

2009 年臺灣國際科學展覽會

優勝作品專輯

編號： 120003

作品名稱

蚤尋活水

得獎獎項

環境科學科大會獎第一名

學校名稱： 國立桃園高級中學

作者姓名： 李佳螢 張碩珍

指導老師： 龍佩君 劉安強

關鍵字： 水蚤、生物指標、Dahpnia、Bioindicator

作者簡介



我叫李佳螢，小時候由於父母工作忙碌，所以國小五年級以前我是由爺爺奶奶照顧長大的。平常奶奶都會帶我去爬山，路邊的花草樹木，如果奶奶知道名字她都會告訴我，可說是上了一課呢！現在，17 歲了！我依然喜歡到處郊遊走走，不同於小時候，大自然裡沒有城市的吵鬧，也沒有緊湊的步調，聽著鳥鳴、看著花草樹木，都給我一種放鬆的心情，可以好好享受週遭的美好事物。



我叫張碩珍，小時後的我喜歡觀察花花草草小生物，常常一個人蹲在地上東看西看，以前也曾經把抓到的瓢蟲帶回家養。偶然的機會，去年參加中原大學第一次試辦的「高中學生科學研究人才培育計畫」(化學)，半個學期十次課程下來，課程雖然沒有百分之百的了解，但交到了一群朋友，對大學及化學也有初步的認識，參加科展是可遇不可求的機會，對我來說，一個二類組的人能再次接觸生物，就像小時後觀察事物一樣，是令人開心的事。

摘要

近年來工商業的快速發展，使得環境污染日益嚴重，尤其是與生活息息相關的水源，更是遭受到許多的污染。這些污染對於環境的影響十分巨大，因此必須針對水源品質嚴格監控。

水蚤對水中有害物質非常敏感，且繁殖力高，生命週期短，加上身體透明，在顯微鏡下容易觀察結構，極適合做為水質環境污染檢測的動物。我們針對水源 pH 值以及常見的水源污染物，如重金屬離子、界面活性劑等以水蚤進行實驗，並詳細觀察水蚤的趨光性變化、心跳以及外觀改變，發現這些污染源都會對水蚤造成不同程度的傷害。

藉由實驗的結果，我們建立了一個有效可行的水污染檢測方法，同時制定一套水源污染程度的分級指標，可應用來檢測各地的水源。

Examination of Water Pollution by Daphnia

Abstract

In recent years, the industry and trade have developed rapidly, which caused the environmental pollution to be more and more serious, especially the water source which was closely linked with the life, was suffered from many pollution. These pollution is extremely huge regarding the environment influence, so there must aim at the water source quality strictly monitored.

Daphnias are sensitive to the deleterious substance in the water. They have high reproductive rate , short life cycle and transparent body ,which make it not only easy to observe the structure under the microscope but also suitable to be the animal that examine water quality. In view of the pH value of water source as well as the common water source pollutant, like the heavy metal ion, the surfactant ...carry on the experiment by the daphnias, and the detailed observe the daphnias' photoaxis change, the palpitation as well as the outward appearance change, discovered these sources of pollution can create the varying degree to the daphnias' injury.

By the experimental result, we have established an effective detection method of water pollution, formulating water source pollution degree graduation target, applied to examine the water source in each place.

蚤尋活水

一、研究動機：

由於近年來工商業的快速發展，使得環境污染日益嚴重，尤其是與生活息息相關的水源，更是遭受到許多的污染。例如銅離子所造成的綠牡蠣事件、甲基汞所造成的水俣病、以及鎘離子所造成的痛痛病等。由於水污染會對水中動植物產生傷害及病徵，嚴重時甚至引起死亡，因此我們可以利用水中動植物受到傷害的嚴重程度及病徵，來檢測水源污染的程度，或是水源受到何種污染。

水蚤對水中有害物質非常敏感，且繁殖力高，生命週期短（只有幾週），加上身體透明，在顯微鏡下容易觀察結構，極適合做為水質環境污染檢測的動物。藉由水蚤的趨光性變化、心跳記錄以及外觀改變的詳細觀察，我們希望能建立一個方便快捷且有效可行的水污染檢測方法，同時制定一套水源污染程度的分級指標，可應用來檢測各地的水源。

二、研究目的：

- （一）設計相關實驗以研究各種水污染物對水蚤的影響
- （二）藉由水蚤研究建立有效可行的水污染檢測方法
- （三）對桃園市南崁溪進行水源監測

三、原理：

（一）水蚤簡介：

水蚤在分類學上屬於節肢動物門甲殼綱，左右側略扁，被兩片透明的軟殼包住，在低倍的光學顯微鏡下可以清楚地觀察到牠的內部結構（如圖 1 所示）。水蚤

有孤雌生殖與兩性生殖兩種生殖方式。其中由兩性生殖產生的受精卵耐力較強，能生存於惡劣的環境下，等環境較佳後再孵化。通常水蚤的壽命為 9~12 週，平時水蚤會利用第二觸角的擺動到處游來游去以找尋食物，而牠們的食物來源則是水中的細菌、藻類和有機物等。水蚤和人類不一樣，其身體結構中並沒有胃，因此牠們吃的東西會直接進入腸道消化吸收。

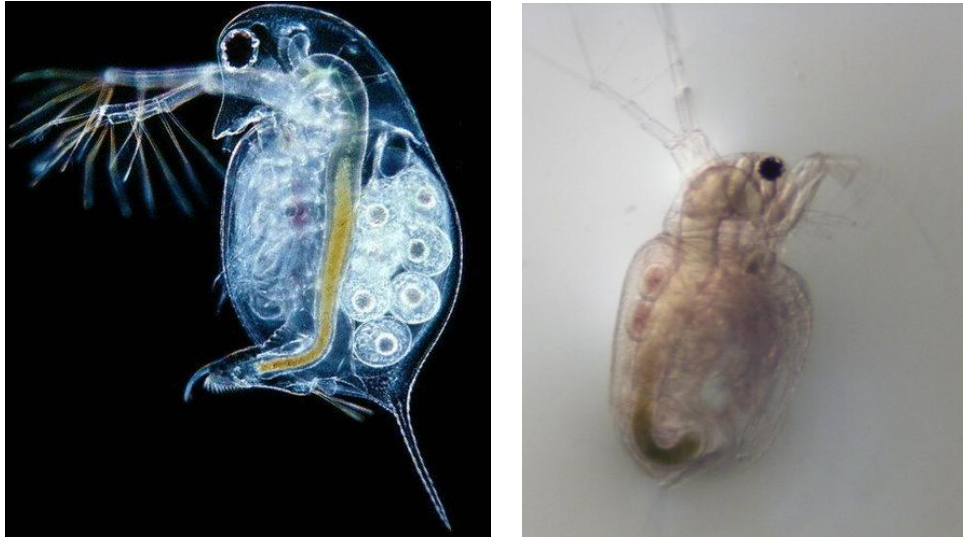


圖 1 水蚤外觀（台灣圓蚤）

（二）生物指標：

水質監測以物理與化學指標為主，我國環境保護署即以懸浮固體、溶氧、生化需氧量、酸鹼度、總磷、氮氮與重金屬等參數評估水質良窳。物理化學指標的優點在於經濟快速，準確性高，方法標準化，為各界所認可；缺點則在於只能反應採樣瞬間的水質，而且難以確切反應污染對水域環境生物的衝擊與影響。為了彌補物化指標的缺點，使水質評估更為完整真實，水質指標生物方法應運而生，這類方法從生物與生態的角度，評估中長期水質的變化，是一優良靈敏的輔助方法，適合作為長期監測與環境教育推廣的觀察材料。

在淡水環境中，存在著許多的不同種類的水生生物，例如魚類、大型無脊椎動物、大型水生植物、藻類、細菌與病毒等。這些生物都可以應用作為評估水質之生物指標，它們的存活、群聚結構組成、生產率、行為與生理狀況，可以反映各類污染如有機化合物、殺草劑、殺蟲劑、重金屬、界面活性劑或是工廠排放物對於環境之傷害程度。藉由觀察這些生物與環境間之因果關係，學者們提出的許多的生態模式與生物指標方法，希望找出比傳統理化分析方法更客觀的水質評估依據，以提供環境決策之參考。

指標生物的概念最早是由德國 Kolkwitz 與 Marson 所提出，不需仰賴精密儀器仍可監測水質，可以彌補物理化學分析方法之不足。河川水生生物中，目前用於偵測河川之污染程度者，有藻類，浮游動物，水生昆蟲，軟體動物，環節動物與魚類等，可以反應污染物長期介入對環境生物之影響，同時亦反應生物同種間或族群間之交互作用。以生物之生存反應污染程度，比之物理化學分析方法更容易被大眾所了解與接受。藻類及浮游動植物屬於微生物，分佈廣泛並能迅速反應環境改變，必須使用顯微鏡觀察。其餘的則為肉眼可見之生物，採樣及觀察均較方便，它們都是固定棲息於河床或沿岸，較能代表該點之河川水質。

環境生物指標監測的原理，係基於自然生態環境的作用中，因果關係實在太複雜，無法推論清楚，所以就以環境生物中的有機狀態來標定環境品質的狀況，它選擇一些具有代表性的環境指標生物，而在某些污染物曝露劑量或某些特定外在條件（如溫度、濕度、攪動、壓力）下，探求這些環境指標生物可能產生的反應和受到的衝擊程度，從而推論環境品質的狀況。這些環境指標生物應該是普遍易得，易觀察、易計量，而且最重要的是對於污染物的反應相當敏感，才能被選擇為環境指標生物，用來進行環境監測。

四、研究方法：

(一) 水蚤飼養方式：

1.一星期餵養水蚤二次（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：本校荷花池水中藻類由於日照充足，藻類多且營養，故直接採集荷花池水餵養。

②陰天：荷花池水中藻類較為不足，且水質混濁，故改以酵母粉或綠水餵養，每次約五分之一至四分之一茶匙配置 100 ml 溶液混合均勻後倒入水缸中。

2.換水方式：提本校荷花池水，將水缸中的水過濾二分之一（保留水蚤），再將池水過濾數次，去除其他水中動物與雜質後，再倒入水缸。

(二) 研究設備與器材：

1.透明玻璃水缸（用於觀察）

2.台灣圓蚤數百隻

3.塑膠滴管數個（吸取水蚤用）

4.濾網（為水蚤換水）

5.乾淨空保特瓶數個（換水、儲存金屬離子專用）

6.1 ppm 及 0.1 ppm 鉛離子溶液（約 150 ml）

7.3 ppm 及 0.3 ppm 銅離子溶液（約 150 ml）

8.1 ppm 及 0.1 ppm 鎳離子溶液（約 150 ml）

9.10 ppm 及 0.1 ppm 錳離子溶液（約 150 ml）

10.5 ppm 及 0.5 ppm 鋅離子溶液（約 150 ml）

11.拭鏡紙

12.100 ml 及 200 ml 燒杯數個

13.量筒

14.試管數個

15.吸微量管

16.電子秤

17.可擷取影像之顯微鏡（觀察與拍攝水蚤）

18.數位相機

19.暗箱（觀察趨光性）

20.光源機（LED 燈）

21.冰箱（具溫控功能）

(三) 實驗步驟：

1.趨光性實驗步驟：

- ①配置實驗所需溶液。
- ②選取十隻體型大小相近的水蚤為一組。
- ③不同溶液各放入一組。
- ④一小時後 再將溶液倒入量筒。
- ⑤將量筒放入暗室。
- ⑥十分鐘後 記錄水域所分布的水蚤數量。
- ⑦三小時後將溶液倒入量筒再記錄一次（重複步驟 5）。
- ⑧一天後將溶液倒入量筒再記錄一次（重複步驟 5）。
- ⑨兩天後將溶液倒入量筒再記錄一次（重複步驟 5）。

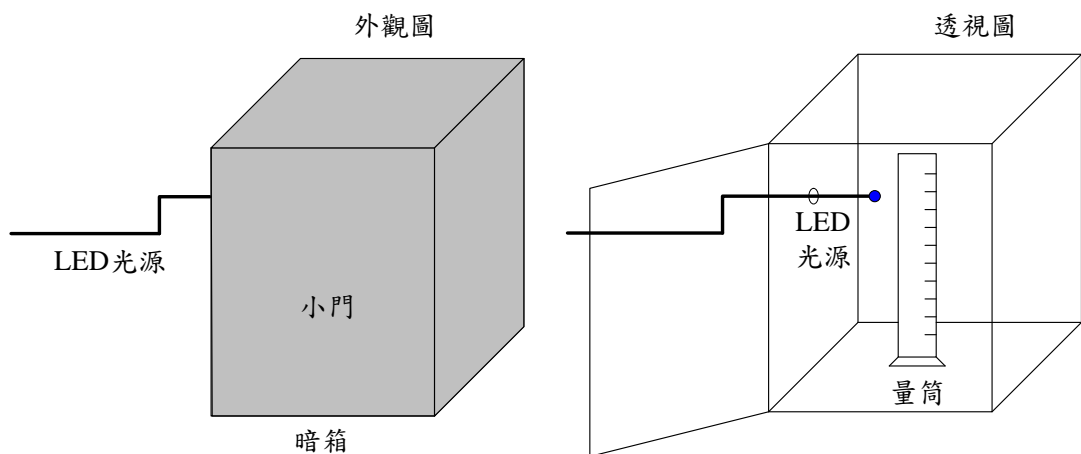


圖 2 趨光性實驗裝置圖

2.測量心跳與記錄外觀實驗步驟：

- ①配置實驗所需溶液。
- ②選取十隻體型大小相近的水蚤為一組。
- ③不同溶液各放入一組。
- ④三十分鐘後以顯微鏡觀察並記錄心跳（下/分）、外觀。
- ⑤擷取顯微鏡中水蚤影像。
- ⑥一小時後再次記錄心跳、外觀和重複步驟5。
- ⑦三小時後再次記錄心跳、外觀和重複步驟5。
- ⑧一天後再次記錄心跳、外觀和重複步驟5。
- ⑨兩天後再次記錄心跳、外觀和重複步驟5。

五、研究結果與討論：

（一）pH 值對水蚤的影響：

酸雨，是指硫氧化物、氮氧化物這些物質排放到大氣中後，因為光線、水分、氧氣等因素之影響產生了化學反應，最後產生了硫酸根離子和硝酸根離子。這其中，有些混入雲層形成雨水，就會使雨水呈現酸性；有些則不溶於雨水，而以顆粒狀下降到地面。酸雨的化學組成中，較重要的物種包括 H^+ 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 及 Mg^{2+} 等九種。其來源包括自然來源及人為來源，一般而言 H_2SO_4 及 HNO_3 為主要的致酸物質，由硫氧化物與氮氧化物轉化而來。在人為污染排放方面，前者則與化石燃料使用、火力電廠、含硫有機物燃燒有關；後者主要源自工廠高溫燃燒過程，交通工具排放等因素。由於大氣中原本就含有

二氧化碳，而雨水中也溶有一部分二氧化碳形成碳酸根離子（帶有微酸性），所以正常雨水之 pH 值應該是 5.6，如果雨水 pH 值在 5.6 以下，則就可稱其為酸雨。由於水源 pH 值會影響水中的動植物生長及生態，所以我們首先針對 pH 值對水蚤的影響進行一系列實驗，其結果如圖 3—6 及表 1—7 所示。

I. pH 值實驗結果：

表 1 對照組實驗心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 160 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：淡黃色 育兒室：卵清晰可見	心跳： 196 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端一小部份呈咖啡色 育兒室：卵清晰可見	心跳： 156 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：淡黃色 育兒室：卵清晰可見	心跳： 280 下/分 外觀： 體色：1/2 淡粉紅其餘透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端呈淡咖啡色 育兒室：膨大	心跳： 256 下/分 外觀： 體色：淡灰色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：整條黑色 育兒室：無卵

表 2 水蚤在 pH4 溶液中心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 252 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明無色 育兒室：膨大	心跳： 232 下/分 外觀： 體色：深粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前端透明無色 育兒室：膨大	心跳： 228 下/分 外觀： 體色：深粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端略呈黃褐色 育兒室：膨大	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：一對觸角折損 殼：已脫離主體且殼上有不規則狀斑點 腸道：紫紅色 內臟：外露	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：黑色 觸角：無折損

表 3 水蚤在 pH5 溶液中心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 224 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：淡黃色 育兒室：膨大	心跳： 224 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：淡黃色 育兒室：膨大	心跳： 220 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前端透明 育兒室：膨大有幼體	心跳： 276 下/分 外觀： 體色：淡灰色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前端透明 育兒室：膨大有幼體	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：淡咖啡色 育兒室：卵清晰可見

表 4 水蚤在 pH6 溶液中心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 252 下/分 外觀： 體色：深粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前端為淡黃色 育兒室：膨大有很多幼體	心跳： 220 下/分 外觀： 體色：深粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：淡黃色 育兒室：膨大有很多幼體	心跳： 220 下/分 外觀： 體色：深粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 育兒室：膨大有很多幼體	心跳： 224 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：淡褐色 育兒室：卵清晰可見	心跳： 260 下/分 外觀： 體色：灰色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：整條呈淺咖啡色 育兒室：膨大略微灰色

表 5 水蚤在 pH7 溶液中心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 136 下/分 外觀： 體色：很淺的淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明無色 育兒室：卵清晰可見	心跳： 160 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端呈淡黃色 育兒室：卵清晰可見	心跳： 156 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明無色 育兒室：些微膨大	心跳： 252 下/分 外觀： 體色：透明 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明無色 育兒室：膨大有幼體	心跳： 232 下/分 外觀： 體色：透明 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前端為灰色尾端透明無色 育兒室：無卵

表 6 水蚤在 pH8 溶液中心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 212 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：淡黃色 育兒室：膨大	心跳： 236 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：淡黃色 育兒室：膨大	心跳： 248 下/分 外觀： 體色：深粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明 育兒室：膨大有幼體	心跳： 256 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明無色 育兒室：膨大	心跳： 252 下/分 外觀： 體色：1/3 淡灰色其餘透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：灰色 育兒室：無卵

表 7 水蚤在不同 pH 值溶液中的存活時間

pH 值	pH4	pH5	pH6	pH7	pH8
存活時間	265 分	18 小時	2 天以上	2 天以上	2 天以上

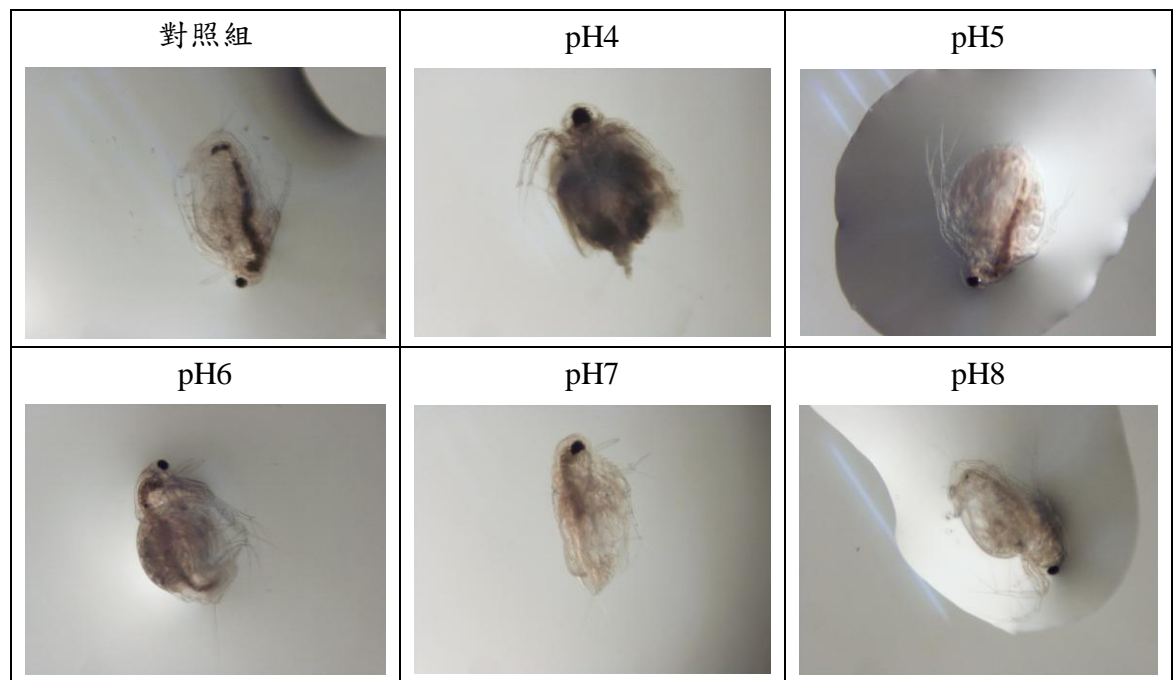


圖 3 對照組及不同 pH 值溶液中水蚤照片比較（兩天後）

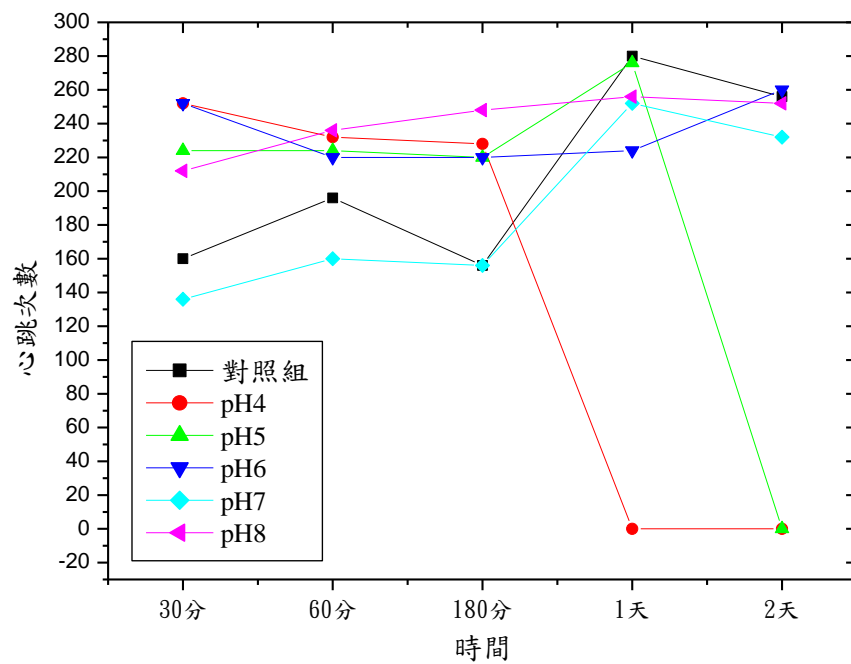


圖 4 對照組及不同 pH 值溶液中水蚤心跳趨勢圖

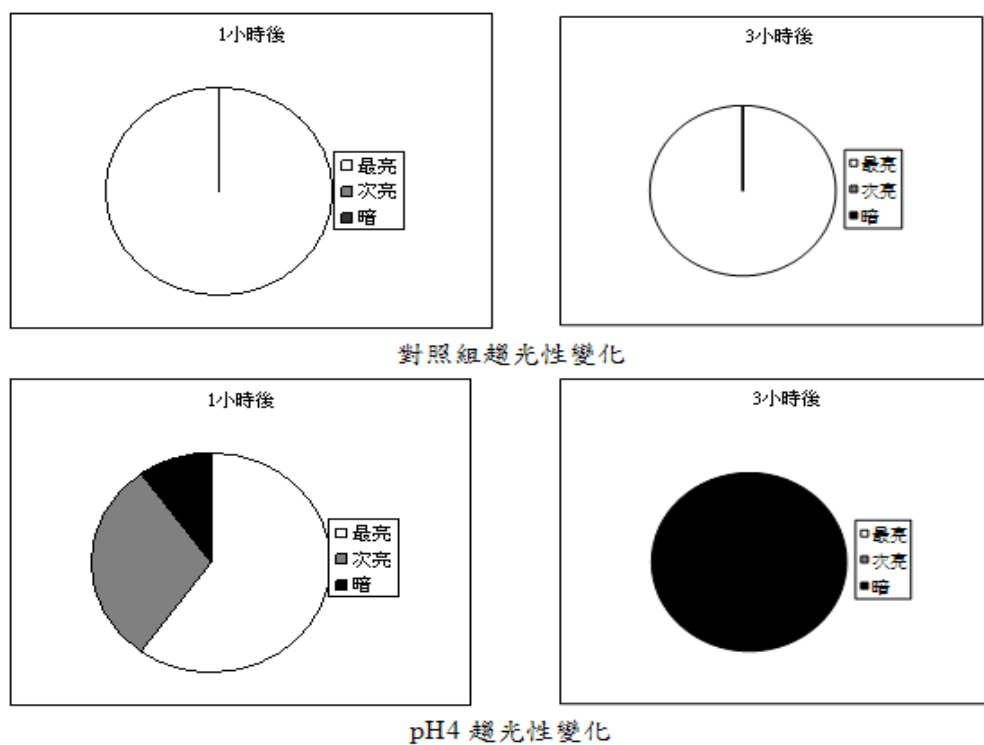
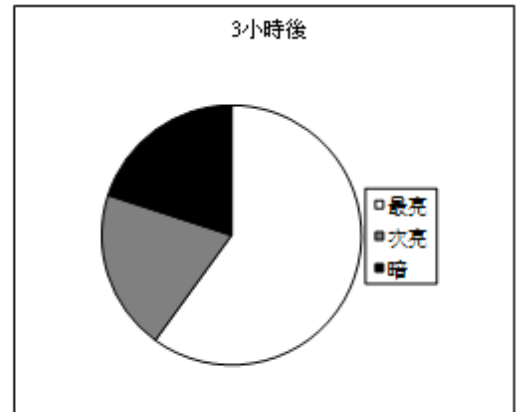
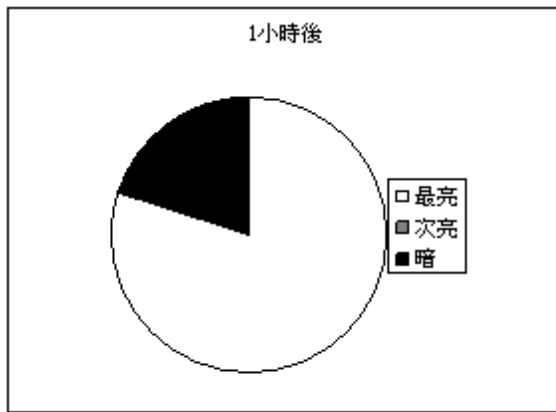
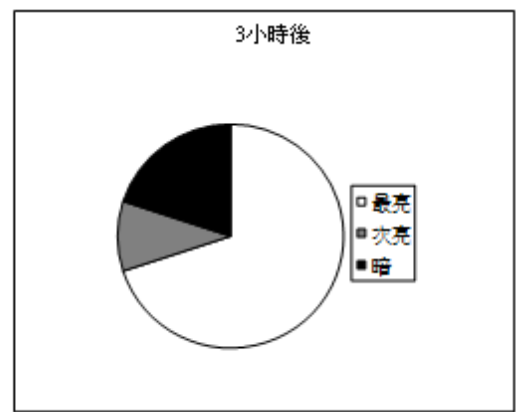
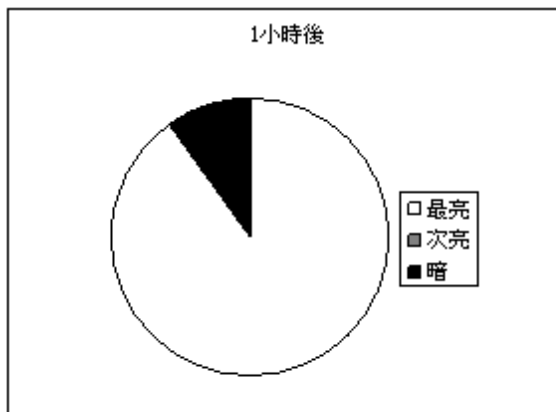


圖 5 對照組及不同 pH 值溶液中水蚤趨光性變化圖

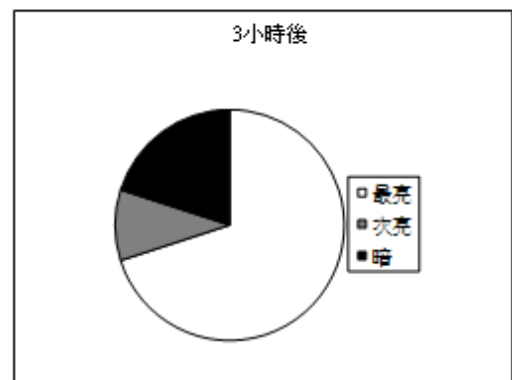
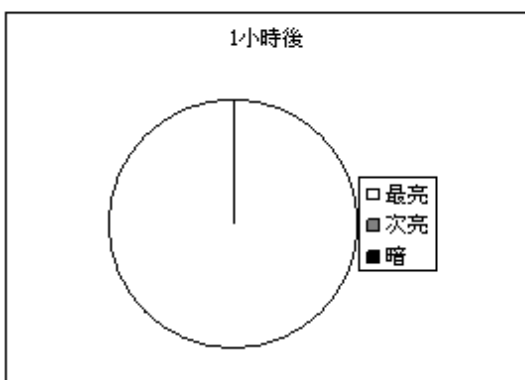
續下頁



pH5 趨光性變化



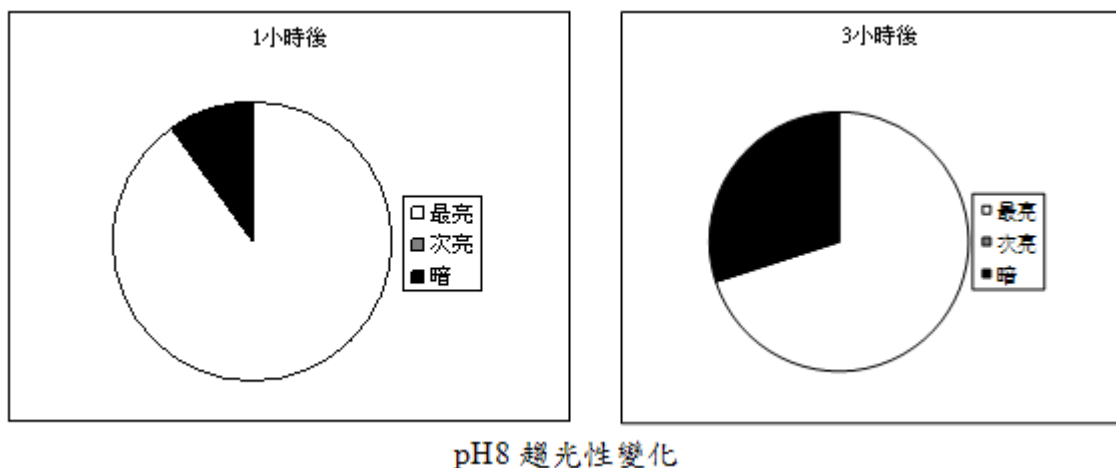
pH6 趨光性變化



pH7 趨光性變化

圖 5(繼續)

續下頁



pH8 趨光性變化

圖 5(繼續)

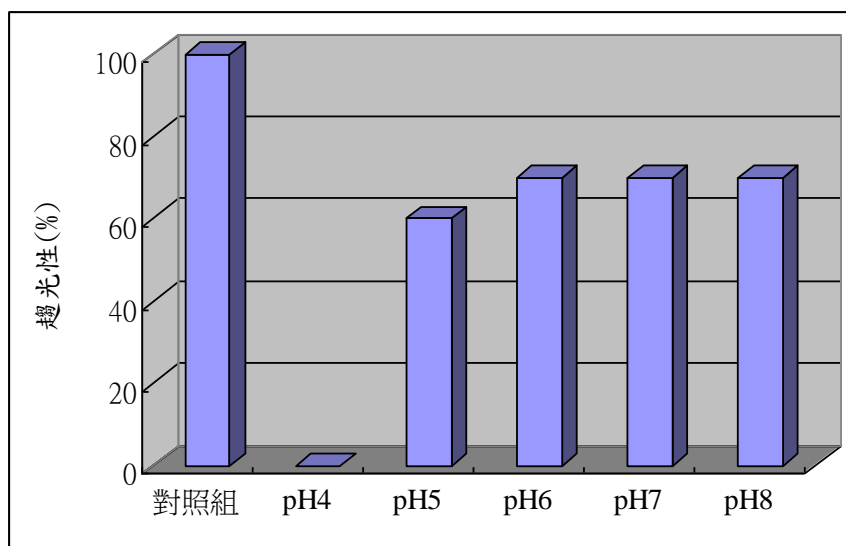


圖 6 對照組及不同 pH 值溶液的趨光性比較圖 (3 小時)

II.討論：

- 1.水蚤以血紅素來運送氧氣，故推測體色偏紅是和血紅素有關。
- 2.藉由水蚤外觀可觀察溶液對水蚤的破壞程度。
- 3.在 pH4 溶液中的水蚤，前 3 小時外觀沒有太大的變化，外殼保持完整，內臟、腸道沒有什麼異常，但一天後，水蚤死亡，從外觀上來看殼已脫落，內臟外露，腸道呈紫紅色，表示水蚤長時間處於低 pH 值的環境中會造成明顯的傷害。
- 4.在 pH5 溶液中的水蚤在前 3 小時的外觀沒有什麼變化，殼保持完整，內臟、腸道沒有什麼異常，但兩天後的水蚤已死亡，外觀上沒有特別的變化。
- 5.水蚤處於 pH6、pH7、pH8 的溶液中皆可存活兩天以上，外觀沒有特別的異常，表示這三種溶液對水蚤的幾乎不會造成傷害。
- 6.健康的水蚤會有趨光的傾向，反之不健康的水蚤，會傾向暗處。
- 7.對照組水蚤都在亮光處，表示牠們的健康狀況良好。
8. pH4 的趨光性變化最明顯，1 小時內大多在亮光處，3 小時後全數傾向暗光，表示它們的健康狀況不佳。
9. pH5 的趨光性也較明顯，1 小時內大多在亮光處，3 小時後 30 % 傾向暗光。表示水蚤的健康狀況也不佳。
10. pH6、pH7、pH8 三者的趨光性變化不大，表示三種溶液水蚤的健康狀況差不多。也表示三種溶液對水蚤的傷害不大。

(二) 金屬離子對水蚤的影響：

重金屬離子造成的水污染對環境有著極大的影響，且只需微量的重金屬離子就可對生物造成嚴重的傷害，故對於河川及水源均需定期的加以觀測，尤其是容易造成污染的工業區附近的河川更值得關注。我們研究的重點著重於探討常見金屬離子對水蚤的影響以及傷害，並參考行政院環境保護署公佈的放流水標準，配製出放流水標準及放流水標準 0.1 倍濃度的五種金屬離子（鉛離子、銅離子、鎳離子、錳離子、鋅離子）溶液，並進行一系列實驗，其結果如圖 7—13 所示及表 8—21 所示。

I. 金屬離子（放流水標準）實驗結果：

表 8 對照組實驗心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天
觀察記錄	心跳： 216 下/分 外觀： 體色：淡粉紅 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端呈墨綠色 育兒室：卵清晰可見	心跳： 268 下/分 外觀： 體色：淡粉紅 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端呈墨綠色 育兒室：卵清晰可見	心跳： 248 下/分 外觀： 體色：淡粉紅 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端呈墨綠色 育兒室：卵清晰可見	心跳： 240 下/分 外觀： 體色：淡咖啡色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：整條呈咖啡色 育兒室：卵略微淡灰色

表 9 水蚤在鉛離子（1 ppm）溶液中心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天
觀察記錄	心跳： 252 下/分 外觀： 體色：2/3 淡粉紅，1/3 透明 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端成墨綠色 育兒室：膨大	心跳： 224 下/分 外觀： 體色：2/3 淡粉紅 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端呈墨綠色 育兒室：膨大	心跳： 240 下/分 外觀： 體色：1/3 淡粉紅 2/3 透明 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明 育兒室：膨大略灰 黑色有幼體	心跳： 0 下/分 外觀： 頭部以下已分解 體色：灰色 觸角：無折損 殼：已分開成兩片

表 10 水蚤在銅離子（3 ppm）溶液中心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天
觀察記錄	心跳： 228 下/分 外觀： 體色：透明 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明無色 育兒室：卵清晰可見	心跳： 232 下/分 外觀： 體色：略淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明無色 育兒室：膨大有幼體	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：3/4 淡灰色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：淡灰色 育兒室：略為膨大呈黑色	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：灰黑色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：灰黑色 育兒室：膨大略微灰黑色

表 11 水蚤在鎳離子（1 ppm）溶液中心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天
觀察記錄	心跳： 256 下/分 外觀： 體色：透明 觸角：無折損 殼：完整 腸道：腸道 1/2 呈墨綠色 育兒室：無卵	心跳： 236 下/分 外觀： 體色：2/3 淡粉紅色 1/3 透明 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端呈墨綠色 育兒室：膨大有幼體	心跳： 248 下/分 外觀： 體色：透明 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前端呈淡灰色 尾端呈墨綠色 育兒室：無卵	心跳： 0 下/分 外觀： 頭部以下已分解 體色：灰色 觸角：無折損 殼：分開成兩片 腸道：整條呈灰色

表 12 水蚤在錳標準液（10 ppm）溶液中心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天
觀察記錄	心跳： 248 下/分 外觀： 體色：透明 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前端 1/4 為黑色其餘為綠色 育兒室：膨大且呈現粉紅色	心跳： 208 下/分 外觀： 體色：1/3 淡灰色 2/3 透明 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前端呈深黑色 中間為咖啡色尾端為墨綠色 育兒室：膨大呈粉紅色	心跳： 252 下/分 外觀： 體色：透明 觸角：無折損 殼：完整 腸道：整條呈深黑色 育兒室：膨大且呈現粉紅色	心跳： 0 下/分 外觀： 整體已嚴重分解至看不清楚內部構造且呈深咖啡色 其他：有一條紅色的不明物至頭部延伸出來

表 13 水蚤在鋅離子（5 ppm）溶液中心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天
觀察記錄	心跳： 268 下/分 外觀： 體色：頭部透明其餘呈淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端為墨綠色 育兒室：膨大且有幼體	心跳： 236 下/分 外觀： 體色：頭部透明其餘呈淡灰色 觸角：無折損 殼：完整 育兒室：膨大且有幼體	心跳： 224 下/分 外觀： 體色：淡灰色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：淡灰色 育兒室：膨大有幼體	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：透明 觸角：無折損 殼：已分開成兩片且其中一片有折損

表 14 水蚤在不同金屬離子溶液（放流水標準）中的存活時間

金屬離子	鉛離子	銅離子	鎳離子	錳標準液	鋅離子
存活時間	5 小時	70 分	12 小時	11 小時	9 小時

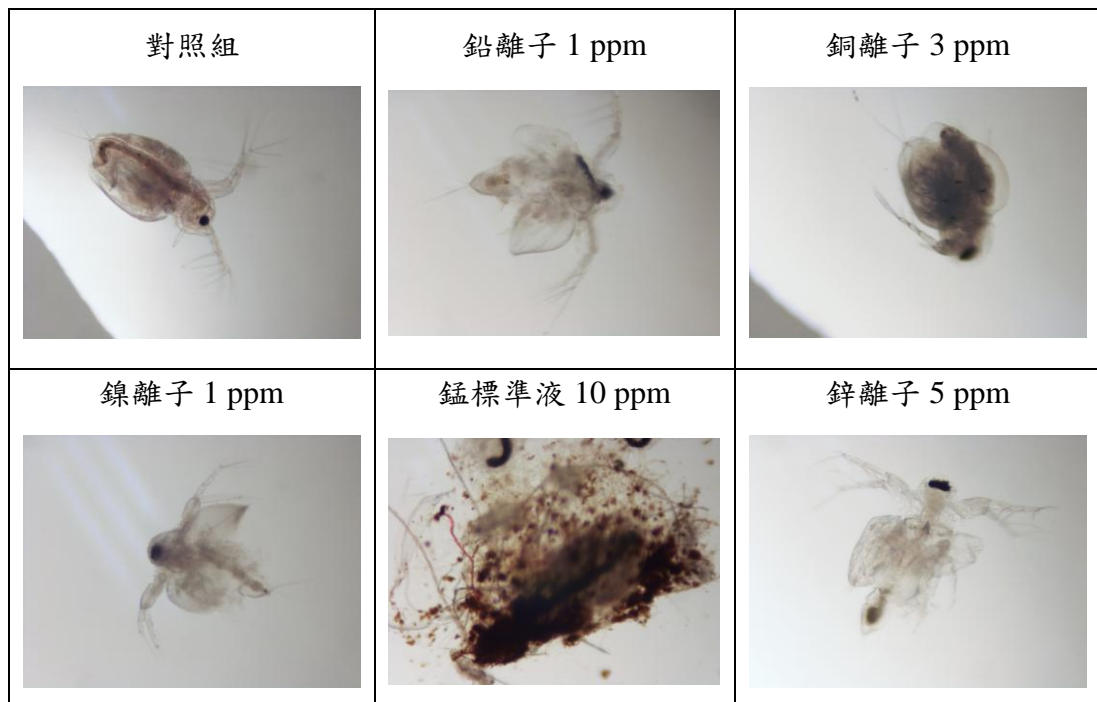


圖 7 對照組及不同金屬離子溶液（放流水標準）中水蚤照片比較（一天後）

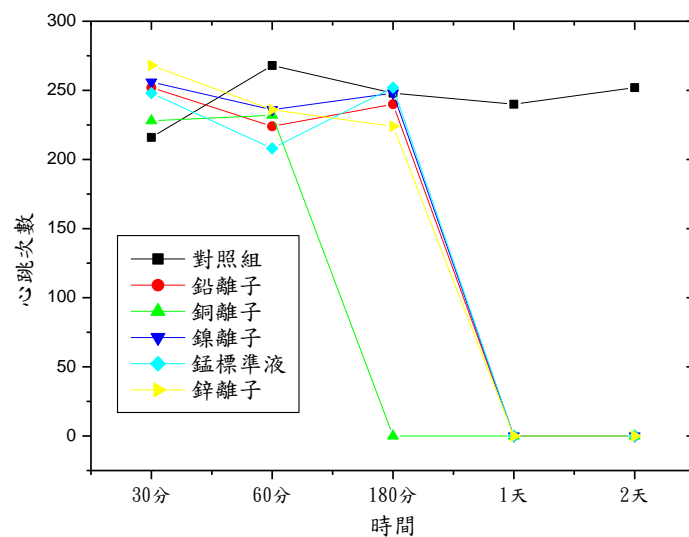


圖 8 對照組及不同金屬離子溶液（放流水標準）中水蚤心跳趨勢圖

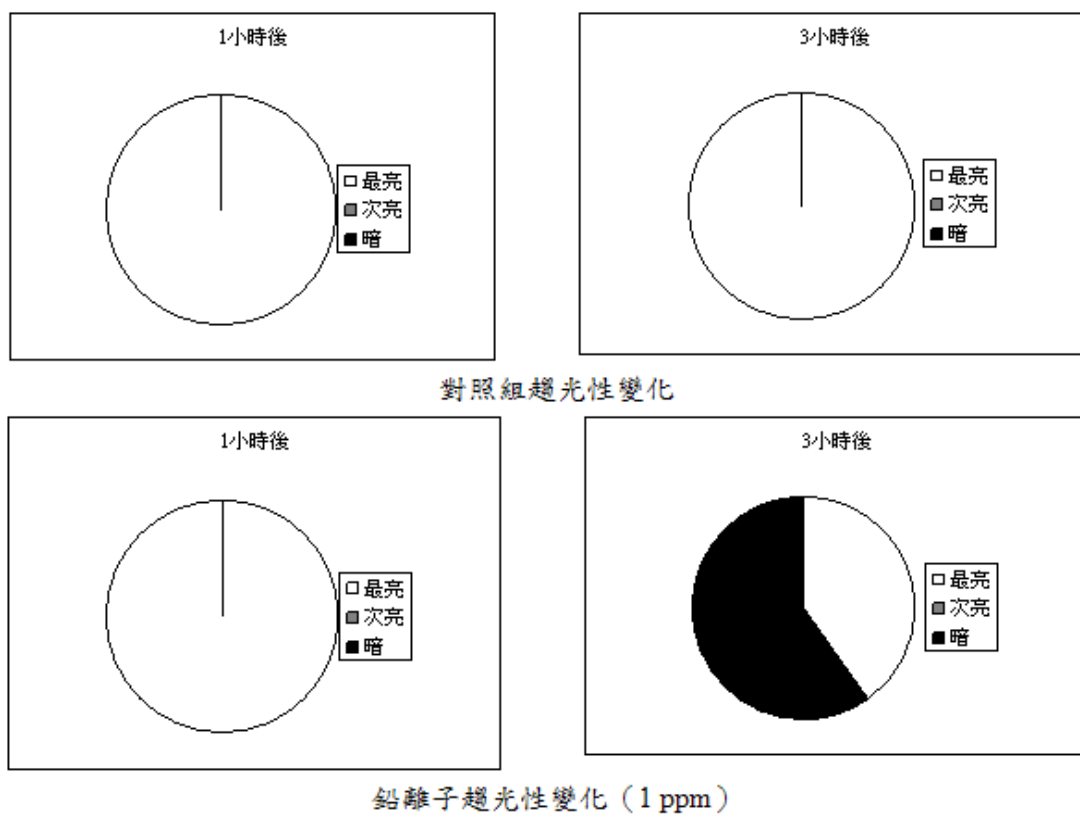
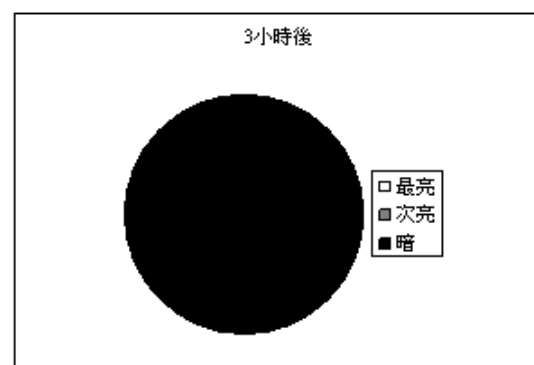
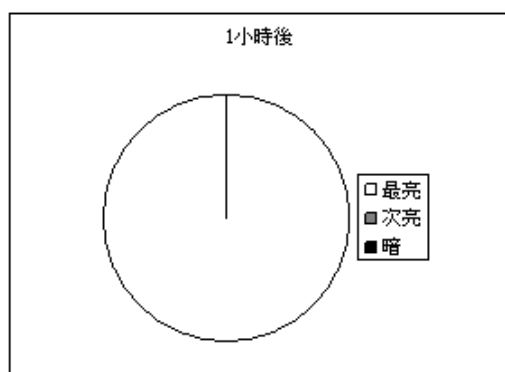
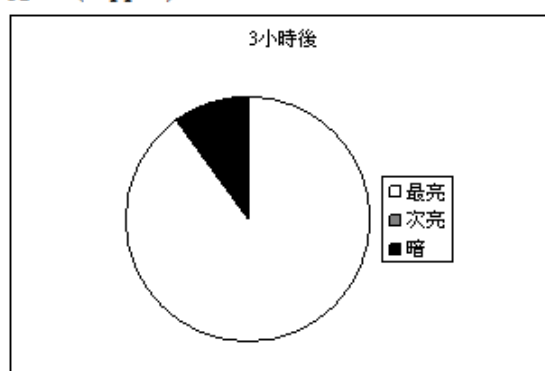
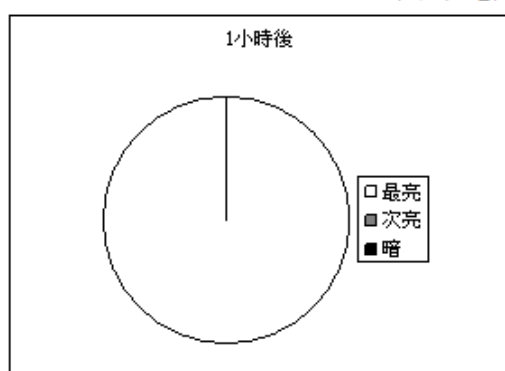


圖 9 對照組及不同金屬離子溶液（放流水標準）中水蚤趨光性變化圖

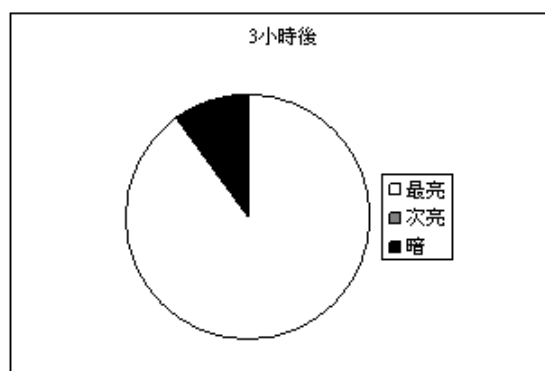
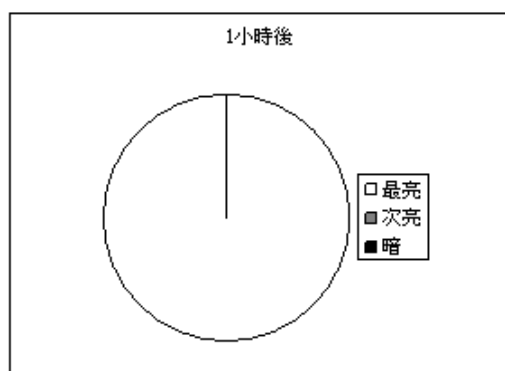
續下頁



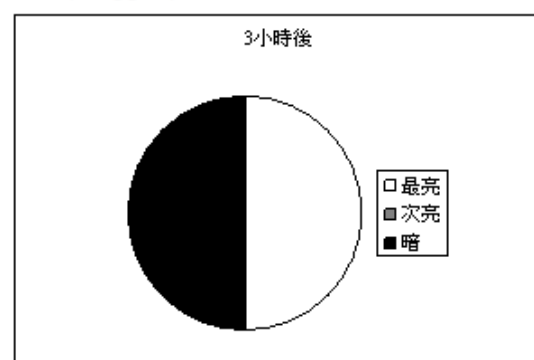
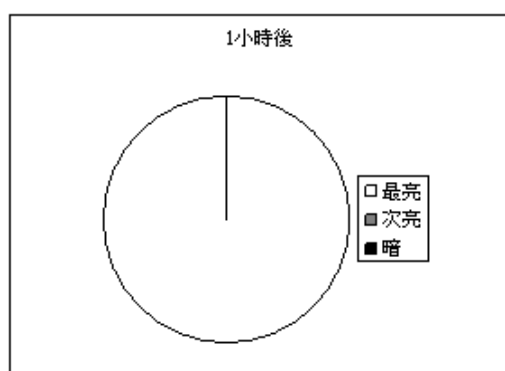
銅離子趨光性變化 (3 ppm)



鎳離子趨光性變化 (1 ppm)



錳離子趨光性變化 (10 ppm)



鋅離子趨光性變化 (5 ppm)

圖 9(繼續)

II. 金屬離子（放流水標準 0.1 倍）實驗結果：

表 15 對照組實驗心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 268 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端一小部分 育兒室：卵清晰可見	心跳： 228 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端一小部分呈黃褐色 育兒室：卵清晰可見	心跳： 272 下/分 外觀： 體色：頭部略微淡粉紅色其餘呈淡灰色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前端透明尾端一小部分灰黑色 育兒室：膨大有幼體	心跳： 288 下/分 外觀： 體色：頭部透明其餘略為淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前端為淡綠色尾端呈灰色 育兒室：膨大有幼體	心跳： 264 下/分 外觀： 體色：透明 觸角：無折損 殼：完整 腸道：呈淡咖啡色 育兒室：無卵

表 16 水蚤在鉛離子（0.1 ppm）溶液中心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 244 下/分 外觀： 體色：透明 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明 育兒室：無卵	心跳： 248 下/分 外觀： 體色：透明 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明 育兒室：卵清晰可見	心跳： 272 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：呈淡粉紅色 育兒室：卵清晰可見	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：灰黑色 觸角：無折損呈灰色 殼：完整 腸道：整條呈灰黑色	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：透明 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明

表 17 水蚤在銅離子（0.3 ppm）溶液中心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 268 下/分 外觀： 體色：1/3 淡粉紅色其餘透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明 育兒室：無卵	心跳： 252 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 育兒室：卵清晰可見	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：1/3 粉紅色其餘透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明 育兒室：略微膨大	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：灰黑色 觸角：有一隻折損 殼：完整但已和主體分離 腸道：透明無色 其他：有一條紫色不明物體從觸角延伸	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：1/4 呈灰色其餘為透明無色 觸角：有一對觸角折損 殼：分開成兩片

表 18 水蚤在鎳離子（0.1 ppm）溶液中心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 272 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明 育兒室：些微膨大	心跳： 196 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：一對觸角折損 殼：完整 腸道：透明 育兒室：卵清晰可見	心跳： 252 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明 育兒室：卵清晰可見	心跳： 288 下/分 外觀： 體色：頭部透明其餘略呈灰色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：呈黃褐色 育兒室：腫大有幼體	心跳： 212 下/分 外觀： 體色：灰色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端一小部分為綠色其餘呈灰色 育兒室：無卵

表 19 水蚤在錳標準液（1 ppm）溶液中心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 248 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端呈咖啡色 育兒室：無卵	心跳： 256 下/分 外觀： 體色：1/3 淡粉紅色其餘透明無色 觸角：一對觸角折損 殼：完整但有掀開的現象	心跳： 304 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：約 $\frac{3}{4}$ 呈咖啡色 育兒室：卵清晰可見	心跳： 232 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：整條呈深黑色 育兒室：些微膨大卵清晰可見	心跳： 276 下/分 外觀： 體色：灰色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：整條呈深黑色 育兒室：膨大有幼體

表 20 水蚤在鋅離子（0.5 ppm）溶液中心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 268 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明 育兒室：些微膨大卵清晰可見	心跳： 236 下/分 外觀： 體色：1/3 淡粉紅色其餘透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明 育兒室：卵清晰可見	心跳： 276 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：1/4 呈黃褐色 育兒室：卵清晰可見	心跳： 284 下/分 外觀： 體色：灰黑色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：3/4 呈黑色 育兒室：膨大有幼體	心跳： 0 下/分 外觀： 整體已分解 體色：灰色 觸角：無折損 殼：已脫落 腸道：從中斷裂

表 21 水蚤在不同金屬離子溶液（放流水標準 0.1 倍）中的存活時間

金屬離子	鉛離子	銅離子	鎳離子	錳標準液	鋅離子
存活時間	12 小時	90 分	2 天以上	2 天以上	28 小時

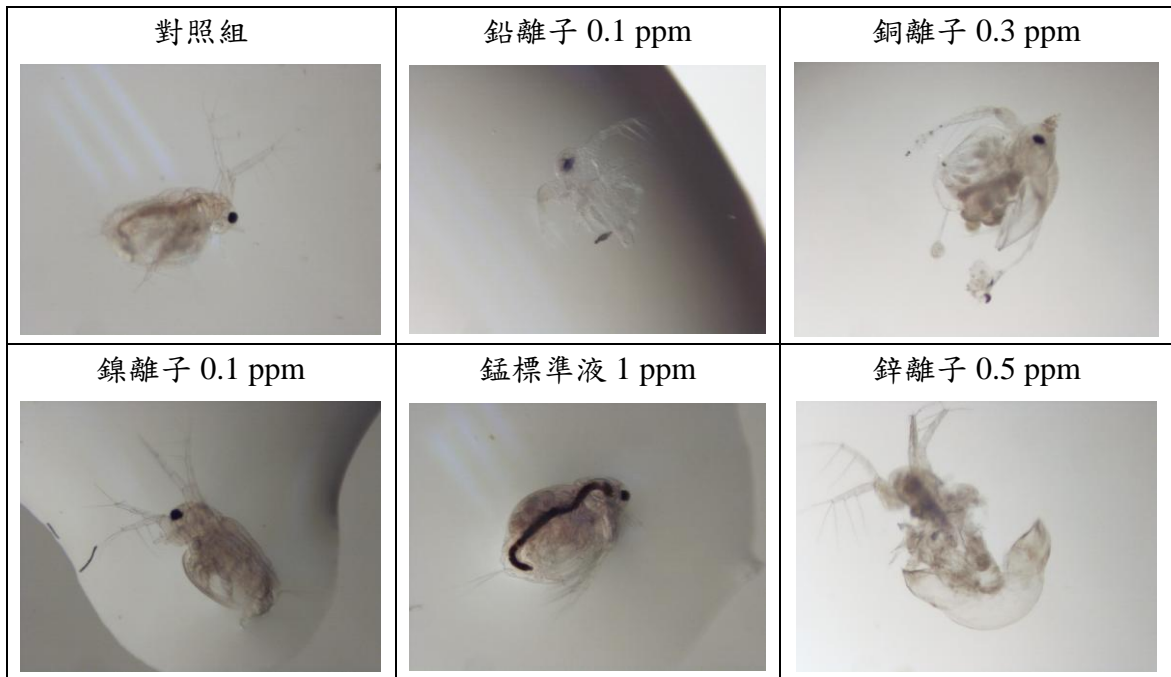


圖 10 對照組及不同金屬離子溶液（放流水標準 0.1 倍）中水蚤照片比較（兩天後）

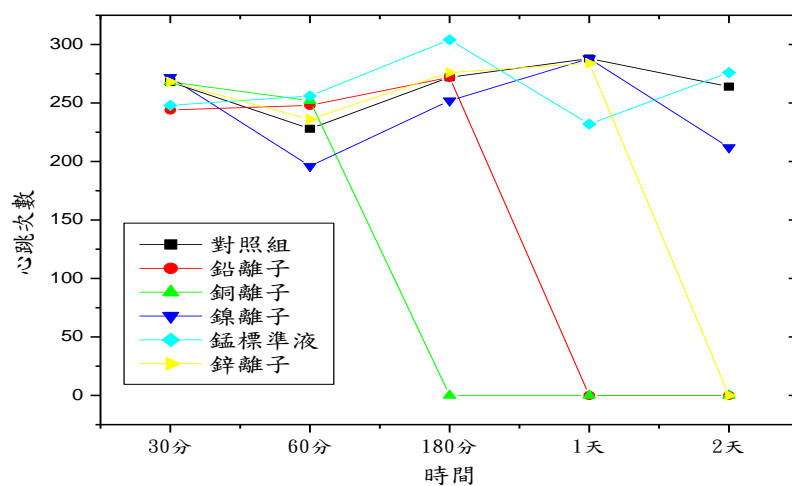


圖 11 對照組及不同金屬離子溶液（放流水標準 0.1 倍）中水蚤心跳趨勢圖

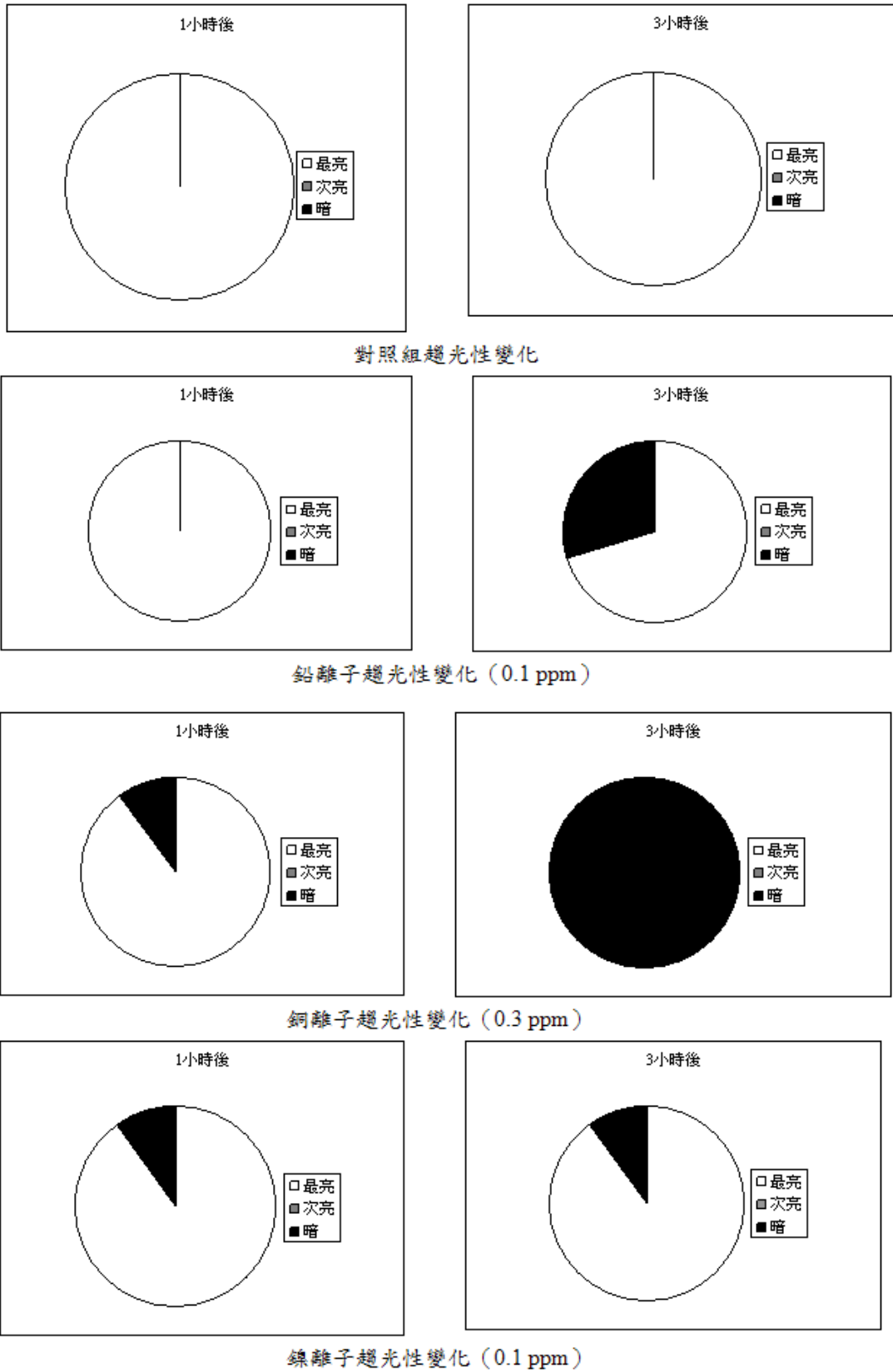
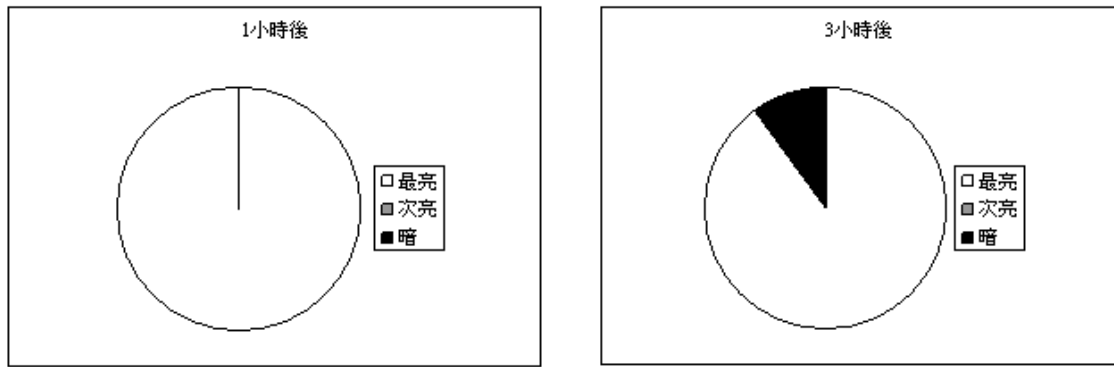
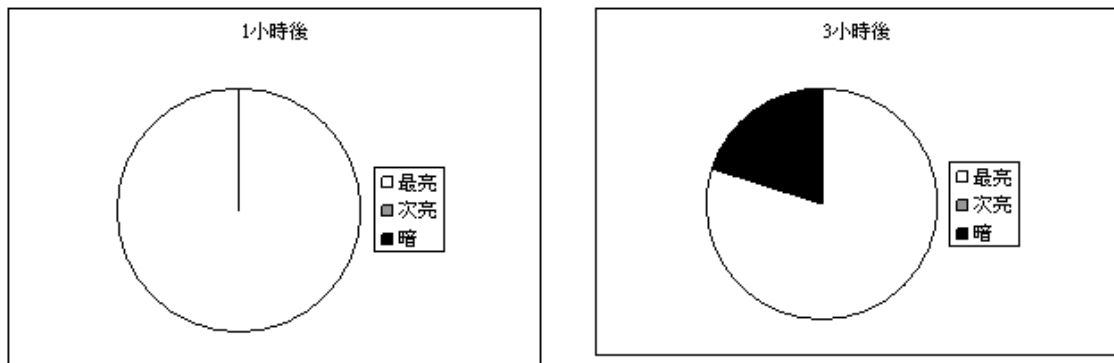


圖 12 對照組及不同金屬離子溶液（放流水標準 0.1 倍）中水蚤趨光性變化圖

續下頁



錳離子趨光性變化 (1 ppm)



鋅離子趨光性變化 (0.5 ppm)

圖 12(繼續)

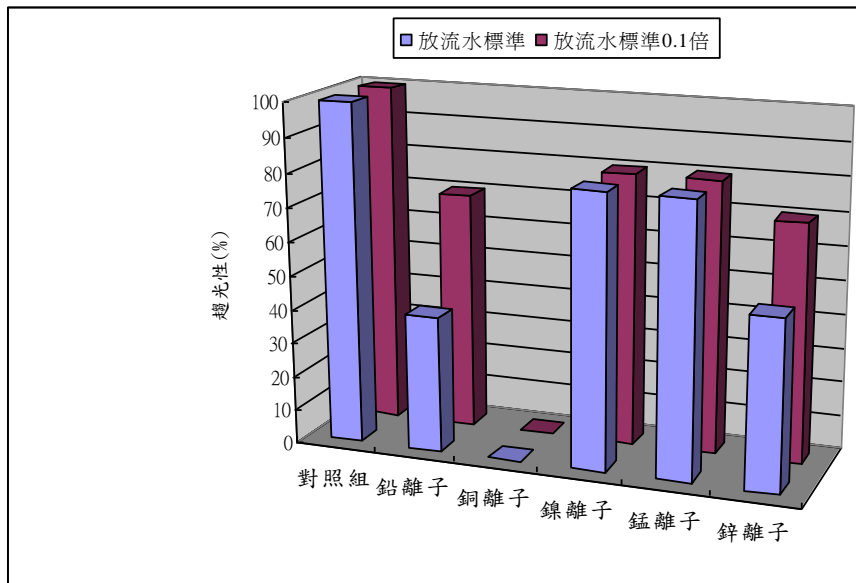


圖 13 對照組及不同金屬離子 (放流水標準及放流水標準 0.1 倍) 的趨光性比較圖 (3 小時)

III.討論：

- 1.水蚤的體色偏紅是和血紅素有關。
- 2.由水蚤外觀可觀察溶液對水蚤的破壞程度。
- 3.銅離子（放流水標準）在 1 小時後左右就會死亡，1 小時的外觀上，並沒有異常，兩天後的外觀，也沒有變化，銅離子對水蚤在外觀上沒有造成很大的影響。
- 4.銅離子（放流水標準 0.1 倍），在 90 分鐘左右死亡，其一天後的外觀，有一對觸角折損，殼分開成兩片。
- 5.鉛離子（放流水標準），5 小時左右死亡，其 1 天後的外觀，頭部以下以分解，殼不完整已分開成兩片，鉛離子對水蚤外觀上的有一定的破壞程度。
- 6.鉛離子（放流水標準 0.1 倍），在 12 小時左右死亡，其一天後的外觀，腸道透明無色。
- 7.鎳離子（放流水標準），12 小時左右死亡，其 1 天後的外觀，頭部以下以分解，殼不完整已分開成兩片，腸道成灰色，和鉛離子造成的破壞相似。
- 8.鎳離子（放流水標準 0.1 倍），可存活 2 天以上，在外觀上沒有什麼變化，可知鎳離子對水蚤的影響不大。
- 9.錳離子（放流水標準），在 11 小時左右死亡，其 1 天後的外觀，整體已經嚴重分解，呈咖啡色，難以辨識，另外有一條紅色的不明物體由頭部延伸，推測有可能是長菌絲，可知錳離子對水蚤的破壞性蠻大的。
- 10.錳離子（放流水標準 0.1 倍），可存活 2 天以上，在外觀上最明顯的變化是腸道呈現深黑色，錳離子對水蚤腸道的影響是最明顯的。
- 11.鋅離子（放流水標準），在 9 小時左右死亡，其 1 天後的外觀，殼分開成兩片。

12. 鋅離子（放流水標準 0.1 倍），在 28 小時左右死亡，在外觀上，整體發生分解，且殼也脫落了，對水蚤的外觀造成頗大的破壞。
13. 健康的水蚤會有趨光的傾向，反之不健康的水蚤，會傾向暗處。
14. 對照組水蚤都在亮光處，表示牠們的健康狀況良好。
15. 銅離子（放流水標準及放流水標準 0.1 倍）的趨光性變化最明顯，一小時內水蚤幾乎全在亮光處，但 3 小時後則全數傾向暗光，表示它們的健康狀況不佳。
16. 鉛離子（放流水標準）的趨光性也頗為明顯，到了 3 小時後超過半數的水蚤都傾向暗處，可得知其健康狀況不佳。
17. 鉛離子（放流水標準 0.1 倍）的趨光性變化較放流水標準濃度的鉛離子小，到了 3 小時 30 % 傾向暗處，可得知其健康狀況不佳。
18. 鋅離子（放流水標準）的趨光性也頗明顯的，到了 3 小時後半數水蚤數量都傾向暗處，可得知其健康狀況也不佳。
19. 鋅離子（放流水標準 0.1 倍）的趨光性變化較放流水標準濃度的鉛離子小，到了 3 小時 20 % 都傾向暗處，可得知其健康狀況不佳。
20. 錳離子（放流水標準及放流水標準 0.1 倍）和鎳離子（放流水標準及放流水標準 0.1 倍）的趨光性變化性都不大，水蚤都傾向亮光處，表示健康狀況比前者銅離子、鉛離子、鋅離子良好。

(三) 界面活性劑對水蚤的影響：

清潔劑（成分為界面活性劑）是家庭最常使用的一種生活日用品，所以我們選用了五種清潔劑(LAS、SDS、家樂福天然洗潔精、洗手乳、一匙靈無磷洗衣粉)，LAS、SDS 是清潔劑中最常見的成分，家樂福天然洗潔精、卡薩諾瓦抗菌洗手乳、一匙靈洗衣粉是直接由生活週遭取得的清潔劑，這些清潔劑會隨著家庭廢水一起排出，故也是一種常見的水污染源。為了瞭解界面活性劑對水蚤的生態是否產生影響，我們進行一系列實驗，其結果如圖 14—20 及表 22—35 所示。

I. 界面活性劑（放流水標準）實驗結果：

表 22 對照組實驗心跳及外觀觀察對照組

時間	30 分	60 分	180 分	1 天	2 天
觀 察 記 錄	心跳： 220 下/分 外觀： 體色：粉 紅色 觸角：無 折損 殼：完整 育兒室： 膨大	心跳： 212 下/分 外觀： 體色：淡粉 紅色 觸角：無折 損 殼：完整 腸道：透明 無色 育兒室：膨 大	心跳： 228 下/分 外觀： 體色：淡粉 紅色 觸角：無折 損 殼：完整 腸道：透明 無色 育兒室：膨 大	心跳： 272 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：整條呈現 淡咖啡色 育兒室：卵清晰 可見	心跳： 238 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：整條呈現 淡咖啡色 育兒室：卵清晰 可見

表 23 水蚤在界面活性劑 LAS 溶液（10 ppm）中心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分
觀察記錄	心跳： 176 下/分 外觀： 體色：透明 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端黃褐色其餘透明無色 育兒室：膨大	心跳： 236 下/分 外觀： 體色：1/4 淡粉紅色其餘透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端一小部分為黃褐色 育兒室：膨大有幼體	心跳： 220 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端為灰色其餘透明無色 育兒室：無卵

表 24 水蚤在界面活性劑 SDS 溶液（10 ppm）中心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 200 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前端為咖啡色尾端為透明 育兒室：可以觀察到卵	心跳： 168 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端咖啡色其餘則為透明無色 育兒室：些微膨大	心跳： 232 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端呈淡灰色其餘透明無色 育兒室：膨大	心跳： 252 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：整條呈灰色	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：膨脹 腸道：灰黑色

表 25 水蚤在天然洗潔精溶液（10 ppm）中心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 220 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：淡粉紅色	心跳： 196 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端一小部分呈黃褐色	心跳： 156 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端略呈咖啡色 育兒室：膨大	心跳： 260 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：整條呈深灰色 育兒室：可看見卵	心跳： 156 下/分 外觀： 體色：略為淡灰色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：3/4 呈灰色 育兒室：可看見卵

表 26 水蚤在抗菌洗手乳溶液（10 ppm）中心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 236 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明無色 育兒室：可看見卵	心跳： 232 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端呈淡咖啡色其餘透明無色 育兒室：些微膨大	心跳： 196 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：1/2 呈淡咖啡色 育兒室：些微膨大	心跳： 240 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：整條呈現咖啡色 育兒室：卵清晰可見	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前端為深咖啡色後半部呈淡咖啡色 育兒室：無卵

表 27 水蚤在無磷洗衣粉溶液（10 ppm）中心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 248 下/分 外觀： 體色：略帶點粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端為淡綠色 育兒室：膨大有幼體	心跳： 204 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：後半部 1/2 為透明無色其餘為深灰色 育兒室：無卵	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：1/3 呈淡粉紅色其餘透明無色 觸角：無折損 殼：尾端有點破損 腸道：透明無色 育兒室：可看見卵	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整但是有一小部分有許多黑點分布 腸道：看不見似乎已被侵蝕 育兒室：膨大	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：後半部已被侵蝕 腸道：看不見似乎已被侵蝕 育兒室：膨大

表 28 水蚤在不同界面活性劑溶液（放流水標準）中的存活時間

界面活性劑	LAS	SDS	天然洗潔精	抗菌洗手乳	無磷洗衣粉
存活時間	18 小時	36 小時	2 天以上	36 小時	2 小時

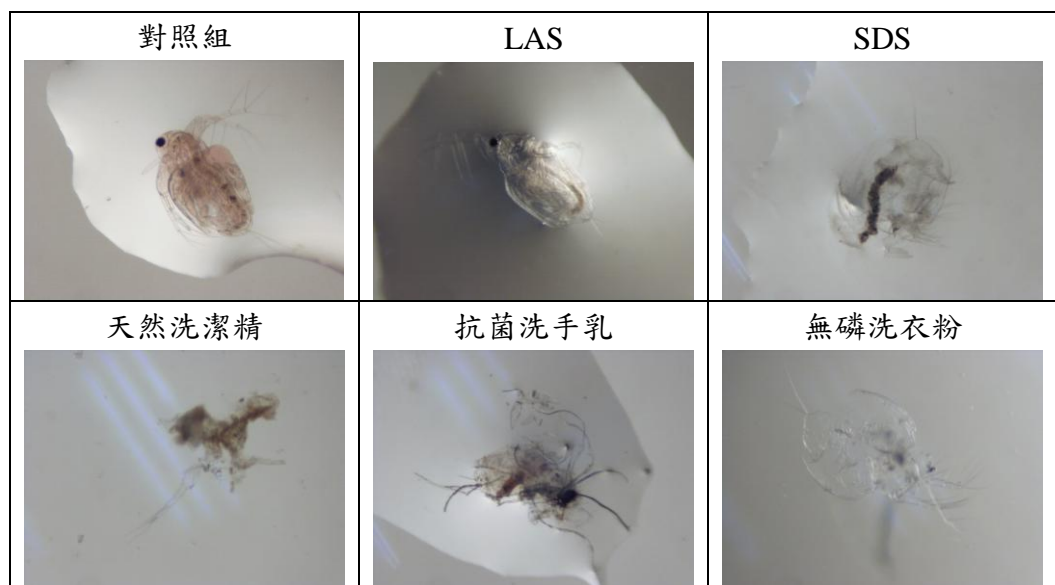


圖 14 對照組及不同界面活性劑溶液（放流水標準）中水蚤照片比較（兩天後）

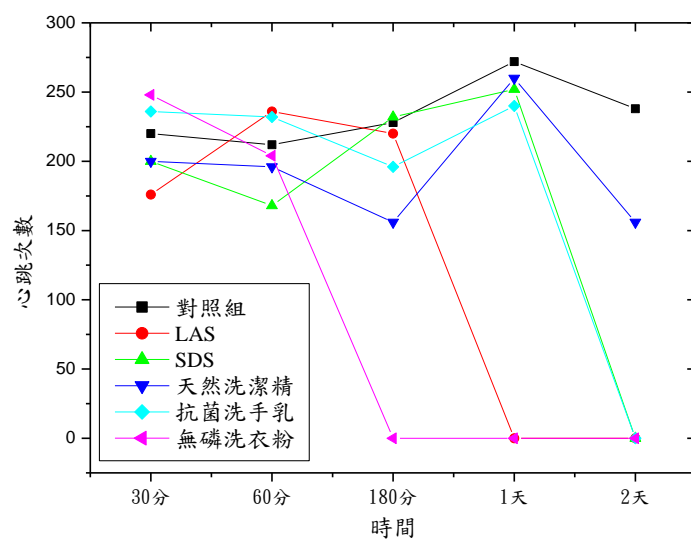


圖 15 對照組及不同界面活性劑溶液（放流水標準）中水蚤心跳趨勢圖

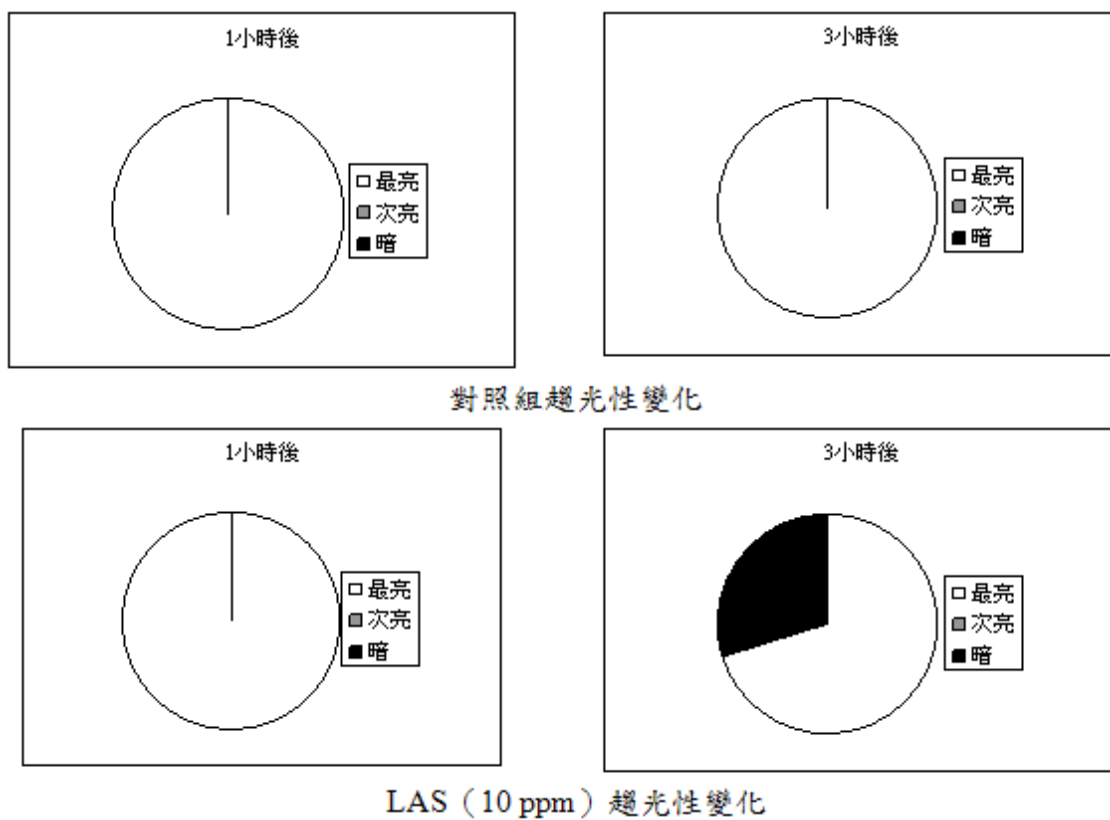
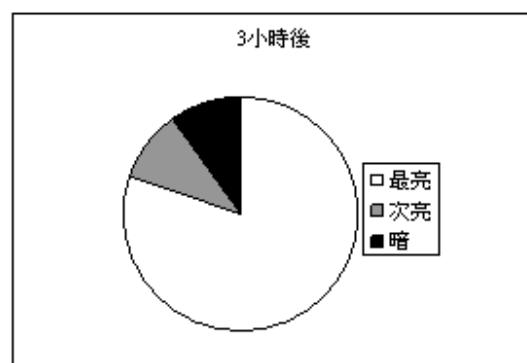
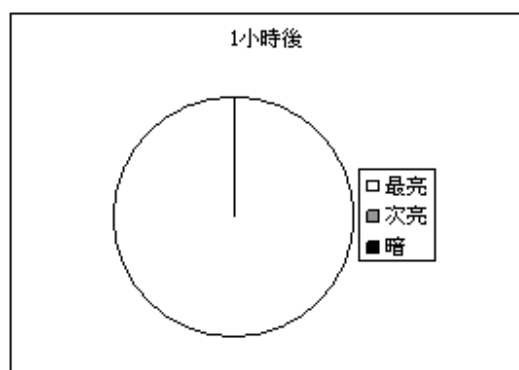
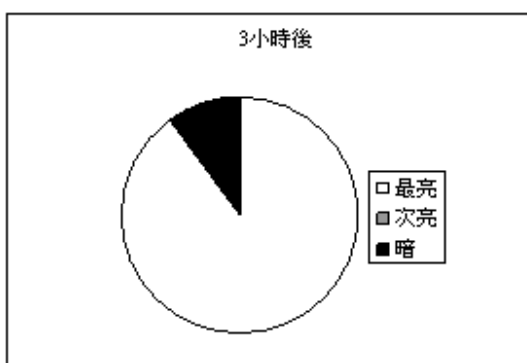
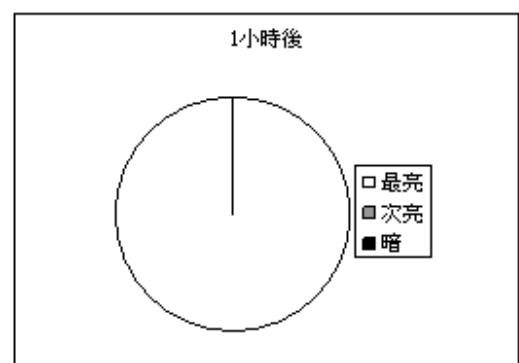


圖 16 對照組及不同界面活性劑溶液（放流水標準）中水蚤趨光性變化圖

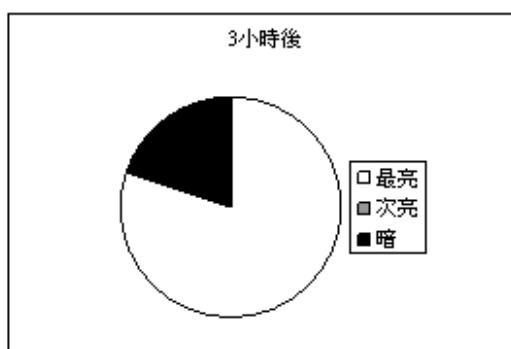
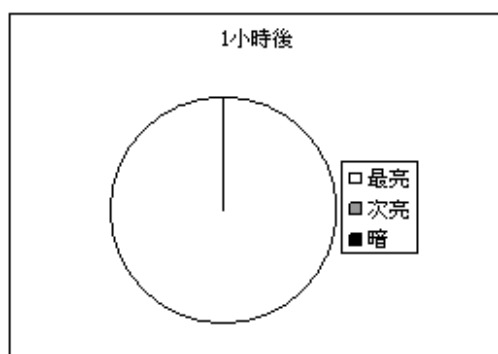
續下頁



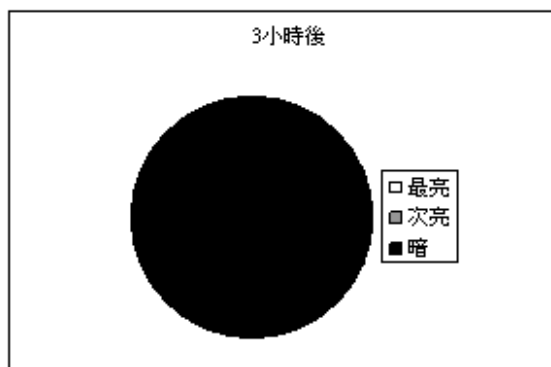
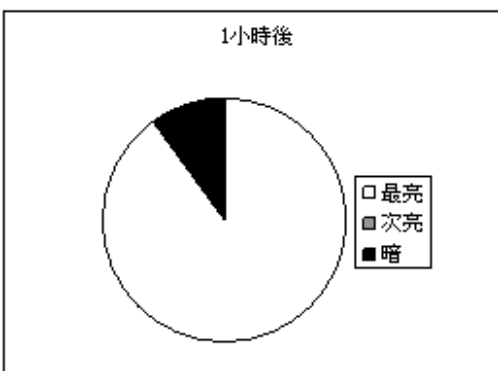
SDS (10 ppm) 趨光性變化



天然洗潔精 (10 ppm) 趨光性變化



抗菌洗手乳 (10 ppm) 趨光性變化



無磷洗衣粉 (10 ppm) 趨光性變化

圖 16(繼續)

II. 界面活性劑（放流水標準 0.1 倍）實驗結果：

表 29 對照組實驗心跳及外觀觀察對照組對照組

時間	30 分	60 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 220 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 育兒室：膨大	心跳： 212 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明無色 育兒室：膨大	心跳： 228 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明無色 育兒室：膨大	心跳： 272 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：整條呈現淡咖啡色 育兒室：卵清晰可見	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：整條呈現淡咖啡色 育兒室：卵清晰可見

表 30 水蚤在界面活性劑 LAS 溶液（1 ppm）中心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 228 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明無色 育兒室：膨大	心跳： 260 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明無色 育兒室：膨大 卵清晰可見	心跳： 268 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明無色 育兒室：膨大 卵清晰可見	心跳： 252 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明無色 育兒室：膨大 有很多幼體	心跳： 264 下/分 外觀： 體色：淡灰色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：整條呈現深灰色 育兒室：膨大 有很多幼體

表 31 水蚤在界面活性劑 SDS 溶液（1 ppm）中心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 236 下/分 外觀： 體色：淡灰色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：淡黃色 育兒室：膨大 有很多卵	心跳： 228 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明無色 育兒室：膨大 有很多卵	心跳： 236 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明無色 育兒室：膨大 有很多卵	心跳： 248 下/分 外觀： 體色：很淺的淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端略微淡灰色 育兒室：膨大 有很多幼體	心跳： 256 下/分 外觀： 體色：淺灰色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：整條呈現淡咖啡色 育兒室：膨大

表 32 水蚤在天然洗潔精溶液（1 ppm）中心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 244 下/分 外觀： 體色：淡灰色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明無色 育兒室：卵清晰可見	心跳： 276 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明無色 育兒室：可看見很多顆卵	心跳： 228 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明無色 育兒室：些微膨大 有很多卵	心跳： 240 下/分 外觀： 體色：淡灰色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：整條淡咖啡色 育兒室：膨大 有幼體	心跳： 248 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明無色 育兒室：無卵

表 33 水蚤在抗菌洗手乳溶液（1 ppm）中心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 240 下/分 外觀： 體色：頭部淡粉紅色其餘則為淡灰色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明無色 育兒室：膨大有很多卵	心跳： 248 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明無色 育兒室：膨大有很多卵	心跳： 268 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明無色 育兒室：膨大有很多卵	心跳： 272 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前半部透明無色後半部為淡咖啡色 育兒室：有卵	心跳： 240 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：有點脫落 腸道：3/4 為淡咖啡色 育兒室：無卵

表 34 水蚤在無磷洗衣粉溶液（1 ppm）中心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 260 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明無色 育兒室：膨大	心跳： 228 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明無色 育兒室：膨大	心跳： 232 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明無色 育兒室：膨大有很多卵	心跳： 252 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端為淡灰色 育兒室：膨大有很多幼體	心跳： 292 下/分 外觀： 體色：淡灰色 觸角：一對折損 殼：完整 腸道：整條淡灰色 育兒室：無卵

表 35 水蚤在不同界面活性劑溶液（放流水標準 0.1 倍）中的存活時間

界面活性劑	LAS	SDS	天然洗潔精	抗菌洗手乳	無磷洗衣粉
存活時間	2 天以上	2 天以上	2 天以上	2 天以上	2 天以上

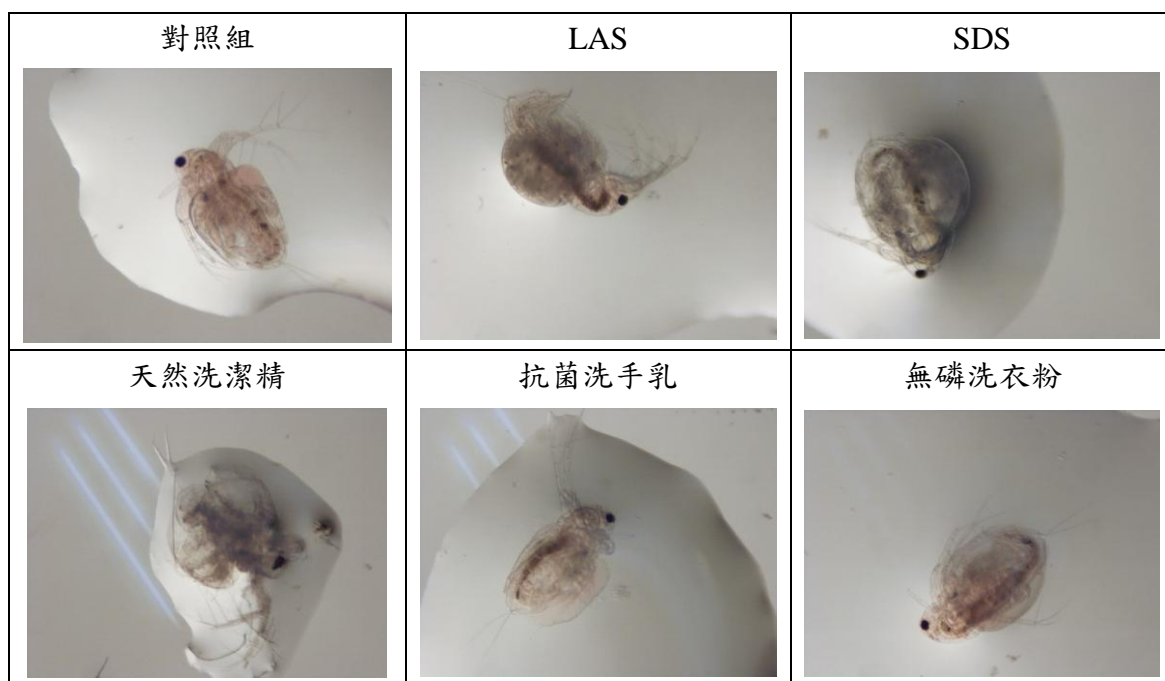


圖 17 對照組及不同界面活性劑溶液（放流水標準 0.1 倍）中水蚤照片比較（兩天後）

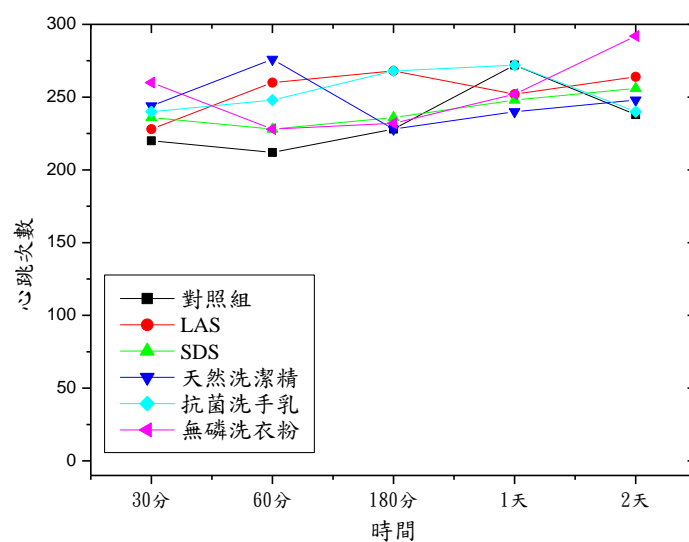


圖 18 對照組及不同界面活性劑溶液（放流水標準 0.1 倍）
中水蚤心跳趨勢圖

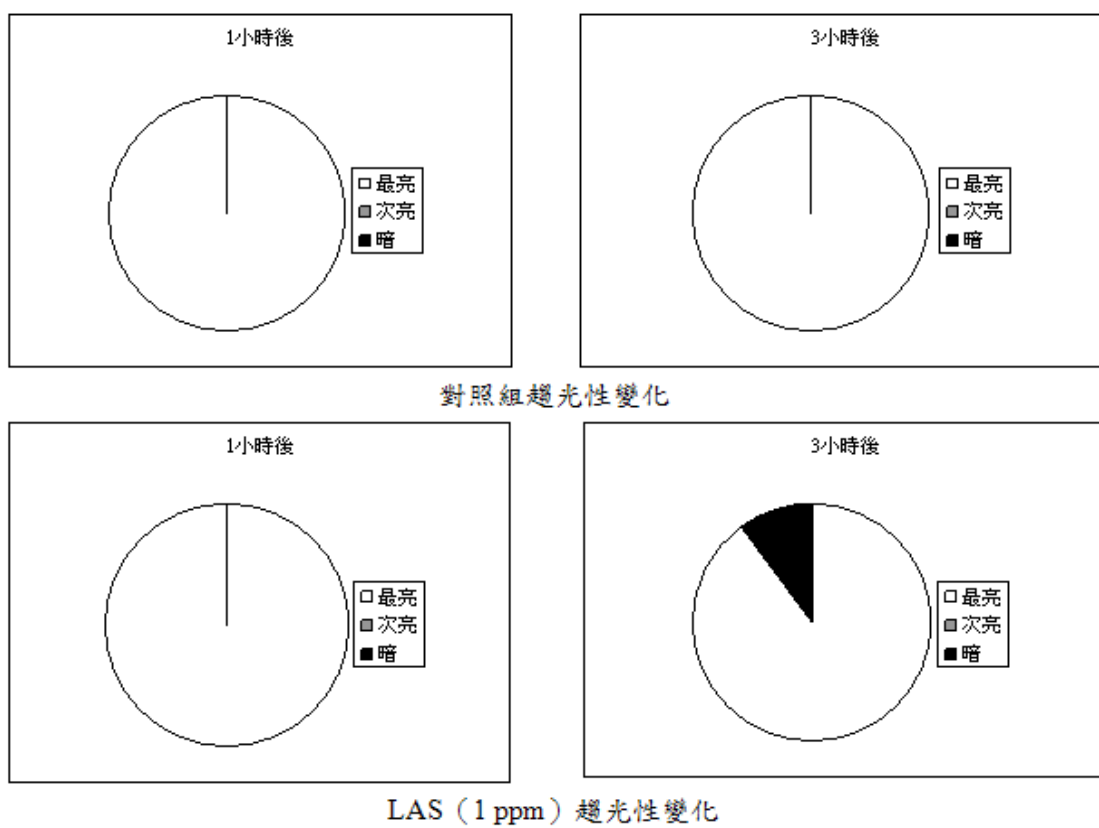
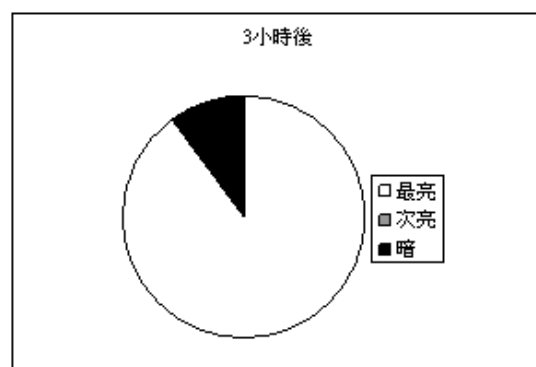
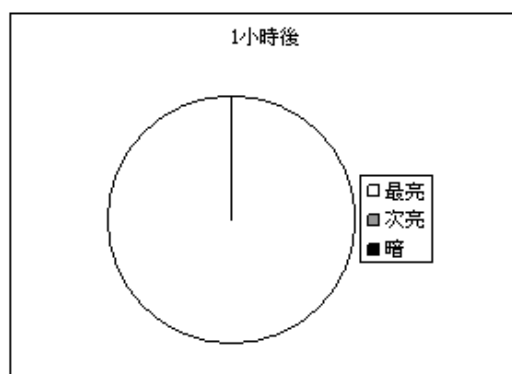
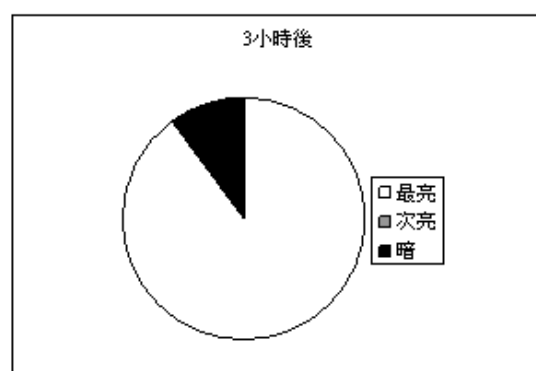
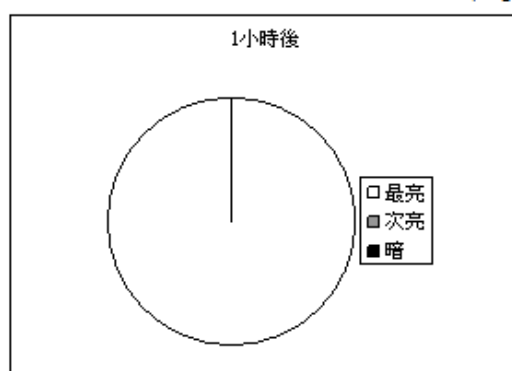


圖 19 對照組及不同界面活性劑溶液（放流水標準 0.1 倍）中水蚤趨光性變化圖

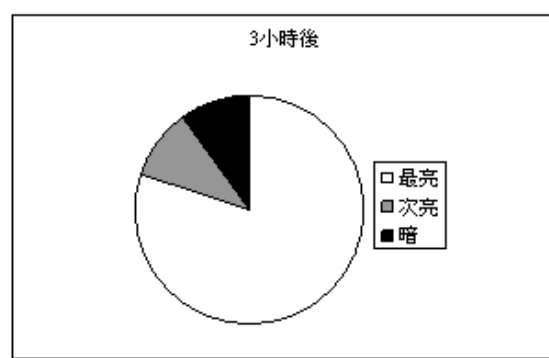
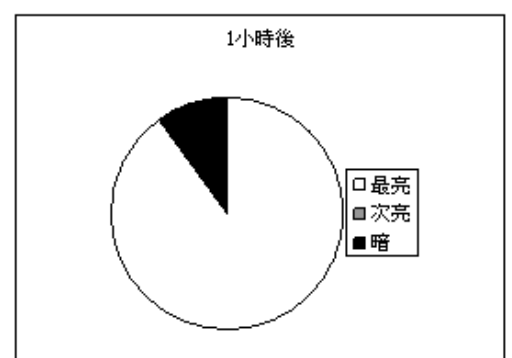
續下頁



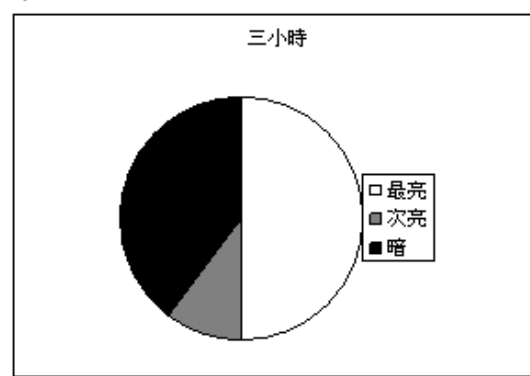
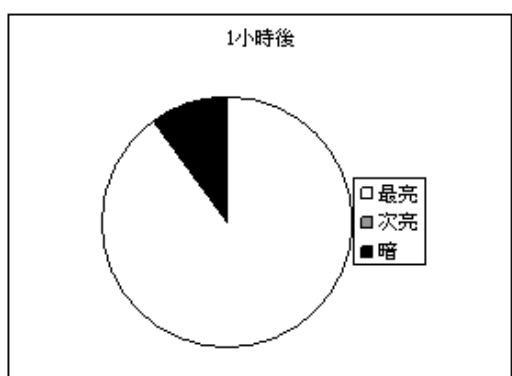
SDS (1 ppm) 趨光性變化



天然洗潔精 (1 ppm) 趨光性變化



抗菌洗手乳 (1 ppm) 趨光性變化



無磷洗衣粉 (1 ppm) 趨光性變化

圖 19 (繼續)

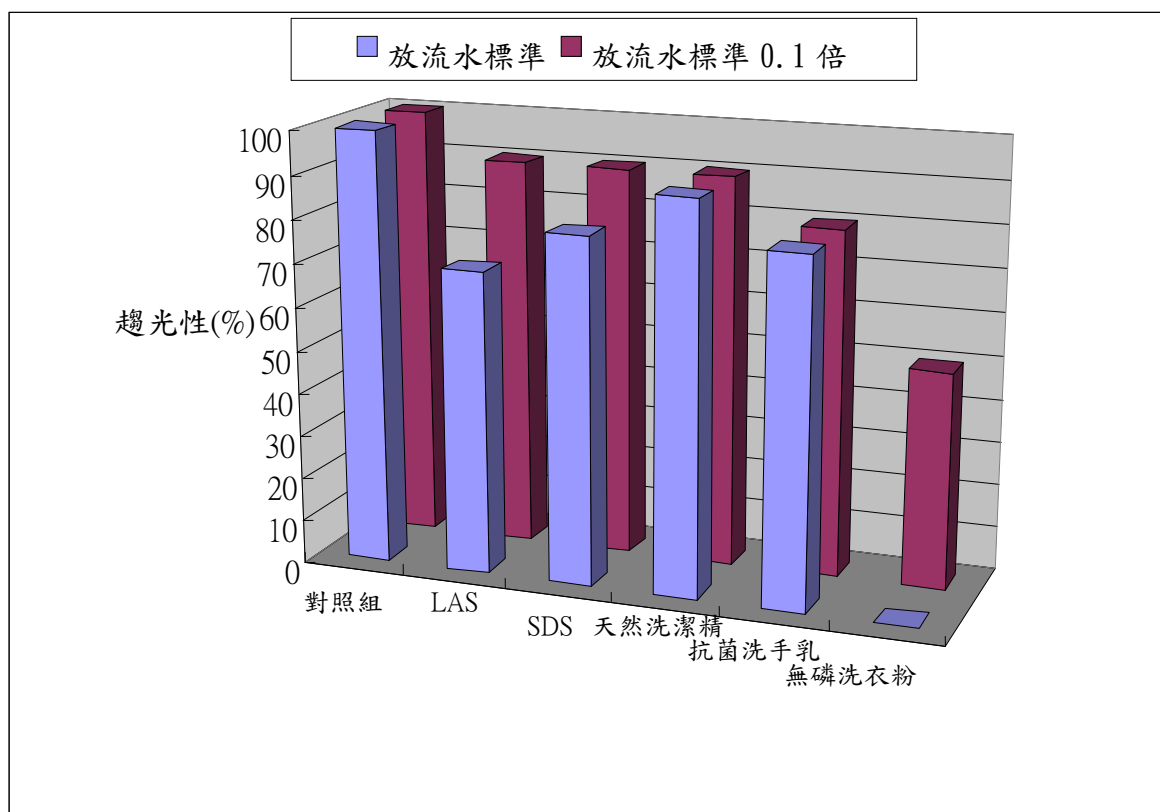


圖 20 對照組及不同界面活性劑（放流水標準及放流水標準 0.1 倍）的趨光性比較圖（3 小時）

III. 討論：

1. 水蚤的體色偏紅是和血紅素有關。
2. 由水蚤外觀可觀察溶液對水蚤的破壞程度。
3. 水蚤在 LAS 溶液（放流水標準）中可存活至 18 小時，其 3 小時的外觀沒有太大的變化。
4. 水蚤在 SDS 溶液（放流水標準）中可存活至 36 小時，兩天後的外觀可看出殼有點膨脹。
5. 水蚤在天然洗潔精溶液（放流水標準）中可存活至兩天以上，兩天後其外觀仍保持完整，沒有什麼變化，可推測天然洗潔精對水蚤的影響不大。
6. 水蚤在抗菌洗手乳溶液（放流水標準）中可存活至 36 小時，兩天後其外觀上

仍保持完整沒有什麼變化。

- 7.水蚤在無磷洗衣粉溶液（放流水標準）中可存活至 2 小時，兩天後其外觀上體色非常透明，殼後半部已不見了，推測可能被侵蝕，腸道也整個看不見了，育兒室有點膨大。
- 8.水蚤在 LAS、SDS、天然洗潔精、抗菌洗手乳及無磷洗衣粉溶液（放流水標準 0.1 倍）中均可存活至兩天以上，且其外觀仍保持完整，沒有什麼變化，因此可推測低濃度的界面活性劑對水蚤的傷害性不大。
- 9.健康的水蚤會有趨光的傾向，反之不健康的水蚤，會傾向暗處。
- 10.對照組水蚤都在亮光處，表示牠們的健康狀況良好。
11. LAS（放流水標準）的趨光性，一小時全數在亮光處，三小時後 25 % 左右的水蚤在暗處，表示其健康狀況已經不佳了。
12. SDS、抗菌洗手乳（放流水標準）兩者的趨光性差不多，都有些微的變化，但比不上 LAS、無磷洗衣粉的趨光性變化。
- 13.天然洗潔精（放流水標準）的趨光性變化最不明顯，大部分都傾向亮光處，可知水蚤的健康狀況還算良好。
- 14.無磷洗衣粉（放流水標準）的趨光性變化最明顯，一小時幾乎都在亮光處，三小時後全數在暗處。
15. LAS、 SDS、天然洗潔精（放流水標準 0.1 倍）的趨光性變化大致相同且其趨光性變化不大，水蚤大都傾向亮處。
- 16.抗菌洗手乳（放流水標準 0.1 倍）的趨光性變化約 70 % 的水蚤傾向亮處。
- 17.無磷洗衣粉（放流水標準 0.1 倍）的趨光性變化最大，三小時後約 50 % 的水蚤傾向亮處。

(四) 農藥對水蚤的影響：

農藥是一種常見的水污染源之一，在農地附近的水源常常會有農藥殘留的疑慮。為了瞭解水蚤是否適用於檢測農藥的殘留，我們進行一系列實驗，實驗採用四種興農公司出品的農藥，分別為普硫松乳劑（Tokuthion 50% EC，分子式為 $C_{11}H_{15}Cl_2O_2PS_2$ ，商品名為四季靈，結構如圖 21 所示）、益達胺（分子式： $C_9H_{10}ClN_5O_2$ ，結構如圖 22 所示）、芬佈賜（分子式： $C_{60}H_{78}OSn_2$ ，結構如圖 23 所示）、保粒黴素甲（分子式： $C_{17}H_{25}O_{13}N_5$ ，結構如圖 24 所示）。普硫松本身為淡黃色透明液體，加水乳化呈現乳白色均勻液，對昆蟲具有胃毒及接觸毒，作用機制是使乙酰膽鹼無法代謝而蓄積於神經末梢，使突觸後的受器持續興奮，造成痙攣和麻痺等中毒症狀，屬於常用的合法有機磷殺蟲劑。益達胺本身為白色液體，對昆蟲具有胃毒及接觸毒，特別能有效防治刺吸型口器昆蟲（如蚜蟲、飛蟲、薊馬、象鼻蟲、潛葉蠅葉蟬等）。芬佈賜為非系統性的殺蟎劑，對植食性的蟎類具接觸毒及胃毒，建議於柑橘葉蟎、銹蟎及梨的葉蟎使用。保粒黴素甲本身為灰白色粉末，屬抗生素，其特性對菌絲伸長及孢子的形成有相當強的阻止力，但對孢子發芽抑制力卻弱。農藥的實驗結果如圖 25—29 及表 36—46 所示。

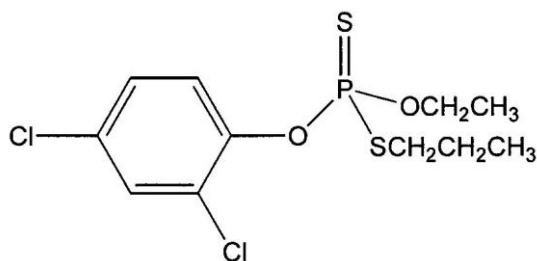


圖 21 普硫松分子結構圖

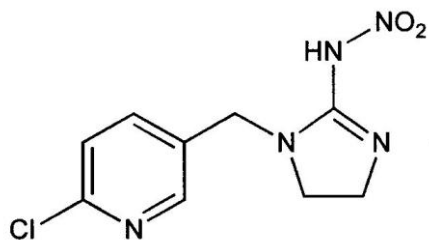


圖 22 益達胺分子結構圖

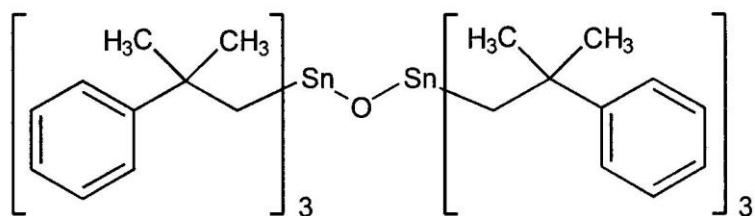
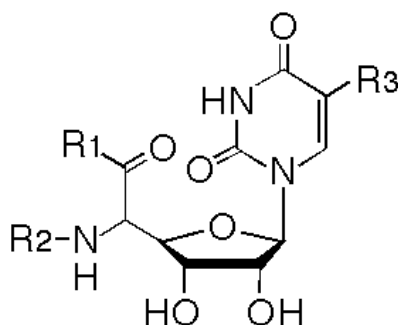


圖 23 芬佈賜分子結構圖



Polyoxin	R ₁	R ₂	R ₃
B	HO-		-CH ₂ OH

圖 24 保粒黴素甲分子結構圖

農藥簡介：

名稱	普硫松
有效成分	O-ethyl-O-(2,4-dichlorophenyl)-S-n-propyl-dithiophosphate50%
其他成分	乳化劑、溶劑等50%
理化性狀	淡黃色透明液體,加水乳化呈乳白色均勻液
產品特性	具胃毒及接觸毒，無滲透性，對吃葉的毛蟲有效，此外在蔬菜上有殺紅蜘蛛的副帶效果。

名稱	益達胺
有效成分	1-[(6-chloro-3-pyridinyl)]-4,5-dihydro-N-nitro-1H-imidazol-2-amine..... ..18.2%
其他成分	Inert
理化性狀	白色液體
產品特性	1.兼具胃毒及接觸毒。 2.具速效性，廣效性及長效性。 3.對人體及環境毒性低,無抗藥性。 4.親和性佳，可與其他藥劑混合使用。 5.在推薦濃度及正確使用下，無藥害發生。 6.可由根部及地上部吸收進入作物。 7.系統性佳，有效防治刺吸型口器昆蟲（如蚜蟲、飛蟲、薊馬、象鼻蟲、潛葉蠅及葉蟬等）。

名稱	芬佈賜
有效成分	Hexabis(2-methyl-2-phenyl propyl)distannoxane or Di[tri(2,2-dimethyl-2-phenyletyl)tin]oxide.....50%
其他成分	懸浮劑、增量劑.....50%
理化性狀	乳白色懸濁液體

名稱	保利黴素甲
有效成分	Polyoxin B (Complex B 10%).....10%
其他成分	懸浮劑、增量劑.....90%
理化性狀	灰白色粉末
產品特性	屬抗生素，對菌絲伸長,孢子的形成有相當強的阻止力，但對孢子發芽抑制力卻弱。殘效性較弱，殺菌作用為阻礙細菌細胞壁幾丁質的合成，不可與鹼性藥劑混用。

I. 農藥（稀釋一萬倍及百萬倍）實驗結果：

表 36 對照組實驗心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分
觀察記錄	心跳： 276 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前端呈黃褐色 育兒室：無卵	心跳： 354 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：中間段呈黃褐色 育兒室：無卵	心跳： 324 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前半段透明，後段呈黃褐色 育兒室：無卵

表 37 水蚤在普硫松（稀釋一萬倍）中的心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分
觀察記錄	心跳： 276 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：膨脹	心跳： 264 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：背部殼缺損 腸道：膨脹	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：背部殼缺損 腸道：膨脹

表 38 水蚤在益達胺（稀釋一萬倍）中的心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分
觀察記錄	心跳： 258 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：完整 殼：完整 腸道：膨脹 育兒室：膨大	心跳： 216 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前端膨脹 育兒室：無卵	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：折損 殼：破損 腸道：膨脹 其他：血淋巴外流

表 39 水蚤在芬佈賜（稀釋一萬倍）中的心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分
觀察記錄	心跳： 228 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前端膨脹	心跳： 216 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前端膨脹 尾端灰色	心跳： 192 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前面膨脹 尾端萎縮

表 40 水蚤在保粒黴素甲（稀釋一萬倍）中的心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分
觀察記錄	心跳： 252 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：膨脹，前端為綠色，尾端外有氣泡	心跳： 318 下/分 外觀： 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前端膨脹，後段墨綠色	心跳： 210 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：中段膨脹，尾端綠色 育兒室：膨大 背部膨大

表 41 水蚤在不同農藥溶液（稀釋一萬倍）中的存活時間

農藥	普硫松	益達胺	芬佈賜	保粒黴素甲
存活時間	3 小時	3 小時	13 小時	19 小時

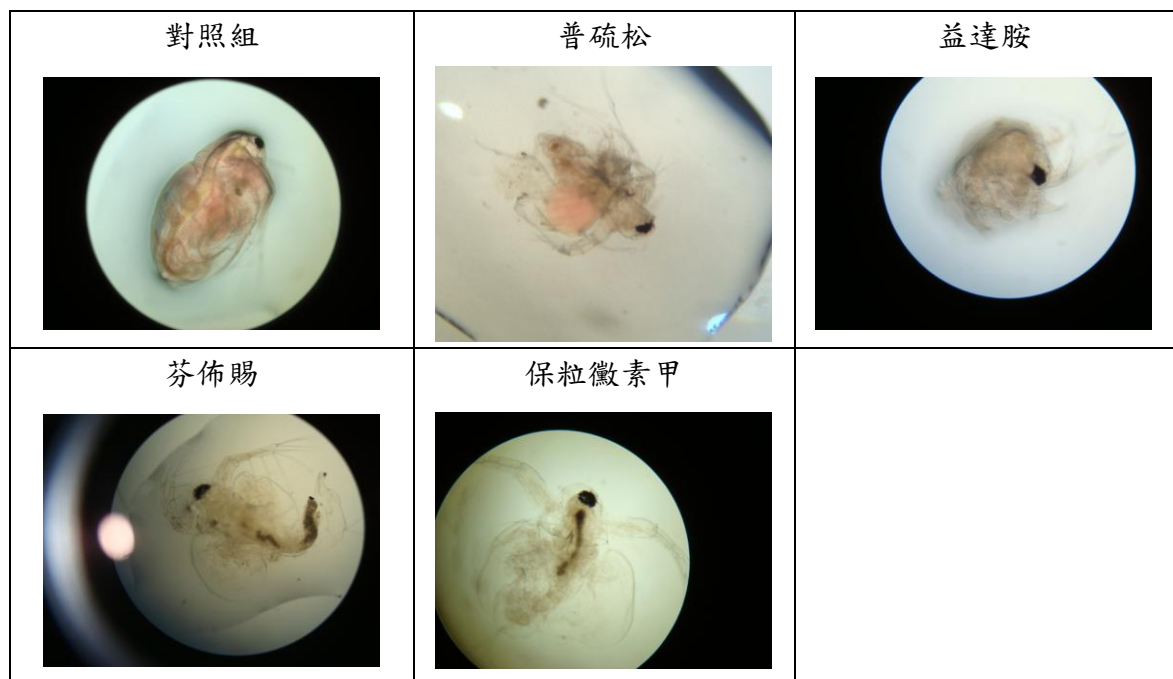


圖 25 對照組及不同農藥溶液（稀釋一萬倍）中水蚤照片比較（兩天後）

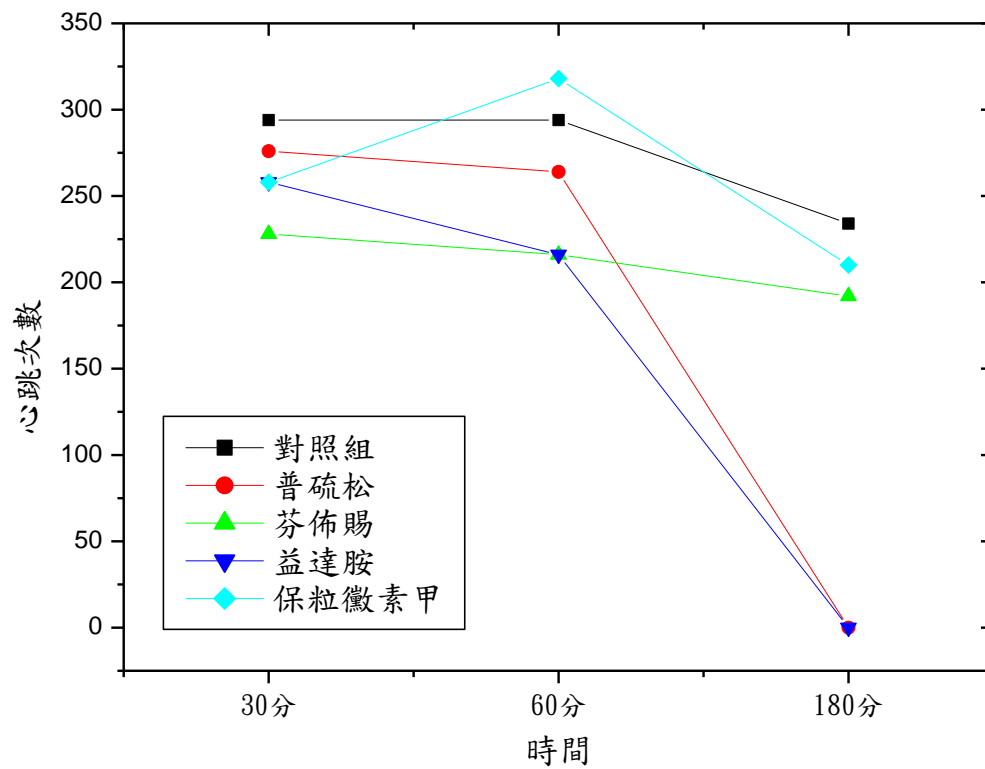


圖 26 對照組及不同農藥溶液（稀釋一萬倍）中水蚤心跳趨勢圖

表 42 水蚤在普硫松（稀釋百萬倍）中的心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分
觀察記錄	心跳： 296 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：膨脹	心跳： 300 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：反折 殼：完整 腸道：膨脹 育兒室：兩顆卵	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：膨脹 育兒室：兩顆卵

表 43 水蚤在益達胺（稀釋一百萬倍）中的心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分
觀察記錄	心跳： 354 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：完整 殼：完整 腸道：前端膨脹，後半部黃褐色	心跳： 306 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：完整 殼：完整 腸道：前端膨脹 尾端咖啡色 育兒室：膨大	心跳： 228 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：完整 殼：破損 腸道：膨脹

表 44 水蚤在芬佈賜（稀釋一百萬倍）中的心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分
觀察記錄	心跳： 294 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端咖啡色	心跳： 306 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：反折 殼：完整 腸道：中段膨脹 育兒室：三顆卵	心跳： 252 下/分 外觀： 體色： 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前半段膨脹 育兒室：疑似一顆卵

表 45 水蚤在保粒黴素甲（稀釋一百萬倍）中的心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分
觀察記錄	心跳： 228 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前端淡綠 尾端外有氣泡	心跳： 180 下/分 外觀： 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前端膨脹 後段墨綠色 育兒室：膨大	心跳： 192 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：中端後咖啡色 育兒室：膨大

表 46 水蚤在不同農藥溶液（稀釋一百萬倍）中的存活時間

農藥	普硫松	益達胺	芬佈賜	保粒黴素甲
存活時間	3 小時	9 小時	31 小時	33 小時

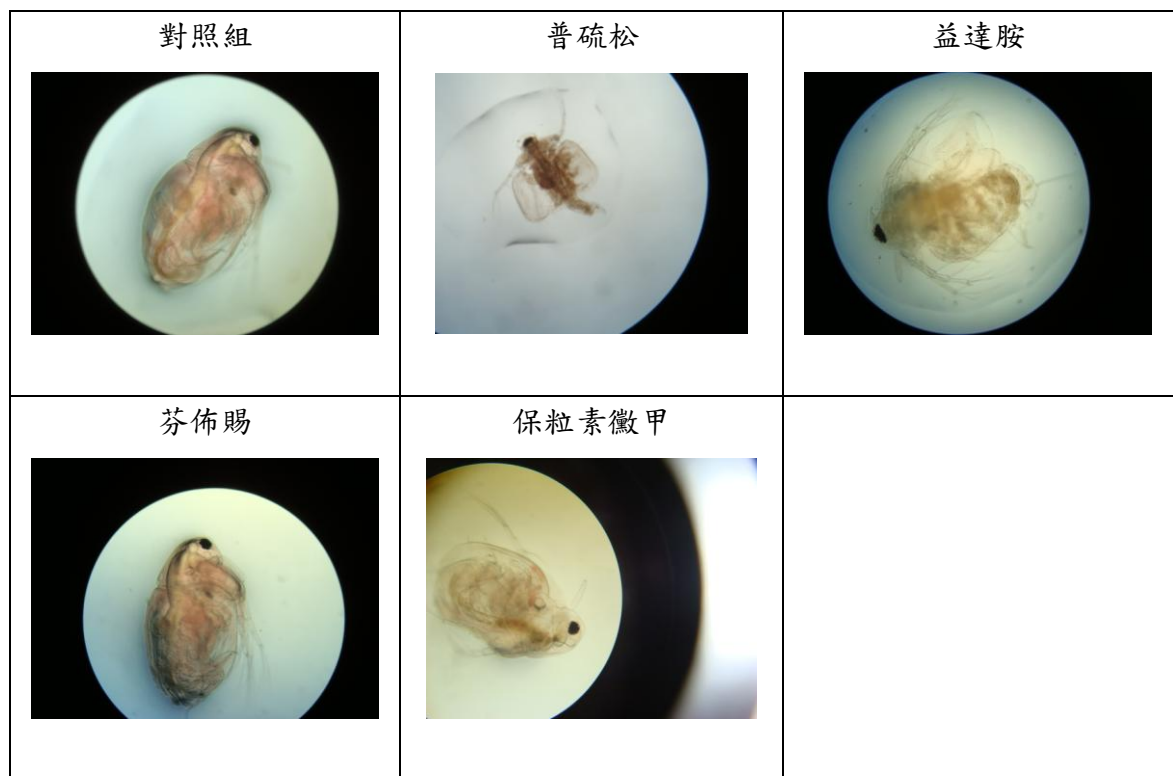


圖 27 對照組及不同農藥溶液（稀釋一百萬倍）中水蚤照片比較（180 分後）

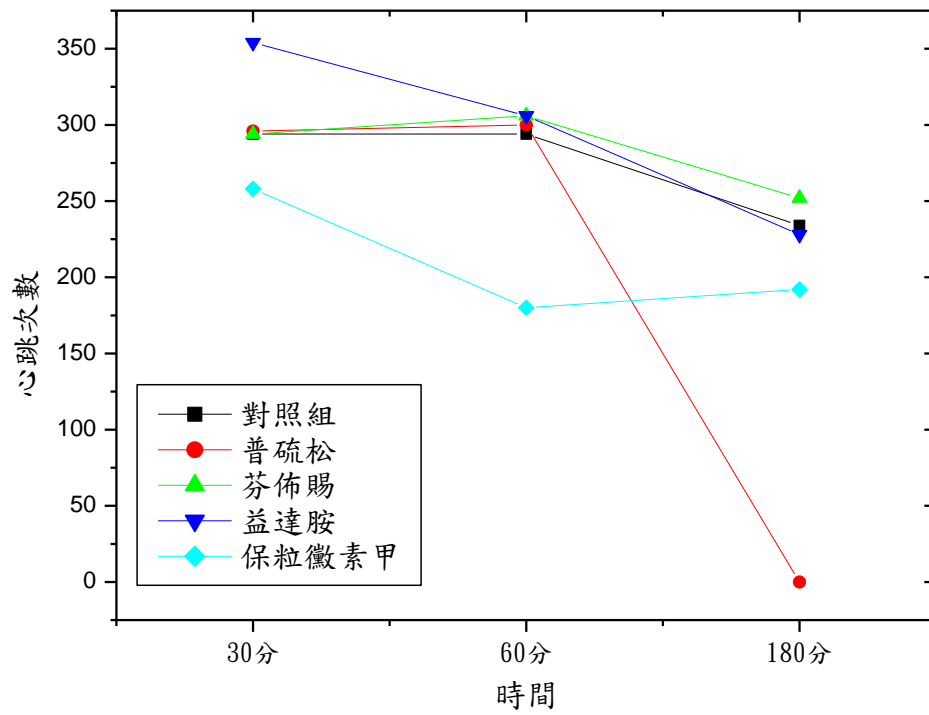


圖 28 對照組及不同農藥溶液（稀釋一百萬倍）中水蚤心跳趨勢圖

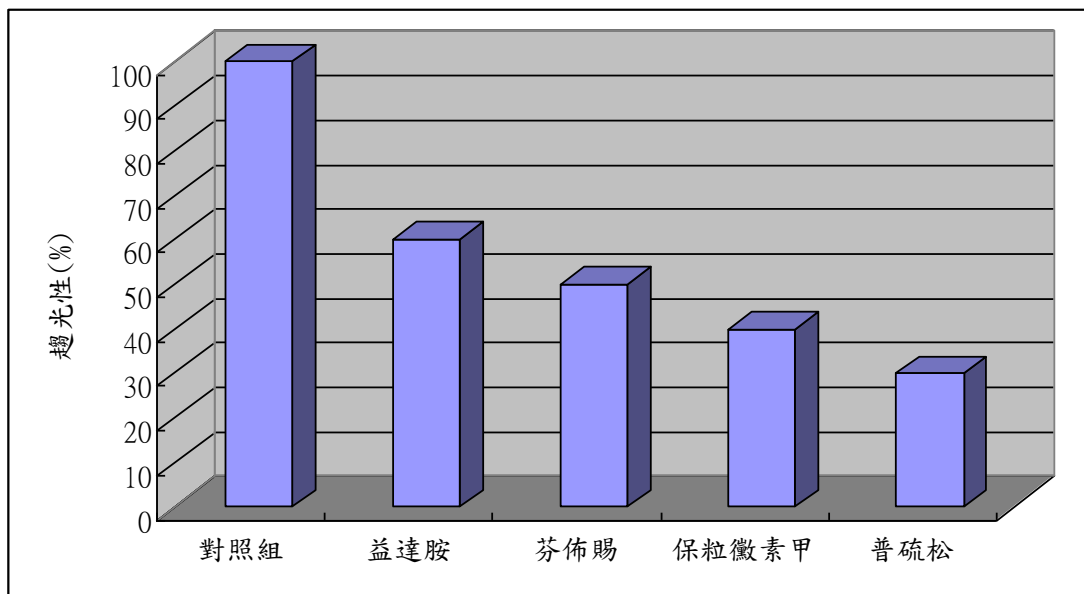


圖 29 對照組及農藥（稀釋一百萬倍）中水蚤趨光性比較圖

II.討論：

- 1.水蚤的體色偏紅是和血紅素有關。
- 2.由水蚤外觀可觀察溶液對水蚤的破壞程度。
- 3.水蚤在普硫松（稀釋一萬倍）溶液中，水蚤可存活 180 分鐘左右，從外觀來看，背部殼缺損及腸道膨脹，表示普硫松對水蚤的外殼和腸道都有破壞。
- 4.水蚤在益達胺（稀釋一萬倍）溶液中，水蚤可存活 180 分鐘左右，腸道有膨脹的現象，180 分鐘後外觀上外殼缺損，表示益達胺對水蚤的外殼、腸道都有影響。
- 5.水蚤在芬佈賜（稀釋一萬倍）溶液中，水蚤可存活 13 小時，30 分鐘～180 分鐘的外觀，腸道都有膨脹的現象。表示芬佈賜對水蚤的腸道有影響。
- 6.水蚤在保粒素黴甲（稀釋一萬倍）溶液中，水蚤可存活 19 小時，30 分鐘～180 分鐘的外觀，腸道都有膨脹的現象。表示保粒素黴甲對水蚤的腸道有影響。
- 7.水蚤在普硫松（稀釋一百萬倍）溶液中，水蚤可存活 180 分鐘左右，從外觀來看，腸道膨脹，表示普硫松對腸道有破壞。
- 8.水蚤在益達胺（稀釋一百萬倍）溶液中，水蚤可存活 9 小時左右，從外觀上來看，腸道膨脹，180 分鐘的外觀，外殼破損。表示益達胺對水蚤的外殼、腸道都有影響。
- 9.水蚤在芬佈賜（稀釋一百萬倍）溶液中，水蚤可存活 31 小時，從外觀上來看，腸道膨脹，表示芬佈賜對水蚤的腸道有影響。
- 10.水蚤在保粒素黴甲（稀釋一百萬倍）溶液中，水蚤可存活 33 小時，從外觀上來看，腸道膨脹，表示保粒素黴甲對水蚤的腸道有影響。

- 11.保粒素黴甲（稀釋一萬倍和稀釋一百萬倍），30 分鐘的外觀，腸道尾端外面疑似氣泡的顆粒物，應再進行進一步的研究，才能確認是否是保粒素黴甲造成的影響或者是單純的氣泡。
- 12.健康的水蚤會有趨光的傾向，反之不健康的水蚤，會傾向暗處。
- 13.對照組水蚤都在亮光處，表示牠們的健康狀況良好。
- 14.從趨光性比較圖可知水蚤在各種不同農藥溶液的趨光性：益達胺＞芬佈賜＞保粒素黴甲＞普硫松。

（五）南崁溪水質檢測：

在進行一系列水源 pH 值、各種金屬離子、界面活性劑及農藥對水蚤的影響研究後，發現水蚤的確非常適合用來檢測水質的優劣。根據上述的研究資料，我們自行建立了一個以水蚤來檢測水質的分級標準（如表 47-50 所示），並依此為標準，針對南崁溪進行水質的檢測。

我們針對南崁溪的四個特定區域（龜山橋、南崁溪橋、大埔橋及大檜溪橋，如圖 30-31 所示）進行一系列的水蚤趨光性、心跳及外觀觀察實驗，並以我們建立的分級標準評估南崁溪各處的水質優劣。實驗分為假日組（周日採樣）、非假日組（週五採樣）及濃縮組（週五採樣，但樣品經過濃縮處理使濃度提高 5 倍），實驗結果如圖 32-41 及表 51-71 所示。

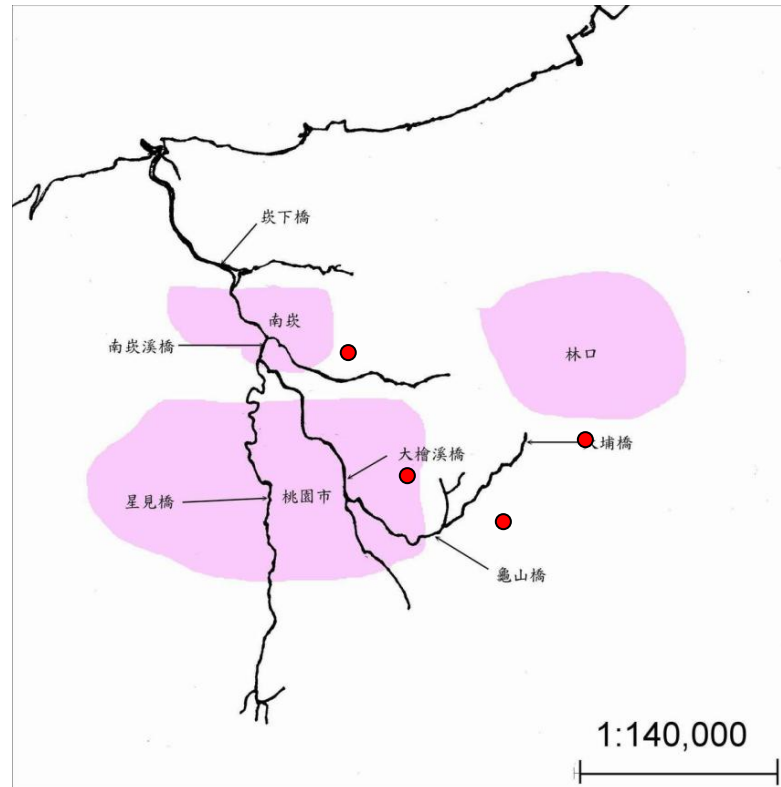


圖 30 南崁溪流域圖



龜山橋採樣點



南崁溪橋採樣點

圖 31 水樣採樣點照片（採樣時間：2008 年 12 月 7 日星期日及 2009 年 1 月 16 日星期五）



大埔橋採樣點



大檜溪橋採樣點

圖 31 (繼續)

表 47 水蚤存活時間污染分數表

存活時間	污染得分	存活時間	污染得分
10 分鐘~1 小時	10	25~30 小時	4
1~5 小時	9	35~40 小時	3
5~10 小時	8	40~45 小時	2
10~15 小時	7	45~48 小時	1
15~20 小時	6	2 天以上	0
20~25 小時	5		

表 48 水蚤趨光性（一天後）污染分數表

一天後趨光性（%）	污染得分	一天後趨光性（%）	污染得分
0 %	10	60 %	4
10 %	9	70 %	3
20 %	8	80 %	2
30 %	7	90 %	1
40 %	6	100 %	0
50 %	5		

表 49 水蚤外觀觀察污染分數表

外殼變化	污染得分	腸道變化	污染得分
殼破損分開	5	整段膨大	5
明顯破損	3	前段中段膨大	3
邊緣破損	1	前段膨大	1
無破損	0	無變化	0

表 50 水質分級表

水質分級	污染總得分	總評
第一級	27 - 30	危險
第二級	23 - 26	警戒
第三級	19 - 22	
第四級	16 - 18	不佳
第五級	13 - 15	
第六級	10 - 12	稍差
第七級	7 - 9	
第八級	4 - 6	普通
第九級	1 - 3	
第十級	0	良好

I. 南崁溪水質檢測實驗結果（假日組）：

表 51 水蚤在對照組中的心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 294 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：綠色 育兒室：可看到幼體	心跳： 294 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：綠色 育兒室：可看到幼體	心跳： 240 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：綠色 育兒室：膨大	心跳： 216 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：綠色 育兒室：膨大	心跳： 216 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：綠色 育兒室：可看見幼體

表 52 水蚤在龜山橋水樣中的心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 210 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：綠色 育兒室：可看見幼體	心跳： 222 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：綠色 育兒室：可看見幼體	心跳： 216 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前段中段膨大	心跳： 234 下/分 外觀： 體色：深粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：咖啡色且前端膨大 育兒室：三顆卵	心跳： 168 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：深咖啡色且前段中段膨大

表 53 水蚤在南崁橋水樣中的心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 240 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：綠色 育兒室：可看見幼體	心跳： 288 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：綠色 育兒室：可看見幼體	心跳： 246 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：綠色且前端膨大	心跳： 216 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：不平滑 腸道：淡綠色 育兒室：一顆卵	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：偏灰色 觸角：無折損 殼：兩片掀開 腸道：外露

表 54 水蚤在大埔橋水樣中的心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 306 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：綠色且前端些微膨大	心跳： 252 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前端綠色尾端咖啡色切前端些微膨大	心跳： 264 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前端綠色尾端咖啡色且前端些微膨大	心跳： 228 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：黃褐色且前端些微膨大	心跳： 228 下/分 外觀： 體色：偏灰色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：深咖啡色且前端膨大

表 55 水蚤在大檜溪橋水樣中的心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 300 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：綠色 育兒室：可看見幼體	心跳： 228 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端咖啡色 育兒室：有卵	心跳： 246 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端淡咖啡色 育兒室：膨大：	心跳： 246 下/分 外觀： 體色：深粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 育兒室：有卵	心跳： 240 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端前端膨大 育兒室：有卵

表 56 水蚤在不同採樣點（南崁溪橋、龜山橋、大埔橋及大檜溪橋）中的存活時間

採樣點	龜山橋	南崁溪橋	大埔橋	大檜溪橋
存活時間	兩天後	39 小時	兩天後	兩天後

表 57 四種真實水樣之水質分級結果（假日組）

採樣點	污染總得分	水質分級
龜山橋	8	第七級
南崁溪橋	9	第七級
大埔橋	9	第七級
大檜溪橋	6	第八級

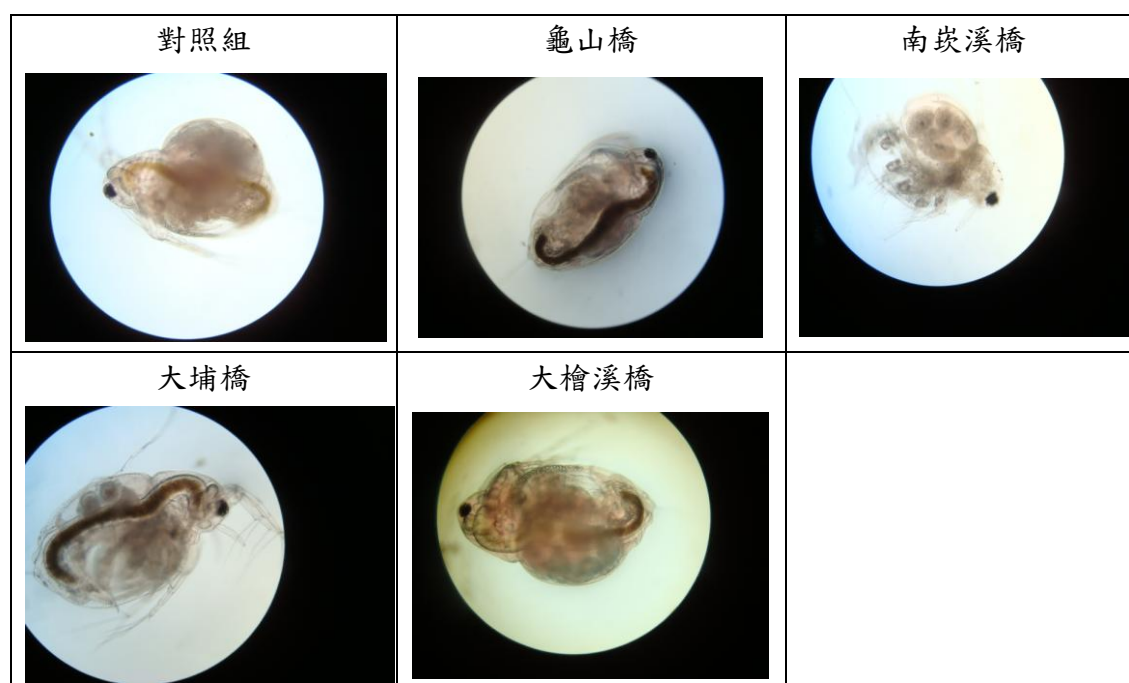


圖 32 對照組及不同採樣點（龜山橋、南崁溪橋、大埔橋及大檜溪橋）水蚤照片比較（兩天後）

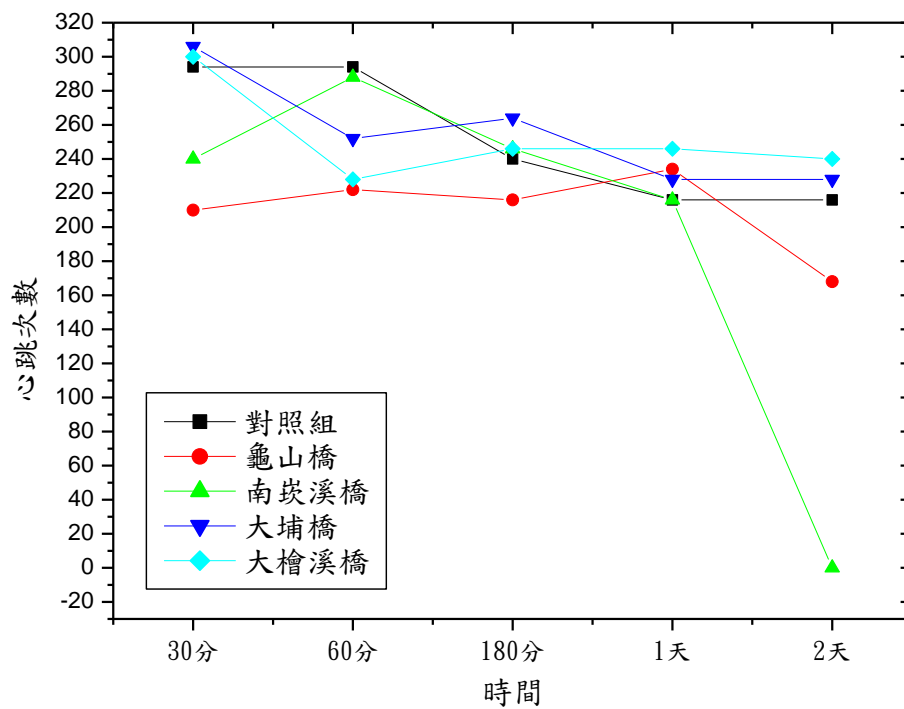


圖 33 對照組及四種假日水樣中水蚤心跳趨勢圖

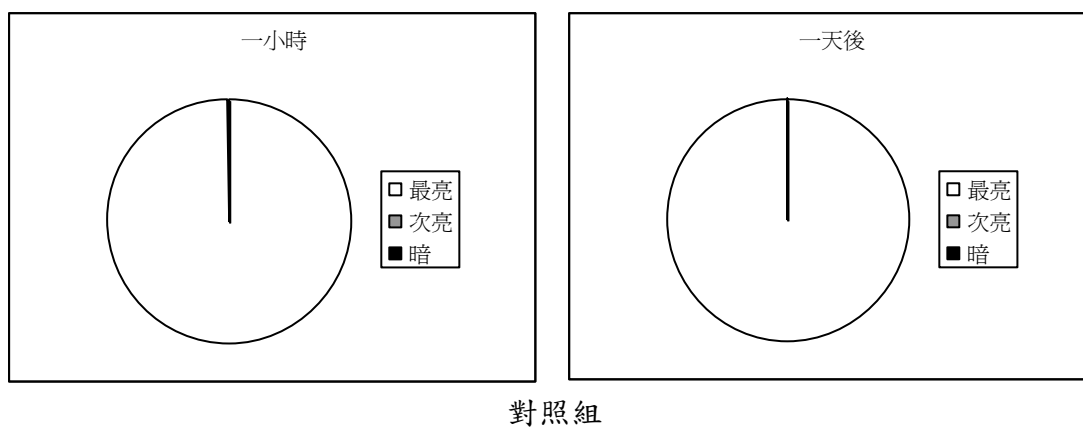
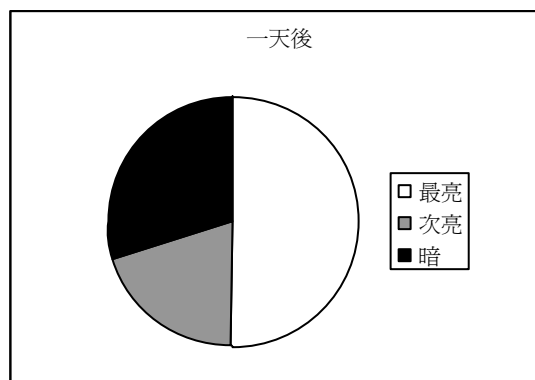
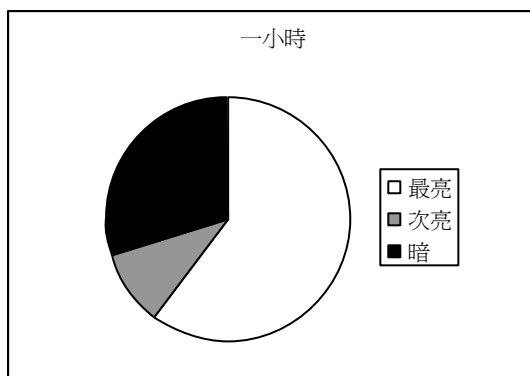
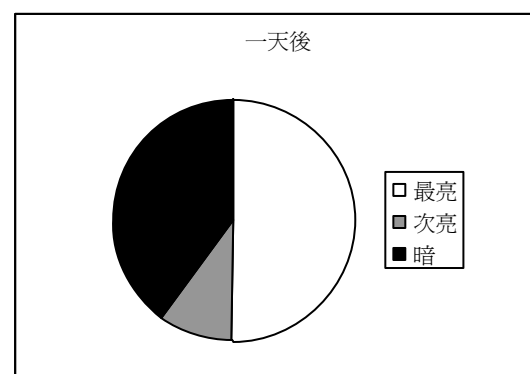
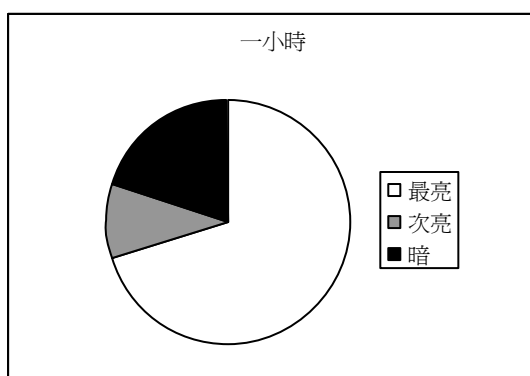


圖 34 對照組及南崁溪假日水樣中水蚤趨光性變化圖

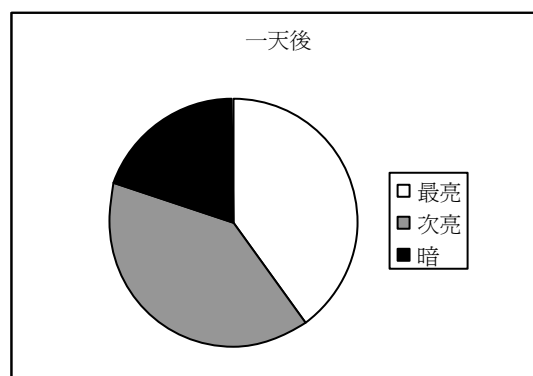
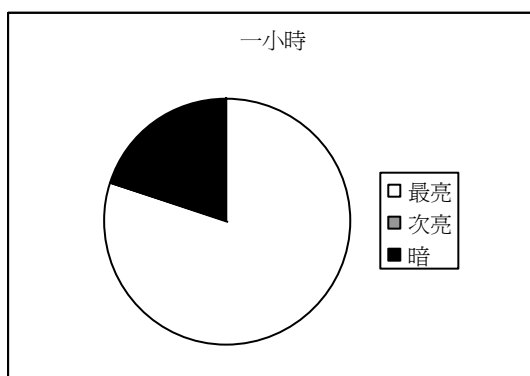
續下頁



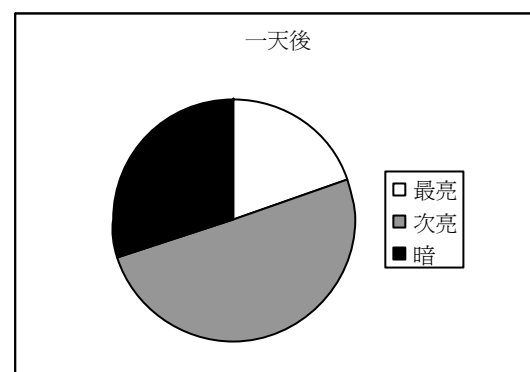
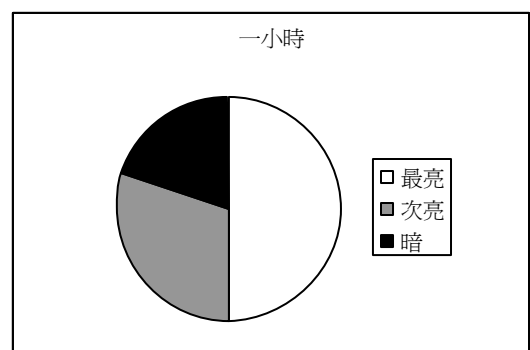
龜山橋



南坎溪橋



大埔橋



大檜溪橋

圖 34 (繼續)

II.南崁溪水質檢測實驗結果（非假日組）：

表 58 水蚤在對照組中的心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	120 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 234 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明無色 育兒室：有卵	心跳： 240 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：中後段有食物（淡黃色） 育兒室：無卵	心跳： 246 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：食物分布不連續 育兒室：無卵	心跳： 210 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：腸道彎曲 育兒室：無卵	心跳： 186 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：淡黃色 育兒室：無卵	心跳： 264 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前段淡黃色 育兒室：無卵

表 59 水蚤在龜山橋水樣中的心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	120 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 216 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：整段咖啡色 育兒室：	心跳： 270 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：後半段咖啡色 育兒室：有卵	心跳： 264 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端咖啡色 育兒室：有卵但發育接近完整	心跳： 228 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：後段咖啡色 育兒室：有卵	心跳： 228 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：反折 殼：完整 腸道：整段有食物 育兒室：有 4-5 顆卵	心跳： 300 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：背部破損 腸道：整段有食物 育兒室：無卵

表 60 水蚤在南崁溪橋水樣中的心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	120 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 240 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：整段有食物 育兒室：有卵但卵皺小的	心跳： 258 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：整段有食物 育兒室：有卵但卵皺小的	心跳： 252 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：後半段黃褐色 育兒室：6 顆卵接近背部的卵顏色略帶藍綠色	心跳： 198 下/分 外觀： 體色：很淡的粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：後段咖啡色 育兒室：有卵可見單眼	心跳： 240 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：後段咖啡色 育兒室：有卵	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：反折 殼：完整 腸道：尾端咖啡色 育兒室：有卵

表 61 水蚤在大埔橋水樣中的心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	120 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 240 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：後段咖啡色 育兒室：有卵	心跳： 252 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：整段有細細的一條咖啡色線 育兒室：很多卵	心跳： 252 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端墨綠 育兒室：有卵但皺小	心跳： 228 下/分 外觀： 體色：很淡的淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前端咖啡 育兒室：有卵且可見單眼	心跳： 222 下/分 外觀： 體色：很淡的淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：中後段咖啡色 育兒室：有卵	心跳： 174 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前段咖啡色 育兒室：很多卵

表 62 水蚤在大檜溪橋水樣中的心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	120 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 234 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前端咖啡色 育兒室：有卵	心跳： 264 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：整段咖啡色 育兒室：有卵	心跳： 252 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：中段膨脹 育兒室：有卵	心跳： 216 下/分 外觀： 體色：很淡的淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：中段膨脹 育兒室：有卵可看到單眼	心跳： 252 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端咖啡色 育兒室：有卵可看到單眼	心跳： 270 下/分 外觀： 體色：很淡的粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：中段 1/3 膨脹、中後段有食物 育兒室：無卵

表 63 水蚤在不同採樣點（非假日組）中的存活時間

採樣點	龜山橋	南崁溪橋	大埔橋	大檜溪橋
存活時間	兩天以上	37 小時	兩天以上	兩天以上

表 64 四種真實水樣之水質分級結果（非假日組）

採樣點	污染總得分	水質分級
龜山橋	7	第 7 級
南崁溪橋	11	第 6 級
大埔橋	6	第 8 級
大檜溪橋	7	第 7 級

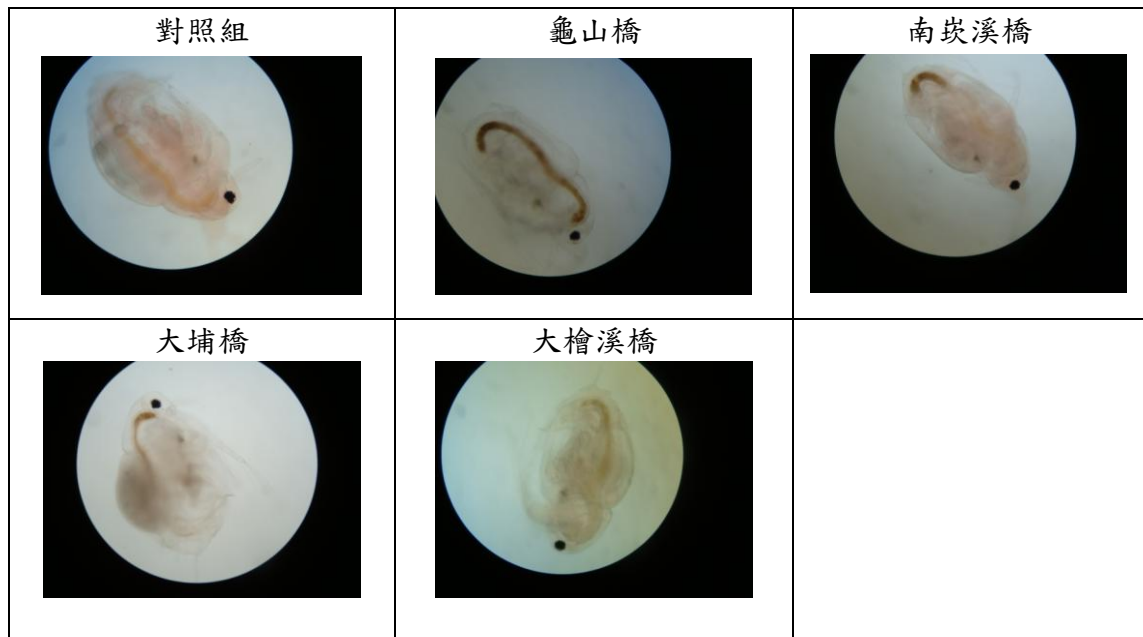


圖 35 對照組及不同採樣點（龜山橋、南坎溪橋、大埔橋及大檜溪橋）水蚤照片比較（兩天後）

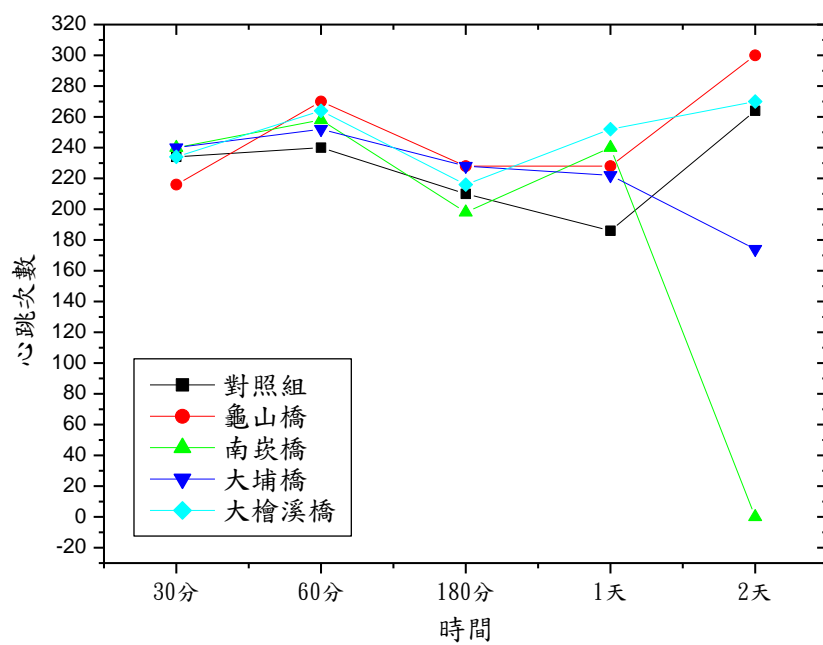


圖 36 對照組及四種非假日水樣中水蚤心跳趨勢圖

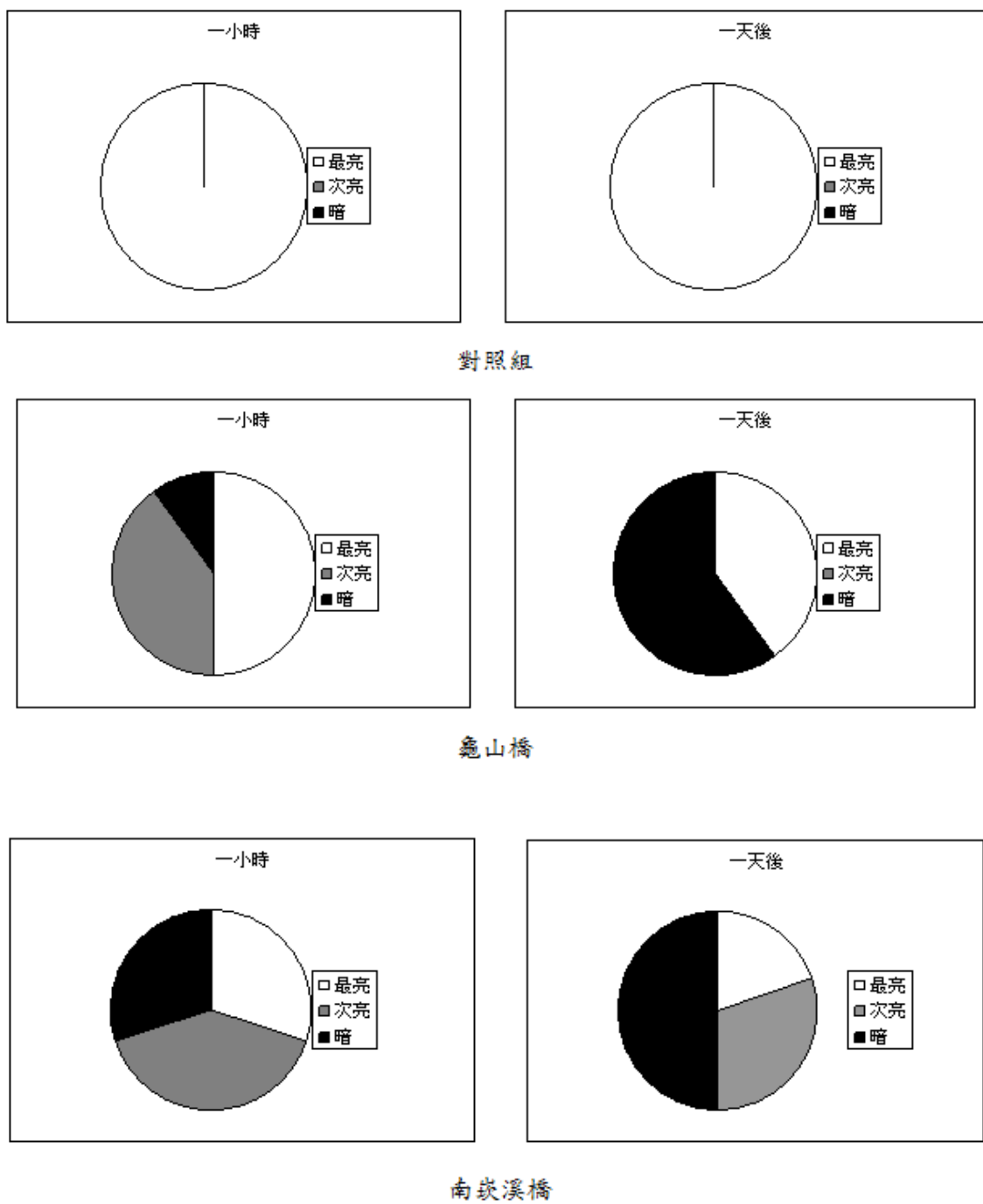


圖 37 對照組及南崁溪非假日水樣中水蚤趨光性變化圖

續下頁

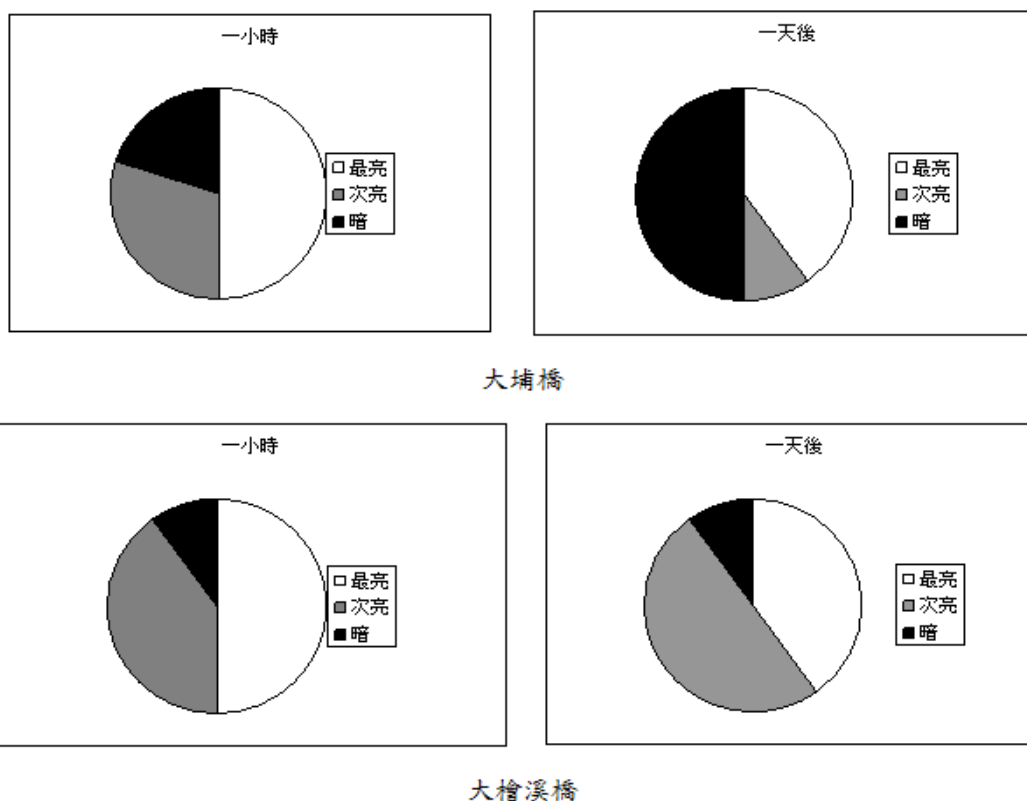


圖 37 (繼續)

III. 南崁溪水質檢測實驗結果 (非假日濃縮組):

表 65 水蚤在對照組中的心跳及外觀觀察

時間	30 分 (自來水)	60 分(自來水)	120 分	180 分 (自來水)	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 234 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：透明無色 育兒室：有卵	心跳： 240 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：中後段有食物(淡黃色) 育兒室：無卵	心跳： 246 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：食物分布不連續 育兒室：無卵	心跳： 210 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：腸道彎曲 育兒室：無卵	心跳： 186 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：淡黃色 育兒室：無卵	心跳： 264 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前段淡黃色 育兒室：無卵

表 66 水蚤在龜山橋水樣中的心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	120 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 240 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：有食物但多在前半段 育兒室：有卵	心跳： 246 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前半段咖啡色 育兒室：有卵	心跳： 228 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：背部表面不平滑 腸道：前端咖啡色 育兒室：有卵 其他：軟殼下有疑似卡入的懸浮物	心跳： 216 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前端咖啡色 育兒室：膨大有卵	心跳： 228 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：中後段咖啡色 育兒室：有卵且可見單眼	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前後段有淡黃色但稀疏分佈 育兒室：無卵

表 67 水蚤在南崁溪橋水樣中的心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	120 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：背部破損 腸道：整段黃褐色 育兒室：無卵	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：有一片掀開 腸道：整段黃褐色 育兒室：無卵	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：折到殼：完整 腸道：整段黃褐色 育兒室：無卵	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：很淡的淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前端咖啡色 育兒室：有卵且可見單眼	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：軟殼打開 腸道：前後段咖啡色 育兒室：看不到 其他：有不明物體	心跳： 0 下/分 外觀： 整體破碎 體色：透明無色 觸角：無折損 殼：軟殼打開 腸道：整段灰色 育兒室：兩顆不明物形狀疑似卵

表 68 水蚤在大埔橋水樣中的心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	120 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 264 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：沒有食物 育兒室：很多卵且可見單眼	心跳： 198 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端咖啡色 育兒室：有很多卵	心跳： 180 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：整段黃褐色 育兒室：無卵	心跳： 144 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：整段黃褐色 育兒室：無卵	心跳： 282 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端咖啡色 育兒室：很多卵且可見單眼	心跳： 258 下/分 外觀： 體色：粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：整段淡黃色 育兒室：無卵

表 69 水蚤在大檜溪橋水樣中的心跳及外觀觀察

時間	30 分	60 分	120 分	180 分	1 天	2 天
觀察記錄	心跳： 234 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：沒有食物 育兒室：無卵 其他：覺得腸道中段膨大但因其體型較小所以不能明確判斷	心跳： 240 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：中段膨大尾端 有食物 育兒室：膨大有一顆卵	心跳： 252 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：前端咖啡色 育兒室：有卵且可見單眼	心跳： 234 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：尾端墨綠色 育兒室：無卵 其他：覺得腸道中段膨大但因其體型較小所以不能明確判斷	心跳： 0 下/分 外觀： 體色：淡粉紅色 觸角：無折損 殼：完整 腸道：沒有食物 育兒室：膨大有一顆卵	心跳： 0 下/分 外觀： 整體破碎 體色：透明無色 觸角：有折損 殼：軟殼分開 腸道：看不到 育兒室：看不到

表 70 水蚤在不同採樣點（非假日且濃縮五倍）中的存活時間

採樣點	龜山橋	南崁溪橋	大埔橋	大檜溪橋
存活時間	43 小時	30 分鐘內	兩天以上	8 小時

表 71 四種真實水樣之水質分級結果（濃縮組）

採樣點	污染總得分	水質分級
龜山橋	10	第 6 級
南崁溪橋	15	第 5 級
大埔橋	8	第 7 級
大檜溪橋	22	第 3 級

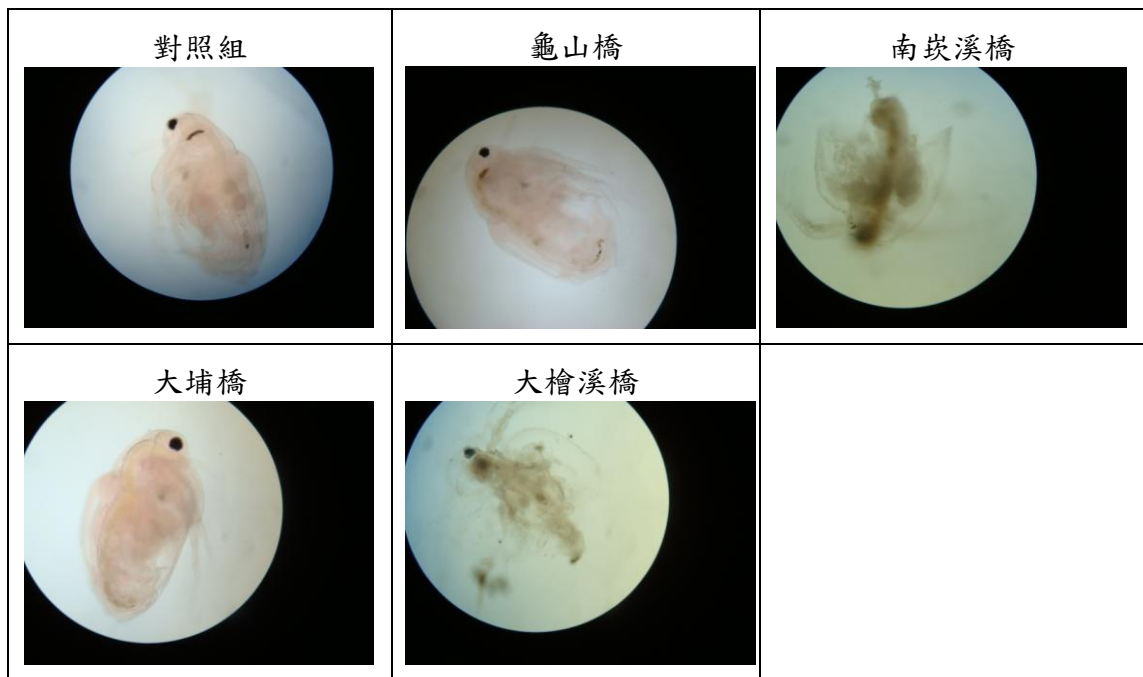


圖 38 對照組及不同採樣點（龜山橋、南崁溪橋、大埔橋及大檜溪橋）水蚤照片比較（兩天後）

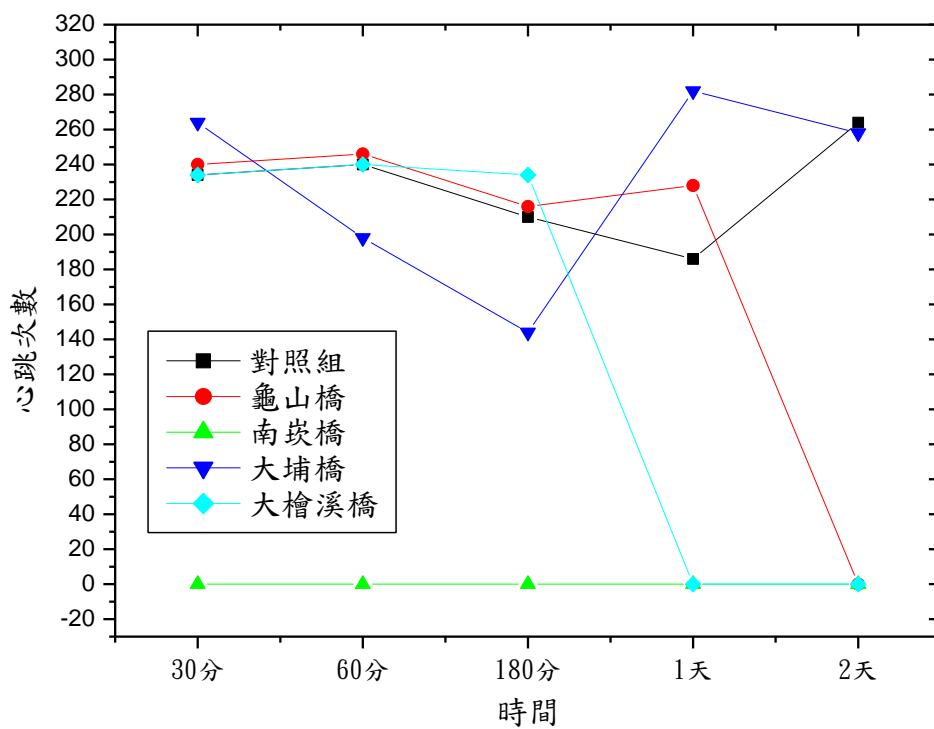


圖 39 對照組及四種非假日濃縮五倍水樣中水蚤心跳趨勢圖

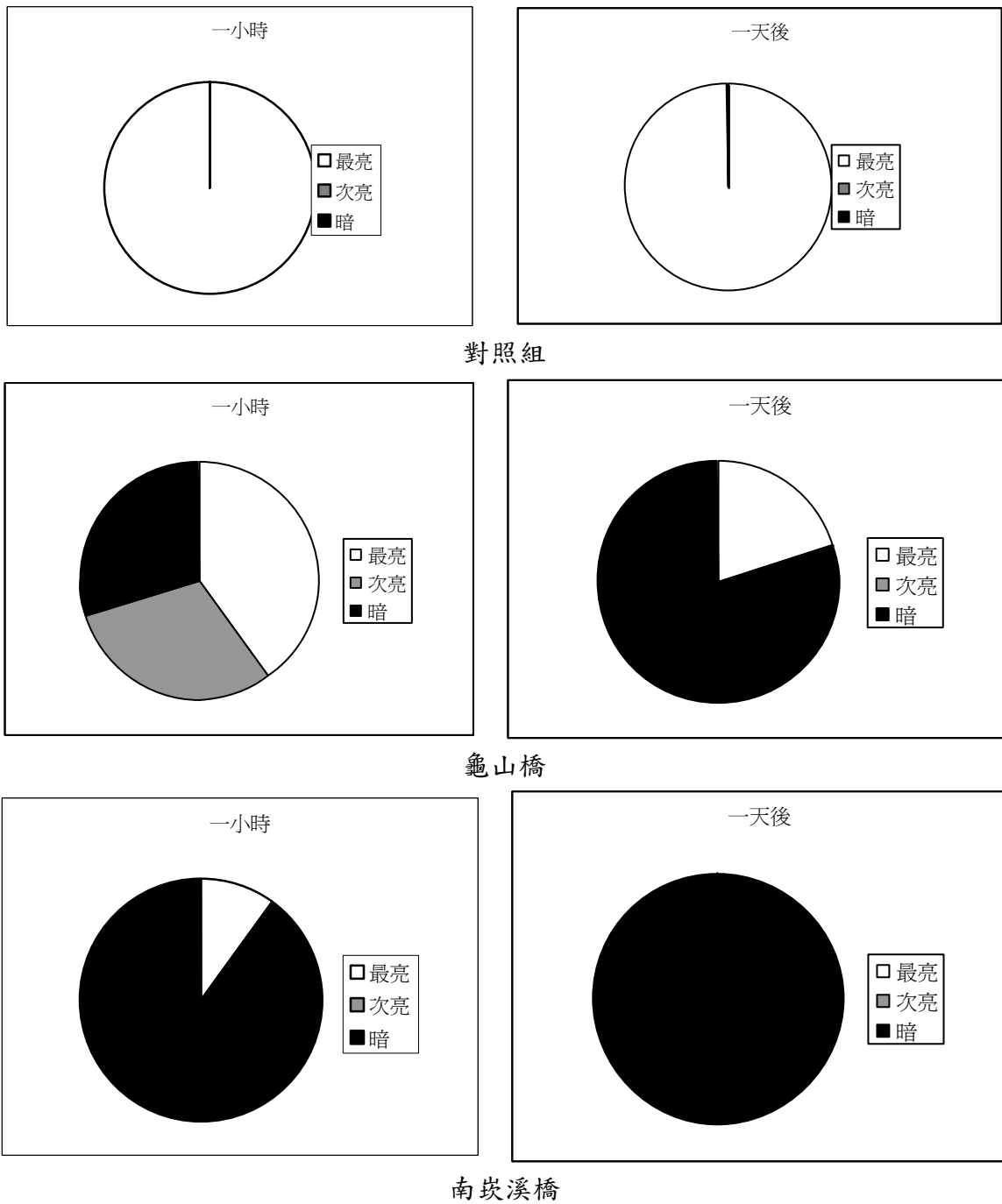


圖 40 對照組及南崁溪非假日水樣中水蚤趨光性變化圖

續下頁

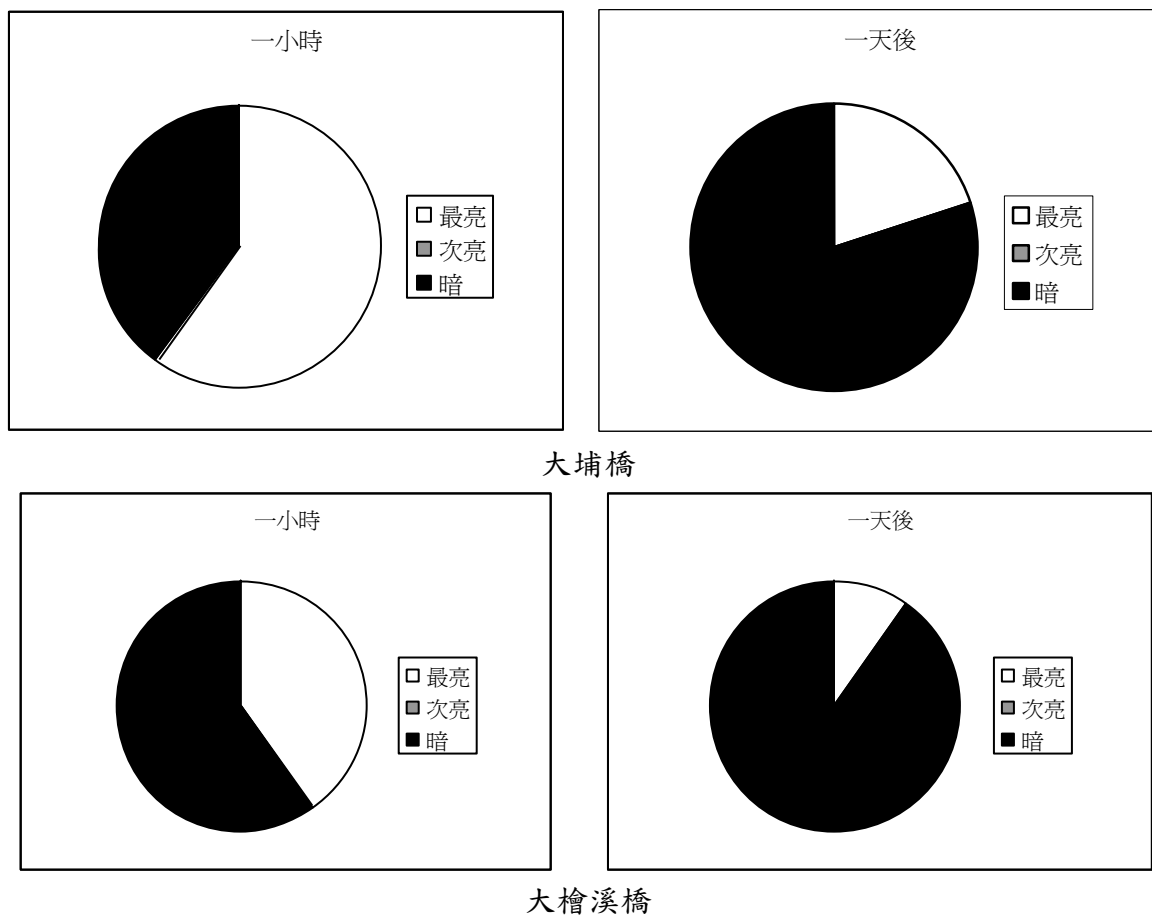


圖 40 (繼續)

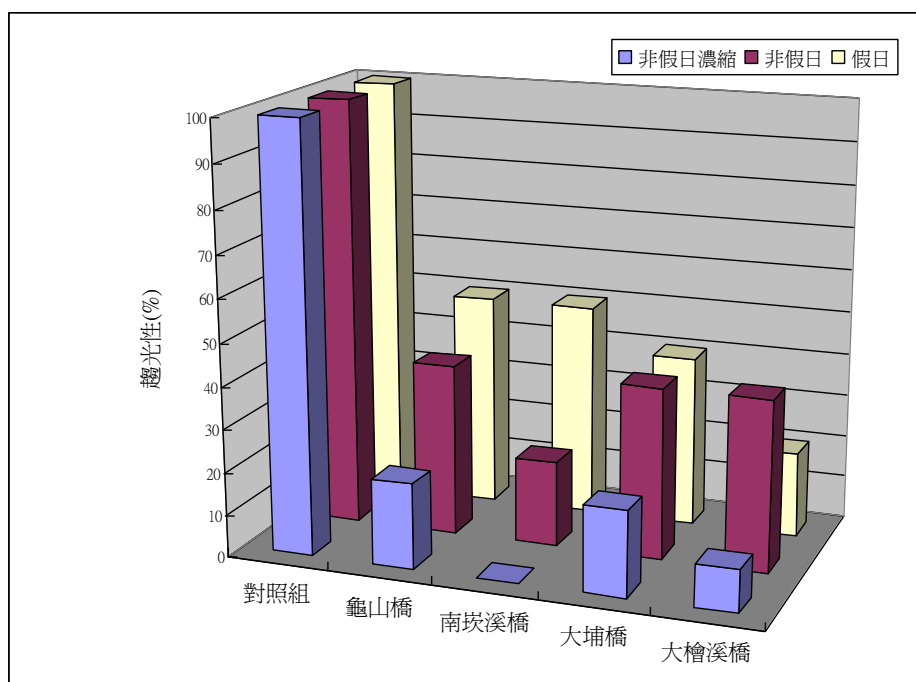


圖 41 對照組及四個真實水樣（一天後）之水蚤趨光性比較圖

IV.討論：

- 1.水蚤的體色偏紅是和血紅素有關。
- 2.由水蚤外觀可觀察溶液對水蚤的破壞程度。
- 3.水蚤於龜山橋水樣中（假日組）可存活兩天以上，其外觀外殼完整，180 分鐘後腸道前端開始膨大。
- 4.水蚤於南崁溪橋水樣中（假日組）可存活 39 小時，其一天後的外觀外殼已不平整，兩天後體色偏灰，外殼兩片分開，腸道外露，整體破碎。
- 5.水蚤於大埔橋水樣中（假日組）可存活兩天以上，一天後腸道膨大且呈黃褐色，兩天後體色偏灰色且腸道變黑，其外觀照片和錳離子溶液相似（如第 19 頁圖 10 所示）。
- 6.水蚤於大檜溪橋水樣中（假日組）可存活兩天以上，其外觀於兩天內無異狀，但兩天後腸道前端膨大。
- 7.在龜山橋水樣中（非假日組），可存活至兩天以上，兩天前的外觀皆正常，到了兩天後體色由粉紅色變成透明無色，背部殼有破損。
- 8.在南崁溪橋水樣中（非假日組），可存活 37 小時，但其外觀皆正常，沒有什麼異狀。
- 9.在大埔橋水樣中（非假日組），可存活至兩天以上，兩天內的外觀皆正常。
- 10.大檜溪橋水樣中（非假日組），可存活至兩天以上，120 分鐘後的水蚤外觀，腸道中段膨大。
- 11.龜山橋水樣中（非假日濃縮五倍），可存活至 43 小時，其 120 分鐘的外觀，背部殼表面不平滑且在軟殼下有疑似卡入的懸浮物。

- 12.南崁溪橋水樣中（非假日濃縮五倍），不到 30 分鐘內就死亡了，30 分鐘的死亡外觀，背部殼破損，其餘正常，到了兩天後的外觀，整體破碎，難以辨識。
- 13.大埔橋水樣中（非假日濃縮五倍），可存活至兩天以上，其外觀皆正常並無異狀。
- 14.大檜溪橋水樣中（非假日濃縮五倍），可存活至 8 小時，60 分鐘的外觀水蚤腸道中段膨大，兩天後的外觀已整體破碎，難以辨識。
- 15.健康的水蚤會有趨光的傾向，反之不健康的水蚤，會傾向暗處。
- 16.對照組水蚤都在亮光處，表示牠們的健康狀況良好。
- 17.從趨光性比較圖可知水蚤在四個採樣點（假日組）的趨光性：
龜山橋＝南崁溪橋＞大埔橋＞大檜溪橋。
- 18.從趨光性比較圖可知水蚤在四個採樣點（非假日組）的趨光性：
龜山橋＝大檜溪橋＝大埔橋＞南崁溪橋。
- 19.從趨光性比較圖可知水蚤在四個採樣點（非假日濃縮五倍）的趨光性：
龜山橋＝大埔橋＞大檜溪橋＞南崁溪橋。
- 20.四個採樣點的實驗結果，汙染不明顯的原因分析如下：
- (1)在桃園工業區，較少 PC 板、電鍍晶圓、電子類工廠等污染性較大的工廠。
- (2)一般工廠均有完善的工業廢水的處理程序。常見處理方法有：
- ①符合放流水標準的廢水直接倒入河川稀釋。
- ②送至工業廢水處理廠。
- ③抽取大量地下水加以稀釋後排出。
- 一般工廠大多使用第三個處理方法，因為經過大量地下水稀釋，再排放至河川中，其濃度已大量降低，所以污染也會較低。
- 21.綜合上述，未來改善實驗的方法有二：

(1)將觀察時間拉長。(不過這個方法不適用，因為水蚤的生命週期短，在觀察期間內水蚤的死亡有可能並非水樣所造成的。)

(2)利用加速水的蒸散以提高水樣的濃度，再觀察水蚤外觀狀況並以病徵檢索表檢視。同時將未濃縮的水樣送去檢驗，了解當中所含的物質，兩者比對，以檢驗水蚤是否能忠實的反應出水質狀況。(此法較佳)

22.水蚤為趨光動物，中毒的水蚤，其行動會變緩慢或行進方式改變，如：中神經毒的水蚤，會以螺旋、S 型、弧形或原地打轉的方式運動。

23.水蚤的趨光性和存活時間並無直接關係。

24.判斷水質對水蚤的傷害程度，應以多種角度綜合觀察，故我們以存活時間、趨光性以及外觀判斷等方式，整體評估水蚤受到的傷害。

六、結論與應用：

(一) 結論：

1.依存活時間的長短可判斷不同 pH 值水溶液對水蚤的傷害性：

$pH4 > pH5 = pH6 = pH7 = pH8$ ，且除了 pH4 溶液外，其他 pH 值的溶液對水蚤的傷害從外觀上來看並不明顯。

2.在 pH4 溶液中的水蚤，承受不了偏酸的環境，很快就死亡了。由 1 天後水蚤的外觀來看，殼已經脫離，推測有可能是酸性環境侵蝕水蚤造成，故水蚤不適合生存在偏酸的環境下。相對的，在 pH6、pH7 及 pH8 溶液中的水蚤，其外觀來仍保持完整沒有什麼異常現象，推測中性及偏中性溶液其對水蚤的影響並不大。

3.依存活時間的長短可判斷金屬離子（放流水標準及放流水標準 0.1 倍）對水蚤的傷害性：銅離子 > 鉛離子 > 鋅離子 > 錳離子 > 鎳離子。

- 4.每一種金屬離子對水蚤都有一定的傷害程度，特別是銅離子對水蚤的傷害性最大。因為水蚤在銅離子溶液中的存活時間最短，可推測銅離子對水蚤的毒性最強。
- 5.存活於錳離子的水蚤，腸道最後都會呈現黑色。表示錳離子會慢慢累積在水蚤的腸道中。另外有些水蚤一開始腸道尾端為墨綠色可能是以綠水養殖的環境有關，由實驗結果推測腸道的顏色與水蚤所攝取的食物有明顯的關係。
- 6.依存活時間的長短可判斷界面活性劑（放流水標準及放流水標準 0.1 倍）對水蚤的傷害性：無磷洗衣粉>LAS>SDS>抗菌洗手乳=天然洗潔精。水蚤在無磷洗衣粉溶液（放流水標準）中的存活時間只有兩小時，是所有界面活性劑中存活時間最短的，由此可推測無磷洗衣粉（放流水標準）對水蚤的傷害性在實驗的界面活性劑中最大。
- 7.在放流水標準 0.1 倍的界面活性劑溶液中，水蚤均可存活至兩天以上，表示低濃度的界面活性劑，對水蚤沒有太大的傷害。
- 8.從存活時間的長短可判斷農藥(稀釋一萬倍及一百萬倍)對水蚤的傷害性：
普硫松>益達胺>芬佈賜>保粒黴素甲。
- 9.由於水蚤為水生生物，水中的物質可直接擴散進入水蚤體內，影響其內臟的作用，在稀釋一萬倍及稀釋百萬倍的普硫松溶液中，水蚤的存活時間皆少於 180 分鐘，兩者的存活時間都很短。在水蚤的外觀觀察中，外殼有破損，腸道膨脹且內容物停止消化，完全呈現出普硫松的中毒症狀。
- 10.對照組的外殼完整且平滑，而實驗組的外殼雖完整但是有一小部份有點破損。
研究中所使用的普硫松屬於有機磷化合物，可使具神經系統的生物體產生麻痺作用，造成內臟停止作用但對外形沒有嚴重破壞，與實驗結果亦相符。因此可知，雖然農藥不會使水蚤外殼造成嚴重破壞，但是卻對水蚤內臟會造成極大的傷害。

- 11.水蚤在稀釋一萬倍的益達胺溶液中，水蚤的存活時間約 180 分鐘，在稀釋百萬倍的益達胺溶液中，水蚤的存活時間約 9 小時。在水蚤的外觀觀察中，外殼有破損，腸道膨脹，表示益達胺對水蚤的外殼和腸道皆有破壞性。
- 12.水蚤在稀釋一萬倍的芬佈賜溶液中，水蚤的存活時間約 13 小時，在稀釋百萬倍的芬佈賜溶液中，水蚤的存活時間約 31 小時。在水蚤的外觀觀察中，腸道膨脹，表示芬佈賜對水蚤的腸道有破壞性。和普硫松及益達胺的外觀比較，芬佈賜對水蚤的傷害性較兩者低。
- 13.水蚤在稀釋一萬倍的保粒黴素甲溶液中，水蚤的存活時間約 19 小時，在稀釋百萬倍的保粒黴素甲溶液中，水蚤的存活時間約 33 小時。在水蚤的外觀觀察中，腸道膨脹，表示保粒黴素甲對水蚤的外殼和腸道皆有破壞性。和普硫松及益達胺的外觀比較，保粒黴素甲對水蚤的傷害性較兩者低。
- 14.由上述結論我們認為水蚤很適合用來檢測農藥殘留與否，另外，環境因素會影響有機磷殺蟲劑的毒性，於鹼性水質，有機磷殺蟲劑易分解，殘留期短，於酸性水質或水質軟化時，則較不易分解，殘留期長，水溫高時，更是使其容易滲透進入動物組織。由於有機磷殺蟲劑是目前常用的合法殺蟲劑，但是對具神經系統的生物皆具有毒性，如果能以水蚤做為檢測工具，將是相當便利的方式。
- 15.四個採樣點環境介紹：

採樣點	週圍環境	水質狀況
南崁橋	工廠及菜園且為高密度住宅區	偏綠
龜山橋	有學校、診所、自來水公司，為中密度住宅區	較為清澈
大埔橋	多為科技工業區，為低密度住宅區。	水中多青苔
大檜溪橋	高密度住宅區	水質較濁，顏色偏綠，水中多大塊黑色懸浮物。

- 16.南崁溪橋水質偏綠，富含營養物質，可供水蚤攝取，但存活時間卻最短，有可能是和周邊多工廠有關。工廠有可能排放含金屬離子的廢水，因此造成水蚤存活時間較短。
- 17.從南崁溪（假日組）水樣存活時間的長短可判斷水質對水蚤的傷害性：
南崁溪橋＞龜山橋＝大埔橋＝大檜溪橋。
- 18.從南崁溪（非假日組）水樣存活時間長短可判斷水質對水蚤的傷害性：
南崁溪橋＞龜山橋＝大埔橋＝大檜溪橋。
- 19.依從南崁溪（非假日濃縮五倍）水樣存活時間長短可判斷水質對水蚤的傷害性：
南崁溪橋＞大檜溪橋＞龜山橋＞大埔橋。
- 20.四個採樣點(假日組)趨光性比較：龜山橋＝南崁橋＞大埔橋＞大檜溪橋。
- 21.四個採樣點(非假日組)趨光性比較：龜山橋＝大檜溪橋＝大埔橋＞南崁溪橋。
- 22.四個採樣點(非假日濃縮五倍)趨光性比較：
龜山橋＝大埔橋＞大檜溪橋＞南崁溪橋。
- 23.南崁溪橋水樣，在未濃縮的結果，對水蚤傷害並不明顯，但經濃縮五倍後，對水蚤的傷害程度立刻提升，推測南崁溪橋水樣中的污染物質是在水蚤可忍受的範圍內。
- 24.從三種實驗結果來看，可知水樣對水蚤的毒性：濃縮組＞非假日組＞假日組。
- 25.大埔橋附近有華亞工業區，因為其有污水處理設備，所以污染相對較低，水質較佳，龜山橋、大檜溪橋多住宅區，可能排放廚餘及家庭清潔劑，所以三者的實驗組皆可存活至兩天以上。
- 26.真實水樣實驗中，大檜溪橋的趨光性最差，但水蚤可存活兩天以上，推測大檜溪水質可能會對水蚤的感光度造成影響，推測水質可能含有害物質會對水蚤的

神經系統造成傷害。此水樣具有臭味且顏色偏綠，可能是周邊多住宅區，會排放廚餘及清潔劑，富含大量營養物質，可供水蚤攝食，所以才可存活至兩天以上。

27.水蚤為趨光動物，中毒的水蚤，其行動會變緩慢或行進方式改變，如：中神經毒的水蚤，會以螺旋、S 型、弧形或原地打轉方式運動。所以存活時間和趨光性沒有直接關係。

28.南崁橋與龜山橋趨光性相同，但趨光性最主要是判斷水蚤的游動方式來確認其受損部位，並不能確定趨光性相同則污染程度相同。

29.大埔橋和大檜溪橋的趨光性較差，可能是水樣中有較多會破壞水蚤神經系統的有害物質。

（二）應用：

根據我們實驗的結果，水蚤對於常見的水源污染物如金屬離子、界面活性劑及農藥等，均顯出相當的敏感性。藉由水蚤的趨光性變化、存活時間長短及外觀的仔細觀察，我們可以清楚的了解水質的優劣。為了利用此研究觀察水質的良窳，我們自行制定了一套分析水質好壞的標準，依水蚤的傷害程度分為十級（如表 50），藉此判斷水污染的嚴重程度（級數越小代表汙染越嚴重）。判斷的方式是以水蚤存活時間、趨光性、水蚤外形及內部觀察，換算成污染總得分，再依分數加以分級。

這個研究可以廣泛的應用於各地水質優劣的觀察，一旦發現水蚤在水樣中有不正常的狀況時，便可以針對該處水質做進一步的分析，達到早期發現，早期預防的功能，進一步阻止水污染的擴大。

七、參考文獻：

1. http://www.nhcue.edu.tw/~shuh/w2/cladocera/www/profile_1.html
2. http://www.nhcue.edu.tw/~shuh/w2/cladocera/www/profile_2.html
3. Michels.E, 1 S. Semsari Bin .C, and De Meester .L (2000) Ecotoxicology and Environmental Safety .47 : 261—265
4. Martinsa .J Soaresa .M.L, M.L. Saker L. OlivaTeles, V.M. Vasconcelos (2007) Ecotoxicology and Environmental Safety 67 : 417—422
- 5.陳欽耀 魏曉飛 廖洪梅 (1997) LAS和5種洗衣粉對水蚤的毒性試驗 安徽大學學報 21 : 107—109
- 6.劉占峰 王茜 王蘭 李延伸 翟東 朱智剛 安徽實業科學 (2007) 洗衣粉對水生動物的毒性研究 35
- 7.潘立軍 高世榮 孫鳳英 王俊起 (2007) 應用大型水蚤對醫藥和無機砷污染的飲用水和地表 水源毒性檢測 中國衛生檢驗雜誌 17 : 233—235
- 8.農藥作用及化學分類檢索 <http://pcddsv.tactri.gov.tw/moa/>
- 9.有機磷製劑於水產之應用 <http://www.miobuffer.com.tw/fnm/199309/18.htm>

附錄一：病徵檢索表

病徵檢索表			
影響因素	體色	外殼	腸道
低 pH 值	黑色	脫落	紫紅色
鉛離子	透明無色	分開成兩片	灰色
銅離子	灰黑色	完整	灰黑色
鎳離子	灰色	分開成兩片	灰色
錳離子	透明無色	完整	深黑色
鋅離子	透明無色	分開成兩片且其中一片有折損	淡灰色
LAS	透明無色	完整	尾端灰色
SDS	透明無色	分開成兩片	灰色
天然洗潔精	灰色	完整	灰色
抗菌洗手乳	透明無色	完整	淡咖啡色
無磷洗衣粉	透明無色	後半部已被侵蝕	透明無色
普硫松（農藥）	透明無色	缺損	黃褐色
益達胺（農藥）	粉紅色	缺損	膨脹
芬佈賜（農藥）	粉紅色	完整	前面膨脹
保粒黴素甲（農藥）	粉紅色	完整	膨脹

附錄二：放流水標準（節錄）

放流水標準

中華民國 96 年 9 月 3 日行政院環境保護署環署水字第 0960065740 號令修正發布

第一條 本標準依水污染防治法（以下簡稱本法）第七條第二項規定訂定之。

第二條 事業、污水下水道系統及建築物污水處理設施之放流水標準，其水質項目及限值如下表：

適用範圍	項目	最大限值	備註
事業、污水下水道系統及建築物污水處理設施之廢污水共同適用	水溫	放流水排放至非海洋之地面水體者： 攝氏三十八度以下(適用於五月至九月)。 攝氏三十五度以下(適用於十月至翌年四月)。 放流水直接排放於海洋者，其放流口水溫不得超過攝氏四十二度，且距排放口五百公尺處之表面水溫差不得超過攝氏四度。	
	氫離子濃度指數	六·〇—九·〇	
	氟化物(不包括複合離子)	一五·〇	
	硝酸鹽氮	五〇	不適用於排放廢(污)水於水源水質水量保護區內新設立之公共下水道。(新設立之公共下水道係指於中華民國九十年十一月二十三日本標準修正生效日前已完成規劃，但尚未進行工程招標者，或尚未完成規劃者)。

續下頁

	氮氮	一〇・〇	氮氮及正磷酸鹽之管制僅適用於排放廢(污)水於水源水質水量保護區內。但畜牧業之氮氮與正磷酸鹽管制由主管機關會商目的事業主管機關後，另行公告其管制期日及放流水標準。
	正磷酸鹽(以三價磷酸根計算)	四・〇	正磷酸鹽之管制不適用於排放廢(污)水於水源水質水量保護區內新設立之公共下水道。(新設立之公共下水道係指於中華民國九十年十一月二十三日本標準修正生效日前已完成規劃，但尚未進行工程招標者，或尚未完成規劃者)。
	酚類	一・〇	
	陰離子介面活性劑	一〇・〇	
	氰化物	一・〇	
	油脂(正己烷抽出物)	一〇・〇	
	溶解性鐵	一〇・〇	
	溶解性錳	一〇・〇	
	鎘	〇・〇三	
	鉛	一・〇	
	總鉻	二・〇	
	六價鉻	〇・五	
	有機汞	不得檢出	
	總汞	〇・〇〇五	
	銅	三・〇	
	鋅	五・〇	
	銀	〇・五	
	鎳	一・〇	
	硒	〇・五	
	砷	〇・五	
	硼	一・〇	
	硫化物	一・〇	
	甲醛	三・〇	
	多氯聯苯	不得檢出	

續下頁

	總有機磷劑(如巴拉松、大 利松、達馬松、 亞素靈、一品 松等)	○・五	
	總氨基甲酸鹽 (如滅必蝨、加 保扶、納乃 得、安丹、丁 基滅必蝨等)	○・五	
	除草劑(如丁基 拉草、巴拉 刈、二、四— 地、拉草、滅 草、嘉磷塞等)	一・○	
	安殺番	○・○三	
	安特靈	○・○○○二	
	靈丹	○・○○四	
	飛佈達及其衍 生物	○・○○一	
	滴滴涕及其衍 生物	○・○○一	
	阿特靈、地特 靈	○・○○三	
	五氯酚及其鹽 類	○・○○五	
	毒殺芬	○・○○五	
	五氯硝苯	不得檢出	
	福爾培	不得檢出	
	四氯丹	不得檢出	
	蓋普丹	不得檢出	

評語

此作品為延續性的研究，在先前的研究結果的基礎上，此次作品進一步以水蚤存活狀況建立水質分級標準，實地採樣檢測，實驗過程嚴謹，思考縝密，探討面向也頗為廣泛，為一優秀作品。唯建議修改作品的英文標題，並加上物種的學名。