

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生物科

030310

魚兒避險行為應用在監測水質毒性上之研究
~ 以小斑馬魚和小朱文錦魚為例

學校名稱：嘉義市私立嘉華高級中學(附設國中)

作者： 國一 賴姿婷 國一 許綵容 國一 邱瑤婕	指導老師： 鍾慧容
---	------------------

關鍵詞：小斑馬魚、小朱文錦魚、避險行為

摘要

在水質污染日益嚴重的今天，無論是民生用水或農漁業用水，水質毒性的監測與建立預警機制是很需要的。本實驗內容分兩部分：第一部分是以小斑馬魚和小朱文錦魚作為試驗魚種，利用其避險行為習性，建立一般活動與水質遭受毒性污染之警示指標值(WI值)。第二部分是應用建立的WI值，對本市下水道排放水做檢測，了解水質受毒性污染情況。

初步檢測得知，以小斑馬魚和小朱文錦魚作為試驗魚種，其一般活動之WI值，依序為0.36及0.28；另應用於檢測本市下水道排放水之WI值依序為0.97及0.93，顯已超出一般活動警示指標值0.36及0.28甚多；由此推論本市下水道排放水，已遭受嚴重毒性污染，值得有關單位重視並以此之研究結果，作為如何改進下水道水質之參考。

壹、研究動機

當今的空氣污染和水質污染，已危害到我們生活環境與健康，許多因水質污染對生態環境所造成的傷害，魚蝦成群的死亡，使大自然的環境受到嚴重的水質污染。若利用小魚兒的避險行為做為警訊，在魚蝦死亡前有預警機制來預防，應可以使傷害降到最低。於是我們開始收集資料，在老師的指導下就此展開了這次的實驗活動。

貳、研究目的

- 一、觀察小斑馬魚與小朱文錦魚的避險行為建立原水毒性警示指標值。
- 二、應用已建立之毒性警示指標值檢測水質遭受污染之情形。
- 三、喚起民眾對水質污染與水質安全的重視。

參、研究設備及器材

一、儀器設備

試驗魚箱(容量94cm*42cm*45cm，內設置進水口、溢流口，及兩片設有缺口之隔間板)、自行設計的點滴瓶(控制有毒物質流量，以固定流速滴入試驗魚箱)、量筒、pH計、餘氯測定計、馴養玻璃缸、抽水循環馬達、水桶、塑膠桶(20L)、電子天平、水質檢測用分光光度計。

二、實驗藥品

蒸餾水、蘭潭水庫原水、本市下水道排放水、4號黃色食用色素、漂白粉、S.L.S (Sodium Lauryl Sulfate，十二烷基硫酸鈉)、氨氮檢驗試劑、小朱文錦魚、小斑馬魚、魚飼料。








 <p>a. 試驗魚箱 (容量94cm*42cm*45cm)</p>	 <p>b. 馴養魚缸(小斑馬魚)</p>	 <p>c. 馴養魚缸(小朱文錦)</p>
 <p>d. 電子天平</p>	 <p>e. 水質檢測分光光度計</p>	 <p>f. 自行設計的點滴瓶</p>
 <p>g. pH計</p>	 <p>h. 餘氯測定計</p>	 <p>i. 漂白粉等試驗藥劑</p>

圖 1. 儀器設備及實驗藥品

肆、文獻回顧

一、生物監測法

生物監測(Biomonitoring)發展的基礎為利用水中生物對污染物的敏感、警覺性反應，評估水質受毒物污染的程度，亦為水污染指標生物的概念。水中生物本身沒有良好的調節機制，僅能存活於特定的水質環境中，故水中生物是河川水質最佳指標。因水中生物長期生活棲息於水中，一旦水質環境受到外來毒物衝擊(Stress)時，首當其衝的牠們必有所反應。所以水中生物存活狀況或病變與否，即是水質好壞的表徵。於是在二十世紀初，由歐洲國家先行使用藻類腐水指標來監測水質，這亦是生物監測(Biomonitoring)的開端，其後陸續有學者加以補充及發展，並建立了魚類指標監測方法。

目前台灣河川環境污染物的檢測分析，大致可分為物理、化學及生物等方法。由於可能進入水體之毒性物質種類繁多，分析費時又耗力，環境科學家乃發展以生物為指標之毒性試驗，用來輔助化學檢測能力之不足，並作為放流水中毒性物質之管制基準。生物毒性測試依受測試生物的種類，可分為魚類、藻類、細菌類、浮游動物類等多種試驗，其中以魚類最常做為受測試生物。

二、魚類做為水質指標之基礎理論

(一) 魚類作為水質指標之緣由

魚類為河川水體中最廣為人知的水生生物，魚種分布與水質有相當密切的關係，魚類適應程度會隨著水中各種理化參數，如酸鹼值、水溫、溶氧、氨氮及懸浮固體等變化而有所不同，此係與魚體本身器官構造有關。

(二) 魚類作為水質污染指標之篩選

水質的好壞是決定魚類生存空間之重要關鍵。由於每個水域之水質及環境條件不同，存在之魚種亦不相同。一般對於檢測水質污染物毒性的水生生物有以下四點要求：

- 1.對於環境變化及污染物入侵需具有一定的敏感、警覺性。
- 2.魚種分布之區域廣，量多且較易捕獲。
- 3.於該區域內具生態學上重要性。
- 4.方便飼養於實驗室內。

三、小斑馬魚作為試驗魚種之優勢

小斑馬魚有嗜浮游習性，平時較常活動於魚箱上層，然而一旦比重密度較接近水之有毒物質入侵時，魚箱較下層部分會產生小魚的避難區，故本試驗選用小斑馬魚作為試驗魚種。本試驗所採用之小魚為一般水族館中稱為「小斑馬魚」的斑馬魚品種，是一種小型熱帶魚。特點為飼養容易、胚胎透明、產卵量大、易收集等。

斑馬魚在淡水中數量甚多，取得飼養均甚方便。斑馬魚生長週期快，在良好的環境下培養，三個月就能夠性成熟。一隻成熟且健康的母斑馬魚，一次可產下數百甚至上千顆卵。加上斑馬魚的研究眾多，且斑馬魚的基因已經快被完全解讀出來，取得相關資訊非常便利，因此斑馬魚是實驗室裡標準毒理學檢驗之最常用的實驗動物，不僅如此，斑馬魚早已被「經濟合作發展組織的指導手冊」列為實驗的標準魚類，更是國際標準組織推薦河水毒性試驗魚種。

伍、研究過程及方法

第一部份：小斑馬魚與小朱文錦魚之避險行為研究

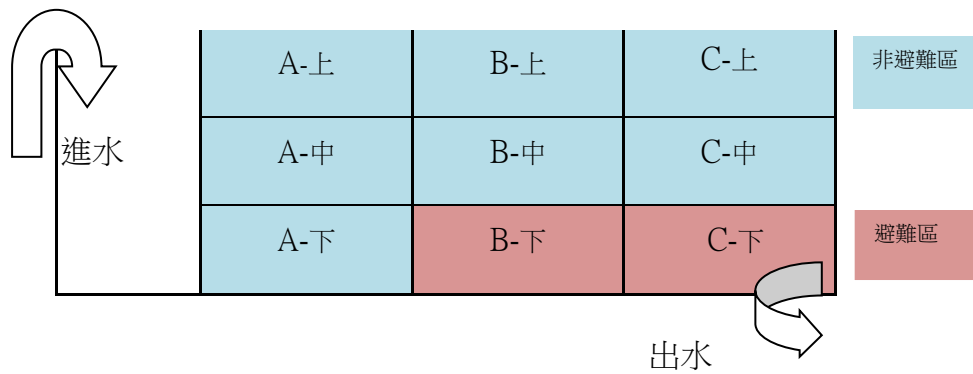
一、前置實驗

(一)馴養魚箱及試驗魚種的準備

- 1.設置馴養魚箱(圖 1.b、1.c)。
- 2.準備試驗魚種：小斑馬魚(圖 3.a.)與小朱文錦魚(圖 3.b.)。
- 3.自行設計的點滴瓶：毒性試劑實驗用(圖 1.f)。

(二)觀測魚箱的設置及進出水流速之估計測試

- 1.為方便觀察紀錄小魚分布之位置及數量觀測，魚箱區細分為A-上、A-中、A-下；B-上、B-中、B-下；C-上、C-中、C-下等九個區塊。



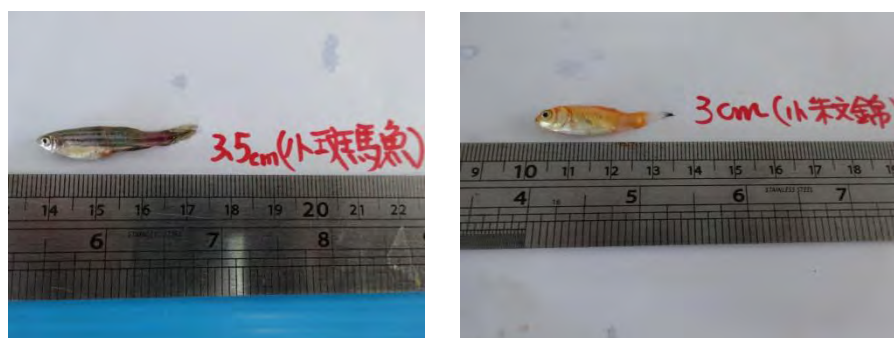
2.魚箱的設置(圖 2.)



圖 2. 魚箱示意圖(上)及實際設置的魚箱(下)

(三)試驗魚種小斑馬魚及小朱文錦魚之選購

- 1.試驗魚種小斑馬魚及小朱文錦魚，選購自本市大同路鄉井水族館。
- 2.小斑馬魚身長平均約 3.5cm、小朱文錦魚身長平均約 3cm(圖 3.a.、3.b.)。



a. 小斑馬魚

b. 小朱文錦魚

圖 3. 試驗魚種

(四)毒性試劑之選擇與加藥用量及進水流速之設定

名稱	設定情形
(1)毒性試劑	使用十二烷基硫酸鈉(S.L.S)試劑及漂白水試劑 (其加藥試劑與濃度係採與台灣省自來水廠水質監 測試驗相同試劑與濃度做試驗)
(2)加藥濃度	1000ppm (加藥 0.5g 溶解於 500ml 蒸餾水攪拌均勻)
(3)加藥速率	20ml/min
(4)觀測魚箱有效容量	$0.94 \times 0.42 \times 0.45 = 0.177(\text{m}^3) \doteq 177(\text{L})$
(5)進水流速	3.0 (L/min)
(6)水在魚缸停留時間	$177(\text{L}) \div 3.0 (\text{L}/\text{min}) \doteq 60\text{min}.$
(7)4號黃色食用色素	以蒸餾水調配為2000ppm濃度 (方便觀察毒性試劑擴散情形)

二、小斑馬魚與小朱文錦魚一般活動警示指標值之建立

- (一)實驗方法：觀測魚箱內各 50 隻小斑馬魚及小朱文錦魚在一般無外來毒物之平時活動情形，每天 8:00~20:00 採人工觀測，紀錄每日小斑馬魚與小朱文錦魚平時活動之狀況及其在魚箱上、中、下層及 A、B、C 各區之分布情形。

(二)實驗情形：(圖 4.)

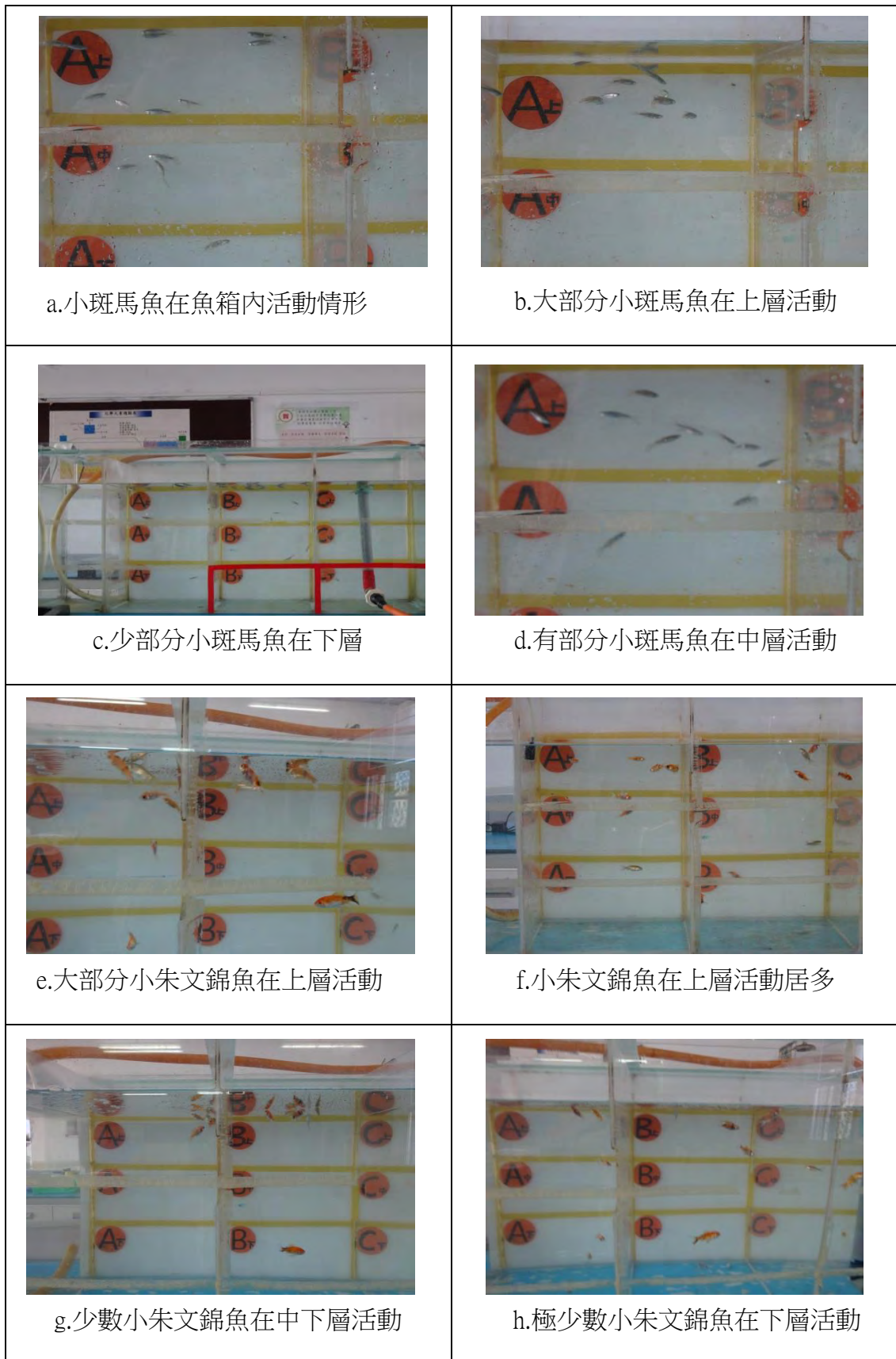


圖 4.小斑馬魚(a.~d.)與小朱文錦魚(e.~h.)平時一般活動情形

三、確定觀測魚箱避難區及非避難區之建立實驗

(一)說明：本實驗目的在使用黃色食用色素配合水流速度，滲入觀測魚箱內利用色素擴散情形，找出魚箱內之避難區及非避難區。

(二)實驗步驟：

- 1.先將觀測魚箱分成A-上、A-中、A-下；B-上、B-中、B-下；C-上、C-中、C-下等九區。
- 2.試驗前清洗魚箱不放置小魚，測水溫為20°C、pH值8.1、濁度0.6、餘氯0.01ppm。控制進水流量為3.0 L/min。
- 3.將已攪拌完成之黃水注入500cc點滴瓶中。
- 4.調整黃水流速為20 ml/min滴入魚箱，並開始觀察與紀錄。
- 5.黃水擴散整個魚箱後，找出不被黃水擴散或極少被黃水擴散之區塊即視為魚兒之避難區，其餘為非避難區。

(三)實驗情形(圖 5.)

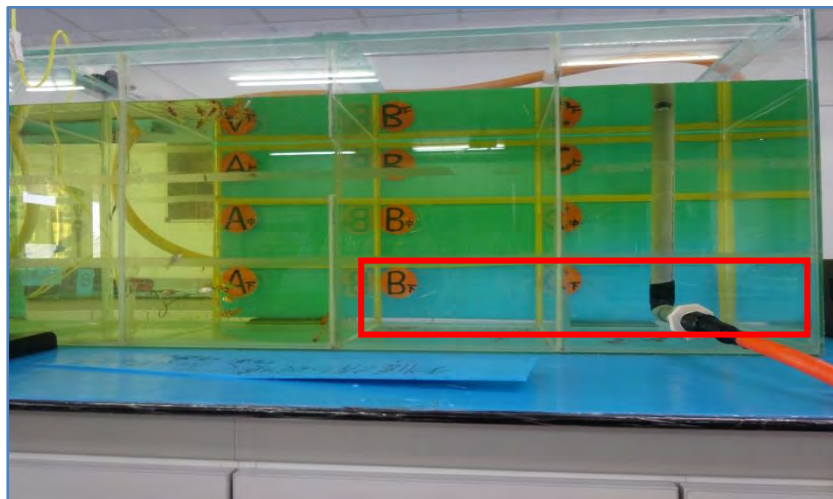


圖 5.由黃水擴散實驗確認避難區(B 下及 C 下區)

四、空白實驗(黃色食用色素對小斑馬魚與小朱文錦魚避險行為之影響)

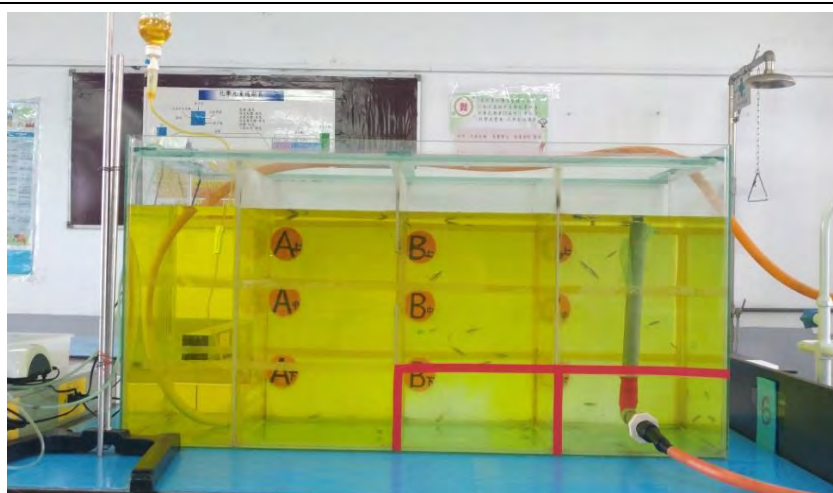
(一)實驗說明：以蒸餾水配製2000ppm 之黃水(黃色食用色素溶液)，注入500cc 自行設計的點滴瓶中，黃水以20ml/min 速率滴入觀測魚箱中，觀察食用色素是否會影響小斑馬魚和小朱文錦魚之一般行為。

(二)實驗步驟(圖6.a.~d.)：

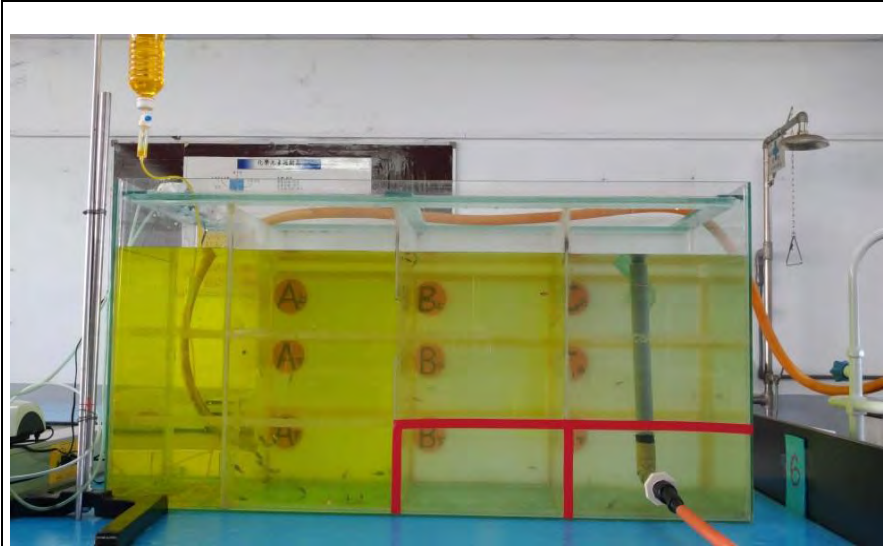
- 1.試驗前檢測魚箱水質，水溫為21°C、pH值 8.0、濁度 0.40、餘氯0.01ppm。
- 2.觀測魚箱內小斑馬魚50尾。
- 3.進水流速為3.0 (L/min)，添加黃水濃度為2000ppm。
- 4.黃水以針筒吸取注入500 cc點滴瓶中。
- 5.以約20 ml/min之加藥速率，黃水利用點滴瓶滲入觀測魚箱中。
- 6.進行觀察紀錄。
- 7.另以小朱文錦魚如上1.~6.步驟做空白實驗。



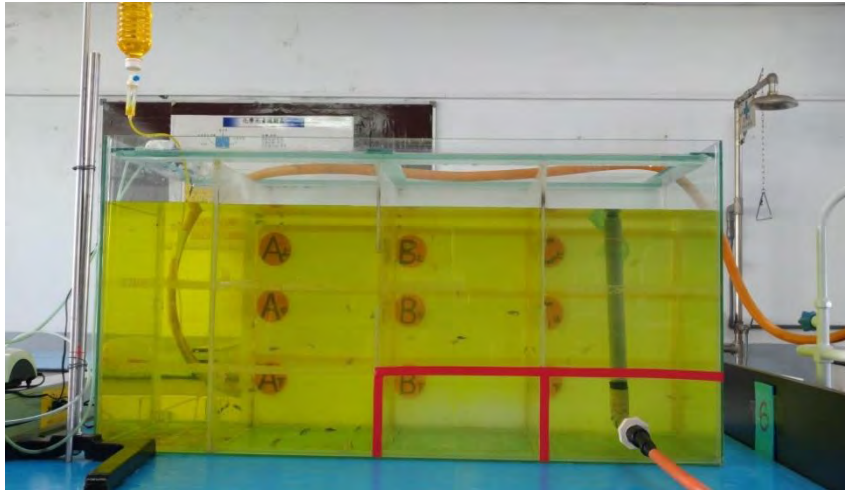
a.擴散5分鐘後，小斑馬魚並無明顯避險，表示黃色食用色素無毒性



b.擴散10分鐘後，小斑馬魚分布平均，表示黃色食用色素無毒性



c.擴散5分鐘後，小朱文錦魚並無明顯避險，表示黃色食用色素無毒性



d.擴散10分鐘後，小朱文錦魚分布平均，表示黃色食用色素無毒性

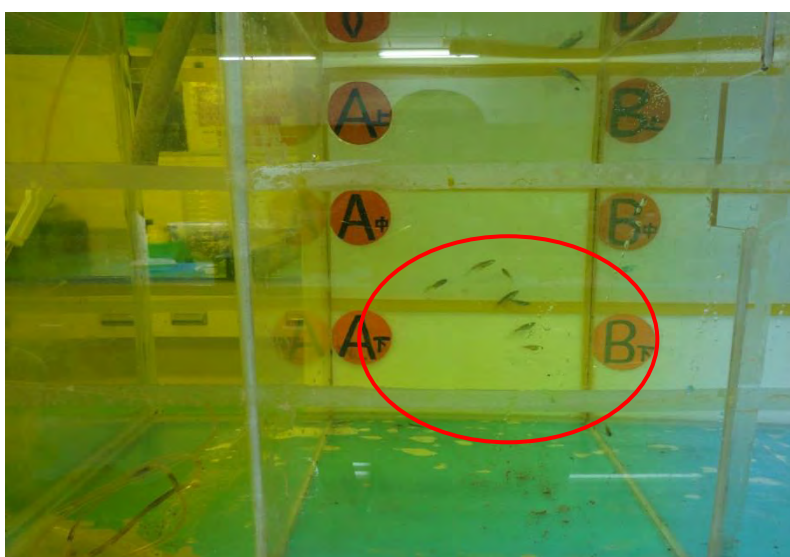
圖6.黃色食用色素對小斑馬魚及小朱文錦魚的影響實驗

五、加藥試驗以建立警示指標值 (WI)

(一)實驗說明：本實驗使用以1000ppm濃度之漂白水，並混合2克黃色食用色素做為毒性試劑，注入500cc自行設計的點滴瓶中，漂白水以 20ml/min 速率滴入觀測魚箱中，觀察小斑馬魚和小朱文錦魚行為反應及活動情況。

(二)實驗步驟(圖7.a~c、圖8.a~c)：

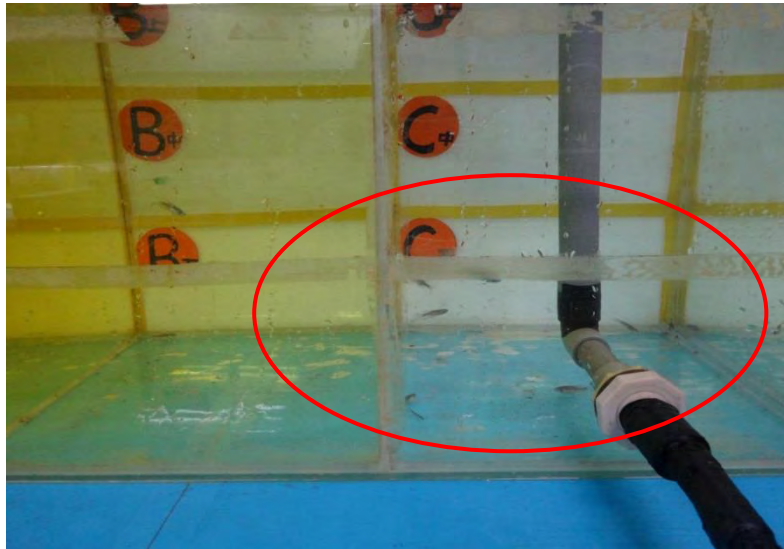
- 1.試驗前先檢測魚箱水質，水溫為19°C、pH值 8.0、濁度 0.40、餘氯0.01ppm。
- 2.觀測魚箱內小斑馬魚及小朱文錦魚各20尾。
- 3.進水流速為3.0 (L/min)，添加漂白水藥品濃度為1000ppm。
- 4.漂白水試劑以針筒吸取注入500 cc點滴瓶中並添加黃水試劑。
- 5.以約20 ml/min之加藥速率，加藥試劑利用點滴瓶滲入觀測魚箱中。
- 6.進行觀察紀錄。
- 7.另以S.L.S如上1~6.步驟實驗。



a.加藥10分鐘後擴散至A區，小斑馬魚明顯從上層往下層游動



b.加藥15分鐘擴散至B區，小斑馬魚明顯游向避險區

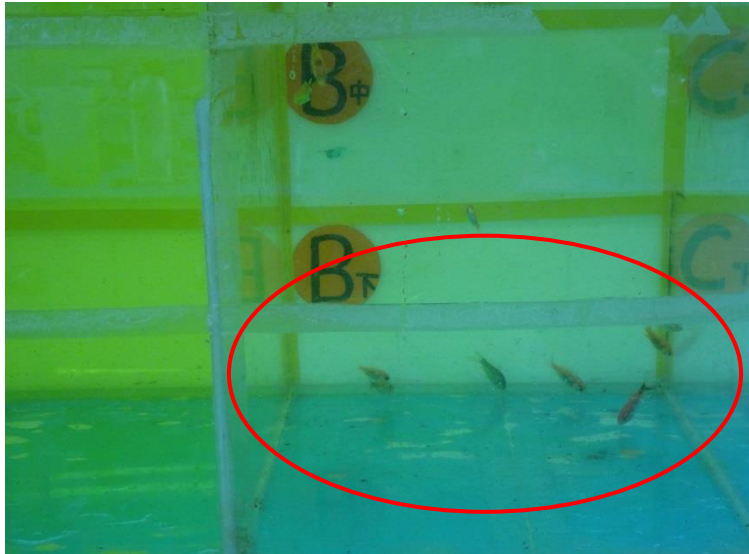


c.加藥30分鐘後已擴散至C區。受毒性試劑影響，小斑馬魚明顯向下面的避險區游動

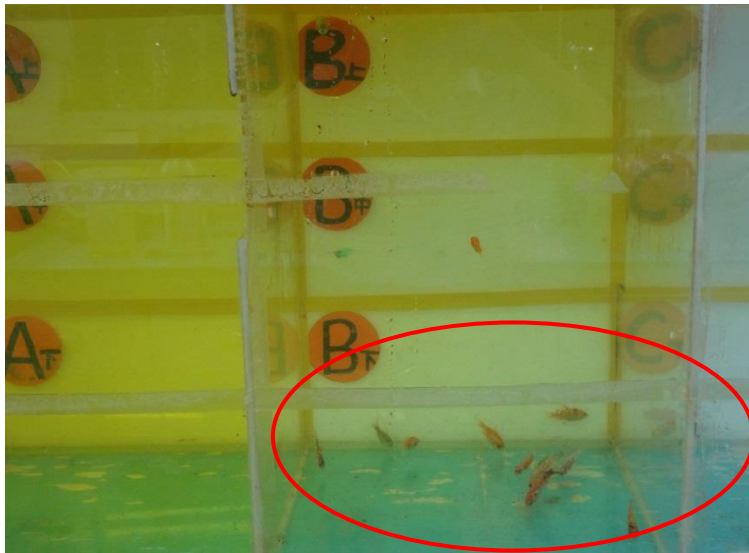
圖7.加藥試驗以建立警示指標值實驗情形(小斑馬魚)



a.加藥10分鐘擴散至A區，小朱文錦魚從上層往下層游動



b.加藥20分鐘擴散至B區，小朱文錦魚明顯游向避險區



c.加藥約40分鐘後受毒性試劑擴散影響，小朱文錦魚明顯集結於下方的避險區

圖 8.加藥試驗以建立警示指標值實驗情形(小朱文錦魚)

(三)警示指標值之建立

建立步驟：

- 1.將觀測魚箱劃分為九個區塊，以利進行分布之觀察紀錄並據以統計分析。
- 2.經由黃水擴散試驗所顯示避難區在觀測魚箱中位處B、C 隔間下層，為B-下及C-下區，其餘七個區塊則屬非避難區，避難區所佔面積約全區之 $2/9$ ，餘 $7/9$ 則屬非避難區。
- 3.利用四天觀察期資料統計數據，依避難區（B-下及C-下區二個區塊）及其餘非避難區七個區塊累加統計。
- 4.將上述統計資料採標準化處理（即避難區與非避難區之分布數量取其相對於單一區塊之平均數量），即將避難區之分布統計數量除 2 即可得〔避難區標準化值（定為 R_i ）〕，同理，將非避難區分布統計數量除 7 即可得〔非避難區標準化值（定為 NR_i ）〕。
- 5.並將觀察期之各時段累加及分時段累加來求其平均標準化值。定義警示指標值WI（Warning Index）為避難區標準化值（ R_i ）與整區標準化值（ R_i+NR_i ）之比值。經定義警示指標值（WI）後，明顯可知，警示指標值（WI）越大，表示在避難區之魚數越多。當 $WI = 1$ 時，表示所有魚兒皆避險於避難區。

第二部份：魚兒避險行為應用於污水檢測研究

一、實驗說明：

- (一)實驗組：利用小斑馬魚與小朱文錦魚，對一般活動及毒性藥物所建立的警示指標值，應用於檢測河川污水、工廠廢水等所遭受污染之程度，做為處理前之預警機制，對水質安全多一層的保護。
- (二)對照組：以分光光度計檢測水樣各污染指標項目，以確認水質污染程度，避免對水質誤判。

二、實驗方法：

(一)實驗組：(圖 9.a-c.)

- 1.取本市下水道排放水樣，置於實驗室備用。
- 2.水樣中添加2g之黃色食用色素以利觀察。
- 3.以進水流速控制為 3.0 (L/min)，將下水道水樣注入觀測魚箱內，並放入小斑馬魚 20 尾。觀察小斑馬魚受污水衝擊時之分布位置，觀測並紀錄。
- 4.改置入小朱文錦魚 20 尾，如 1~ 3.步驟，觀測並紀錄。

(二)對照組：(圖 9.d.)

使用分光光度計檢測水樣，以做為對照組，若水質如溶氧、生化需氧量、氨-氮含量及懸浮固體等超出環保署水質安全標準，可佐證水質已遭受污染。

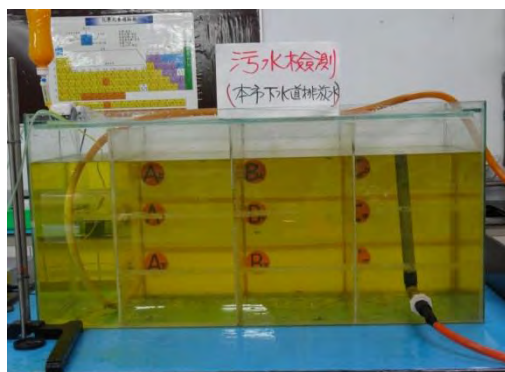
(三)實驗情形：(圖9.)



a.位於本市世賢路之下水道集水區



b.本市下水道排放水取樣



c.以小斑馬魚對毒性藥物避險行為檢測



d.以分光光度計檢測本市下水道水質

圖 9.本市下水道排放水檢測

陸、研究結果

第一部份：小斑馬魚與小朱文錦魚之避險行為研究

一、小斑馬魚及小朱文錦魚一般活動警示指標值之建立

(一)實驗期間：

1.107年1月8日至107年1月11日觀測魚箱內共50尾小斑馬魚。

2.107年2月5日至107年2月8日觀測魚箱內共50尾小朱文錦魚。

(二)記錄時間：每日分別於8:00、12:00、16:00、20:00四個時間觀察記錄小斑馬魚及小朱文錦魚分布情形。

(三)實驗說明：分別觀測魚箱內小斑馬魚及小朱文錦魚在一般無外來毒物衝擊時之平時活動，並紀錄小斑馬魚與小朱文錦魚於觀測魚箱內九個區塊之分布位置。

(四)實驗結果：

1.活動分布較偏向於上層即(A-上、B-上及C-上)，中層即(A-中、B-中及C-中)次之，下層(A-下、B-下及C-下)最少。

2.小斑馬魚一般活動警示指標值(WI值)=0.36

小朱文錦魚一般活動警示指標值(WI值)=0.28

(五)活動紀錄：如表1、2.

表1.小斑馬魚一般活動記錄

實驗期間 107年1月8日至107年1月11日						
	08:00	12:00	16:00	20:00	合計	比例
A-上	8	7	12	5	32	16%
A-中	4	3	4	8	19	9.5%
A-下	5	4	2	4	15	7.5%
B-上	7	12	8	7	34	17%
B-中	7	5	3	4	19	9.5%
B-下	1	3	2	4	10	5%
C-上	11	12	12	8	43	21.5%
C-中	4	2	5	7	18	9%
C-下	3	2	2	3	10	5%
合計	50	50	50	50	200	100%
R(i)值	4	5	4	7		
NR(i)值	46	45	46	43		
R(i)標準化	2	2.5	2	3.5		
NR(i)標準化	6.6	6.4	6.6	6.1		
WI值	0.23	0.28	0.23	0.36		

表 2.小朱文錦魚一般活動記錄

實驗期間 107 年 2 月 5 日 至 107 年 2 月 8 日						
	08:00	12:00	16:00	20:00	合計	比例
A-上	9	8	9	6	32	16%
A-中	6	2	5	9	22	11%
A-下	4	4	2	3	13	6.5%
B-上	6	11	8	8	33	16.5%
B-中	7	6	5	4	22	11%
B-下	2	2	2	2	8	4%
C-上	12	13	11	8	44	22%
C-中	3	1	6	7	17	8.5%
C-下	1	3	2	3	9	4.5%
合計	50	50	50	50	200	100%
R(i) 值	3	5	4	5		
NR(i)值	47	45	46	45		
R(i)標準化	1.5	2.5	2	2.5		
NR(i)標準化	6.7	6.4	6.6	6.4		
WI 值	0.18	0.28	0.23	0.28		

WI值之計算：(以小朱文錦魚在08：00之一般活動為例)

$$R(i) \text{ 值} = (B\text{-下} + C\text{-下}) = 2 + 1 = 3$$

$$NR(i) \text{ 值} = (A\text{-上} + A\text{-中} + A\text{-下} + B\text{-上} + B\text{-中} + C\text{-上} + C\text{-中}) = 47$$

$$R(i) \text{ 標準化值} = R(i) \text{ 值} \div \text{避難區域數} = 3/2 = 1.5$$

$$NR(i) \text{ 標準化值} = NR(i) \text{ 值} \div \text{非避難區域數} = 47/7 = 6.7$$

$$WI \text{ 值} = R(i) \text{ 標準化} \div (R(i) \text{ 標準化} + NR(i) \text{ 標準化}) = 1.5 / (1.5 + 6.7) = 0.18$$

由表1.得知小斑馬魚之一般活動警示指標值(WI)為**0.36**(取最大警示上限值)。

由表2.得知小朱文錦魚之一般活動警示指標值(WI)為**0.28**(取最大警示上限值)。

二、十二烷基硫酸鈉 (S.L.S) 毒性加藥試驗以建立警示指標值 (WI)

(一)實驗期間：107年2月24日AM8:00~10:00觀測魚箱內共20尾小斑馬魚。

107年2月25日AM8:00~10:00觀測魚箱內共20尾小朱文錦魚。

(二)加藥時間：約60分鐘，5分鐘紀錄一次。

(三)加藥濃度：S.L.S濃度為1000ppm添加黃色食用色素於試劑以利觀察。

(四)實驗說明：觀測魚箱內小斑馬魚在加藥衝擊時之活動情形，觀測並紀錄小斑馬魚在觀測魚箱內之分布位置（以九個區塊標示）。另改換小朱文錦魚試驗之。

(五)實驗結果：

1. 小斑馬魚之 S.L.S 毒性加藥試驗警示指標值(WI 值)=0.98
2. 小朱文錦魚之 S.L.S 毒性加藥試驗警示指標值(WI 值)=0.97
3. 兩種試驗魚其活動分布較偏向於下層(B-下、C-下)，顯然小斑馬魚毒性實驗警示指標值 (WI) 大於一般活動警示指標值 WI=0.36
4. 小朱文錦魚毒性實驗警示指標值 (WI) 大於一般活動警示指標值 WI=0.28

(六)活動紀錄：如表 3、4

表 3.小斑馬魚於十二烷基硫酸鈉（S.L.S）毒性加藥實驗結果

時間(min)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
R(i)值(避難區)	0	5	7	8	13	19	19	14	13	10	8	0	0
NR(i)值(非避難區)	20	15	13	12	7	1	1	6	7	10	12	20	20
R(i)標準化	0.00	2.50	3.50	4.00	6.50	9.50	9.50	7.00	6.50	5.00	4.00	0.00	0.00
NR(i)標準化	2.86	2.14	1.85	1.71	1.00	0.14	0.14	0.86	1.00	1.42	1.71	2.86	2.86
WI 值	0.00	0.53	0.65	0.70	0.86	0.98	0.98	0.89	0.86	0.77	0.70	0.00	0.00

表 4.小朱文錦魚於十二烷基硫酸鈉（S.L.S）毒性加藥實驗結果

時間(min)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
R(i)值(避難區)	0	2	3	3	9	12	14	18	17	17	8	1	0
NR(i)值(非避難區)	20	18	17	17	11	8	6	2	3	3	12	19	20
R(i)標準化	0.00	1.00	1.50	1.50	4.50	6.00	7.00	9.00	8.50	8.50	4.00	0.50	0.00
NR(i)標準化	2.86	2.57	2.42	2.42	1.57	1.14	0.86	0.28	0.42	0.42	1.71	2.71	2.86
WI 值	0.00	0.28	0.38	0.38	0.74	0.84	0.89	0.97	0.95	0.95	0.70	0.15	0.00

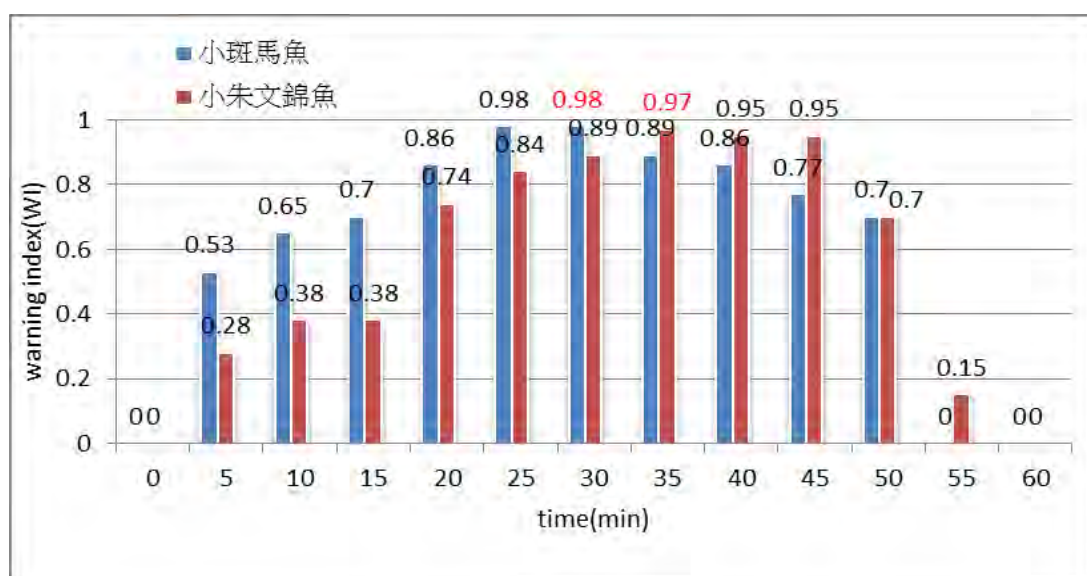


圖 10. S.L.S 試劑毒性加藥試驗結果

三、漂白水毒性加藥試驗以建立警示指標值 (WI)

(一)實驗期間：107 年 2 月 28 日 AM8:00~9:00 觀測魚箱內共 20 尾小斑馬魚。

107 年 3 月 1 日 AM8:00~9:00 觀測魚箱內共 20 尾小朱文錦魚。

(二)加藥時間：約 60 分鐘，5 分鐘紀錄一次。

(三)加藥濃度：濃度為 1000ppm，添加黃色食用色素於試劑以利觀察。

(四)實驗說明：觀測魚箱內小斑馬魚在加藥衝擊時之活動情形，觀測並紀錄小斑馬魚在觀測魚箱內之分布位置（以九個區塊標示）。另改換小朱文錦魚試驗之。

(五)實驗結果：

1. 小斑馬魚之漂白水毒性加藥試驗警示指標值(WI 值)=0.97
2. 小朱文錦魚之漂白水毒性加藥試驗警示指標值(WI 值)=0.95
3. 兩種試驗魚種活動分布較偏向於下層(B-下、C-下)顯然小斑馬魚毒性實驗 WI 值大於一般活動警示指標 WI=0.36。試驗期間，觀察小斑馬魚魚體無異狀，游動狀況正常。待實驗後發現小斑馬魚出現活動量由多變少、游動狀況由快速趨漸變緩的狀況，亦有倉皇尋找躲避現象發生，此結果可直接判斷水質有異樣。
4. 小朱文錦魚試驗其避險行為情形亦同。

(六)活動紀錄：如表 5、6

表 5.小斑馬魚於漂白水毒性加藥實驗結果

時間(min)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
R(i)值(避難區)	0	2	4	7	11	13	18	18	14	10	5	0	0
NR(i)值(非避難區)	20	18	16	13	9	7	2	2	6	10	15	20	20
R(i)標準化	0.00	1.00	2.00	3.50	5.50	6.50	9.00	9.00	7.00	5.00	2.50	0.00	0.00
NR(i)標準化	2.86	2.57	2.28	1.85	1.28	1.00	0.28	0.28	0.86	1.42	2.14	2.86	2.86
WI 值	0.00	0.28	0.46	0.65	0.81	0.86	0.97	0.97	0.89	0.77	0.53	0.00	0.00

表 6.小朱文錦魚於漂白水毒性加藥實驗結果

時間(min)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
R(i)值(避難區)	0	2	5	5	10	11	13	14	17	7	2	0	0
NR(i)值(非避難區)	20	18	15	15	10	9	7	6	3	13	18	20	20
R(i)標準化	0.00	1.00	2.50	2.50	5.00	5.50	6.50	7.00	8.50	3.50	1.00	0.00	0.00
NR(i)標準化	2.86	2.57	2.14	2.14	1.42	1.28	1.00	0.86	0.42	1.85	2.57	2.86	2.86
WI 值	0.00	0.28	0.53	0.53	0.77	0.81	0.86	0.89	0.95	0.65	0.28	0.00	0.00

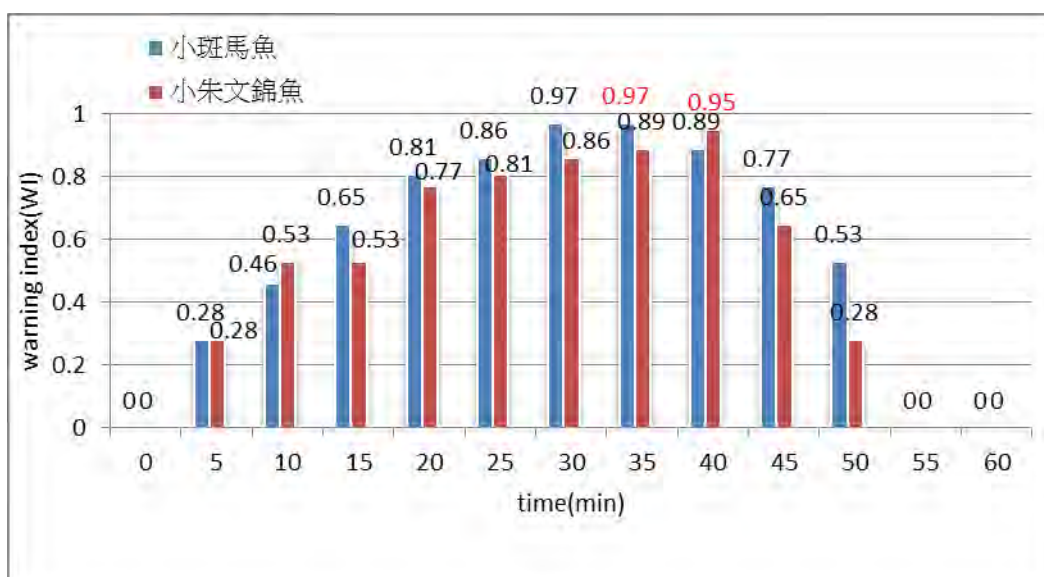


圖 11. 漂白水試劑毒性加藥試驗結果

第二部份：魚兒避險行為應用於污水檢測研究

檢測項目：本市下水道排放水檢測

(一)對照組：使用分光光度計檢測水樣結果如表 7。

表 7. 分光光度計檢測本市下水道排放水結果

未(稍)受污染等級 標準(ppm)	溶氧 (DO)	生化需氧量 (BOD)	氨-氮 (NH ₃ -N)	懸浮固體 (SS)
CNS 放流水標準	DO ≥ 6.5	BOD ₅ ≤ 3.0	N ≤ 0.50	SS ≤ 20.0
本市下水道排放水	6.0	5.0	0.70	22

實驗結果：使用分光光度計檢測本市下水道排放水水樣：溶氧、生化需氧量、氨-氮及懸浮固體等四項檢測值，皆未達 CNS 放流水標準，亦即下水道排放水已遭受污染。

(二)實驗組：

- (1)小斑馬魚對本市下水道排放水水樣，毒性試驗警示指標值(WI 值)測試結果為 0.97(表 8)，大於一般活動警示指標 WI 值 0.36，水質有遭受污染現象。
(2)小朱文錦魚對本市下水道排放水水樣，毒性試驗警示指標值(WI) 測試結果為 0.93(表 9)，大於一般活動警示指標 WI 值 0.28，水質有遭受污染現象。
- 活動分布較偏向於下層(B-下、C-下)。
- 小斑馬魚開始測試 30 分鐘後，已達最高 WI 值 0.97(圖 12)；而小朱文錦測試 45 分鐘後，才達最高 WI 值 0.93(圖 12)，顯示對水質毒性反應之靈敏性比較是小斑馬魚比小朱文錦魚高。
- 試驗期間，小斑馬魚以及小朱文錦魚魚體無異狀，游動狀況正常。待 20 分鐘後，發現小斑馬魚及小朱文錦魚出現活動量由多變少、游動狀況由快速趨漸變緩的狀況，亦有倉皇尋找躲避現象發生，觀察實驗過程有這些現象，亦可做為判斷水質有異樣之參考。

表 8.本市下水道排放水水樣試驗小斑馬魚警示指標值

時間(min)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
R(i)值(避難區)	0	2	4	6	14	15	18	17	10	8	7	0	0
NR(i)值(非避難區)	20	18	16	14	6	5	2	3	10	12	13	20	20
R(i) 標準化	0.00	1.00	2.00	3.00	7.00	7.50	9.00	8.50	5.00	4.00	3.50	0.00	0.00
NR(i) 標準化	2.86	2.57	2.28	2.00	0.86	0.71	0.28	0.42	1.42	1.71	1.85	2.86	2.86
WI 值	0.00	0.28	0.46	0.60	0.89	0.91	0.97	0.95	0.77	0.70	0.65	0.00	0.00

表 9.本市下水道排放水水樣試驗小朱文錦魚警示指標值

時間(min)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
R(i)值(避難區)	0	0	5	8	11	11	12	15	16	16	6	0	0
NR(i)值(非避難區)	20	20	15	12	9	9	8	5	4	4	14	20	20
R(i) 標準化	0.00	0.00	2.50	4.00	5.50	5.50	6.00	7.50	8.00	8.00	3.00	0.00	0.00
NR(i) 標準化	2.86	2.86	2.14	1.71	1.28	1.28	1.14	0.71	0.57	0.57	2.00	2.86	2.86
WI 值	0.00	0.00	0.53	0.70	0.81	0.81	0.84	0.91	0.93	0.93	0.60	0.00	0.00

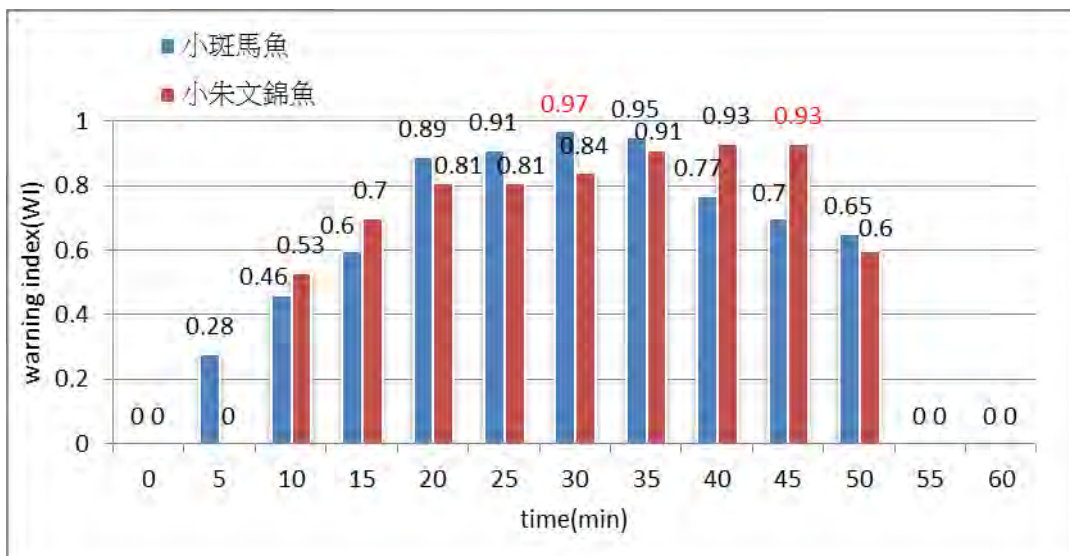


圖 12. 本市下水道排放水水樣試驗結果

柒、討論

第一部份：小斑馬魚與小朱文錦魚之馴養及空白實驗

一、本研究於建立一般正常活動與水質遭受毒性汙染之警示指標值(WI 值)之前，先馴養小斑馬魚及小朱文錦魚，前後約兩個月，使魚兒能習慣在試驗魚箱 A、B、C 三個隔間區，來去自如的游動。

二、單獨使用黃色食用色素滴入魚箱做空白實驗，經過整個實驗觀察，發現黃色食用色素擴散時，小斑馬魚與小朱文錦魚並無明顯避險於避難區，而是呈現一般正常分布，自由進出 A、B、C 三個隔間區，也無出現異常狀態；由此可知，魚兒避險行為並不受添加黃色食用色素的影響，而是受到有毒物質的擴散，才產生避險的狀況。

第二部份：魚兒避險行為之研究

一、觀察整個試驗過程中，魚兒無出現異狀或死亡現象，實驗後應立即更換新鮮水，使小魚恢復正常游動。

二、本實驗是以測定一般活動與毒性汙染警示指標值做比較，判定魚兒是否有避險行為發生；唯當毒性汙染與一般活動警示指標值相近時，則無法作為明確之預警是其缺點。遇此情形需考量生物特性及參照其一般活動之警示指標值條件，再分析並建立一合理之避難區反應汙染警示指標值，才能修正此一缺失。

三、警示指標值建立之標準化過程，係以全區九個區塊來考量後，將避難區及非避難區分別換算求得每單一區塊之數量後求比值；比照一般平時活動紀錄與試驗過程後得知，當警示指標值 $WI > 0.36$ 時，表示小斑馬魚出現異常分布。 $WI > 0.28$ 時，表示小朱文錦魚出現異常分布。警示指標值愈大，表示避險行為愈是明顯；當魚兒全數避險於避難區時，警示指標值 $WI = 1.0$ 。

四、為求謹慎，將警示指標值 (WI) 訂為一般平時活動之最上限。因此本研究定義當小斑馬魚及小朱文錦魚其避難區汙染警示指標值大於一般平時活動警示指標值時，屬於異常狀態，需加強注意、嚴密監控；必要時需立即啟動警報，停止該水源進入淨水場或養殖場，並進一步佐以科學儀器，如水質分光光度計等，做水質毒性項目檢驗，確認毒性等級，以免造成誤判。

五、魚避險行為之實驗時，由於毒性加藥試驗若採高濃度試劑試驗，則類似於急毒性試驗，小魚會發生病變或出現死亡現象，此非本實驗之目的；本實驗應控制當水質受污染時，小魚不會出現病變或死亡，即使用濃度低之有毒試劑或有機溶劑時，仍能藉由小魚對水質變化產生避險之反應行為來達到預警功能，並訂定出一合理又可靠的警示指標值，以達即時預警之目的。

第三部份：魚兒避險行為應用於汙水檢測之研究

一、傳統自來水廠原水毒性污染監視系統之養魚箱內因有某些區塊會產生流場滯留區之特性，加上小魚天生有避險本能，躲避於避難區而不會發生病變或死亡，致使現場人員無法在第一時間對水質受污染來做處置因應，影響整個監視系統的功效。

二、本研究於實驗觀察之各時段，累加統計避難區與非避難區之魚數求其平均標準化值，建立完整的警示指標值，改進了傳統缺點。

三、此實驗亦可應用在其他用水汙染之預警，利用建立完整的警示指標值，檢驗河川、溪水、工廠排放廢水和家庭用水等水域的汙染預警，為了避免誤差，本研究另使用水質專用分光光度計做檢測，以確認水質是否被毒性物質汙染，使預警失誤降至最低。

第四部分：其他與未來展望

一、本研究於前後實驗約三個月期間，同學定時巡視觀察與餵食，並細心照料魚兒，全數小魚無死亡情況發生；做加藥毒性試驗及汙水檢測，於實驗後，立即更換新鮮水質並加氧打氣，使魚兒於最短時間內恢復正常游動，盡到保護與愛惜動物之責。

二、未來可繼續研究，增設紅外線感應警報器做為輔助，利用紅外線感應及警報器的提醒，偵測避難區的魚數是否異常，24 小時監測，使現場人員可在第一時間做危機處理因應，使水質毒性監測達成科技監控、迅速精準之目標。

捌、結論

目前台灣自來水公司於各淨水場及水源取水站，設置原水養魚箱毒性監測系統，將原水引進魚箱內，由值班人員對小魚的游動行為是否異常及其存活或死亡數做記錄，以作為判定水質是否遭受毒物污染之依據；但因養魚箱內部分區塊會產生水流滯留區，魚兒天生又具有避險特性，因此這些滯留區成為魚兒遭遇毒害時的避難區，導致此監測系統無法即時判定水質異樣的功能。

本研究利用小斑馬魚與小朱文錦魚群體避險特性，確立原水無毒性時一般活動警示指標值，將小斑馬魚平時活動紀錄比對毒性物質加藥試驗結果，對避難區及非避難區進行觀察，訂定足以啟動警訊之 WI 警示指標值。

應用魚兒習性及避險求生本能，做為水質毒性監測，省時便捷又經濟。但常因一時疏失造成誤判，建議佐以水質儀器再做檢測確認，使失誤降至最低。

玖、參考資料

- 一、張容華，劉瓊安，2017，國中自然與生活科技，第一冊，康軒出版社。
- 二、動物保護法，中華民國，106.4.26 總統華總一義字第 10600050401 號修正公布第二章動物之一般保護，第三章動物之科學應用。
- 三、放流水標準，中華民國 103.1.22 日行政院環境保護署環署水字第 1030005842 號令修正發布第二條條文。
- 四、行政院環保署環境檢驗所，2005，「原水水質魚類毒性測試規範」。
- 五、邱憲龍，2005，「毒物監測魚箱警示指標之建立」，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
- 六、劉貞材，2004，「生物指標於水質毒性監測之相關研究分析」，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
- 七、李俊宏、王漢泉、吳嘉玲、王正雄，2002，「新竹縣地區事業廢水生物毒性試驗研究」，環境檢驗所環境調查研究年報，p.157~186。
- 八、吳嘉玲，1997，「環境污染物生物毒性測試」，行政院環保署環境檢驗所環境檢驗通訊雜誌季刊，15 期 p.1~20。
- 九、李俊宏、王漢泉、齊家，1995，「魚類毒性試驗研究」，環境檢驗所環境調查研究年報，p.333~336。

【評語】 030310

1. 此研究作品主要利用小斑馬魚和小朱文錦魚的避險行為習性，建立水質警示指標值，並實際以此指標值檢測下水道的水質。
2. 利用小斑馬魚和朱文錦魚做為水質毒性監測指標，已有不少的研究，甚至有實際的應用，故此作品的創新性較為不足。
3. 數項研究似乎均為一次性實驗，雖然每次可能有好幾隻魚，然較無法得出正確的結果(論)，建議要有重複實驗。
4. 要做為環境水質偵測指標，必須能有一些毒性忍受值，還可以將過往之毒性物質，在生物體顯現，才可能增加物理檢測水質無法偵測之過往歷史汙染事件。避敵行為只能反應急性毒性的偵測，慢性毒性則無法呈現。

摘要

在水質污染日益嚴重的今天，無論是民生用水或農漁業用水，水質毒性的監測與建立預警機制是很需要的。本實驗內容分兩部分：第一部分是以前斑馬魚和小朱文錦魚作為試驗魚種，利用其避險行為習性，建立一般活動與水質遭受毒性污染之警示指標值(WI值)。第二部分是應用建立的WI值，對本市下水道排放水做檢測，了解水質受毒性污染情況。

初步檢測得知，以前斑馬魚和小朱文錦魚作為試驗魚種，其一般活動之WI值，依序為0.36及0.28；另應用於檢測本市下水道排放水之WI值依序為0.97及0.93，顯已超出一般活動警示指標值0.36及0.28甚多；由此推論本市下水道排放水，已遭受嚴重毒性污染，值得有關單位重視並以此之研究結果，作為如何改進下水道水質之參考。

壹、研究動機

當今的空氣污染和水質污染，已危害到我們生活環境與健康，許多因水質污染對生態環境所造成的傷害，魚蝦成群的死亡，使大自然的環境受到嚴重的水質污染。若利用小魚兒的避險行為做為警訊，在魚蝦死亡前有預警機制來預防，應可以使傷害降到最低。於是我們開始收集資料，在老師的指導下就此展開了這次的實驗活動。

貳、研究目的

- 一、觀察小斑馬魚與小朱文錦魚的避險行為建立原水毒性警示指標值。
- 二、應用已建立之毒性警示指標值檢測水質遭受污染之情形。
- 三、喚起民眾對水質污染與水質安全的重視。

參、研究設備及器材



▲ 圖1.儀器設備及實驗藥品

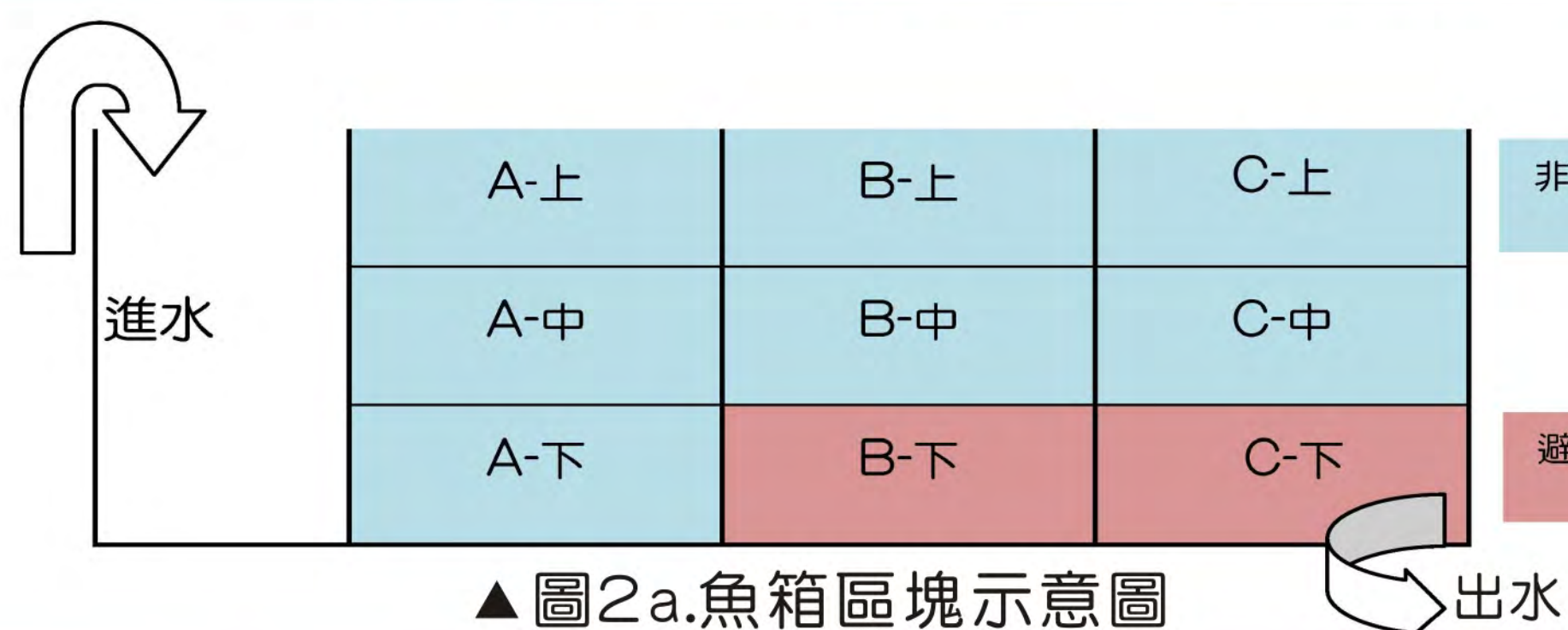
肆、文獻回顧(詳說明書)

伍、研究過程及方法

第一部份：小斑馬魚與小朱文錦魚之避險行為研究

一、前置實驗

- (一)馴養魚箱及試驗魚種的準備
 - 1.設置馴養魚箱(圖1b、1c)。
 - 2.準備試驗魚種：小斑馬魚(圖3a)與小朱文錦魚(圖3b)。
 - 3.自行設計的點滴瓶：毒性試劑實驗用(圖1f)。
- (二)觀測魚箱的設置及進出水流速之估計測試
 - 1.為方便觀察紀錄小魚分布之位置及數量觀測，魚箱區細分為九個區塊(圖2a)。



▲ 圖2a.魚箱區塊示意圖

2.魚箱的設置(圖2b)。



▲ 圖2b.實際設置的魚箱

(三)試驗魚種小斑馬魚及小朱文錦魚之選購

- 1.試驗魚種小斑馬魚及小朱文錦魚，選購自本市大同路鄉井水族館。
- 2.小斑馬魚身長平均約3.5cm、小朱文錦魚身長平均約3cm(圖3a、3b)。



圖3. 試驗魚種

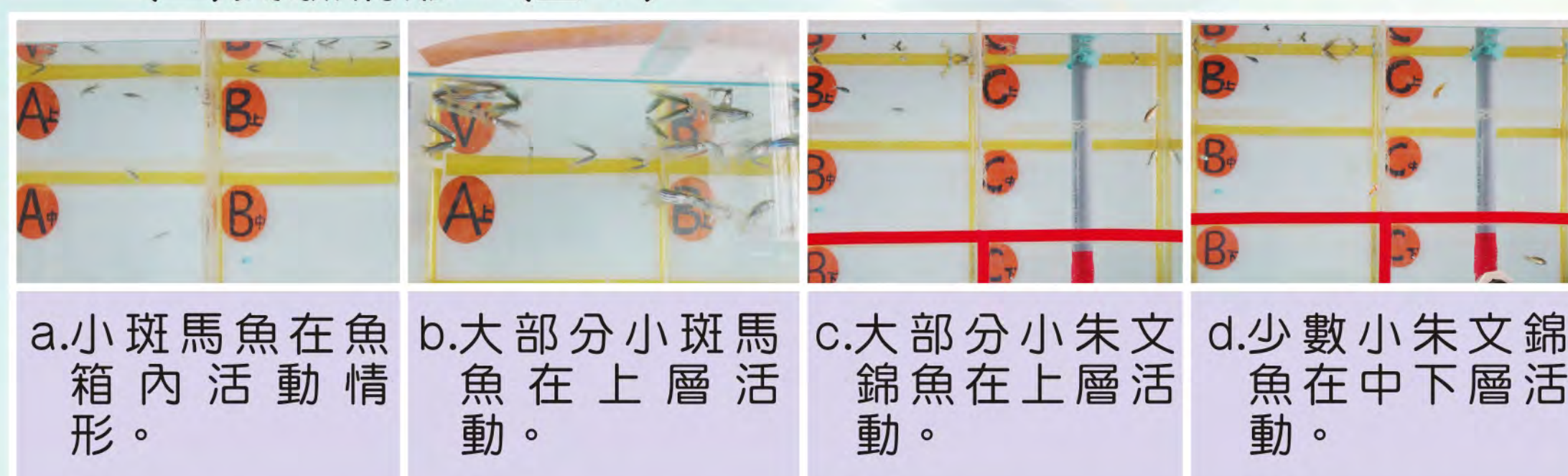
(四)毒性試劑之選擇與加藥用量及進水流速之設定

名稱	設定情形
(1)毒性試劑	使用十二烷基硫酸鈉(S.L.S)試劑及漂白水試劑(其加藥試劑與濃度係採與台灣省自來水廠水質監測試驗相同試劑與濃度做試驗)
(2)加藥濃度	1000ppm(加藥0.5g溶解於500ml蒸餾水攪拌均勻)
(3)加藥速率	20ml/min
(4)觀測魚箱有效容量	$0.94 \times 0.42 \times 0.45 = 0.177(m^3) \approx 177(L)$
(5)進水流速	3.0 (L/min)
(6)水在魚缸停留時間	$177(L) \div 3.0 (L/min) \approx 60min.$
(7)4號黃色食用色素	以蒸餾水調配為2000ppm濃度(方便觀察毒性試劑擴散情形)

二、小斑馬魚與小朱文錦魚一般活動警示指標值之建立

- (一)實驗方法：觀測魚箱內各50隻小斑馬魚及小朱文錦魚在一般無外來毒物之平時活動情形，每天8:00~20:00採人工觀測，紀錄每日小斑馬魚與小朱文錦魚平時活動之狀況及其在魚箱上、中、下層及A、B、C各區之分布情形。

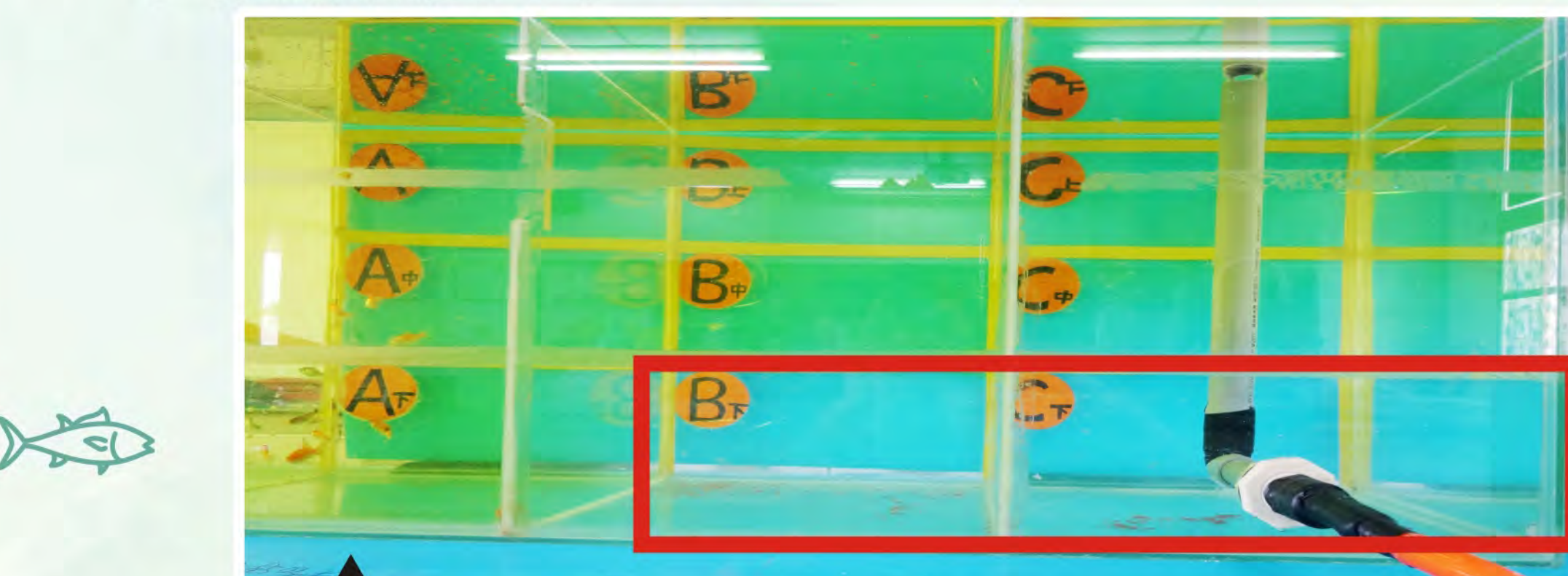
(二)實驗情形：(圖4)



▲ 圖4.小斑馬魚(a~b)與小朱文錦魚(c~d)平時一般活動情形

三、確定觀測魚箱避難區及非避難區之建立實驗

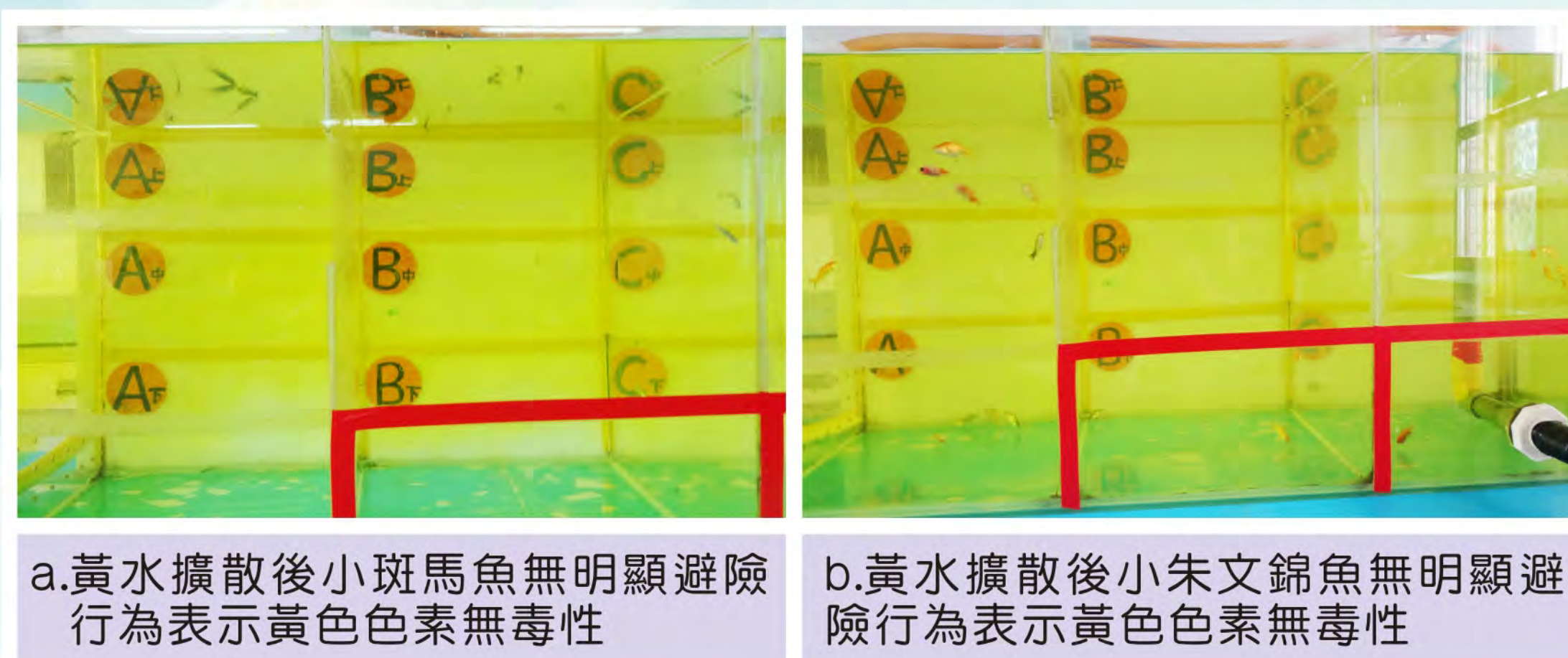
- (一)說明：本實驗目的在使用黃色食用色素配合水流速度，滲入觀測魚箱內利用色素擴散情形，找出魚箱內之避難區及非避難區。
- (二)實驗步驟(詳說明書)。
- (三)實驗情形(圖5)



▲ 圖5.由黃水擴散實驗確認避難區(B下及C下區)

四、空白實驗(黃色食用色素對小斑馬魚與小朱文錦魚避險行為之影響)

- (一)實驗說明：以蒸餾水配製2000ppm之黃水(黃色食用色素溶液)，注入500cc自行設計的點滴瓶中，黃水以20ml/min速率滴入觀測魚箱中，觀察食用色素是否會影響小斑馬魚和小朱文錦魚之一般行為。
- (二)實驗步驟(詳說明書)。
- (三)實驗情形(圖6a、b)。

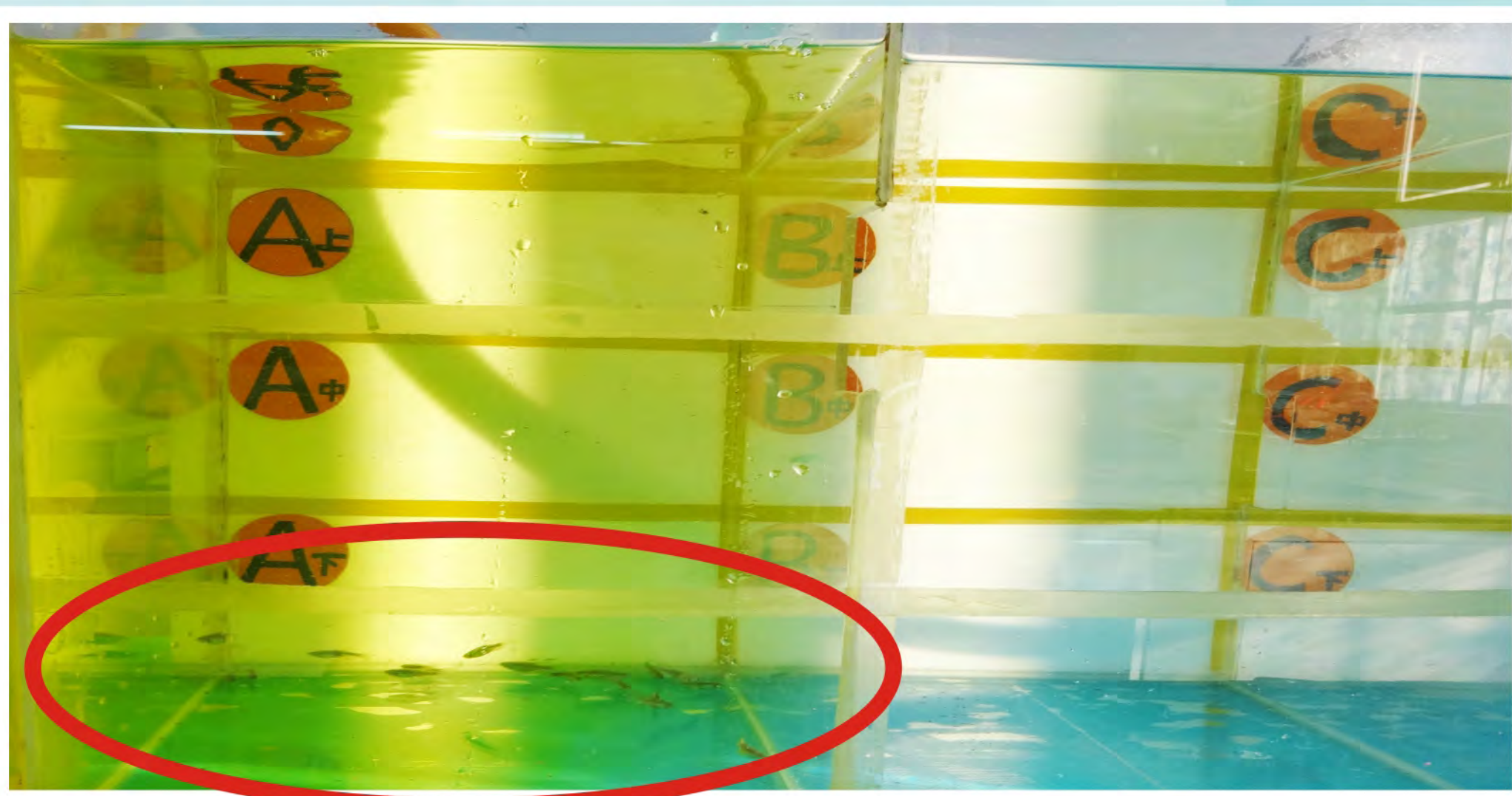


▲ 圖6.黃色食用色素對小斑馬魚及小朱文錦魚的避險行為為影響實驗

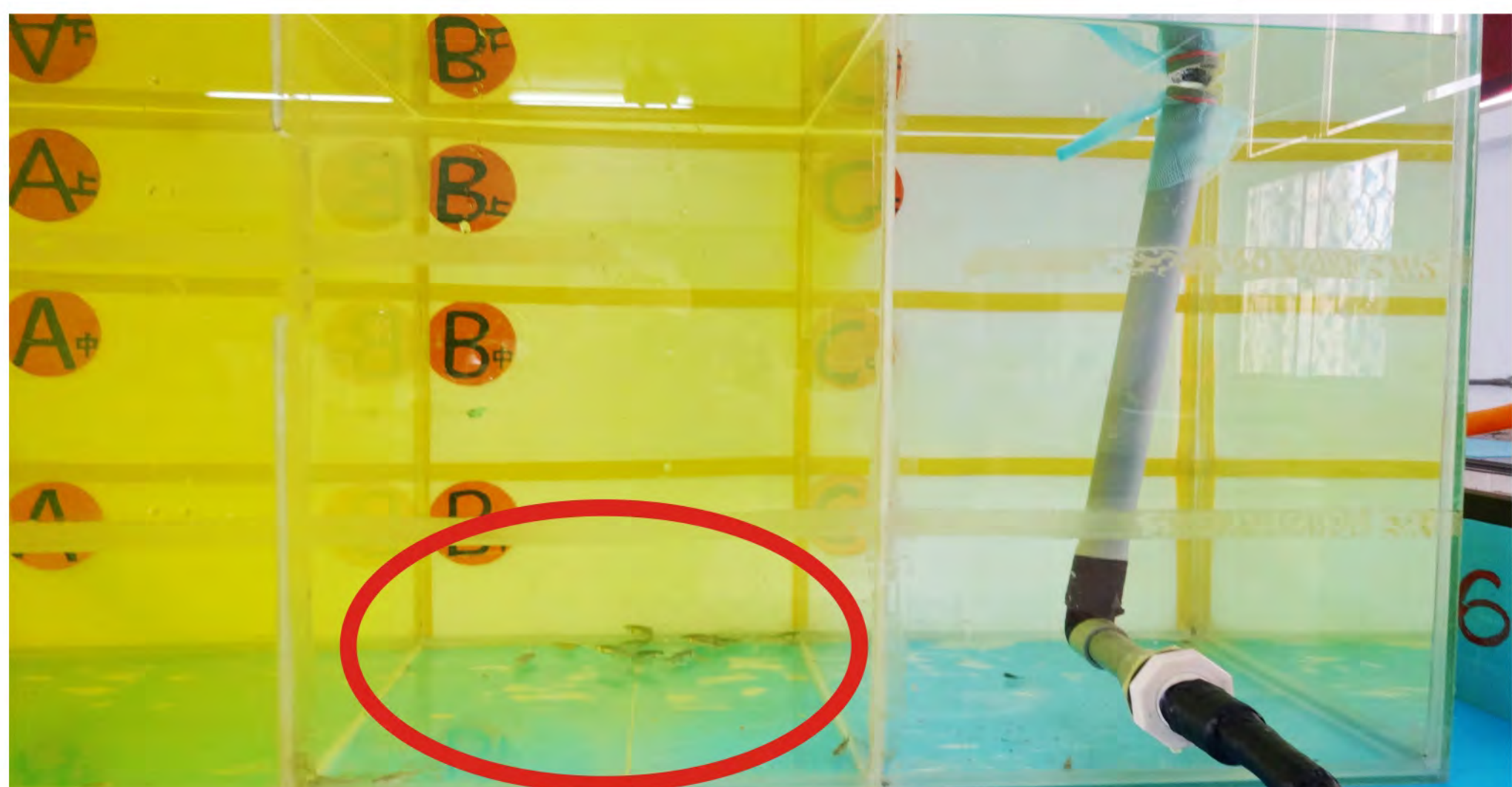
五、加藥試驗以建立警示指標值(WI)

- (一)實驗說明：本實驗使用以1000ppm濃度之漂白水，並混合2克黃色食用色素做為毒性試劑，注入500cc自行設計的點滴瓶中，漂白水以20ml/min速率滴入觀測魚箱中，觀察小斑馬魚和小朱文錦魚行為反應及活動情況。
- (二)實驗步驟(圖7a~c、圖8a~c)：
 - 1.試驗前先檢測魚箱水質，水溫為19℃、pH值 8.0、濁度0.40、餘氯0.01ppm。
 - 2.觀測魚箱內小斑馬魚及小朱文錦魚各20尾。
 - 3.進水流速為3.0 (L/min)，添加漂白水藥品濃度為1000ppm。

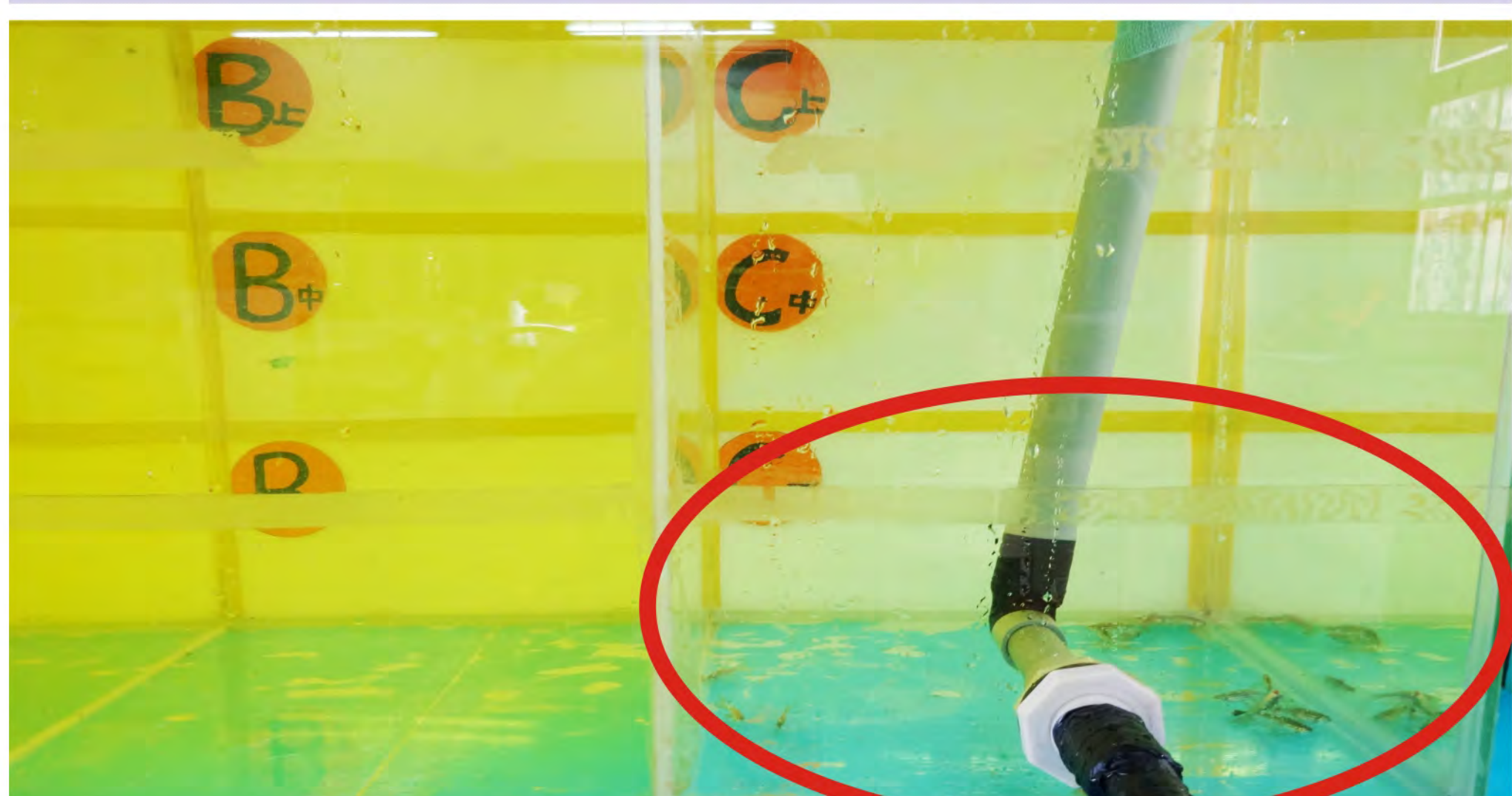
- 漂白水試劑以針筒吸取注入500 cc點滴瓶中並添加黃水試劑。
- 以約20 ml/min之加藥速率，加藥試劑利用點滴瓶滲入觀測魚箱中。
- 進行觀察紀錄。
- 另以S.L.S如上1.~6.步驟實驗。



a.加藥10分鐘後擴散至A區，小斑馬魚明顯從上層往下層游動。



b.加藥15分鐘擴散至B區，小斑馬魚明顯游向避險區。

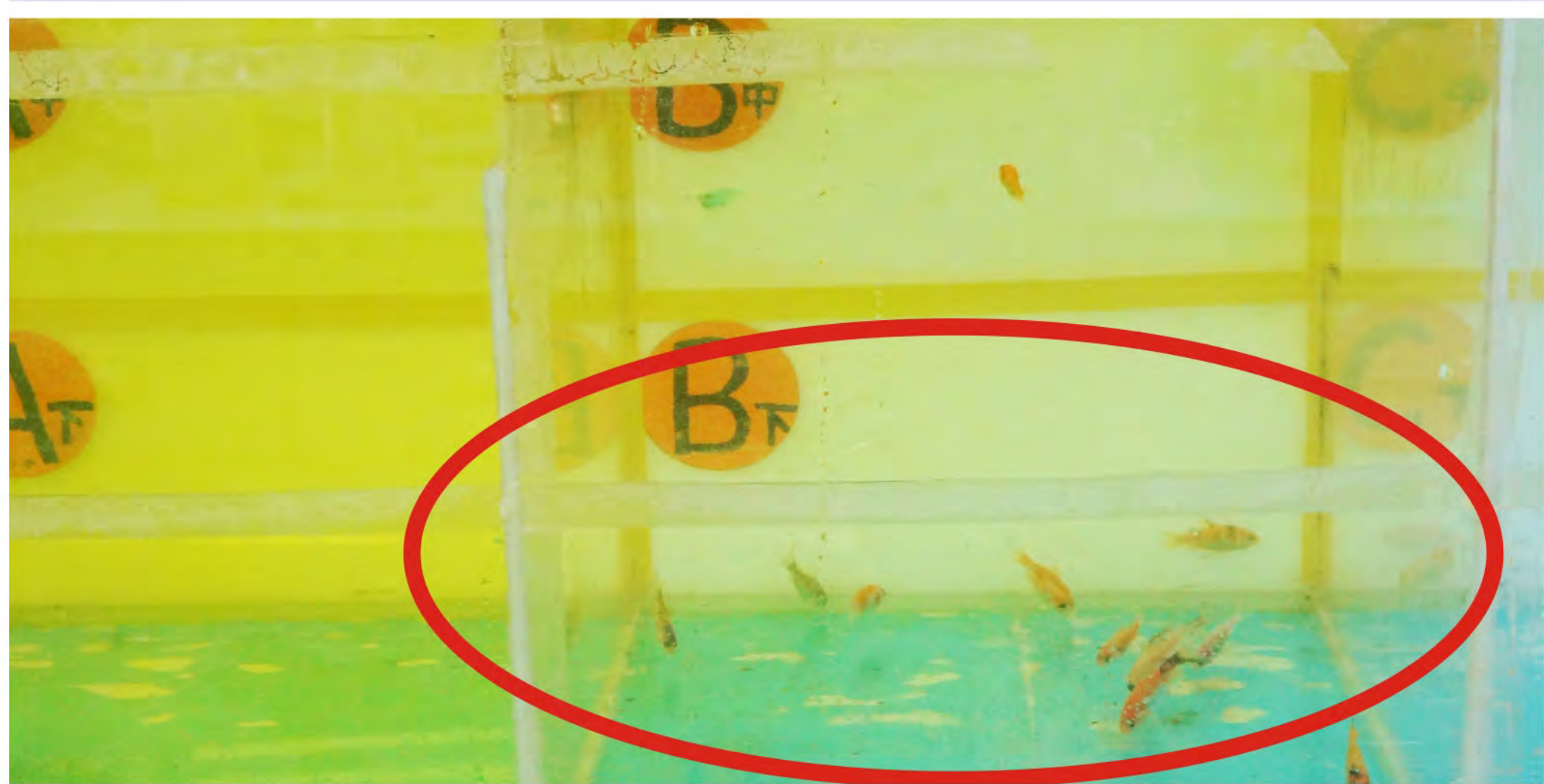


c.加藥30分鐘後已擴散至C區。受毒性試劑影響，小斑馬魚明顯向下面的避險區游動。

▲ 圖7.加藥試驗以建立警示指標值實驗情形(小斑馬魚)



a.加藥10分鐘擴散至A區，小朱文錦魚從上層往下層游動。



b.加藥20分鐘擴散至B區，小朱文錦魚明顯游向避險區。



c.加藥約40分鐘後受毒性試劑擴散影響，小朱文錦魚明顯集結於C區下方的避險區。

▲ 圖8.加藥試驗以建立警示指標值實驗情形(小朱文錦魚)

(三) 警示指標值之建立

建立步驟：

- 將觀測魚箱劃分為九個區塊，以利進行分布之觀察紀錄並據以統計分析。
- 經由黃水擴散試驗所顯示避險區在觀測魚箱中位處B、C隔間下層，為B-下及C-下區，其餘七個區塊則屬非避險區，避險區所佔面積約全區之2/9，餘7/9則屬非避險區。
- 利用四天觀察期資料統計數據，依避險區（B-下及C-下區二個區塊）及其餘非避險區七個區塊累加統計。
- 將上述統計資料採標準化處理（即避險區與非避險區之分布數量取其相對於單一區塊之平均數量），即將避險區之分布統計數量除2即可得〔避險區標準化值（定為Ri）〕，同理，將非避險區分布統計數量除7即可得〔非避險區標準化值（定為Nri）〕。
- 並將觀察期之各時段累加及分時段累加來求其平均標準化值。定義警示指標值WI（Warning Index）為避險區標準化值（Ri）與整區標準化值（Ri+Nri）之比值。經定義警示指標值（WI）後，明顯可知，警示指標值（WI）越大，表示在避險區之魚數越多。當WI = 1時，表示所有魚兒皆避險於避險區。

第三部份：魚兒避險行為應用於污水檢測研究

一、實驗說明：

- 實驗組：利用小斑馬魚與小朱文錦魚，對一般活動及毒性藥物所建立的警示指標值，應用於檢測河川污水、工廠廢水等所遭受污染之程度，做為處理前之預警機制，對水質安全多一層的保護。
- 對照組：以分光光度計檢測水樣各污染指標項目，以確認水質污染程度，避免對水質誤判。

二、實驗方法：

(一) 實驗組：(圖9a~c)

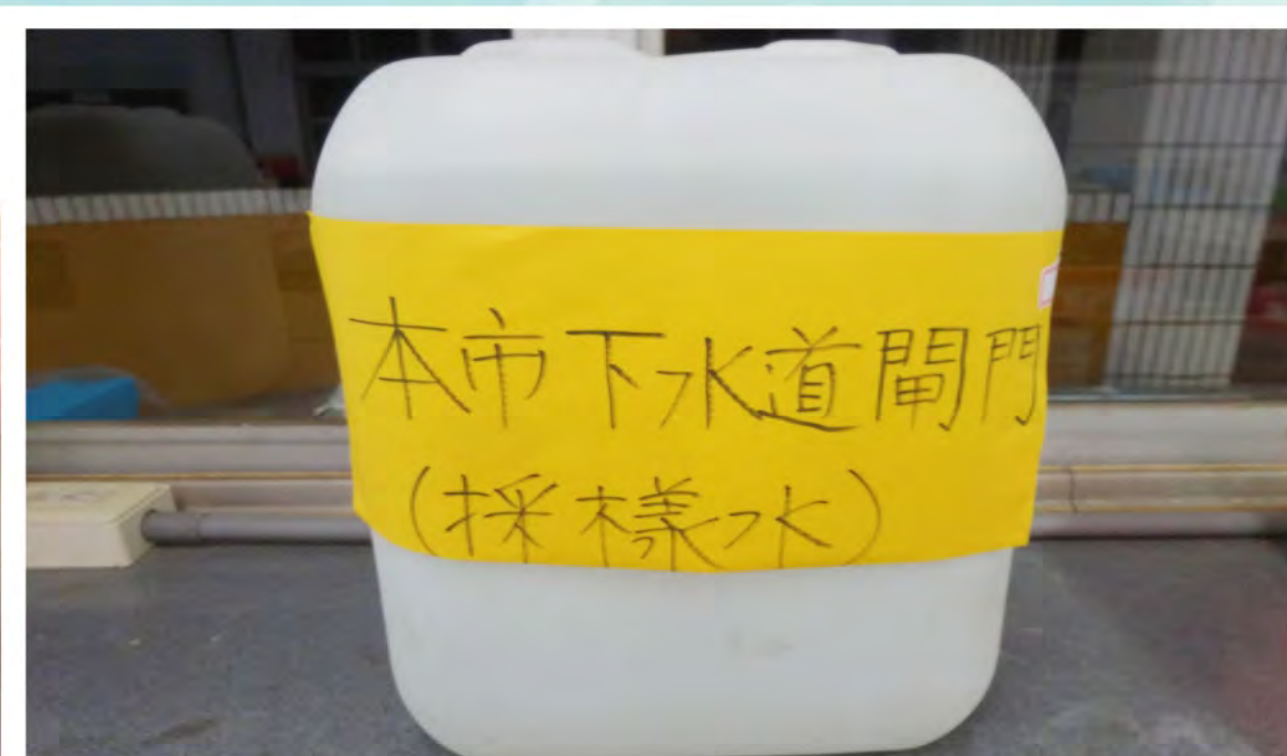
- 取本市下水道排放水樣，置於實驗室備用。
- 水樣中添加2g之黃色食用色素以利觀察。
- 以進水流速控制為3.0 (L/min)，將下水道水樣注入觀測魚箱內，並放入小斑馬魚20尾。觀察小斑馬魚受污水衝擊時之分布位置，觀測並紀錄。
- 改置入小朱文錦魚20尾，如1.~3.步驟，觀測並紀錄。

(二) 對照組：(圖9d)

使用分光光度計檢測水樣，以做為對照組，若水質如溶氧、生化需氧量、氨-氮含量及懸浮固體等超出環保署水質安全標準，可佐證水質已遭受污染。



a.位於本市世賢路之下水道集水區



b.本市下水道排放水取樣



c.以小斑馬魚對下水道排放水檢測



d.以分光光度計檢測本市下水道水質

▲ 圖9.本市下水道排放水檢測

陸、研究結果

第一部份：小斑馬魚與小朱文錦魚之避險行為研究

一、小斑馬魚及小朱文錦魚一般活動警示指標值之建立

(一) 實驗期間：

- 107年1月8日至107年1月11日觀測魚箱內共50尾小斑馬魚。
- 107年2月5日至107年2月8日觀測魚箱內共50尾小朱文錦魚。

(二) 記錄時間：每日分別於8:00、12:00、16:00、20:00四個時間觀察記錄。

(三) 實驗結果：

- 活動分布較偏向於上層即(A-上、B-上及C-上)，中層即(A-中、B-中及C-中)次之，下層(A-下、B-下及C-下)最少。
- 小斑馬魚一般活動警示指標值(WI值)=0.36
小朱文錦魚一般活動警示指標值(WI值)=0.28

(四) 活動紀錄：如表1、2。

▼表1.小斑馬魚一般活動記錄

實驗期間 107年1月8日至107年1月11日						
	08:00	12:00	16:00	20:00	合計	比例
A-上	8	7	12	5	32	16%
A-中	4	3	4	8	19	9.5%
A-下	5	4	2	4	15	7.5%
B-上	7	12	8	7	34	17%
B-中	7	5	3	4	19	9.5%
B-下	1	3	2	4	10	5%
C-上	11	12	12	8	43	21.5%
C-中	4	2	5	7	18	9%
C-下	3	2	2	3	10	5%
合計	50	50	50	50	200	100%
R(i) 值	4	5	4	7		
NR(i) 值	46	45	46	43		
R(i) 標準化	2	2.5	2	3.5		
NR(i) 標準化	6.6	6.4	6.6	6.1		
WI 值	0.23	0.28	0.23	0.36		

▼表2.小朱文錦魚一般活動記錄

實驗期間 107年2月5日至107年2月8日						
	08:00	12:00	16:00	20:00	合計	比例
A-上	9	8	9	6	32	16%
A-中	6	2	5	9	22	11%
A-下	4	4	2	3	13	6.5%
B-上	6	11	8	8	33	16.5%
B-中	7	6	5	4	22	11%
B-下	2	2	2	2	8	4%
C-上	12	13	11	8	44	22%
C-中	3	1	6	7	17	8.5%
C-下	1	3	2	3	9	4.5%
合計	50	50	50	50	200	100%
R(i) 值	3	5	4	5		
NR(i) 值	47	45	46	45		
R(i) 標準化	1.5	2.5	2	2.5		
NR(i) 標準化	6.7	6.4	6.6	6.4		
WI 值	0.18	0.28	0.23	0.28		

- WI值之計算：(以小朱文錦魚在08:00之一般活動為例)
- R(i) 值 = (B-下+C-下) = 2+1=3
- NR(i) 值 = (A-上+A-中+A-下+B-上+B-中+C-上+C-中) = 47
- R(i) 標準化值 = R(i) 值 ÷ 避難區域數 = 3/2 = 1.5
- NR(i) 標準化值 = NR(i) 值 ÷ 非避難區域數 = 47/7 = 6.7
- WI值 = R(i)標準化 ÷ (R(i)標準化 + NR(i)標準化) = 1.5/(1.5+6.7) = 0.18
- 由表1.得知小斑馬魚一般活動警示指標值(WI)為**0.36**(取最大警示上限值)。
- 由表2.得知小朱文錦魚一般活動警示指標值(WI)為**0.28**(取最大警示上限值)。

二、十二烷基硫酸鈉 (S.L.S) 毒性加藥試驗以建立警示指標值 (WI)

(一)實驗期間：

- 1.107年2月24日AM8:00~10:00觀測魚箱內共20尾小斑馬魚。
- 2.107年2月25日AM8:00~10:00觀測魚箱內共20尾小朱文錦魚。

(二)加藥濃度：S.L.S濃度為1000ppm添加黃色食用色素於試劑以利觀察。

(三)實驗結果：

- 1.小斑馬魚之S.L.S毒性加藥試驗警示指標值(WI值) = 0.98(表3)。
- 2.小朱文錦魚之S.L.S毒性加藥試驗警示指標值(WI值) = 0.97(表4)。
- 3.兩種試驗魚其活動分布較偏向於下層(B-下、C-下)，顯然小斑馬魚毒性實驗警示指標值(WI)，大於一般活動警示指標值WI=0.36。
- 4.小朱文錦魚毒性實驗警示指標值(WI)大於一般活動警示指標值WI=0.28。

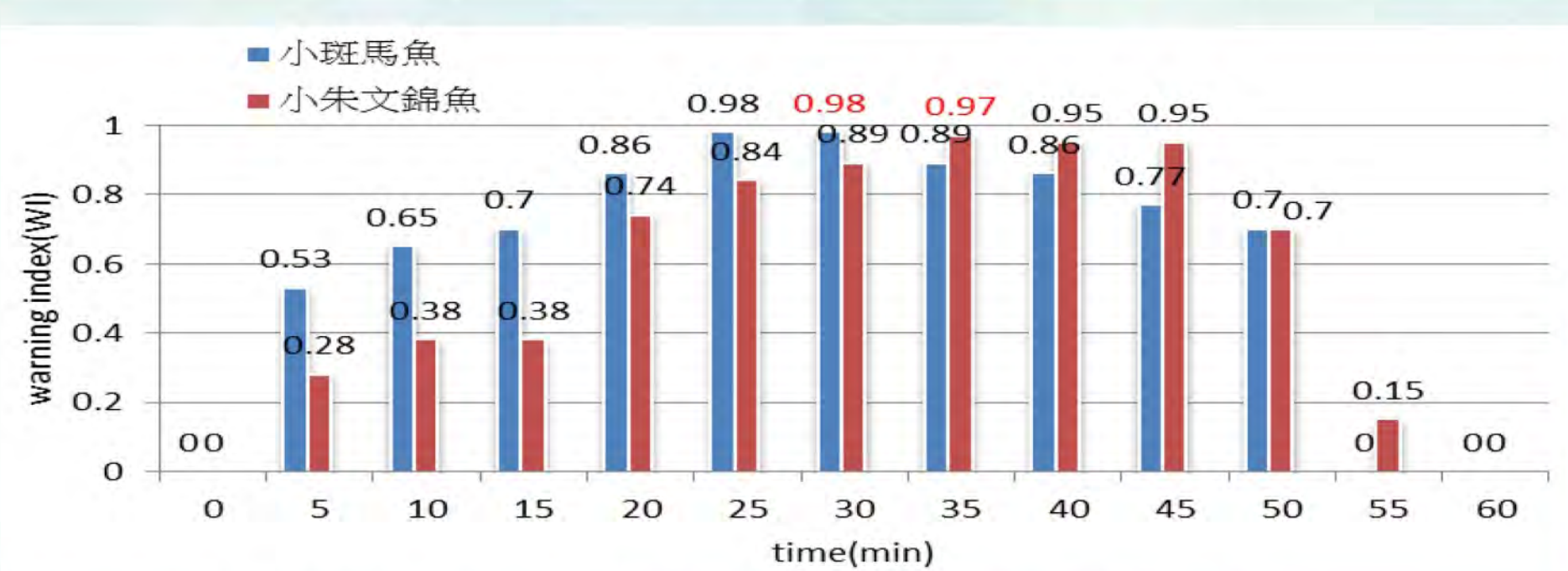
(四)活動紀錄：如表3、4及圖10。

▼表3.小斑馬魚於十二烷基硫酸鈉 (S.L.S) 毒性加藥實驗結果

時間(min)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
R(i)值(避難區)	0	5	7	8	13	19	19	14	13	10	8	0	0
NR(i)值(非避難區)	20	15	13	12	7	1	1	6	7	10	12	20	20
R(i)標準化	0.00	2.50	3.50	4.00	6.50	9.50	9.50	7.00	6.50	5.00	4.00	0.00	0.00
NR(i)標準化	2.86	2.14	1.85	1.71	1.00	0.14	0.14	0.86	1.00	1.42	1.71	2.86	2.86
WI 值	0.00	0.53	0.65	0.70	0.86	0.98	0.98	0.89	0.86	0.77	0.70	0.00	0.00

▼表4.小朱文錦魚於十二烷基硫酸鈉 (S.L.S) 毒性加藥實驗結果

時間(min)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
R(i)值(避難區)	0	2	3	3	9	12	14	18	17	17	8	1	0
NR(i)值(非避難區)	20	18	17	17	11	8	6	2	3	3	12	19	20
R(i)標準化	0.00	1.00	1.50	1.50	4.50	6.00	7.00	9.00	8.50	8.50	4.00	0.50	0.00
NR(i)標準化	2.86	2.57	2.42	2.42	1.57	1.14	0.86	0.28	0.42	0.42	1.71	2.71	2.86
WI 值	0.00	0.28	0.38	0.38	0.74	0.84	0.89	0.97	0.95	0.95	0.70	0.15	0.00



▲圖10.S.L.S試劑毒性加藥試驗結果

三、漂白水毒性加藥試驗以建立警示指標值 (WI)

(一)實驗期間：

- 1.107年2月28日AM8:00~9:00觀測魚箱內共20尾小斑馬魚。
- 2.107年3月1日AM8:00~9:00觀測魚箱內共20尾小朱文錦魚。

(二)加藥濃度：濃度為1000ppm，添加黃色食用色素於試劑以利觀察。

(三)實驗結果：

- 1.小斑馬魚之漂白水毒性加藥試驗警示指標值(WI值) = 0.97(表5)。
- 2.小朱文錦魚之漂白水毒性加藥試驗警示指標值(WI值) = 0.95(表6)。
- 3.兩種試驗魚種活動分布較偏向於下層(B-下、C-下)顯然小斑馬魚毒性實驗WI值大於一般活動警示指標WI=0.36。試驗期間，觀察小斑馬魚魚體無異狀，游動狀況正常。待實驗後發現小斑馬魚出現活動量由多變少、游動狀況由快速趨漸變緩的狀況，亦有倉皇尋找躲避現象發生，此結果可直接判斷水質有異樣。
- 4.小朱文錦魚試驗其避險行為情形亦同。

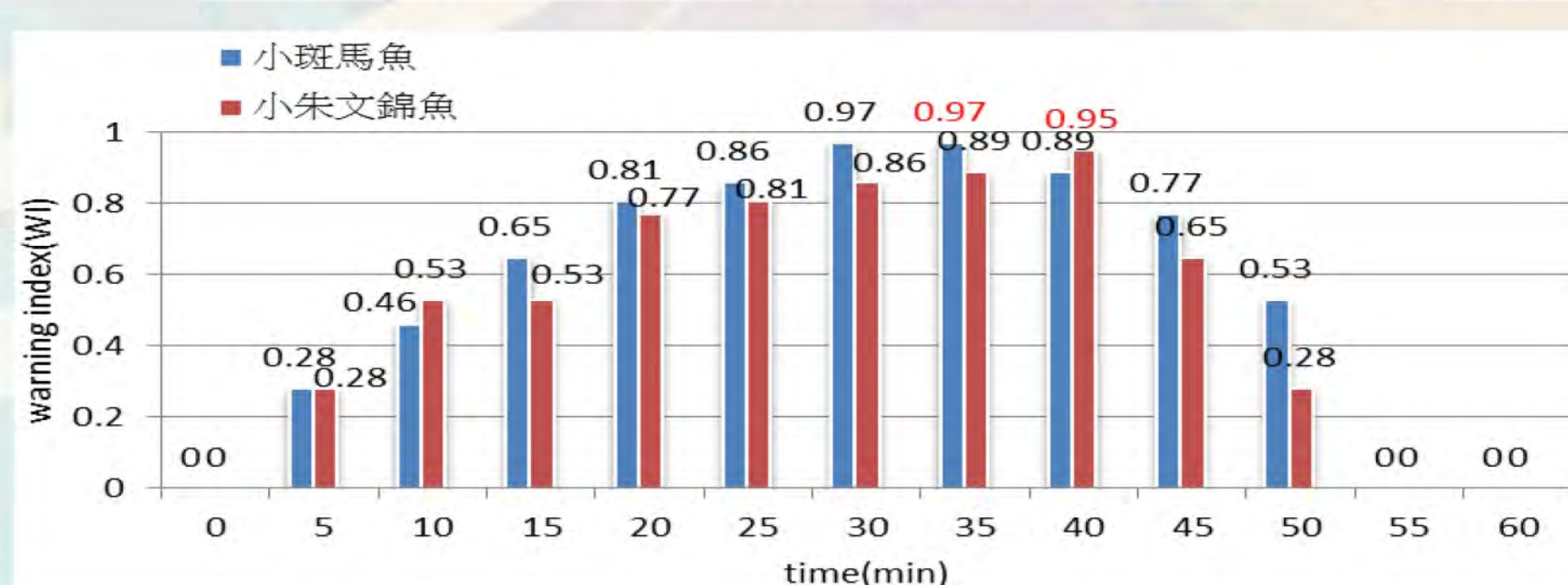
(四)活動紀錄：如表5、6及圖11。

▼表5.小斑馬魚於漂白水毒性加藥實驗結果

時間(min)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
R(i)值(避難區)	0	2	4	7	11	13	18	18	14	10	5	0	0
NR(i)值(非避難區)	20	18	16	13	9	7	2	2	6	10	15	20	20
R(i)標準化	0.00	1.00	2.00	3.50	5.50	6.50	9.00	9.00	7.00	5.00	2.50	0.00	0.00
NR(i)標準化	2.86	2.57	2.28	1.85	1.28	1.00	0.28	0.28	0.86	1.42	2.14	2.86	2.86
WI 值	0.00	0.28	0.46	0.65	0.81	0.86	0.97	0.97	0.89	0.77	0.53	0.00	0.00

▼表6.小朱文錦魚於漂白水毒性加藥實驗結果

時間(min)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
R(i)值(避難區)	0	2	5	5	10	11	13	14	17	7	2	0	0
NR(i)值(非避難區)	20	18	15	15	10	9	7	6	3	13	18	20	20
R(i)標準化	0.00	1.00	2.50	2.50	5.00	5.50	6.50	7.00	8.50	3.50	1.00	0.00	0.00
NR(i)標準化	2.86	2.57	2.14	2.14	1.42	1.28	1.00	0.86	0.42	1.85	2.57	2.86	2.86
WI 值	0.00	0.28	0.53	0.53	0.77	0.81	0.86	0.89	0.95	0.65	0.28	0.00	0.00



▲圖11.漂白水試劑毒性加藥試驗結果

第二部份：魚兒避險行為應用於污水檢測研究

(一)對照組：使用分光光度計檢測水樣結果，如表7。

實驗結果：使用分光光度計檢測本市下水道排放水之溶氧、生化需氧量、氨-氮及懸浮固體等四項檢測值，皆未達CNS放流水標準，亦即下水道排放水已遭受污染。

▼表7.分光光度計檢測本市下水道排放水結果

未(稍)受污染等級標準 (ppm)	溶氧 (DO)	生化需氧量 (BOD)	氨-氮 (NH ₃ -N)	懸浮固體 (SS)
CNS 放流水標準	DO ≥ 6.5	BOD ≤ 3.0	N ≤ 0.50	SS ≤ 20.0
本市下水道排放水	6.0	5.0	0.70	22

(二)實驗組：

實驗結果：

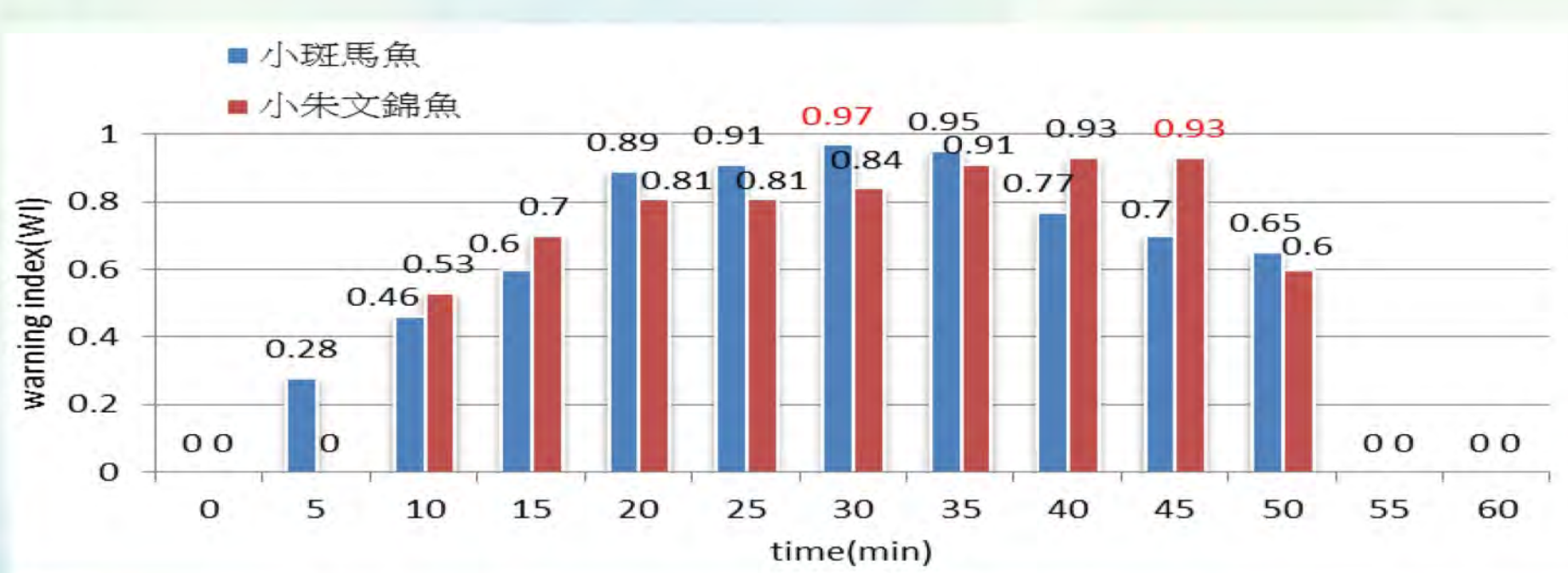
- 1.(1)小斑馬魚對本市下水道排放水水樣，毒性試驗警示指標值(WI值)測試結果為0.97(表8)，大於一般活動警示指標WI值0.36，水質有遭受污染現象。
- (2)小朱文錦魚對本市下水道排放水水樣，毒性試驗警示指標值(WI)測試結果為0.93(表9)，大於一般活動警示指標WI值0.28，水質有遭受污染現象。
- 2.活動分布較偏向於下層(B-下、C-下)。
- 3.小斑馬魚開始測試30分鐘後，已達最高值0.97(圖12)；而小朱文錦魚測試45分鐘後，才達最高值0.93(圖12)，顯示對水質毒性反應之靈敏性比較是小斑馬魚比小朱文錦魚高。
- 4.試驗期間，小斑馬魚以及小朱文錦魚魚體無異狀，游動狀況正常。待20分鐘後，發現小斑馬魚及小朱文錦魚出現活動量由多變少、游動狀況，亦有倉皇尋找躲避現象發生，觀察實驗過程有這些現象，亦可做為判斷水質有異樣之參考。

▼表8.本市下水道排放水水樣試驗小斑馬魚警示指標值

時間(min)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
R(i)值(避難區)	0	2	4	6	14	15	18	17	10	8	7	0	0
NR(i)值(非避難區)	20	18	16	14	6	5	2	3	10	12	13	20	20
R(i)標準化	0.00	1.00	2.00	3.00	7.00	7.50	9.00	8.50	5.00	4.00	3.50	0.00	0.00
NR(i)標準化	2.86	2.57	2.28	2.00	0.86	0.71	0.28	0.42	1.42	1.71	1.85	2.86	2.86
WI 值	0.00	0.28	0.46	0.60	0.89	0.91	0.97	0.95	0.77	0.70	0.65	0.00	0.00

▼表9.本市下水道排放水水樣試驗小朱文錦魚警示指標值

時間(min)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
R(i)值(避難區)	0	0	5	8	11	11	12	15	16	16	6	0	0
NR(i)值(非避難區)	20	20	15	12	9	9	8	5	4	4	14	20	20
R(i)標準化	0.00	0.00	2.50	4.00	5.50	5.50	6.00	7.50	8.00	8.00	3.00	0.00	0.00
NR(i)標準化	2.86	2.86	2.14	1.71	1.28	1.28	1.14	0.71	0.57	0.57	2.00	2.86	2.86
WI 值	0.00	0.00	0.53	0.70	0.81	0.81	0.84	0.91	0.93	0.93	0.60	0.00	0.00



▲圖12.本市下水道排放水水樣試驗結果

柒、討論

- 第一部份：小斑馬魚與小朱文錦魚之馴養及空白實驗(詳說明書)
- 第二部份：魚兒避險行為之研究(詳說明書)
- 第三部份：魚兒避險行為應用於汙水檢測之研究(詳說明書)
- 第四部分：未來展望(詳說明書)

捌、結論

目前台灣自來水公司於各淨水場及水源取水站，設置原水養魚箱毒性監測系統，將原水引進魚箱內，由值班人員對小魚的游動行為是否異常及其存活或死亡數做記錄，以作為判定水質是否遭受毒物污染之依據；但因魚箱內部分區塊會產生水流滯留區，魚兒天生又具有避險特性，因此這些滯留區成為魚兒遭遇毒害時的避難區，導致此監測系統無法即時判定水質異樣的功能。

本研究利用小斑馬魚與小朱文錦魚群體避險特性，確立原水無毒性時一般活動警示指標值，將小斑馬魚平時活動紀錄比對毒性物質加藥試驗結果，對避難區及非避難區進行觀察，訂定足以啟動警訊之WI警示指標值，應用魚兒習性及避險求生本能，做為水質毒性監測，省時便捷又經濟。但常因一時疏失造成誤判，建議應佐以水質儀器再做檢測確認，使失誤降至最低。

玖、參考資料(詳說明書)