

中華民國 第 50 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物科

030307

緒中有軌—改良課本「觀察小魚血液流動」實驗
與發展測量血液流速方法

學校名稱：桃園縣立永豐高級中學

作者： 國一 陳宣瑜 國一 劉兆真 國一 邱彥仁 國一 許睿哲	指導老師： 藍治平
---	------------------

關鍵詞：魚、血液流動、血液流速

摘要

本研究改良課本「觀察小魚血液流動」的實驗方法，首先建議使用白尾型鯽魚或白化孔雀魚作為觀察材料，可以容易且清楚觀察到尾鰭的血液流動情形。本實驗也發現使用覆蓋材質壓住小魚的鰓蓋是造成小魚經常跳動的原因，因此建議使用浸過冰水（15°C）的挖洞魔術擦來覆蓋小魚，也建議觀察小魚時間勿超過十分鐘，並使用護貝膠膜作為觀察平台來改善課本實驗缺點。我們也研發「顯微投影暨畫格計時測量法」來測量血液流速及測量血球與血管大小，結果發現鯽魚離開水缸觀察時，尾鰭的微血管血液流速多介於 150~400（微米/秒），此數值可作為小魚生命力的觀察指標。最後設計一個有水流循環的觀察平台，希望可用來延長觀察小魚血液流動的時間。

壹、研究動機

觀察「小魚血液流動」的實驗時，我們照著課本上的方法，在小魚身上蓋濕棉花，然後放在顯微鏡下觀察。但小魚卻顯得焦躁不安，一直跳動，我們想好好安撫牠，卻一直找不到好方法，也很害怕小魚離開水過久會造成死亡，所以一下子就將小魚放回水裏，這些因素都讓我們無法仔細觀察小魚的血液流動，所以我們想改良課本上的實驗方法，讓實驗更為順利。我們也想發展測量血液流速的方法，以便可以了解改良實驗後的成效，也希望從血液流速得知小魚的生命力是否有所改善。

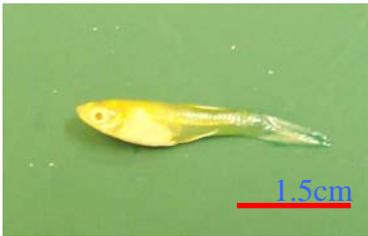
貳、研究目的

- 一、找出哪種小魚的尾鰭最適宜觀察血液流動
- 二、找出觀察與安置小魚的最適宜環境
- 三、發展適宜的方法來測量血液流動速度與觀察血管與血液形態
- 四、製作適宜長時間觀察小魚尾鰭血液流動的觀察平台

參、研究設備與器材

一、實驗材料

在老師的建議之下，從學校附近的水族館購買常見、價格便宜及生命力較為強盛的小魚來做實驗材料，也為了便於在顯微鏡的載物台下觀察，因此挑選的小魚體長都在 5 公分內。觀察的魚種包括鯽魚、孔雀魚、泥鰍，此外也在老師的建議之下，挑選兩種白化型的孔雀魚與白鼠魚，外形見下表一。

種類	外型	外型描述
鯽魚		體色共有三種：灰黑色、橘色及粉紅色。體長大約介於 2 公分~3.5 公分之間。尾鰭呈扇狀。
孔雀魚		體色多樣不定，色澤鮮豔繁雜。體長大約介於 1.5 公分~2.5 公分之間。尾鰭顏色繽紛，通常由 1~2 個顏色混合。
泥鰍		體色略成黃色，有黏液，且為長條狀。體長大約介於 5 公分~7 公分之間。
白鼠魚		此為白化症之鼠魚，因此體色為白色。體長大約介於 2 公分~3 公分之間。尾鰭透明、有刺。
白化孔雀魚		此為白化症之孔雀魚，因此體色為白色。體長大約介於 1.5 公分~2 公分之間。尾鰭透明。

表一、各種魚的外型及描述

二、實驗器材

(一) 養魚器具：

水族箱、打氣機、加熱棒、魚飼料

(二) 測量儀器與軟體：

攝錄式光學顯微鏡（有 CCD）、電腦、單槍投影機、電子白板、「會聲會影」軟體、「Micro Cap」軟體、載玻片、護貝膠膜、護貝機、載物台測微器、計算器、電子秤重計、碼表，如圖一所示。



圖一

(三) 實驗器具：

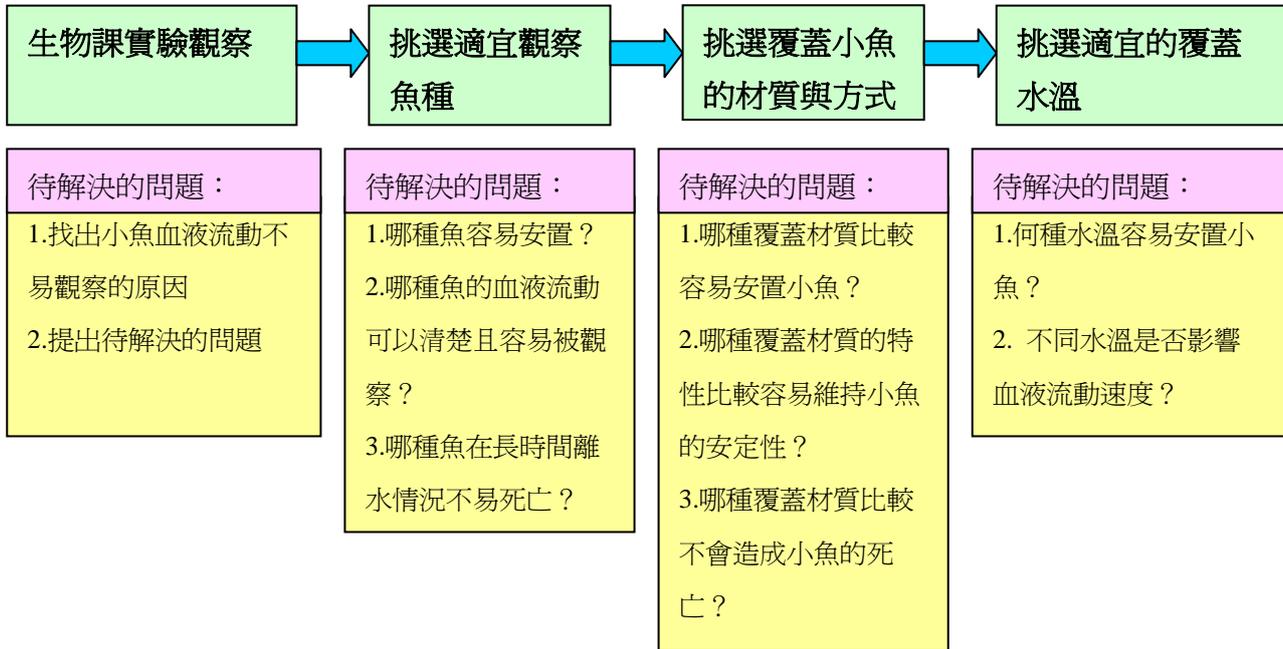
魔術擦（美耐皿發泡分子）、棉花、抹布、海綿、切割墊、沉水馬達、橡皮管、玻璃水槽、筆刀、直尺、美工刀、2 B鉛筆、滴管、燒杯、三角架、壓克力板，如圖二所示。



圖二

肆、研究過程與方法

本研究從民國 98 年 12 月開始進行至民國 99 年 6 月結束，經過討論與做實驗的經驗，我們發展的研究架構如下表二：

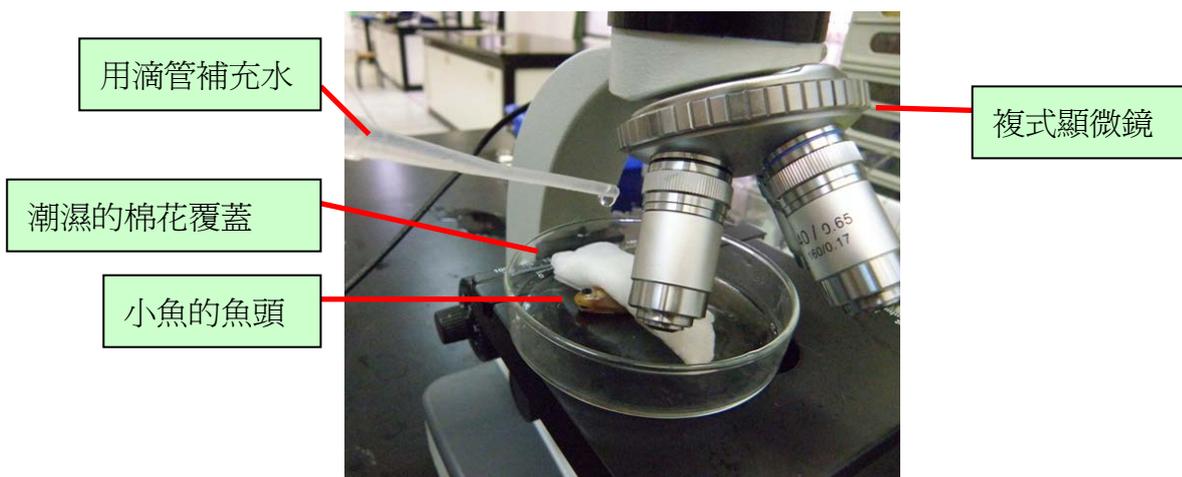


表二、實驗流程與待解決的問題

一、找出課本實驗需要改進的地方

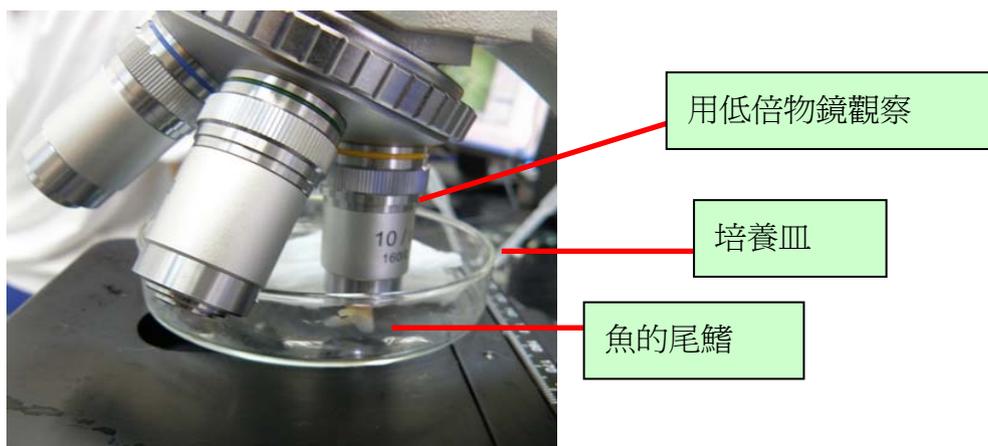
(一) 我們按照課本上的實驗步驟進行小魚血液流動的觀察，步驟如下：

1. 將棉花加水浸濕。
2. 將小魚放在培養皿，再將濕棉花輕輕覆蓋在小魚身上，並讓魚的尾鰭露在棉花外，如圖三所示。



圖三

3.將培養皿放在顯微鏡的載物臺上，使用低倍鏡觀察尾鰭的血管與血液，如圖四所示。



圖四

(二)、實驗結束後，跟老師討論並上網搜尋，找出實驗過程有哪些需要改進的地方。

二、找出哪種小魚的尾鰭最適宜觀察血液流動

(一) 觀察小魚尾鰭的構造與血管分佈 (以鯽魚為例)

我們按照課本方法，將鯽魚用潮濕的棉花覆蓋，並置於複式顯微鏡下觀察。然後使用 CCD 拍照，並標出尾鰭的構造與血管分佈。

(二) 觀察哪種小魚的尾鰭最適宜觀察血液流動

我們將鯽魚、孔雀魚、泥鰍、白化孔雀魚、白鼠魚的尾鰭外型與顏色先以相機拍照，接著將這些小魚的尾鰭置於複式顯微鏡下觀察，並使用 CCD 拍照，最後比較哪種小魚的尾鰭最適宜觀察血液流動情形。

(三) 找出哪種小魚最容易安置

根據上課經驗，安置好的小魚常常會因不舒服而跳動，這樣的舉動讓我們不勝其擾。因此我們必須找出哪種小魚離開水後最容易安置，而且安置好的小魚在載物臺上的跳動頻率最少。在安置時間的測量方面，我們將小魚從水缸撈起，就開始用碼表測量安置時間，直到將小魚以魔術擦覆蓋上，並平放在觀察平臺，三秒後，如果小魚未跳動，才停止計時，如圖五所示。



圖五、測量小魚安置時間

(四) 找出哪種小魚在離水觀察時最不會跳動

在跳動頻率的測量方面，我們利用棉花覆蓋在小魚身上，然後測量鯽魚、泥鰍、孔雀魚在 3、6、9、12 分鐘內的累積跳動次數。

三、找出觀察與安置小魚的最適宜環境

(一) 觀察小魚在水中的呼吸情形

我們觀察小魚在水中的呼吸情形，並上網查詢魚的呼吸方式，期盼可以改善小魚離開水缸時的呼吸情形。

(二) 測量各覆蓋材質的吸水率大小

覆蓋材質所含的水可以讓小魚正常呼吸，我們將海綿、魔術擦、抹布、棉花裁切成 5 公分（長）×5 公分（寬）×1 公分（厚），然後測量各材質的乾重（ W_1 ）。將各材質浸入水中，接著泡水兩分鐘，如圖六。兩分鐘後，將各材質從燒杯取出，等到不再滴水後，測量各材質吸水後的重量（ W_2 ），如圖七。先計算各材質的吸水率 = 【吸水後重量（ W_2 ） - 吸水前重量（ W_1 ）】 ÷ 吸水前重量（ W_1 ）×100%



圖六、將覆蓋材質泡水的情形



圖七、浸濕的覆蓋材質秤重

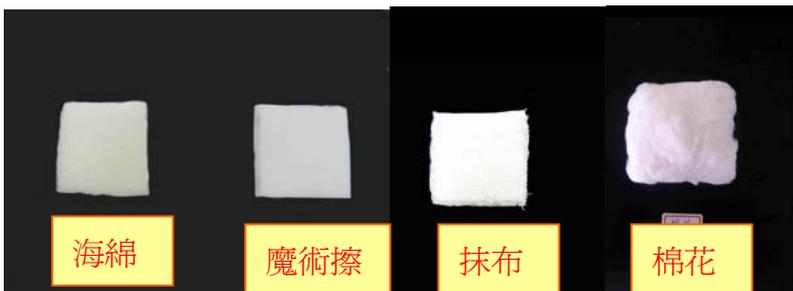
(三) 找出哪種覆蓋材質比較容易安置小魚

生物課本使用棉花覆蓋在小魚身上，可是我們認為應該有更好的覆蓋材質，因此從超級市場挑選四種覆蓋材質來進行實驗，如圖八所示。

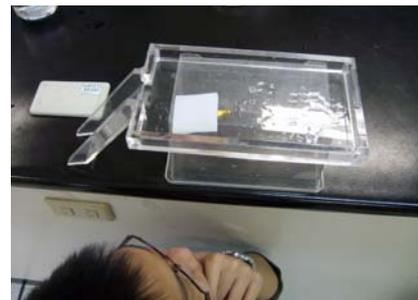
為了讓小魚的包覆性好一點，我們也事先在海綿與魔術擦等材質挖洞，接著將浸濕後的各種材質覆蓋在小魚身上，小魚安置好後，測量小魚在 3、6、9、12 分鐘內的累積跳動次數。

(四) 觀察鰓蓋能否正常開閉與小魚安穩程度的關連性

當我們完成上述實驗時，我們發現魔術擦與海棉的安置效果較好，我們很懷疑到底是材質的哪種特性使得小魚的穩定程度較好，後來經過大家討論發現小魚的鰓蓋能否正常開閉是關鍵因素，挖洞後的魔術擦與海棉可以使鰓蓋正常開閉，因此小魚就不會因為不舒服而跳動。換言之，小魚的跳動頻率也許跟覆蓋材質壓住鰓蓋有關。於是我們利用棉花調整成會壓住鰓蓋與沒壓住鰓蓋兩種情況，然後測量小魚在 2 分鐘內的累積跳動次數。如圖九。



圖八、四種覆蓋材質的外型



圖九、從平臺底部觀察鰓蓋開閉情形

四、浸過冰水的覆蓋材質是否有助於觀察小魚的血液流動

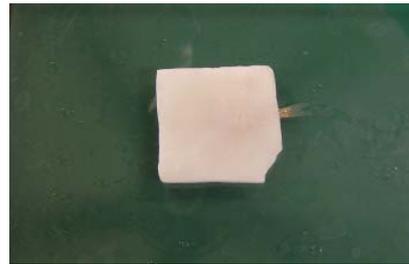
網路上傳說「泡過冰水的棉花覆蓋在小魚身上，可以增加小魚的安穩程度。」我們很懷疑這樣的觀點，因為冰水對於小魚是一種刺激，反而會讓小魚難以忍受而跳動更頻繁，於是進行以下實驗活動。

（一）浸過冰水或室溫水的覆蓋材質與小魚安穩程度的關係

我們將冰塊放入水中，利用溫度計調整水溫至 15°C 左右，如圖十，再將材質浸水，並覆蓋在魚身上，如圖十一，然後將小魚平放在觀察平臺，測量小魚在 3、6、9、12 分鐘內的累積跳動次數。再以常溫（約 20-25°C）的水重複做一遍，比較在何種環境之下，小魚的安穩程度較高。



圖十、用冰塊將水溫調整至 15°C



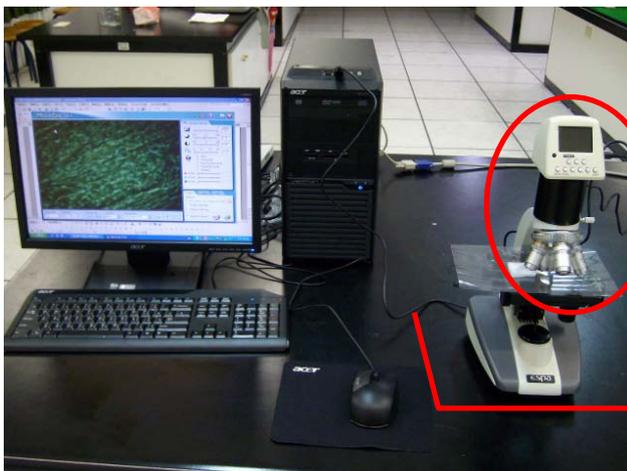
圖十一、在不同溫度覆蓋下的測試情形

五、研究適宜的方法來觀察魚尾鰭的血液流動情形

我們決定利用實驗室的單槍投影機，將顯微鏡視野中的影像放大，以方便往後的研究。

（一）將複式顯微鏡所拍攝的影像傳輸至電腦

將魚放到載物臺上，並蓋上浸過水的魔術擦，將複式顯微鏡的 CCD 裝置與電腦連接，以便將畫面傳至電腦螢幕，如圖十二所示。



數位攝影機 (CCD)

USB 連接至電腦

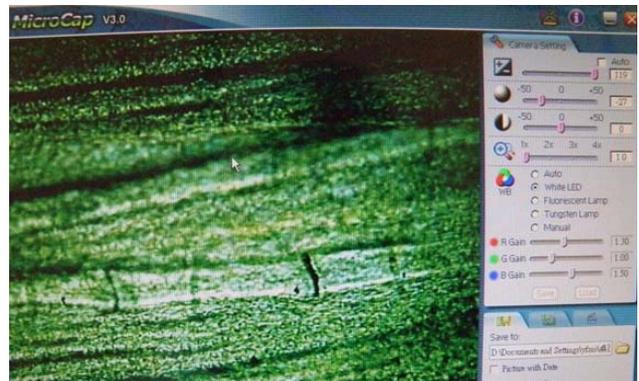
圖十二、將顯微鏡的畫面傳輸至電腦

(二) 將傳輸過來的血管影像用軟體拍攝，並儲存至電腦硬碟

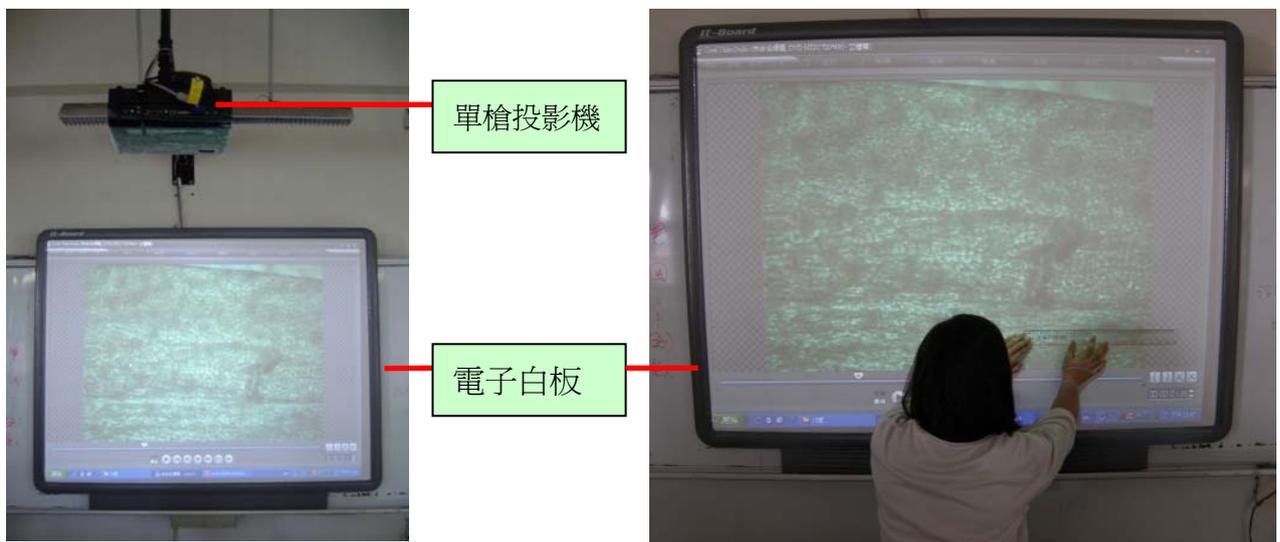
開啓「Micro Cap」軟體，此時顯微鏡所看到的畫面會在「Micro Cap」視窗中呈現，如圖十三所示。找到血管並調整至清楚。點取軟體的攝影鍵，拍攝血液流動的情形約 3~8 秒。並以拍攝時間為檔案名儲存至硬碟中。

(三) 利用電腦將血管影像傳輸至單槍投影機

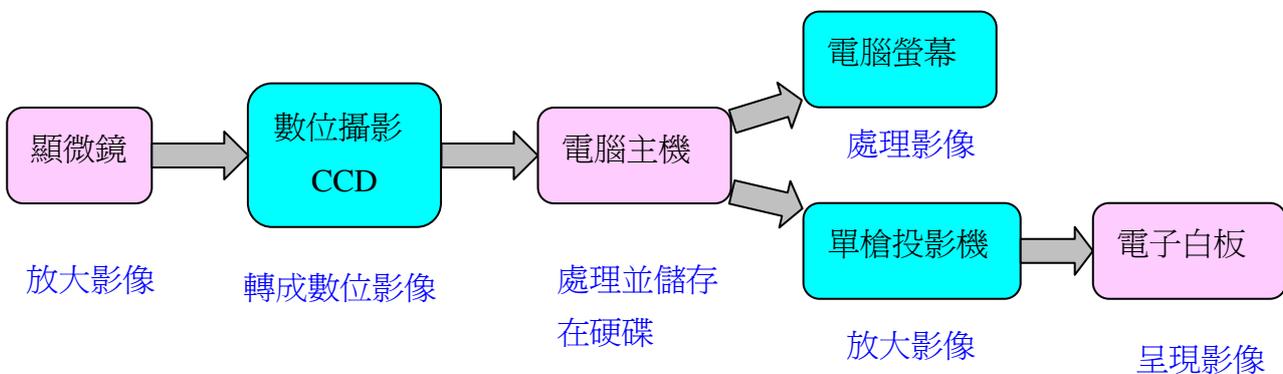
藉由投影機將複式顯微鏡的畫面投射到電子白板上。利用放大的畫面觀察血管的形態，也可以觀察血液流動情形，如下圖十四所示。影像放大的流程如下圖十五所示。



圖十三、在 Micro Cap 視窗所觀察到的影像



圖十四、單槍投影機將影像投射至電子白板，經過放大後的血管影像清楚明顯



圖十五、處理血管影像的流程圖

六、發展一套測量小魚血液流動速度的方法

(一) 換算「電子白板」的投影比例尺

首先將「載物台測微器」放在載物臺上，「載物台測微器」的每個刻度等於 10 微米。接著將畫面傳輸至電腦及單槍投影機，開啓軟體「Micro Cap」查看，並將「載物台測微器」的刻度尺拍照下來，接著開啓軟體「會聲會影」，將拍下的照片放出來，並以全螢幕模式播映，可以看見放大的「載物台測微器」刻度尺顯示在螢幕上，如下圖十六所示。最後拿一把直尺，測量在不同物鏡倍率下，電子白板顯示測微器的 50 微米等於多少公分，依此比例可以換算出電子白板的「比例尺」。



圖十六、用直尺測量電子白板的測微器刻度

(二) 測量血液流動速度的方法

我們想出一套測量血液流動速度的方法。首先將魚安置好，將複式顯微鏡的 CCD 裝置與電腦及單槍投影機連接，接著將顯微鏡下的血管畫面以「Micro Cap」軟體查看，並錄下血液流動的情形，約 3~8 秒。然後利用軟體「會聲會影」，將拍下的影片播放出來，並以全螢幕模式播映。我們以「會聲會影」軟體中「單張畫格」剪輯的功能，逐張檢視影片的每張畫格，我們就可以從每張畫格的播放時間來得知血球細胞的移動時間，可精確到 1/30 秒，並逐一觀察每張畫格上血球的路徑變化。接著用直尺測量兩張畫格上血球細胞移動的距離，如圖十七所示，以比例尺換算成實際距離。



圖十七、用直尺直接測量血球經過的路徑

計算血球細胞的移動速度，公式如下

$$\text{血球移動速度} = \frac{\text{血球移動距離}}{\text{血球移動時間}}$$

圖十八

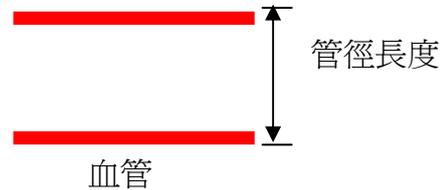
七、測量小魚尾鰭的血管管徑與血球大小

(一) 測量小魚尾鰭的血管管徑 (以鯽魚為例)

利用上述投影放大及比例尺換算的方法，觀察小魚尾鰭的動脈、靜脈及微血管，用直尺測量在電子白板上的動脈、靜脈和微血管的管徑外徑，將測量到數值 X 公分，換算成 Y 微米 (如圖十九)

$$1 \text{ 公分} : 6.7 \text{ 微米} = X \text{ 公分} : Y \text{ 微米}$$

(10 倍物鏡觀察時)



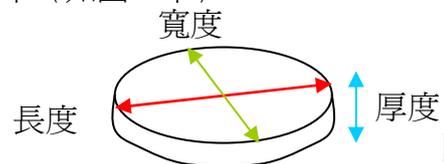
圖十九

(二) 測量小魚尾鰭的血球細胞大小 (以鯽魚為例)

利用上述投影放大及比例尺換算的方法，觀察血球細胞外形，並用直尺測量在電子白板上的血球徑大小，將測量到數值 X 公分，換算成 Y 微米 (如圖二十)

$$1 \text{ 公分} : 6.7 \text{ 微米} = X \text{ 公分} : Y \text{ 微米}$$

(10 倍物鏡下觀察)



圖二十

(三) 浸過冷水或常溫水的覆蓋材質對於小魚微血管管徑大小的影響 (以鯽魚為例)

利用上述投影放大及比例尺換算的方法，測量浸過冷水 (15°C) 或常溫水 (20~25°C) 的覆蓋材質對於小魚微血管管徑大小的影響。

八、設計適合長時間觀察小魚尾鰭的水流循環平台

(一) 設計一個有水流循環的觀察平台

我們想測試有水流的环境是否有利於長時間安置與觀察小魚，因此經過大家討論之後，試著動手設計一個有水流循環的觀察平台。之後並試著將小魚安置在有水流的平台。

(二) 觀察平臺的水流方向是否會影響小魚的安穩程度

我們將小魚放置於觀察平台，然後覆蓋上魔術擦，接著將水引流至平臺，一組是水流朝向魚頭 (順流)，一組是水流朝向魚尾 (逆流)，另外也設置一組沒有引進水流的對照組 (無流水)，如下圖二十一，觀察小魚跳動的頻率。



圖二十一、觀察水流方向對於小魚安穩程度的影響

伍、研究結果

一、找出課本實驗需要改進的地方

經過我們觀察與討論的結果，我們認為課本實驗有五項需要改進的地方：

1.水分無法順利流進魚鰓裏面

【理由】：濕棉花蓋住小魚，使得鰓蓋無法打開，因此水分無法進入魚鰓，小魚無法正常呼吸

2.棉花的含水程度似乎不高，容易乾涸

【理由】：觀察時間一久，棉花所含的水分会流至培養皿，因此棉花容易乾涸

3.棉花不容易安置小魚的身體，小魚似乎也不舒服而容易跳動

【理由】：魚身上壓著濕棉花，包覆性不佳，魚也不太舒服，因此會不定時跳動。

4.培養皿的水量會太多，顯微鏡的鏡頭容易沾濕

【理由】：棉花的水會流到培養皿，再加上魚會跳動，因此水會潑濺至顯微鏡的鏡頭。

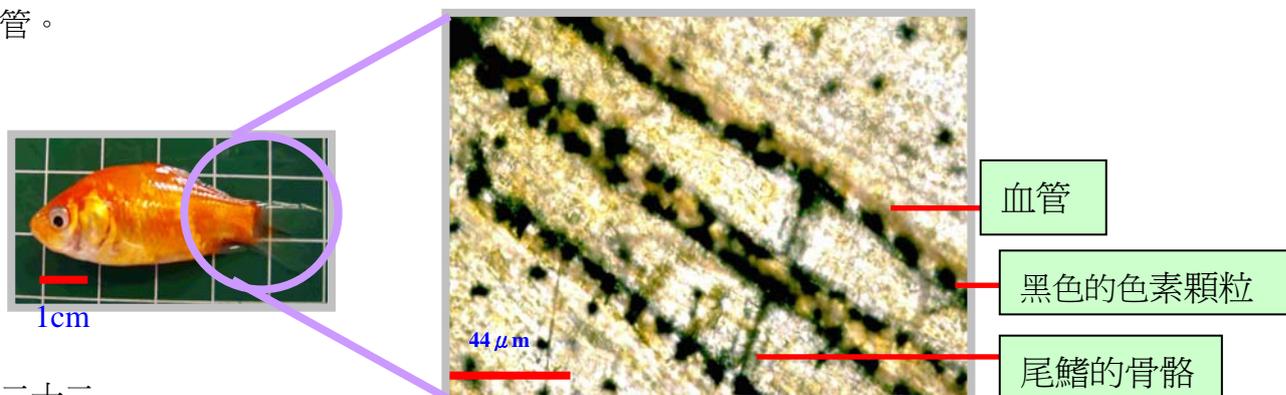
5.培養皿的玻璃擋板造成更換物鏡不方便

【理由】：培養皿的玻璃擋板較高，因此更換鏡頭時會顯得不方便。

二、找出哪種小魚的尾鰭最適宜觀察血液流動

(一) 觀察小魚尾鰭的構造與血管分佈 (以鯽魚為例)

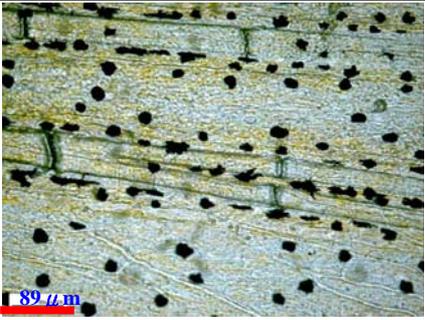
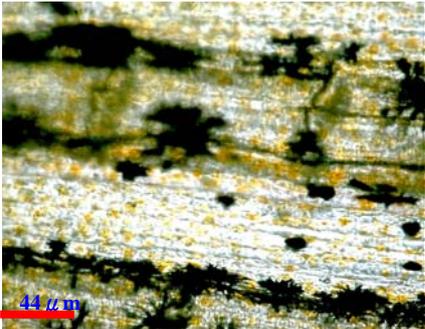
下圖是鯽魚的尾鰭及其顯微構造，可以看見尾鰭有骨骼組織、血管及色素顆粒分布，如圖二十二，血管分布不太規則，血管內可見血液流動情形，依血流方向可以分為動脈、靜脈與微血管。



圖二十二

(二) 觀察哪種小魚的尾鰭最適宜觀察血液流動

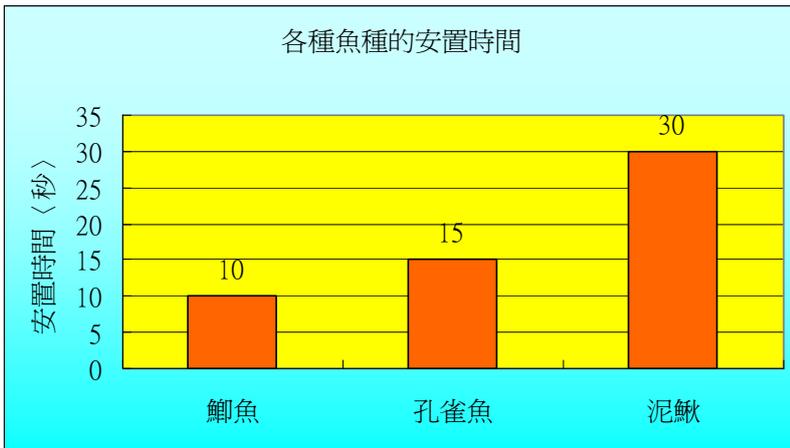
種類	尾鰭顏色	尾鰭血管照片	描述
鯽魚 (白尾型)	 尾鰭全部近似透明	 89 μm	魚鰭骨骼細長，血管清楚，無色素干擾

<p>鯽魚</p>	 <p>尾鰭前端有黑色與橘紅色色塊，尾鰭末端近似透明</p>		<p>魚鰭骨骼細長，有分支，血管大致清楚，會有色素顆粒妨礙觀察</p>
<p>鯽魚</p>	 <p>尾鰭混雜大面積黑色與橘紅色色塊</p>		<p>魚鰭骨骼細長，有分支，血管大致清楚，會有色素顆粒妨礙觀察</p>
<p>白鼠魚</p>	 <p>尾鰭全部近似透明</p>		<p>魚鰭骨骼粗，血管清楚，尾鰭有刺，若能增加血管與背景的對比會更清楚</p>
<p>白化孔雀魚</p>	 <p>尾鰭全部近似透明</p>		<p>魚鰭骨骼細長，血管清楚，若能增加血管與背景的對比會更清楚</p>
<p>泥鰍</p>	 <p>尾鰭包覆著黏液，有黑色斑紋</p>		<p>模糊不易觀察，黑色色素分佈範圍大</p>

表三、各種小魚尾鰭與血管的觀察比較

(三) 找出哪種小魚最容易安置

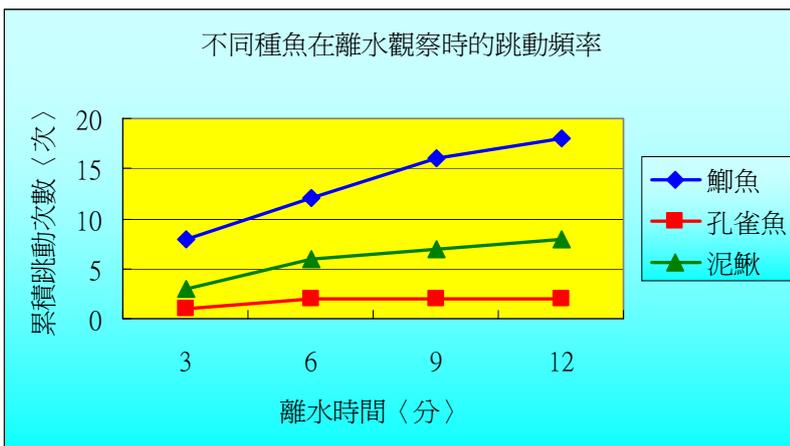
從下表四可以得知泥鰱的安置時間最長，鯽魚的安置時間最短。



表四、各種小魚的安置時間

(四) 找出哪種小魚在離水觀察時最不會跳動：

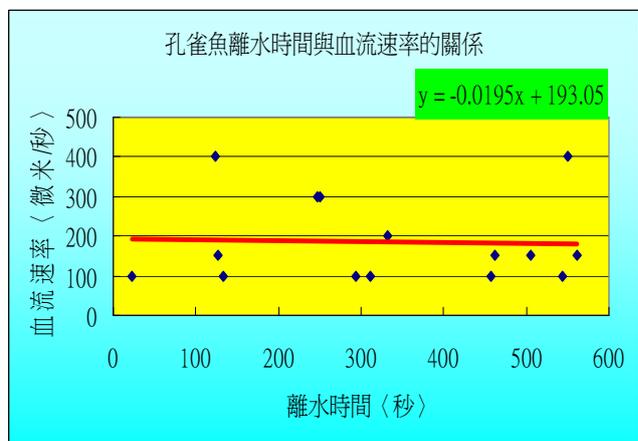
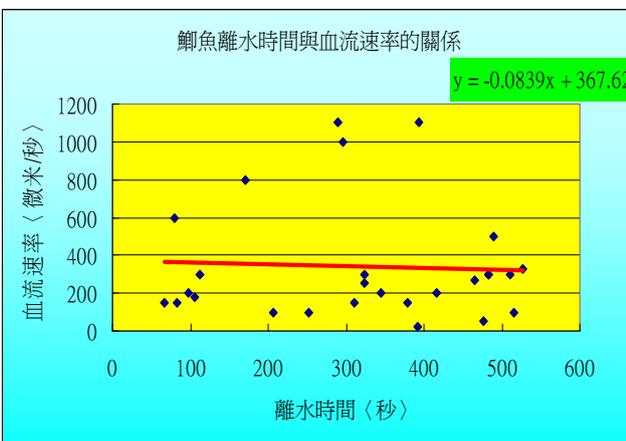
從下表五可以得知當這些小魚離開水缸，用棉花安置在載物台時，鯽魚在 12 分鐘內的累積跳動次數最多，孔雀魚則最不會跳動。



表五、各種小魚的跳動頻率

(五) 找出哪種小魚的血流速率適宜長時間觀察：

從下表六得知鯽魚與孔雀魚離開水缸，用棉花安置在載物台時，在 10 分鐘內的血液流動速率大多介於每秒 100—400 微米之間，而且在 10 分鐘內，血液流動速率仍維持一定程度。

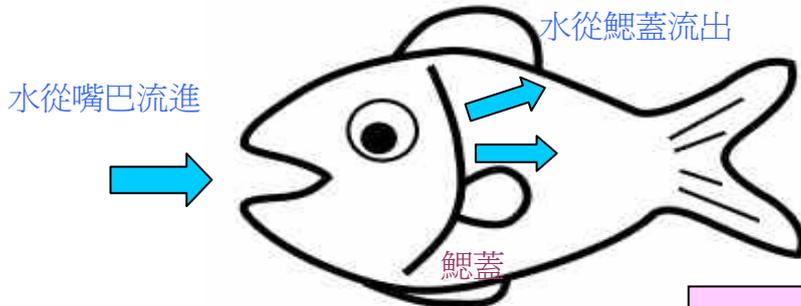


表六、鯽魚與孔雀魚在離水時的血液流速

三、找出觀察與安置小魚的最適宜環境

(一) 觀察小魚在水中的呼吸情形

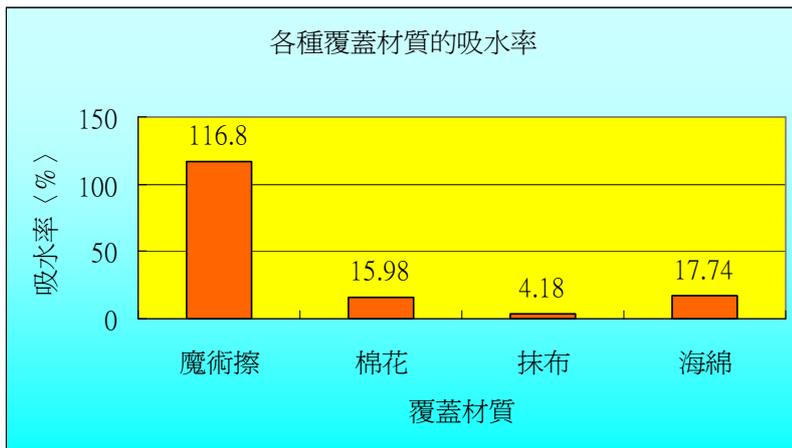
我們發現魚在水中游動時，嘴巴會微開，鰓蓋會固定開閉，這是魚利用鰓呼吸，水會從嘴巴進入，流進魚鰓，在魚鰓進行氣體交換，接著水從鰓蓋處流出，如下圖二十三所示，因此魚鰓要保持濕潤，以利於進行氣體交換。



圖二十三、小魚呼吸的水流進出方向

(二) 測量各覆蓋材質的吸水率大小

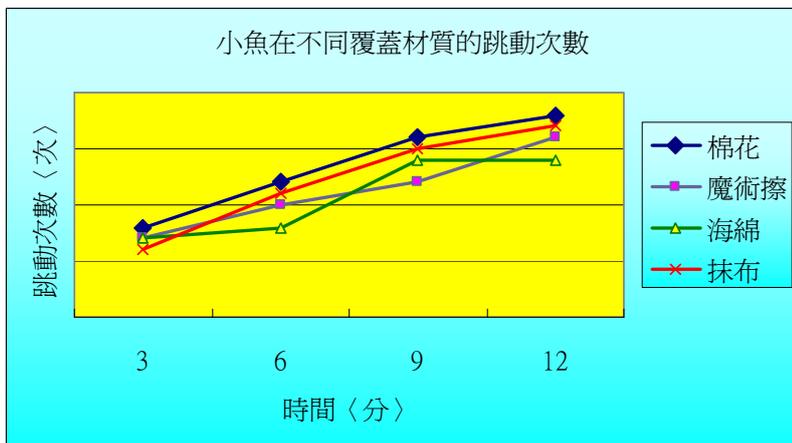
從下表七可以得知魔術擦的吸水率最大，其次是海棉。吸水率愈大，則愈有利於維持魚鰓濕潤的環境。



表七、各種覆蓋材質的吸水率

(三) 找出哪種覆蓋材質比較容易安置小魚

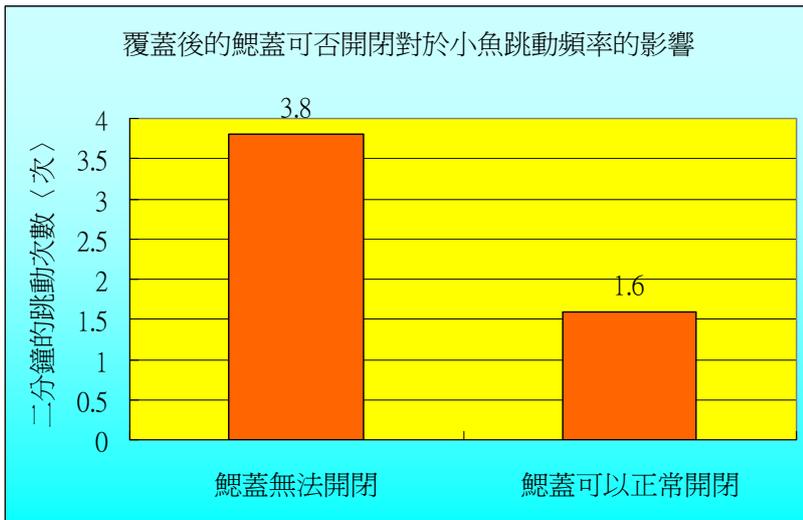
從下表八可以得知有挖洞的魔術擦與海棉較佳，我們認為可能是挖洞的材質讓鰓蓋可以正常開閉，因此小魚比較舒服。



表八、小魚在各種覆蓋材質的跳動頻率

(四) 觀察鰓蓋能否正常開閉與小魚安穩程度的關連性

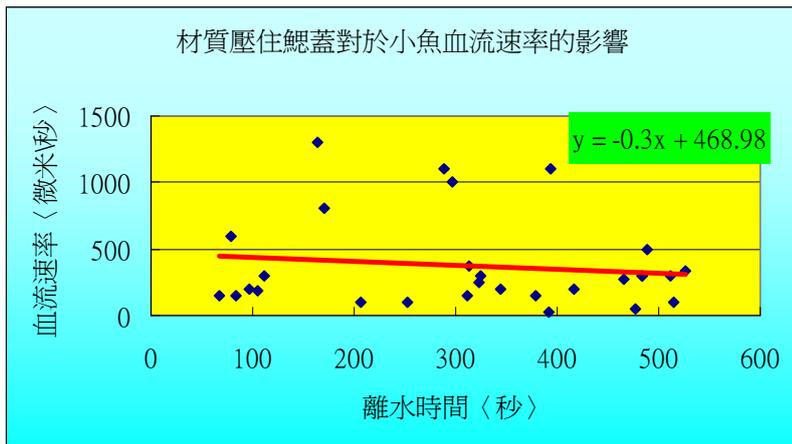
從下表九得知鰓蓋可以正常開閉的小魚，兩分鐘內的跳動頻率比較低。



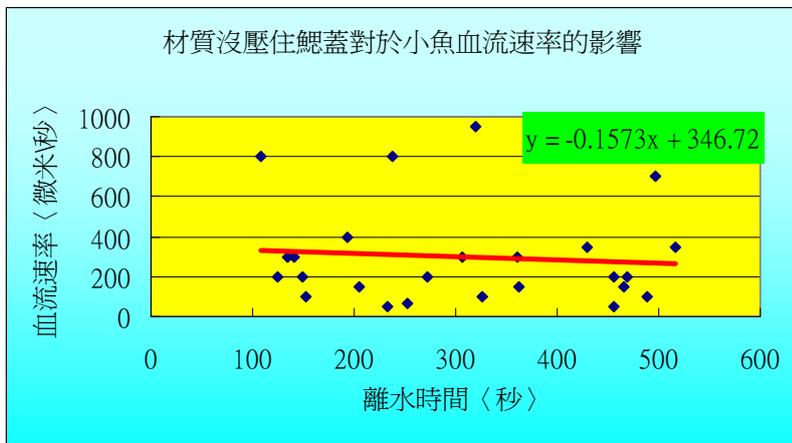
表九、鰓蓋壓住與否對於小魚跳動頻率的影響

(五) 覆蓋材質壓住鰓蓋與否對於小魚血液流速的影響

從下表十及表十一的比較得知，覆蓋材質若沒有壓住鰓蓋，則小魚在 10 分鐘內的血流速率下降幅度比較緩和，表示鰓蓋能正常開閉的狀態較有利於維持小魚的生命力。



表十、壓住鰓蓋對於小魚血液流速的影響

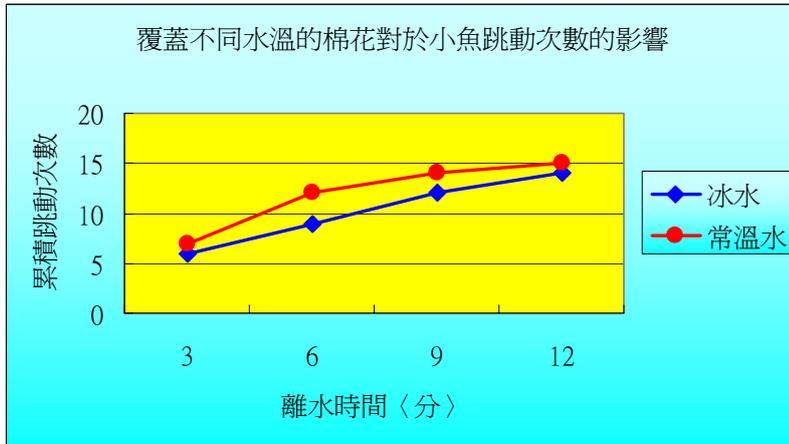


表十一、沒壓住鰓蓋對於小魚血液流速的影響

四、浸過冰水的覆蓋材質是否有助於觀察小魚的血液流動

(一) 浸過冰水或常溫水的覆蓋材質與小魚安穩程度的關係

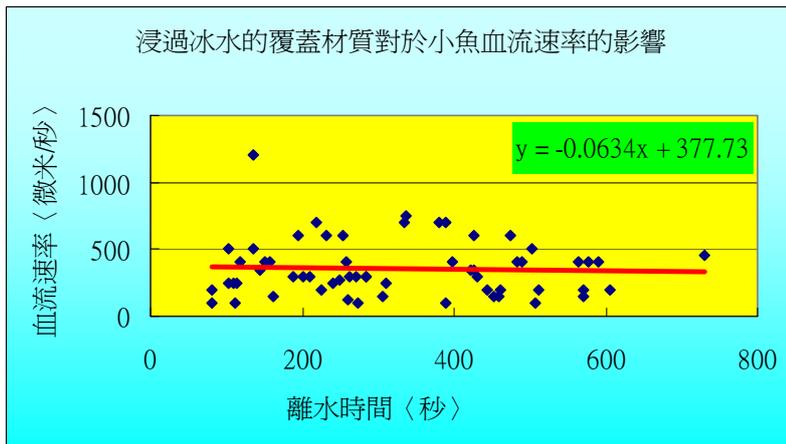
從下表十二得知，將浸過冰水（15°C）的材質覆蓋在鯽魚身上，其跳動頻率比較低。



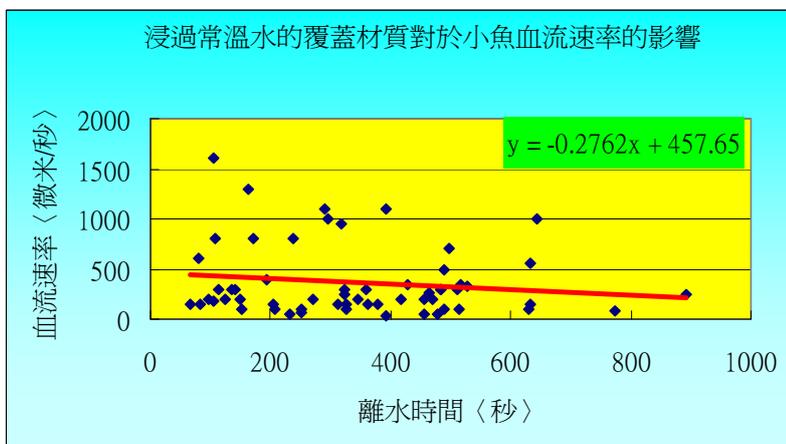
表十二、覆蓋不同水溫的棉花對於小魚跳動頻率的影響

(二) 浸過冰水或常溫水的覆蓋材質對於小魚血液流速的影響（以鯽魚為例）

從下表十三及表十四比較得知，將浸過冰水（15°C）或常溫水（20-25°C）的材質覆蓋在鯽魚身上，在 10 分鐘內的血流速率都仍維持在一定範圍內。



表十三、覆蓋浸過冰水的棉花對於小魚血液流速的影響

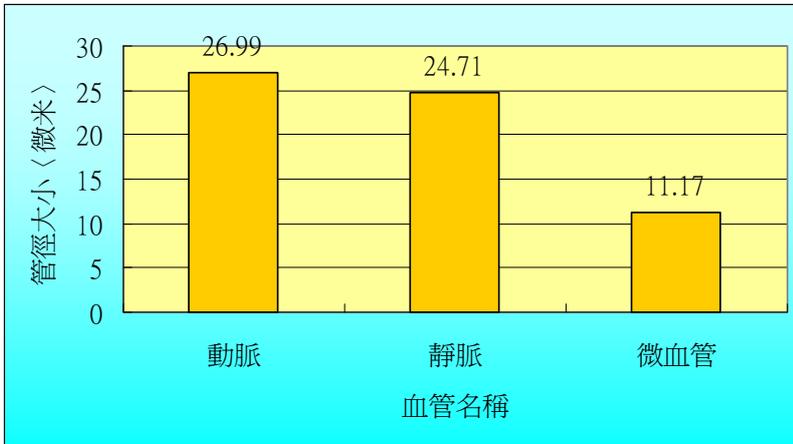


表十四、覆蓋浸過常溫水的棉花對於小魚血液流速的影響

五、測量小魚尾鰭的血管管徑與血球大小

(一) 測量小魚尾鰭的血管管徑 (以鯽魚為例)

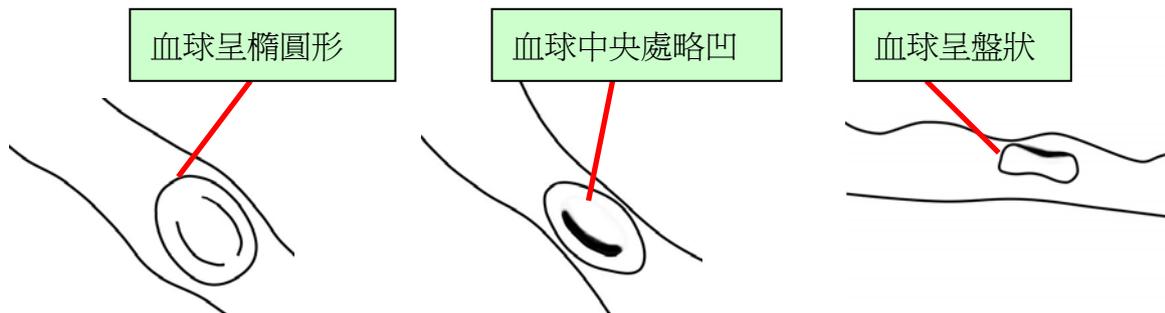
我們觀察到鯽魚尾鰭的三種血管管徑大小：動脈 > 靜脈 > 微血管。



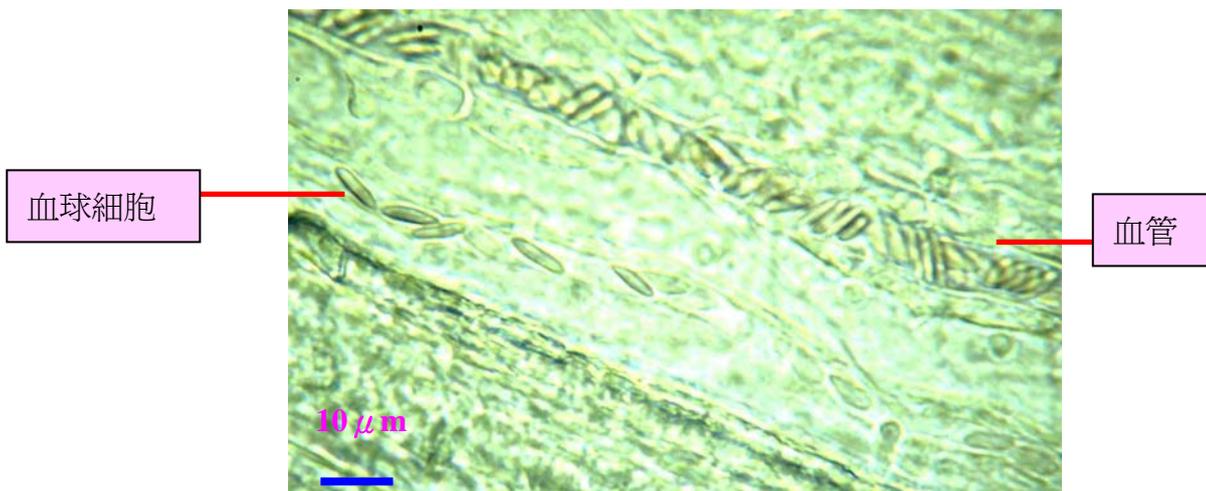
表十五、三種血管的管徑大小

(二) 測量小魚的血球細胞大小 (以鯽魚為例)

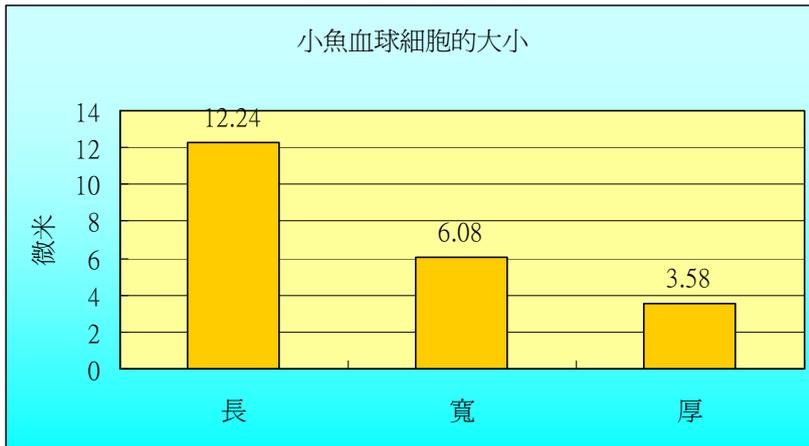
我們觀察到鯽魚的血球外形，呈現橢圓扁平狀，中央略凹，如下圖二十四及圖二十五所示，而且血球的長度約 12.24 微米與微血管的管徑大小相近，結果如表十六所示。



圖二十四、血球細胞的形態

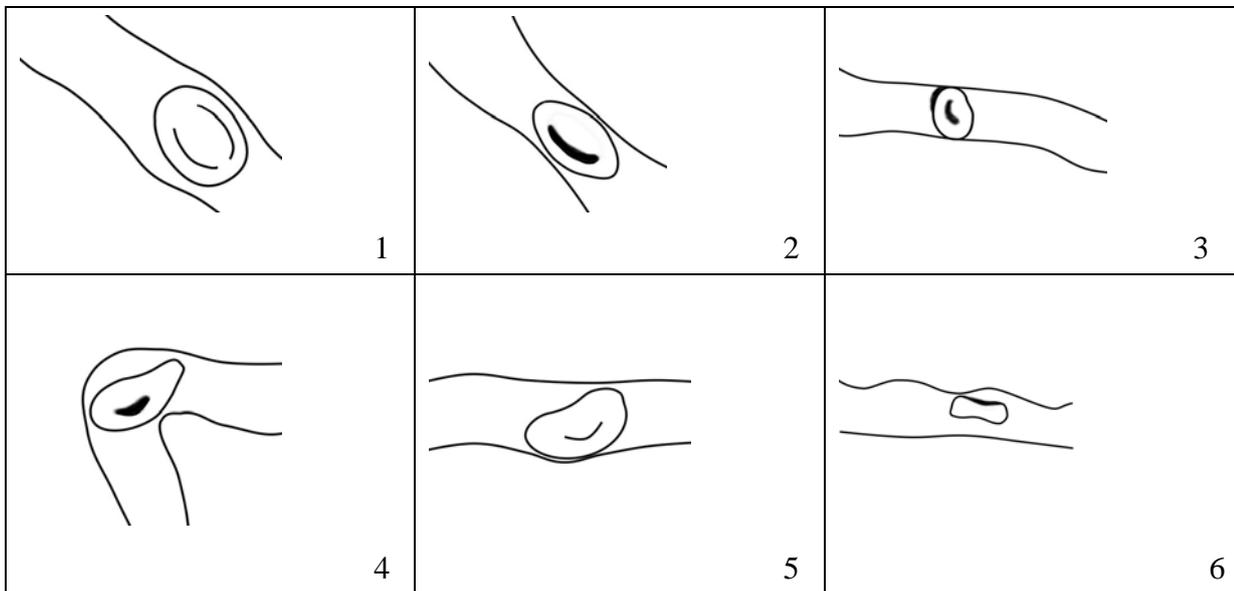


圖二十五、血球在血管流動的情形



表十六、鯽魚的血球細胞大小

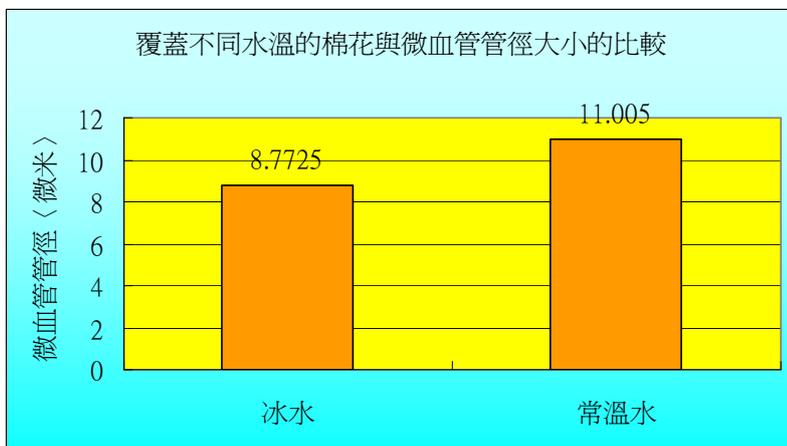
我們也試著畫出血球細胞在血管內流動的情形，結果如下圖二十六所示：



圖二十六、血球在血管內流動示意圖

(三) 浸過冰水或常溫水的覆蓋材質對於小魚微血管管徑大小的影響 (以鯽魚為例)

如下表十七所示，我們發現將浸過冰水的材質覆蓋在小魚身上時，其微血管的管徑會略為縮小。

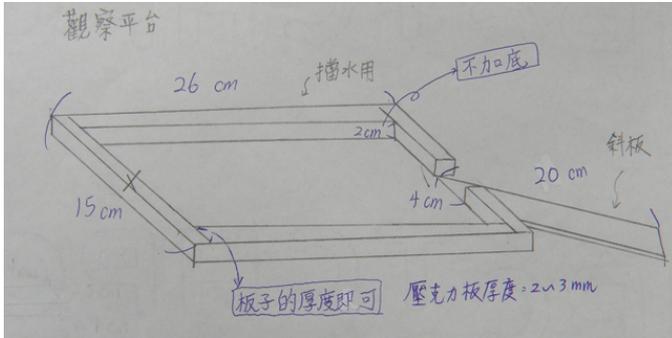


表十七、浸過冰水與常溫水的覆蓋材質對於微血管管徑大小的影響

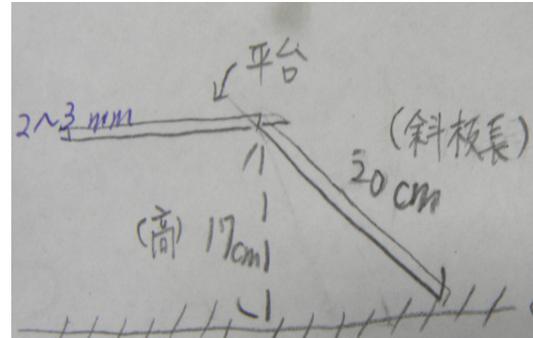
六、設計適合長時間觀察小魚尾鰭的水流循環平台

(一) 設計一個有水流循環的觀察平台

希望可以長時間觀察小魚尾鰭的血液流動，因此我們想在觀察平台引入水流。我們就設計一個有水流循環的觀察平台。觀察平台的設計草稿圖如下圖二十七與圖二十八所示。

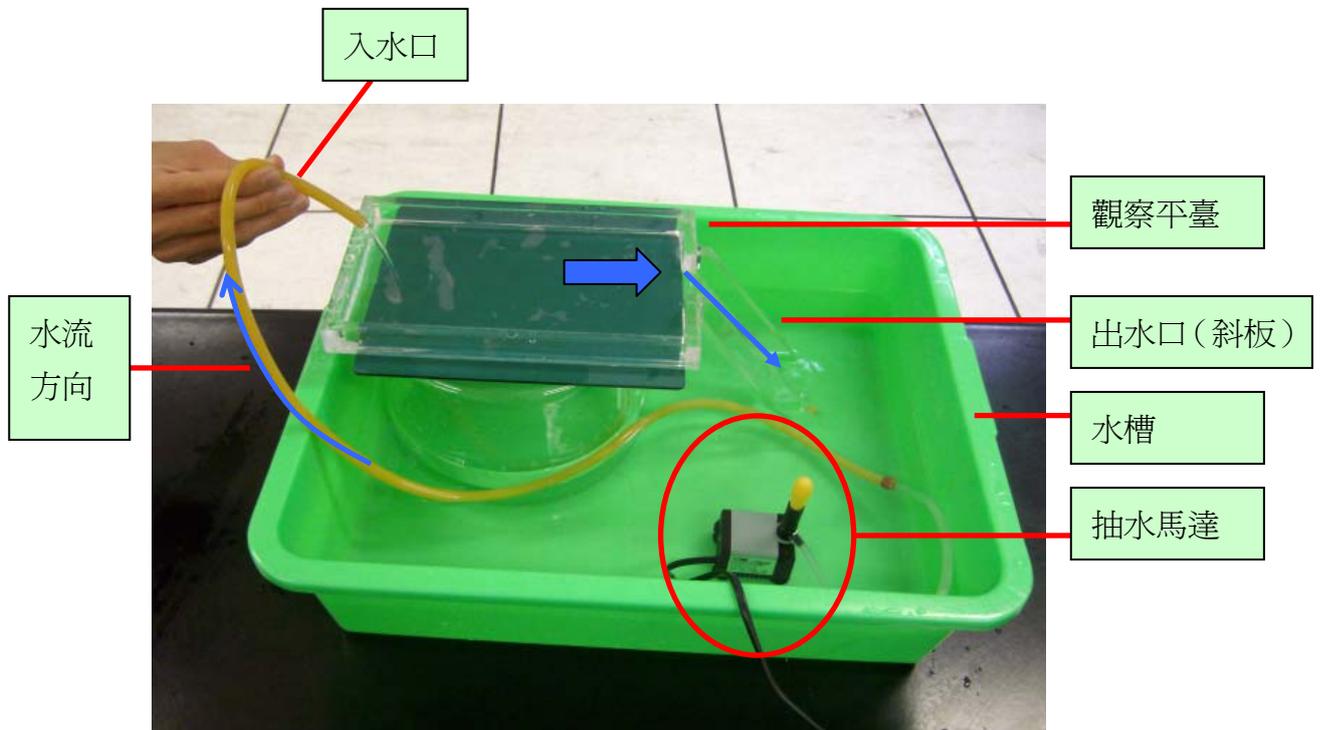


圖二十七、觀察平台的設計草稿（正面圖）



圖二十八、觀察平台的設計草稿（側面圖）

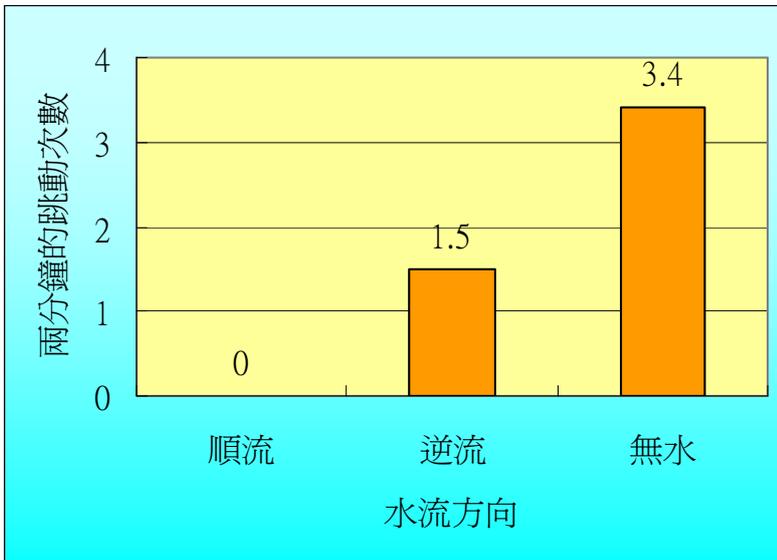
我們以壓克力製作成觀察平台，爲了引進水流，我們將觀察平臺放置在大水盆內，接著利用沉水型抽水馬達，將盆內的水經由橡皮管引到觀察平臺上，然後這些水會再經由斜板流回大水盆中，就可以循環利用。整個有水流循環的觀察平台裝置如下圖二十九所示。我們曾經將小魚擺放在有水流的平台長達十七分鐘，放回魚缸也都沒任何異狀，初步證實這個觀察平台的成效。



圖二十九、有水流循環的觀察平台與周遭裝置

(二) 觀察平台的水流方向是否會影響小魚的安穩程度

我們發現有水流狀態下，魚比較安穩地待在觀察平台，無水流狀態反而容易跳動。而且順流方向使得魚的嘴巴一直有接觸到水，安穩程度更高。結果如下表十八所示：



表十八、水流方向對於小魚安穩程度的影響

陸、討論

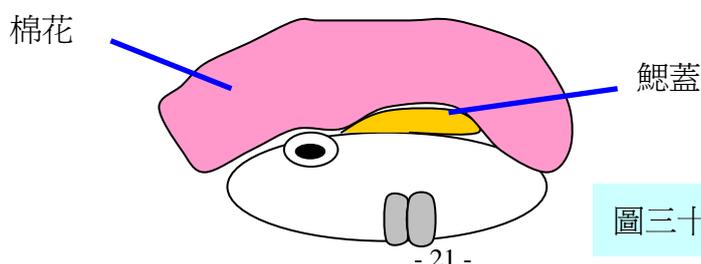
一、這次實驗的魚種的比較結果如下表十九所示，我們認為**白化孔雀魚**、**白尾型鯽魚**，可以比較容易而且清楚地觀察到尾鰭的血液流動情形。白鼠魚的鰭有刺，容易受傷，因此不予考慮。

種類	價錢（一隻）	取得難易度	飼養難易度	安置難易度	跳動頻繁度	尾鰭出現斑點的情形	血管清楚程度
鯽魚	小於 3 元	容易	容易	容易	較高	依個體差異	有透明區域就可以看清楚
泥鰍	小於 10 元	容易	容易	不好安置	較低	有黑色斑點分布	尾鰭有黏液，不易觀察
孔雀魚	15 至 20 元	容易	容易	容易	較低	色斑範圍大	色斑會妨礙觀察
白化孔雀魚	大於 100 元	不易	容易	容易	較低	沒有斑點	大致清楚
白鼠魚	10 元	不易	容易	鰭有刺，要小心	不適合做實驗	沒有斑點	大致清楚

表十九、實驗用魚種類的比較

二、若是再考慮價格、取得容易度、安置難易度，則可以採用一般鯽魚，只要挑選尾鰭的斑點範圍少，透明區域較廣，就適用在課堂上，此外鯽魚有較強的適應環境能力，也比較不會因實驗操作過長而死亡。泥鰍則由於身體滑溜，不好抓也不易安置，同學也比較懼怕，再加上身上的黏液會影響觀察，也不建議採用。

三、本研究發現**小魚經常跳動的原因在於鰓蓋常被覆蓋材質壓住，以至於小魚無法正常進行呼吸運動，因而不舒服地跳動**，這種感覺有點像是被摀住鼻子一般難受，而且壓住鰓蓋，也使得水分無法流進魚鰓來協助呼吸。因此我們認為課本實驗失敗的主要因素並非使用「棉花」這種材質，而是因為我們常不經意壓住小魚的鰓蓋，使得小魚產生不舒服的感覺，如下圖三十所示，這是本研究很重大的發現。

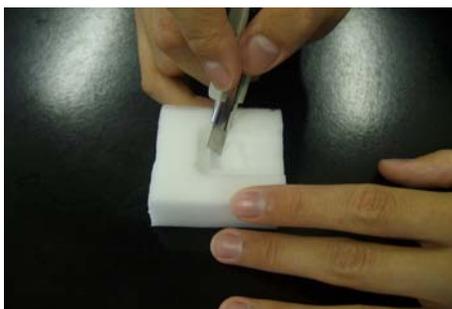


圖三十、棉花壓住鰓蓋的情形

四、我們建議使用挖洞的魔術擦或挖洞的海棉來作為覆蓋材質，這些覆蓋材質不易壓住鰓蓋，若再比較裁切難易度與價格來說，我們更推薦使用魔術擦，結果如下表二十所示。

種類	價錢	製作覆蓋材質難易度	環保性	吸水率	跳動頻繁度	覆蓋後，鰓蓋能否開閉
魔術擦	低	容易裁切、容易挖洞	可重複使用	高	較低	形狀固定，可以挖洞，讓鰓蓋能開閉
海綿	較高	容易裁切、不好挖洞	可重複使用	中等	較低	形狀固定，可以挖洞，讓鰓蓋能開閉
棉花	低	不能裁切	用完丟棄	中等	較高	需調整放置方法
抹布	較高	不好裁切	可重複使用	低	較高	形狀不容易固定

五、挖洞魔術擦的製作方法如下：先用筆畫出挖洞範圍，再以美工刀挖出凹槽，挖出來的空間就可以避免壓住鰓蓋，如下圖三十一與圖三十二所示。我們可以偶爾滴水補充魚鰓的水分。其他覆蓋材質（除了抹布外）也都可以利用調整放置方式來避免壓到鰓蓋，例如棉花可以彎曲成拱形，海綿也可以挖洞。



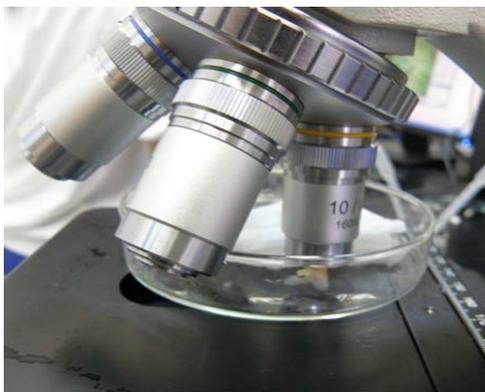
圖三十一、使用美工刀在魔術擦挖洞



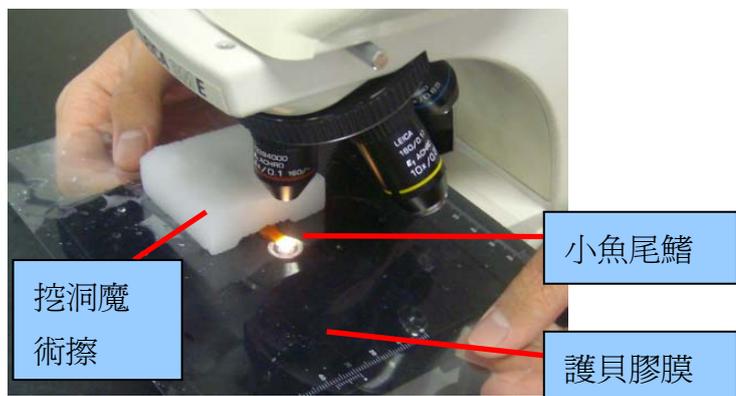
不會壓住鰓蓋

圖三十二、挖洞的魔術擦可避免壓到鰓蓋

六、改良後課本的實驗方法，可參考圖三十三與圖三十四的差異以及表二十一建議事項，我們可挑選白尾型鯽魚或白化孔雀魚作為實驗材料，然後使用「挖洞」而且浸過「冰水」的「魔術擦」來覆蓋小魚身體，偶爾滴水補充，也使用平坦的護貝膠膜取代培養皿，觀察時間的長度最好在十分鐘以內。



圖三十三、改良前的實驗方式



挖洞魔術擦

小魚尾鰭

護貝膠膜

圖三十四、改良後的實驗方式

項目	改良後的實驗方式
挑選魚種	白尾型鯽魚、白化孔雀魚
覆蓋材質	挖洞的魔術擦、彎成拱型的棉花
材質浸泡水溫	15°C 冰水
覆蓋方式	讓鰓蓋可以正常開閉，避免壓住鰓蓋
水分補充	偶爾滴水補充〈每三分鐘滴一次〉
觀察平台	改用護貝膠膜
觀察時間	最好在十分鐘以內
更換鏡頭	用手拉移護貝膠膜，再更換鏡頭

表二十一、改良後的實驗建議事項

七、**魔術擦的主要材質為美耐皿**（melamine）發泡分子，常作為家用清潔工具，由於其超微纖維非常細小，若配合水以及摩擦作用就可去除污垢。本研究拿來作為小魚的覆蓋材質也非常好用，一方面吸水率高，另一方面也容易裁切挖洞。

八、我們也發現小魚若是順著有水流的状态下，即使平躺著沒有覆蓋任何材質，也不太會有跳動的情形。換言之，**覆蓋材質的重要功能不在於固定身體，而是補充魚鰓所需的水分**。不過實際有水流的情況下，小魚容易隨著水流而溜走，即使覆蓋上魔術擦固定身體，尾鰭也會隨著水流而上下飄動，造成顯微鏡對焦的困難，因此這個觀察平台仍有改進空間。

九、我們想了解改良後的實驗方法是否有成效，發展一套**測量小魚血液流速的方法**，希望可以解釋改良前後的血液流速是否有影響。**此方法稱為「顯微投影暨畫格計時測量法」**，解決方法與特色如表二十二所示，經由放大投影的影像很適合用於生物實驗的觀察與討論。

困難的問題	解決方法	特色
血球太小不易觀察	先利用顯微鏡將影像第一次放大，再利用單槍投影機進行影像第二次放大。本次研究可將原物體放大 6250 倍。	觀察到的顯微影像轉換成數位訊號，利於電腦處理與儲存，而且顯微影像可以清楚呈現在電子白板，方便觀察與直接測量
如何測量血球移動的距離	利用載物台測微器轉換的比例尺，直接在電子白板測量血球在兩個畫格間所移動的距離。	血球與血管可以清楚呈現在電子白板，方便我們觀察與測量
如何測量移動的時間	利用「會聲會影」影片剪輯軟體「逐一檢視畫格」的功能，瞭解兩個畫格的時間間隔。	每一個畫格的時間尺度可精確到 1/30 秒，可以廣泛應用在需要精確量測時間的實驗。

表二十二

十、本實驗所研發「顯微投影暨畫格計時測量法」的限制在於僅能測量微血管的血液流速，尚無法測量動脈與靜脈的血液流速，主要是因為動、靜脈的血球數量太多，常同時密集聚在一起，造成每顆血球的辨識困難，也因此很難測量每顆血球的移動距離與時間。

十一、小魚的血液流速若維持在一定範圍內表示正常。我們曾經觀察到一條快死掉的小魚，其尾鰭的血液流動幾乎停滯不動，因此認為血液流速太慢，可能代表小魚的生命力正在衰弱或是無力抵抗不良環境因素。本實驗發現鯽魚與孔雀魚在離開水缸十分鐘以內的血液流速大多介於 150-400（微米/秒），下表二十三是評估血液流速的檢查表，小魚的血液流速大多屬於「速流」與「行流」類型。若是血液流速低於此數值，屬於「緩流」的類型，則建議最好趕緊放回水中，以避免傷亡發生。

血液流速類型	血液流速大小	觀察描述
急流	在 600 微米/秒以上	流速很快，幾乎看不到血球的輪廓。
速流	介於 300~600 微米/秒之間	可以看到血球的形狀，但不是非常清楚。
行流	介於 150~300 微米/秒之間	流速稍慢，可以很清楚的看到血球輪廓。
緩流	在 150 微米/秒以下	流速最慢，可以非常清楚的看到血球的形狀，有時血球甚至會停滯不前。

表二十三、評估血液流速的檢查表

十二、使用浸過冰水的材質覆蓋在小魚身上，我們發現冰水會使小魚尾鰭的微血管收縮。印證課本所說：「天氣冷時，人體的微血管會收縮。」這也說明血管管徑大小或是血液流速會受到許多因素（例如溫度）的影響，我們未來可以利用這套測量血液流速的方法來探討影響血流速率的眾多因素。

十三、感謝所有因實驗死亡的小魚，因為你們的犧牲，讓我們完成了這次的實驗。也懷著一顆感恩的心，謝謝師長的指導、家人的支持及同學的鼓勵。

柒、結論

- 一、建議挑選白尾型鯽魚或白化孔雀魚作為觀察的對象，可以比較容易而且清楚地觀察到尾鰭的血液流動情形。
- 二、使用棉花等覆蓋材質壓住小魚的鰓蓋開閉是造成小魚不舒服而經常跳動的主要原因。
- 三、建議使用挖洞的魔術擦或是注意棉花覆蓋的方式，這些方法都可以避免壓住鰓蓋。
- 四、建議使用浸過冰水（15°C）的魔術擦或棉花來覆蓋小魚，可以降低小魚的跳動頻率。
- 五、建議小魚離開水缸的觀察時間勿超過十分鐘，以避免造成小魚的傷亡。
- 六、建議使用平坦的護貝膠膜來取代培養皿，可降低擺放及更換物鏡的不方便。
- 七、我們發展的「顯微投影暨畫格計時測量法」可以用來測量小魚微血管的血液流速，也可以用來測量血管管徑與血球的大小。
- 八、「顯微投影暨畫格計時測量法」可以將顯微影像藉由顯微鏡與單槍投影機的放大，讓我們更清楚觀察到血管與血液等細微構造，很適合用於生物實驗的觀察與討論。
- 八、鯽魚或孔雀魚的微血管血液流速大多介於 150-400（微米/秒），若是血液流速過慢，建議趕快將小魚放回水缸。
- 九、我們也設計一個有水流循環的觀察平台，希望可以用來長時間觀察小魚的血液流動情形。

捌、參考資料

- 一、鯽魚的生活環境及適應環境的主要特點，百度百科，<http://zhidao.baidu.com/question/20266729.html>
- 二、國中自然與生活科技課本〈一年級上學期〉，2009，康軒文教事業出版
- 三、易政男，2001，微循環顯微影像之擷取與分析，國立中央大學光電科學研究所碩士論文
- 四、李逸華，2006，影像處理於微循環檢測之研究，國立彰化師範大學機電工程學系碩士論文
- 五、魔術擦，自由電子報，<http://www.libertytimes.com.tw/2005/new/jul/25/today-life1.htm>

【評語】 030307

本作品為改進小魚在比較安靜狀態下，可以進行改良課本「觀察小魚血液流動」的實驗方法，用白尾型「鯽魚」或白化孔雀魚為材料，運用覆材及低溫之改良條件可以在顯微鏡及數位攝影機之結合下做觀察。但如何建立量化之血液流動分析及外加強化因子的運用，並未提出有建議性的實驗方向，較為可惜。