中華民國第 57 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高級中等學校組　地球與行星科學科

最佳團隊合作獎

051905

涇渭分明--河川分界的奧妙

學校名稱：新竹市立建功高級中學

作者：	指導老師：
高二 廖哲暉 高二 陳懷平 高二 謝秉燁	蘇郁雅

關鍵詞：河川、分界線、傾斜角度

摘要

在亞馬遜流域中有兩條河，哥倫比亞的內格羅河，其溫度為 28℃且流速大約為 0.56m/s，與祕魯的索利蒙伊斯河，其溫度為 22℃且流速大約為 1.39m/s，兩河匯流後會形成一道很明顯的分界線，長達 6km。本研究想要探討當兩河道在不同的流速、密度與溫度下，其匯流距離有何變化。

我們製作兩個河道，分別為主支流、副支流，並將黑色顏料加入主支流，再使兩支流匯流，並流入主河道。改變各項變因進行實驗，再透過電腦軟體判斷匯流距離並探討其關係。

壹、 研究動機

有「世界之肺」之稱的亞馬遜流域中有許多華麗的景觀。我們在閱讀科學期刊[1]時，發現有兩條河十分特別，其中一條河來自於哥倫比亞的內格羅河，河水溫度為 28℃且流速大約為 0.56m/s；另一條河來自於祕魯的索利蒙伊斯河，河水溫度為 22℃且流速大約為 1.39m/s[2]。匯流之後有著明顯的分界線，綿延 6km (如圖一)，非常壯觀且十分的新奇。大多數河川的物理、化學性質差距不大，當兩條河川交會，交界處在短暫時間內便會混合在一起，看不出分界線，為何這條河的分界線如此明顯？於是我們想探討有哪些因素會影響著河川交會時的分界。

圖一　內格羅河和索利蒙伊斯河的交匯之處[3]

貳、 研究目的

一、製作實驗模型，模擬實際河川匯流情況。

二、檢測當主、副支流的傾斜角度、鹽度、溫度差異不同時，匯流到混和均勻的距離有何變化。

參、 研究設備及器材

一、實驗器材

(一) 20L 水箱三個

(二) 直徑 10cm PVC 水管 2m 兩個

(三) Y 形水管(兩夾角為 43.6°)

(四) 小水管

(五) 鐵架

(六) 木塊

(七) 木板

(八) 防水膠帶

(九) 水桶

(十) 量筒 100mL

(十一) 燒杯 2000mL

(十二) 玻璃杯

(十三) 透明淺水盆

(十四) 黑色廣告顏料

(十五) 臺鹽高級精鹽

(十六) 電子碼錶

(十七) 相機與腳架

(十八) 電子天平(精度 0.1g)

(十九)手機陀螺儀(精度 0.1°) (測量河道傾斜角度，使用前均使用水平儀校正。)

(二十) 電腦軟體 Just Color Picker(判斷 RGB 數值)

二、製作河道模型

(一) 利用 PVC 水管作為河道，取兩個 2m 長的水管，並且將其中一個橫切剖半成兩個 2m 長的半圓水管，連接兩個 2m 長的半圓水管當作河道主河道；取另一個縱切剖半成兩個 1m 長的水管，取此兩個 1m 長水管當作河道主支流與副支流。

(二) 使用 Y 形水管與防水膠帶，將兩個 1m 長的水管與 2m 長的半圓水管連接在一起(如圖二)。

圖二　Y 形管連接圖

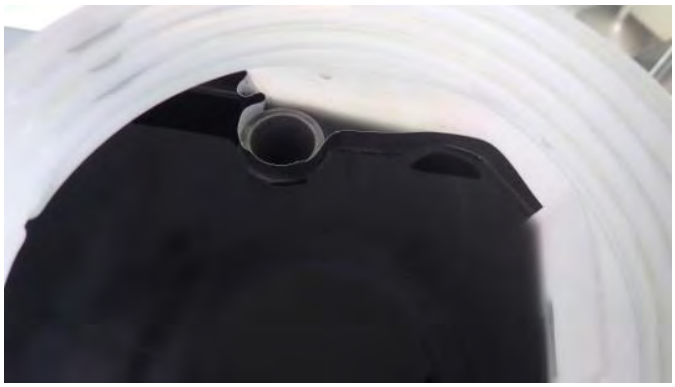
(三) 為了防止亂流，使用塑膠薄隔板將 Y 形管中央分開(如圖三)。

圖三　塑膠薄隔板

(四) 利用 20L 的水桶 2 個作為主、副支流的水源。

(五) 在主支流使用黑色顏料染色來觀察匯流狀況。

(六) 加裝水位控制器(如圖四、圖五)，並使用防水膠帶將縫隙貼住及固定。



圖四　水位控制器俯視圖

圖五　水位控制器側視圖

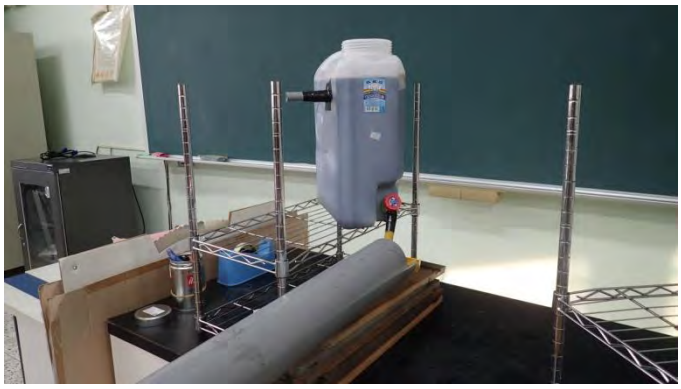
(七) 使用膠帶貼住水管尾端，防止水從後方漏出(如圖六)。

圖六　水管尾端

(八) 將白色膠帶貼在主河道管壁內，有利於黑色顏料的觀察(如圖七)。

圖七　主河道管壁內加貼白色膠帶

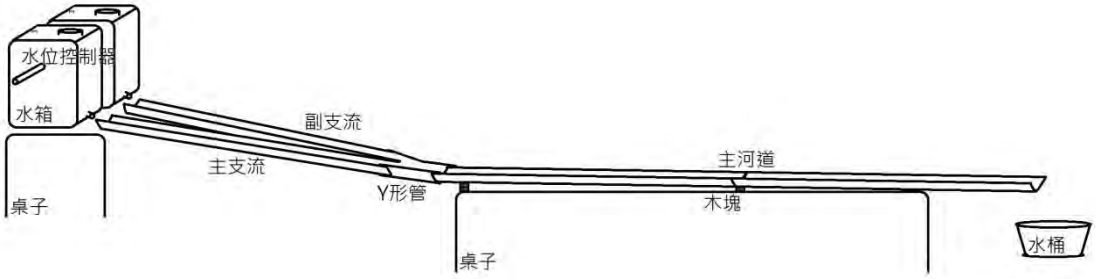
(九) 組合支流與主流，使用鐵架與木板固定河道(如圖八)。



圖八　河道與水桶

三、組裝實驗模型

在上游的部分，以兩個 20L 的水箱作為水源，並且利用水位控制器用來控制水量。主支流的水與副支流的水經過 Y 形管，流向下游的主河道(主支流與主河道為一直線)。利用手機陀螺儀測量傾斜角度，將主河道傾斜角度維持 1°，使水穩定流入水桶。最後我們會在主河道拍照並利用電腦軟體判斷匯流距離(如圖九)。



圖九　實驗模型全景示意圖

肆、 研究過程及方法

一、測量流量

(一) 為了避免誤差，先使用校正過的量杯測量出水桶 20L 以及 10L 的水位線，並標示於水桶上。

(二) 測量 10L 的水流光 20L 水位線至 10L 水位線後所需的時間，經過七次實驗，取平均後發現流量差距竟高達 20mL/s(71mL/s~92mL/s)(如表一)，經過討論過後我們認為是水位高度變化，造成出水口水壓的改變，進而影響流量的大小。

(三) 我們查閱科展報告[4]發現維持水位高度便可以讓流量固定，於是我們加裝水位控制器，以控制水位高度並進行實驗。水位控制器為一個架高的出水孔，當水位超過水位控制器時，水便會不斷的從水位控制器流出，直到水位與水位控制器等高。所以原先標示的 20L 以及 10L 水位線就不再使用，我們改為計算一分鐘水流出的水量，來測量流量的大小(如表二)。

二、測量垂直混和均勻時間

(一) 為了更容易判斷實驗數據，所以記錄各項變因中(加顏料、加鹽、加溫)垂直的混和均勻時間。

(二) 使用玻璃杯，方便觀察顏色分布。

(三) 將兩個玻璃杯裝滿，其中一個玻璃杯是先加入不同物質的水(加入黑色顏料、加入黑色顏料及鹽度 50g/L 的水、加入黑色顏料及鹽度 75g/L 的水、加入黑色顏料及鹽度 100g/L 的水、加入黑色顏料及溫差 10℃ 的水、加入黑色顏料及溫差 20℃ 的水及加入黑色顏料、溫差 30℃ 的水)，另一個玻璃杯裝清水。

(四) 將裝有黑色顏料水玻璃杯倒置，放置於裝清水玻璃杯上方，抽開隔板，並紀錄混和均勻時間。

(五) 改將裝有清水玻璃杯倒置，放置於裝黑色顏料水的玻璃杯上方，抽開隔板，並紀錄混和均勻時間。

(六) 重複三次實驗並記錄其結果(如表三)。

三、測量水平混和均勻時間

(一) 為了更容易判斷實驗數據，所以記錄各項變因中(加顏料、加鹽、加溫)的水平混和均勻時間。

(二) 使用透明淺水盆，方便觀察顏色分布。

(三) 利用木板將透明淺水盆隔成兩區，其中一區是先加入不同物質的水 1L(加入黑色顏料、加入黑色顏料及鹽度 50g/L 的水、加入黑色顏料及鹽度 75g/L 的水、加入黑色顏料及鹽度 100g/L 的水、加入黑色顏料及溫差 10℃ 的水、加入黑色顏料及溫差 20℃ 的水及加入黑色顏料、溫差 30℃ 的水)，另一區裝清水 1L。

(四) 等待盆中水靜止，抽開隔板。

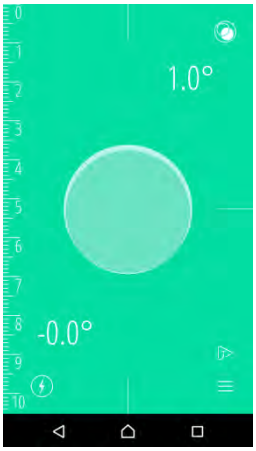
(五) 重複三次實驗並記錄其結果(如表四)。

四、測量流速

(一) 為了更容易了解分界線形成原因以及訂定河道傾斜角度之變因，因此需得知支流傾斜角度在 2˚、4˚、6˚、8˚及 10˚時的流速大小。

(二) 測量不同傾斜角度下，流過 1.5m 長河道所需的時間，並計算出平均流速。

(三) 使用手機功能測量傾斜角度大小(如圖十)。



圖十　測量傾斜角度的應用程式圖

(四) 利用測量小紙片(面積 0.6cm*0.8cm=0.48cm²)在河道上流過 1.5m 長度所經時間，重複三次實驗並記錄其結果(如表五)。

五、改變支流的傾斜角度

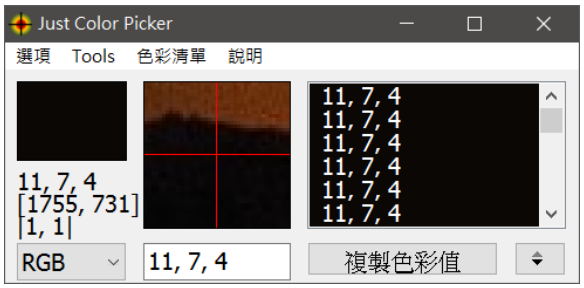
(一) 由於河道之傾斜角度會影響流速，所以我們藉由改變主支流與副支流的傾斜角度大小來改變流速快慢。

(二) 使用手機陀螺儀來測量傾斜角度大小。

(三) 實驗中主河道傾斜角度皆固定為 1˚，並在主河道旁貼上捲尺，以判斷匯流距離。

(四) 使主支流傾斜角度為 2˚，副支流傾斜角度為 2˚進行第一組實驗。

(五) 在主支流的水箱中加入黑色顏料，拍照後使用電腦軟體 Just Color Picker，判斷出在主河道的匯流距離並記錄(如圖十一)。



圖十一　電腦軟體 Just Color Picker 的應用程式圖

(六) 改變不同的主、副支流傾斜角度 4˚、6˚、8˚及 10˚，分別重複三次實驗並記錄其結果。

(七) 每人每次實驗取一個數據，3(人)*3(次實驗)=9(個數據)，九個數據取五個較接近之數據做為該變因之實驗結果(如表六)。

六、改變支流的鹽度

(一) 本實驗中主河道皆固定與水平傾斜角度為 1。，使用手機陀螺儀來測量傾斜角度大小。

(二) 在主支流的水箱中加入黑色顏料，並將鹽加入裝有黑色顏料的水箱；本實驗改變三種鹽度，鹽度 50g/L、鹽度 75g/L 及鹽度 100g/L。

(三) 使用電子天秤及量筒測量清水的密度為 0.98g/mL、加入鹽度 50g/L 的水密度為 1.025g/mL、加入鹽度 75g/L 的水密度為 1.039 g/mL、加入鹽度 100g/L 的水密度為 1.073 g/mL，當天實驗氣溫為 17.2℃ 。

(四) 為了固定變因，我們將副支流的傾斜角度設定為 2˚，只改變主支流的傾斜角度為 2˚、4˚、6˚、8˚及 10˚。

(五) 拍照，利用電腦軟體判斷出在主河道上匯流距離並記錄。

(六) 重複三次實驗並記錄其結果。

(七) 每人每次實驗取一個數據，3(人)*3(次實驗)=9(個數據)，九個數據取五個較接近之數據做為該變因之實驗結果(如表七)。

七、改變主副支流的溫差

(一) 本實驗中主河道皆固定與水平傾斜角度為 1°，使用手機的功能來測量傾斜角度大小。

(二) 在主支流的水箱中加入黑色顏料，並將熱水加入裝有黑色顏料的水箱，使其溫度上升；本實驗使主支流水箱和副支流水箱有三種溫差，10℃ 、20℃ 及 30℃ 。

(三) 為了固定變因，我們將副支流的傾斜角度設定為 2°，只改變主支流的傾斜角度分別為 2°、4°、6°、8°及 10°。

(四) 拍照，利用電腦軟體判斷出在主河道匯流距離並記錄。

(五) 重複三次實驗並記錄其結果。

(六) 每人每次實驗取一個數據，3(人)*3(次實驗)=9(個數據)，九個數據取五個較接近之數據做為該變因之實驗結果(如表八)。

伍、 研究結果

一、測量流量

(一) 紀錄 10L 水流光所需時間並計算流量(如表一)。

表一　10L 水流光所需時間及流量

實驗次數	碼錶(s)	流量(mL/s)	標準差
第一次	128.9	77.58	6.96
第二次	109.3	91.45	
第三次	139.7	71.56	
第四次	108.3	92.38	
第五次	126.7	78.80	
第六次	122.5	81.60	
第七次	118.7	84.25	
平均	122.0	82.52	

(二) 加裝水位控制器後，測量一分鐘的流量，並計算流量(如表二)。

表二　一分鐘流出的水量及流量

實驗次數	流出水量(mL)	流量(mL/s)	標準差
第一次	5399.0	89.98	1.27
第二次	5501.0	91.68	
第三次	5646.0	94.10	
第四次	5508.0	91.80	
第五次	5599.0	93.31	
第六次	5569.0	92.81	

第七次	5595.0	93.25	
平均	5545.3	92.42	

二、測量垂直混和均勻時間

測量加入黑色顏料、加入黑色顏料及鹽度 50g/L 的水、加入黑色顏料及鹽度 75g/L 的水、加入黑色顏料及鹽度 100g/L 的水、加入黑色顏料及溫差 10℃ 的水、加入黑色顏料及溫差 20℃ 的水及、加入黑色顏料及溫差 30℃ 的水與清水的垂直混和均勻時間，方便探討匯流結果(如表三)。

表三 在不同變因下的垂直混和均勻時間(註:打 X 是在兩分鐘後仍然無法混和)

上層	下層	第一次(s)	第二次(s)	第三次(s)	平均時間(s)
加入黑色顏料的水	清水	16.9	21.3	15.8	18.0
清水	加入黑色顏料的水	X	X	X	X
加入黑色顏料及鹽度 50g/L 的水	清水	3.5	3.1	3.6	3.4
清水	加入黑色顏料及鹽度 50g/L 的水	X	X	X	X
加入黑色顏料及鹽度 75g/L 的水	清水	1.8	2.4	2.4	2.2
清水	加入黑色顏料及鹽度 75g/L 的水	X	X	X	X

加入黑色顏料及鹽度 100g/L 的水	清水	2.3	1.6	1.8	1.9
清水	加入黑色顏料及鹽度 100g/L 的水	X	X	X	X
加入黑色顏料及溫差 10℃ 的水	清水	X	X	X	X
清水	加入黑色顏料及溫差 10℃ 的水	7.4	7.8	7.0	7.4
加入黑色顏料及溫差 20℃ 的水	清水	X	X	X	X
清水	加入黑色顏料及溫差 20℃ 的水	5.4	5.5	5.9	5.6
加入黑色顏料及溫差 30℃ 的水	清水	X	X	X	X
清水	加入黑色顏料及溫差 30℃ 的水	4.4	5.1	4.9	4.8

三、測量水平混和均勻時間

測量加入黑色顏料、加入黑色顏料及鹽度 50g/L 的水、加入黑色顏料及鹽度 75g/L 的水、加入黑色顏料及鹽度 100g/L 的水、加入黑色顏料及溫差 10℃ 的水、加入黑色顏料及溫差 20℃ 的水及加入黑色顏料、溫差 30℃ 的水與清水的水平混和均勻時間，方便探討匯流結果(如表四)。

表四 在不同變因下的水平混和均勻時間

混和物	第一次(s)	第二次(s)	第三次(s)	平均時間(s)
加入黑色顏料的水+清水	50.2	51.3	51.7	51.1
加入黑色顏料及鹽度 50g/L 的水+清水	4.3	4.9	4.1	4.4
加入黑色顏料及鹽度 75g/L 的水+清水	3.6	3.4	3.8	3.6
加入黑色顏料及鹽度 100g/L 的水+清水	2.7	3.1	3.5	3.1
加入黑色顏料及溫差 10℃的水+清水	11.5	13.1	13.4	12.7
加入黑色顏料及溫差 20℃的水+清水	8.4	8.5	9.2	8.7
加入黑色顏料及溫差 30℃的水+清水	6.6	7.2	7.1	7.0

四、測量流速

測量不同傾斜角度下，流過 1.5m 長河道所需的時間，並計算出平均流速(如表五)。

表五 傾斜角度與平均流速

傾斜角度	第一次(s)	第二次(s)	第三次(s)	平均流速(m/s)
2°	2.01	2.10	2.12	0.723
4°	1.57	1.67	1.68	0.914
6°	1.30	1.39	1.42	1.095
8°	1.13	1.15	1.23	1.282
10°	0.97	1.01	1.09	1.466

五、改變支流的傾斜角度

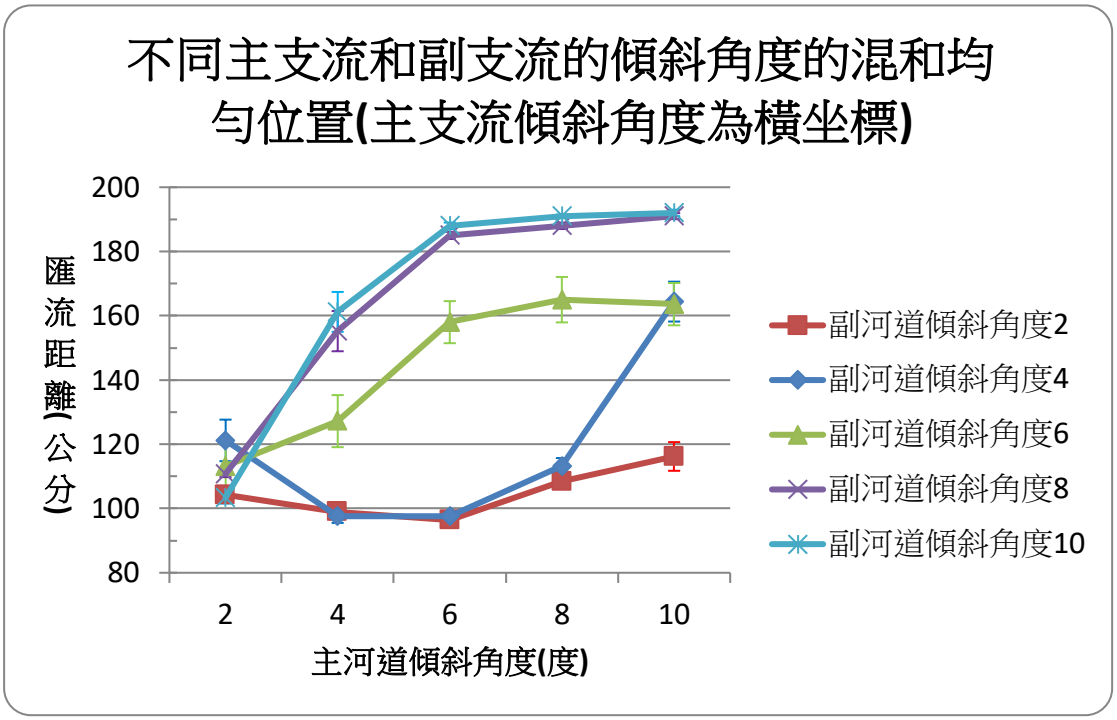
(一) 改變主、副支流的傾斜角度大小，紀錄匯流距離(如表六)。

表六 改變主支流和副支流的傾斜角度的混和均勻位置

主河道傾斜角度(°)	副河道傾斜角度(°)	數據1(cm)	數據2(cm)	數據3(cm)	數據4(cm)	數據5(cm)	平均(cm)
2	2	100	100	105	107	109	104.2
4		95	98	100	100	102	99
6		88	94	97	100	103	96.4
8		97	107	111	112	115	108.4
10		97	109	112	113	150	116.2

2	4	94	102	105	150	155	121.2
4		88	90	96	104	110	97.6
6		90	93	100	100	105	97.6
8		103	103	114	116	130	113.2
10		117	170	170	175	190	164.4
2	6	91	100	105	105	165	113.2
4		110	110	112	112	192	127.2
6		110	160	165	165	190	158
8		110	170	175	180	190	165
10		113	170	170	175	190	163.6
2	8	105	110	110	111	118	110.8
4		115	146	155	170	190	155.2
6		180	180	185	190	190	185
8		180	190	190	190	190	188
10		185	190	190	195	195	191
2	10	90	104	105	105	113	103.4
4		116	160	165	175	190	161.2
6		180	190	190	190	190	188
8		190	190	190	190	195	191
10		190	190	190	190	200	192

(二) 計算平均值的標準差，並算出其標準誤差，公式為誤差值=標準差/√n(註:n 為數據數量)，畫出折線圖(如圖十二)。



圖十二 不同主支流和副支流的傾斜角度的混和均勻位置(主河道傾斜角度為橫坐標)

六、改變支流的鹽度

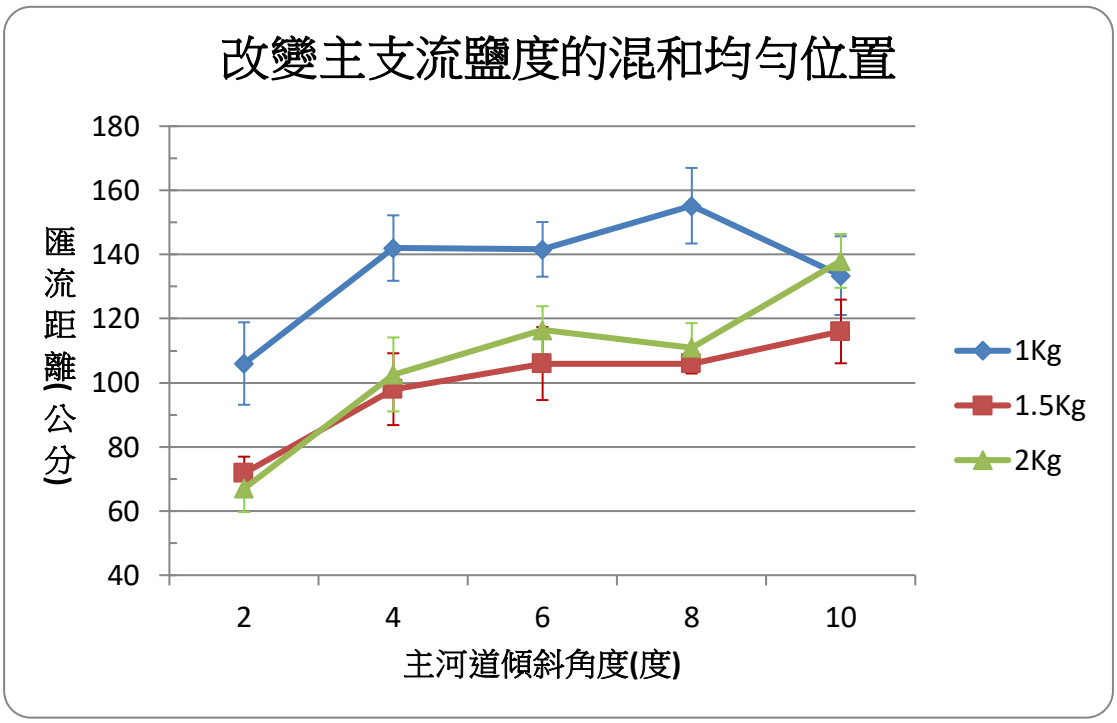
(一) 改變主支流傾斜角度，並加入不同鹽量改變密度，實驗結果紀錄(如表七)。

表七 改變主支流鹽度的混和均勻位置

主河道傾斜角度(°)	副河道傾斜角度(°)	主河道密度(g/mL)	副河道密度(g/mL)	數據1(cm)	數據2(cm)	數據3(cm)	數據4(cm)	數據5(cm)	平均(cm)

2	2	1.025	0.98	55	55	85	165	170	106
4				90	95	170	170	185	142
6				95	105	168	170	170	141.6
8				95	100	193	193	195	155.2
10				90	95	95	192	195	133.4
2	2	1.039	0.98	45	50	80	87	97	71.8
4				60	60	65	145	160	98
6				50	75	85	160	160	106
8				90	95	105	120	120	106
10				90	95	100	100	195	116
2	2	1.073	0.98	40	40	50	100	105	67
4				60	65	70	158	160	102.6
6				80	80	137	140	145	116.4
8				80	90	90	140	155	111
10				100	100	140	175	175	138

(二) 計算平均值的標準誤差，畫成折線圖(如圖十三)。



圖十三 改變主支流鹽度的混和均勻位置

七、改變主副支流的溫差

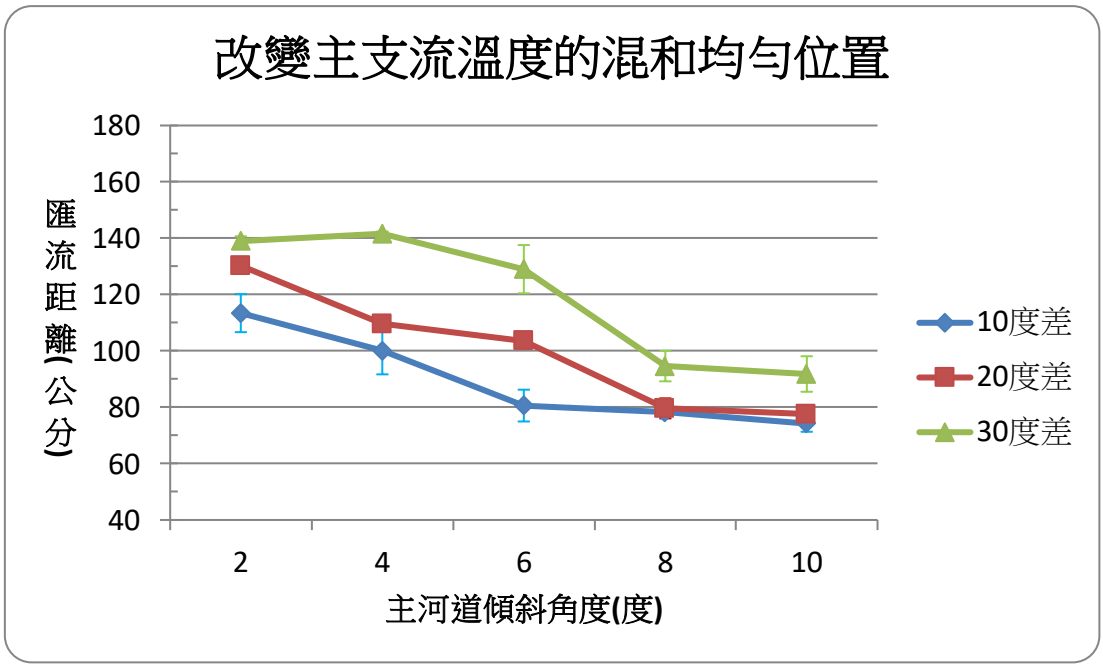
(一) 測量主副支流溫差不同時，改變主副支流傾斜角度後的匯流距離紀錄(如表八)。

表八 改變主副支流溫差的混和均勻位置

主河道傾斜角度(°)	副河道傾斜角度(°)	主副河道溫差(℃)	數據1(cm)	數據2(cm)	數據3(cm)	數據4(cm)	數據5(cm)	平均(cm)
2	2	10	91	100	100	110	166	113.4
4			45	100	100	105	150	100
6			48	60	90	100	105	80.6
8			69	75	80	80	87	78.2
10			55	70	76	80	90	74.2

2	2	20	120	120	130	140	141	130.2
4			95	105	108	115	125	109.6
6			95	97	106	110	110	103.6
8			60	65	88	90	95	79.6
10			70	75	75	78	90	77.6
2	2	30	130	135	140	140	150	139
4			140	140	140	140	148	141.6
6			80	95	154	157	159	129
8			70	75	90	111	127	94.6
10			65	70	80	119	125	91.8

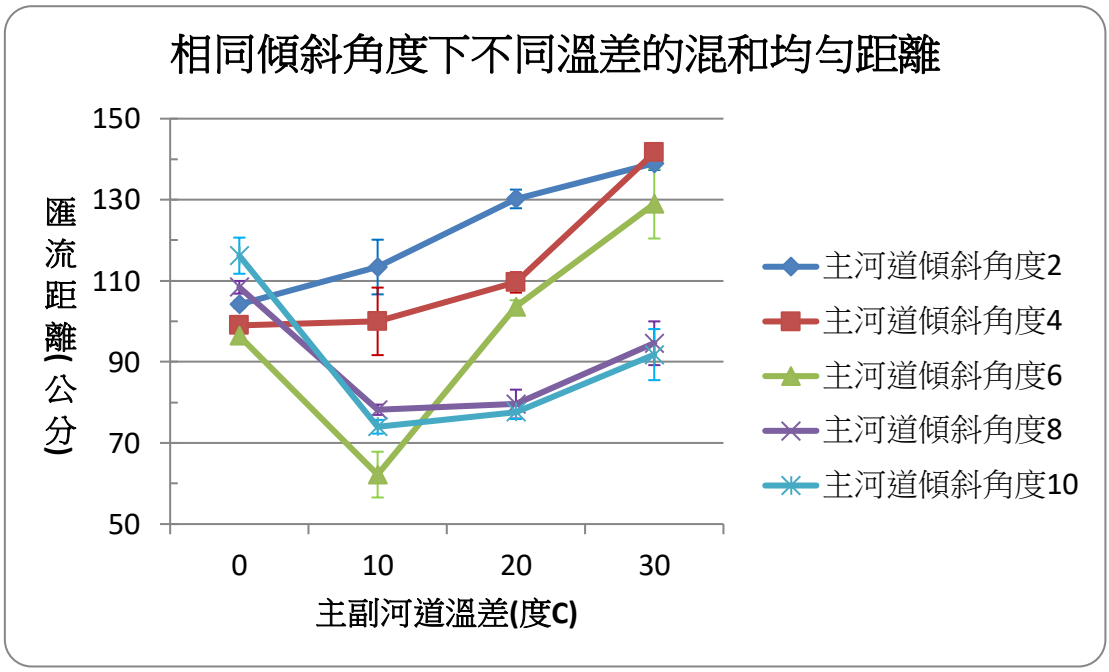
(二) 計算平均值的標準誤差，畫成折線圖(如圖十四)。



圖十四改變主支流溫度的混和均勻位置

八、利用相同傾斜角度判斷溫差的影響

我們挑出前面各項實驗數據中主、副支流的傾斜角度相同時，即當主、副支流流速相同時，溫差是如何影響匯流距離呢?所以我們便將實驗數據用折線圖表示，以方便討論(如圖十五)



圖十五相同傾斜角度下不同溫差的匯流距離

陸、 討論

一、加裝水位控制器前後，根據表一、表二，測量數據的標準差從 6.96 降為 1.27，所以可以知道控制變因中的流量得以有效的被控制住。當流量變化越小，河流就能越穩定，所以水位控制器在本實驗中具備很重要的角色。

二、為了模擬真實河川之傾斜角度，我們在書籍、網站中查到，許多河流的流速(中下游)，方便我們訂出實驗變因(如表九，表中傾斜角度為我們自行換算，換算數據如表五)。

表九　各河川流速與傾斜角度

河川名稱	流速(m/s)	傾斜角度(°)
內格羅河[1]	0.56	<2
索利蒙伊斯河[1]	1.39	10
林邊溪[5]	0.389~0.974	2~4
黃河[6]	2.2	＞10
密西西比河[7]	0.5~1.2	2~8

根據表五與表九，大多數河川的傾斜角度<10°，且為了與主河道有所區別，所以我們便將傾斜角度這一項變因控制在 2°~10°(每 2°一個間隔)，以便模擬真實河川情形。

三、為了使密度、溫度有明顯的差異，所以改變密度為鹽度 50g/L、鹽度 75g/L 及鹽度 100g/L，改變溫差為 10℃、20℃及 30℃。為了固定變因，便使副支流傾斜角度固定為 2°，因為改變支流傾斜角度的實驗中(如圖十二)，當副支流傾斜角度為 2°時，匯流距離的範圍在 90cm~120cm 之間。所以可以藉由匯流距離的細微差異，進而探討鹽度以及溫差與

匯流距離的關係。

四、為了方便觀察以及電腦軟體 Just Color Picker 的應用，便使用黑色廣告顏料作為主支流的染色顏料。最初有使用黃色、紅色、綠色及藍色作為染色顏料，但是不易觀察，所以改使用黑色顏色之顏料。而墨水及黑色廣告顏料都是黑色，但是墨水擴散速度太快，導致分界線不易形成，也不容易拍下墨水擴散情況。所以最後才以黑色廣告顏料作為主支流的染色顏料。

五、根據表三、表四，我們可以發現加鹽的水傾向於下沉，而加溫的水傾向於上浮。因為加鹽的水的密度＞清水的密度＞加溫的水的密度，所以才會有此現象。另外鹽度差異越大混和時間越短，溫度差異越大混和時間越短。因為加入越多鹽擴散速度越快，所以黑色顏料也更容易擴散至清水之中，而溫差越大，所形成的密度差越大，而密度差越大越容易使黑色顏料擴散至清水之中。

六、根據圖十二，改變支流傾斜角度，我們發現匯流距離與主支流傾斜角度呈現正相關，即主支流的傾斜角度越大，就需要較長的距離才能夠混和均勻。我們認為當水流速度小於固定數值時，才會比較容易混和均勻，當支流初速較高時，匯流距離就會較遠，而當支流初速較低時，匯流距離就會較近。而當副支流傾斜角度遠大於主支流傾斜角度時，副支流流速太大造成匯流時產生亂流，所以匯流距離大幅縮短。而水流速度小於固定數值，根據表五，我們推測河道流速至少要小於 0.723m/s，主支流、副支流才能混和均勻。

七、根據圖十三，改變支流的密度，我們發現匯流距離與主支流傾斜角度成正相關。當傾斜角度越大，流速越快，越不容易混合，所以才會形成匯流距離與主支流傾斜角度成正相關的現象。但是根據表三、表四，我們認為當加入鹽的水流入主河道時，密度較大的水會在下層流動(水平分界線，形成上下分層)，因此導致電腦軟體 Just Color Picker 的

數值誤差，造成判斷上的不易，所以我們推測鹽度應該不是形成河川垂直分界線(左右分層)的主要變因。

八、根據圖十四，改變主副支流的溫差，我們發現匯流距離與主支流傾斜角度成負相關，即是當兩支流有溫差時，流速差越多反而混和距離越短。當考慮同一主支流傾斜角度時，可以發現溫差越大匯流距離越遠(混和時間較長)，此結果與混和時間的實驗結果(溫差越大混和時間越短)不符，是因為測量混和時間的實驗中，清水與加入黑色顏料的水沒有相對運動，而此實驗有流速差異，所以才會有此現象。

九、根據圖十五，我們發現在主支流傾斜角度小於 4°時，溫差越大匯流距離越遠，但主支流傾斜角度為 6°及 8°時，溫差 10℃ 的匯流距離最短，沒有溫差的匯流距離反而最遠。因此我們推測當兩河道傾斜角度相差不大時(主 2°、副 2°或主 2°、副 4°)，兩支流溫差愈大需要更多時間才能混和均勻，但當兩支流傾斜角度相差太大時(主 2°、副 8°或主 2°、副 10°)，流速大小才是影響混和的主要原因，溫差反而影響較小。

十一、本實驗中誤差的造成，我們推測照片的背景光源大小以及河道接縫處皆可能是誤差的來源。背景光源大小會些微影響河道的 RGB 數值，當有強光照射時，RGB 的數值會變大；而河道接縫處會因積水而造成匯流距離些微提前，會使積水處的 RGB 數值變小(RGB 數值越大，畫面越白)。

十二、根據所有實驗結果，在本實驗的環境中，我們推測當要形成明顯的分界線，需要在主支流傾斜角度越大且副支流傾斜角度越大的時候才會形成，例如:當傾斜角度在 2°~10°時，主支流傾斜角度為 10°且副支流傾斜角度 10°時，分界線會最為明顯且維持最久，而此時密度差與溫度差相較之下影響較小。

柒、 結論

一、加裝水位控制器後，測量數據的標準差從 6.96 降為 1.27，使得流量更加穩定，所以水位控制器在本實驗中具備很重要的角色。

二、為了模擬真實河川之傾斜角度，所以我們自製傾斜角度與流速之換算表，並將傾斜角度固定在 2°~10°(每 2°一個間隔)。

三、根據表三、表四，在水沒有流動的情況下，因為鹽度越高混和時間越短且溫差越大混和時間越短，所以加鹽的水的密度＞清水的密度＞加溫的水的密度。

四、改變支流傾斜角度，我們發現匯流距離與主支流傾斜角度呈現正相關。我們認為當水流速度小於 0.723m/s，主支流、副支流才能混和均勻。

五、改變支流的鹽度，我們發現匯流距離與主支流傾斜角度成正相關。但是根據表三、表四，我們推測密度應該不是形成河川垂直分界線(左右分層)的主要變因。

六、改變主副支流溫差，我們發現匯流距離與主支流傾斜角度成負相關。

七、我們推測當兩河道傾斜角度相差不大時(主 2°、副 2°或主 2°、副 4°)，溫差影響比傾斜角度明顯；但當兩支流傾斜角度相差太大時(主 2°、副 8°或主 2°、副 10°)，傾斜角度影響比溫差明顯。

八、本實驗中誤差的造成，我們推測照片的背景光源大小以及河道接縫處皆可能是誤差的來源。

九、 在本實驗的環境中，我們推測當主支流傾斜角度為 10°且副支流傾斜角度 10°時，分界線會最為明顯且維持最久，而此時密度差與溫度差影響較小。

捌、 參考資料及其他

[1]游鳳珠 (2015)·亞馬孫河--蜿蜒的大河及棲於該流域的各種動物-互不交融的兩條河川．*牛頓科學雜誌*，90，85。

[2]巴西「陰陽河」黑白分明綿延六公里(2015 年 9 月 7 日)．*大紀元*．取自 http://www.epochtimes.com › 首頁 › 新聞 › 科技新聞

[3]內格羅河和索利蒙伊斯河的交匯圖片出處(2015 年 9 月 7 日)．大紀元．取自 http://www.twword.com/wiki/內格羅河

[4]李昱萱、何育慧、謝佳頤、程有睿、謝博任(2009)．水來土「淹」．*第 49 屆中小學科學展覽會*．取自 http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/49/pdf/080509.pdf

[5]楊翰宗、江介倫、陳彥璋(2012)．河川於淺水流時流速．取自 www.twaes.org.tw/ae/htmdata/05804023.pdf

[6]比賽資訊:(冬季)搶渡黃河極限挑戰菁英賽(2017 年 1 月 7 日)·*游泳多多*．取自 http://swimdodo.com/yellow-river-open-water/

[7]National Park Service. (1916). Mississippi River Facts,from https://www.nps.gov/miss/riverfacts.htm

【評語】051905

為瞭解造成兩河流匯流後，呈現水體混合延滯之特殊地質景觀，而設計模擬河流匯流實驗，實驗變因有水體流速、鹽度（密度）及溫度。實驗所用之兩水體鹽度差及溫度差皆遠大於自然界值，使用此等數值之目的需加以說明。實驗之關鍵在於「水體均勻混合」的時間判斷，實驗應是以著色水之顏料擴散入無著色水，以電腦 RGB 辨色，達均勻色調之時間為依據。此法看似合理，但仔細推敲，卻有其複雜性。需考慮的是，顏料擴散速率與水體成分(鹽度)及溫度擴散速率是否相等；若否，則結論是否維持不變？

本研究主題實為極佳之邏輯推理材料，可先推測造成水體混合延滯之特殊地質景觀的可能原因，並說明推測之依據，再由實驗驗證。

作品海報

摘要

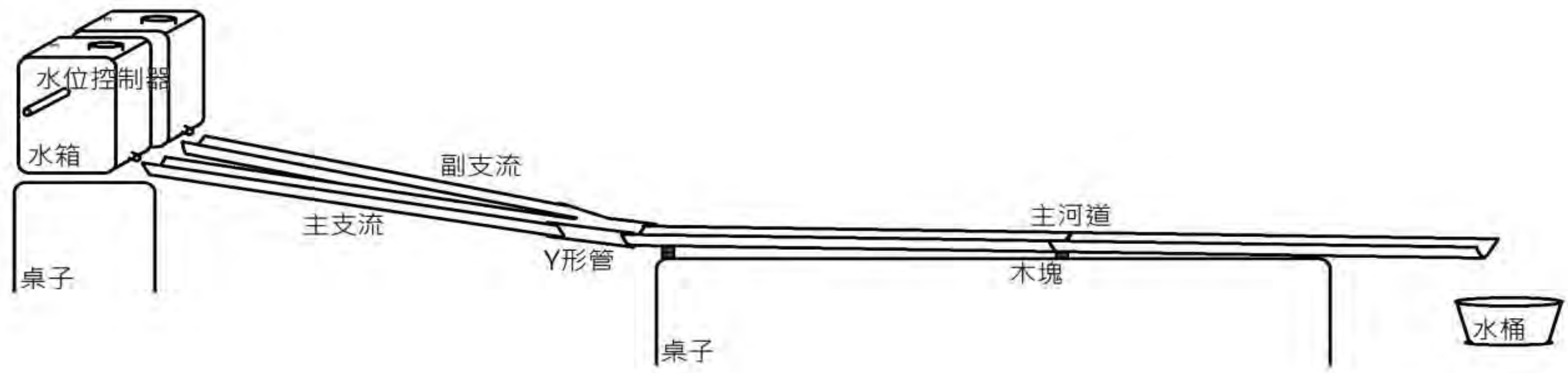
在亞馬遜流域中有兩條河，哥倫比亞的內格羅河，其溫度為28℃且流速大約為0.56m/s與祕魯的索利蒙伊斯河，其溫度為22℃且流速大約為1.39m/s，兩河匯流後會形成一道很明顯的分界線，長達6km。本研究想要探討當兩河道在不同的流速、密度與溫度下，與匯流距離的關係。

我們製作兩個河道，分別為主支流、副支流，並將黑色顏料加入主支流，再使兩支流匯流，並流入主河道。改變各項變因進行實驗，透過電腦軟體判斷匯流距離並探討其關係。

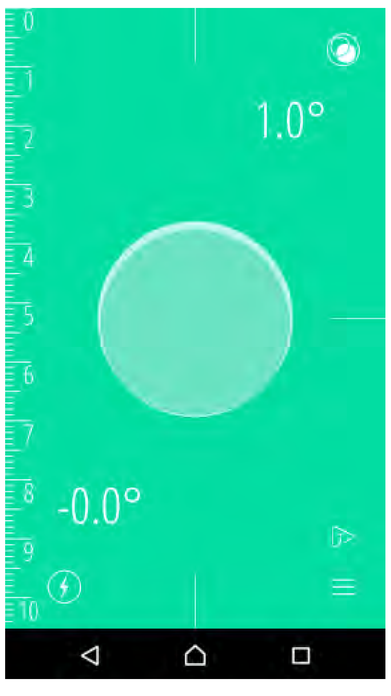
研究目的

一、製作實驗模型，模擬實際河川匯流情況。
二、檢測主副支流的傾斜角度、密度、溫度差異不同時，匯流距離有何變化。

實驗器材及照片



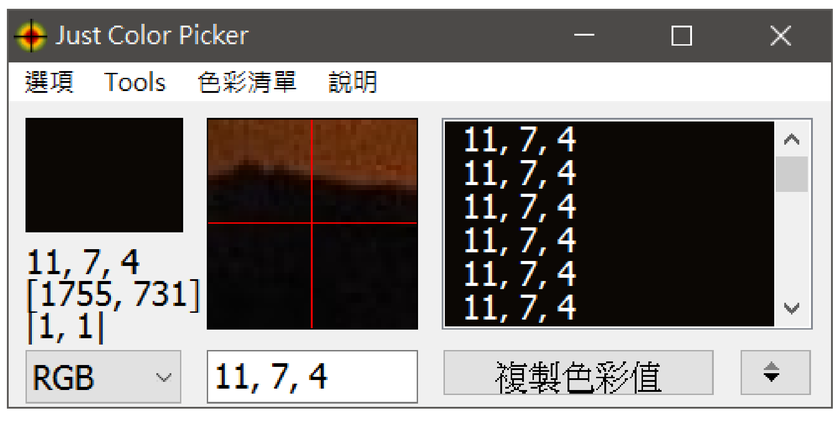
實驗模型全景示意圖



手機陀螺儀

水位控制器俯視圖

水位控制器側視圖



電腦軟體 Just Color Picker

研究過程及結果

測量流量

此實驗是用來測量供應水源水箱的流量，測量10公升的水從水箱流出的時間，測量七次並算出平均流量，測量結果的差距竟然超過20mL/s(71mL/s~92mL/s)，討論後決定加裝水位控制器，使水位固定，並測量1分鐘流出水的量。

實驗次數	碼錶(s)	流量(mL/s)	標準差
第一次	128.9	77.58	6.96
第二次	109.3	91.45	
第三次	139.7	71.56	
第四次	108.3	92.38	
第五次	126.7	78.80	
第六次	122.5	81.60	
第七次	118.7	84.25	
平均	122.0	82.52	

10L水流光所需時間及流量
（未加裝水位控制器）

實驗次數	流出水量(mL)	流量(mL/s)	標準差
第一次	5399.0	89.98	1.27
第二次	5501.0	91.68	
第三次	5646.0	94.10	
第四次	5509.0	91.80	
第五次	5599.0	93.31	
第六次	5569.0	92.81	
第七次	5595.0	93.25	
平均	5545.3	92.42	

一分鐘流出的水量及流量
（加裝水位控制器後）

加裝水位控制器前後，根據上表(左上、右上)，測量數據的標準差從6.96降為1.27，所以可以知道控制變因中的流量得以有效的被控制住。當流量變化越小，河道就能越穩定，所以水位控制器在本實驗中具備很重要的角色。

測量垂直、水平混和均勻時間

為了更容易判斷實驗數據，所以記錄各項變因中(加顏料、加鹽、加溫)垂直與水平的混和均勻時間。在垂直混和均勻時間實驗中，將兩個玻璃杯裝滿水，其一裝水，另一個裝黑色顏料及各項變因(加鹽、加溫)。將有黑色顏料的玻璃杯倒置；換將上下倒置，抽開隔板，分別紀錄均勻混和時間。而在水平混和均勻時間實驗中利用木板將透明淺水盆隔成兩區，其中一區裝黑色顏料及各項變因(加鹽、加溫) ，另一區裝清水，等待盆中水靜止，抽開隔板，並測量均勻混和之時間，每次實驗重複三次並紀錄。

上層	下層	第一次(s)	第二次(s)	第三次(s)	平均時間(s)
黑色顏料的水	清水	16.9	21.3	15.8	18.0
黑色顏料及鹽度50g/L的水	清水	3.5	3.1	3.6	3.4
黑色顏料及鹽度75g/L的水	清水	1.8	2.4	2.4	2.2
黑色顏料及鹽度100g/L的水	清水	2.3	1.6	1.8	1.9
清水	黑色顏料及溫差10℃的水	7.4	7.8	7.0	7.4
清水	黑色顏料及溫差20℃的水	5.4	5.5	5.9	5.6
清水	黑色顏料及溫差30℃的水	4.4	5.1	4.9	4.8

不同變因下的垂直混和均勻時間

混和物	第一次(s)	第二次(s)	第三次(s)	平均時間(s)
加入黑色顏料的水+清水	50.2	51.3	51.7	51.1
加入黑色顏料及鹽度50g/L的水+清水	4.3	4.9	4.1	4.4
加入黑色顏料及鹽度75g/L的水+清水	3.6	3.4	3.8	3.6
加入黑色顏料及鹽度100g/L的水+清水	2.7	3.1	3.5	3.1
加入黑色顏料及溫差10℃的水+清水	11.5	13.1	13.4	12.7
加入黑色顏料及溫差20℃的水+清水	8.4	8.5	9.2	8.7
加入黑色顏料及溫差30℃的水+清水	6.6	7.2	7.1	7.0

不同變因下的水平混和均勻時間

我們可以發現加鹽的水傾向於下沉，而加溫的水傾向於上浮。因為加鹽的水的密度>清水的密度>加溫的水的密度。另外鹽度差異越大混和時間越短，溫差越大混和時間越短。因為加入越多鹽擴散速度越快，所以黑色顏料也擴散至清水之中，而溫差越大，所形成的波動越大，而波動越大越容易使黑色顏料擴散至清水之中。

測量流速

為了更容易了解分界線形成的原因，因此需得知支流傾斜角度在2°、4°、6°、8°及10°時的流速大小。本實驗測量小紙片(面積0.6cm*0.8cm=0.48cm²)在不同傾斜角度下，流過1.5m長河道所需的時間，並計算出平均流速，重複三次實驗並記錄其結果。

傾斜角度	第一次(s)	第二次(s)	第三次(s)	平均流速(m/s)
2°	2.01	2.10	2.12	0.723
4°	1.57	1.67	1.68	0.914
6°	1.30	1.39	1.42	1.095
8°	1.13	1.15	1.23	1.282
10°	0.97	1.01	1.09	1.466

傾斜角度與平均流速

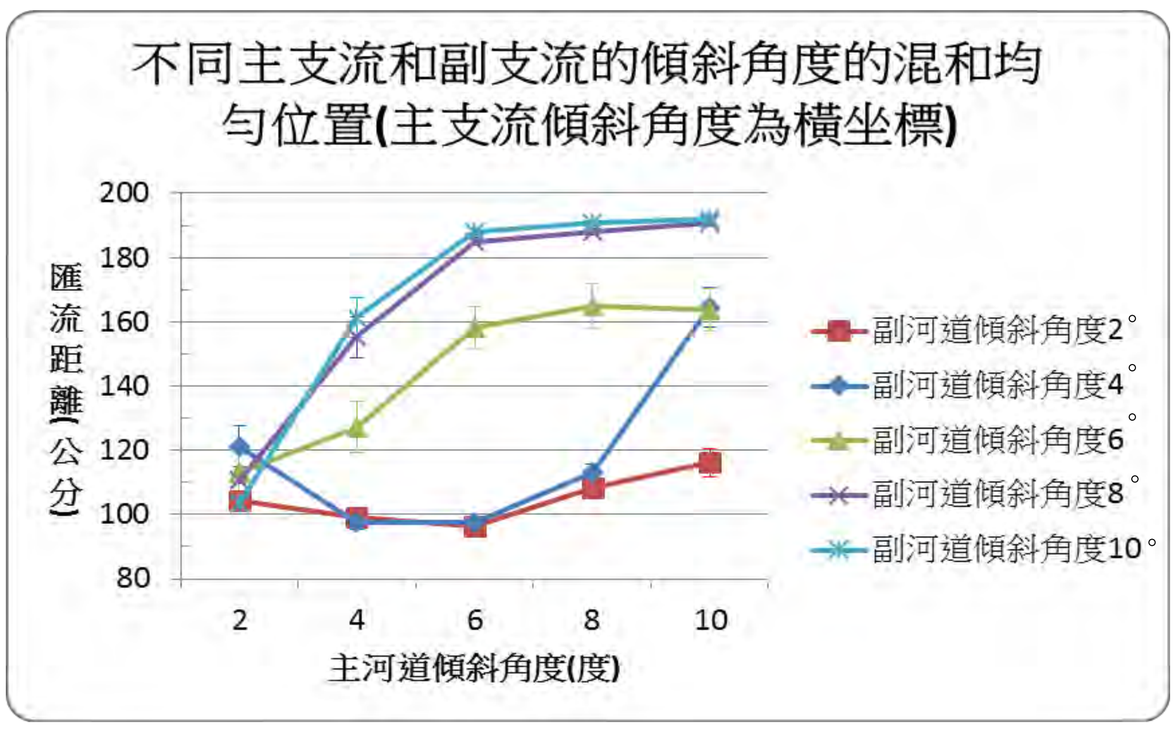
河川名稱	流速(m/s)	傾斜角度(°)
內格羅河	0.56	<2
索利蒙伊斯河	1.39	10
林邊溪	0.389~0.974	2~4
黃河	2.2	>10
密西西比河	0.5~1.2	2~8

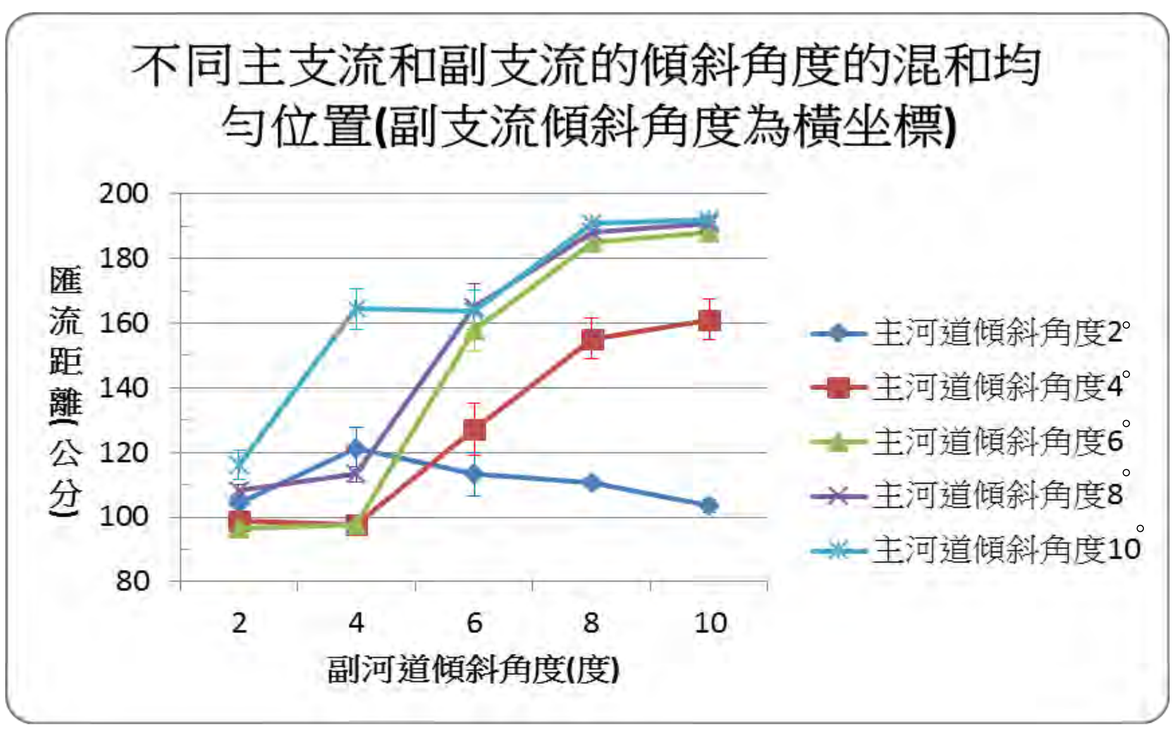
各河川支流速與傾斜角度

我們在書籍、網站中查到，許多河流中下游的流速，並換算出傾斜角度，方便我們訂出實驗變因。根據右上表，因為我們所查到的河川大多數的傾斜角度<10°，所以我們便將傾斜角度這一項變因控制在2°~10°(每2°一個間隔)，以便模擬真實河川情形。

改變支流的流速

使主支流傾角為2°、4°、6°、8°、10°，副支流傾角也為2°、4°、6°、8°、10°進行實驗(25組)。每組實驗重複三次，並將結果畫成折線圖。

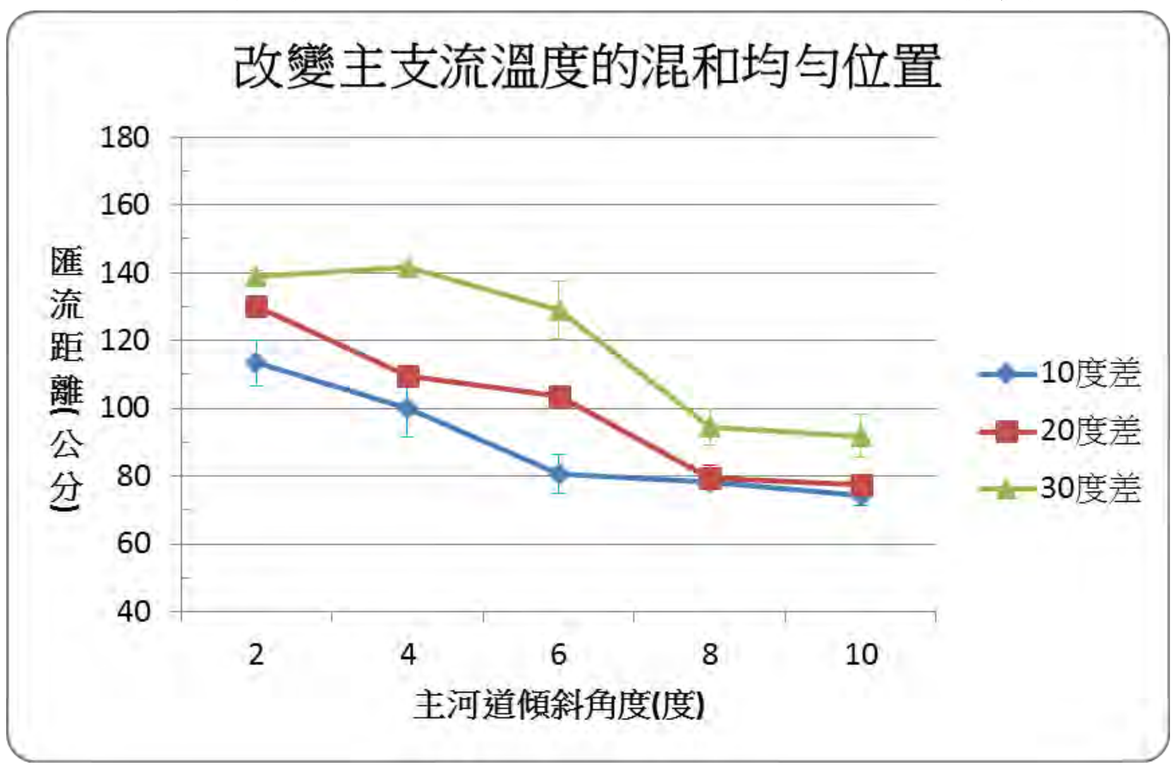




改變支流傾斜角度，我們發現匯流距離與主支流傾斜角度呈現正相關，即主支流的傾斜角度越大，就需要較長的距離才能夠混和均勻。我們認為當水流速度小於固定數值時，才會比較容易混和均勻，當支流初速較高時，匯流距離就會較遠，而當支流初速較低時，匯流距離就會較近。而當副支流傾斜角度遠大於主支流傾斜角度時，副支流流速太大造成匯流時產生亂流，所以匯流距離大幅縮短。而水流速度小於固定數值，根據上表，我們推測河道流速至少要小於0.723m/s，主支流、副支流才能混和均勻。

改變主副支流的溫差

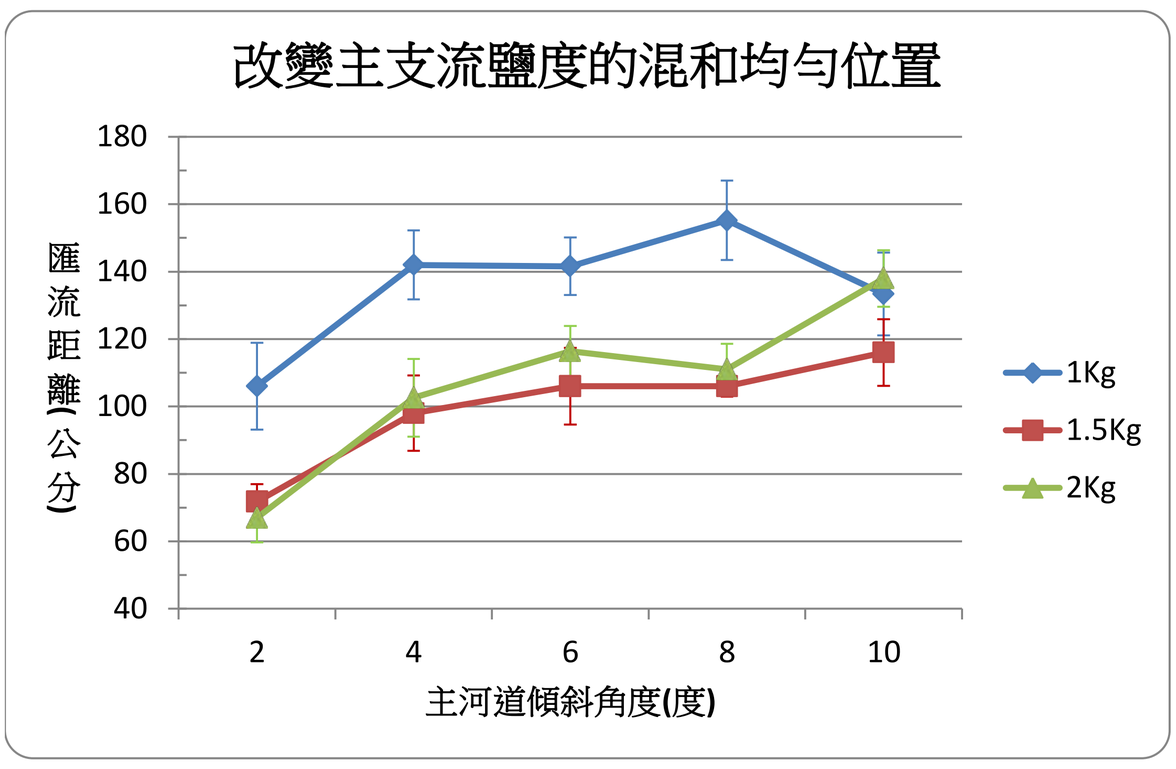
使主支流傾角為2°、4°、6°、8°、10°，副支流傾角固定為2°，並使主支流與副支流溫差分別為10℃、20℃、30℃，進行實驗(共15組)。每組實驗重複三次。



改變主副支流的溫差，我們發現匯流距離與主支流傾斜角度成負相關，即是當兩支流有溫差時，流速差越多反而混和距離越短。當考慮同一主支流傾斜角度時，可以發現溫差越大匯流距離越遠(混和時間較長)，此結果與混和時間的實驗結果(溫差越大混和時間越短)不符，是因為測量混和時間的實驗中，清水與加入黑色顏料的水沒有相對運動，而此實驗有流速差異，所以才會有此現象。

改變支流的鹽度

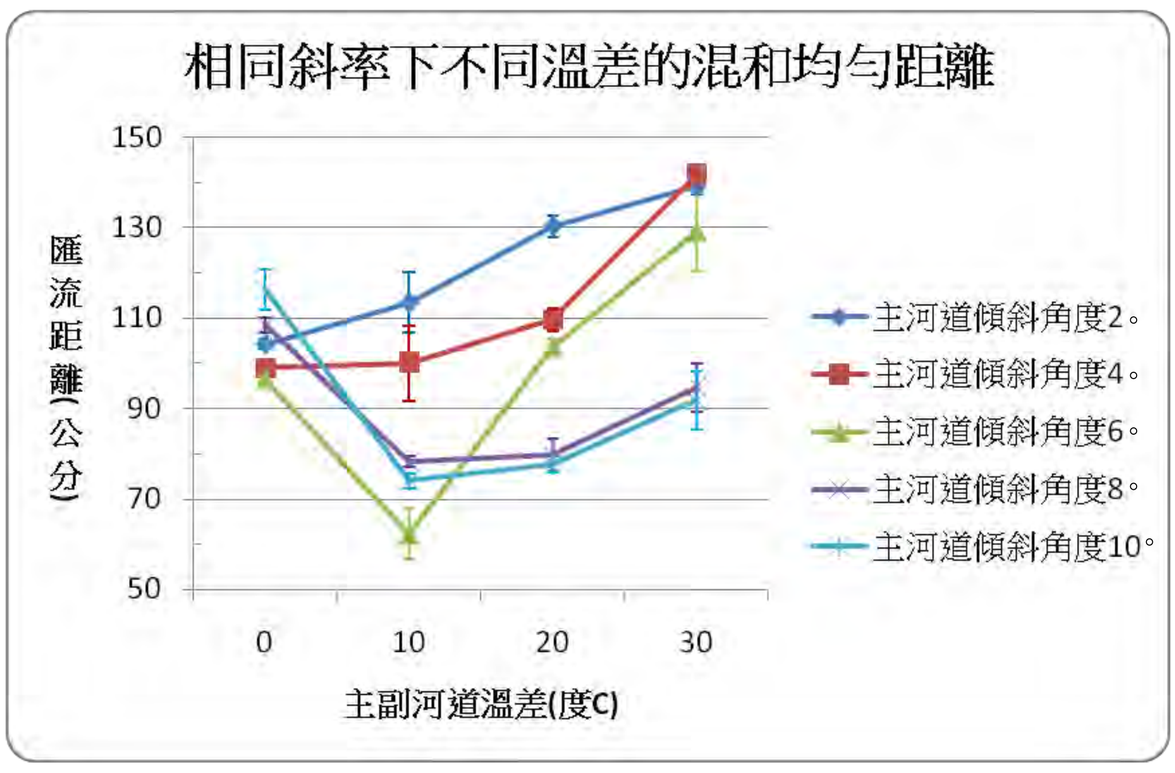
使主支流傾角為2°、4°、6°、8°及10°，副支流傾角固定為2°。在主支流分別加入密度為鹽度50g/L、鹽度75g/L及鹽度100g/L，進行實驗(共15組)，每組實驗重複三次。



改變支流的鹽度，我們發現匯流距離與主支流傾斜角度成正相關。當傾斜角度越大，流速越快，越不容易混合，所以才會形成匯流距離與主支流傾斜角度成正相關的現象。我們認為當加入鹽的水流入主河道時，鹽度較大的水會在下層流動(水平分界線，形成上下分層)，因此導致電腦軟體Just Color Picker的數值誤差，造成判斷上的不易，所以我們推測鹽度應該不是形成河川垂直分界線(左右分層)之主要變因。

相同傾斜角度

我們挑出前面各項實驗數據中主、副支流的傾斜角度相同時，即當主、副支流流速相同時，溫差是如何影響匯流距離？我們將實驗數據用折線圖表示，以方便討論。



我們發現在主支流傾斜角度小於4°時，溫差越大匯流距離越遠，但主支流傾斜角度為6°及8°時，溫差10℃的匯流距離最短，沒有溫差的匯流距離反而最遠。因此我們推測當兩河道傾斜角度相差不大時(主2°、副2°或主2°、副4°)，兩支流溫差愈大需要更多時間才能混和均勻，但當兩支流傾斜角度相差太大時(主2°、副8°或主2°、副10°)，流速大小才是影響混和的主要原因，溫差影響較小。

結論

一、加裝水位控制器後，測量數據的標準差從6.96降為1.27，使得流量更加穩定，所以水位控制器在本實驗中具備很重要的角色。

二、為了模擬真實河川之傾斜角度，所以我們自製換算表，並將傾斜角度固定在2°~10°(每2°一個間隔)。

三、為了使鹽度、溫度有明顯的差異，所以改變密度為鹽度50g/L、鹽度75g/L及鹽度100g/L，改變溫差為10℃、20℃及30℃。為了固定其變因使副支流傾斜角度固定為2°。

四、改變支流傾斜角度，我們發現匯流距離與主支流傾斜角度呈現正相關。我們認為當水流速度小於0.723m/s，主支流、副支流才能混和均勻。

五、改變支流的鹽度，我們發現匯流距離與主支流傾斜角度成正相關。我們推測鹽度應該不是形成河川垂直分界線(左右分層)的主要變因。

六、改變主副支流的溫差，我們發現匯流距離與主支流傾斜角度成負相關。

七、我們推測當兩河道傾斜角度相差不大時(主2°、副2°或主2°、副4°)，溫差影響比傾斜角度明顯；但當兩支流傾斜角度相差太大時(主2°、副8°或主2°、副10°)，傾斜角度影響比溫差明顯。

八、本實驗中誤差的造成，我們推測照片的背景光源大小以及河道接縫處皆可能是誤差的來源。

九、在本實驗的環境中，我們推測當主支流傾斜角度為10°且副支流傾斜角度10°時，分界線會最為明顯且維持最久，而此時鹽度差與溫差影響較小。