

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 地球科學科

佳作

080503

河川中的彩虹光譜

—製作行動光譜儀分析河川水色

學校名稱：基隆市信義區東信國民小學

作者： 小六 李姍姍 小六 吳宗諳	指導老師： 吳季娟 余明樹
-------------------------	---------------------

關鍵詞：光譜、水質檢測、河川汙染

摘要

本實驗採集流經基隆市的三條河川，包括田寮河、基隆河、西勢溪三條河流上中下游的河水，進行河水的透光度分析，以了解河川的濁度和初步判斷河水被污染的類別。我們製作以光碟片、手機組合而成的行動光譜儀，分析河川的水質光譜。發現平均透光度最高的測站是西勢水庫 0.97、平均透光度最低是田寮河金雞橋 0.47。河川的平均透光度：西勢溪 0.81 > 基隆河 0.75 > 田寮河 0.69。分色透光度分析：基隆河的紅光透光率較低，田寮河的紅光透光率較高，西勢溪則各顏色的透光率接近相同。

根據實驗結果，這三條河川中水源地的西勢溪最為乾淨，其次是沿岸有工廠的基隆河，而流經市區住家最多的田寮河污染最嚴重。希望以後利用行動光譜儀持續的監測河川，關心我們的生活環境。

壹、研究動機

在齊柏林導演拍攝的『看見台灣』記錄片中，我們看見台灣的某些河川被污染得相當嚴重，而生活在台灣的我們卻往往不自知。因此我們想找出簡易的方法，讓大家隨時可以檢測生活週遭的河川，了解它們的健康狀況。清澈的河水往往在受了污染後會改變其顏色、不同的污染源也會產生不同的顏色變化。因此使用光譜儀分析河水的顏色是一個快速簡易調查河川污染的方法。但專業的光譜儀價格太昂貴，通常在專業的實驗室才有此設備，一般人負擔不起。於是我們想要動手製作成本低廉的光譜儀。我們先在網路上搜尋有關光譜儀的資料，然後利用手機、光碟片自製行動光譜儀，拍照分析河川水色之後，再以顯微鏡觀察做對照，以了解河川的水質狀況。希望能藉此實驗，喚起大家對河川污染和環境保護的關心。

貳、研究目的

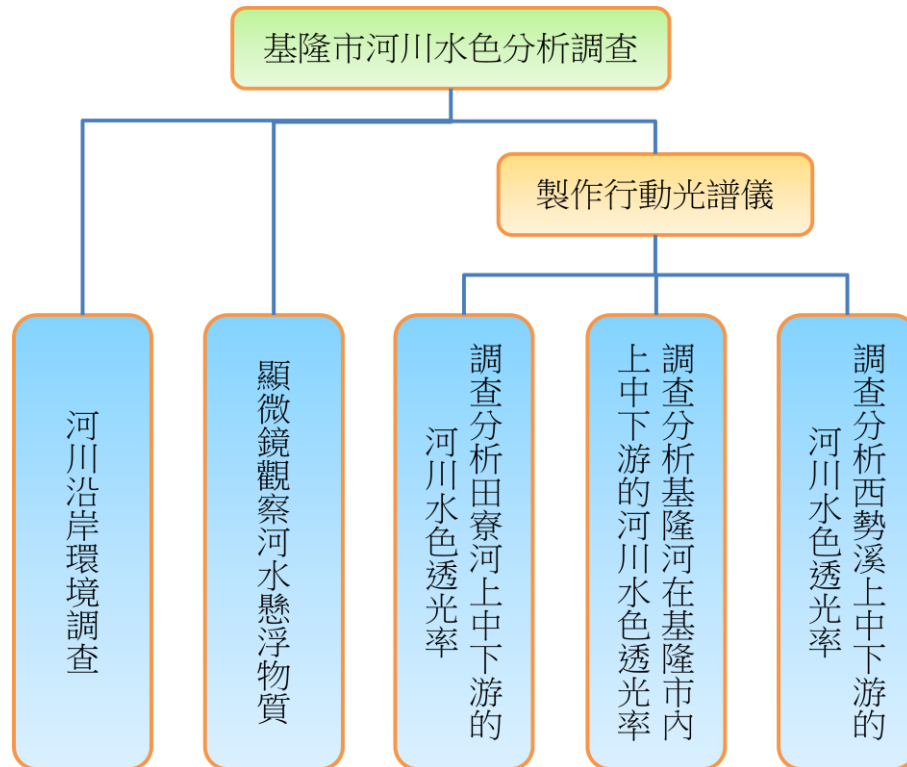
- 一、 利用手機及光碟片製作行動光譜儀。
- 二、 調查分析基隆河在基隆市內上中下游的河川水色。
- 三、 調查分析西勢溪上中下游的河川水色。
- 四、 調查分析田寮河上中下游的河川水色。

參、研究設備及器材

智慧型手機、手機保護殼、DVD 光碟片、黑色厚紙板(1mm)、厚紙板(5mm)、黑色膠帶、螢光燈泡、鹵素燈泡、鎢絲燈泡、LED 手電筒、方型玻璃瓶、燒杯、滴管、酒精、顯微鏡、採水筒、繩索、收集瓶、汽車電源變壓器。

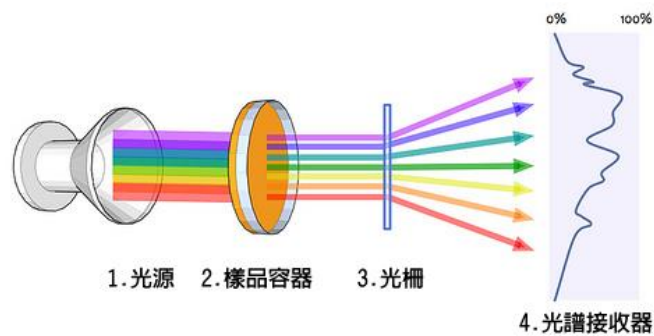
肆、研究過程或方法

一、研究設計與架構



二、製作行動光譜儀

我們在網路上搜尋光譜儀相關資料後，得知光譜儀的主要構造是由「光源」、「樣品檢驗容器」、「光柵」、「光譜接收感應器」等主要元件組成（如圖 1）。光源產生的光，經過樣品檢驗容器，光被容器內的檢測物質吸收一部分後，經過光柵分光，然後被光譜接收感應器接收轉換為光譜數值。於是我們開始對光譜儀各元件進行研究和實驗。



(圖 1)光譜儀的構造

(一) 光譜儀模型製作

我們在網際網路上搜尋光譜儀的紙模型，希望能找到適合的紙模型作為光譜儀外型。我們找到「中央大學物理演示實驗室」所設計的掌中光譜儀紙模型，其平面圖如(圖 2-1)，完成模型如(圖 2-2)，經測試後發現其構造不利於拍攝光譜照片。最後我們在網際網路上找到「公共實驗室」所設計的光譜儀紙模型，平面圖如(圖 2-3)，完成模型如(圖 2-4)，它的構造適合和筆記型電腦、平板電腦和手機等行動裝置結合拍攝光譜照片。經測試後發現效果良好。



(二) 光譜儀光柵製作





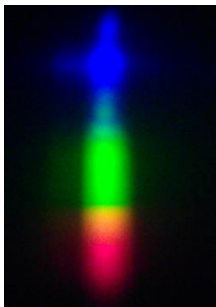
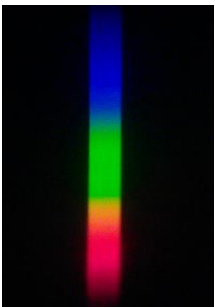

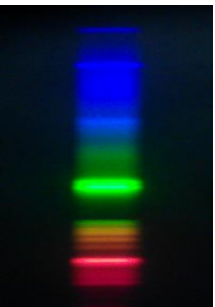
DVD 光碟片上的細紋可產生分光的效果，我們將光碟片 45 度角對準光源可看到彩虹(圖 3-1)就是分光的效果，可作為光譜儀的光柵。其製作方法先將 DVD 光碟片剝離(圖 3-2)，取出透明的穿透層。使用酒精將碟片上的顏料清洗乾淨(圖 3-3)，再依光碟片外緣剪下 3cm x 3cm 的碟片(圖 3-4)，剪下的光碟片黏合至光譜儀紙模型上即完成光柵製作。



(三) 各種光源的測試分析

在實驗過程中我們測試了 LED 手電筒、鹵素燈、鎢絲燈泡及螢光燈(螺旋燈泡)，發現不同的光源會有不同的光譜(圖 4)。經過比較分析後，





LED 手電筒、鎢絲燈泡拍攝的光譜不平整，鹵素燈泡的光譜則是不穩定
只有螢光燈可拍攝穩定且平整的光譜，故最後我們選擇螢光燈作為光譜儀的光源。

LED 手電筒	鹵素燈	鎢絲燈	螢光燈
			
			

(圖 4)各種光源的光譜

(四) 樣品檢測容器的測試

剛開始實驗時，我們使用實驗室常用的小試管裝樣品檢測，發現測量的光譜透光度幾乎沒有變化。我們上網查詢資料得知光譜的透光度和樣品容器的厚度有關，於是我們試著增加試管的厚度，結果還是不理想，於是再換成→燒杯→小方瓶→最後使用大方瓶，才得到較理想的結果。

			
樣 品 檢 試管 (直徑 2.5 cm)	小燒杯 (直徑 5 cm)	小方瓶 (4cm x 4cm)	大方瓶 (5.5cm x 5.5cm)

(圖 5)各種樣品檢驗容器

(五) 光譜接收感應器

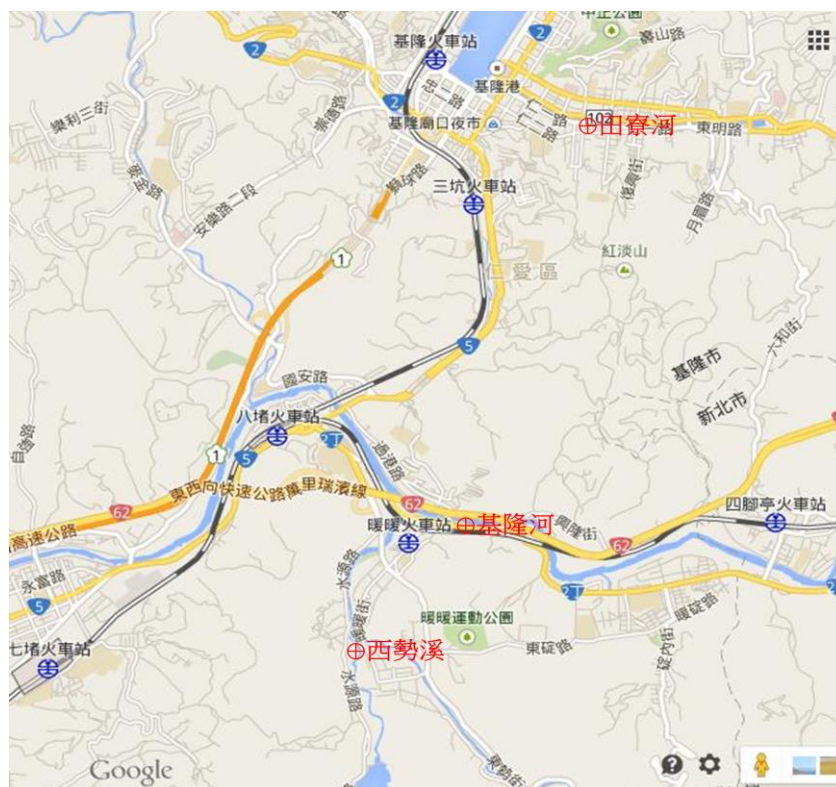
光譜儀光柵分光產生的光譜必須使用攝影機拍攝和分析，因為現在手機使用普遍、攜帶方便且大都含有攝影機，而且拍攝的照片品質媲美數位相機，因此我們使用手機改造成行動光譜儀。將光譜儀紙模型用黑色膠帶黏合固定至手機保護殼，完成外型製作(圖 6)。要拍攝光譜時再將手機裝上保護殼對準光源拍攝。



(圖 6)行動光譜儀完成外觀

三、採集基隆市主要河川上中下游的河水檢測

本實驗採集基隆市內的主要河川基隆河、西勢溪、田寮河上中下游的河水分析，其河川的相對位置如(圖 7)。



(圖 7) 基隆市河川位置圖

基隆河是位於台灣北部的一條河川，全長 86.4 公里，河段橫跨新北市、基隆市與台北市。實際流經基隆市之河段約 15 公里，我們在基隆市的河段上游-四腳亭(A1)、中游-暖江橋(A2)、下游-八堵路(A3) 位置分別採集水樣檢測，測站位置如(圖 8)。



(圖 8)基隆河採水測站位置圖



西勢溪上游的西勢水庫是台灣第一座水庫，為基隆市重要的飲用水源之一，我們在西勢溪上游-西勢水庫(B1)、中游-雙龍橋(B2)、下游-暖暖親水公園(B3)，三個位置採集水樣，測站位置如(圖 9)。



(圖 9)西勢溪採水測站位置圖



田寮河是貫穿基隆市中心的河川之一，古名「田寮港」，為台灣第一條人工運河，從源頭至基隆港河口全長約 3.5 公里，與基隆市民的生活息息相關。我們在它的河段上，分別在 C1—財鼠橋、C2—福虎橋、C3—祥龍橋、C4—吉羊橋、C5—金雞橋共五個位置採集水樣，測站位置如(圖 10)。



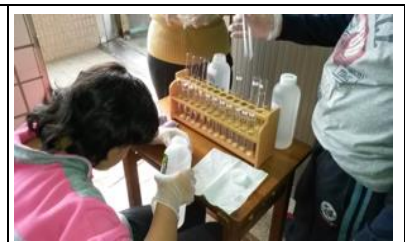
(圖 10)田寮河採水測站位置圖



河川採集水樣-1

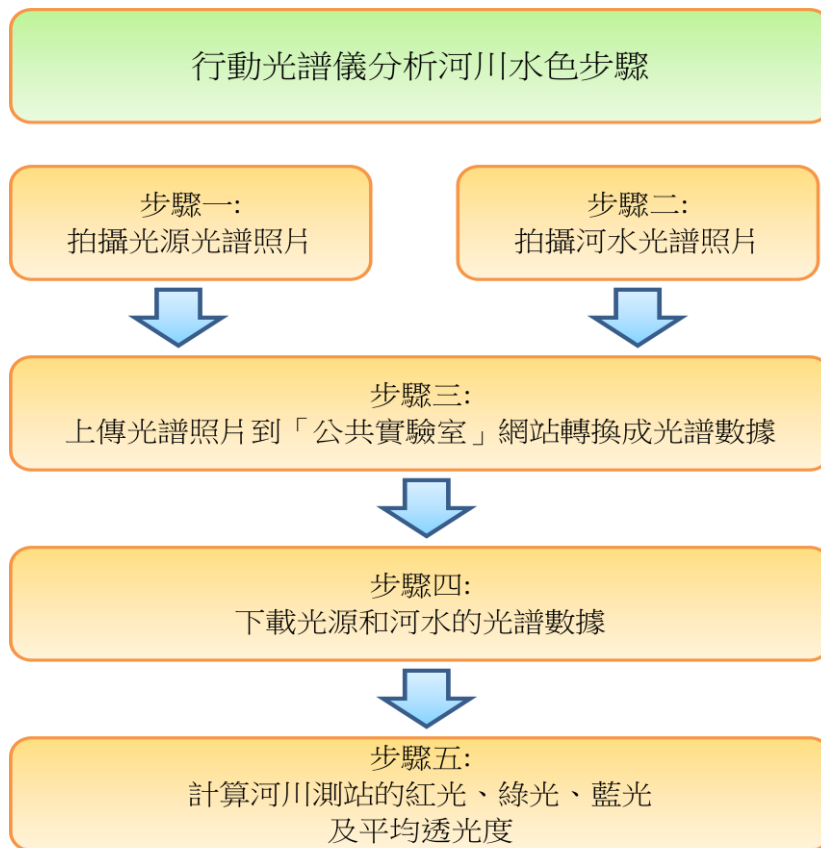


河川採集水樣-2



河川採集水樣-3

四、使用行動光譜儀分析河川水色



步驟一：拍攝光源光譜照片

將純水放入樣品檢驗容器中拍攝光譜照片，作為後續計算河水透光度使用。

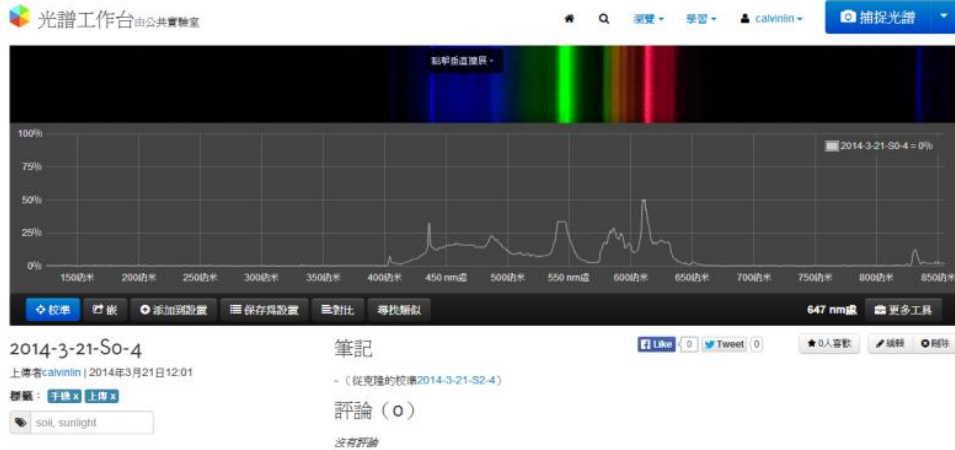
步驟二：拍攝河水光譜照片

將河川採集的河水放入樣品檢驗容器中拍攝光譜照片。



步驟三：上傳光譜照片到「公共實驗室」網站轉換成光譜數據

將光源光譜照片和河水光譜照片上傳到「公共實驗室」網站 (<http://spectralworkbench.org/>) 的光譜工作台(圖 12)，網站程式可以將光譜照片轉換成光譜數值。



(圖 12) 「公共實驗室」光譜工作台

步驟四: 下載光源和河水的光譜數據

使用「公共實驗室」網站的程式將光譜照片轉換成光譜數據後，將數據檔案下載，檔案格式為 CSV。檔案內容有光譜波長及光譜值。

步驟五: 計算河川測站的紅光、綠光、藍光 及平均透光度

為了解河川的汙染程度，我們使用光譜數據計算河水的透光度。一般的照度計只能測量河水的平均透光度，了解河水的濁度。但自製光譜儀拍攝的光譜照片可計算可見光中各顏色光的透光度。可進一步判斷河水汙染的種類。

光譜透光度計算方式如下：

$$\text{透光度(波長)} = \text{河水光譜值(波長)} \div \text{光源光譜值(波長)}$$

計算光譜中出每一波長的透光度，再根據每一顏色的光譜波長(表 1)，計算每一顏色光的平均透光度。

可見光的光譜

顏色	波長	頻率
紅色	約625—740 nm	約480—405 THz
橙色	約590—625 nm	約510—480 THz
黃色	約565—590 nm	約530—510 THz
綠色	約500—565 nm	約600—530 THz
青色	約485—500 nm	約620—600 THz
藍色	約440—485 nm	約680—620 THz
紫色	約380—440 nm	約790—680 THz

(表 1)

伍、研究結果與討論

一、製作完成行動光譜儀

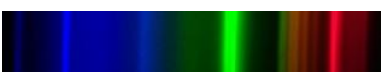
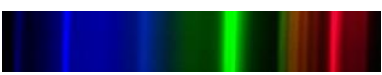
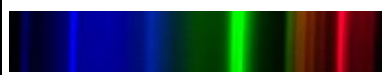
經過多次的試驗，在過程中我們一一克服了光源、樣品檢驗容器、光柵和光譜感應接收器的問題，終於完成自製行動光譜儀(圖 13)。自製光譜儀體積小，且電源只需供應一只 27W 螺旋螢光燈泡，只要加裝一只汽車電源轉換器就可在汽車上操作使用。因此可隨車到河川的測站拍攝河水的光譜照片，回到實驗室後再分析光譜照片。



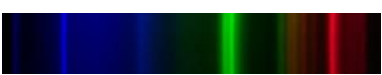
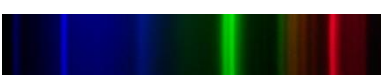
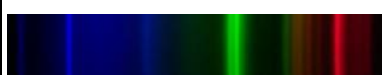
(圖 13) 自製行動光譜儀

二、自製光譜儀拍攝光譜照片

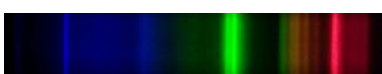
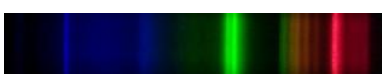

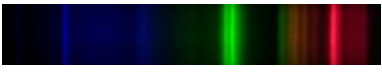
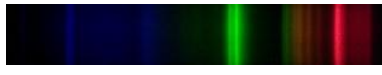
1. 基隆河測站光譜照片

		
A1-四腳亭	A2-暖江橋	A3-八堵路

2. 西勢溪測站光譜照片

		
B1-西勢水庫	B2-雙龍橋	B3-暖暖公園

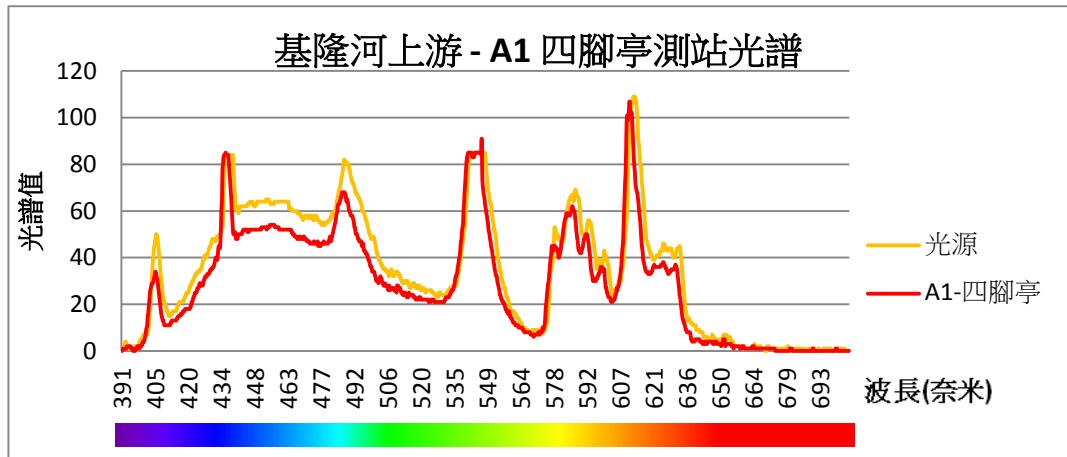
3. 田寮河測站光譜照片

		
C1-財鼠橋	C2-福虎橋	C3-祥龍橋
		
C4-吉羊橋	C5-金雞橋	

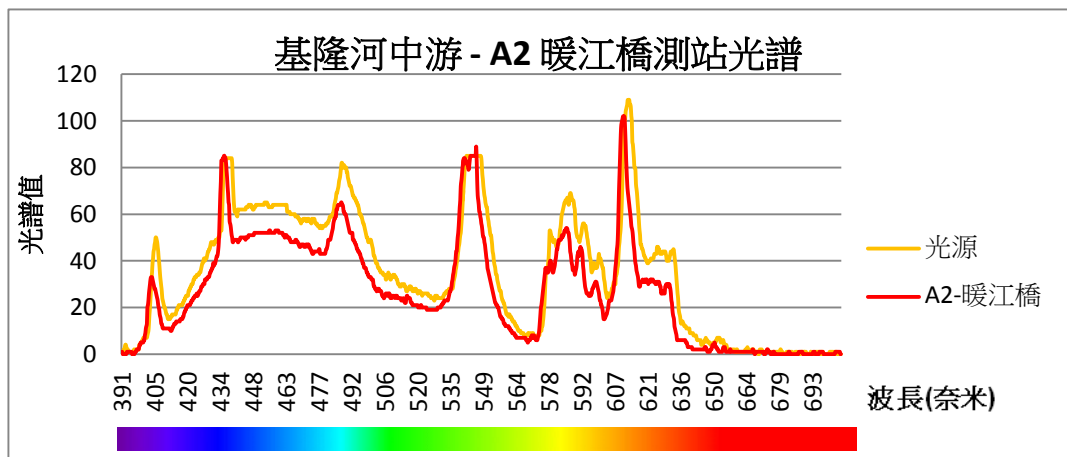
三、基隆河測站光譜分析結果

由實驗結果 (圖 14)、(圖 15)、(圖 16) 發現基隆河上中下游的光譜中，紅光和藍光的光譜值都會比光源低、綠光則和光源很接近。將三個測站的光譜重疊分析比較如(圖 17)。則光譜值的大小依序為

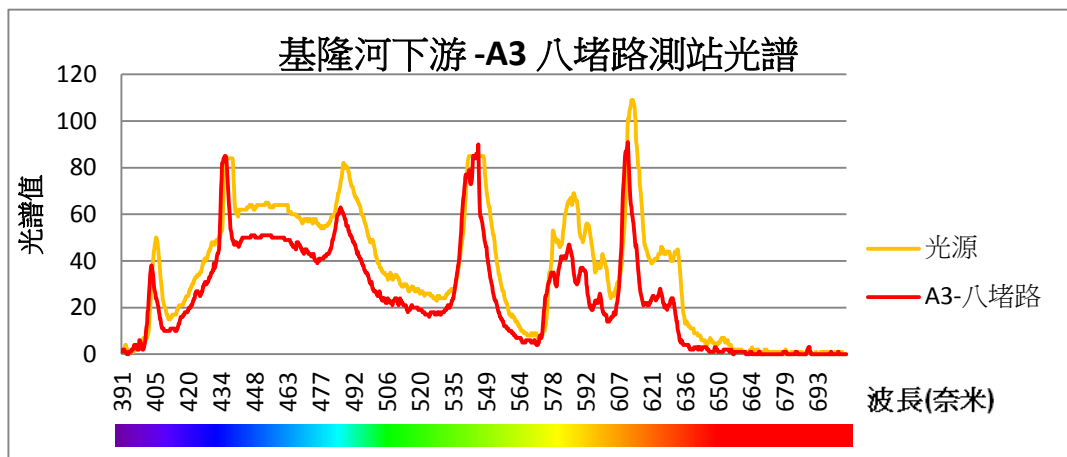
A1—四腳亭(上游) > A2—暖江橋(中游) > A3 —八堵路(下游)。



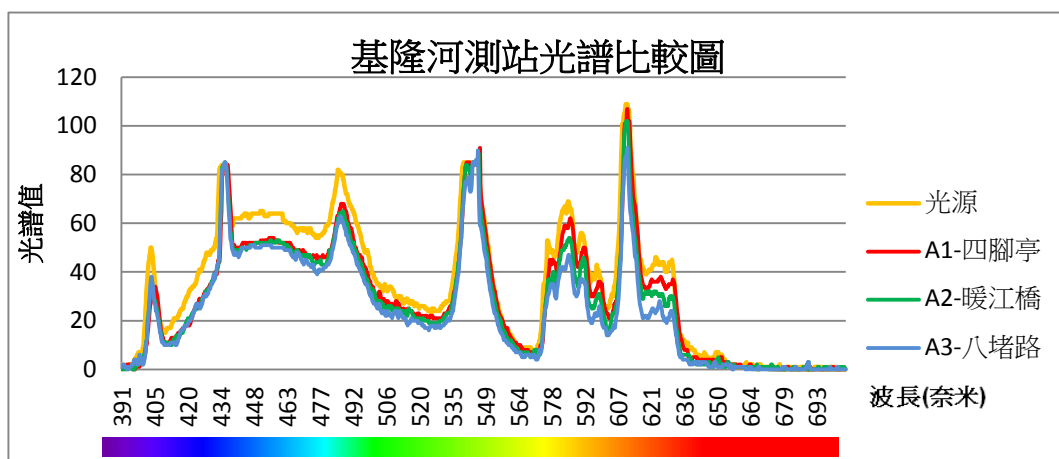
(圖 14)



(圖 15)



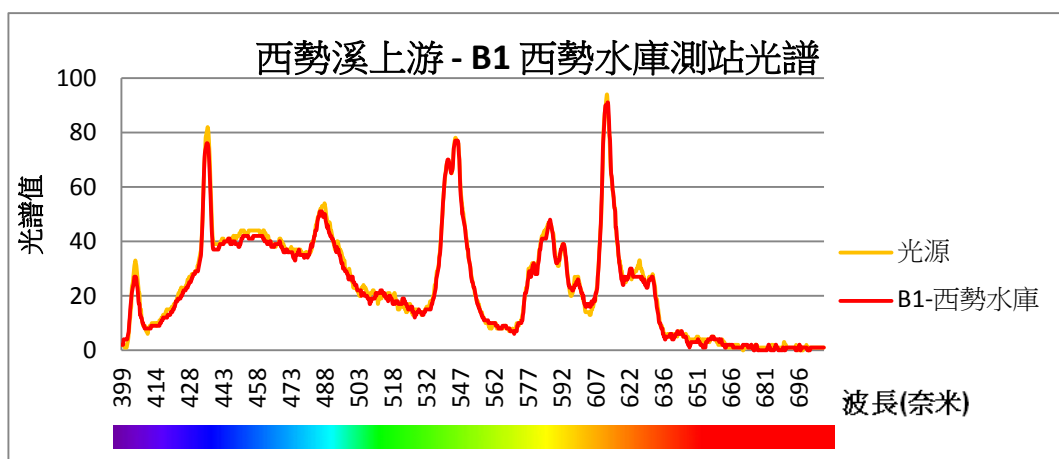
(圖 16)



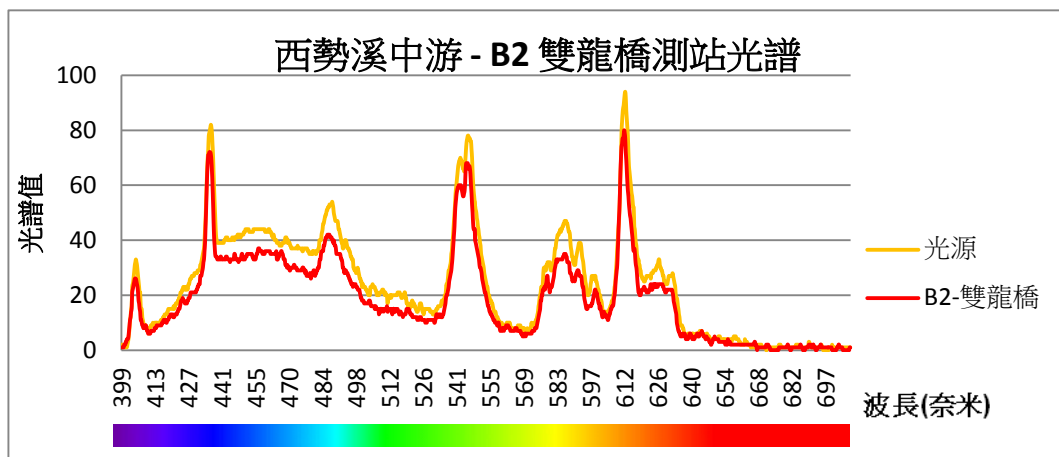
(圖 17)

四、西勢溪測站光譜分析結果

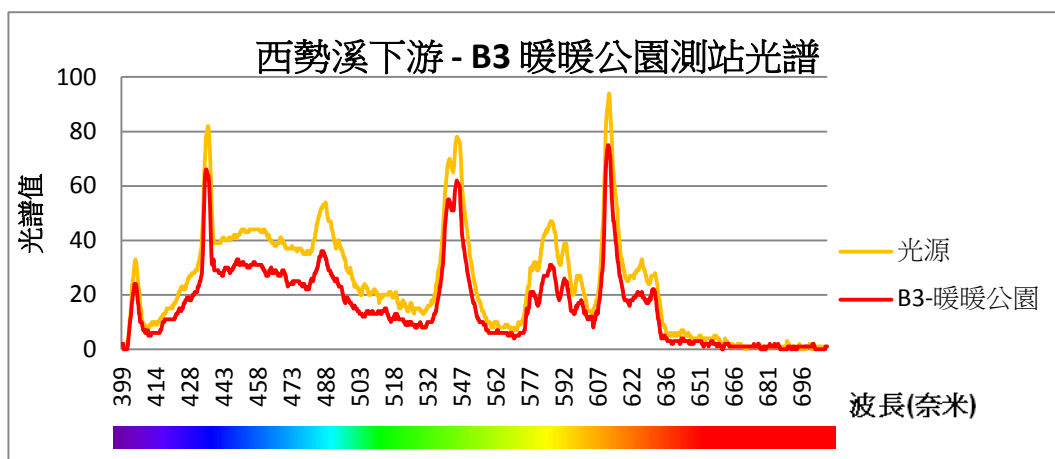
實驗結果發現西勢溪 B1-西勢水庫測站的光譜值(圖 18)和光源幾乎相同。但其中下游測站的光譜值(圖 19)、(圖 20)則紅光、藍光、綠光的光譜值都比光源低。將三個測站的光譜重疊分析比較如(圖 21)，發現光譜值的大小依序 B1-西勢水庫(上游) > B2-雙龍橋(中游) > B3-暖暖公園(下游)。



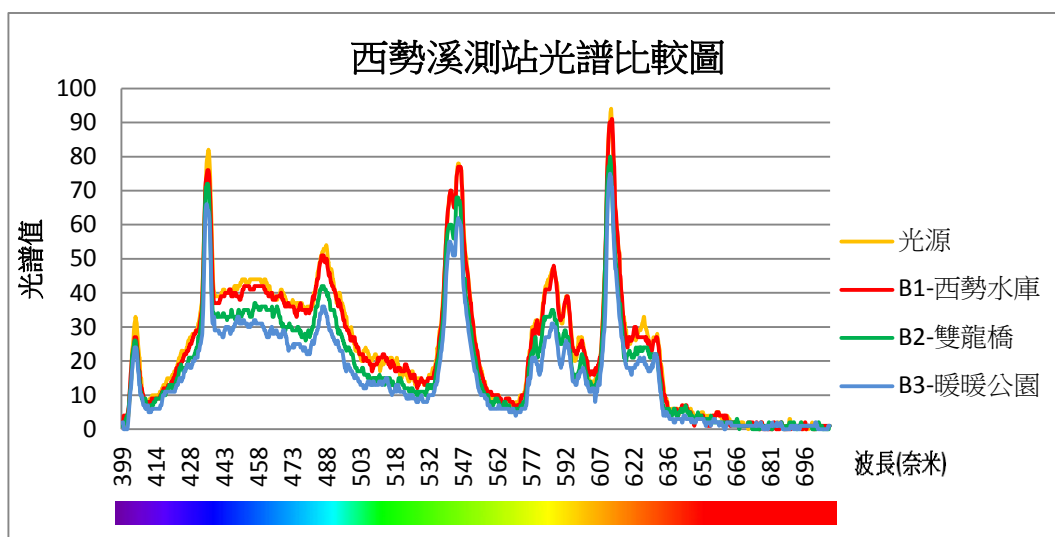
(圖 18)



(圖 19)



(圖 20)

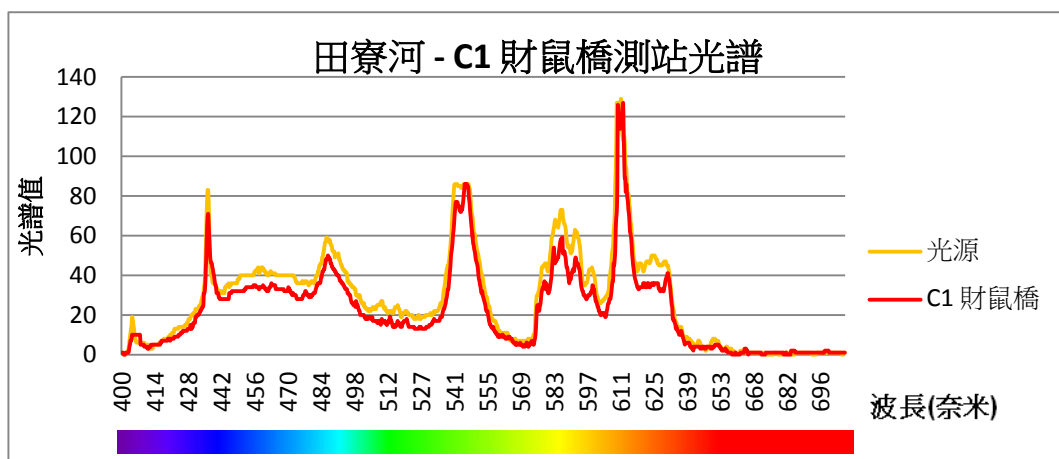


(圖 21)

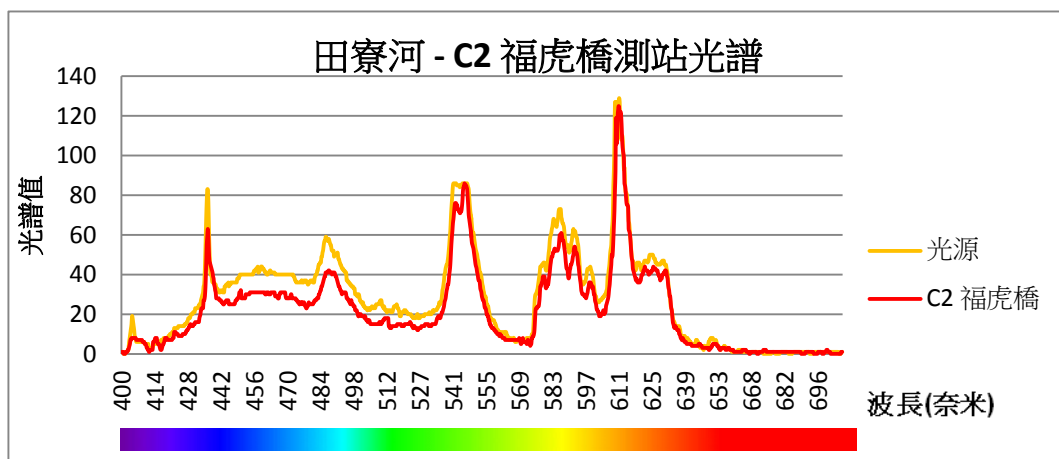
五、田寮河測站光譜分析結果

我們共三次採集田寮河水，每次採集 12 個測站，每個測站又分成表層水及水下 1m 深層水採集。發現表層水的光譜幾乎沒變化，且測站之間的距離太短變化不大。最後我們捨棄表層水的分析，測站縮減至上游 1 個、中游 2 個、下游 1 個，共 5 個，得到光譜分析結果 (圖 22)、(圖 23)、(圖 24)、(圖 25)、(圖 26) 發現田寮河各個測站的光譜中，紅光和藍光的光譜值都比光源低、綠光則和光源很接近。將五個測站的光譜重疊分析比較如(圖 27)，發現光譜值的大小依序是

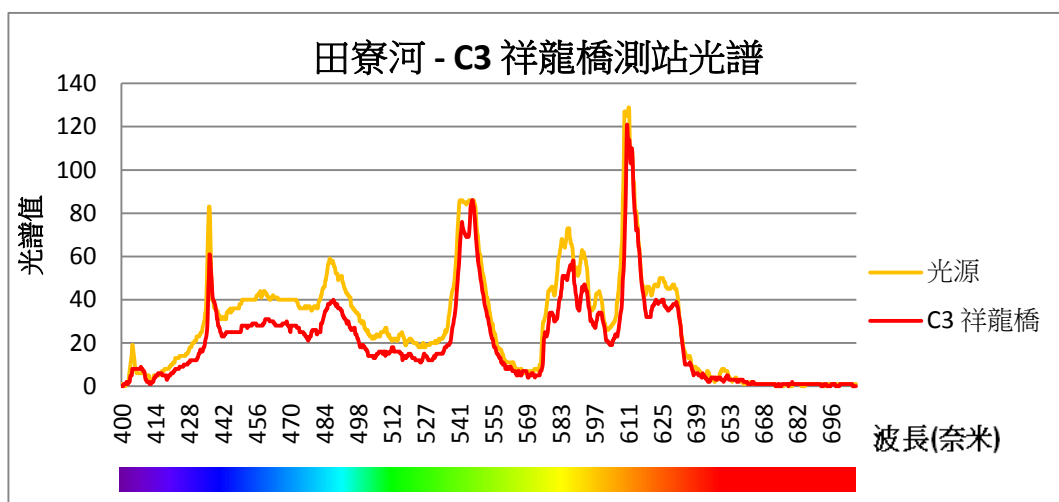
C1-財鼠橋 > C2-福虎橋 > C3-祥龍橋 > C4-吉羊橋 > C5-金雞橋。



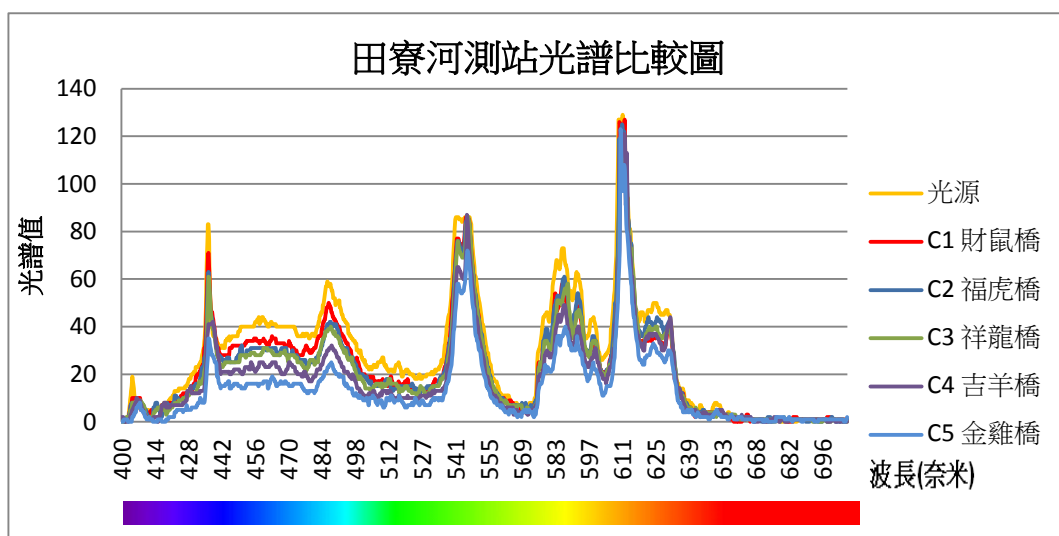
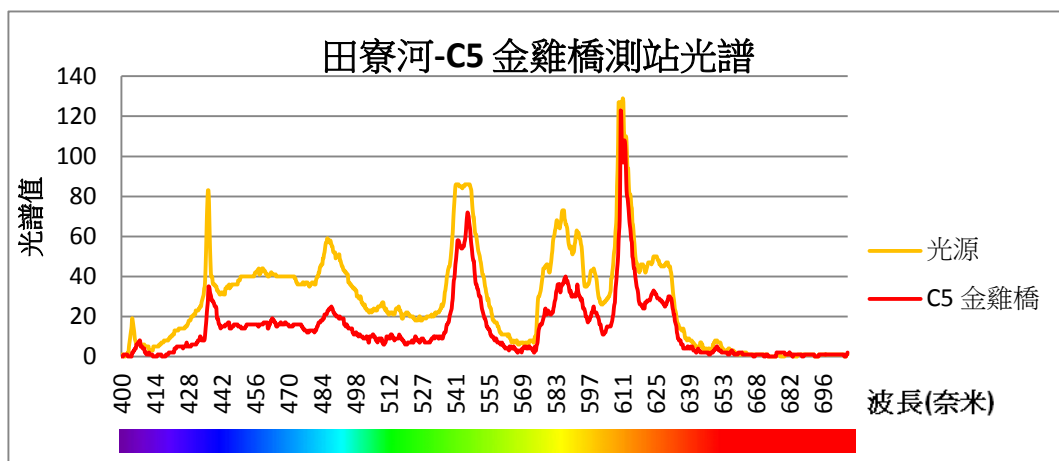
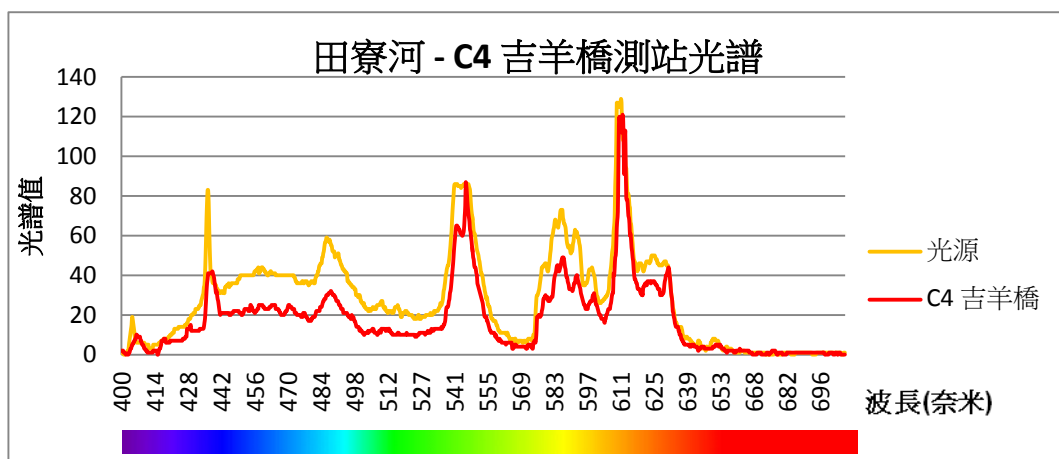
(圖 22)



(圖 23)



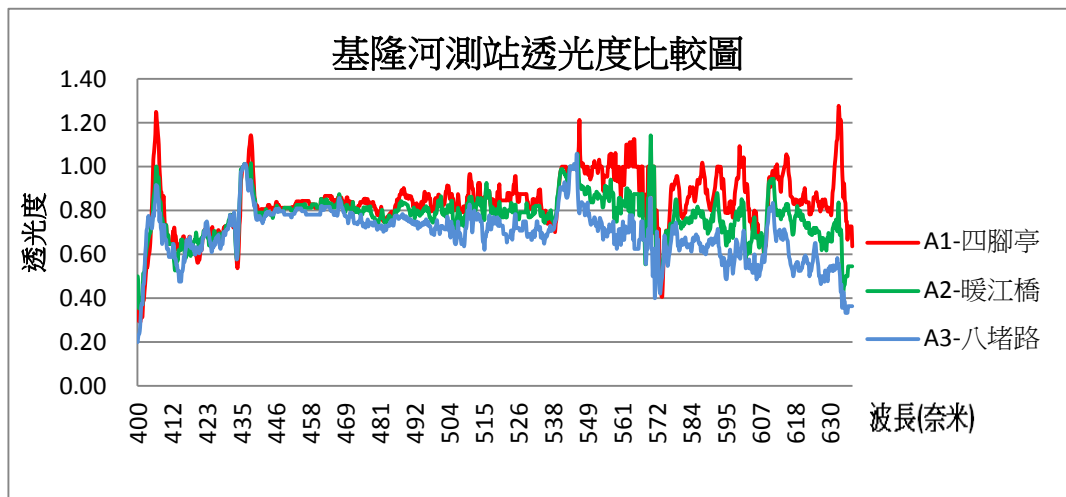
(圖 24)



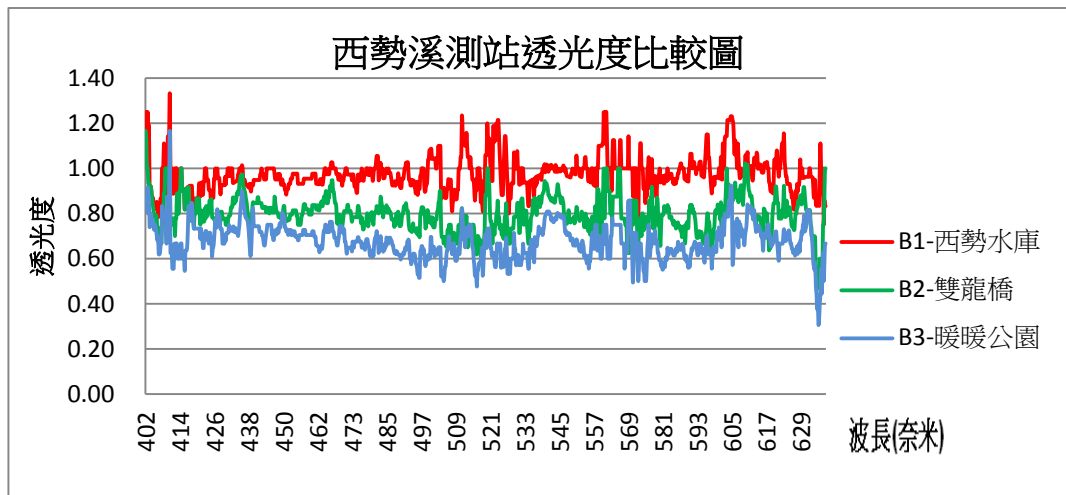
六、河川光譜的透光度分析結果

為了解河川的污染情況，本實驗使用光譜儀測量河水的平均透光度得知河水的濁度。利用光譜儀的特性測量河水的分色透光度，以了解河川汙染的種類和來源。河水的顏色是由溶解在水中的化合物及懸浮物質所形成的，我們在網路維基百科中得知河川水色和汙染物之間的關係，綠色的河水通常含有藻類，深褐色的河水通常含有機化合物，藍色的河水通常含有家庭或工業用清潔劑，紅色的河水通常含有細菌。

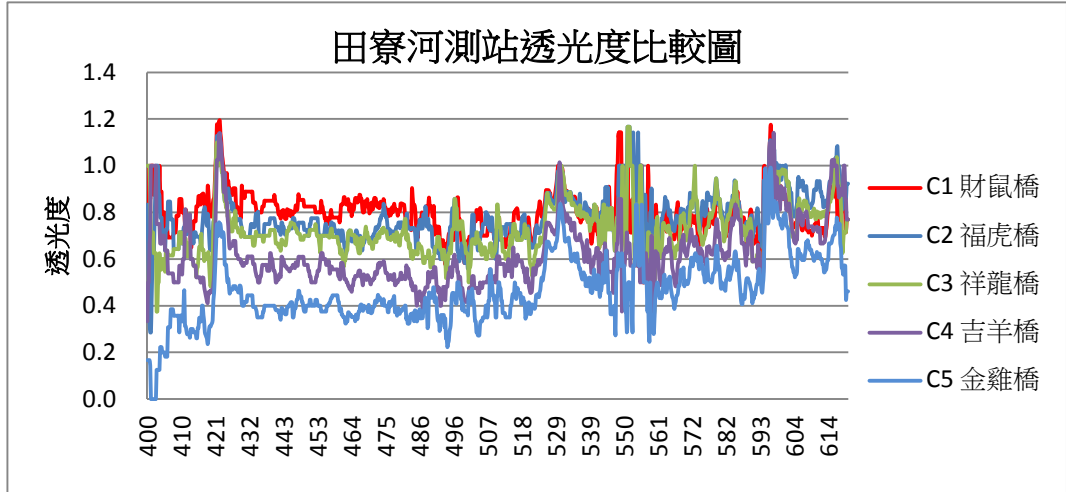
我們將以上的光譜數值，計算出每一波長的透光率如(圖 28)、(圖 29)、(圖 30)再根據表(1)每一種顏色光的波長定義，計算河水的紅光、綠光、和藍光的透光率(圖 31)、(圖 32)、(圖 33)，根據每一測站的紅光、綠光、和藍光透光率比較，將可以初步判斷河水汙染的種類。



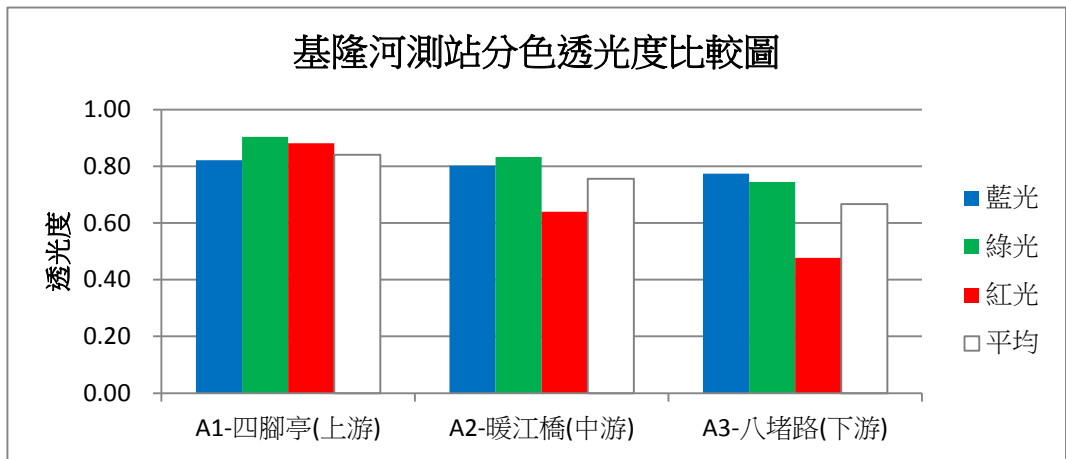
(圖 28)



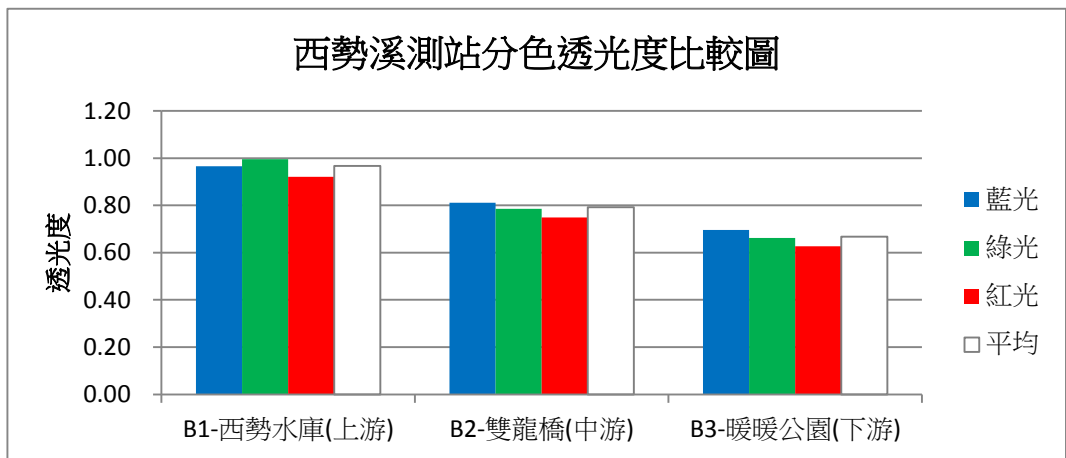
(圖 29)



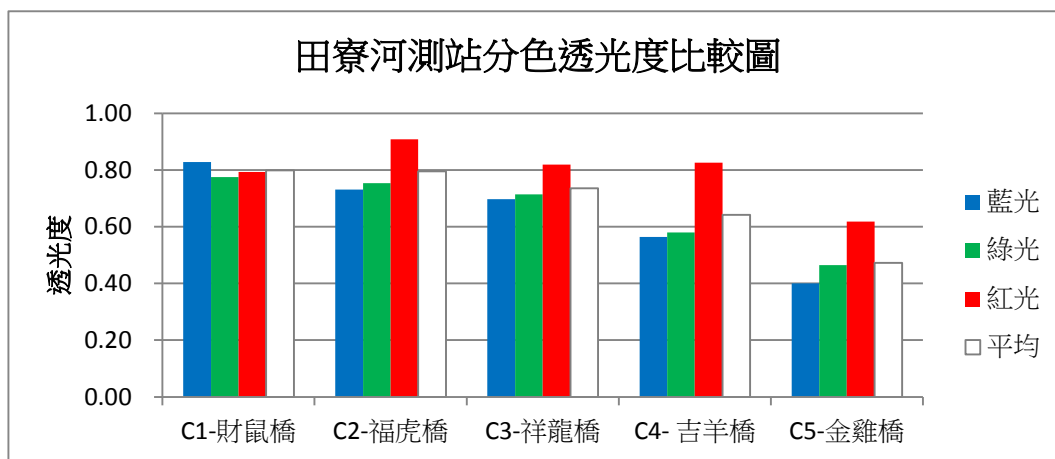
(圖 30)



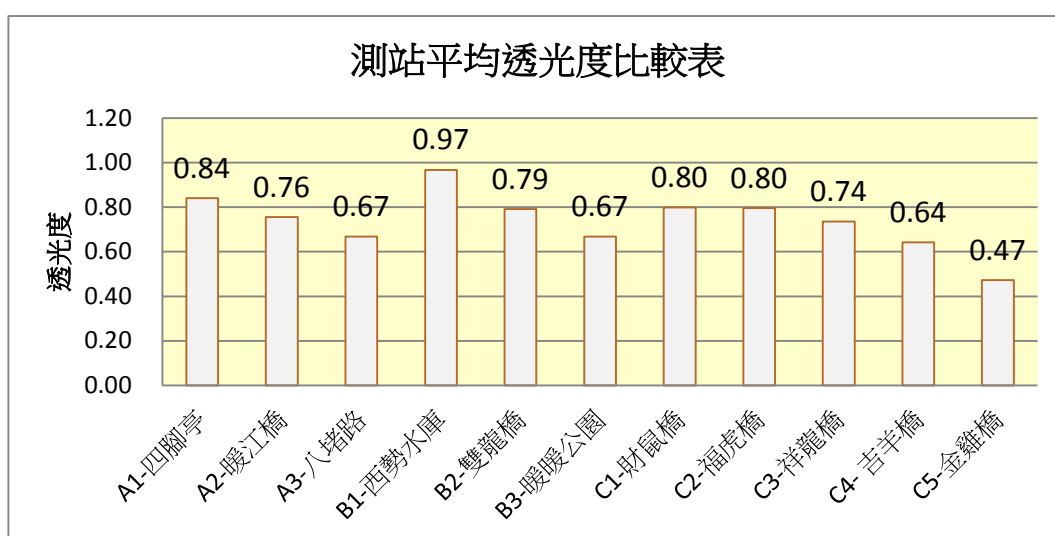
(圖 31)



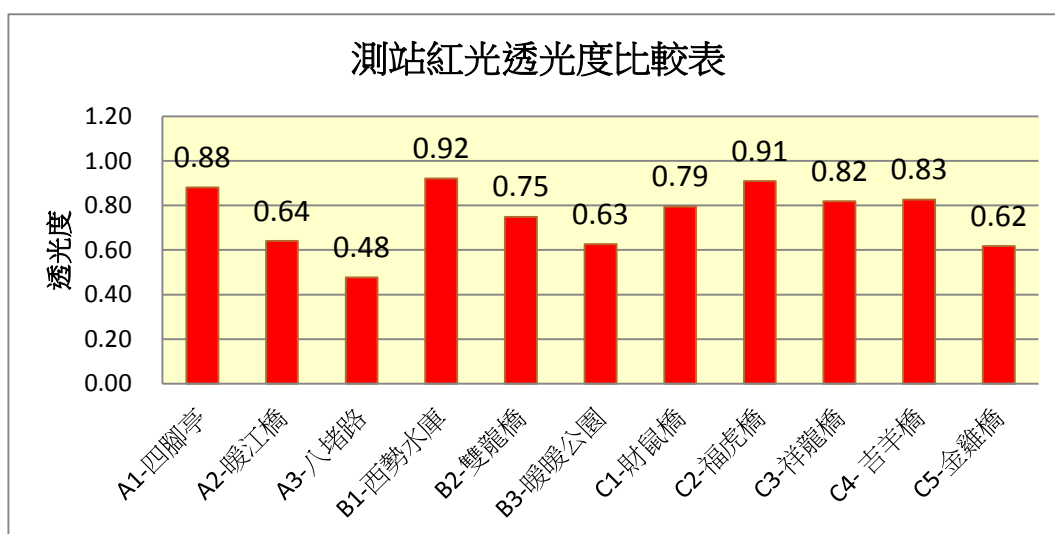
(圖 32)



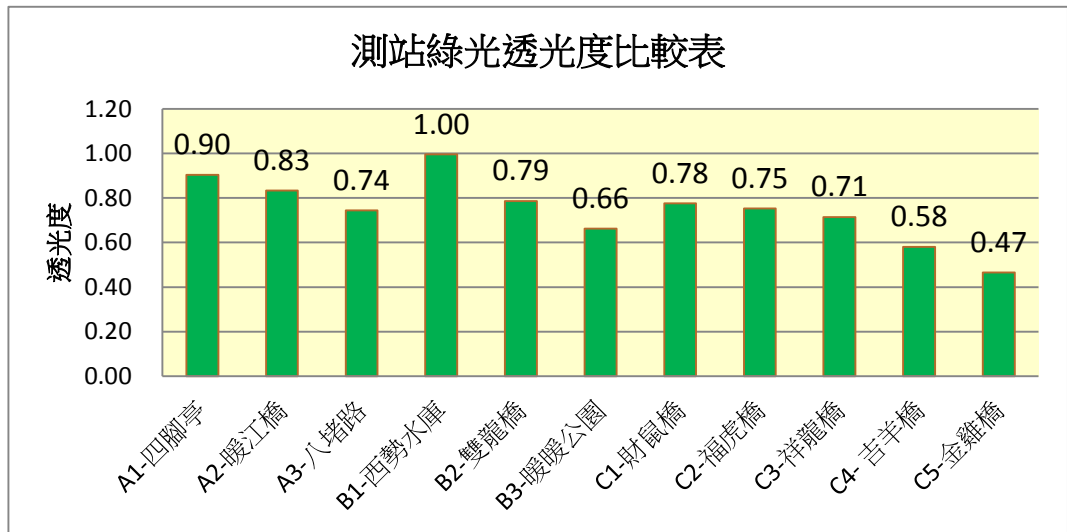
(圖 33)



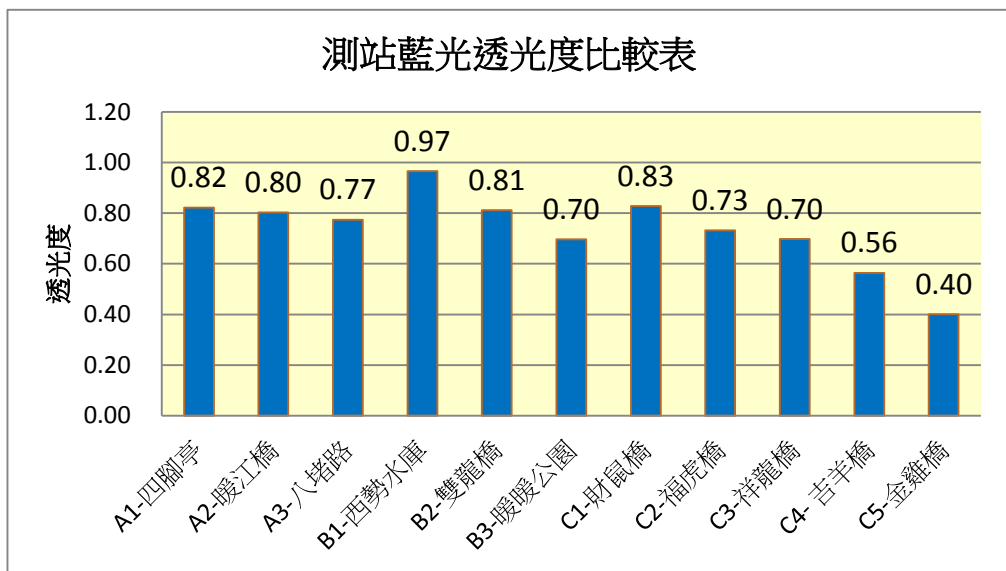
(圖 34)



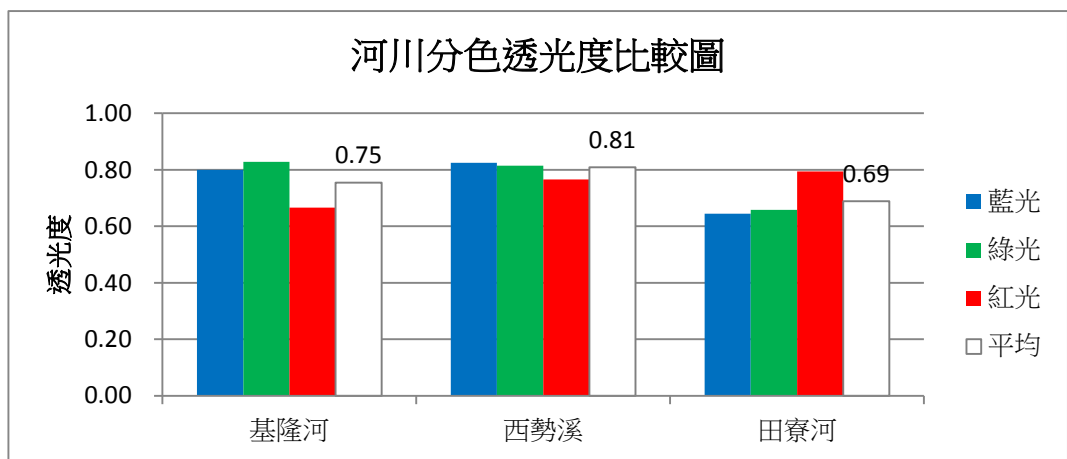
(圖 35)



(圖 36)



(圖 37)



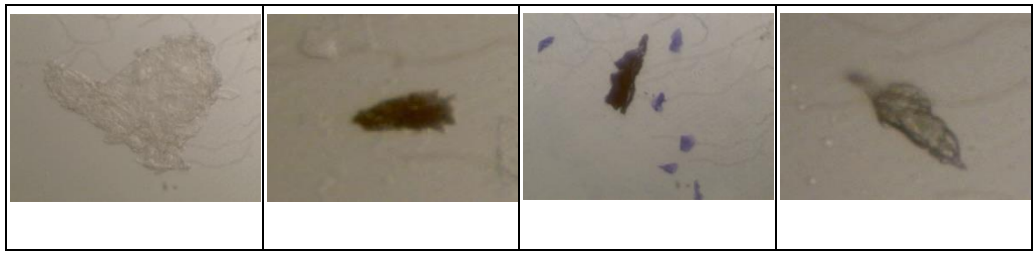
(圖 38)

由以上河水透光度分析得知：

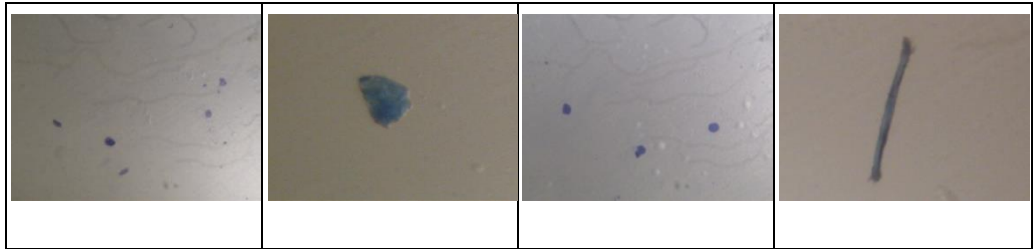
1. 基隆河測站的平均透光度依序為：
A1-四腳亭(上游) > A2-暖江橋(中游) > A3 - 八堵路(下游)。
2. 西勢溪測站的平均透光度依序為：
B1-西勢水庫(上游) > B2-雙龍橋(中游) > B3-暖暖公園(下游)。
3. 田寮河測站的平均透光度依序為：
C1-財鼠橋(上游) = C2-福虎橋 > C3-祥龍橋 > C4-吉羊橋 > C5-金雞橋(下游)。
4. 所有測站平均透光度最高為：B1-西勢水庫(0.97)，最低為：C5-金雞橋(0.47)。
紅光透光度最高為：B1-西勢水庫(0.92)，最低為：A3-八堵路(0.48)。
綠光透光度最高為：B1-西勢水庫(1.0)，最低為：C5-金雞橋(0.47)。
藍光透光度最高為：B1-西勢水庫(0.97)，最低為：C5-金雞橋(0.40)。
5. 由基隆河測站分色透光度比較表中(圖 31)，下游的 A3-八堵路測站測量的紅光透光度有明顯的下降，表示基隆河沿岸有汙染物流入河川，判斷它的類別可能是家庭或工業廢水排入河川。
6. 由西勢溪測站分色透光度比較表中(圖 32)，所有測站的分色透光度都是平均下降，判斷可能是下游河水中含較高的泥沙。
7. 由田寮河測站分色透光度比較表中(圖 33)，自 C2-福虎橋測站以下，紅光透光度都較其他顏色光的透光度高，判斷可能是家庭廢水因潮汐的關係無法排入基隆港而產生細菌。
8. 由河川的透光度統計表(圖 38)得知西勢溪的平均透光度最高為 0.81，其次是基隆河 0.75，最小為田寮河 0.69。

七、顯微鏡觀察河水懸浮物質

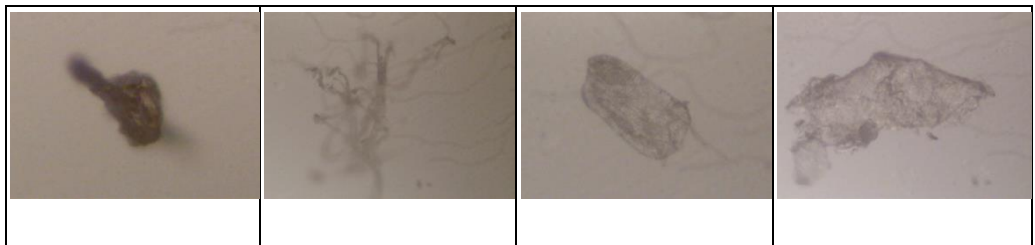
為了解光譜和水質的關係，我們使用顯微鏡觀察各個測站所採集的河水，發現在透光度最高的 B1-西勢水庫樣品中，幾乎沒有懸浮物質和微生物；在透光度最低的 C5-金雞橋測站，則含有數量眾多的微生物和不明懸浮物質。因此可以得知，河水的透光度和水中的微生物及懸浮物質多寡有關。



(圖 39) 基隆河水中的微生物



(圖 40) 西勢溪水中的微生物



(圖 41) 田寮河水中的微生物

八、河川沿岸環境調查

我們實地勘查基隆河、西勢溪、及田寮河沿岸，發現透光度高的西勢溪水源乾淨，沿岸住戶也較少。基隆河沿岸除了有住宅社區，也有工廠緊鄰河岸。而透光度較低的田寮河沿岸則是大樓林立，社區的廢水也都排入田寮河而汙染河川。





(圖 42)基隆河沿岸



(圖 43)西勢溪沿岸



(圖 44)田寮河沿岸

陸、結論

1. 經過多次的實驗，我們將日常生活中所使用手機加上光碟片，製作成行動光譜儀，並應用於河川的水色檢驗，拍攝效果良好。
2. 使用自製光譜儀分析基隆河的水，基隆河測站的平均透光度大小依序是：
A1-四腳亭(上游) > A2-暖江橋(中游) > A3-八堵路(下游)。
3. 使用自製光譜儀分析西勢溪的水，西勢溪測站的平均透光度大小依序是：
B1-西勢水庫(上游) > B2-雙龍橋(中游) > B3-暖暖公園(下游)。
4. 使用自製光譜儀分析田寮河的水，田寮河測站的平均透光度大小依序是：
C1-財鼠橋(上游) > C2-福虎橋 > C3-祥龍橋 > C4-吉羊橋 > C5-金雞橋(下游)。
5. 比較三條河川的平均透光度，可以得知：
西勢溪的平均透光度最高 0.81 → 其次是基隆河 0.75 → 最小為田寮河 0.69。
6. 分析三條河川的分色透光度，可以得知：
基隆河的紅光透光率較其他顏色低，田寮河的紅光透光率則較其他顏色高，西勢溪則各顏色的透光率接近相同。
7. 經顯微鏡觀察河川水樣：
 - (1) 透光度最高的 B1-西勢水庫樣品中，幾乎沒有雜質和微生物。
 - (2) 透光度最低的 C5-金雞橋測站，則含有數量眾多的微生物和雜質。
 - (3) 愈乾淨的水，它的光譜的透光度越大；微生物和雜質愈多的水，它的光譜的透光度越小。

本實驗使用自製行動光譜儀，調查基隆市三條主要河川，發現河川上游的水質均較下游乾淨，三條河川以有山林保護的西勢溪最為乾淨，流經市區的田寮河污染最嚴重。往後可利用此光譜儀持續的監測生活周遭的河川，愛護我們的環境。

柒、參考資料及其他

1. 中央大學物理演示實驗室
網址: <http://phy.tw/>
2. 非營利組織公共實驗室
<http://publiclab.org/>
3. 公共實驗室光譜工作台
<http://spectralworkbench.org/>
4. 國科會高瞻自然科學教學資源平台
<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/>

【評語】 080503

優點：

1. 本研究從關心河川污染著眼，希望找到簡單的工具來檢測河川水質，以達到保護環境的目的。研究動機目的很好，研究內容也能聚集在探索的問題上。
2. 能善用現代科技，並能從網路找到解決問題的方法，且實際做出簡易行動光譜儀。
3. 實驗過程多方嘗試以找到最符合研究所需的工具，深具科學探究精神。
4. 口頭說明詳細流利。

建議：

1. 對於河川污染的形式及污染源要再更深入了解。
2. 若能與實際河川污染檢測值做驗證，會使得研究更完整。