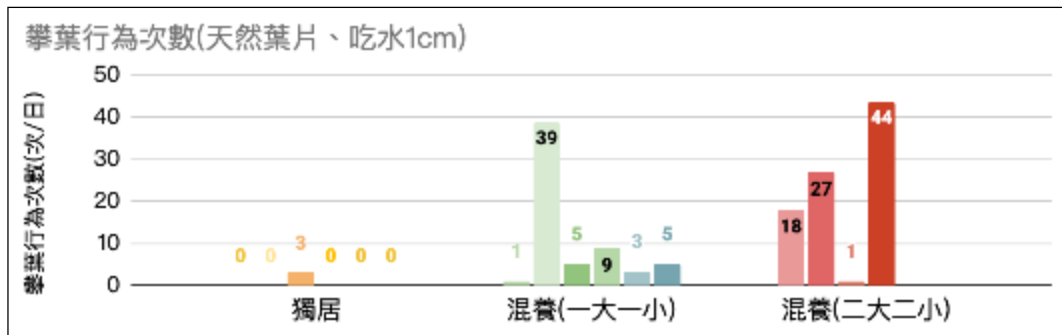


圖 24 競爭行為對蓋斑鬥魚攀葉行為之影響(攀葉次數)

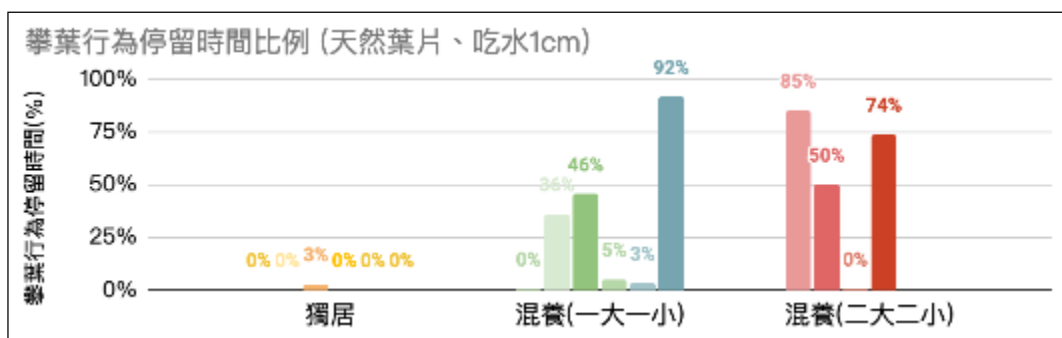


圖 25 競爭行為對蓋斑鬥魚攀葉行為之影響(攀葉停留時間比例)

三、葉片特徵對蓋斑鬥魚攀葉行為之影響

(一) 葉片吃水深度與蓋斑鬥魚攀葉行為之影響

分析結果顯示，葉片吃水深度會間接影響攀葉次數與停留時間，影響情況有以下三種：

1. 積極攀葉(第 6 缸)：

吃水深度增加會讓大魚會較容易侵擾葉片上的小魚。但被趕下來後，會再積極嘗試攀葉，所以攀葉次數會增加，而停留時間會減少。

2. 不積極攀葉(第 2、3、4、5 缸)

吃水深度增加會讓大魚會較容易侵擾葉片上的小魚，被趕下來後，不再積極攀葉。小魚改到水缸角落側躺不動，表現消極的避敵策略。所以吃水加深會讓攀葉次數減少，停留時間也減少。

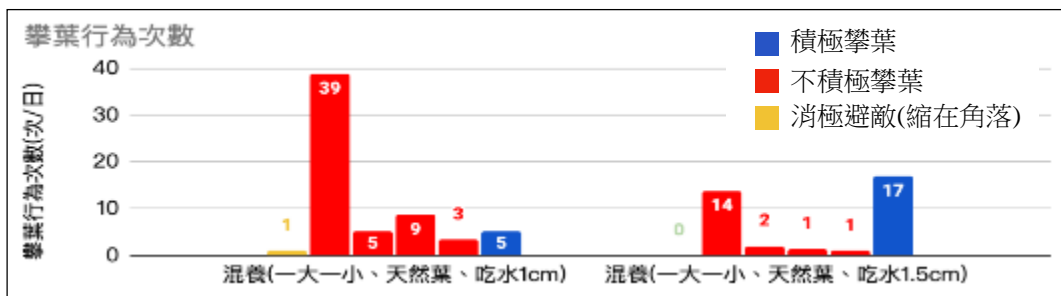


圖 26 葉片吃水深度對蓋斑鬥魚攀葉行為之影響(攀葉次數)

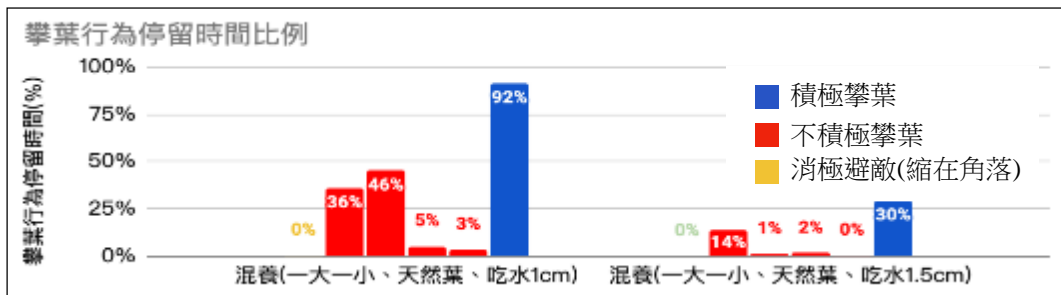


圖 27 葉片吃水深度對蓋斑鬥魚攀葉行為之影響(攀葉停留時間比例)

(二) 葉片材質實驗與蓋斑鬥魚攀葉行為之影響

人工葉片材質較滑，對於攀葉技巧較差的小魚會影響很大，甚至放棄攀葉，改躲在角落避敵。典型的例子如第 2 缸，攀葉次數由天然葉片換為人工葉片後，每日平均攀葉次數由 39 次下降為 2 次。

但是對於攀葉技巧佳的小魚，例如第 6 缸，不管是天然葉片還是人工葉片其停留時間沒有顯著差異，一天中皆有高達 92% 的時間都在葉片上。但攀葉次數卻有極大差異。小魚因為容易滑下來所以攀葉次數大增(每日平均 5 次→23 次)。

由此可見，表面光滑的人工葉片對鬥魚增加了攀葉行為的難度，但攀葉技巧佳者，影響較小。

另外，飼養過程也發現剛孵化的仔魚及混養的成魚不管大小對於攀爬的物體並無特別喜好，只要是能漂浮在水面的平台，皆有明顯的攀爬行為，共享平台。

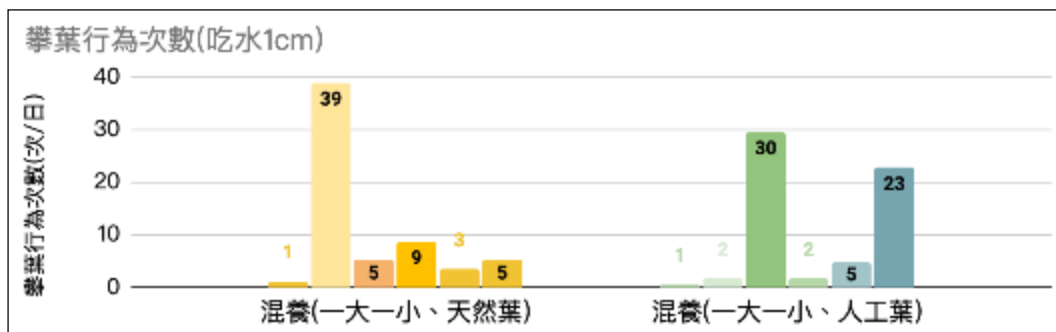


圖 28 葉片材質對蓋斑鬥魚攀葉行為之影響(攀葉次數)

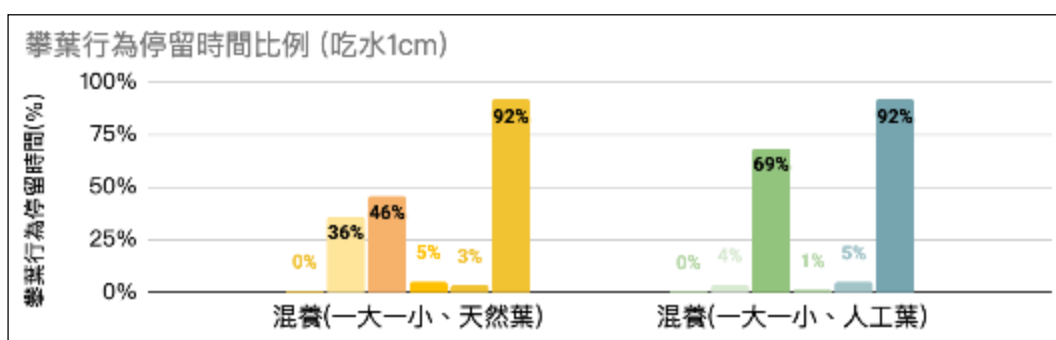


圖 29 葉片材質對蓋斑鬥魚攀葉行為之影響(攀葉停留時間比例)



圖 30 不同種類的漂浮物皆可能變成蓋斑鬥魚的避敵空間。

陸、結論

以下為本研究根據研究結果提出之結論：

1. 本研究發展的「蓋斑鬥魚攀葉行為 AI 監測系統」，可準確、穩定收集到攀葉行為資訊，並直接提供研究數據。
2. 蓋斑鬥魚的領域行為在大魚較明顯，小魚較無明顯領域行為。
3. 同一水缸只要有二隻蓋斑鬥魚以上就會出現競爭行為，相較於獨居的情形，攀葉行為會因為競爭行為而增加。
4. 競爭行為中的弱者(服從者)，會出現避敵行為，本研究觀察到「側移向後動作」、「直接逃跑」、「側躺角落不動」與「攀葉行為」四種。
競爭時，弱者在遠離強者時會出現「側移向後動作」再「直接逃跑」，若逃到「側躺角落不動」，有可能繼續被攻擊，所以「攀葉行為」是避敵行為中最安全的選項。(圖 31)
5. 競爭行為中的強者，攻擊情形越積極，弱者會越積極地嘗試攀葉。
但在強者以葉片作為領域時，弱者會因為無法進入領域，無法攀上葉片，而改為「角落側躺不動」的避敵行為。(圖 31)

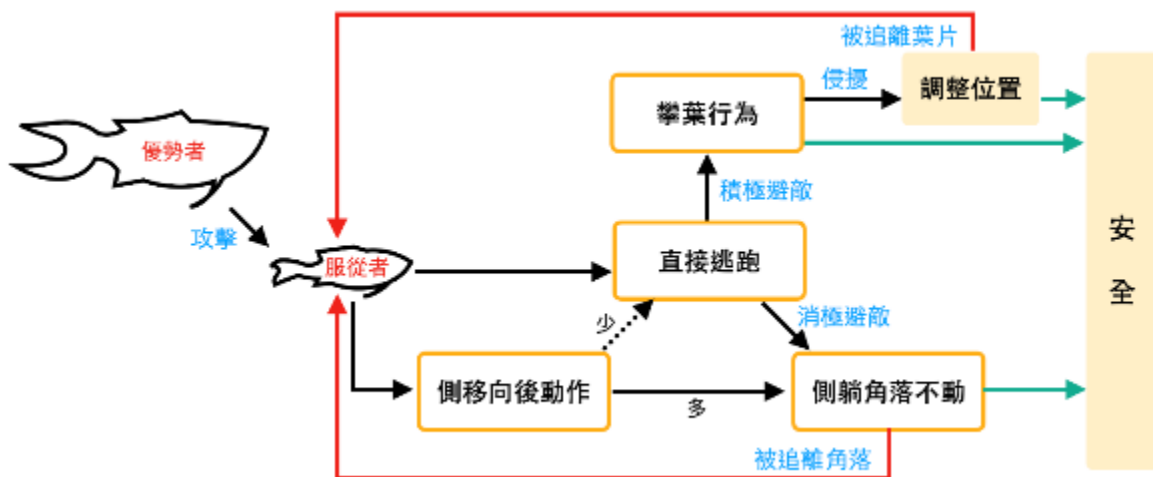


圖 31 蓋斑鬥魚(服從者)避敵行為模式

6. 葉片的深度決定了避敵空間的安全性。較淺的葉片由於大魚不容易爬上去，所以小魚待在葉片上較安全。
7. 葉片的材質不影響蓋斑鬥魚表現攀葉行為，但會影響鬥魚在葉片上停留的過程。聚氯乙烯(PVC)材質的人工葉片在水中表面較滑，鬥魚在改變姿態時，容易滑落。

柒、未來展望

1. 本研究開發之蓋斑鬥魚攀葉行為 AI 監測系統具有很大的應用潛力，值得進一步研發。
2. 研究之初曾猜測「蓋斑鬥魚攀上沒有保護色的葉片可能容易被天敵發現」，值得進一步探討，野外的蓋斑鬥魚是否會因為攀葉行為，增加被天敵捕食的機會。

捌、參考文獻資料

1. Chu, J. (2020 年 6 月 15 日)。[Arduino 範例] DS1302 時鐘模組快速上手。檢自 <https://blog.jmaker.com.tw/ds1302/>。
2. 朱芳琳、凌惠玲等(2023)。自然與生活科技(第 2 冊)：生物間的互動關係(頁 126)。臺南市：翰林出版社。
3. 曾億萍(2011)。蓋斑鬥魚頭尾展示的行為模式與生物力學探討。中興大學碩士論文，臺中市。
4. 詹見平、吳世能(1994)。蓋斑鬥魚生態與復育。大甲溪生態環境維護協會。
5. 詹見平(2009)。蓋斑鬥魚。臺北市：親親文化。

【評語】 030301

優點：

此研究為利用 AI 監測系統觀察蓋斑鬥魚的生活型態（獨居、競爭）來探討攀葉行為。每種狀態下的鬥魚行為描述非常清楚，是一個有趣的研究，以 AI 技術輔助科學研究，讓耗時費力的動物行為觀測，得以更精確被記錄，提高研究可靠性，未來具有發展潛力。學生對蓋斑鬥魚攀葉行為進行詳細觀察和分析，增加對此行為的了解。利用所開發的 AI 監測系統能夠準確地收集攀葉行為的數據。

建議及檢討：

1. 實驗鬥魚的隻數有限，影響實驗結果判斷，且應說明性別隻數。
2. 在以圖表標示實驗結果時，圖說文字應明確指出要觀察哪張圖表
3. AI 監測系統的開發有助於數據收集，仍存在技術和方法的限制，
另外，訓練模組應以實際照片為主，而非合成照片。
4. 模組建立過程中應適時將人力觀察與 AI 監測之結果進行比對，以更確立 AI 分析快速準確之優勢。另此次在實驗三、四、五中出現

不一致的監測時間，以致在圖 24-29 當中的實驗結果需經過時間校正才得以呈現，但此作法並不妥當，因為監測時間的長短與動物行為之關係並非線性關係。

5. 若攀葉行為是一種避敵行為，則可測試攀葉魚從弱者轉變為強者時，攀葉行為是否隨之消失。
6. 此研究未對蓋斑鬥魚攀葉行為的生態和演化的相關探討，此部分可以再深入探討。

作品海報

The background is a light teal color with stylized illustrations of fish and leaves. There are four silver screws in the corners. The text is in a bold, blue, sans-serif font with a white outline.

AI監測技術追蹤 蓋斑鬥魚攀葉行為之研究

壹 摘要

我們觀察到蓋斑鬥魚會攀爬到漂浮水面的葉片，這獨特行為引起我們的興趣。為探討蓋斑鬥魚攀葉行為，開發「鬥魚攀葉行為AI監測系統」，可準確、穩定地收集攀葉行為歷程，並直接提供研究數據。我們探討了不同因素對攀葉行為之影響，包括：競爭者數量與葉片條件等。

研究結果顯示，**蓋斑鬥魚間的競爭行為是影響攀葉行為的重要因素**。競爭後，弱者會有兩種不同的避敵行為，一是積極攀葉，二是消極側躺在角落不動。此外，當鬥魚攀附在吃水較淺的葉片上時，需要以側躺姿勢攀附，但這也是一個相對安全的避敵空間。我們曾記錄到一天高達92%的攀葉時間。

本研究找到了蓋斑鬥魚攀葉行為的原因，提出競爭後的弱者避敵模式，也為動物行為監測技術提供了一個可能性。

貳 研究動機



圖1 蓋斑鬥魚攀上葉片的網誌



圖2 鬥魚休息室 (水族用品)

參 研究目的

- 一、蓋斑鬥魚攀葉行為觀察。
- 二、蓋斑鬥魚競爭行為觀察。
- 三、探討葉片條件對於鬥魚攀葉行為之影響。

肆 研究流程及方法

一、研究架構圖

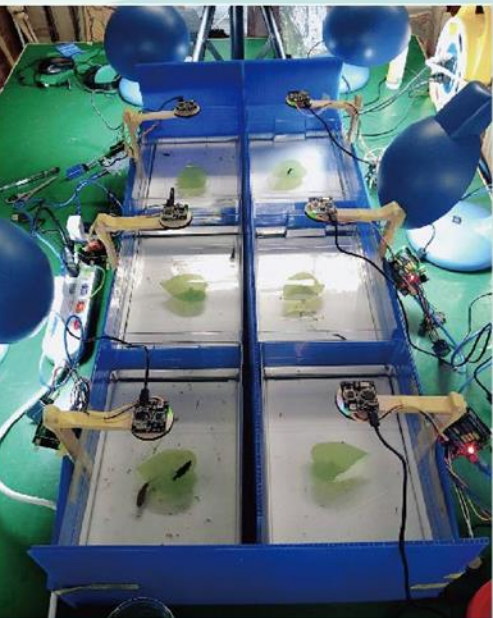


圖3 「蓋斑鬥魚攀葉行為AI監測系統」與攀葉行為觀察設備(共六套)

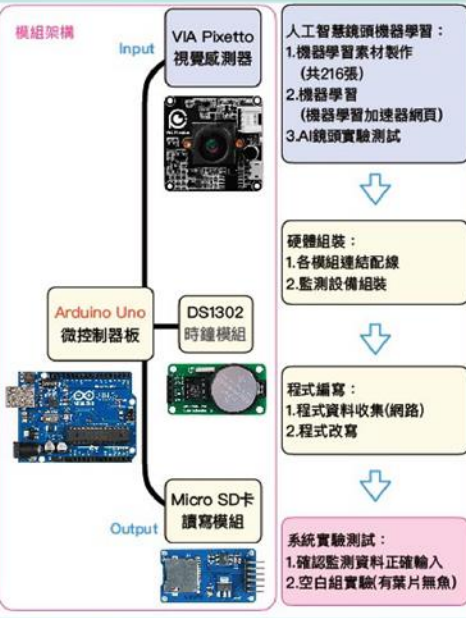


圖4 蓋斑鬥魚攀葉行為AI監測系統建立流程

二、研究方法

(一) 蓋斑鬥魚攀葉行為AI監測系統建置

1. 人工智慧鏡頭機器學習流程：
 - (1) 學習素材製作

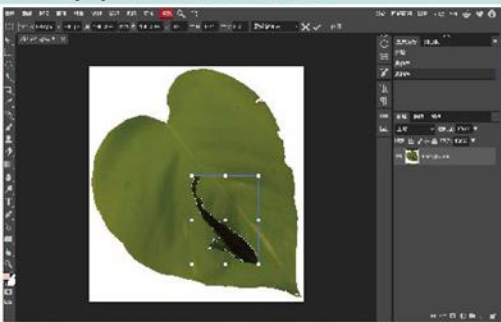


圖6 機器學習素材示意圖 (fish、leaf 共216張)

(2) AI鏡頭機器學習



圖7 神經網路模型架構與機器學習訓練結果

(3) AI鏡頭辨識準確率測試



圖8 機器學習測試用照片



圖9 Pixetto AI 鏡頭實驗測試畫面

2. 硬體組裝：

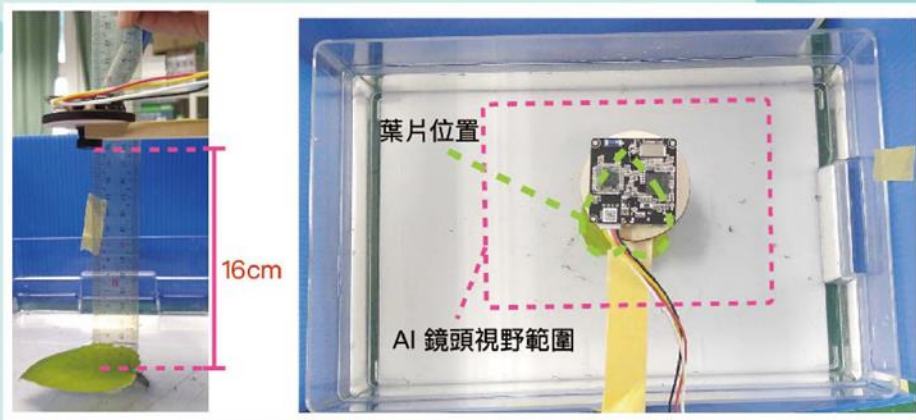


圖10 鬥魚攀葉行為AI監測設備設定參數

3. 程式編寫：

- (1) 程式資料收集
- (2) 程式改寫
 - 主要改寫的部分有以下三部分：
 - a. 更改模組函式庫：包含A I 鏡頭的函式(Pixetto.h)、DS1302時鐘模組函式(RtcDS1302.h)。
 - b. 修改腳位：將模組腳位修改為AI監測系統各元件使用的腳位。
 - c. 以Pixetto Junior 積木程式，編寫接受A I 鏡頭訊號的程式，取得原始編碼後併入改寫程式。

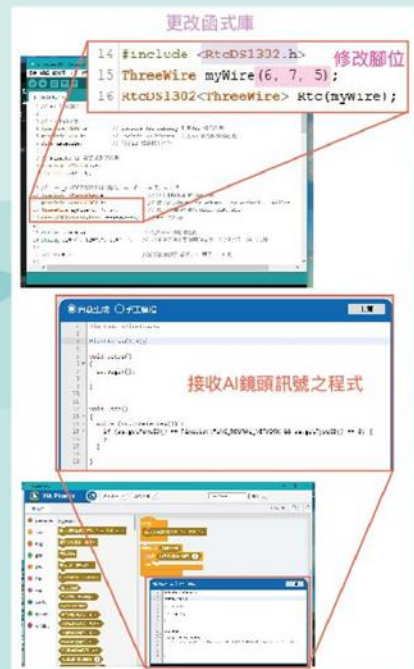


圖11 AI監測系統程式編寫

4. 監測系統穩定性測試：

- (1) 確認監測資料正確輸入
- (2) 空白實驗
 - 六組空白對照組，皆無鬥魚攀葉行為資料，運作正常。
- (二) 攀葉行為與競爭行為
 - 我們設計了三個實驗，分別是一隻魚(對照組)、一大魚一小魚(混養)、二大魚二小魚(混養)，利用AI監測系統觀察攀葉行為的次數與停留時間，再輔助縮時攝影與實際觀察記錄競爭行為。
- (三) 葉片特徵與攀葉行為
 - 飼養蓋斑鬥魚的過程我們發現葉片的吃水深度似乎會影響鬥魚攀葉行為，因此安排不同吃水深度的葉片觀察攀葉行為的差異。



圖12 蓋斑鬥魚攀葉行為AI監測系統測試

伍 研究結果及討論

一、蓋斑鬥魚攀葉行為監測記錄

每日傍晚進行一次資料收集備份，並改換實驗條件進行下一組實驗，各組監測時間皆大於20小時。實驗過程水溫介於18.9~20.6°C。

收集蓋斑鬥魚爬上葉片與離開葉片的時間，並以此計算出現攀葉行為的次數與攀葉停留時間，本研究定義的攀葉行為是蓋斑鬥魚攀上葉片後停留大於二分鐘的時間。

另外，透過縮時錄影資料，我們發現部分蓋斑鬥魚會以葉片為中心在周圍遊動(φ 120 mm)，領域範圍如圖13所示。

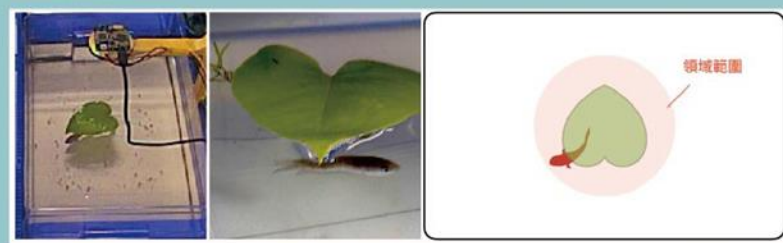


圖13 鬥魚以葉片為中心的領域行為(φ 120 mm)

實驗一、獨居實驗(人工葉片, 吃水1 cm)

六個水缸中有三個水缸出現攀葉行為, 第4、6缸僅出現一次。第3缸出現次數極多, 有14次攀葉行為記錄。

表1 獨居實驗(人工葉片, 吃水1 cm)

Table with 6 columns: 實驗組編號, 監測時間, 攀葉次數, 平均停留時間, 最長停留時間, 領域行為. 6 rows of data.

實驗二、獨居實驗(天然葉片, 吃水1 cm)

六個水缸中僅有第3缸出現攀葉行為, 次數僅有三次, 且都發生在開始監測前50分鐘。由於本實驗是接續在實驗一之後, 判斷是因為長時間水中無大魚出現, 所以攀葉行為減少。

表2 獨居實驗(天然葉片, 吃水1 cm)

Table with 6 columns: 實驗組編號, 監測時間, 攀葉次數, 平均停留時間, 最長停留時間, 領域行為. 6 rows of data.

實驗三、混養實驗(每缸一大魚一小魚, 天然葉片, 吃水1 cm)

混養之小魚出現攀葉行為比例遠高於獨居實驗, 推測小魚之攀葉行為可能是「避敵行為」。停留在葉片上的鬥魚會不斷更換位置。另外, 第1、5缸攀葉行為次數明顯較少, 由縮時攝影記錄發現大魚有顯著領域行為, 會積極追趕接近領域的小魚。小魚則會出現「側移向後動作」, 再「直接逃跑」以遠離大魚的攻擊。第1、5缸的小魚大多數時間「側躺角落不動」, 表現類似假死行為, 以躲避大魚的威脅。曾億萍(2011)提到蓋斑鬥魚之成魚在領域競爭時會表現頭尾展示行為(Head-Tail Display, HTD), 強者為「攻擊者」, 弱者為「防守者」, HTD後期會轉成「優勢者」與「服從者」二個角色, 服從者會擺動胸鰭, 藉此產生向後的推進力離開HTD的成對行為, HTD的過程可避免因激烈打鬥帶來的直接傷害。本研究觀察到小魚在避敵時出現「側移向後動作」, 與HTD中「服從者」的動作相當類似, 都會側身、藉胸鰭的擺動出現向後的動作, 離開大魚。本研究懷疑小魚這個行為也有避免大魚直接攻擊帶來傷害的實質意義。簡單的說, 我們認為對攻擊的大魚來說, 小魚出現「服從者」的姿態, 等於向大魚表示「我認輸! 不要再攻擊我了!」的訊息。

表3 混養實驗(每缸一大魚一小魚, 天然葉片, 吃水1 cm)

Table with 6 columns: 實驗組編號, 監測時間, 攀葉次數, 平均停留時間, 最長停留時間, 領域行為. 6 rows of data.

表4 蓋斑鬥魚受到威脅時出現的四種避敵行為

Table with 2 columns: 避敵行為種類, 說明. 4 rows describing behaviors: 側移向後動作, 直接逃跑, 側躺角落不動, 攀葉行為.

實驗四、混養實驗(每缸一大魚一小魚, 人工葉片, 吃水1 cm)

- 1. 攀葉行為依然明顯。
2. 人工葉片葉面材質較滑, 小魚在更換姿態時, 容易從葉片上滑下。
3. 另外較滑的葉片也較容易因為大魚的侵擾, 小魚滑離葉片。而小魚選擇躲在牆角表現避敵的情形更為顯著(圖15)。



圖14 大魚侵擾人工葉片上的小魚(侵擾三部曲)

實驗五、混養實驗(每缸一大魚一小魚, 天然葉片, 吃水1.5 cm)

- 1. 吃水較深的葉片有利於小魚攀葉, 小魚不必以側躺方式平躺葉片上, 但仍會不斷更改攀葉姿態。
2. 吃水較深的葉片對小魚來說較不安全, 大魚會更容易攀上葉片, 小魚被趕下來的次數更多。



圖15 吃水較深的葉片有利於小魚攀葉, 但容易受到大魚侵擾

實驗六、混養實驗(每缸二大魚二小魚, 天然葉片, 吃水1 cm)

- 1. 攀葉行為次數明顯大增(每日平均10次→22次)。
2. 競爭行為中會出現一名「優勢者」, 其餘皆為「服從者」, 而服從者皆表現出前述各種避敵行為, 有趣的是服從者們會攀上同一片葉片。
3. 大魚在競爭行為中, 若勢均力敵, 則優勢者的角色會隨時更換, 二隻大魚會不斷地爭奪葉下的領域空間。魚缸中的小魚也會受到影響, 無法順利攀葉。

表7 混養實驗(每缸二大魚二小魚, 天然葉片, 吃水1 cm)

Table with 6 columns: 實驗組編號, 監測時間, 攀葉次數, 平均停留時間, 最長停留時間, 領域行為. 4 rows of data.

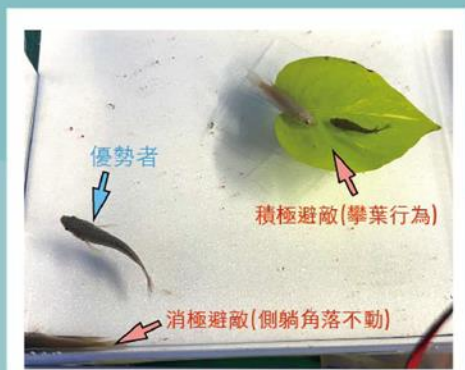


圖16 積極避敵vs消極避敵



圖17 競爭時表現的頭尾展示行為

表5 混養實驗(每缸一大魚一小魚, 人工葉片, 吃水1 cm)

Table with 6 columns: 實驗組編號, 監測時間, 攀葉次數, 平均停留時間, 最長停留時間, 領域行為. 6 rows of data.

表6 混養實驗(每缸一大魚一小魚, 天然葉片, 吃水1.5 cm)

Table with 6 columns: 實驗組編號, 監測時間, 攀葉次數, 平均停留時間, 最長停留時間, 領域行為. 6 rows of data.

綜合分析：

表8 蓋斑鬥魚攀葉行為AI監測系統監測結果

平均攀葉次數(次/日)	no1	no2	no3	no4	no5	no6	平均值
獨居(天然葉)	0	0	3	0	0	0	1
獨居(人工葉)	0	0	14	1	0	1	3
混養(一大一小、天然葉)	1	39	5	9	3	5	10
混養(一大一小、人工葉)	1	2	30	2	5	23	10
混養(一大一小、天然葉、水深)	0	14	2	1	1	17	6
混養(二大二小、天然葉片)	18	27	1	44	-	-	22

平均攀葉停留時間(小時/日)	no1	no2	no3	no4	no5	no6	平均值
獨居(天然葉)	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.1
獨居(人工葉)	0.0	0.0	7.9	0.1	0.0	0.3	1.4
混養(一大一小、天然葉)	0.1	8.7	10.9	1.2	0.8	22.0	7.3
混養(一大一小、人工葉)	0.0	0.9	16.5	0.2	1.1	22.0	6.8
混養(一大一小、天然葉、水深)	0.0	3.3	0.3	0.4	0.1	7.1	1.9
混養(二大二小、天然葉片)	20.4	12.0	0.1	17.7	-	-	12.6

攀葉時間比例(%)	no1	no2	no3	no4	no5	no6	平均值
獨居(天然葉)	0	0	3	0	0	0	0.5
獨居(人工葉)	0	0	33	0	0	1	5.7
混養(一大一小、天然葉)	0	36	46	5	3	92	30.4
混養(一大一小、人工葉)	0	4	69	1	5	92	28.2
混養(一大一小、天然葉、水深)	0	14	1	2	0	30	7.8
混養(二大二小、天然葉片)	85	50	0	74	-	-	52.4

二、競爭行為對蓋斑鬥魚攀葉行為之影響

攀葉行為次數與混養個體數呈正比，比較天然葉片、水深1cm的實驗組，攀葉行為次數平均值由小而大排序分別為：獨居(1次)、一大一小混養(10次)、二大二小混養(22次)。

攀葉停留時間也有一樣趨勢，攀葉行為停留時間與魚缸中混養之個體數量呈正比，攀葉停留時間比例平均值由小而大排序分別為：獨居(0.5%)、一大一小混養(30.4%)、二大二小混養(52.38%)。

由綜合分析資料可發現，蓋斑鬥魚個體的競爭行為會增加攀葉行為的次數。

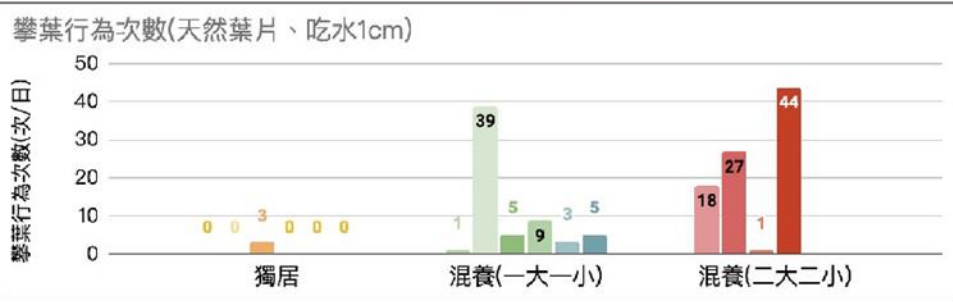


圖18 競爭行為對蓋斑鬥魚攀葉行為之影響(攀葉次數)

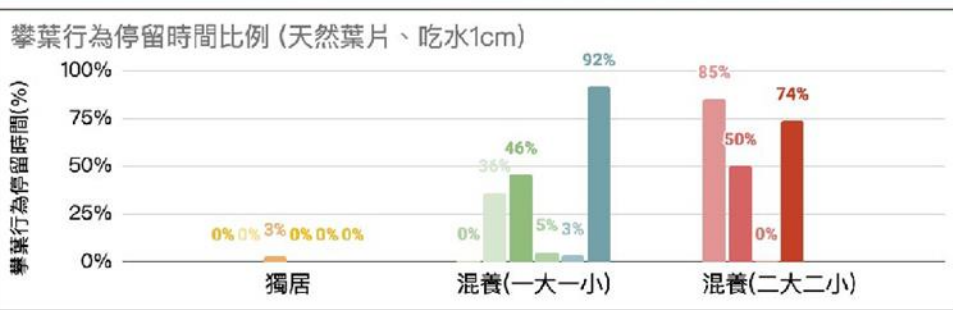


圖19 競爭行為對蓋斑鬥魚攀葉行為之影響(攀葉停留時間比例)

三、葉片特徵對蓋斑鬥魚攀葉行為之影響

(一) 葉片吃水深度與蓋斑鬥魚攀葉行為之影響

分析結果顯示，葉片吃水深度會間接影響攀葉次數與停留時間，影響情況有以下三種：

1. 積極攀葉(第6缸)

吃水深度增加會讓大魚會較容易侵擾葉片上的小魚。但被趕下來後，會再積極嘗試攀葉，所以攀葉次數會增加，而停留時間會減少。

2. 不積極攀葉(第2、3、4、5缸)

吃水深度增加會讓大魚會較容易侵擾葉片上的小魚，被趕下來後，不再積極攀葉。小魚改到水缸角落側躺不動，表現消極的避敵策略。所以吃水加深會讓攀葉次數減少，停留時間也減少。

3. 消極避敵(第1缸)

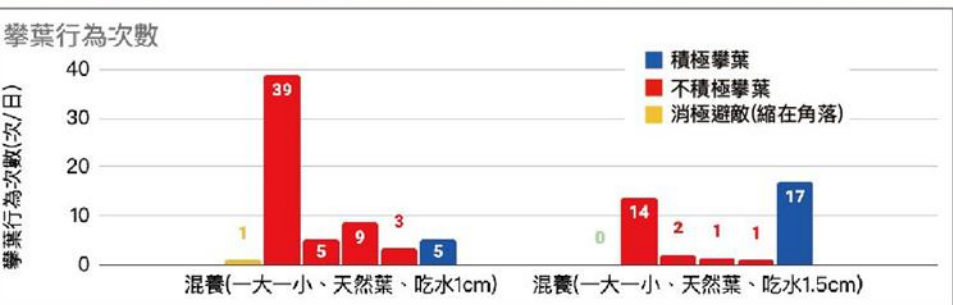


圖20 葉片吃水深度對蓋斑鬥魚攀葉行為之影響(攀葉次數)

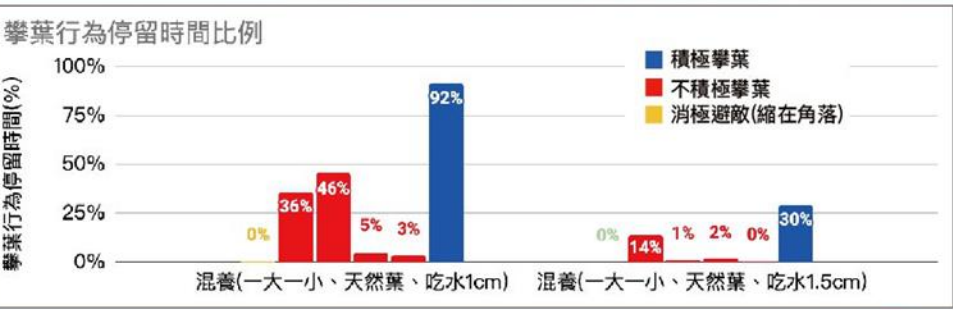


圖21 葉片吃水深度對蓋斑鬥魚攀葉行為之影響(攀葉停留時間比例)

(二) 葉片材質實驗與蓋斑鬥魚攀葉行為之影響

人工葉片材質較滑，對於攀葉技巧較差的小魚會影響很大，甚至放棄攀葉，改躲在角落避敵。典型的例子如第2缸，攀葉次數由天然葉片換為人工葉片後，每日平均攀葉次數由39次下降為2次。

但是對於攀葉技巧佳的小魚，例如第6缸，不管是天然葉片還是人工葉片其停留時間沒有顯著差異，一天中皆有高

達92%的時間都在葉片上。但攀葉次數卻有極大差異。小魚因為容易滑下來所以攀葉次數大增(每日平均5次→23次)。

由此可見，表面光滑的人工葉片對鬥魚增加了攀葉行為的難度，但攀葉技巧佳者，影響較小。

另外，在飼養過程也發現剛孵化的仔魚及混養的成魚不管大小對於攀爬的物體並無特別喜好，只要是能漂浮在水面的平台，皆有明顯的攀爬行為，共享平台。

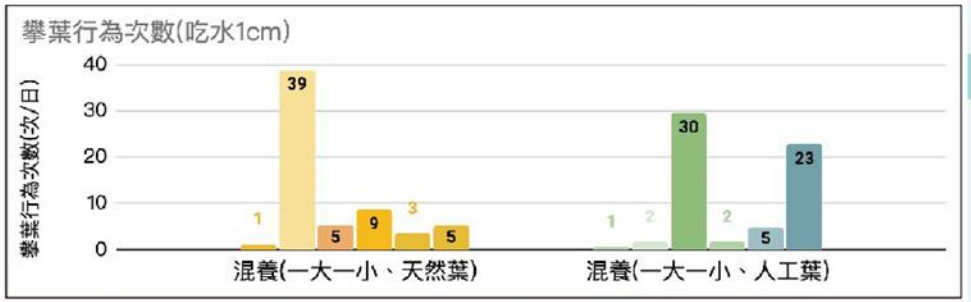


圖22 葉片材質對蓋斑鬥魚攀葉行為之影響(攀葉次數)

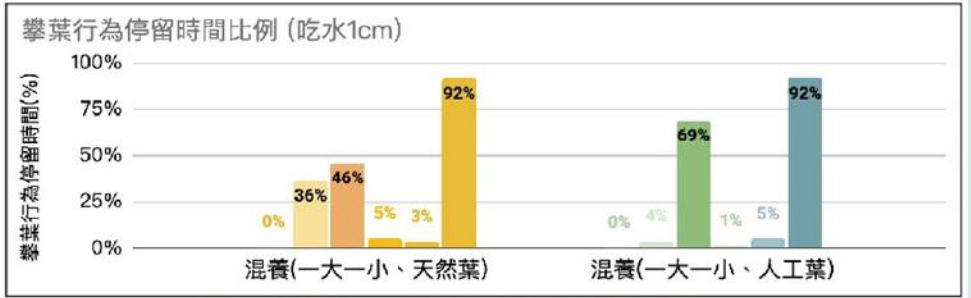


圖23 葉片材質對蓋斑鬥魚攀葉行為之影響(攀葉停留時間比例)



圖24 不同種類的漂浮物皆可能變成蓋斑鬥魚的避敵空間。

陸 結論

1. 本研究發展的「蓋斑鬥魚攀葉行為AI監測系統」，可準確、穩定收集到攀葉行為資訊，並直接提供研究數據。
2. 蓋斑鬥魚的領域行為在大魚較明顯，小魚較無明顯領域行為。
3. 同一缸只要有二隻蓋斑鬥魚以上就會出現競爭行為，相較於獨居的情形，攀葉行為會因為競爭行為而增加。
4. 競爭行為中的弱者(服從者)，會出現避敵行為，本研究觀察到「側移向後動作」、「直接逃跑」、「側躺角落不動」與「攀葉行為」四種。競爭時，弱者在遠離強者時會出現「側移向後動作」再「直接逃跑」，若逃到「側躺角落不動」，有可能繼續被攻擊，所以「攀葉行為」是較為安全的選項。(圖25)
5. 競爭行為中的強者，攻擊情形越積極，弱者會越積極地嘗試攀葉。但有時在強者領域性較強時，弱者會因為無法穿過領域，而無法攀上葉片，而改為「角落側躺不動」的避敵行為。(圖25)

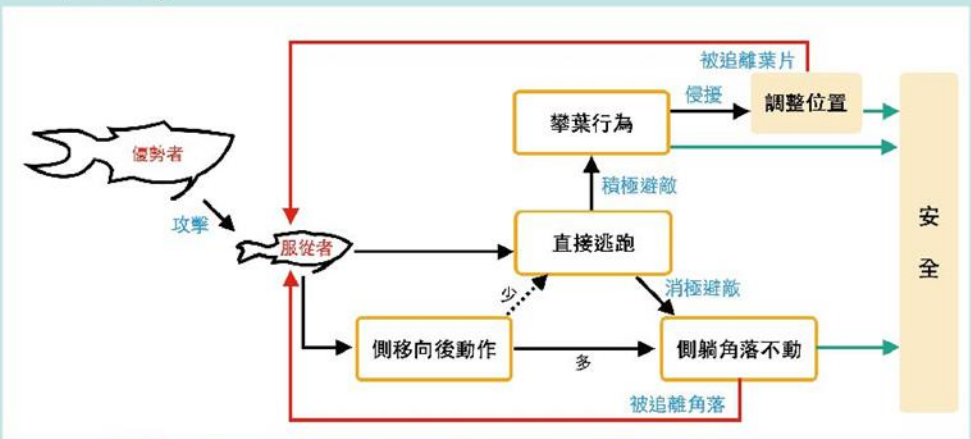


圖25 蓋斑鬥魚(服從者)避敵行為模式

6. 葉片的深度決定了避敵空間的安全性。較淺的葉片由於大魚不容易爬上去，所以小魚待在葉片上較安全。
7. 葉片的材質不影響蓋斑鬥魚表現攀葉行為，但會影響鬥魚在葉片上停留的過程。聚氯乙烯(PVC)材質的人工葉片在水中表面較滑，鬥魚在改變姿態時，容易滑落。

柒 未來展望

1. 研究之初曾猜測「蓋斑鬥魚攀上沒有保護色的葉片可能容易被天敵發現」，值得進一步探討，野外的蓋斑鬥魚是否會因為攀葉行為，增加被天敵捕食的機會。
2. 本研究開發之蓋斑鬥魚攀葉行為AI監測系統具有很大的應用潛力，值得進一步研發。

捌 參考文獻資料

1. Chu, J. (2020年6月15日). [Arduino範例] DS1302時鐘模組快速上手. 檢自<https://blog.jmaker.com.tw/ds1302/>.
2. 朱芳琳、凌惠玲等(2023). 自然與生活科技(第2冊): 生物間的互動關係(頁 126). 臺南市: 翰林出版社.
3. 曾偉萍(2011). 蓋斑鬥魚頭尾展示的行為模式與生物力學探討. 中興大學碩士論文, 臺中市.
4. 詹見平、吳世能(1994). 蓋斑鬥魚生態與復育. 大甲溪生態環境維護協會.
5. 詹見平(2009). 蓋斑鬥魚. 臺北市: 親親文化.