

第十三屆旺宏科學獎

成果報告書

參賽編號：SA13-237

作品名稱：**快速節能新方法—
震盪微波 COD**

姓名：許懷文

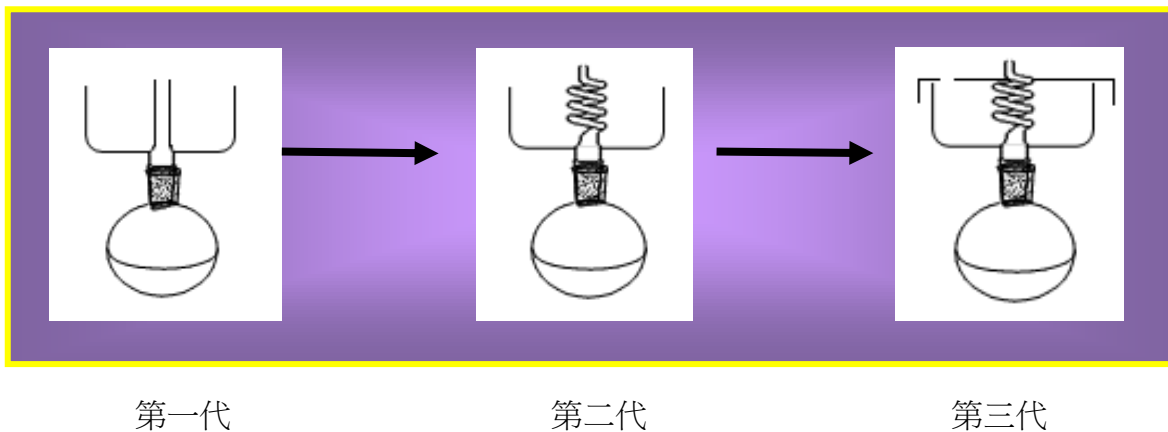
關鍵字：化學需氧量、超音波震盪、微波

目錄

摘要.....	2
壹、研究動機.....	3
貳、研究目的.....	4
實驗架構.....	4
參、器材與藥品.....	5
肆、研究過程與方法.....	7
伍、結果與討論.....	12
陸、結論.....	23
柒、未來展望.....	27
捌、參考資料.....	28

摘要

本研究改良傳統密閉式迴流法耗時、耗能、耗材的缺點，利用自製簡易微型微波迴流裝置，開發具有**六大優點**之**震盪微波法**。此檢測方法可**一次進行多項實驗**，不僅**操作方便**〈只需一人操作〉，**快速**〈傳統密閉式迴流法需 2 小時，震盪微波法只需震盪 20 分鐘、微波 1 分鐘〉，**省能**〈傳統法需耗電 1.396 度，震盪微波法只需耗電 0.0067 度〉，**低汙染**〈傳統法所需之重鉻酸鉀為 10ml，震盪微波法只需 5ml〉，且最**經濟實惠**〈傳統法需耗費 2.932 元，震盪微波法只需約 0.014 元〉。除此之外，此項裝置可適用於一般家用微波爐，不必在微波爐上打洞，利用極性分子吸收微波的特性，使系統具有選擇性，讓冷卻用的乾冰能夠重複使用。總而言之，此一裝置簡易方便，可做為及時檢測 COD 值之簡單裝置。



自製微波迴流裝置三代圖



快速節能新方法—震盪微波 COD

壹、 研究動機

「從看見台灣正視河川污染」齊柏林的紀錄片在放映後即深深觸動我們愛台灣的心，因為它是如此貼近我們所認識的真正的台灣。不只因為一份對美景的感動，也是由環境休戚與共而更有深刻的痛楚。台灣的汙染與濫墾濫伐，是不止步的進行式。身為高雄市的居民，本市接連發生的河川汙染事件，如先前驚傳綠牡蠣事件的二仁溪和最近被踢爆遭到日月光工廠汙水汙染的後勁溪，更激起我們的意識，關心生活環境。我們是否身處在危險的汙染範圍內？於是我們深入尋找有關新聞報導，在一連串搜索後，新聞內文頻繁地提到了化學需氧量 COD 的值，卻無詳細報導。適逢尋找主題，便決定好好來研究這個被媒體忽略的知識。

以傳統法檢測 COD，由於使用基本迴流裝置與加熱儀器，耗時且耗能，使用的檢測劑更有可能造成二次汙染。我們尋找一個省時且方便，並且兼具節能的檢測方法，以期減少重金屬氧化劑的用量。使用微波加熱，並佐以超音波震盪，都有助於加快實驗速度，降低能源的浪費，成效甚至比預期更佳，可以作為一項既簡易而且節能環保的發現。

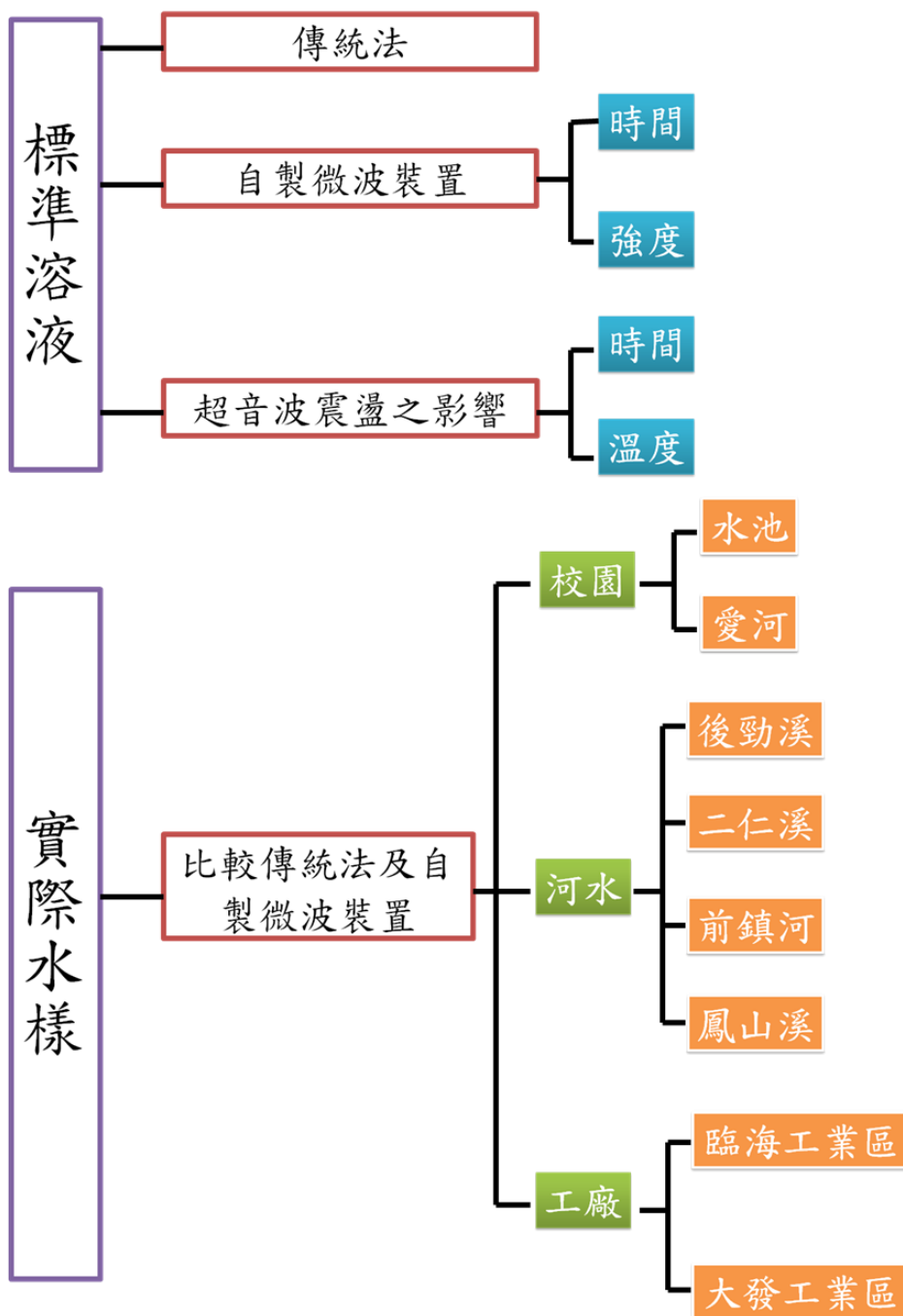


貳、 研究目的

本研究首先將針對自製開放式微波法和傳統的迴流加熱法的比較進行討論，接著改變微波消化處理法的微波時間及強度，以及加入超音波震盪後，改變震盪時間及溫度。從實驗過程及結果中，找出能讓此裝置最低耗能、最佳反應時間之條件。另一方面，我們同時探討其他成分之標準水溶液和真實水樣的 COD 值之研究結果與實用性。

實驗架構

建立自製微波迴流裝置



參、 器材及藥品

一、儀器

儀器名稱	儀器名稱
分度吸量管	燒杯
容量瓶	迴流裝置
加熱裝置	滴定裝置
天平(可精秤至 0.1 mg)	超音波震盪機

二、藥品

藥品名稱	藥品名稱
試劑水：去離子水	沸石
蔗糖溶液	濃硫酸
硫酸銀	重鉻酸鉀
菲羅啉 (Ferrou) 指示劑	硫酸銨亞鐵
COD 標準溶液	乾冰



圖一(一)：微波加熱裝置



圖一(二)：微波加熱裝置



圖一(三)：超音波震盪機



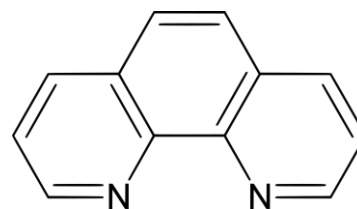
圖一(四)：微波爐

三、水樣來源

水樣	採水地點
水池	雄女水池
愛河	真愛碼頭
後勁溪	高雄市都會公園
二仁溪上游	高雄市田寮
二仁溪中游	高雄市湖內
前鎮河	高雄市前鎮
鳳山溪	高雄市鳳山
臨海工業區	臨海工業區
大發工業區	大發工業區

四、藥品配製³

1. 硫酸-硫酸銀試劑：於 1 L 濃硫酸中加入 60 g 硫酸銀，靜置使硫酸銀完全溶解。
2. 重鉻酸鉀標準溶液，0.02083 M：以試劑水溶解分析級之重鉻酸鉀 1.5324 g 於 250 mL 量瓶中，以試劑水定容至標線。
3. 菲羅啉 (Ferrioin) 指示劑：溶解 1.485 g 1,10 - 二氮雜菲 (1,10 - phenanthroline monohydrate, $C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$) 及 0.695 g 硫酸亞鐵於試劑水中定容至 100 mL。
4. 蔗糖溶液：在 500mL 量瓶內溶解 0.09 g 蔗糖於試劑水中，定容至標線，本溶液之理論 COD 值為 384 mg / L。
5. 硫酸亞鐵銨滴定溶液，0.025 M：溶解 4.9 g 分析級之硫酸亞鐵銨於試劑水中，冷卻後定容至 250mL。使用前標定之。
6. COD 標準溶液：在 1 L 量瓶內溶解 0.0850 g 無水鄰苯二甲酸氫鉀於試劑水中，定容至標線，本溶液之理論 COD 值為 100 mg / L。
(在未觀察到微生物生長情況下，此溶液在棕色瓶內可冷藏保存至三個月。)



註:標定方法

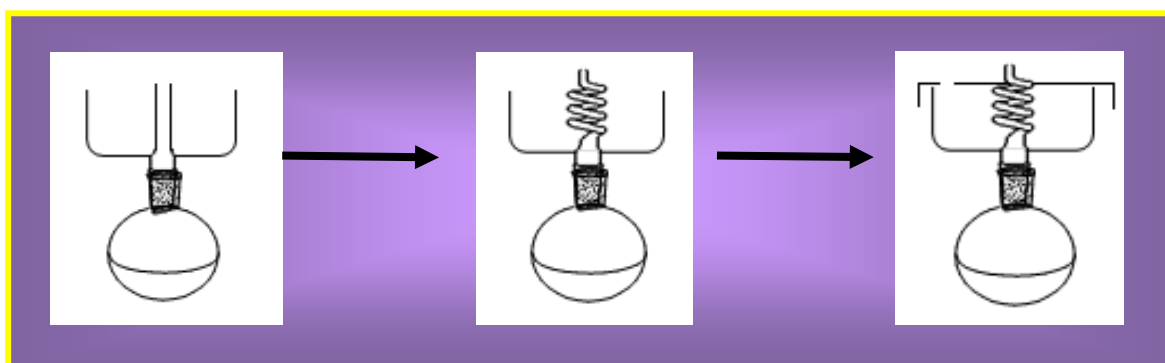
取 0.02083 M 重鉻酸鉀標準溶液 10 mL，稀釋至約 100 mL，加入 30 mL 濃硫酸，冷卻至室溫，加入 2 至 3 滴菲羅啉指示劑，以 0.025 M 硫酸亞鐵銨滴定，當溶液由藍綠色變為紅棕色時即為終點。

$$\text{硫酸亞鐵銨滴定溶液莫耳濃度 (M)} = \frac{0.02083(M) \times 10(mL) \times 6}{\text{消耗之硫酸亞鐵銨滴定溶液體積}(mL)}$$

肆、 研究過程與方法

一、 建立自製微波迴流裝置

1. 建立自製微波迴流裝置
2. 第一代的微波迴流裝置，冷凝管為直筒狀。
3. 第二代的微波迴流裝置，我們改良了冷凝管的形狀，使之成為螺旋型，增加冷卻路徑。
4. 第三代的微波迴流裝置，我們在第二代的裝置上加蓋，避免 $\text{CO}_2(\text{s})$ 受到熱氣干擾，並在蓋子開了一個可使二氧化碳氣體排出的洞。



圖二：自製微波迴流裝置三代圖

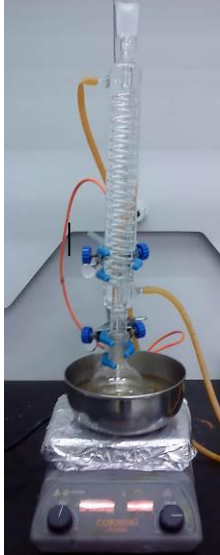
二、 利用傳統密閉式迴流法測試標準溶液之 COD 值³

1. 傳統密閉式迴流法為行政院環保署提供之標準測試法

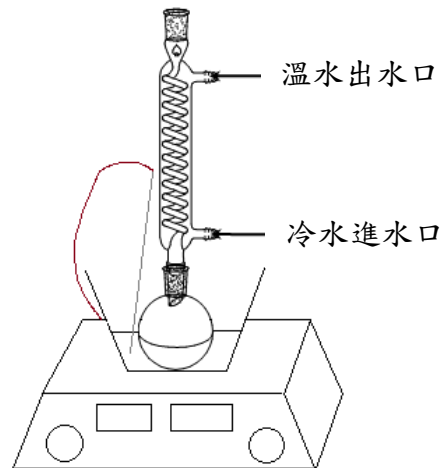
2. 步驟：

- (1) 取 20 mL 混合均勻之標準溶液於容器內，加入數粒沸石及 10.0 mL 0.02083 M 重鉻酸鉀溶液混勻後，連接冷凝管，並通入冷卻水。
- (2) 加入 30 mL 硫酸-硫酸銀試劑，混合均勻後加熱，沸騰後迴流 2 小時，迴流時以小燒杯蓋在冷凝管頂端以防污染物掉入。
- (3) 冷卻後，以 30 mL 試劑水由冷凝管頂端沖洗冷凝管內壁，取出錐形瓶(或具相同功能之容器)，加入 30 mL 試劑水，冷卻至室溫。
- (4) 加入 5 滴菲羅啉指示劑，以 0.05 M 硫酸亞鐵銨溶液滴定至當量點，此時溶液由藍綠色轉為紅棕色。所有的樣品應使用等量指示劑。
- (5) 同時以試劑水進行空白試驗。

(6)重複步驟(1)~(5)，改變迴流時間為 1 小時。



圖三(一)：傳統密閉式迴流裝置



圖三(二)：傳統密閉式迴流法簡圖

三、利用自製微波裝置測試標準溶液之 COD 值

(一)改變微波時間對檢測 COD 值之影響

1.理由：由於上述傳統密閉式迴流法有耗時、操作不易、耗材等問題，因此我們採用加熱時間較短的微波法來檢測 COD 值，我們首先改變微波時間，確認微波 COD 的可行性。利用我們的自製微波加熱裝置，重鉻酸鉀的用量也能減少一半(5ml)，降低環境汙染。

2.步驟：

(1)取 10 mL 混合均勻之標準溶液於自製微波迴流裝置內，加入 5.0 mL 0.02083 M 重鉻酸鉀溶液及 15 mL 硫酸混勻。

(2)將自製微波裝置放入微波爐中，以低火(100W)微波 1 分鐘。

(3)取出冷卻後，將溶液倒入錐形瓶。

(4)加入 5 滴菲羅啉指示劑於錐形瓶中，並以 0.05 M 硫酸亞鐵銨溶液滴定，當溶液由藍綠色轉為紅棕色即達當量點。

(5)重複步驟(1)~(4)，改變微波時間，為 1、2、3、4、5、6、7 分鐘。

(6)同時以試劑水進行空白試驗。

(二)改變微波強度對檢測 COD 值之影響

1.理由：經過上一個實驗，我們推測更高強度的微波能使 KHP 溶液更快達到 100ppm，因此我們決定進行改變微波強度的實驗。

2.步驟：

- (1)取 10 mL 混合均勻之標準溶液於自製微波迴流裝置內，加入 5.0 mL 0.02083 M 重鉻酸鉀溶液及 15 mL 硫酸混勻。
- (2)將自製微波裝置放入微波爐中，以低火(100W)微波 1 分鐘。
- (3)取出冷卻後，將溶液倒入錐形瓶。
- (4)加入 5 滴菲羅啉指示劑於錐形瓶中，並以 0.05 M 硫酸亞鐵銨溶液滴定，當溶液由藍綠色轉為紅棕色即達當量點。
- (5)重複步驟(1)~(4)，改變微波時間，為 1、2、3、4、5、6、7 分鐘。
- (6)同時以試劑水進行空白試驗。

四、超音波震盪對於自製微波裝置測試標準溶液 COD 值之影響

(一)改變超音波震盪時間對檢測 COD 值之影響

1.理由：單純使用微波法，我們發現無法進行大量實驗，因此我們希望藉由可大量進行實驗之超音波震盪儀，減少單趟微波時間。

2.步驟：

- (1)取 10 mL 混合均勻之標準溶液於自製微波迴流裝置內，加入 5.0 mL 0.02083 M 重鉻酸鉀溶液（迴流用）及 15 mL 硫酸混勻。
- (2)將裝置放入超音波震盪機中，固定溫度，設定時間。
- (3)將自製微波裝置放入微波爐中，固定火力及時間。
- (4)取出冷卻後，將溶液倒入錐形瓶。
- (5)加入 5 滴菲羅啉指示劑，以 0.05 M 硫酸亞鐵銨溶液滴定至當量點，此時溶液由藍綠色轉為紅棕色。所有的樣品應使用等量指示劑。
- (6)重複步驟(1)~(5)，改變震盪時間。
- (7)同時以試劑水進行空白試驗。

(二)改變超音波震盪溫度對檢測 COD 值之影響

1.理由：KHP 溶液在高溫下較易反應，我們希望藉由提高震盪溫度，再縮短微波時間。

2.步驟：

(1)取 10 mL 混合均勻之標準溶液於自製微波迴流裝置內，加入 5.0 mL 0.02083 M 重鉻酸鉀溶液（迴流用）及 15 mL 硫酸混勻。

(2)將裝置放入超音波震盪機中，固定時間，設定溫度。

(3)將自製微波裝置放入微波爐中，固定火力及時間。

(4)取出冷卻後，將溶液倒入錐形瓶。

(5)加入 5 滴菲羅啉指示劑，以 0.05 M 硫酸亞鐵銨溶液滴定至當量點，此時溶液由藍綠色轉為紅棕色。所有的樣品應使用等量指示劑。

(6)重複步驟(1)~(5)，改變震盪溫度。

(7)同時以試劑水進行空白試驗。

五、比較傳統密閉式迴流法及自製微波裝置測量各水樣 COD 值

1.理由：利用傳統密閉式迴流法所測得之數據為標準，比較震盪微波法在上述實驗建立起的最佳震盪時間、溫度及最佳微波強度、時間條件下，測定各水樣之 COD 值。

2.以傳統密閉式迴流法檢測步驟：

(1)取 20 mL 混合均勻之水樣於容器內，加入數粒沸石及 10.0 mL 0.02083 M 重鉻酸鉀溶液混勻後，連接冷凝管，並通入冷卻水。

(2)加入 30 mL 硫酸-硫酸銀試劑，混合均勻後加熱，沸騰後迴流 2 小時，迴流時以小燒杯蓋在冷凝管頂端以防污染物掉入。

(3)冷卻後，以 30 mL 試劑水由冷凝管頂端沖洗冷凝管內壁，取出錐形瓶(或具相同功能之容器)，加入 30 mL 試劑水，冷卻至室溫。

(4)加入 5 滴菲羅啉指示劑，以 0.05 M 硫酸亞鐵銨溶液滴定至當量點，此時溶液由藍綠色轉為紅棕色。所有的樣品應使用等量指示劑。

(5)重複步驟(1)~(4)，改變水樣。

(6)同時以試劑水進行空白試驗。

2.以震盪微波法檢測步驟：

(1)取 10 mL 混合均勻之水樣於自製微波迴流裝置內，加入 5.0 mL 0.02083 M 重鉻酸鉀溶液（迴流用）及 15 mL 硫酸混勻。

(2)將裝置放入超音波震盪機中，固定時間，固定溫度。

(3)將自製微波裝置放入微波爐中，固定火力及時間。

(4)取出冷卻後，將溶液倒入錐形瓶。

(5)加入 5 滴菲羅啉指示劑，以 0.05 M 硫酸亞鐵銨溶液滴定至當量點，此時溶液由藍綠色轉為紅棕色。所有的樣品應使用等量指示劑。

(6)重複步驟(1)~(5)，改變水樣。

(6)同時以試劑水進行空白試驗。

伍、 結果與討論

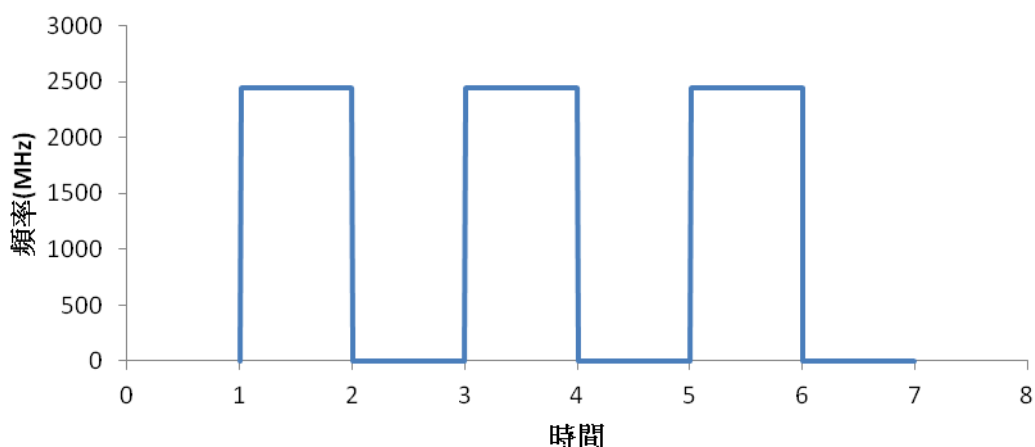
微波原理²

當微波照射時會形成電磁場，具有偶極矩的極性分子，會朝向正負離子兩極排列整齊，當電場一消失時，因為熱引導的作用，使其回復呈混亂的現象。隨著微波場的反覆變化，造成偶極分子在排列整齊和混亂中轉換，使分子互相碰撞和磨擦而產生熱能，致使液體溫度也隨之升高，即為偶極轉動加熱的原理。

當微波產生時，在溶液周圍形成電場，使已經解離的正負離子向正負兩極移動;因離子移動時受到其他離子的阻礙，產生類似電阻的熱，這種方式即為離子傳導。

對一個離子性的樣品溶液而言，剛開始加熱時，加熱方式一般以旋轉偶極為主，但當溫度逐漸上升後，則會轉而以離子傳導為其主要的加熱方式。

微波時間對頻率關係圖



圖四：微波時間對頻率之示意圖

微波加熱法與傳統加熱法的比較

表一：傳統加熱法與微波加熱法的比較

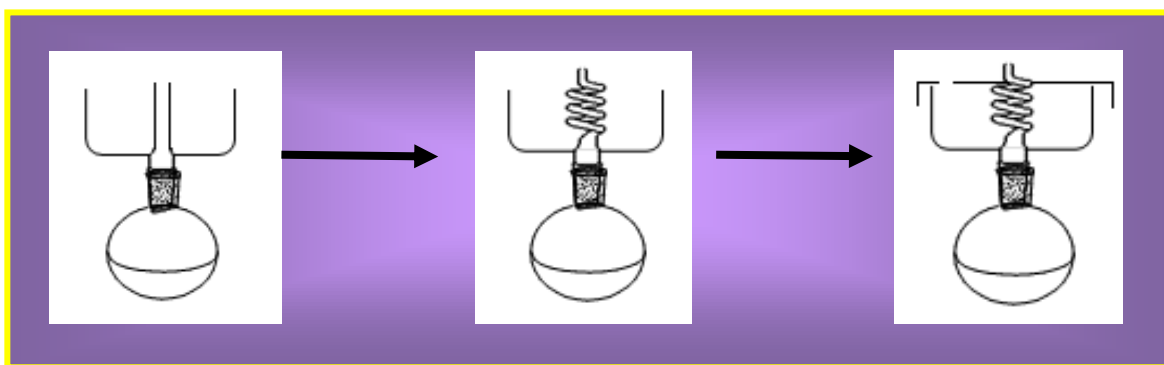
	能量傳遞方式	加熱時間	能量散逸
傳統加熱法	傳導+對流	較長	較多
微波加熱法	輻射	較短	較少

勝

勝

一、建立自製微波迴流裝置

實驗結果



圖五：自製微波迴流裝置三代圖

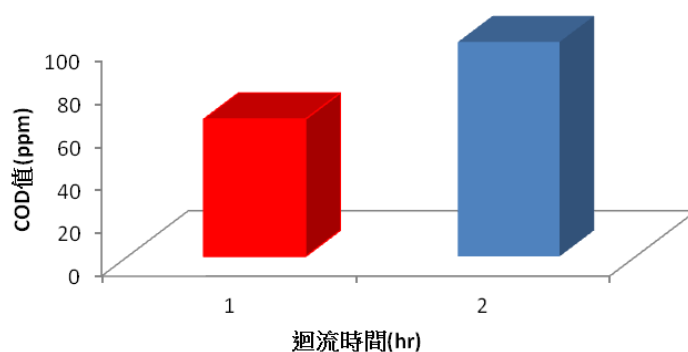
討論

1. 我們發展自製微波迴流裝置的原因在於，雖然現在也有專業微波爐，可將傳統的迴流管放入，但是價格昂貴，不易利用。我們希望發展出利用一般家用微波爐就能加熱之簡易微波迴流裝置。
2. 第一代的微波迴流裝置，冷凝管為直筒狀，其冷凝效果較差，溶液較容易噴濺，造成實驗誤差，因此我們開發了第二代的微波迴流裝置。
3. 第二代的微波迴流裝置，我們改良了冷凝管的形狀，使之成為螺旋型，增加冷卻路徑，使迴流裝置具有更佳的冷凝效果。但是，我們發現，此種冷凝管還是有噴濺液體使乾冰污染的情形，因此我們再度開發了第三代的微波迴流裝置。
4. 第三代的微波迴流裝置，我們在第二代的裝置上加蓋，避免 $\text{CO}_2(\text{s})$ 受到熱氣干擾，我們同時在蓋上開洞，使二氧化碳氣體得以排出。

二、利用傳統密閉式迴流法測試標準溶液之 COD 值

實驗結果

傳統密閉式迴流法檢測KHP COD值



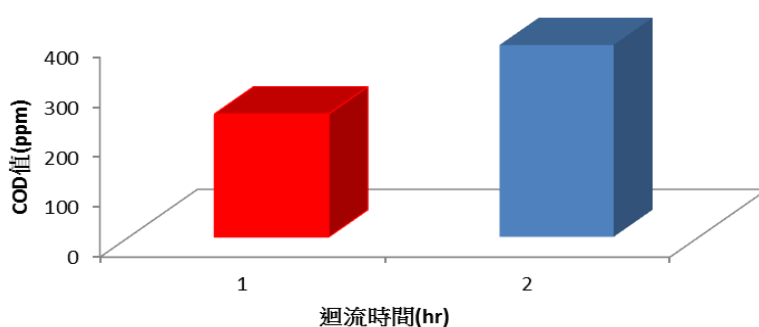
圖六(一)：傳統密閉式迴流法檢測 KHP COD 值

討論

- 1.傳統密閉式迴流法雖然是行政院環保署提供之標準測試法，經實驗過後，確定此方法十分耗時，需要 2 小時才能使 KHP 標準溶液達到 100ppm，迴流 1 小時只能達到 64ppm。
- 2.傳統密閉式迴流法需兩人同時操作，且使用過多重鉻酸鉀(10ml)，造成重金屬廢棄物處理問題。
- 3.在實驗過程中我們發現，菲羅琳指示劑須在低溫使用，在高溫的情況下無法反應變色。故須於加熱後將其滴定樣品冷卻(先置於常溫中降溫再放入冰水盆中)，方能開始滴定。

實驗結果

傳統密閉式迴流法檢測蔗糖COD值



圖六(二)：傳統密閉式迴流法檢測蔗糖 COD 值

討論

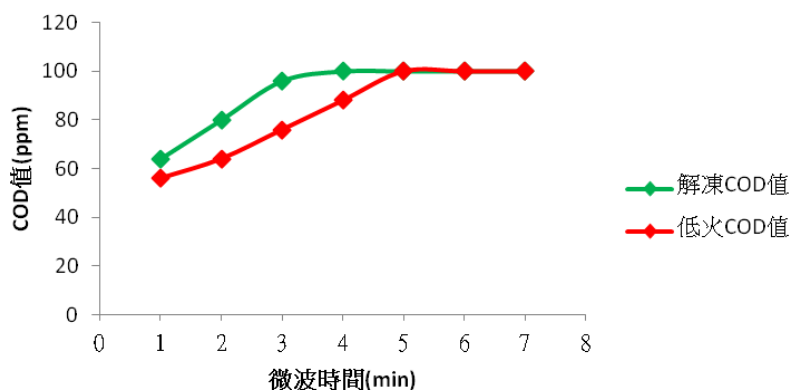
1. 由圖中可知，傳統密閉式迴流法需要 2 小時才能使蔗糖標準溶液達到 384ppm，迴流 1 小時只能達到 245ppm。
2. 經實驗測試，我們發現，不管是 KHP 溶液或蔗糖溶液，傳統式迴流法都須做到完整 2 小時才能氧化完全。

三、利用自製微波裝置測試標準溶液之 COD 值

(一)改變微波時間對檢測 COD 值之影響

實驗結果

不同微波時間之KHP COD值



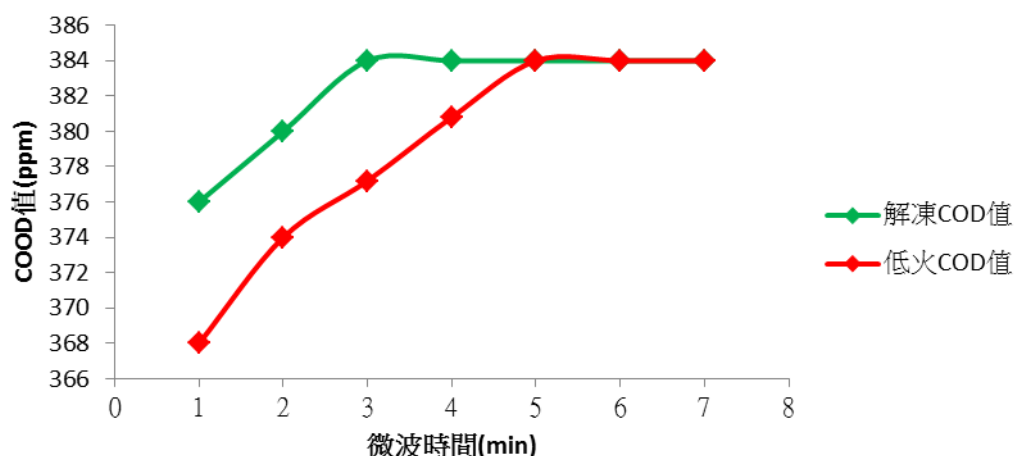
圖七(一)：不同微波時間之 KHP COD 值

討論

1. 我們所使用之微波強度由低至高分別為低火(100W)、解凍(300W)
2. 由圖中可知，低火需 5 分鐘使 KHP 溶液達 100ppm，而解凍則需 3 分鐘，且於 20 分鐘仍維持此結果，表示微波 COD 之可行性。
3. 由圖中可知，微波強度越強，使 KHP 溶液達到 100ppm 所需的時間也越短。
4. 我們做了低火及解凍的微波實驗後，推測更高強度的微波應會使 KHP 溶液更快達到 100ppm，因此我們進行了下一個實驗，改變微波強度。

實驗結果

不同微波時間之蔗糖COD值



圖七(二)：不同微波時間之蔗糖 COD 值

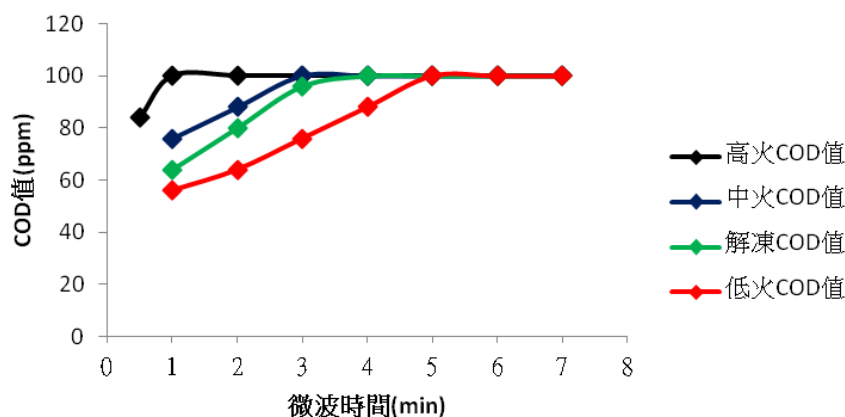
討論

1. 由圖中可知，低火需 5 分鐘使蔗糖溶液達 384ppm，而解凍則需 3 分鐘，且於 20 分鐘仍維持此結果，表示微波 COD 之可行性。
2. 蔗糖 COD 值的微波實驗，驗證了微波法對不同的標準溶液仍有可行性。

(二)改變微波強度對檢測 COD 值之影響

實驗結果

不同微波強度之KHP COD值

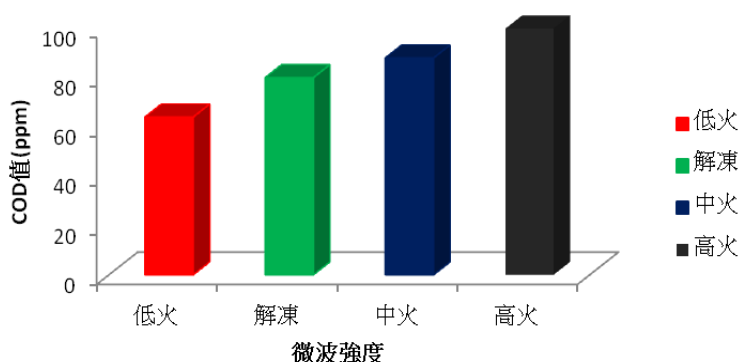


圖八(一)：不同微波強度之 KHP COD 值

討論

1. 我們所使用之微波強度由低至高分別為低火(100W)、解凍(300W)、中火(600W)、高火(1000W)。
2. 我們實際做了實驗後，發現結果與預期符合，即更高強度的微波能使 KHP 溶液更快達 100ppm。
3. 由圖中可知高火，中火，解凍，低火分別在 1、3、約 3、5 分鐘能使 KHP 溶液達 100ppm。
4. 高火反應過於迅速，急速加熱造成整體實驗溫度過高，難以操作。由於菲羅啉須於低溫下操作，故須先使樣品降溫方能開始滴定，而玻璃於急速熱漲冷縮後容易破裂，加上所耗費之瓦數過大不符合經濟效益，故我們選擇低火作為震盪微波法之火力。
5. 截取微波 2 分鐘不同強度微波之 COD 值，由圖中可得知，微波 2 分鐘時，低火、解凍、中火、高火之 COD 值分別為 64ppm、80ppm、88ppm、100ppm，證實在同一時間下，微波強度越強，能使 KHP 溶液氧化越完全。

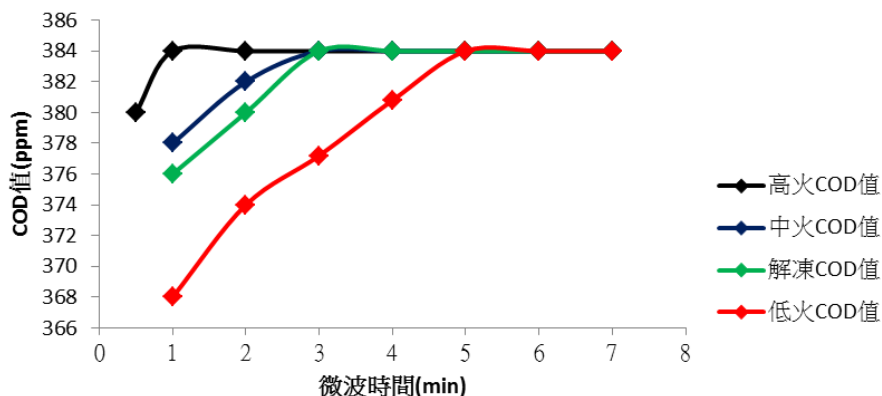
微波2分鐘不同強度之COD值



圖八(二)：微波 2 分鐘不同強度之 COD 值

實驗結果

不同微波強度之蔗糖COD值



圖八(三)：不同微波強度之蔗糖 COD 值

討論

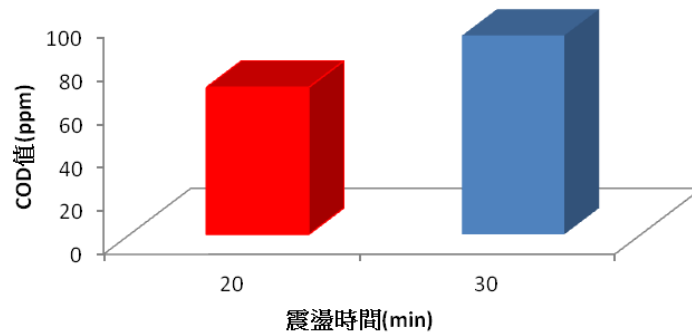
1. 我們實際做了實驗後，發現更高強度的微波能使蔗糖溶液更快達 384ppm。
2. 由圖中可知高火，中火，解凍，低火分別在 1、3、約 3、5 分鐘能使蔗糖溶液達 384ppm。此結果與 KHP 溶液為標準溶液時之結果相符。
3. 由圖中可知，蔗糖溶液在微波一開始的 COD 值就偏高，我們推測，和蔗糖分子本身的結構有關，相較於 KHP，蔗糖的結構是較易氧化的分子。

四、超音波震盪對於自製微波裝置測試標準溶液 COD 值之影響

(一)改變超音波震盪時間對檢測 COD 值之影響

實驗結果

不同震盪時間之KHP COD值



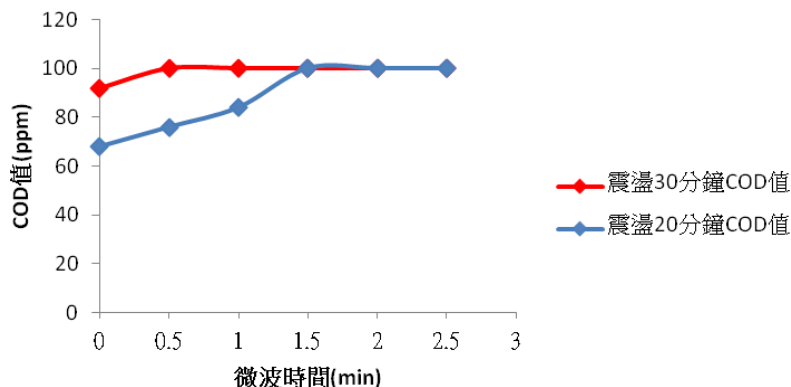
圖九(一)：不同震盪時間之 KHP COD 值

討論

1. 超音波震盪可使水質均勻混合，故嘗試以超音波震盪先確認其效果，
2. 在不微波情況下，由圖中可得知，震盪時間越長，KHP 溶液氧化越完全。
3. 由圖中可知，在震盪過後沒有微波的條件下，震盪 20 分鐘 COD 值為 68ppm，而震盪 30 分鐘為 92ppm，並無法讓 KHP 溶液達 100ppm。我們預期震盪過後，微波使 KHP 溶液達 100ppm 所需時間會減少，因此進行了超音波震盪及微波結合的實驗。

實驗結果

不同震盪時間之KHP微波COD值



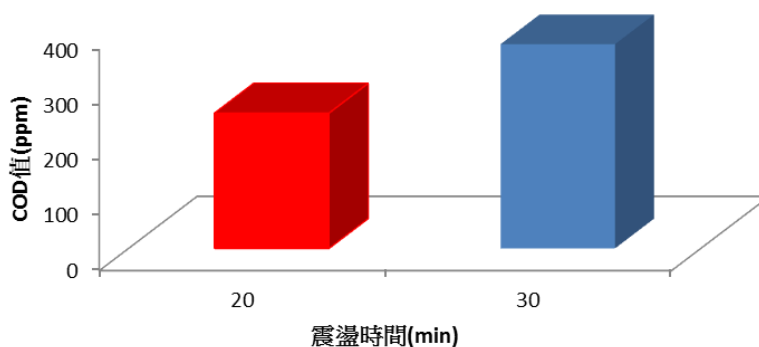
圖九(二)：不同震盪時間之 KHP 微波 COD 值

討論

1. 我們實際做了實驗後，發現結果與預期符合。震盪 20 分鐘後，需要 1.5 分鐘使 KHP 溶液達 100ppm；而震盪 30 分鐘過後，只要 0.5 分鐘就能使 KHP 溶液達 100ppm。
2. 我們從實驗結果得知，單純使用超音波震盪儀，並不足以使 KHP 溶液達 100ppm(20 分鐘為 68ppm，30 分鐘為 92ppm)，而只使用微波爐，則需微波較長時間(5 分鐘)。因此我們推斷，超音波震盪結合微波，才是最有效率、最簡便及消耗最少能源的最佳方法。

實驗結果

不同震盪時間之蔗糖 COD 值



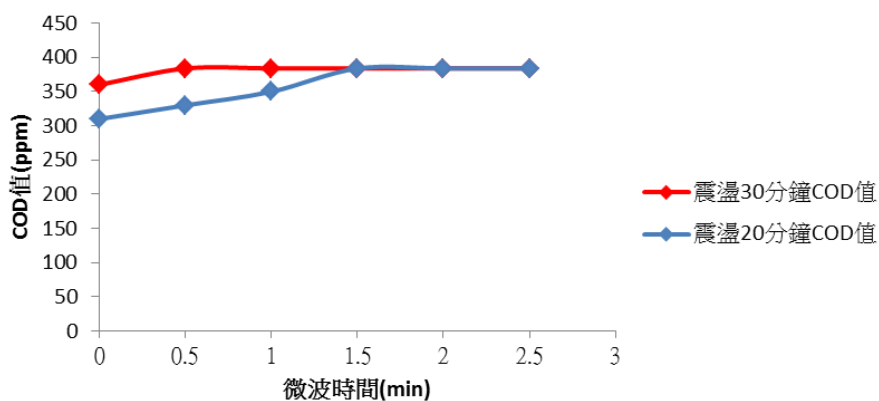
圖九(三)：不同震盪時間之蔗糖 COD 值

討論

1. 在不微波情況下，由圖中可得知，震盪時間越長，蔗糖溶液氧化越完全。
2. 由圖中可知，在震盪過後沒有微波的條件下，震盪 20 分鐘 COD 值為 336ppm，而震盪 30 分鐘為 370ppm，並無法讓蔗糖溶液達 384ppm。

實驗結果

不同震盪時間之蔗糖微波 COD 值



圖九(四)：不同震盪時間之蔗糖微波 COD 值

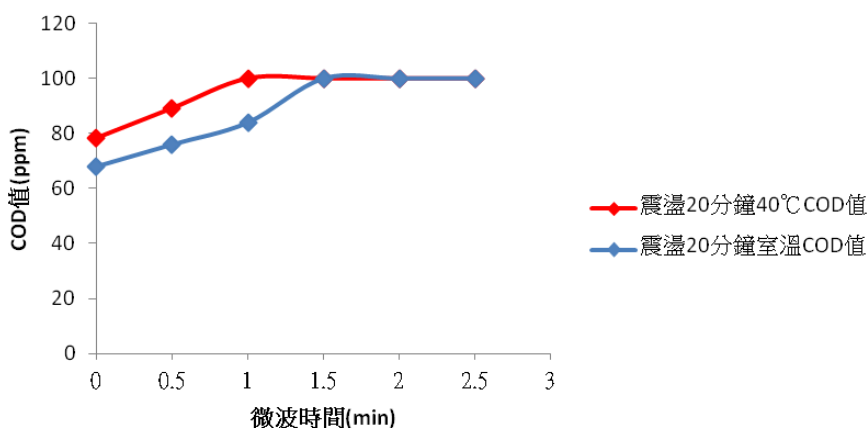
討論

1. 由圖中可知，震盪 20 分鐘後，需要 1.5 分鐘使 KHP 溶液達 384ppm；而震盪 30 分鐘過後，只要 0.5 分鐘就能使蔗糖溶液達 384ppm。
2. 我們從實驗結果，再次驗證了微波加超音波震盪法對於不同標準溶液的可行性。

(二)改變超音波震盪溫度對檢測 COD 值之影響

實驗結果

不同震盪溫度震盪20分鐘KHP之COD值



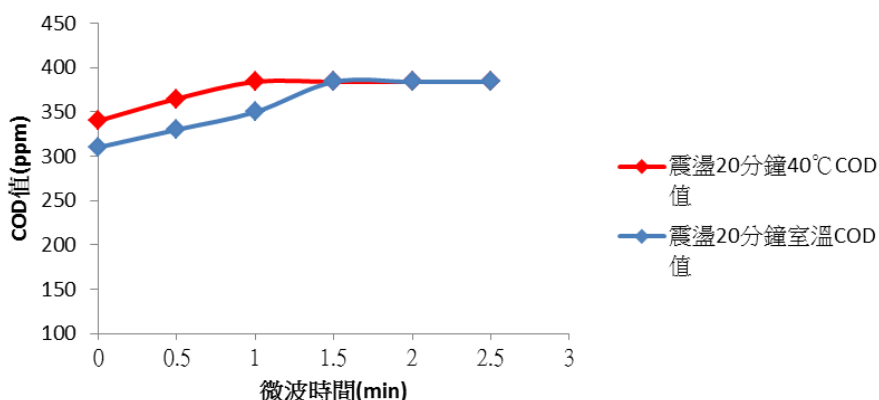
圖十(一)：不同震盪溫度震盪 20 分鐘 KHP 之 COD 值

討論

1. 由圖中可知，KHP 溶液在震盪 20 分鐘的條件下，超音波震盪溫度為室溫時，微波需 1.5 分鐘使 KHP 溶液達 100ppm；而超音波震盪溫度為 40°C 時，微波只需 1 分鐘即能使 KHP 溶液達 100ppm。故提高震盪溫度亦可加速反應。
2. 我們計算了震盪 30 分鐘 + 微波 0.5 分鐘的耗能($150 \times 30 + 100 \times 0.5 = 500$)與震盪 20 分鐘 40°C + 微波 1 分鐘的耗能($150 \times 20 + 100 \times 1 = 400$)，發現震盪 20 分鐘 40°C 雖然需多微波 0.5 分鐘，但是能量的消耗較少，因此我們將震盪 20 分鐘 40°C 定為最佳震盪微波法，並以此方法來測量各水樣之 COD 值

實驗結果

不同震盪溫度震盪20分鐘蔗糖之COD值



圖十(二)：不同震盪溫度震盪 20 分鐘蔗糖之 COD 值

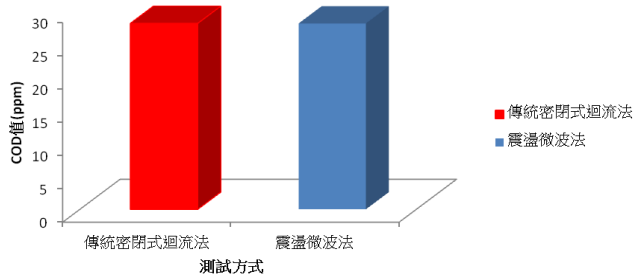
討論

1. 由圖中可知，蔗糖溶液在震盪 20 分鐘的條件下，超音波震盪溫度為室溫時，微波需 1.5 分鐘使 KHP 溶液達 384ppm；而超音波震盪溫度為 40°C 時，微波只需 1 分鐘即能使 KHP 溶液達 384ppm。
2. 經過測試不同的標準溶液後，我們證實震盪 20 分鐘 40°C 的震盪微波法是可行的。

五、比較傳統密閉式迴流法及自製微波裝置測量各水樣 COD 值

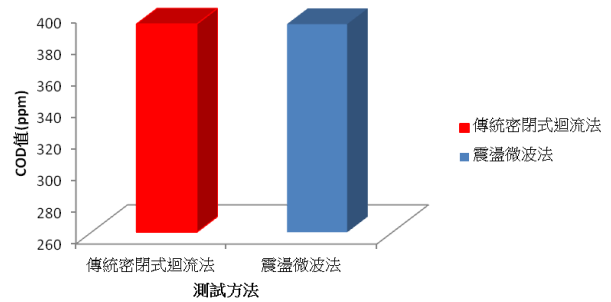
實驗結果

雄女水池之COD值



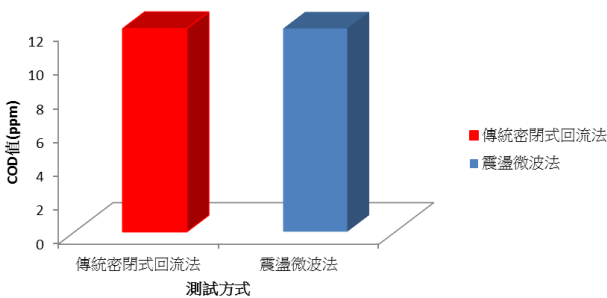
圖十一(一)：雄女水池之 COD 值

愛河之COD值



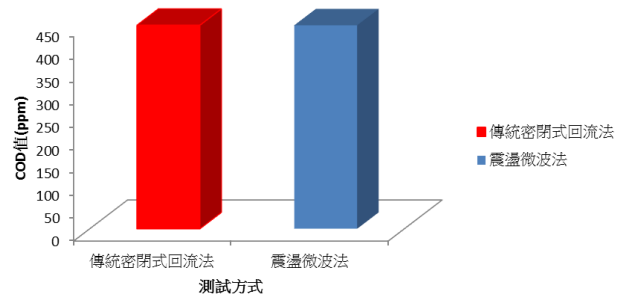
圖十一(二)：愛河之 COD 值

二仁溪上游之COD值



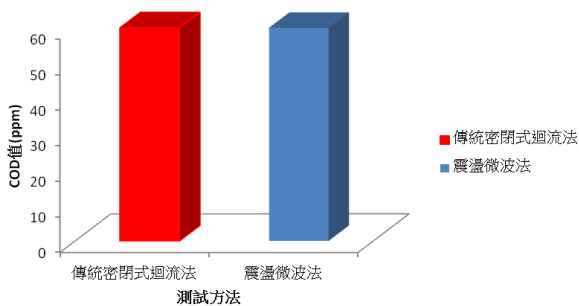
圖十一(三)：二仁溪上游之 COD 值

二仁溪中游之COD值



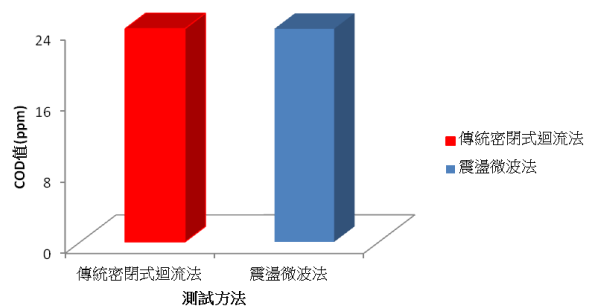
圖十一(四)：二仁溪中游之 COD 值

後勁溪下游之COD值



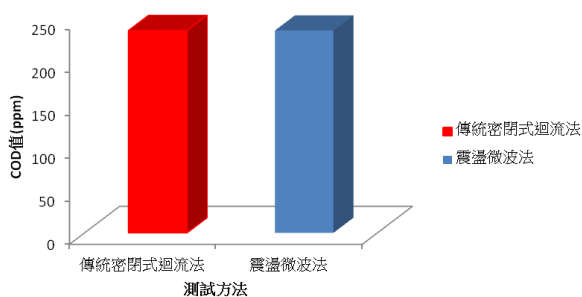
圖十一(五)：後勁溪下游之 COD 值

臨海工業區流放水之COD值

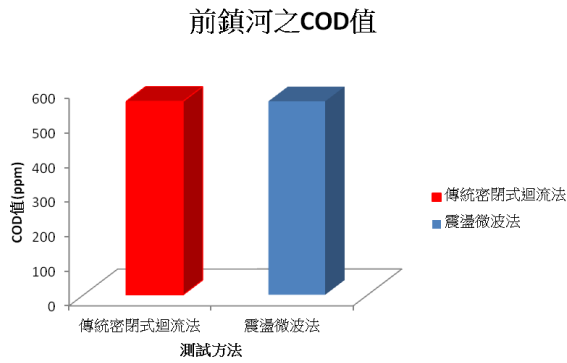


圖十一(六)：臨海工業區流放水之 COD

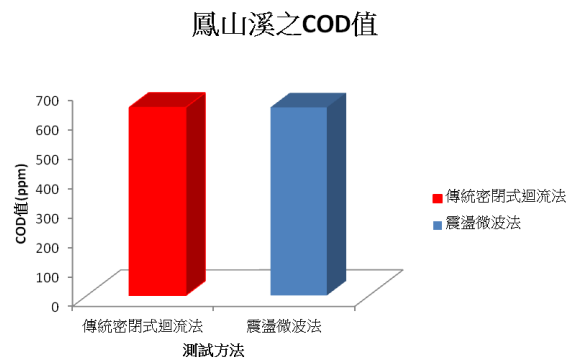
大發工業區廢水之COD值



圖十一(七)：大發工業區廢水之 COD 值



圖十一(八)：前鎮河之 COD 值



圖十一(九)：鳳山溪之 COD 值

表二：各水樣傳統法與震盪微波法之比較

	傳統密閉式迴流法(ppm)	震盪微波法(ppm)
雄女水池	27.0	28.0
愛河	395.0	392.0
二仁溪上游	12.0	11.0
二仁溪中游	448.0	445.0
後勁溪	58.0	60.0
前鎮河	560.0	565.0
鳳山溪	640.0	645.0
臨海工業區	26.0	24.0
大發工業區	230.0	236.0

討論

1. 我們首先從學校附近的水樣開始做起，發現校內水池之 COD 值並不高，約 27ppm。
2. 比較傳統密閉式迴流法及我們自製的微波迴流裝置，發現所得之 COD 值並無太大差異，再次確認震盪微波法之可行性。
3. 我們決定更深入檢測工廠之流放水及高雄其他河川之 COD 值，因此完成後續實驗。
4. 我們採取水樣，愛河、二仁溪上游、二仁溪中游、後勁溪之 COD 值分別為 395ppm、12ppm、448ppm、58ppm。
5. 根據上述圖表，可明顯看出二仁溪中游較二仁溪上游汙染嚴重。二仁溪上游含有鴨寮與養豬場，故含有有機廢物的排放；沿河流一帶含有種植蔬果等產業，農藥與肥料的使用更是河川需氧廢料的來源之一。
6. 我們採集之二仁溪中游已經匯集了深坑子溪的河水，此一支流上游為五甲工業區與養豬場，在過去已遭受重度汙染。但在以自然淨化之方式不斷整治後，我們所採取之水樣以不似網路圖片中的恐怖黑色河水，雖然數據仍高，但已有明顯改善。在探訪河堤一帶後，網路資料圖中的偷排廢水之出水口，似乎已逐漸廢棄，無冒煙之現象，河川的整治似乎有其成效。

7. 自從日月光一案爆發後，後勁溪的水污染重新被注意到。在我們的實測之後，其實 COD 值並不高，但該地之污染物主要為仁武工業區一帶之重金屬排放，多為含氯重金屬，為淤積在河谷的淤泥為主。採樣的時間錯誤也可能是數值不高的原因，訪問該地居民後，指出要在週末晚上才有變色的河水，所以我們決定要定期追蹤。
8. 行政院環保署提供之流放水標準為 100ppm，由圖中可知，大發工業區之廢水 COD 值已明顯超標。
9. 鳳山溪一帶備受關注，原為曹公圳之下游，受中小企業及生活廢水的不當排放污染，近年來為市政府的重點整治區域，方法為引水濕地淨化，處理後再放回鳳山溪本流。但實測時仍有漂浮垃圾，水質依然不佳。

陸、 結論

- 1.傳統密閉式迴流法需要 2 小時才能使 KHP 溶液達 100ppm，而震盪微波法只需震盪 20 分鐘再微波 1 分鐘；傳統法所需之重鉻酸鉀為 10ml，而震盪微波法只需 5ml，大大減少了重金屬汙染。此外，傳統法一次只能進行一項實驗，而震盪微波法一次能放 10 瓶樣品進超音波震盪儀，更提高了效率。
- 2.我們計算了各種微波強度使水樣氧化完全所需之價格，由表中可知，以低火微波五分鐘為價格最低廉之方法(一份水樣 0.0175 元)。

表三(一)：微波功率與耗能表

	時間(min)	總耗能(度)	花費(元)
低火(100W)	5	0.0083	0.0175 勝
解凍(300W)	4	0.02	0.042
中火(600W)	3	0.03	0.063
高火(1000W)	1	0.0167	0.035

※註：電費計算(非夏季)¹⁰

120 度以下部分每度約 2.1 元，121 度至 330 部分每度約 2.7 元，331 度至 500 度部分每度約 3.6 元
→本表採 1 度電 2.1 元計算

- 3.我們同時也計算了各種檢測方法使水樣氧化完全所需之價格，由表中可知，震盪微波法為價格最低廉之方法(平均一份水樣 0.01407 元)。

表三(二)：各檢測方法耗能表

	時間(min)	總耗能(度)	花費(元)
傳統法	120	1.396	2.9316
微波法	5	0.0083	0.0175
震盪法(10 瓶)	30	0.075	0.1575
震盪法(平均一瓶)	30	0.0075	0.01575
震盪微波法(10 瓶)	20+1	0.0517	0.10857
震盪微波法 (平均一瓶)	20+1	0.0067	0.01407 勝

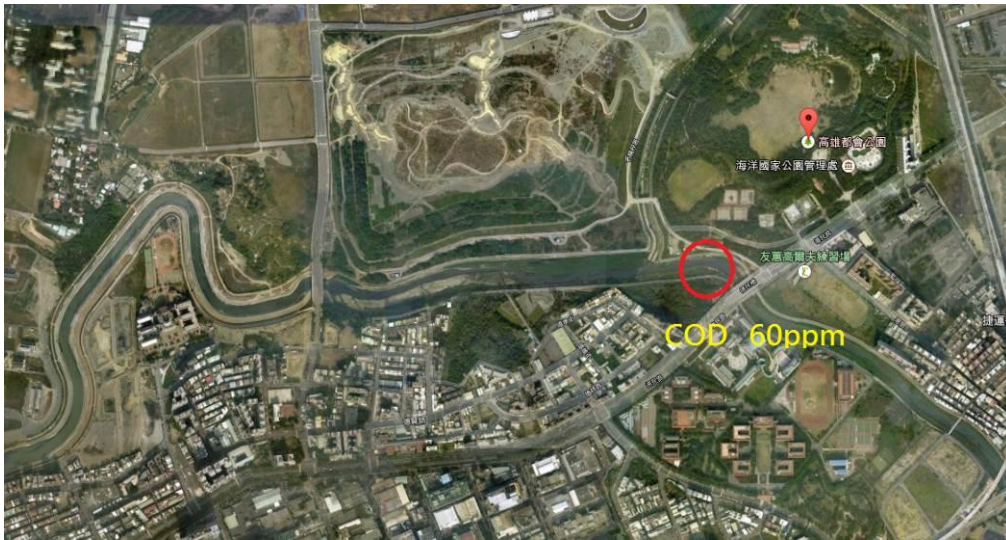
※ 超音波震盪機功率:150W

※ 超音波震盪機每次可放置十瓶樣品

- 4.本實驗超音波震盪微波法：信度、效度、精確度及準確度（如下表）顯示有不錯效果

表三(三)：信度、效度、精確度、準確度

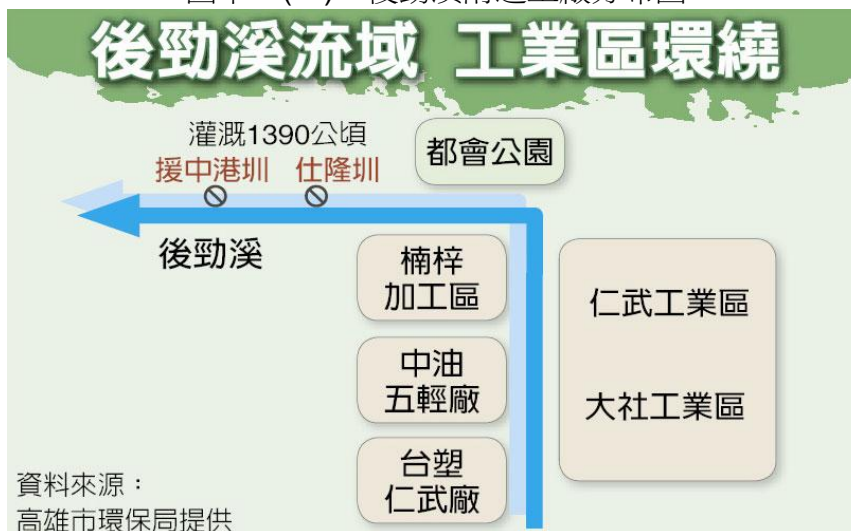
信度(reliability)	效度(validity)	精確度(Precision) GRR	準確度(Accuracy) 相對誤差 (Relative error)
0.99	99.0%	±0.8	3.0%



圖十二(一)：後勁溪採水地點

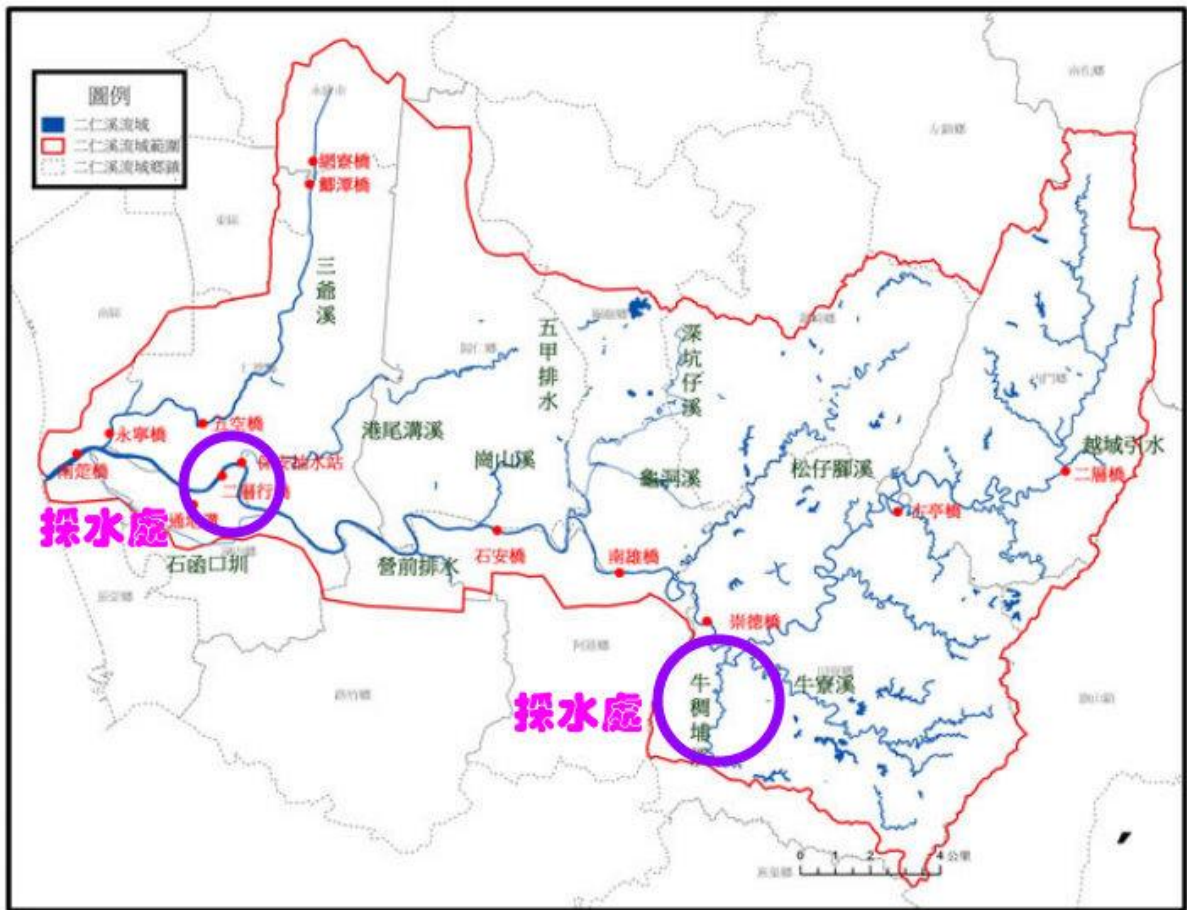


圖十二(二)：後勁溪附近工廠分布圖



圖十二(三)：後勁溪附近工業區分布圖

5. 我們所採之二仁溪水樣有上游及中游，中游之明顯較上游之水樣 COD 值較高。除了因為採水處的水流動與否外，中游的汙染源及汙染物的累積也較上游多，這也是 COD 值明顯偏高之原因。



圖十二(二)：二仁溪採水地點



圖十二(三)：二仁溪採水地點

6. 為了確認本實驗的準確性，我們在六個月內持續追蹤各河川水樣的水質變化，發現並無太大變化

表三(四)：河川追蹤

	3/9	3/23	4/6	4/20	5/4	5/18	6/1	6/15	6/29	7/13	7/27	8/10	8/24	9/7
愛河	361.0	413.0	400.0	374.0	382.0	358.0	364.0	410.0	380.0	352.0	360.0	340.0	342.0	352.0
二仁溪上游	20.0	15.0	11.0	10.0	12.0	17.0	14.0	15.0	20.0	10.0	16.0	12.0	16.0	12.0
二仁溪中游	467.0	432.0	422.0	458.0	455.0	435.0	442.0	428.0	460.0	420.0	424.0	424.0	430.0	428.0
後勁溪	49.0	62.0	74.0	55.0	67.0	45.0	54.0	57.0	62.0	44.0	44.0	52.0	46.0	50.0
鳳山溪	634.0	668.0	651.0	643.0	644.0	628.0	634.0	623.0	640.0	616.0	608.0	620.0	614.0	621.0
前鎮河	575.0	547.0	520.0	565.0	515.0	541.0	552.0	532.0	520.0	512.0	510.0	524.0	532.0	530.0

柒、 未來展望

現在行政院環保署提供之傳統密閉式迴流法已不符合現代人要求之方便性、速率、低汙染及低耗費。我們發展出之微波迴流裝置，具有「**方便、快速、省能、省錢、低汙染**」的優點，更能簡單測試水樣之 COD 值。藉由上述實驗，我們建立了微波震盪法最佳的條件〈**震盪 20 分鐘 40°C + 微波 1 分鐘**〉，並實際算出平均一趟實驗所需花費〈**約 0.014 元**〉，藉由與傳統密閉式迴流法之比較，也確認了此方法的可行性，並將之應用於測量高雄市河川之 COD 值。

我們相信，在不久的將來，此套震盪微波法，會取代傳統密閉式迴流法，成為被普遍運用測量水樣 COD 值之方法。我們也會利用此套裝置，持續追蹤及測量高雄市河川及工業區之流放水的 COD 值，關心高雄市河川的汙染問題，同時監督工業區的流放水品質。



後勁溪採集水樣

捌、 參考資料

1. 整治管理系統 (2013-12-17)。行政院環保二仁溪再生願景署。取自：
<http://ivy1.epa.gov.tw/runlet/env/env03.asp>
2. 王書信(民 91)以微波輔助頂空固相微萃取分析水中多氯聯苯。國立高雄師範大學碩士論文。「台灣碩博士論文知識加值統」取自：
<http://ndltd.ncl.edu.tw/cgi-bin/gs32/gsweb.cgi?o=dnclcdr&s=id=%22090NKNNU0065008%22.&searchmode=basic>
3. 行政院環保署 水中化學需氧量檢測方法—密閉式重鉻酸鉀迴流法 中華民國 98 年 7 月 14 日環署檢字第 0980060634D 號公告
4. 行政院環保署 流放水標準。取自：<http://ivy5.epa.gov.tw/epalaw/index.aspx>
5. 田瑤(民 89)。水中化學需氧量分析方法之改善。國立中興大學環境工程學系碩士論文。
6. 我們的島 第 145 集 二仁溪悲歌 (2002-02-25)。公視電視。取自：
<https://www.youtube.com/watch?v=dPLqvduXllk>
7. 後勁溪悲歌(2013.12.28)。民視異言堂。取自：
<https://www.youtube.com/watch?v=f-1cV1COHD8>
8. 黃奕潏(2014-01-01)。守護河川系列 1—悲情後勁溪 期待扭轉歹運。取自：
<http://money.chinatimes.com/news/news-content.aspx?id=20140101000444&cid=1210>
9. 楊鎮宇 (2013 年 12 月 12 日) 後勁溪吃廢水 環團：應全面檢測水、土、農作物受污情況。取自：<http://www.newsmarket.com.tw/blog/44045/>
10. 董狐(2013-10-05)2013 年 10 月份電價一度電多少
取自：<http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1613100201163>
11. 5220 CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD)* 5220 B. Open Reflux Method Approved by Standard Methods Committee(1997)
from<http://wenku.baidu.com/view/7eaa7829647d27284b735125.html?from=related>
12. Lukáš Mižoch(2006-10-08)
from:<http://zh.wikipedia.org/wiki/File:1,10-phenanthroline.svg>