

# 臺灣二〇〇八年國際科學展覽會

科 別：環境科學

作品名稱：千金難買「蚤」知道

得獎獎項：第三名

學校 / 作者：國立桃園高級中學  
國立桃園高級中學

何建勳  
盧璟毅

## 作者簡介



我叫何建勳，對我來說音樂是我的摯友，書籍是我的對事物的好奇心最大的媒介，或許我的功課不是很好，但我追尋我喜愛的事物、我想吸收的知識，廣告詞說：“時間就該浪費在美好的事物上”，這句話讓我感觸良多，美好的定義對於每個人都不同，對我來說值得我去作的事物就是美好，參加科展是件值得的事，讓我對於未來的事物增加更多的了解，是件美好的事。

## 作者簡介



多年以來，我對於自己的存在一直處於一種模糊的狀態。自己是誰？似乎連我都無法找到一個標準答案，沒有提示、沒有協助，但那股求證的熱血驅使著我踏上沒有理由的尋己之路，不斷地在記憶的片段、生活的點滴和成長的趨勢中，逐漸拼湊出自己的輪廓。

沒有輝煌的歷史；沒有特殊的才能，對於一個只順從一般教育的我而言，自我認知太膚淺，使這一副輪廓拼圖似乎太複雜，完成的日期近似於無期。但這一切的停滯，在國中時，我對於研究的興趣被一位老師開啓後，開始大躍進，許多細微的拼圖片段迅速成形，使完成這拼圖的時間大幅減少。

高中的我，雖未完成輪廓，但已明確地清楚自己的路：做自己熱愛的事、創造自己讚嘆的明天。我不留下傳奇，只留下歷史。我就是主宰這軀殼的靈魂。

## 摘要：

我們的研究重心是設計簡便的裝置來檢測生活周邊的用水。利用生物對於環境污染的生理特徵、活動力、忍受極限…等變化，作觀察、實驗之後，將紀錄結果分析、做成表格，進而形成明確、簡易的指標，以供給一般人更容易的了解用水的品質。

本實驗不必使用昂貴的儀器來檢測河水與用水，成本低廉的水生生物為本實驗的最佳選擇。可於任何地點完成，作為大眾化的檢測方法。

本實驗參考水樣急性檢測方法－水蚤靜水式，以水蚤在不同金屬離子、酸鹼值溶液中的實驗結果，用以做為分析水質的標準，佐證我們生活圈附近的水質現況。

We can't afford the price of water pollution

— water flea acute detection method —

Our point of study is design the simple and convenient device to measure the water with peripheral life. Utilize the living beings to the physiological characteristic, energy of the environmental pollution, stand limit. Wait for and change, after making observation, experiment, noting down the result will be analysed, make into the form, and then form the clear, simple and easy index, in order to supply common people with the quality of easier understanding water.

This experiment needn't use the expensive instrument to measure river and water, the best choice of the experiment that the cost is based on living beings cheap aquatically. Can finish in any place, as the popular detection method.

This experiment consults the acute detection method of water sample – Water flea's quiet ability of swimming, with the experimental result in different metal and ion, sour soda value solution of water flea, use the standard taking making as water quality of analysis, prove the present situation of water quality of adjacent place of our life range.

## 壹、 研究動機：

水污染指標生物就是一種對某種水污染物特別敏感而會產生獨特典型受害症狀之生物，水中生物對水質有不同的敏感度，一般潔淨的水中生物種類多而數量少，而受污染的水中生物種類減少但數量增多，但若受到嚴重污染時，較高等的水生物無法生存。只要將欲檢測的水源加入系統中，根據其生理機能所產生之異常症狀以判斷我們檢測的水源遭受到何種水污染物之污染，所以它是一種簡單有效而又省錢的水污染的檢測方式。

動物受到水源污染的傷害，一但污染劑量高過於牠所可以忍受的程度，便會表現出某些病徵。其中過程是相當複雜的，有一些是污染物直接對組織、細胞或酵素等造成傷害，有一些則是間接衍生出生理代謝的異常。另一方面不同動物的品種、變種或在培種各有不同的生化組成與生理代謝，因此最終表現在外的讓肉眼可加以辨識的病徵，也就各有不同。若這類病徵達到完全與眾不同的程度，這類病徵特性便可作為特定污染的指標。

由數隻水生小動物忠實污染劑量，實在是最經濟的環境監測方法。它的優點有：

- 一、 成本極低，不用一部儀器動輒耗費數十萬元。
- 二、 具有生物監測的內涵，能測知生物是否受害。
- 三、 能綜合監測，同時監測多種污染物質。

由上述方式我們選擇水蚤來做為我們實驗的主角，並以五種常見金屬離子溶液及家庭可能製造出來的廢水來觀察並記錄水蚤在溶液中的狀況。

我們選擇以下五種金屬離子溶液：

- 一、 鉛離子溶液 = > 汽車電池、重工業。
- 二、 銅離子溶液 = > 電鍍工業。
- 三、 鎳離子溶液 = > 鹼性電池電解液。
- 四、 汞離子溶液 = > 電池製造。
- 五、 鋅離子溶液 = > 鋼板鍍鋅。

南崁溪（流經桃園市的溪流）流域有許多工廠，水污染明顯，可採集作為實驗溶液。廢水方面我們使用手工肥皂水、肥皂粉水（洗衣粉）及水溝水。

希望能以這個實驗的結果來建立一個有效的水污染指標，經過內臟及外觀的變異即可判定水污染的來源。

## 貳、 研究目的：

- 一、 設計相關化學實驗以了解各種水污染物對水蚤的影響。
- 二、 藉由水蚤生活於不同的家庭用水之觀察研究，了解家庭廢水對水蚤的影響。
- 三、 對桃園市近郊的南崁溪進行水源監測。

## 參、 研究設備及器材：

### 一、材料：

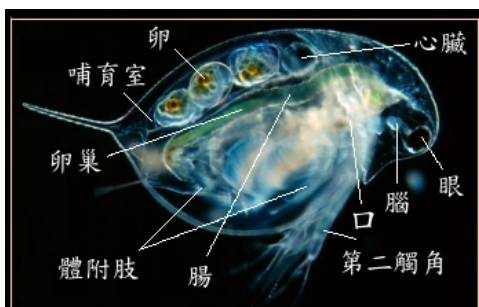
- (一) 透明玻璃水缸(約 40\*40\*40 立方公分、以利觀察)
- (二) 水蚤數百隻(從中挑選出大小相近的來實驗)
- (三) 酵母 200g(天氣陰雨、陽光不足時使用的飼料)
- (四) 50ml 之針筒數個(吸除缸底沉澱物)
- (五) 濾網(換水及清除水中其他非水蚤之小動物、雜質用)
- (六) 荷花池水(主要飼料-天氣晴朗時使用)
- (七) 乾淨空寶特瓶數個(換水專用及儲存金屬離子溶液專用)
- (八) 水桶(採集荷花池水專用)
- (九) 0.0001M、0.01M 鉛離子溶液(約 100ml)
- (十) 0.0001M、0.01M 銅離子溶液(約 100ml)
- (十一) 0.0001M、0.01M 鎳離子溶液(約 100ml)
- (十二) 0.0001M、0.01M 銀離子溶液(約 100ml)
- (十三) 0.0001M、0.01M 鋅離子溶液(約 100ml)
- (十四) 拭鏡紙(擦拭顯微鏡之鏡頭)
- (十五) 100ml、200ml 燒杯數個(裝金屬溶液及其他的液體)
- (十六) 量筒(調配金屬溶液)
- (十七) 容量瓶 500ml (裝有  $CH_3COOH$  (pH3.37)、 $CH_3COONa$  (pH8.37)各 500ml)

### 二、設備：

- (一) 電子秤(調配溶液時使用)
- (二) 含擷取影像功能之顯微鏡(觀察與拍攝水蚤使用)
- (三) 水族箱打氣馬達
- (四) 燈組 (含燈泡、燈座、底座，用來維持溫度與培養綠水)

### 三、水蚤之介紹：

水蚤屬於節肢動物門鯁足綱，是一種小型的甲殼類動物，身體短小，左右側扁，從側面觀察略成橢圓形。平時水蚤會利用第二觸角的擺動到處游來游去找尋食物，牠們的食物來源是水中的細菌、藻類和有機物等，同時牠們主要是藉由撥動身體的幾對「體附肢」來攝取食物。當扁平的體附肢撥動時，便能夠引起水流，食物就會隨著水流進入口內而被水蚤所攝取。事實上，絕大多數的水蚤都是採上述的方法攝食，因此屬於「主動濾食性動物」。



圖一



圖二

水蚤雖然是水生生物，但並不是在每個水域中可以找的到牠，在水質清澈、流動性高的溝渠，所採集的水中並無水蚤的蹤跡；在水質污染嚴重的水中，也很難找得到水蚤；反而在含有些許有機物、稍混濁的水質中，水蚤卻是簡單易見！也就是說水質要有點乾淨又不能太乾淨的湖泊、池塘裡水蚤才容易存活。因此我們可以推知，水蚤可作為輕度或中度污染的指標生物。簡單地說，水質污染嚴重或太過乾淨都會讓水蚤難以存活下去，像日本便會採用水蚤類來測試農藥的毒性，並根據毒性濃度將農藥分成不同等級；美國環境保護局（EPA）則規定農藥申請註冊時，必須提供以水蚤類作毒性測試的數據。美國公共衛生協會（APHA）也規定使用某種大型水蚤來檢驗水質。

## 肆、研究過程或方法：

### 一、飼養方式

（一）一星期餵養兩次（間隔約 3~4 天），依天氣狀況採取下列不同的餵食方式

1. 晴天：水中藻類由於日照充足，所採集的池水較綠，又以鴨棚附近水域的有機質較高，藻類較為營養，故最常採集。
2. 陰天：水中藻類不足，且水質混濁，故以酵母餵養，每次約五分之一至四分之一茶匙配置 100ml 溶液混合均勻後倒入水缸中。寒假時由於天氣多為陰雨，較常以酵母餵食，繁殖迅速。

### 二、換水方式：

- （一）提荷花池水。
- （二）將缸中的水過濾二分之一（保留水蚤）。
- （三）再將池水分若干次過濾去除其他水中動物與雜質後，倒入水缸。

### 三、金屬離子溶液實驗過程：

（一）由於高濃度的離子水溶液可快速顯現各離子的破壞部位，而低濃度較貼近真實含離子的污水，所以我們選擇 0.01M 及 0.0001M 濃度來配製離子溶液，配製方法如下：先配製含  $Cu^{2+}$ 、 $Zn^{2+}$ 、 $Pb^{2+}$ 、 $Ni^{2+}$ 、 $Hg^{2+}$  之 0.01M 溶液，取 0.01mole 的藥品

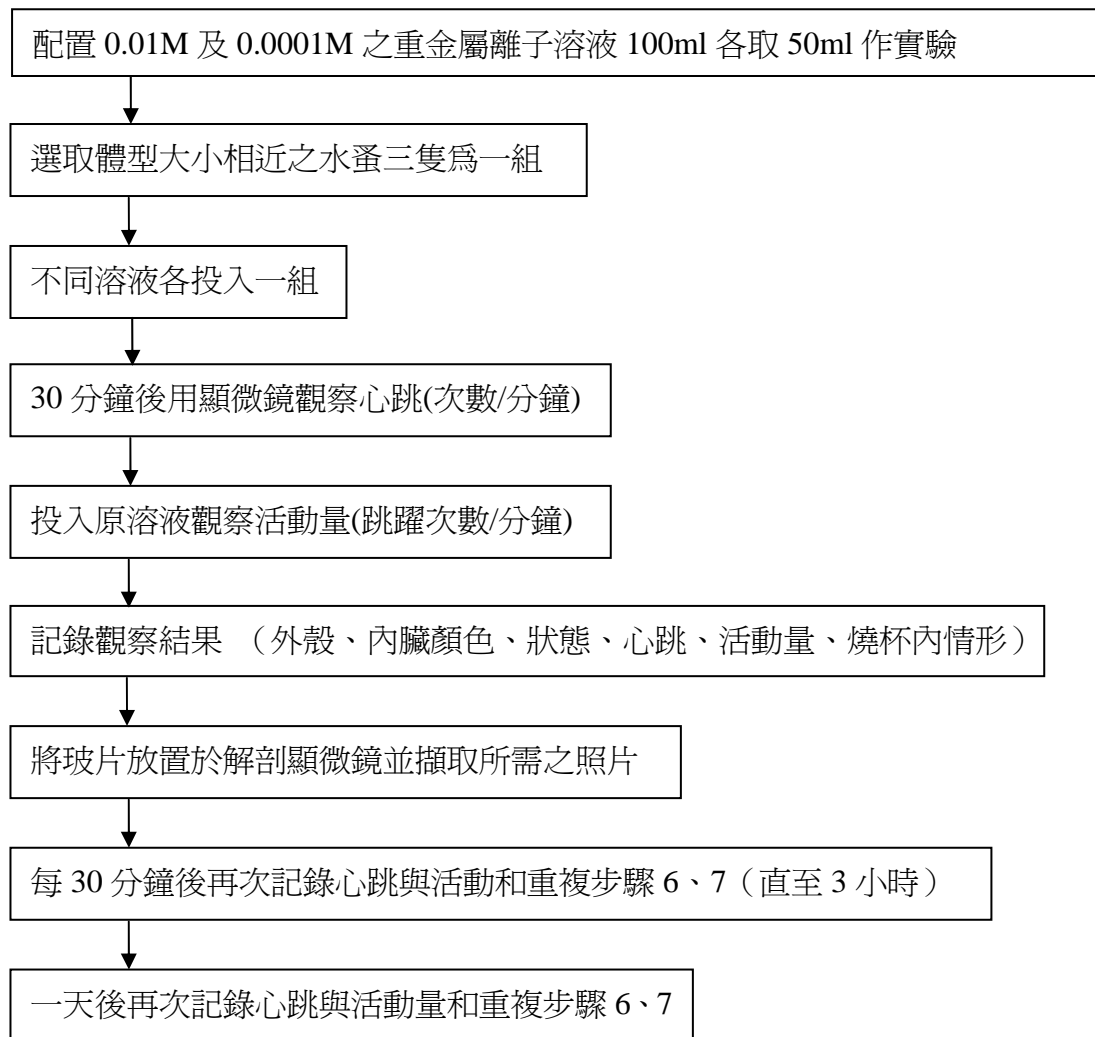
$\left(\frac{\text{藥品分子量}}{100}\right)$  先溶於少量去離子水中，緩慢加入去離子水待之完全溶解，再加

入去離子水至 100ml，取 50ml 裝入另一 100ml 燒杯中，再將剩餘之溶液各取 1ml 各倒進 100ml 容量瓶中（其餘之溶液倒入廢液桶），加水至 100ml 使之濃度縮小 100 倍，變為 0.0001M，而 0.01M 與 0.0001M 之實驗將分兩段進行。

（二）將三隻健康的水蚤為一組，分別放入 0.01M&0.0001M 之銅離子溶液、鋅離子溶液、鉛離子溶液、鎳離子溶液、汞離子溶液及對照組，並以 30 分鐘為單位觀察紀錄之。（連續 3 小時）

（三）用乾淨的滴管及湯匙將水蚤放置於凹槽玻片中，並用顯微鏡 10\*15 的倍率觀察記錄每分鐘的心跳次數，另外用肉眼觀察水蚤在燒杯中的活動量，記錄每分鐘在水中跳動次數，後將玻片放置於解剖顯微鏡並擷取所需之圖片。

(四) 實驗流程圖：

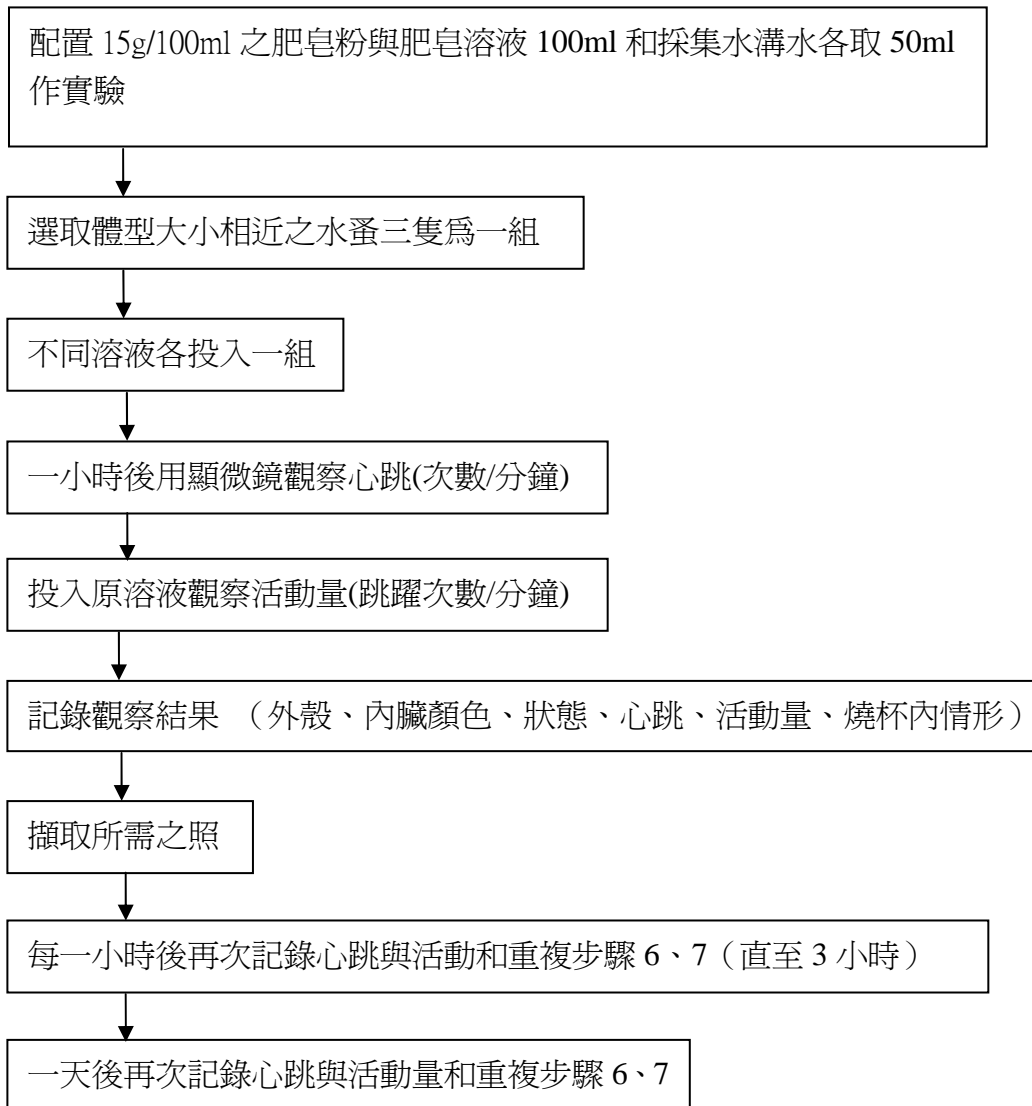


圖三



#### 四、家庭廢水實驗過程：

- (一) 用去離子水調配 15g/100ml 之肥皂水、肥皂粉水(洗衣粉)及到社區小水溝採集廢水，將其各取 50ml 分別裝入燒杯中。
- (二) 將三隻健康的水蚤為一組，分別放入燒杯中，並以一小時為單位觀察紀錄之。(連續 3 小時)
- (三) 用乾淨的滴管及湯匙將水蚤放置於凹槽玻片中，並用顯微鏡 10\*15 的倍率觀察記錄每分鐘的心跳次數，另外用肉眼觀察水蚤在燒杯中的活動量，記錄每分鐘在水中跳動次數，後擷取所需之圖片，與實驗結果作比較。
- (四) 流程圖：



圖四

## 五、河川水質檢測實驗過程：

- (一) 依照桃園縣環保局於桃園縣南崁溪之水質檢測採集點（光明二橋、田寮橋），至該點採集溪水。



圖五



圖六



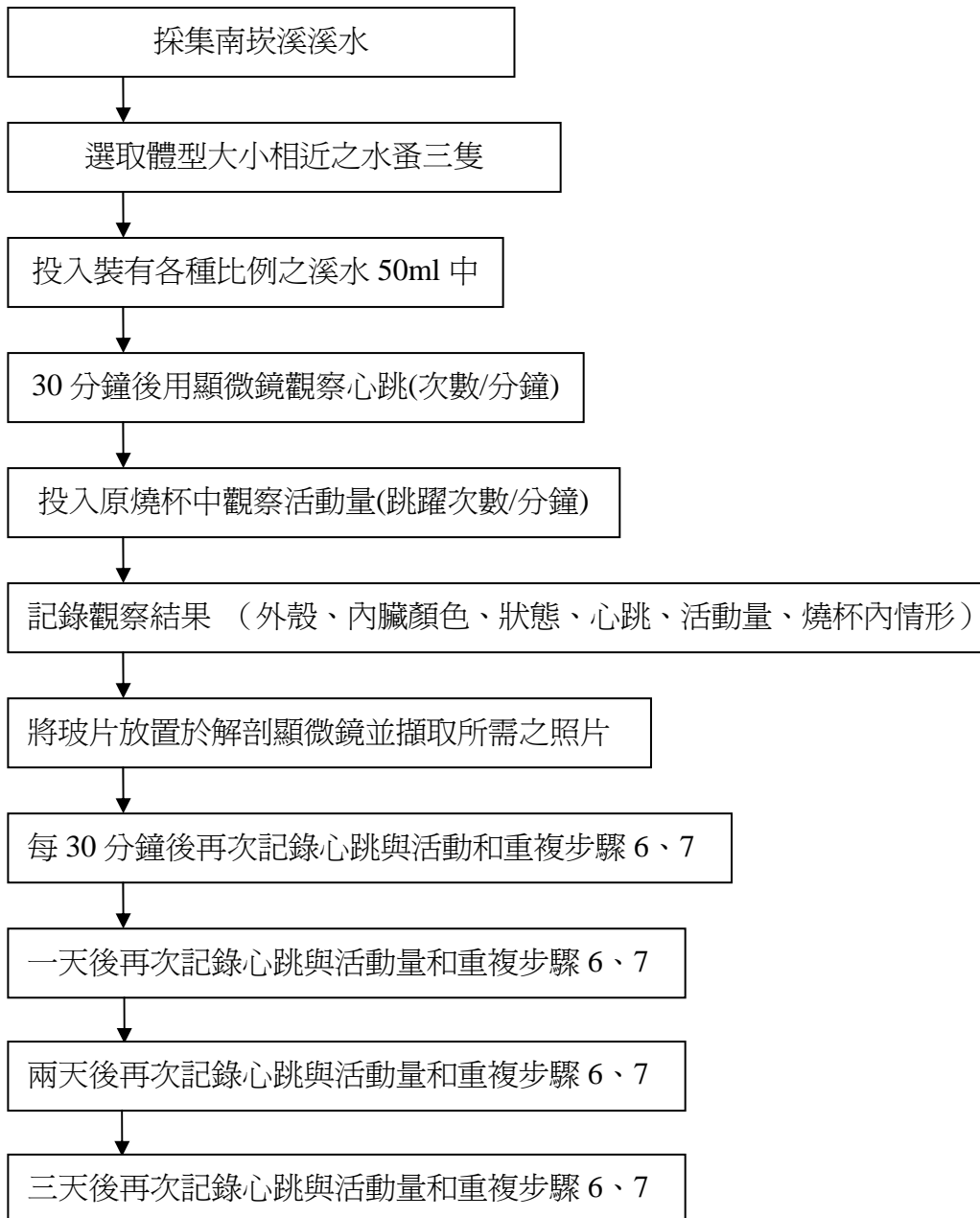
圖七



圖八

- (二) 將三隻健康的水蚤為一組，分別放入溪水與水蚤生存之水比例為 100ml:0ml、50ml:50ml、及對照組各 50ml 的溶液中，並以 30 分鐘為單位觀察紀錄之。(連續 3 小時)
- (三) 用乾淨的滴管及湯匙將水蚤放置於凹槽玻片中，並用顯微鏡 10\*15 的倍率觀察記錄每分鐘的心跳次數，另外用肉眼觀察水蚤在燒杯中的活動量，記錄每分鐘在水中跳動次數，後將玻片放置於解剖顯微鏡並擷取所需之圖片，與實驗結果作比較。
- (四) 由於對照組於 2 天後即死亡，為了求證是否因食物短缺而死亡，於此實驗完成後一天取兩採集點之 100ml:0ml 之溪水 50ml 再次實驗，本次實驗在溪水中各加入約 5ml 之酵母水。

(五) 流程圖：



圖九

## 五、酸鹼值溶液實驗過程：

配置各種酸鹼值溶液各 50ml，水蚤以三隻為一組在每個溶液中投入一組觀察並紀錄狀態。

(一) 0.01M  $CH_3COOH$  配置方法:

取  $CH_3COOH$  0.29ml  $\xrightarrow{\text{加水稀釋}}$  至 500ml

(二) 0.01M  $CH_3COONa$  配置方法:

取  $CH_3COONa$  0.41g  $\xrightarrow{\text{加水稀釋}}$  至 500ml

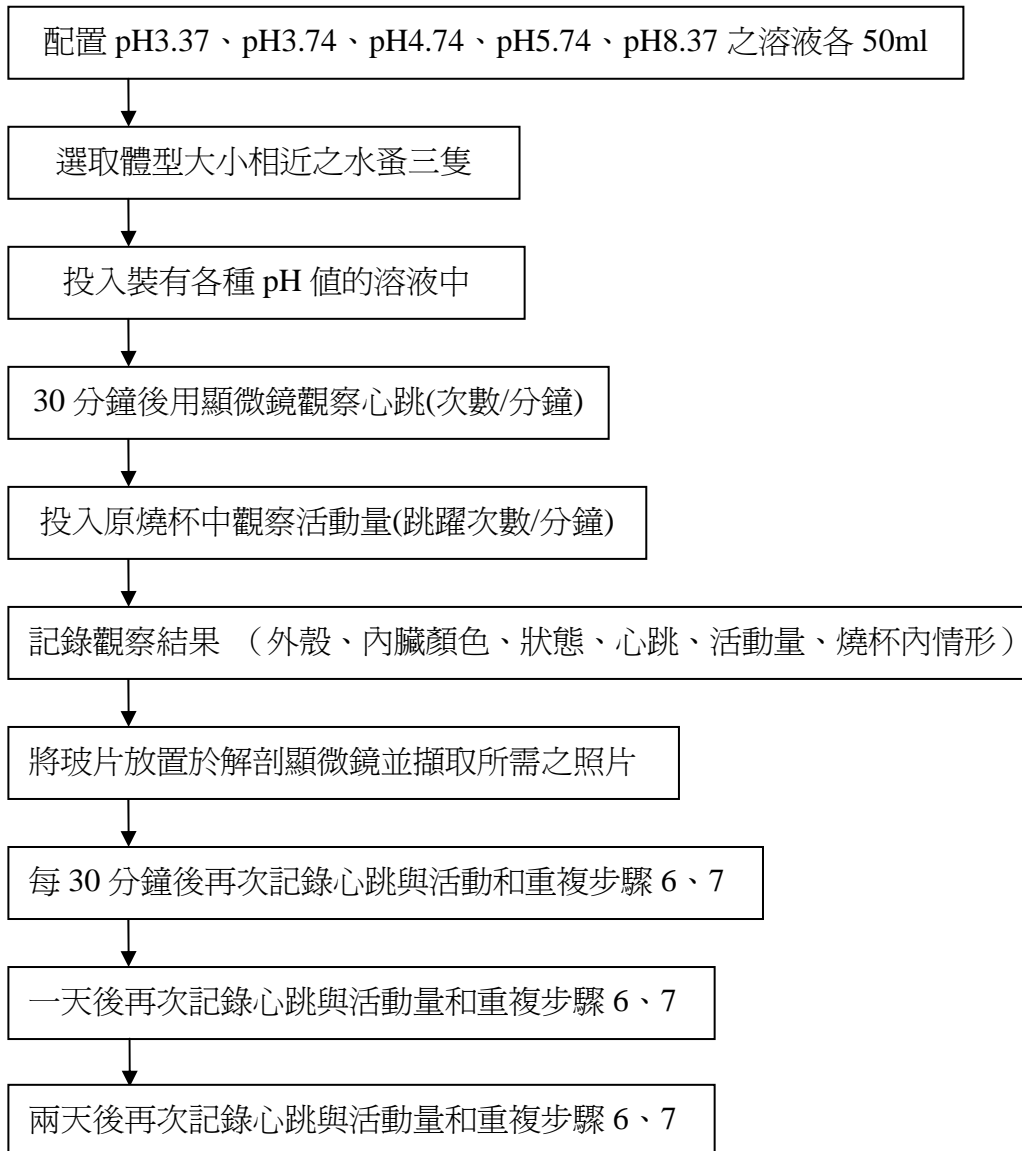
(三) 各酸鹼值配置方法：

1. 0.01M  $CH_3COOH$   $\rightarrow$  pH3.37
2. 0.01M  $CH_3COOH$  : 0.01M  $CH_3COONa$  = 10:1  $\rightarrow$  pH3.74
3. 0.01M  $CH_3COOH$  : 0.01M  $CH_3COONa$  = 1:1  $\rightarrow$  pH4.74
4. 0.01M  $CH_3COOH$  : 0.01M  $CH_3COONa$  = 1:10  $\rightarrow$  pH5.74
5. 0.01M  $CH_3COONa$   $\rightarrow$  pH8.37

(四) 用乾淨的滴管及湯匙將水蚤放置於凹槽玻片中，並用顯微鏡 10\*15 的倍率觀察記錄每分鐘的心跳次數，另外用肉眼觀察水蚤在燒杯中的活動量，記錄每分鐘在水中跳動次數，後將玻片放置於解剖顯微鏡並擷取所需之圖片，與實驗結果作比較。

(五) 由於對照組於 2 天後即死亡，為了求證是否因食物短缺而死亡，於此實驗完成後一天取兩採集點之 100ml:0ml 之溪水 50ml 再次實驗，本次實驗在溪水中各加入約 5ml 之酵母水。

(六) 流程圖：



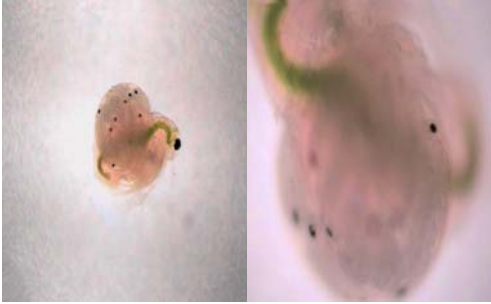

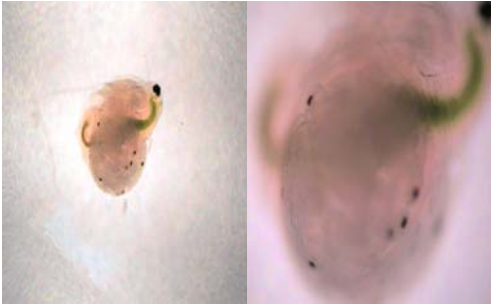
圖十


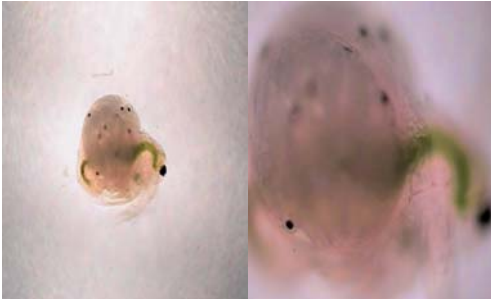
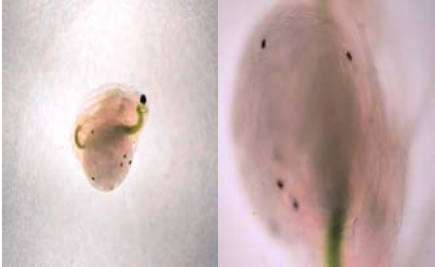

## 伍、研究結果：

### 一、金屬離子溶液實驗結果：

#### (一) 對照組:

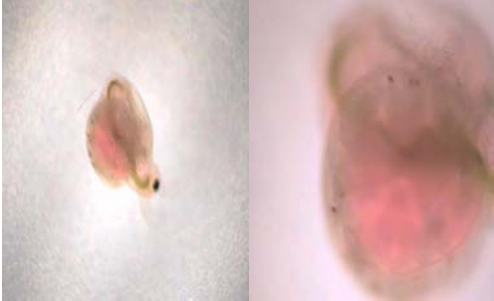

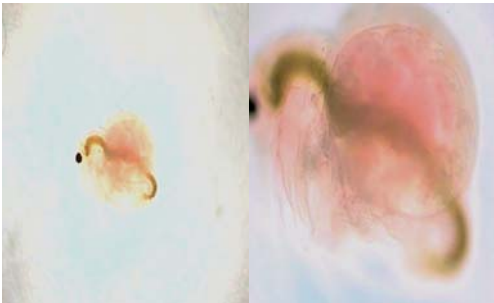
##### 1. 0.01M：

17.9°C	0.01M 離子對照組
<p>30 分鐘後</p>	<p>心跳:176 次/分鐘 活動量:156 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>60 分鐘後</p>	<p>心跳:168 次/分鐘 活動量:164 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>90 分鐘後</p>	<p>心跳:204 次/分鐘 活動量:160 次/分鐘 傷害狀況: 即將生產 幼體活動</p> 

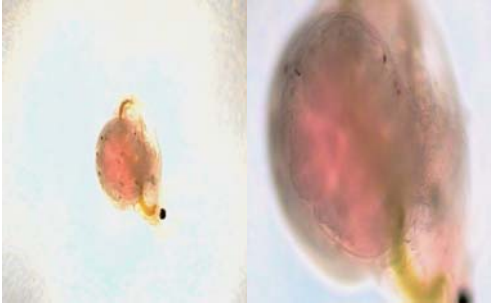



<p>120 分鐘後</p>	<p>心跳:240 次/分鐘 活動量:176 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>150 分鐘後</p>	<p>心跳:228 次/分鐘 活動量:168 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>180 分鐘後</p>	<p>心跳:184 次/分鐘 活動量:176 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>1 天後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況:</p> 

表一

2. 0.0001M :


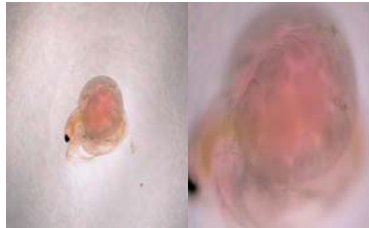

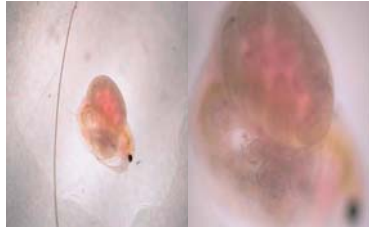

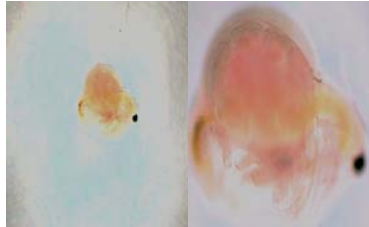

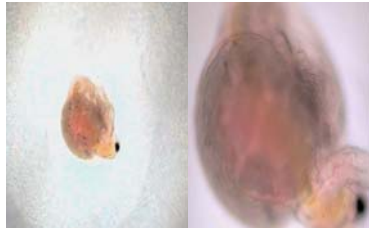
17.9°C	0.0001M 離子對照組
30 分鐘後	<p>心跳:180 次/分鐘 活動量:136 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
60 分鐘後	<p>心跳:232 次/分鐘 活動量:164 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
90 分鐘後	<p>心跳:232 次/分鐘 活動量:164 次/分鐘 傷害狀況: 即將生產 幼體活動</p> 


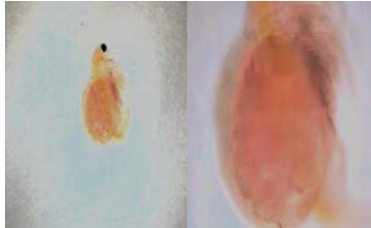


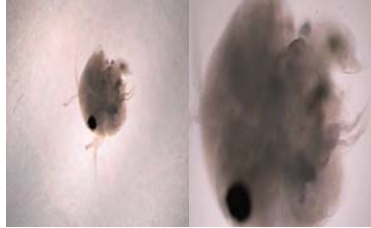



<p>120 分鐘後</p>	<p>心跳:240 次/分鐘 活動量:180 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>150 分鐘後</p>	<p>心跳:212 次/分鐘 活動量:192 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>180 分鐘後</p>	<p>心跳:232 次/分鐘 活動量:132 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>1 天後</p>	<p>心跳:184 次/分鐘 活動量:88 次/分鐘 傷害狀況:</p> 

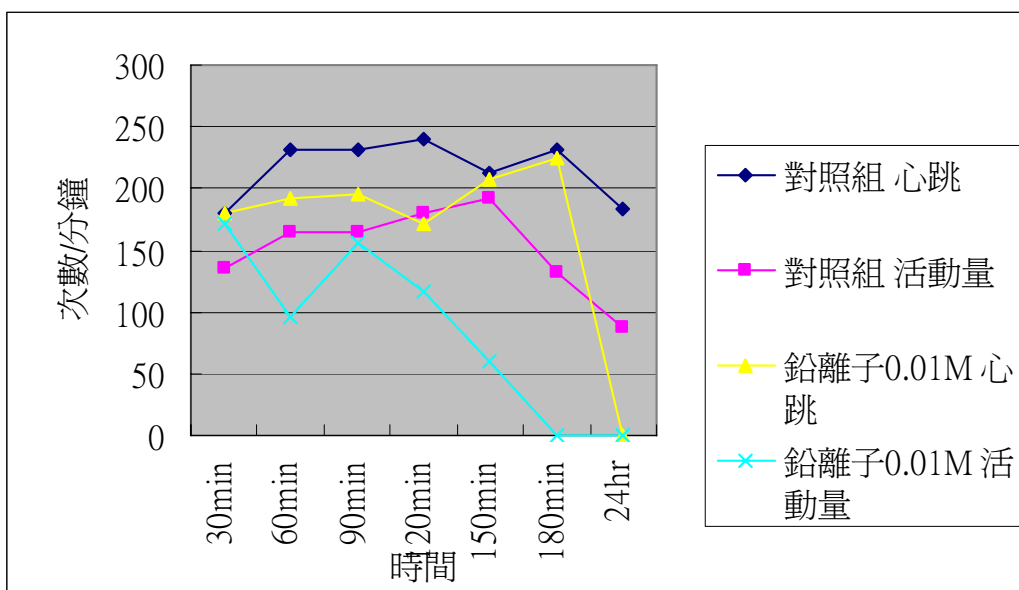
表二

(二)  $Pb^{2+}$  :

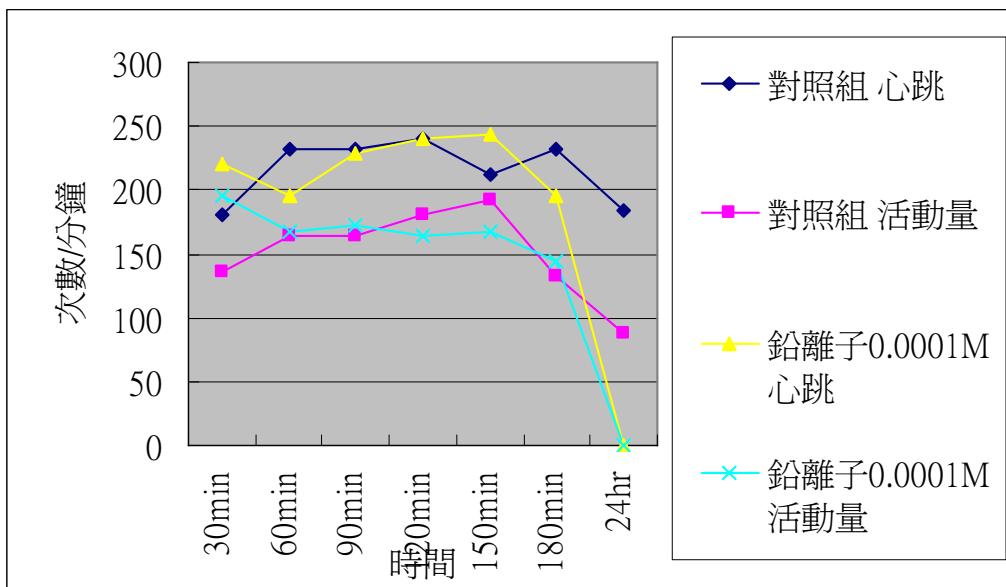
19°C	0.01M $Pb^{2+}$	0.0001M $Pb^{2+}$
30 分鐘後	心跳:180 次/分鐘 活動量:172 次/分鐘 傷害狀況: 	心跳:220 次/分鐘 活動量:196 次/分鐘 傷害狀況: 有幼體 
60 分鐘後	心跳:192 次/分鐘 活動量:96 次/分鐘 傷害狀況: 	心跳:196 次/分鐘 活動量:168 次/分鐘 傷害狀況: 
90 分鐘後	心跳:196 次/分鐘 活動量:156 次/分鐘 傷害狀況: 一隻水蚤死亡 	心跳:228 次/分鐘 活動量:172 次/分鐘 傷害狀況: 
120 分鐘後	心跳:172 次/分鐘 活動量:116 次/分鐘 傷害狀況: 二隻水蚤死亡 	心跳:240 次/分鐘 活動量:164 次/分鐘 傷害狀況: 

150 分鐘後	心跳:208 次/分鐘 活動量:60 次/分鐘 傷害狀況: 	心跳:244 次/分鐘 活動量:168 次/分鐘 傷害狀況: 
180 分鐘後	心跳:224 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 不動 	心跳:196 次/分鐘 活動量:144 次/分鐘 傷害狀況: 一隻水蚤不動 
1 天後	心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 	心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 

表三



圖十一



圖十二

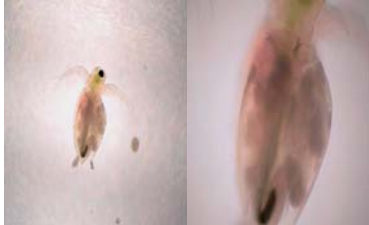


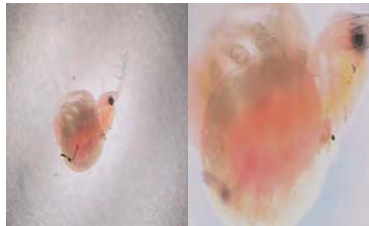

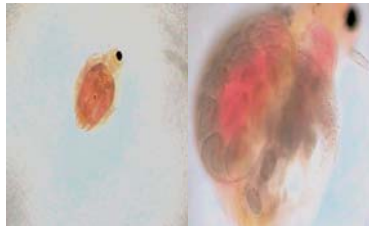


1. 0.01M 結果說明：

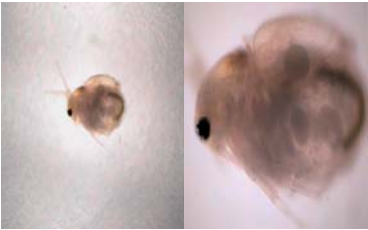





- (1). 前一小時內並未出現明顯的病徵，但活動量在 30~60 分鐘後逐漸下降。
- (2). 第二小時後體內卵數減少。→遭到破壞的現象
- (3). 三小時後有一隻水蚤未死亡其餘兩支判定死亡，無心跳、活動量，內部已不易分辨內臟形狀，分布於背部的紅色塊狀物體可能為內臟破壞後的殘留物。
- (4). 一天後完全無法辨識內臟形狀（糊狀），肢體末端被侵蝕，內部幾乎破壞殆盡。→呈現深黑色
- (5). 依照心跳圖約在 90~120 分鐘內死亡。

2. 0.0001M 結果說明：

- (1). 一小時後內部顏色還算正常，無明顯變化，但體附肢末端稍灰，但心跳比正常略高，活動量顯示此溶液還未對水蚤生理活動產生太大的影響。
- (2). 二小時後體內沒有明顯變化，卵呈黑色，心跳已開始下降，活動開始減緩，表示此溶液已對水蚤有生理上的影響。
- (3). 三小時後心跳持續下降，但活動量些微上升，體內仍無太多改變，卵已消失。
- (4). 一天後無心跳與活動，判定死亡，外殼被破壞、內臟糊狀且顏色呈淺黑色(灰，較 0.01M 淺得多)，已不成形。
- (5). 在 3 個小時內觀察不易看出溶液對水蚤的破壞有一隻水蚤已死亡，也無法判斷多久使水蚤死亡，依心跳圖大略推測約在投入後 5~6 小時後死亡，很明顯此溶液比起前一天的速度延緩許多。

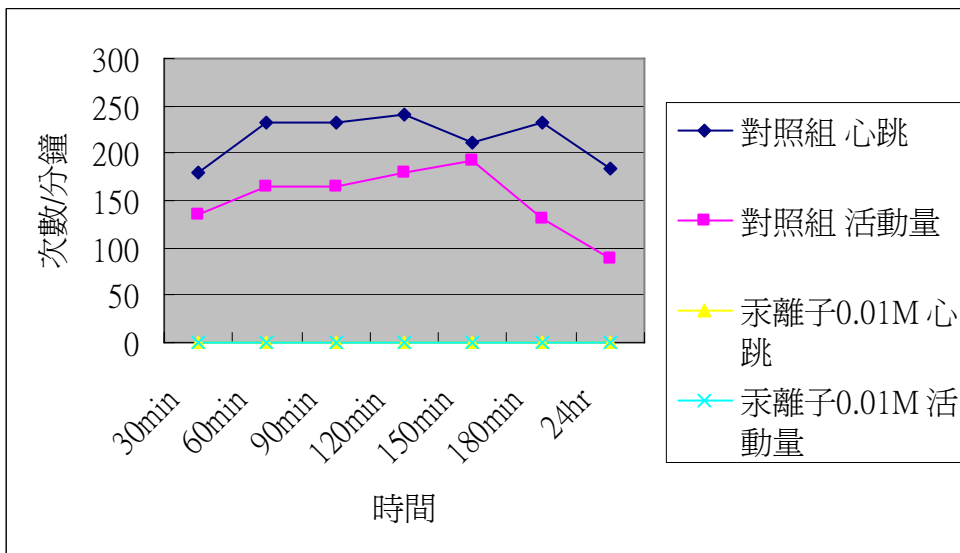
(三)  $\text{Hg}^{2+}$  :

19°C	0.01M $\text{Hg}^{2+}$	0.0001M $\text{Hg}^{2+}$
30 分鐘後	心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 10 分鐘內已不活動 內部皆呈現灰色 	心跳:180 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 25 分鐘後不動但未死亡 
60 分鐘後	心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 	心跳:200 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 顫抖 
90 分鐘後	心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 灰變黑 	心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 卵室呈現粉紅色 
120 分鐘後	心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 內部嚴重腐蝕 	心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 體內呈現灰色 卵室呈現紅色 

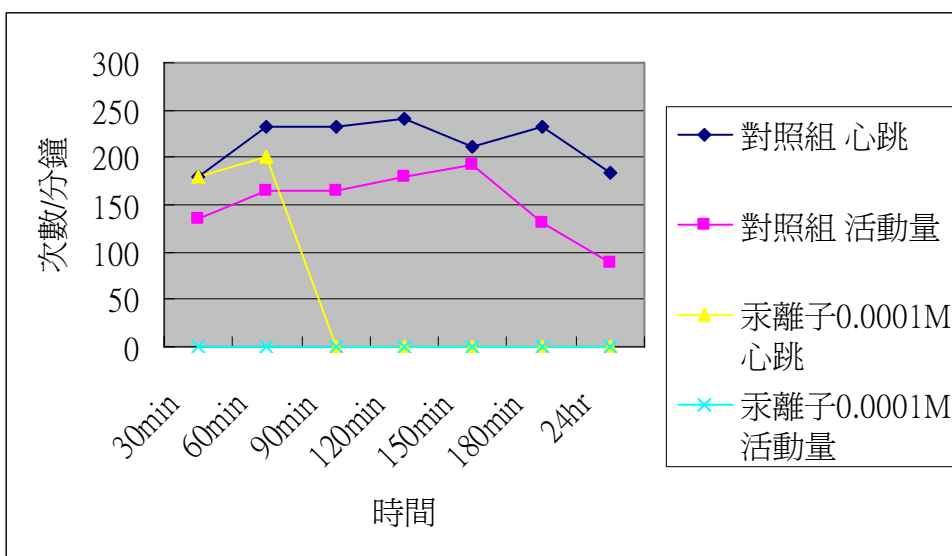
<p>150 分鐘後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 全灰</p> 	<p>心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>180 分鐘後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 無內臟輪廓</p> 	<p>心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>1 天後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況:</p> 	<p>心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況:</p> 

表四





圖十三



圖十四



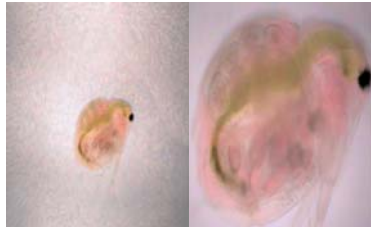
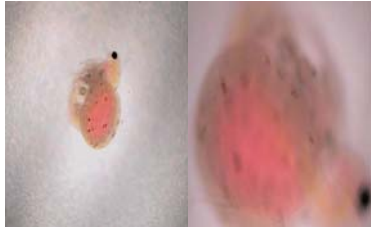
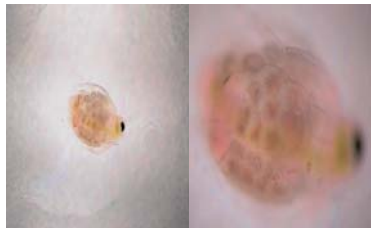
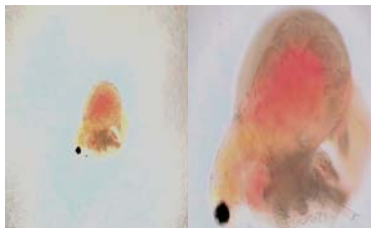

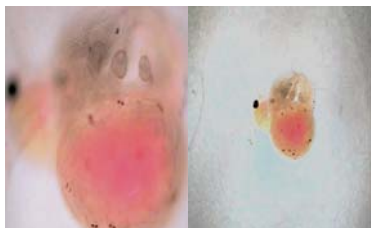
1. 0.01M 結果說明：

- (1) 一小時後汞離子水溶液似乎具有與當強大的破壞力，10 分鐘內已觀察不到活動，沉在水底。在顯微鏡的觀察下，雖未見內臟明顯變形，但無心跳，故斷定死亡。
- (2) 二小時～三小時後內臟逐漸腐蝕，顏色漸深，外殼逐漸支離破碎。
- (3) 一天後整隻水蚤屍體破碎，外殼破碎，只剩眼睛仍能辨別。

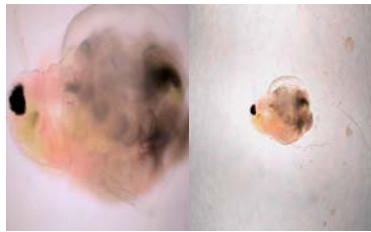
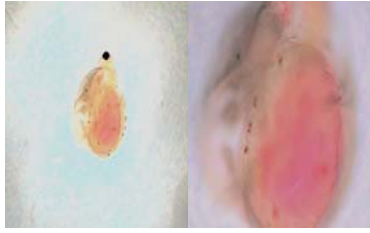
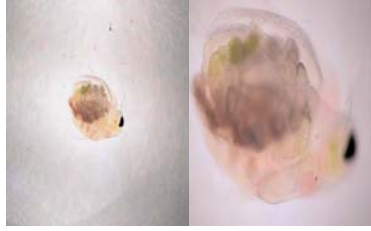
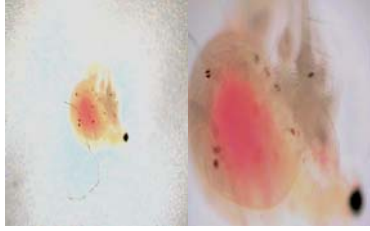
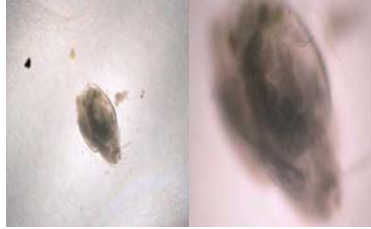

2. 0.0001M 結果說明：

- (1). 一小時～三小時後汞離子的殺傷力似乎隨著稀釋稍微減弱，投入的水蚤仍在 1 小時內死亡，但對水蚤的外型無太多破壞，內部已模糊無法辨別內臟形狀，二小時～三小時後內部呈灰色。
- (2). 一天後連外殼都已有破損，內部早已糊成一團，原卵處已發黑(顏色較 0.01M 淺)。

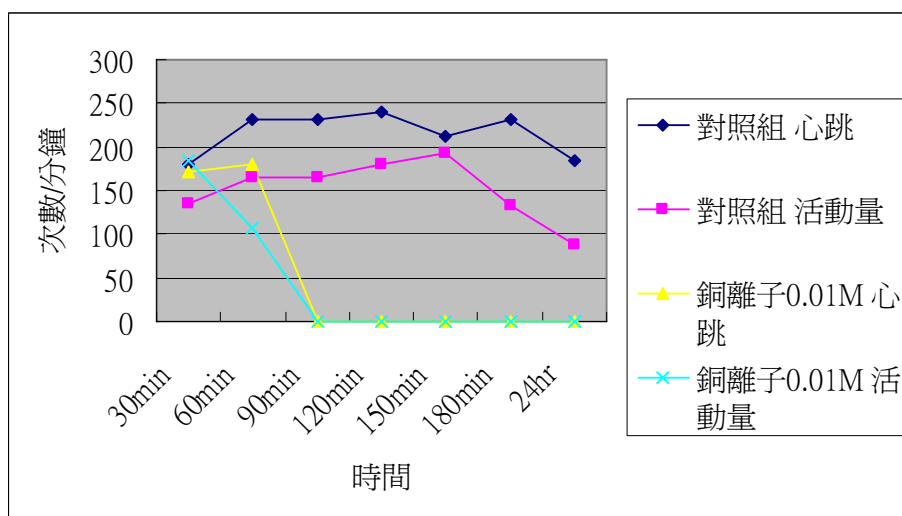
(四)  $\text{Cu}^{2+}$  :

19°C	0.01M $\text{Cu}^{2+}$	0.0001M $\text{Cu}^{2+}$
30 分鐘後	心跳:172 次/分鐘 活動量:184 次/分鐘 傷害狀況: 二隻水蚤不動 	心跳:192 次/分鐘 活動量:96 次/分鐘 傷害狀況: 
60 分鐘後	心跳:180 次/分鐘 活動量:18 次/分鐘 傷害狀況: 外殼略黃 	心跳:212 次/分鐘 活動量:124 次/分鐘 傷害狀況: 
90 分鐘後	心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 75 分鐘後皆死亡 	心跳:無法檢測 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 55 分鐘後皆不動 卵室呈略粉紅 
120 分鐘後	心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 	心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 卵室紅且模糊 

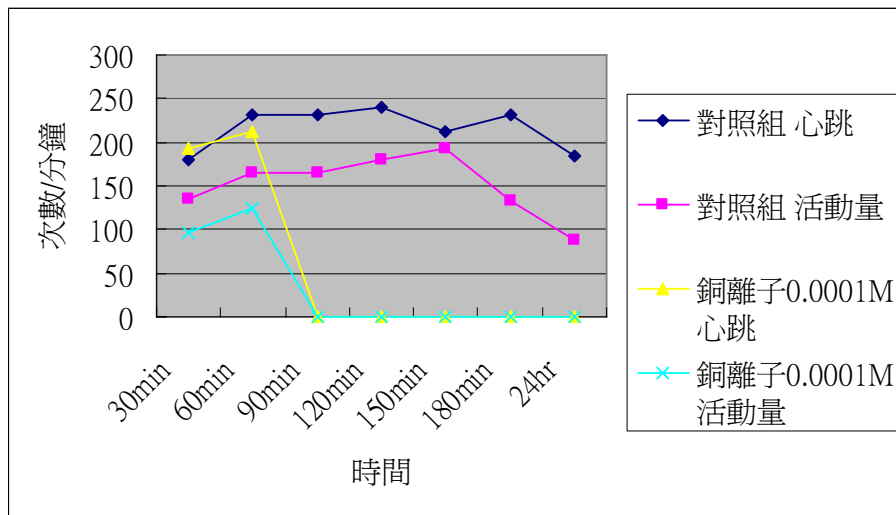


150 分鐘後	心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 卵囊破壞	心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 	心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 
180 分鐘後	心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況 內部呈糊灰狀:		心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 卵室變得更紅 
1 天後	心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況:		心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 

表五



圖十五



圖十六

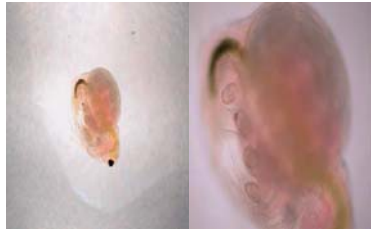
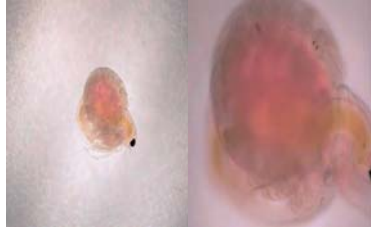
1. 0.01M 結果說明：

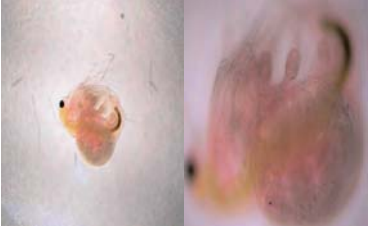
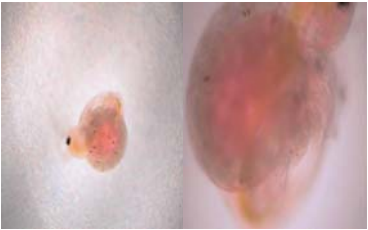

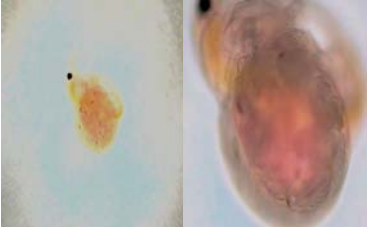


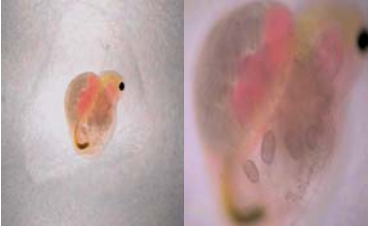
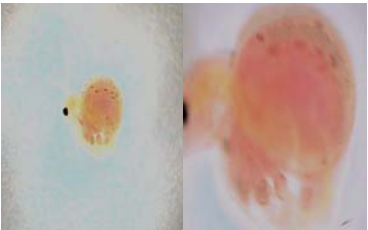
- (1). 75 分鐘後死亡，外殼些微破碎，卵成烏黑，內臟已不易分辨形狀（些微糊狀），且在 90 分鐘後腹部及尾端的顏色逐漸加深。
- (2). 二小時～三小時後消化道逐漸消失，剩餘內臟逐漸萎縮。
- (3). 一天後內臟似乎持續萎縮，感覺上所有內臟逐漸擠成一團，原本的位置逐漸有空隙，好像只剩下外殼。

2. 0.0001M 結果說明：

- (1). 一小時後水蚤的體附肢、腹部成泥狀、灰色，明顯遭到腐蝕，內臟已無法區分位置（無法觀察心臟）。45 分鐘內活動亂迅速下降直至死亡。
- (2). 二小時～三小時後未有太大變化，但卵呈現紅色。
- (3). 一天後除了外殼部份，已完全呈現淡黑色糊狀，外殼被破壞得不成形。

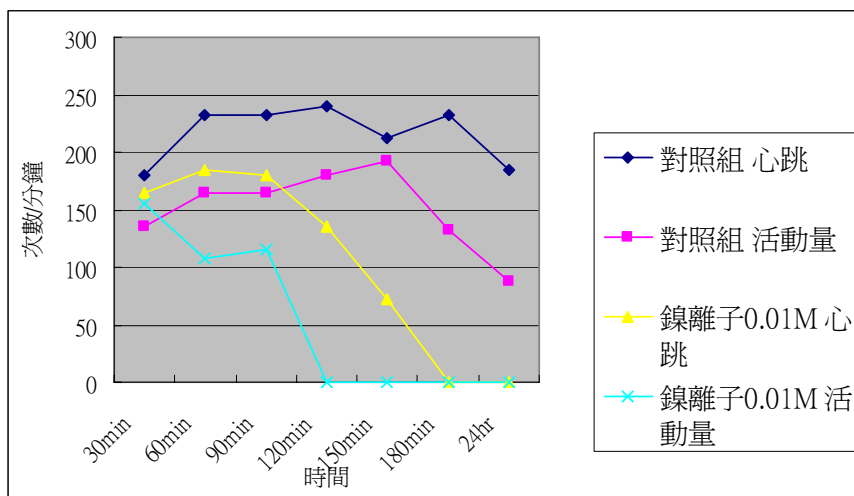
(五)  $\text{Ni}^{2+}$ ：

19°C	0.01M $\text{Ni}^{2+}$	0.0001M $\text{Ni}^{2+}$
30 分鐘後	心跳:164 次/分鐘 活動量:156 次/分鐘 傷害狀況: 一隻水蚤不動 	心跳:228 次/分鐘 活動量:124 次/分鐘 傷害狀況: 體色呈現略灰 有幼體 

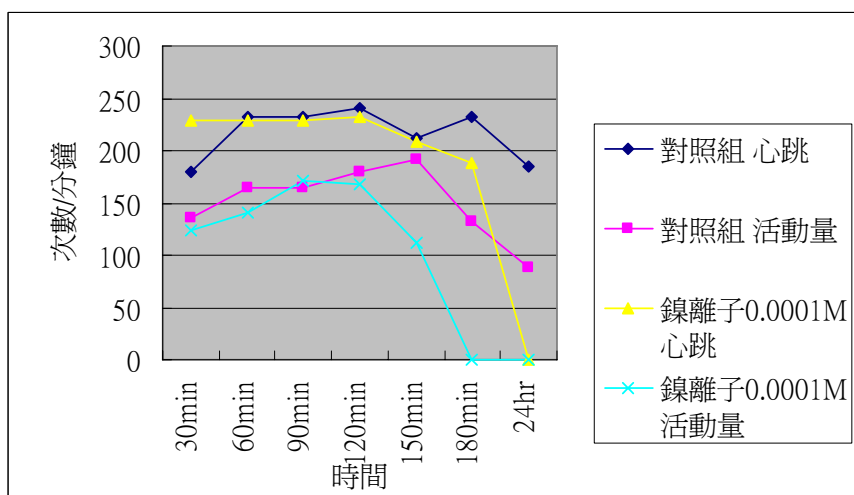
<p>60 分鐘後</p>	<p>心跳:184 次/分鐘 活動量:108 次/分鐘 傷害狀況:</p> 	<p>心跳:228 次/分鐘 活動量:140 次/分鐘 傷害狀況: 47 分鐘後一隻水蚤死亡</p> 
<p>90 分鐘後</p>	<p>心跳:180 次/分鐘 活動量:116 次/分鐘 傷害狀況:</p> 	<p>心跳:228 次/分鐘 活動量:172 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>120 分鐘後</p>	<p>心跳:136 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 皆不動 心跳明顯下降</p> 	<p>心跳:232 次/分鐘 活動量:168 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>150 分鐘後</p>	<p>心跳:72 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況:</p> 	<p>心跳:208 次/分鐘 活動量:112 次/分鐘 傷害狀況: 活動半徑減少</p> 

180 分鐘後	心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 內部成粉紅色略橘	心跳:188 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 2 隻水蚤不動
1 天後	心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況:	心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況:

表六



圖十七



圖十八





1. 0.01M 結果說明：

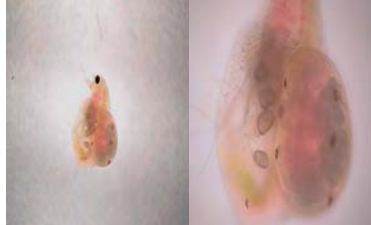
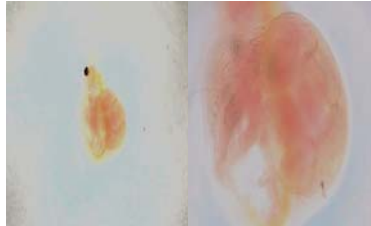
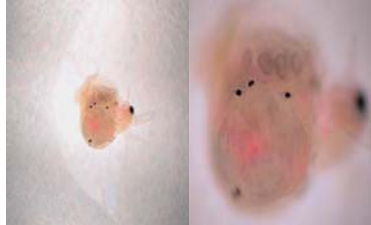

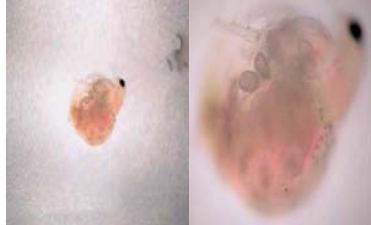

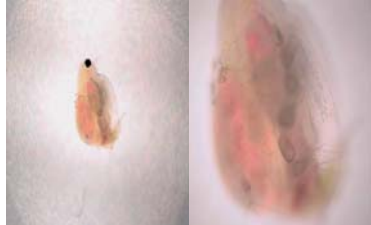

- (1). 一小時後心跳已經極微、無活動，內臟雖無變形，但顏色逐趨於粉紅色，卵成黑色。
- (2). 兩小時後內臟開始被腐蝕、趨於模糊（成粉紅色），生理活動顯然停止，斷定死亡（母體）。
- (3). 三小時後卵室持續腫大，內部被破壞地更加模糊。
- (4). 一天後內部已爛掉，顏色更深（黑色），如同被燒焦一般。

2. 0.0001M 結果說明：

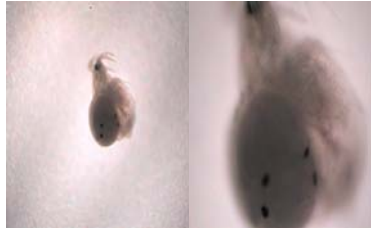

- (1). 47 分鐘後有一隻水蚤已死亡（可能因體質較差），還活著的體內呈淡粉紅色，腸道中有阻塞，可能此離子在腸中反應沉澱。心跳正常，活動量不低。
- (2). 二小時後心跳活動量皆驟降，體內明顯建成糊狀，卵更呈黑色。
- (3). 150 分鐘後活動半徑縮小。
- (4). 一天後斷定死亡，內臟完全攪在一起，無法分辨，卵完全變黑。

(六)  $Zn^{2+}$ ：

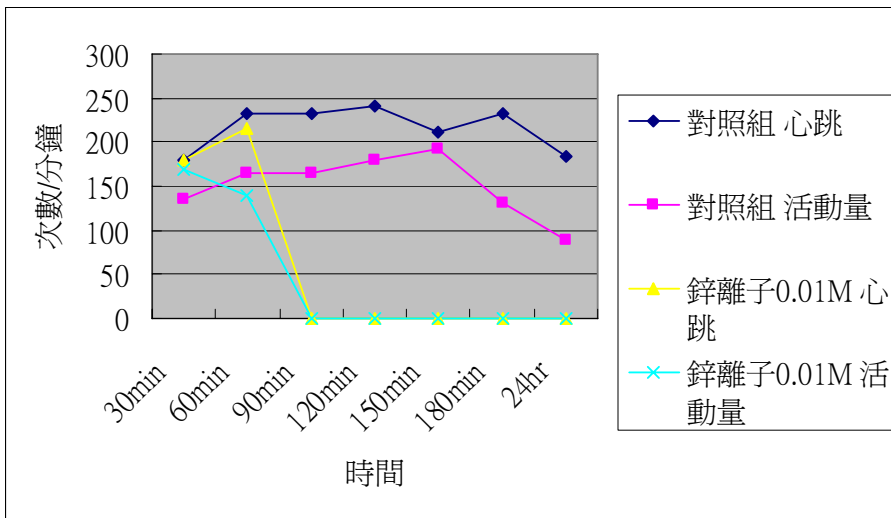
19°C	0.01M $Zn^{2+}$	0.0001M $Zn^{2+}$
30 分鐘後	心跳:180 次/分鐘 活動量:168 次/分鐘 傷害狀況: 	心跳:220 次/分鐘 活動量:160 次/分鐘 傷害狀況: 有幼體 
60 分鐘後	心跳:216 次/分鐘 活動量:140 次/分鐘 傷害狀況: 一隻水蚤死亡 內部呈現粉紅色&灰色 	心跳:228 次/分鐘 活動量:172 次/分鐘 傷害狀況: 外殼透明 體色呈現淡黃 

<p>90 分鐘後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 80 分鐘後皆不動 呈現黃色</p> 	<p>心跳:236 次/分鐘 活動量:184 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>120 分鐘後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 觸角微微顫抖</p> 	<p>心跳:248 次/分鐘 活動量:164 次/分鐘 傷害狀況: 一隻水蚤死亡</p> 
<p>150 分鐘後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 內部呈現糊狀</p> 	<p>心跳:192 次/分鐘 活動量:152 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>180 分鐘後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況:</p> 	<p>心跳:無法檢測 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 皆不動 體內呈現灰色且模糊</p> 

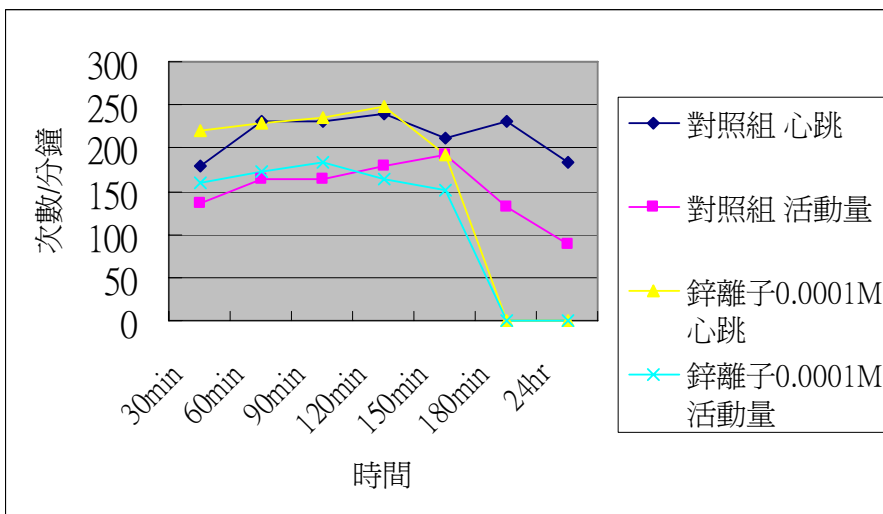


1 天後	心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 	心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 
------	---	--

表七



圖十九



圖二十


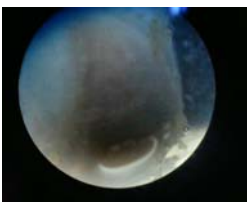
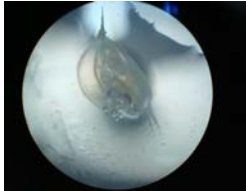

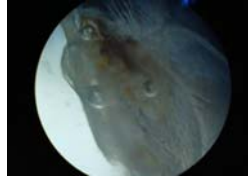

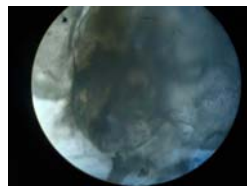


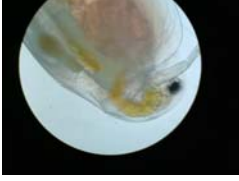

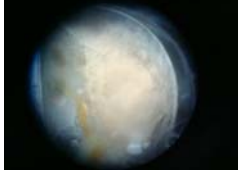
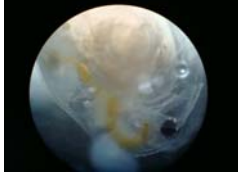
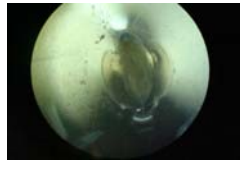

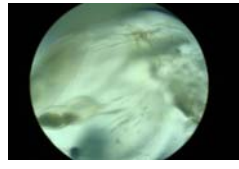
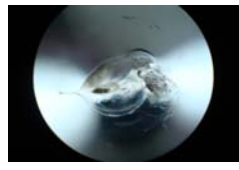
1. 0.01M 結果說明：

- (1). 隨著時間增加泳足變色更加明顯(透明→灰→模糊)，卵室中的幼體逐漸死亡消失，體色由透明變為橘色。

2. 0.0001M 結果說明：

- (1). 從心跳、活動量的圖表中 Zn<sup>2+</sup>對行動能力的影響大於對內臟的影響。  
→和對照組相比無太多改變。
- (2). Zn<sup>2+</sup>在稀釋後可明顯降低傷害力(與其他離子溶液相比)。

二、家庭廢水：

30°C	一小時	二小時	三小時	一天後
肥皂/水 (0.15/100g) pH8~9	45 分鐘後死亡  	死亡 內臟破壞 卵消失 	死亡 上部殼呈黑色  	死亡  
肥皂粉/水 (0.15/100g) pH9  	45 分鐘後無活動 觸角微動  	死亡  	死亡  	死亡  


表八





- (一)、 肥皂水：從第一小時內，混濁的肥皂水已使水蚤的內臟模糊不清，且成灰色。兩小時後，卵完全消失，內臟持續萎縮，肢體末端腐蝕。一天後，外殼不透明，放大倍率觀察，殼上有許多不規則的凹痕體內已全黑。
- (二)、 肥皂粉水：正常體色維持較久，但與肥皂水在差不多的時間就已無生命跡象。從一個多小時之後，體色略偏橘色，且逐漸模糊。一天後，內臟被腐蝕殆盡，似乎剩下空殼，比肥皂水侵蝕得乾淨。


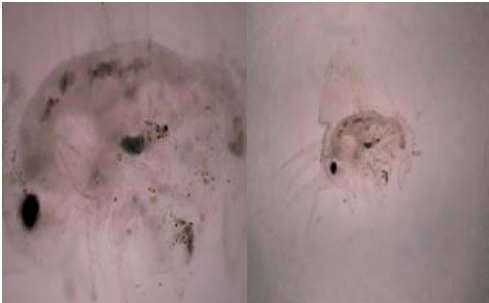


三、河水檢測實驗結果：

(一) 對照組：



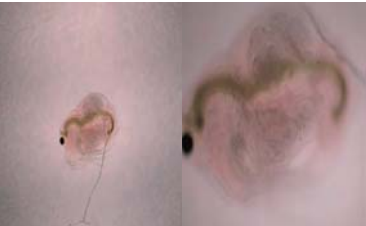
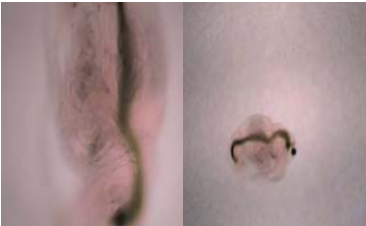
16°C	對照組
30 分鐘後	<p>心跳:220 次/分鐘 活動量:156 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
60 分鐘後	<p>心跳:192 次/分鐘 活動量:180 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
90 分鐘後	<p>心跳:220 次/分鐘 活動量:184 次/分鐘 傷害狀況:</p> 

<p>120 分鐘後</p>	<p>心跳:220 次/分鐘 活動量:180 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>150 分鐘後</p>	<p>心跳:212 次/分鐘 活動量:196 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>180 分鐘後</p>	<p>心跳:220 次/分鐘 活動量:128 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>1 天後 (16.7°C)</p>	<p>心跳:228 次/分鐘 活動量:76 次/分鐘 傷害狀況:</p> 





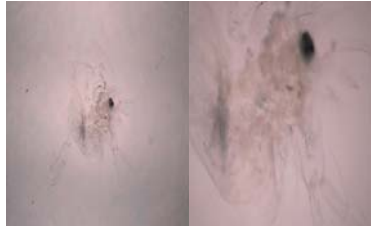

<p>2 天後 (17.9°C)</p>	<p>心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>3 天後 (17.3°C)</p>	<p>心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況:</p> 

表九

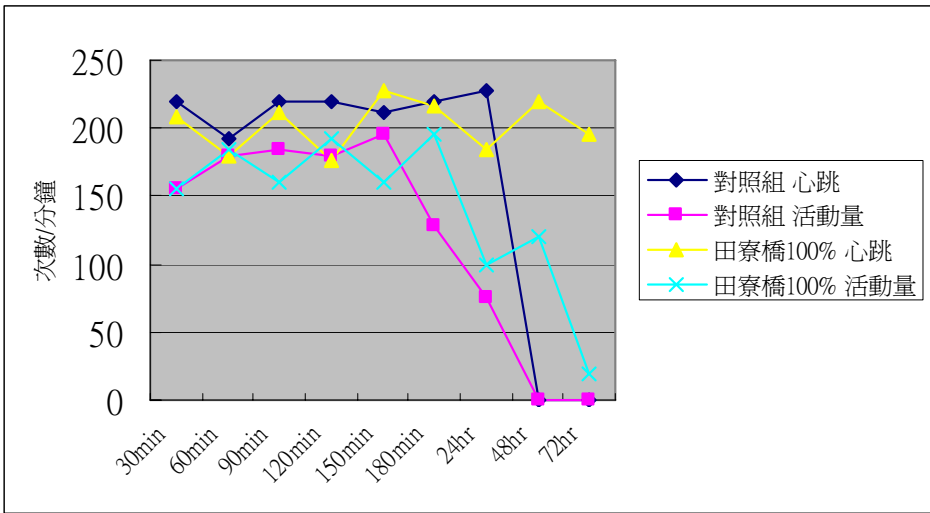
(二) 100ml:0ml :

16°C	光明橋 100%	田寮橋 100%
<p>30 分鐘後</p>	<p>心跳:260 次/分鐘 活動量:160 次/分鐘 傷害狀況:</p> 	<p>心跳:208 次/分鐘 活動量:156 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>60 分鐘後</p>	<p>心跳:228 次/分鐘 活動量:196 次/分鐘 傷害狀況:</p> 	<p>心跳:180 次/分鐘 活動量:184 次/分鐘 傷害狀況:</p> 

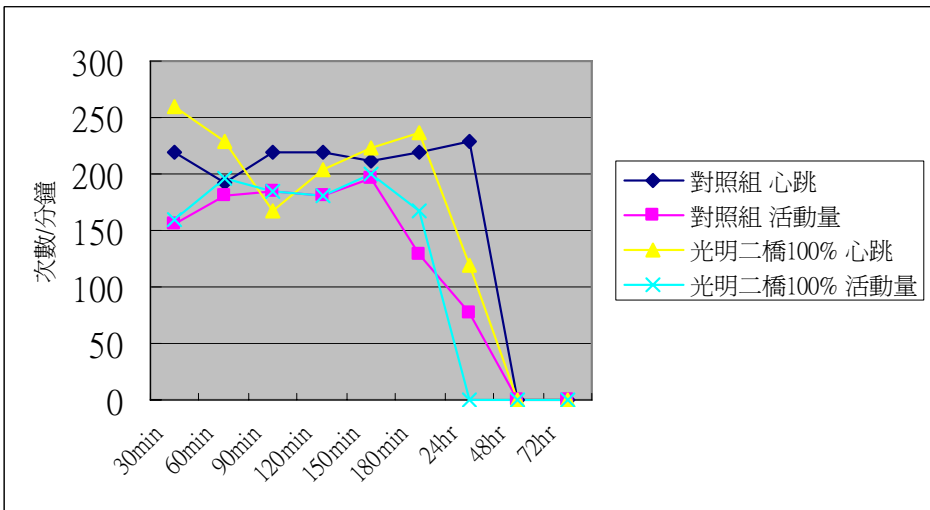
90 分鐘後	心跳:168 次/分鐘 活動量:184 次/分鐘 傷害狀況: 	心跳:212 次/分鐘 活動量:160 次/分鐘 傷害狀況: 
120 分鐘後	心跳:204 次/分鐘 活動量:180 次/分鐘 傷害狀況: 	心跳:176 次/分鐘 活動量:192 次/分鐘 傷害狀況: 
150 分鐘後	心跳:224 次/分鐘 活動量:200 次/分鐘 傷害狀況: 	心跳:228 次/分鐘 活動量:160 次/分鐘 傷害狀況: 
180 分鐘後	心跳:236 次/分鐘 活動量:168 次/分鐘 傷害狀況: 	心跳:216 次/分鐘 活動量:196 次/分鐘 傷害狀況: 

<p>1 天後</p>	<p>心跳:120 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 皆不活動 腸內無物體</p> 	<p>心跳:184 次/分鐘 活動量:100 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>2 天後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況:</p> 	<p>心跳:220 次/分鐘 活動量:120 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>3 天後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況:</p> 	<p>心跳:196 次/分鐘 活動量:20 次/分鐘 傷害狀況:</p> 

表十


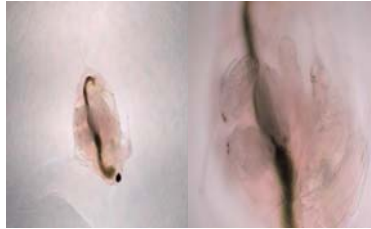





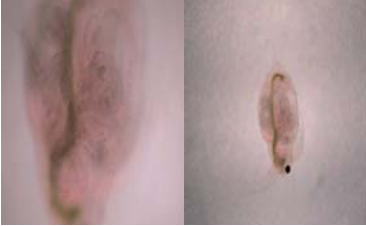

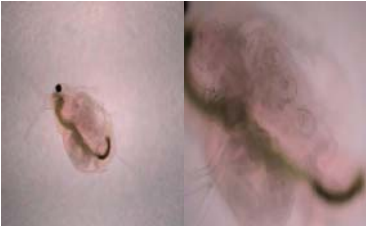

圖二十一




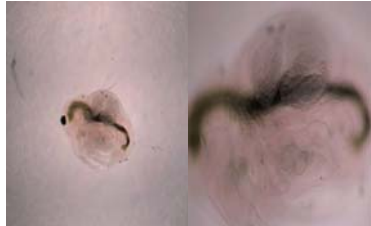
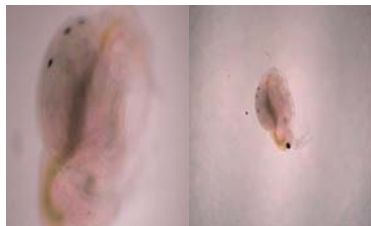

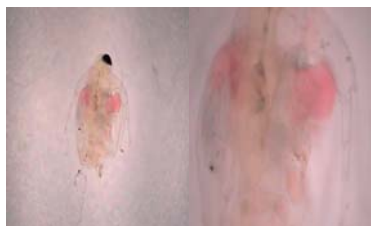
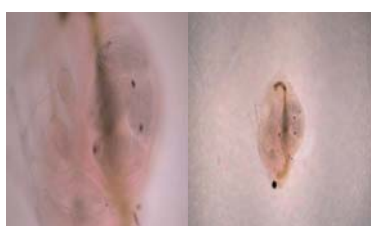

圖二十二

(三) 50ml:50ml :

16°C	光明橋 50%	田寮橋 50%
30 分鐘後	心跳:200 次/分鐘 活動量:152 次/分鐘 傷害狀況: 	心跳:228 次/分鐘 活動量:120 次/分鐘 傷害狀況: 卵室呈現灰色 體色略黃 

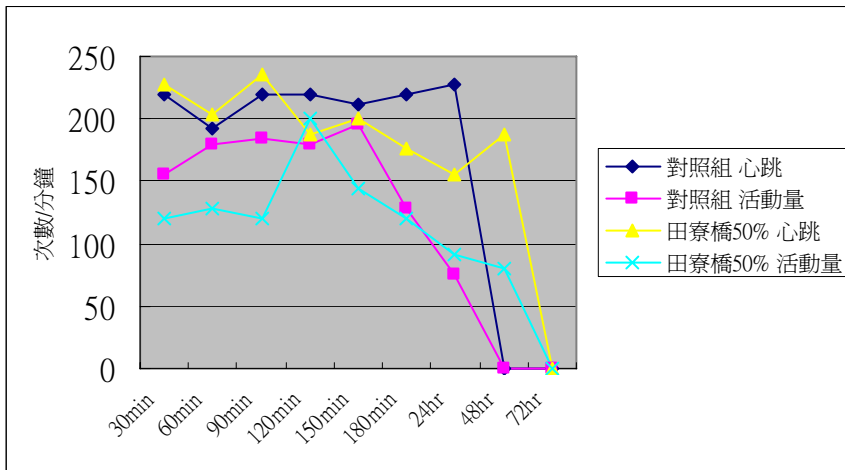
60 分鐘後	心跳:216 次/分鐘 活動量:156 次/分鐘 傷害狀況: 	心跳:204 次/分鐘 活動量:128 次/分鐘 傷害狀況: 在水中稍有抽蓄 
90 分鐘後	心跳:236 次/分鐘 活動量:132 次/分鐘 傷害狀況: 	心跳:236 次/分鐘 活動量:120 次/分鐘 傷害狀況: 
120 分鐘後	心跳:216 次/分鐘 活動量:208 次/分鐘 傷害狀況: 	心跳:188 次/分鐘 活動量:200 次/分鐘 傷害狀況: 
150 分鐘後	心跳:220 次/分鐘 活動量:192 次/分鐘 傷害狀況: 	心跳:200 次/分鐘 活動量:144 次/分鐘 傷害狀況: 



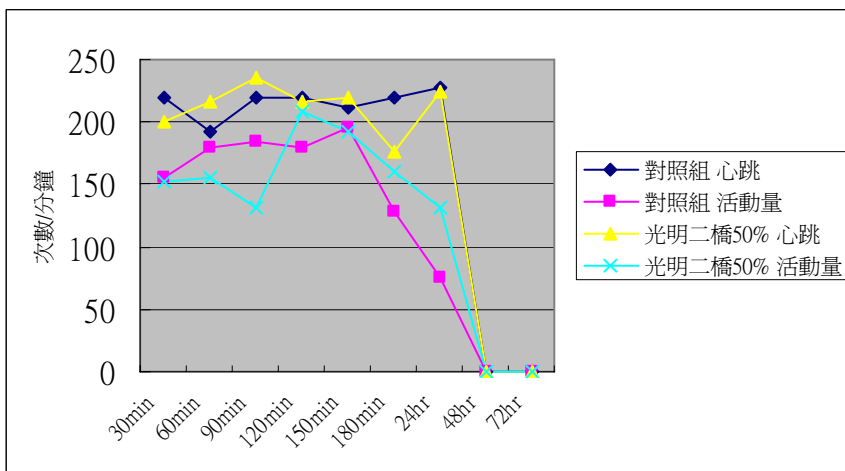
180 分鐘後	心跳:176 次/分鐘 活動量:160 次/分鐘 傷害狀況: 	心跳:176 次/分鐘 活動量:120 次/分鐘 傷害狀況: 
1 天後	心跳:224 次/分鐘 活動量:132 次/分鐘 傷害狀況: 	心跳:156 次/分鐘 活動量:92 次/分鐘 傷害狀況: 腸道較前一天多物體 
2 天後	心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 母體死亡 幼體存活於母體內 	心跳:188 次/分鐘 活動量:80 次/分鐘 傷害狀況: 
3 天後	心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 	心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 

表十一




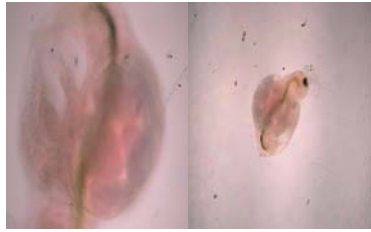
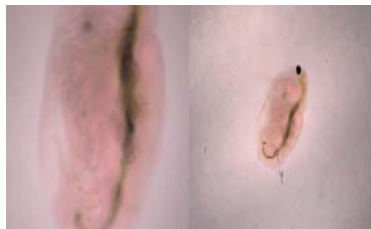
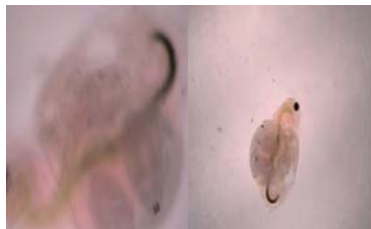


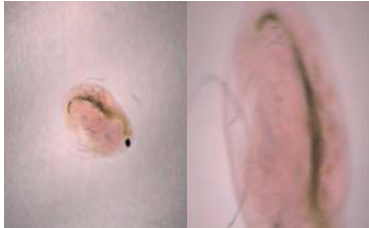

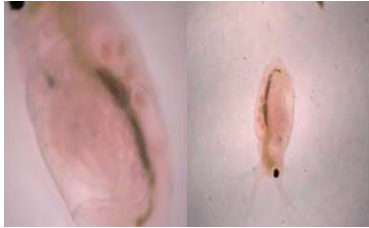
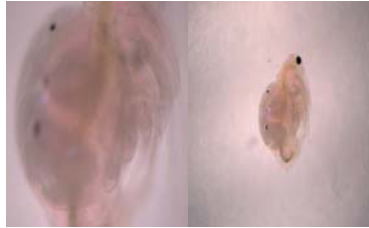
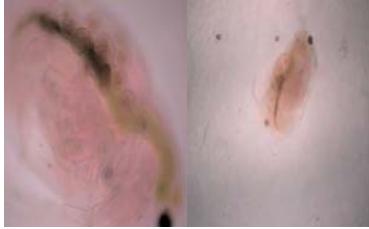





圖二十三


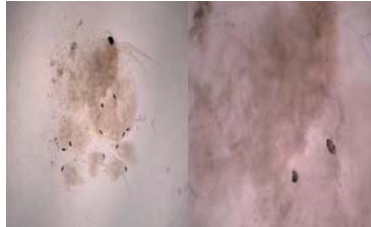


圖二十四

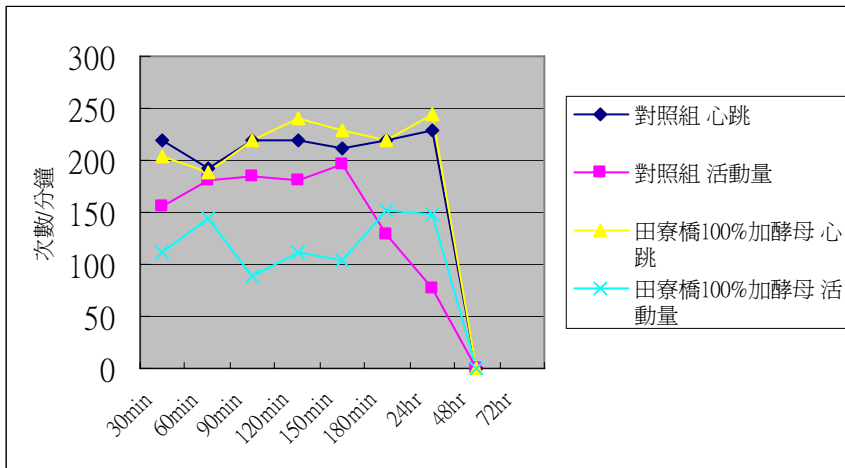
(四) 加酵母(100ml:0ml) :

17.9°C	光明橋水 100%(加酵母)	田寮橋水 100%(加酵母)
30 分鐘後	心跳:224 次/分鐘 活動量:172 次/分鐘 傷害狀況: 	心跳:204 次/分鐘 活動量:112 次/分鐘 傷害狀況: 
60 分鐘後	心跳:220 次/分鐘 活動量:160 次/分鐘 傷害狀況: 	心跳:188 次/分鐘 活動量:144 次/分鐘 傷害狀況: 

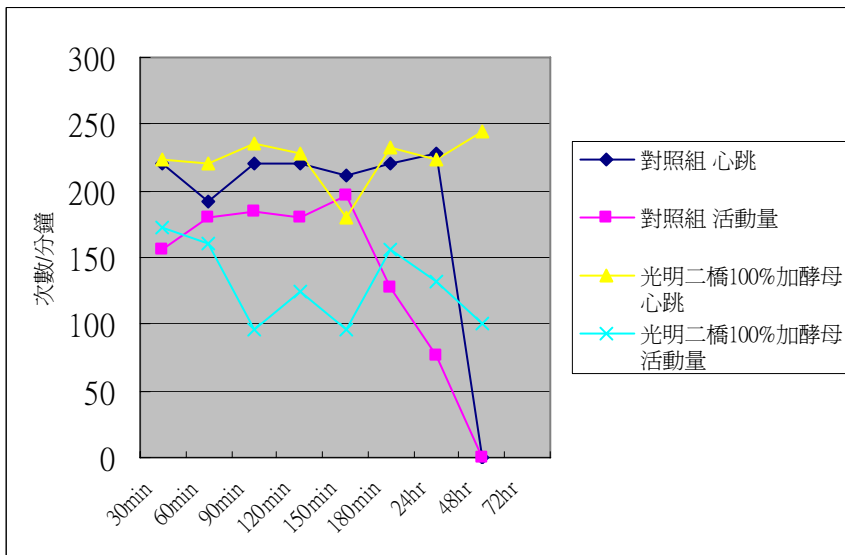
90 分鐘後	心跳:236 次/分鐘 活動量:96 次/分鐘 傷害狀況: 	心跳:220 次/分鐘 活動量:88 次/分鐘 傷害狀況: 
120 分鐘後	心跳:228 次/分鐘 活動量:124 次/分鐘 傷害狀況: 	心跳:240 次/分鐘 活動量:112 次/分鐘 傷害狀況: 
150 分鐘後	心跳:180 次/分鐘 活動量:96 次/分鐘 傷害狀況: 	心跳:228 次/分鐘 活動量:104 次/分鐘 傷害狀況: 
180 分鐘後	心跳:232 次/分鐘 活動量:156 次/分鐘 傷害狀況: 	心跳:220 次/分鐘 活動量:152 次/分鐘 傷害狀況: 
1 天後	心跳:224 次/分鐘 活動量:132 次/分鐘 傷害狀況: 	心跳:224 次/分鐘 活動量:132 次/分鐘 傷害狀況: 

2 天後	心跳:次/分鐘 活動量:次/分鐘 傷害狀況:	心跳:次/分鐘 活動量:次/分鐘 傷害狀況:
		

表十二



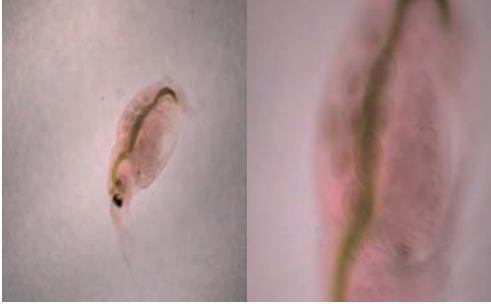
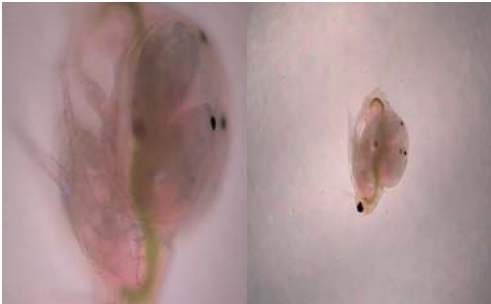

圖二十五



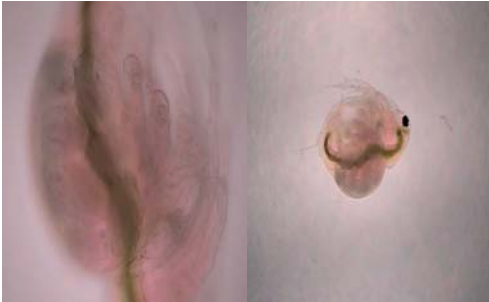


圖二十六

四、酸鹼值實驗結果：

(一) 對照組：

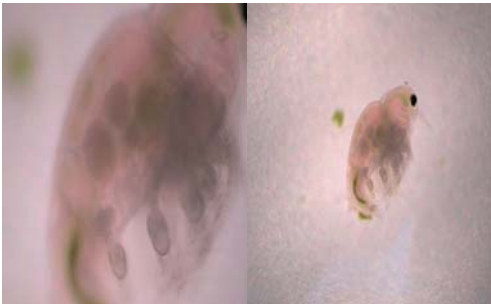
17.9°C	pH 值對照組
30 分鐘後	<p>心跳:256 次/分鐘 活動量:132 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
60 分鐘後	<p>心跳:236 次/分鐘 活動量:132 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
90 分鐘後	<p>心跳:216 次/分鐘 活動量:120 次/分鐘 傷害狀況:</p> 


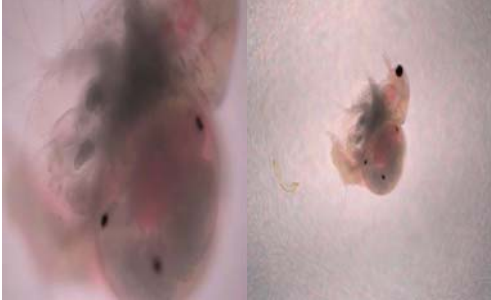

<p>120 分鐘後</p>	<p>心跳:216 次/分鐘 活動量:140 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>150 分鐘後</p>	<p>心跳:212 次/分鐘 活動量:100 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>180 分鐘後</p>	<p>心跳:228 次/分鐘 活動量:132 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>1 天後</p>	<p>心跳:228 次/分鐘 活動量:136 次/分鐘 傷害狀況:</p> 




2 天後	<p>心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
------	---

表十三

(二) pH3.37 :

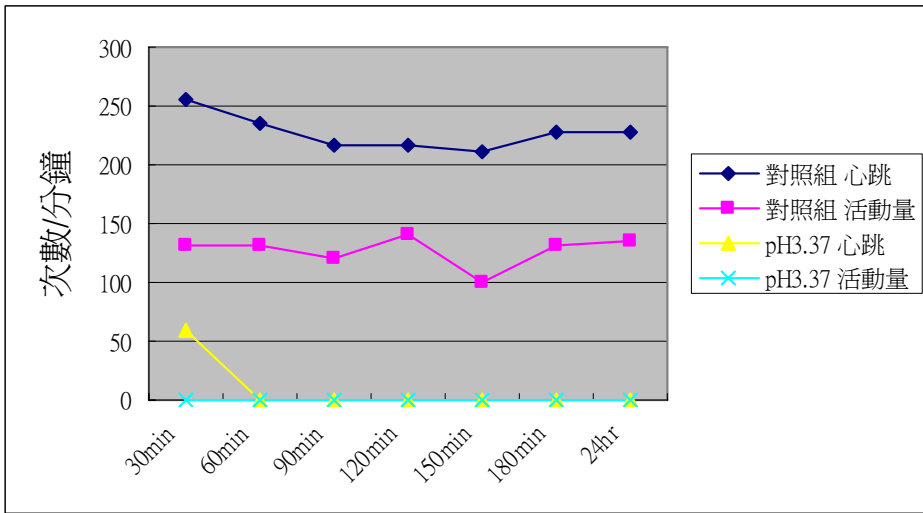
17.9°C	pH3.37
30 分鐘後	<p>心跳:60 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 內臟呈現糊狀</p> 
60 分鐘後	<p>心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 心臟抽動</p> 

<p>90 分鐘後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>120 分鐘後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 內部顏色稍橘 卵室呈現粉紅色</p> 
<p>150 分鐘後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況:</p> 

<p>180 分鐘後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘  活動量:0 次/分鐘  傷害狀況:  幼體也遭到破壞</p> 
<p>1 天後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘  活動量:0 次/分鐘  傷害狀況:</p> 
<p>2 天後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘  活動量:0 次/分鐘  傷害狀況:</p> 

表十四



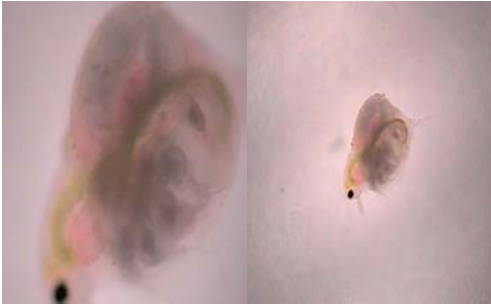

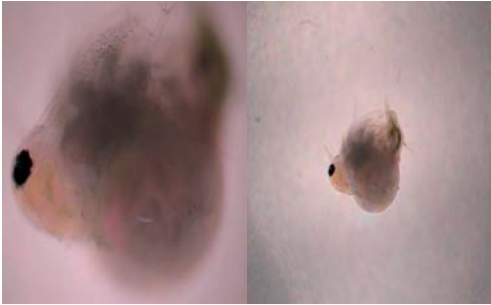


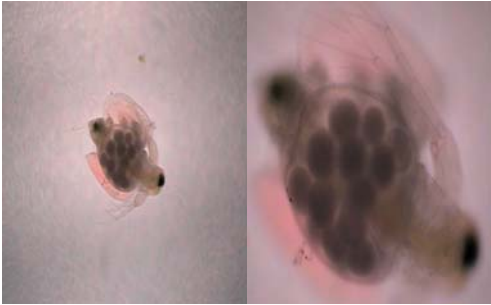
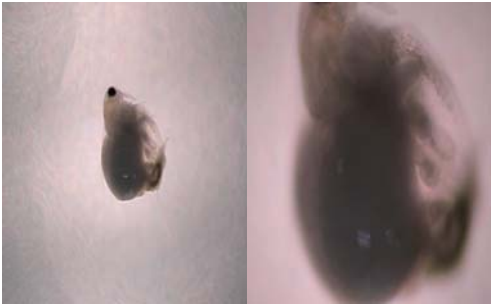
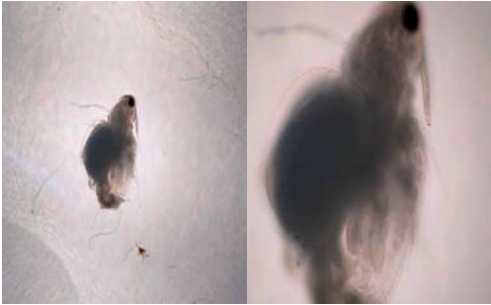
圖二十七


- (1). 30 分鐘左右，體內病徵未明顯出現前，幾乎不活動，且心跳與正常值相差甚遠，明顯遭到影響。
- (2). 在 30 分鐘~60 分鐘間斷定死亡，且身體中間稍微出現三角形的灰色區塊。
- (3). 隨著時間增長，這三角形的灰色區塊逐漸加深成黑色，體附肢有腐蝕跡象，有帶卵的水蚤卵室逐漸腫大，且顏色很黑不透明。
- (4). 一天後，體內腐蝕殆盡，只剩甲殼，外殼變形。

(三) pH3.74 :

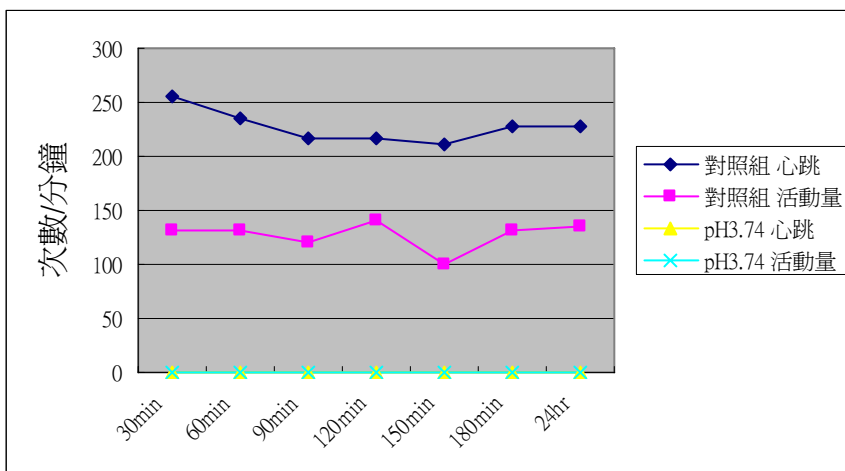
17.9°C	pH3.74
30 分鐘後	心跳:84 次/分鐘、≡0 次/分鐘 活動量:≡0 次/分鐘 傷害狀況: 只剩一隻水蚤仍然活動 背部呈現糊狀

<p>60 分鐘後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘  活動量:0 次/分鐘  傷害狀況:  心臟抽動(非跳動)</p> 
<p>90 分鐘後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘  活動量:0 次/分鐘  傷害狀況:  卵室呈現粉紅色</p> 
<p>120 分鐘後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘  活動量:0 次/分鐘  傷害狀況:</p> 

<p>150 分鐘後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘  活動量:0 次/分鐘  傷害狀況:  卵變黑</p> 
<p>180 分鐘後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘  活動量:0 次/分鐘  傷害狀況:  沒有內臟輪廓</p> 
<p>1 天後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘  活動量:0 次/分鐘  傷害狀況:</p> 

2 天後	心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 
------	---

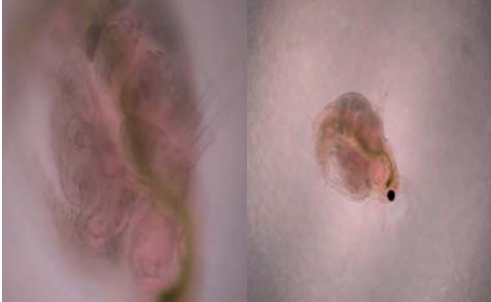


表十五

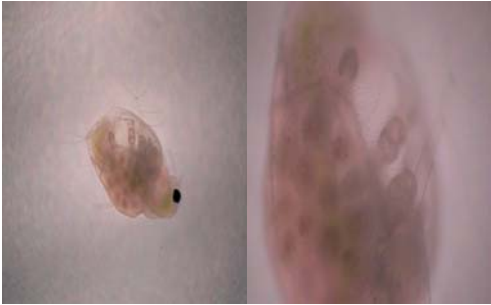





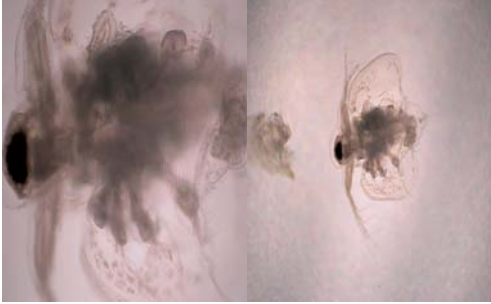
圖二十八

- (1). 在 30 分鐘~60 分鐘間，心跳、活動量只比 pH3.37 稍高，但依然有嚴重的衝擊，且卵室、體附肢已出現稍微的變色，但有清楚的輪廓。
- (2). 60 分鐘後，隨著時間增長，主要是卵室、體附肢顏色逐漸加深，呈灰褐色，卵室帶有紅色，且皆逐漸模糊。
- (3). 第六次觀察（180 分鐘）時，全身已如木炭般碳化，完全無內臟輪廓。
- (4). 一天後，殘骸像被壓縮過，外殼變形。

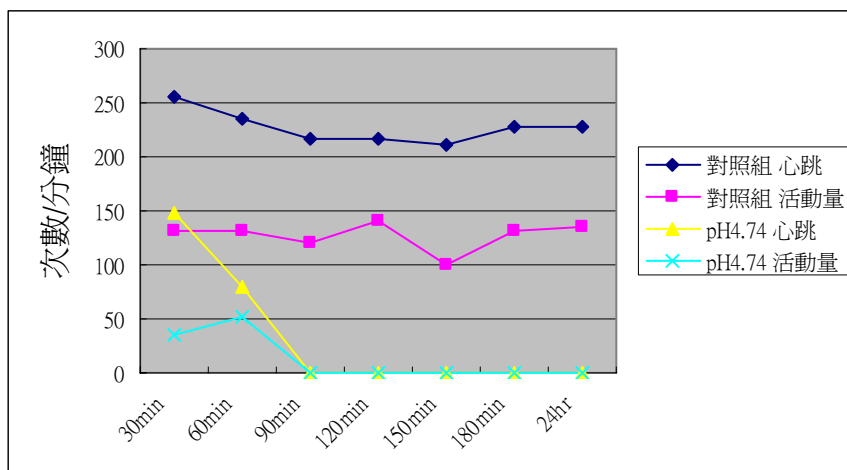
(四) pH4.74 :

17.9°C	pH4.74
30 分鐘後	<p>心跳:148 次/分鐘 活動量:36 次/分鐘 傷害狀況: 2 隻水蚤已不動</p> 
60 分鐘後	<p>心跳:80 次/分鐘 活動量:52 次/分鐘 傷害狀況: 水蚤內部呈現黃色</p> 
90 分鐘後	<p>心跳:無法觀測 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 看不清楚腸道 無生理反應</p> 

<p>120 分鐘後</p>	<p>心跳: 無法觀測  活動量:0 次/分鐘  傷害狀況:  微微顫抖</p> 
<p>150 分鐘後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘  活動量:0 次/分鐘  傷害狀況:  內臟形狀破壞呈現模糊狀</p> 
<p>180 分鐘後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘  活動量:0 次/分鐘  傷害狀況:</p> 

<p>1 天後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 嚴重腐蝕</p> 
<p>2 天後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況:</p> 

表十六






圖二十九

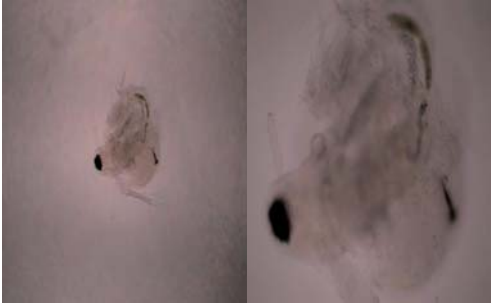

- (1). 一小時內，心跳驟降，且在 60 分鐘~90 分鐘間斷定死亡。
- (2). 兩小時內，內部損傷皆不明顯；第三小時的觀察中，卵室與身體前半顏色逐漸改變。
- (3). 一天後，外殼變形，體內腐蝕殆盡。



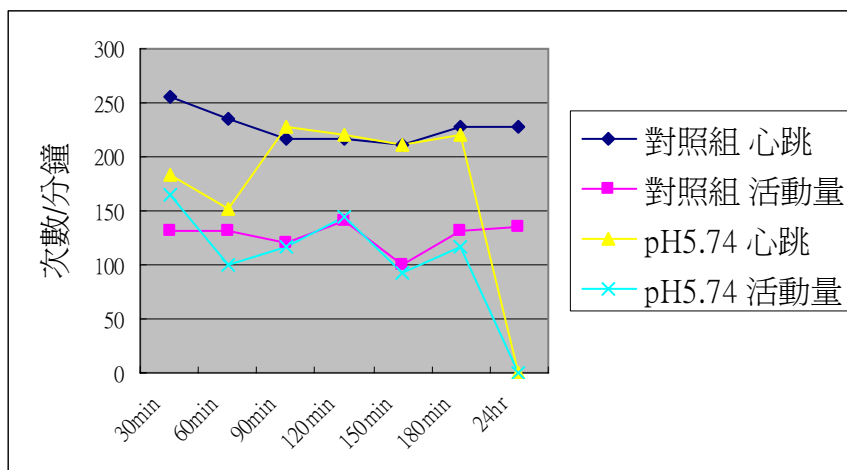
(五) pH5.74 :

17.9°C	pH5.74
30 分鐘後	<p>心跳:184 次/分鐘 活動量:164 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
60 分鐘後	<p>心跳:152 次/分鐘 活動量:100 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
90 分鐘後	<p>心跳:228 次/分鐘 活動量:116 次/分鐘 傷害狀況:</p> 

<p>120 分鐘後</p>	<p>心跳:220 次/分鐘 活動量:144 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>150 分鐘後</p>	<p>心跳:212 次/分鐘 活動量:92 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>180 分鐘後</p>	<p>心跳:220 次/分鐘 活動量:116 次/分鐘 傷害狀況:</p> 

<p>1 天後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘  活動量:0 次/分鐘  傷害狀況:  外殼破壞</p> 
<p>2 天後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘  活動量:0 次/分鐘  傷害狀況:</p> 

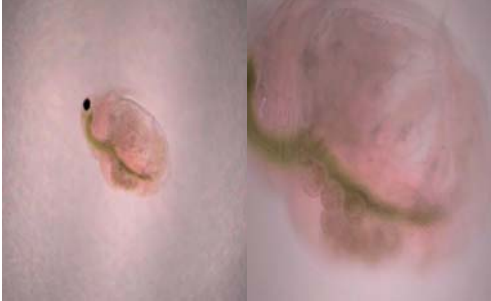
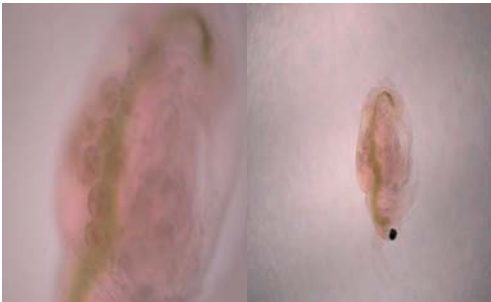
表十七



圖三十

- (1). 三小時內，狀況良好，除了開始時的心跳偏低，之後皆無大幅變動，無明顯體色變化。
- (2). 一天後，體內幾乎透明，只剩少許食物殘渣，明顯的有遭到破壞。

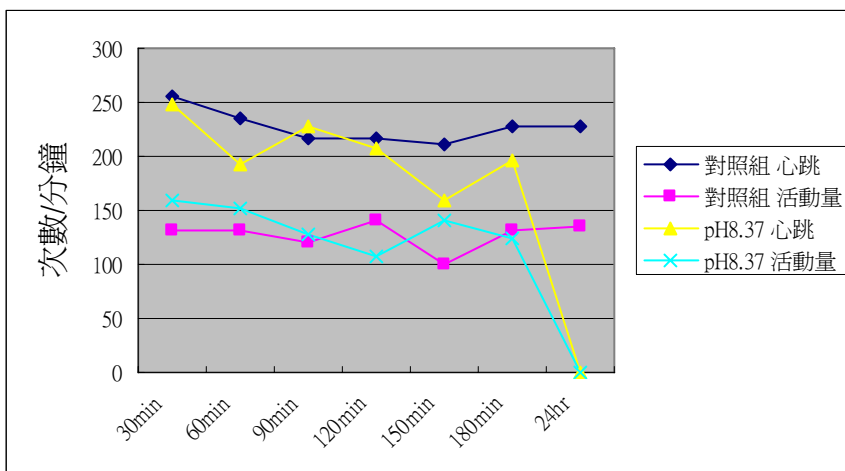
(六) pH8.37 :

17.9°C	pH8.37
30 分鐘後	<p>心跳:248 次/分鐘 活動量:160 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
60 分鐘後	<p>心跳:192 次/分鐘 活動量:152 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
90 分鐘後	<p>心跳:228 次/分鐘 活動量:128 次/分鐘 傷害狀況:</p> 

<p>120 分鐘後</p>	<p>心跳:208 次/分鐘 活動量:108 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>150 分鐘後</p>	<p>心跳:160 次/分鐘 活動量:140 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>180 分鐘後</p>	<p>心跳:196 次/分鐘 活動量:124 次/分鐘 傷害狀況:</p> 
<p>1 天後</p>	<p>心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況:</p> 

2 天後	心跳:0 次/分鐘 活動量:0 次/分鐘 傷害狀況: 
------	---

表十八



圖三十一

- (1). 三小時內，活動量較對照組偏高，心跳變率稍高，但並無明顯病徵，體色正常。
- (2). 一天後，雖然死亡，但保留體色，未完全透明（呈粉紅、膚色）。
- (3). 兩天後，身體完全透明，似乎只剩空殼。

## 陸、討論：

一、死亡順序不同的可能原因：

- (一) 不同濃度，同一種離子的殺傷力可能不同。
- (二) 水蚤本身體質差異。

二、不同的離子溶液對生物的破壞部份不同：不同部位對不同離子的敏感度不同。

三、在相同的時間內(180 分鐘)，不同溶液所造成的傷害，我們以一個公式來判斷傷害程度：

$$\text{傷害程度} = \left(1 - \frac{\text{實驗組平均心跳(活動量)}}{\text{對照組平均心跳(活動量)}}\right) \times 100\%$$

內臟傷害程度：

0%±5% 正常

5% ≤ X < 25% 輕度

25% ≤ X < 60% 中度

≥ 60% 重度

行動傷害程度：

0%±10% 正常

10% ≤ X < 25% 輕度

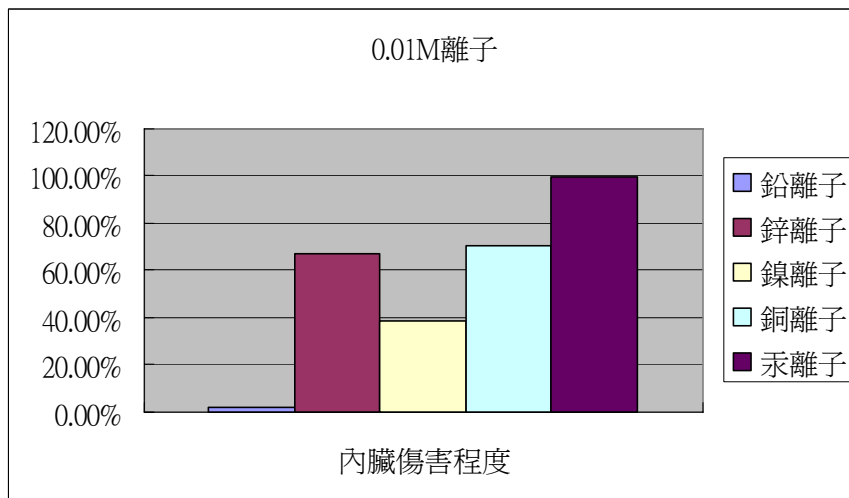
25% ≤ X < 50% 中度

≥ 50% 重度

此公式可直接呈現污染水質的破壞程度，比較時較為方便，可用來比較當內臟所受傷害到某依程度時所表現的外在行為強弱。

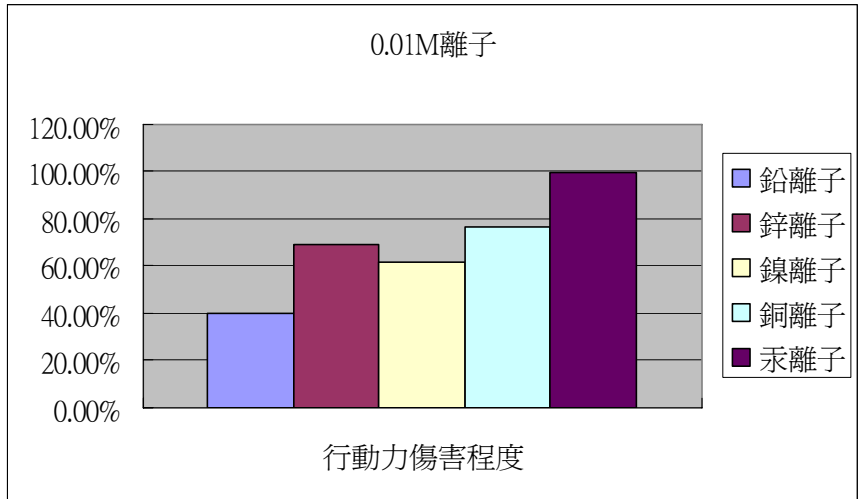
→計算結果如以下柱狀圖：

(一)、離子 0.01M：



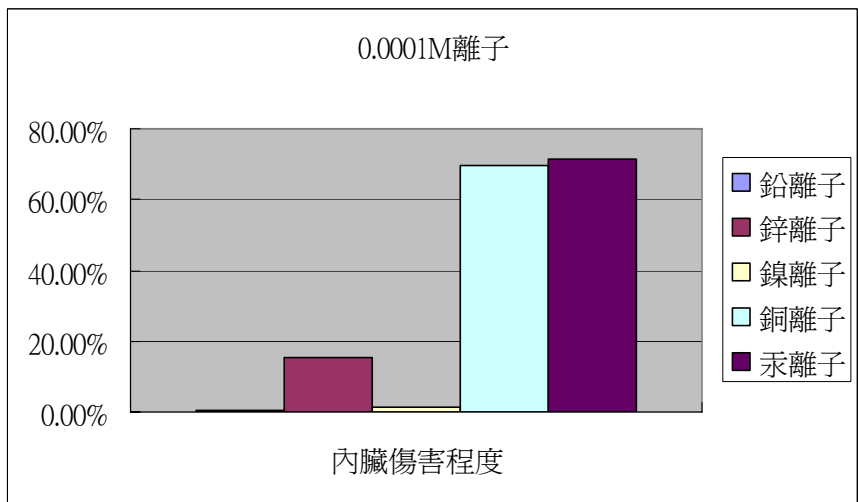
圖三十二



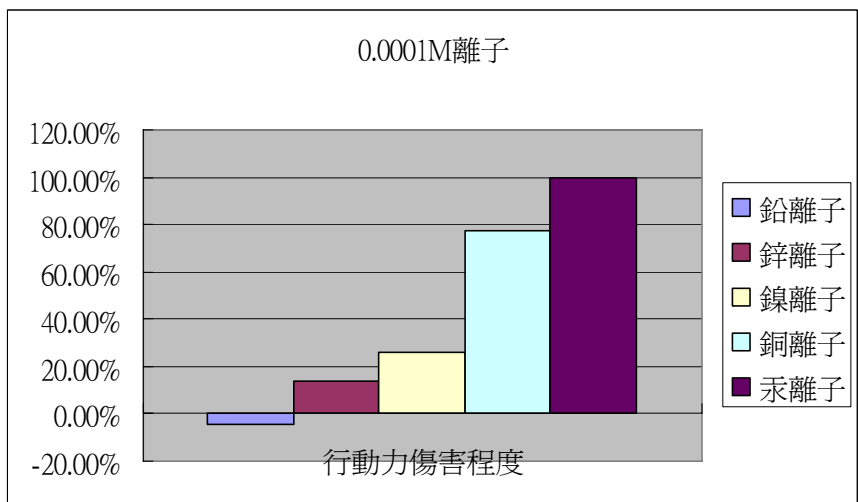


圖三十三

(二)、離子 0.0001M :

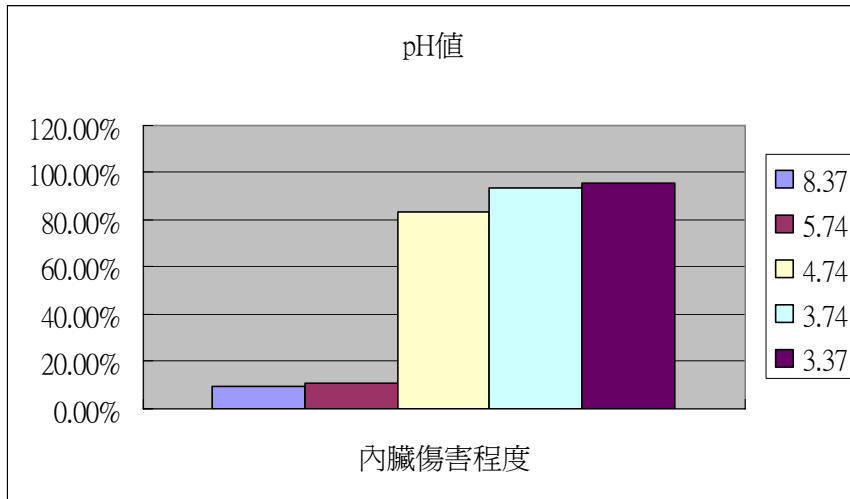


圖三十四

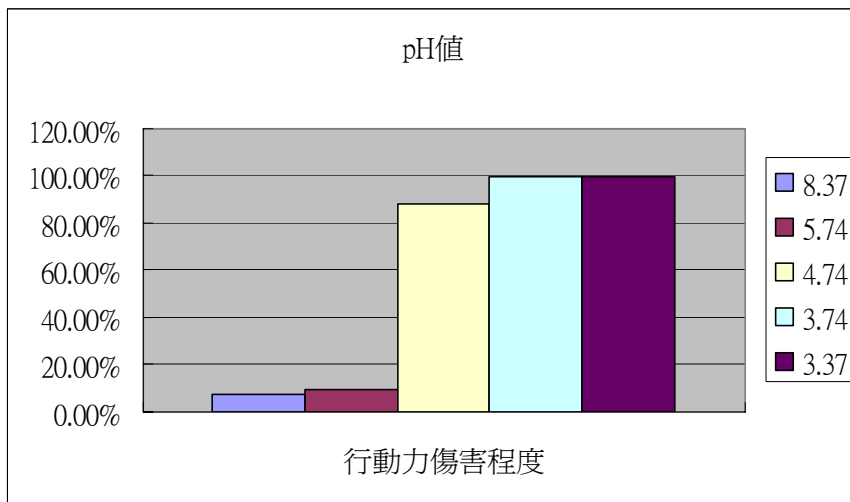


圖三十五

(三)、 酸鹼值：

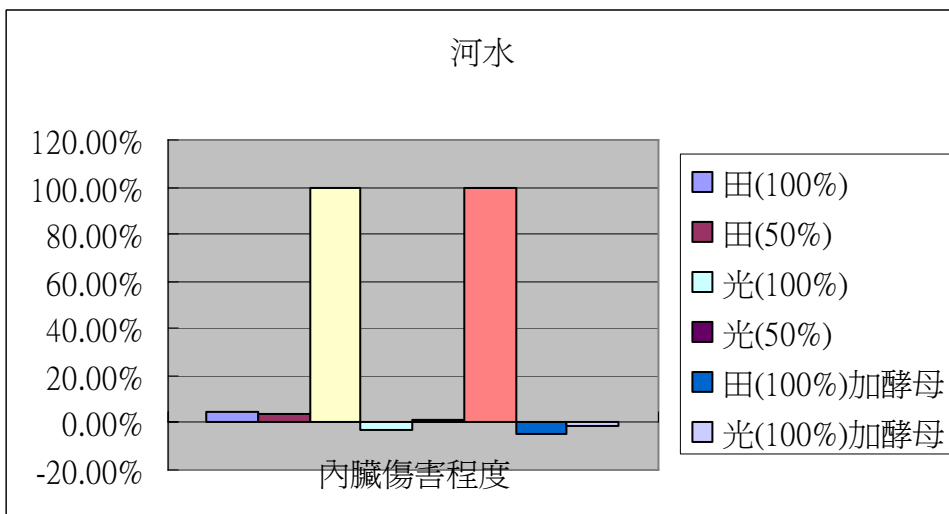


圖三十六

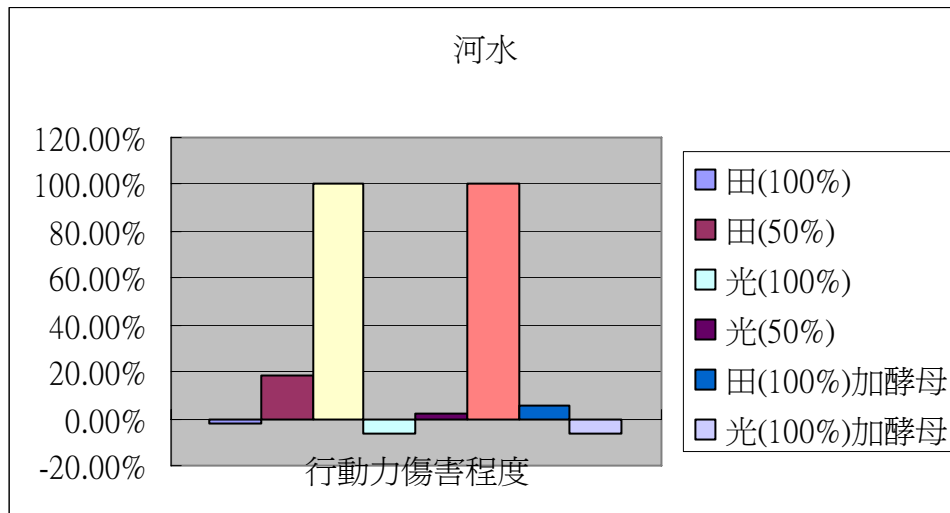


圖三十七

(四)、 河水檢測：



圖三十八



圖三十九

四、 依照心跳、活動量折線圖和在一小時內的觀察，銅離子對於生物的生理活動也極具影響，在照片中銅離子似乎比汞離子對內臟更有破壞力，從破壞率圖來說雖然無法清楚地把離子破壞力作大小的排序，但已可得知主要破壞的部分與速率。

五、 汞、銅、鎳明顯強過鉛、鋅，時間越長各離子中的水蚤體內的顏色漸深，但不同離子在 2~3 小時內所改變之顏色不同。

六、 根據實驗過程紀錄，pH5~8 心跳、活動量較 pH5 以下之組別穩定的多；pH5 以下的溶液，具有在短時間內（約一小時左右）使水蚤喪失活動的傷害強度，表示 pH5 以下的酸鹼值應不適合水蚤生存。→推測 pH6~8 為水蚤較適合之水質。

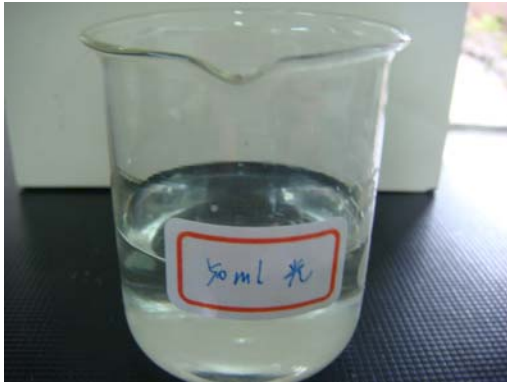
七、 水蚤內最先出現病徵，且隨時間逐漸明顯，顏色主要由透明→灰→黑。→推測這些部位對酸鹼值的強弱較敏感且易受傷害。部分器官在 pH5 以下的環境中，主要以卵室、頭部後約為軀幹前半、體附肢的傷害為主。

八、 根據傷害程度所計算的平均強度，在 pH3~8 之間（三小時內），由鹼向酸遞增，且 pH4~5 間落差很大。→推測水蚤在這段酸鹼值的改變具極高的敏感度。

九、 採集南崁溪水之採集點光明二橋與田寮橋附近狀況如下：

(一) 光明二橋：

1. 附近多蘚苔植物
2. 清澈流速快
3. 漂流物:寶特瓶、塑膠袋
4. 附近為住宅區



圖四十



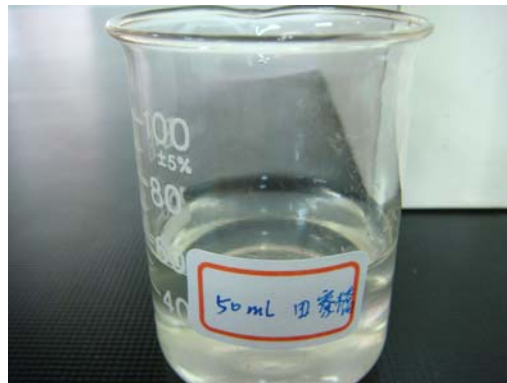
圖四十一



圖四十二

(二) 田寮橋：

1. 距橋 300~400m 下游處有座工廠
2. 河道殘留物有塑膠袋、寶特瓶、各種小型廢棄物但無大型廢棄物
3. 河水略為混濁，含細泥沙



圖四十三



圖四十四



圖四十五

(三) 兩採集點之比較：

1. 流速：田寮橋 < 光明二橋
2. 濁度：田寮橋 > 光明二橋
3. 漂流物數：田寮橋 > 光明二橋
4. 污染程度：田寮橋 > 光明二橋

十、第一次河川觀測中，在三小時內，大部分的實驗組，破壞率在 25% 以下，心跳、活動量之觀測值與對照組差距不大，且體色正常。但一天後~三天後，田寮橋組的心跳變率較活動量變率小，而光明二橋組的觀測值有明顯變動。

十一、因為第一次河川觀測結果推測在兩天後，光明二橋組死亡，田寮橋組活動力下降，所以進行第二次河川觀測，以 50 ml，100% 的田寮橋及光明二橋樣本加入少許酵母，減少變因。結果一天後，光明二橋組，以穩定的情況持續兩天的觀察期，但田寮橋組在兩天後死亡。因此推論：一、可能有微量污染，使影響時間延緩。二、光明二橋之樣本較田寮橋之樣本清澈，少雜質和食物。三、田寮橋之樣本污染較為嚴重。

十二、根據心跳與活動量的觀察，定義一公式作時間與破壞程度的關係，並畫圖來呈現不同水溶液對水蚤之傷害狀況：

(一) 公式：

$$\text{破壞率} = \left(1 - \frac{\text{實驗組心跳(活動量)}}{\text{對照組心跳(活動量)}}\right) \times 100\%$$

內臟破壞率：

0%±5% 正常

5% ≤ X < 25% 輕度

25% ≤ X < 60% 中度

≥ 60% 重度

行動破壞率：

0%±10% 正常

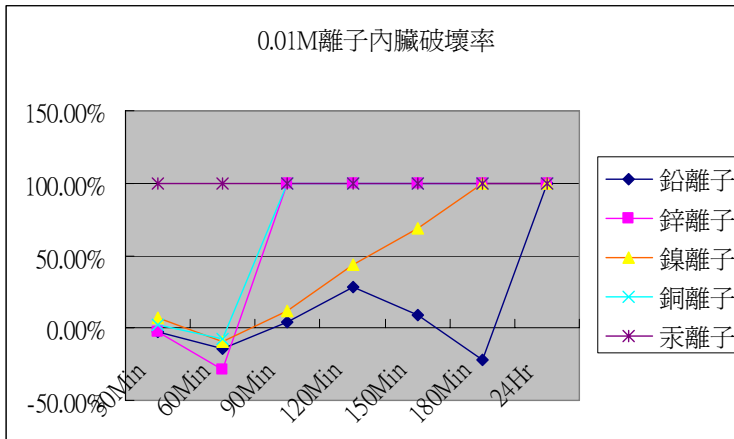
10% ≤ X < 25% 輕度

25% ≤ X < 50% 中度

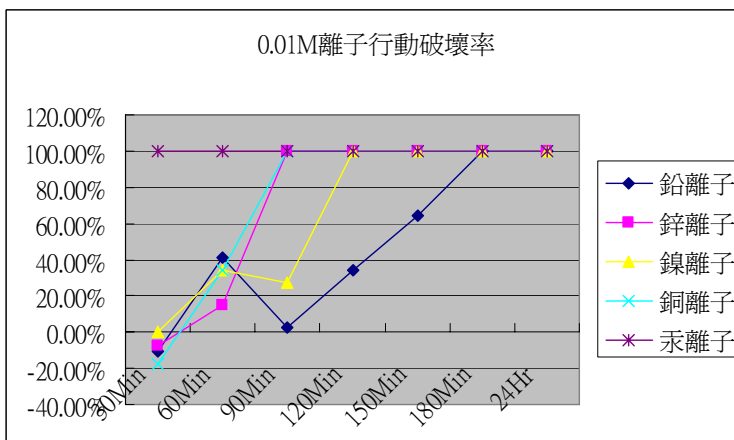
≥ 50% 重度

(二) 破壞率折線圖說明：

1. 0.1M：

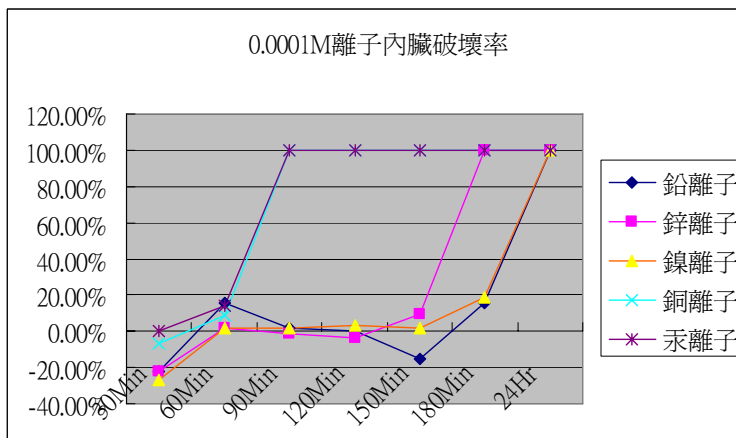


圖四十六

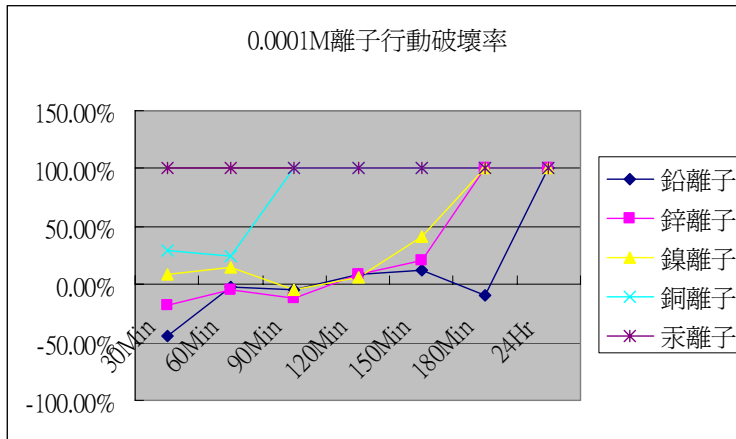


圖四十七

2. 0.001M：



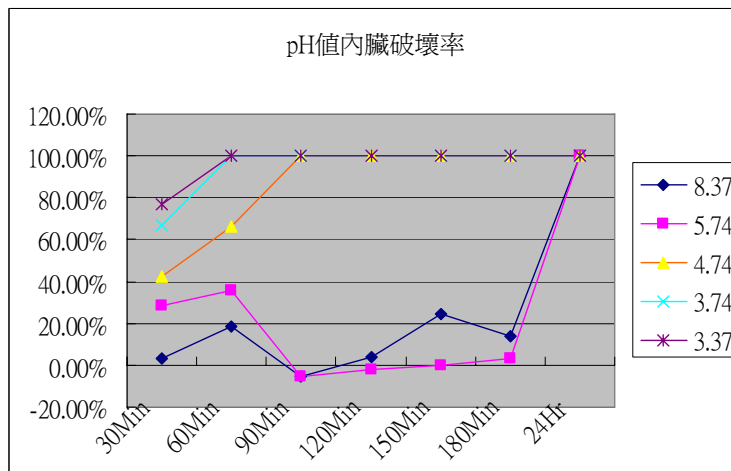
圖四十八



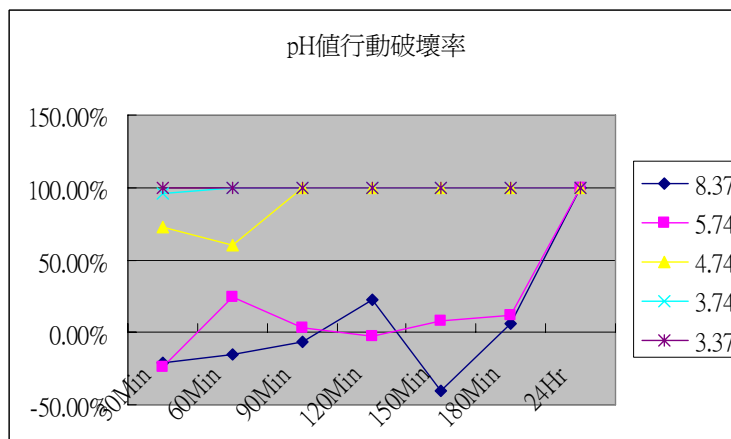
圖四十九

- (1). 稀釋濃度後，各離子的破壞率隨著時間，大部份有明顯下降，有延緩生理機能停止作用。
- (2). 顯示並非所有離子皆能以相同的程度稀釋，如：銅離子在 0.01M→0.0001M 的擴釋程度中，無法有效緩和破壞。又如：汞離子雖有延緩跡象，但仍然具有一定的破壞力。
- (3). 比較內臟破壞率、行動破壞率的圖，內臟的影響與行動能力的變化有正相關。

### 3.酸鹼值：



圖五十



圖五十一

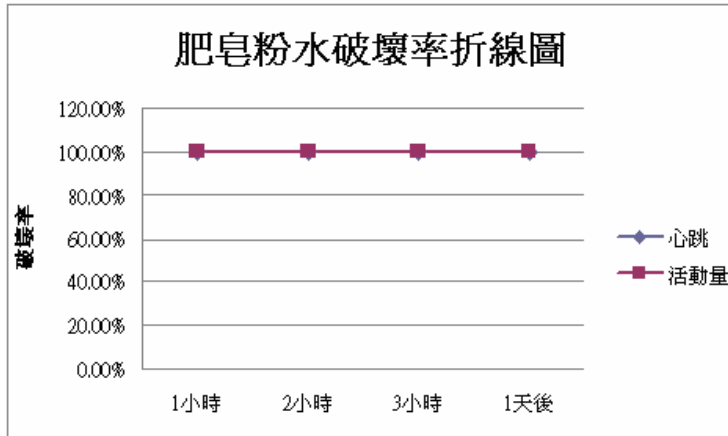


(1).明顯的看到，越酸的環境下，破壞所造成的傷害越是嚴重。

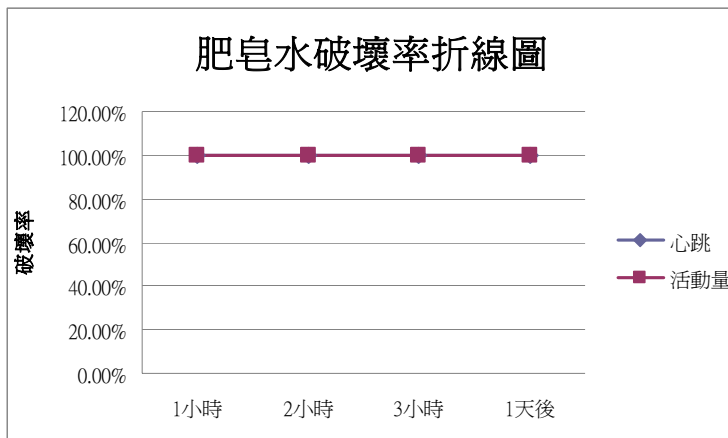
(2).以 pH 值 5 為分界，pH 值 < 5 與 pH 值 > 5 之環境下破壞率有大幅度落差形成明顯的生存區隔。

#### 4.清潔劑及水溝水：

(1) 肥皂水與肥皂粉水（參照圖三十三、三十四）：均迅速死亡，破壞程度都相當可觀。

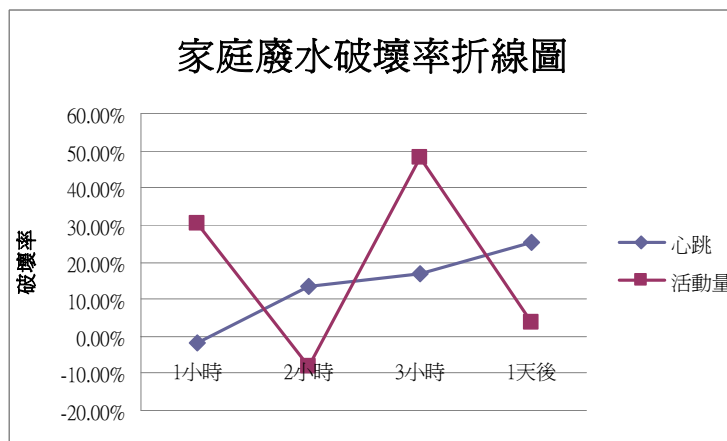


圖五十二



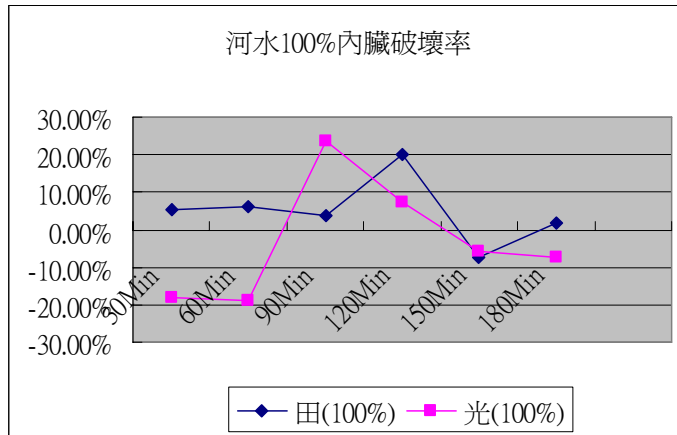
圖五十三

(2) 水溝水（參照圖三十五）：含較多的雜質與污染物、溶氧量較低，故心跳加速，適應後心臟效率比正常低，活動量也下降，一小時後可能因環境因素，活動變化不規律，與對照組有明顯差異。

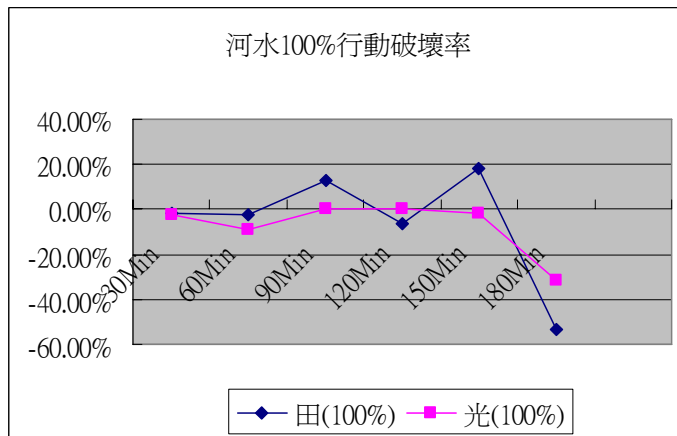


圖五十四

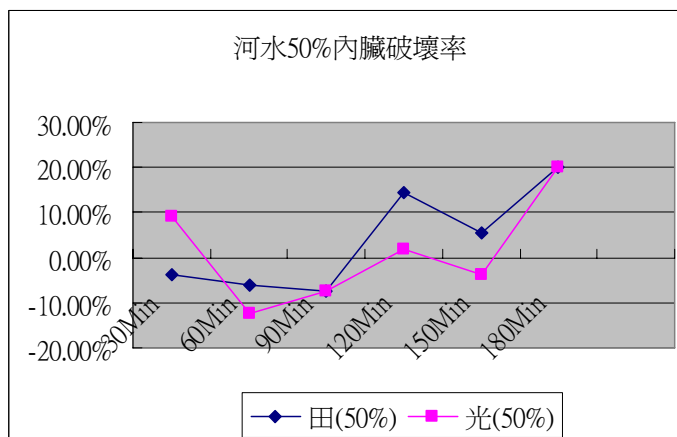
5.南崁溪水質檢測：



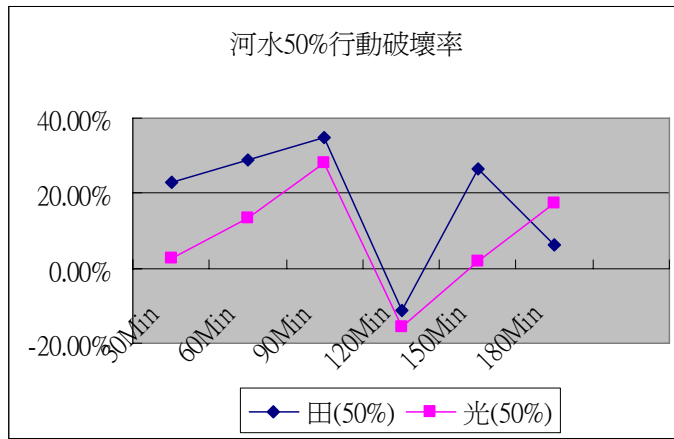
圖五十五



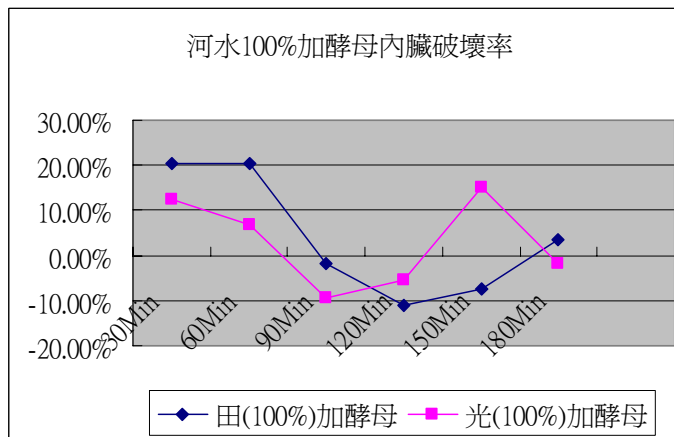
圖五十六



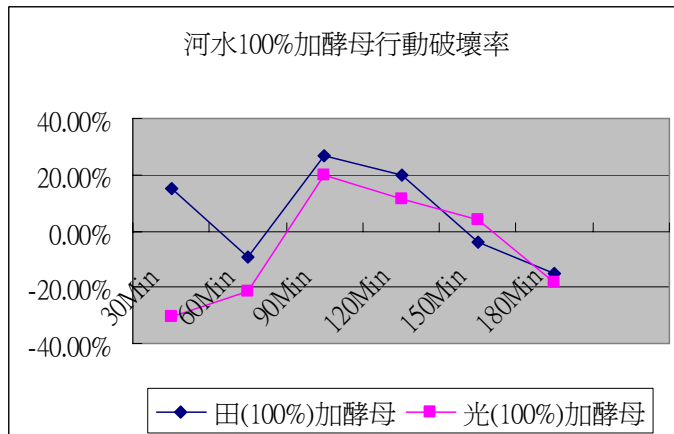
圖五十七



圖五十八



圖五十九



圖六十

- (1). 從行動破壞率圖中，田寮橋樣本之破壞率整體而言較光明二橋樣本高，表示較混濁之水質有礙水蚤行動。
- (2). 內臟破壞率、行動破壞率無正相關，所以推測此次採集之樣本不因內臟因素影響活動，推測內臟傷害可能與樣本中其他微量污染有關，而行動能力則與水中懸浮粒子多寡有關。

## 柒、結論：

- 一、可依死亡順序判別不同金屬離子對一般水域生態的破壞性。  
強度：汞離子>銅離子>鋅離子>鎳離子>鉛離子(0.01M 與 0.0001M 相同)
- 二、濃度的稀釋，雖然可以減緩死亡速度，但在一定濃度大小之下，仍具有一定的殺傷力，高濃度在實驗中可凸顯並快速得知病徵及形變，而低濃度可以貼近真實含離子之汗水。
- 三、不同離子水溶液之破壞處不同，由實驗結果可得知溶液對水蚤的傷害，經由內臟、外觀與活動的變異可大約分辨出污染源。(參考病徵檢索表)  
→顯示不同離子水溶液對生物的各部位突變、受損程度不同，造成生物生存能力下降。
- 四、有時心臟仍在跳動，但已不活動。  
→工業廢水的汙染有時很快速，有時緩慢侵蝕生物體，水中的重金屬離子汙染會導致指標生物的死亡。
- 五、肥皂水的殺傷力不亞於離子水溶液，水蚤很快就死亡。  
→家庭廢水若未適當處理，對水域生態的破壞不輸工業廢水，而且有時也帶有腐蝕性，侵蝕生物體。
- 六、即使是學校的水溝水，仍明顯使水蚤活動力降低，心跳稍緩。  
→可見一般汗水對水生生物的生存也具威脅性，生物可能因無法活動覓食而死。
- 七、兩橋樣本均未出現我們所實驗之離子病徵，且於觀察過大致呈穩定存活，故此兩段溪水汙染較輕。根據傷害程度數據，大部分低於 25%，所以依此研判南崁溪水有逐漸淨化的趨勢。
- 八、從實驗的結果中：
  - (一) 發現若溶液中含有重金屬離子，隨著濃度的不同，雖然發生病徵的時間會有所不同，但即使是微量(數 ppm)水蚤皆能以不同的生理反應忠實地反應水質。
  - (二) 若酸鹼值為不適宜之範圍，可依實驗中 pH4~5 間各紀錄的大幅落差顯示水蚤在不適宜之範圍中會有巨大的改變，立刻出現不適應的症狀。從(一)(二)利用水蚤對水質的敏感度製作、設計病徵檢索表、破壞率公式、傷害程度公式，可以用來簡單檢測區域水質。
- 九、我們以實驗模式來檢測南崁溪水，並未出現紀錄中重金屬離子所產生的病徵，故南崁溪近來所排放之金屬離子濃度皆在安全範圍內，且 pH 值適宜。再根據桃園縣環保局之歷年檢測資料發現南崁溪水質有逐漸淨化之趨勢。

十、藉由這些實驗方法及結果作為檢測地區水質安全之指標。由於實驗過程所用之常見重金屬離子溶液在低濃度(ppm 等級)下仍有病徵顯現，所以，利用水蚤病徵檢索表可明確對應水質檢測樣本中，重金屬離子的污染程度，並用以監督生活週遭工廠污水處理的完善及家庭污水的污染程度。

## 捌、對未來的展望：

過去許多水污染事件，由於未有即時與簡單的檢測方式，已導致嚴重財產損失及危害健康安全，例如：鎘米事件、綠牡蠣事件。所以希望藉由本實驗過程及結果，給予一般大眾更容易檢測及監測自家附近水質的方法，可以及早發現問題，並請相關單位立即處理，將對所有可能的危害降至最低，使人們可以生活在有安全用水的環境中。

## 玖、參考資料及其他：

### 一、參考資料：

<http://study.nmmba.gov.tw/upload/Resource/onserv1511.htm>

### 二、參考書目：

生物學 上冊 Stephen A . Miller, John P.Harley 藝軒出版社 2001 年

顯微鏡底下的生物 王長君編著 科學月刊社發行 民國 64.5

中國淡水枝角類概論 堵南山編著 水產出版社 2000 年

顯微鏡下的世界 呂理福編譯 東方出版社 民 59.1

Fish Magazine No.109 活餌系列-- 觀賞魚的活餌 文/趙文山 1996 年

附件一

影響部位	腦部	心臟	消化道	卵室	幼體	外殼	體附肢
Pb <sup>2+</sup>	透明	透明略灰	正常 腹部有色塊	卵數減少 呈現膚色	無	有些剝落	呈現粉紅色
Zn <sup>2+</sup>	淡黃色	粉紅色	嚴重腐蝕	粉紅色	無	完整	略為透明
Ni <sup>2+</sup>	淡橙色	灰色	遭腫大的卵室壓迫	灰色 無卵形	糊狀	沒有明顯破壞	由透明轉為灰色
Cu <sup>2+</sup>	略黃色	透明	模糊 尾部淡綠色	無卵	無	沒有明顯破壞	呈黑灰色 末端腐蝕
Hg <sup>2+</sup>	黑色	黑灰色	模糊 呈黑灰色細條狀	無卵	無	有剝離現象(破碎)	完整
pH 值 4.74	粉紅色 略淺灰色	漸不透明	空	褐色球體	無	完整	灰色
pH 值 3.74	淺灰色	黑色	黑色	黑色	黑色	完整	灰 像只剩空殼
pH 值 3.37	淺灰色	深灰色略紅色	桃紅色	黑色略紅色	黑色	大致完整	內有黑色細條狀 灰色
肥皂水	淡紅色	淡紅色	淡黃色	無卵	無	大致完整(灰色)	稍微腐蝕
清潔劑	淡黃色	透明	黃色	黃綠色	無	有剝離現象(破碎)	完全腐蝕

## 附件二

# 水樣急毒性檢測方法－水蚤靜水式法

中華民國 94 年 7 月 27 日環署檢字第 0940058345 號公告  
自中華民國 94 年 11 月 15 日起實施  
NIEA B901.12B

## 一、方法概要

本方法主要係以水蚤(*Daphnia similis*) 為測試生物，以靜水式生物毒性試驗方法，檢測水樣之急毒性，並計算 48 小時之半數致死濃度(LC<sub>50</sub>)。

## 二、適用範圍

本方法適用於地面水體、地下水體、廢水、污水、水源水質及環境用藥之急毒性試驗。

## 三、干擾

- (一) 實驗室內使用之有機溶劑或有毒氣體造成水蚤之死亡。
- (二) 玻璃器皿及測試容器未清洗乾淨致殘留有毒物質。
- (三) 水蚤品種不純。
- (四) 其他。

## 四、設備

- (一) 溫度計 (0 ~ 50 °C)
- (二) 溶氧測定儀
- (三) pH 計
- (四) 光學顯微鏡
- (五) 比導電度計
- (六) 通氣設備
- (七) 廣口滴管
- (八) 硼矽玻璃燒杯 (4 L、500 mL 及 100 mL)
- (九) 天平：可精秤至 0.1 mg
- (十) 4 L 塑膠桶
- (十一) 照度計：可量測 10 ~ 20  $\mu$  mol of photons / m<sup>2</sup> / S (100 - 200 lux) 範圍之照度計



### 附件三

桃園縣河川水質監測結果 南崁溪-田寮橋-歷年監測資料

河川名稱		監測站名稱		水體分類標準	監測站編號	距匯流口距離(公里)	監測站位置		
南崁溪		田寮橋		丙	1582	22km	桃園縣大園鄉台4號公路田寮右500公尺處		
年度(季節)	採樣日期	採樣時間	氣溫℃	水溫℃	pH值	溶氧量mg/L	鎘mg/L	鉛mg/L	汞mg/L
96(一)	96/3/13	12:00	19.4	18.1	7.7	6.0	-0.0020	0.0400	-
96(二)	96/6/22	11:30	34.0	30.0	7.5	4.9	-0.0020	0.0400	-
96(三)	96/9/17	15:08	25.0	21.0	8.0	0.7	-0.0020	0.4200	-
96(四)	96/12/3	10:55	17.0	19.2	7.6	7.0	-0.0020	0.0400	-
年度(季節)	採樣日期	採樣時間	銅mg/L	鋅mg/L	導電度μmho/cm/25℃	大腸桿菌群個/100mL	陰離子界面活性劑mg/L	氨氮mg/L	氯鹽mg/L
96(一)	96/3/13	12:00	0.4000	0.1200	822	5.9E+04	-	6.24	-
96(二)	96/6/22	11:30	0.1800	0.0200	104	2.1E+05	-	6.05	-
96(三)	96/9/17	15:08	0.2600	0.3300	1120	8.9E+06	-	6.20	-
96(四)	96/12/3	10:55	0.0200	0.0200	896	6.3E+04	-	8.65	-

附件四

河川名稱		監測站名稱		水體 分類標準	距匯流口 距離 (公里)	監測站位置		
南崁溪		光明二號橋		丙	18.5km	桃園縣龜山鄉桃105號公路左轉楓樹村上		
年度 (季節)	採樣 日期	採樣 時間	氣溫 ℃	水溫 ℃	pH值	鎳 mg/L	鉛 mg/L	汞 mg/L
96(一)	96/3/13	11:25	19.4	18.3	7.7	-0.0020	0.0500	-
96(二)	96/6/22	10:40	33.0	30.0	7.8	-0.0020	0.0700	-
96(三)	96/9/19	11:55	27.0	24.0	7.6	-0.0020	0.3900	-
96(四)	96/12/3	11:39	17.5	18.5	7.6	-0.0020	0.0800	-
年度 (季節)	採樣 日期	採樣時 間	銅 mg/L	鋅 mg/L	導電度 $\mu$ mho/ cm/25℃	大腸 桿菌群 個/100mL	濁度 NTU	鎳 mg/L
96(一)	96/3/13	11:25	0.0100	0.0400	310	2.1E+05	14.7	0.1200
96(二)	96/6/22	10:40	0.0300	-0.0040	322	9.9E+04	4.9	-0.0200
96(三)	96/9/19	11:55	0.0300	0.0700	240	1.2E+05	7.4	0.0400
96(四)	96/12/3	11:39	0.2100	0.0200	309	2.0E+05	5.0	-0.0200

## 附件五

南崁溪-光明二號橋-歷年河川污染指標(RPI)

年度 (季節)	採樣 日期	溶氧量 DO mg/L	生化 需氧量 BOD5 mg/L	懸浮 固體 SS mg/L	氨氮 NH3-N mg/L	河川 污染 指標 R P I	河川 污染 等級
96(一)	96/3/13	7.9	6.0	9.9	2.79	3.50	中度污染
96(二)	96/6/22	6.9	7.0	8.1	0.48	2.25	輕度污染
96(三)	96/9/19	7.8	4.1	17.5	0.43	1.50	未(稍)受 污染
96(四)	96/12/3	7.9	-3.0	4.0	1.67	2.25	輕度污染

RPI： 2.0 以下：未(稍)受污染 2.0~3.0：輕度污染 3.1~6.0：中度污染 6.0 以上：嚴重污染

南崁溪-田寮橋-歷年河川污染指標(RPI)

年度 (季節)	採樣 日期	溶氧量 DO mg/L	生化 需氧量 BOD5 mg/L	懸浮 固體 SS mg/L	氨氮 NH3-N mg/L	河川 污染 指標 R P I	河川 污染 等級
96(一)	96/3/13	6.0	7.2	98.4	6.24	6.25	嚴重污染
96(二)	96/6/22	4.9	5.8	11.0	6.05	5.00	中度污染
96(三)	96/9/17	0.7	22.1	1800	6.20	10.00	嚴重污染
96(四)	96/12/3	7.0	-3.0	12.6	8.65	3.25	中度污染

RPI： 2.0 以下：未(稍)受污染 2.0~3.0：輕度污染 3.1~6.0：中度污染 6.0 以上：嚴重  
污染

## 評語

本作品選擇水蚤為水質污染的生物指標，透過所設計之實驗來觀察、分析各種水質狀況的水中水蚤的生理反應與存活狀態，尋求規律之病徵，可作為一般水質判定的依據。本作品實驗觀察相當細微仔細，但以心跳代表活動量來計算「破壞率」似並不很妥適，可以再探討合適之破壞率或影響率指標以闡釋觀察結果。