

屏東縣第 64 屆中小學科學展覽會

作品說明書

科別：化學科

組別：國中組

作品名稱：咖啡鈣鎂力—咖啡渣與鈣鎂離子的作用

關鍵詞：咖啡、滴定、硬水

編號：B3017

目錄

目錄.....	I
圖目錄.....	III
表目錄.....	III
咖啡渣與水中鈣鎂離子的作用.....	1
摘要.....	1
壹、 前言.....	2
一、研究動機.....	2
二、研究目的.....	2
(一) 鈣離子浸泡不同粉量咖啡渣對鈣離子溶液濃度之影響.....	2
(二) 鎂離子浸泡不同粉量咖啡渣對鎂離子溶液濃度之影響.....	2
(三) 鈣離子浸泡咖啡渣不同時間對鈣離子溶液濃度之影響.....	3
(四) 鎂離子浸泡咖啡渣不同時間對鎂離子溶液濃度之影響.....	3
(五) 鈣離子以不同溫度浸泡咖啡渣對鈣離子溶液濃度之影響.....	3
(六) 鎂離子以不同溫度浸泡咖啡渣對鎂離子溶液濃度之影響.....	3
三、實驗架構圖.....	3
四、文獻回顧.....	3
(一) 硬水.....	3
(二) 吸附作用(Adsorption).....	5
(三) 咖啡渣的應用相關研究.....	6
貳、 研究設備及器材.....	6
一、實驗器材.....	6
二、實驗藥品.....	7
參、 實驗過程與方法.....	8
一、咖啡渣前處理.....	8
二、鈣鎂離子測定方法 (EDTA 滴定法).....	8
(一) 配置標準鈣溶液.....	8
(二) 配置 EDTA 溶液.....	9
(三) 配置緩衝液.....	9
(四) 配置 EBT 指示劑.....	9
(五) EDTA 滴定法.....	9
三、空白滴定.....	9
四、各組實驗.....	10
肆、 研究結果.....	11
一、空白滴定.....	11
二、鈣離子浸泡不同粉量咖啡渣對鈣離子溶液濃度之影響.....	11
三、鎂離子浸泡不同粉量咖啡渣對鎂離子溶液濃度之影響.....	13
四、鈣離子浸泡咖啡渣不同時間對鈣離子溶液濃度之影響.....	14
五、鎂離子浸泡咖啡渣不同時間對鎂離子溶液濃度之影響.....	16

六、鈣離子以不同溫度浸泡咖啡渣對鈣離子溶液濃度之影響	17
七、鎂離子以不同溫度浸泡咖啡渣對鎂離子溶液濃度之影響	19
伍、 討論.....	20
陸、 結論.....	23
柒、 參考文獻資料.....	24

圖目錄

圖 1-4-1 水中硬度分級	4
圖 4-2-1 浸泡各比例咖啡渣於鈣離子溶液濃度群組直條圖.....	12
圖 4-3-1 浸泡各比例咖啡渣於鎂離子溶液濃度群組直條圖.....	14
圖 4-4-1 浸泡咖啡渣於鈣離子溶液各時間後濃度群組直條圖	15
圖 4-5-1 浸泡咖啡渣於鎂離子溶液各時間後濃度群組直條圖	17
圖 4-6-1 浸泡咖啡渣於鈣離子溶液各溫度後濃度群組直條圖	18
圖 4-7-1 浸泡咖啡渣於鎂離子溶液各溫度後濃度群組直條圖	20
圖 5-1 浸泡比例對於鈣鎂離子溶液濃度的影響.....	22
圖 5-2 浸泡時間對於鈣鎂離子溶液濃度的影響.....	22

表目錄

表 4-2-1 浸泡各比例咖啡渣於鈣離子溶液後 EDTA 滴定量與濃度表	12
表 4-3-1 浸泡各比例咖啡渣於鎂離子溶液後 EDTA 滴定量與濃度表.....	13
表 4-4-1 浸泡咖啡渣於鈣離子溶液各時間後 EDTA 滴定量與濃度表.....	15
表 4-5-1 浸泡咖啡渣於鎂離子溶液各時間後 EDTA 滴定量與濃度表.....	16
表 4-6-1 浸泡咖啡渣於鈣離子溶液各溫度後 EDTA 滴定量與濃度表.....	18

咖啡渣與水中鈣鎂離子的作用

摘要

在本研究中，利用 EDTA 滴定法測定水中的鈣鎂離子濃度，並比較浸泡咖啡渣前後水中鈣離子及鎂離子的濃度變化來探討咖啡渣對鈣離子及鎂離子的影響。實驗結果表明咖啡渣對於鈣離子和鎂離子有著不同的選擇性，浸泡咖啡渣前後，不論在不同溫度、粉水比例、浸泡時間等鈣離子的濃度均呈現上升的趨勢，顯示咖啡渣會釋出鈣離子使水中的鈣離子濃度增加。

而對於鎂離子，浸泡前後鎂離子濃度呈現下降的趨勢，顯示咖啡渣會吸附水中的鎂離子，使鎂離子的濃度減少。但隨著浸泡的時間拉長、浸泡溫度提高、或粉水比例降低則咖啡渣釋出的鈣離子會使 EDTA 用量增加，進而使滴定結果濃度提高。

壹、前言

一、研究動機

從小家中就常飄著咖啡香，因為有個愛喝咖啡的家長，常聽爸爸說著咖啡的學問，從烘豆、養豆到沖煮都有一套理論。有一次父親提到咖啡沖煮比賽有指定的比賽用水，通常使用含鎂量較多的礦泉水。聽說用含鎂的礦泉水沖煮出來的咖啡特別香。我們就思考咖啡是否會與鎂離子產生甚麼樣的反應，而鈣、鎂離子是硬水中的主要金屬離子，鈣與鎂是同族的金屬，是否鈣鎂離子與咖啡渣都有特定反應？已知硬水會影響飲用的口感，因此水中含鈣鎂離子雖然對於心血管疾病有相當的預防效果但多數國家仍有規定飲用水的硬度上限。是否咖啡對於鈣鎂離子有吸附的作用？或是水中的鈣鎂離子會影響我們對於咖啡風味的品評？

在查找資料的過程中，有許多研究探討了把咖啡渣製作成活性炭，用以吸附水中的重金屬離子、色素、雜質等等。其中有一篇報導了義大利的團隊用咖啡渣製作泡棉用以過濾水中的金屬離子，發現咖啡渣泡棉對於鎂離子有很好的吸附效果。我們就想了解咖啡渣對於水中硬度的主角—鈣、鎂離子有甚麼樣的作用？如果真有吸附效果，是否咖啡渣具有軟化硬水的潛力？

一顆咖啡豆有 99.8%都遭丟棄，如果咖啡渣能使水中的硬度下降，或許能做為再利用的一種方式。或者想要了解為何沖煮咖啡要使用含鎂的礦泉水來增加咖啡的風味？在這樣的好奇當中，我們開啟了這次的研究課程。

二、研究目的

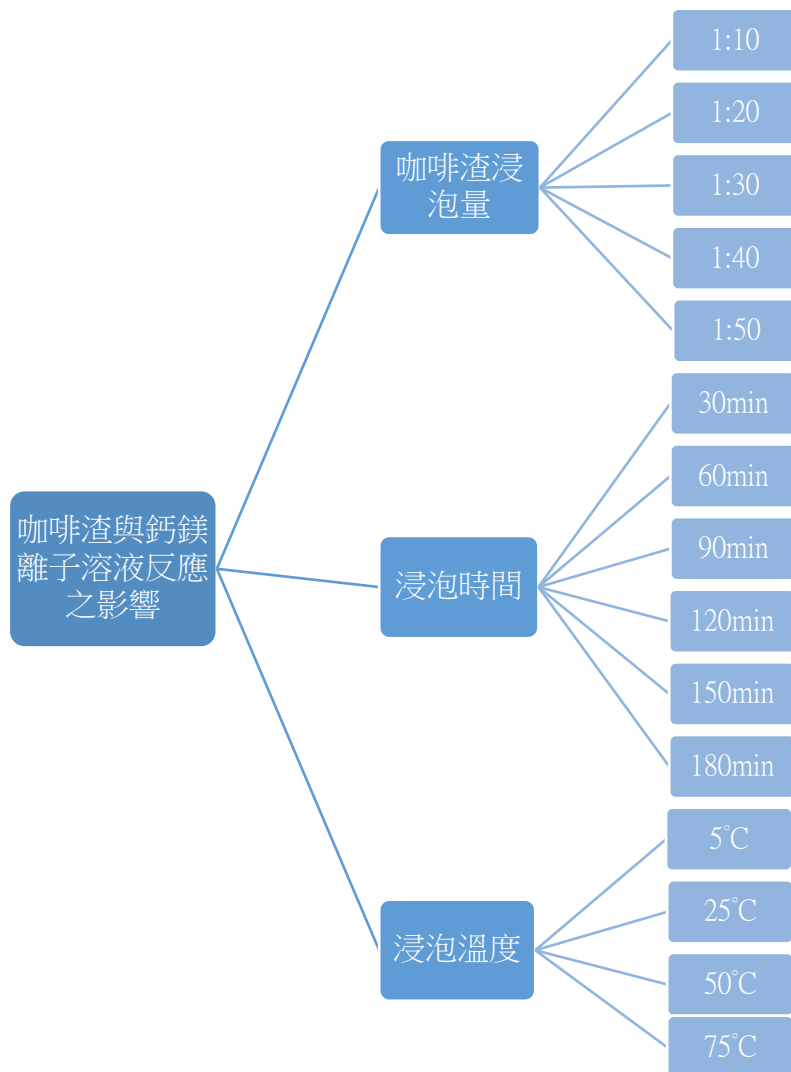
本研究利用前處理後的咖啡渣，來測試浸泡前後鈣離子溶液和鎂離子溶液的濃度變化，測試看看咖啡渣是否有吸附水中鈣鎂離子的能力，或是咖啡渣與鈣鎂離子是否有交互作用。首先將咖啡渣用 RO 水煮沸多次過濾，直到濾液呈現透明，接著配製鈣鎂離子溶液進行吸附及測定，記錄浸泡前後離子濃度的變化。計畫以分別以離子種類、浸泡時間及浸泡溫度為操作變因來探討鈣鎂離子與咖啡渣的交互作用。

(一) 鈣離子浸泡不同粉量咖啡渣對鈣離子溶液濃度之影響

(二) 鎂離子浸泡不同粉量咖啡渣對鎂離子溶液濃度之影響

- (三) 鈣離子浸泡咖啡渣不同時間對鈣離子溶液濃度之影響
- (四) 鎂離子浸泡咖啡渣不同時間對鎂離子溶液濃度之影響
- (五) 鈣離子以不同溫度浸泡咖啡渣對鈣離子溶液濃度之影響
- (六) 鎂離子以不同溫度浸泡咖啡渣對鎂離子溶液濃度之影響

三、實驗架構圖



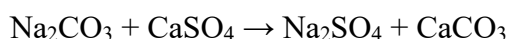
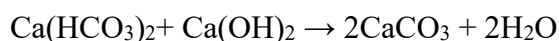
四、文獻回顧

(一) 硬水

1. 硬水的定義

硬水是含有高濃度礦物質的水，是自然水流經岩石或土壤溶出的礦物質，通常是由鈣

離子（ Ca^{2+} ）與鎂離子（ Mg^{2+} ）組成，鈣離子主要來自於雨水流經石灰岩溶出，而鎂離子主要則來自於白雲石（ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ）（葉名倉，2009）。硬水可分為暫時硬水與永久硬水，其中碳酸氫鹽（ HCO_3^- ）可以經由加熱的過程轉變成碳酸鹽（ CO_3^{2-} ）沉澱，或添加熟石灰（ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ）來去除，因此稱為暫時硬水；而硫酸鹽（ SO_4^{2-} ）則無法透過此方法來去除，稱為永久硬水，永久硬水通常使用離子交換樹脂來將硫酸鹽轉為碳酸鹽及硫酸鈉來降低水中硬度其反應如下：



暫時硬水及永久硬水合起來的總濃度稱為總硬度，可依濃度分級如下：

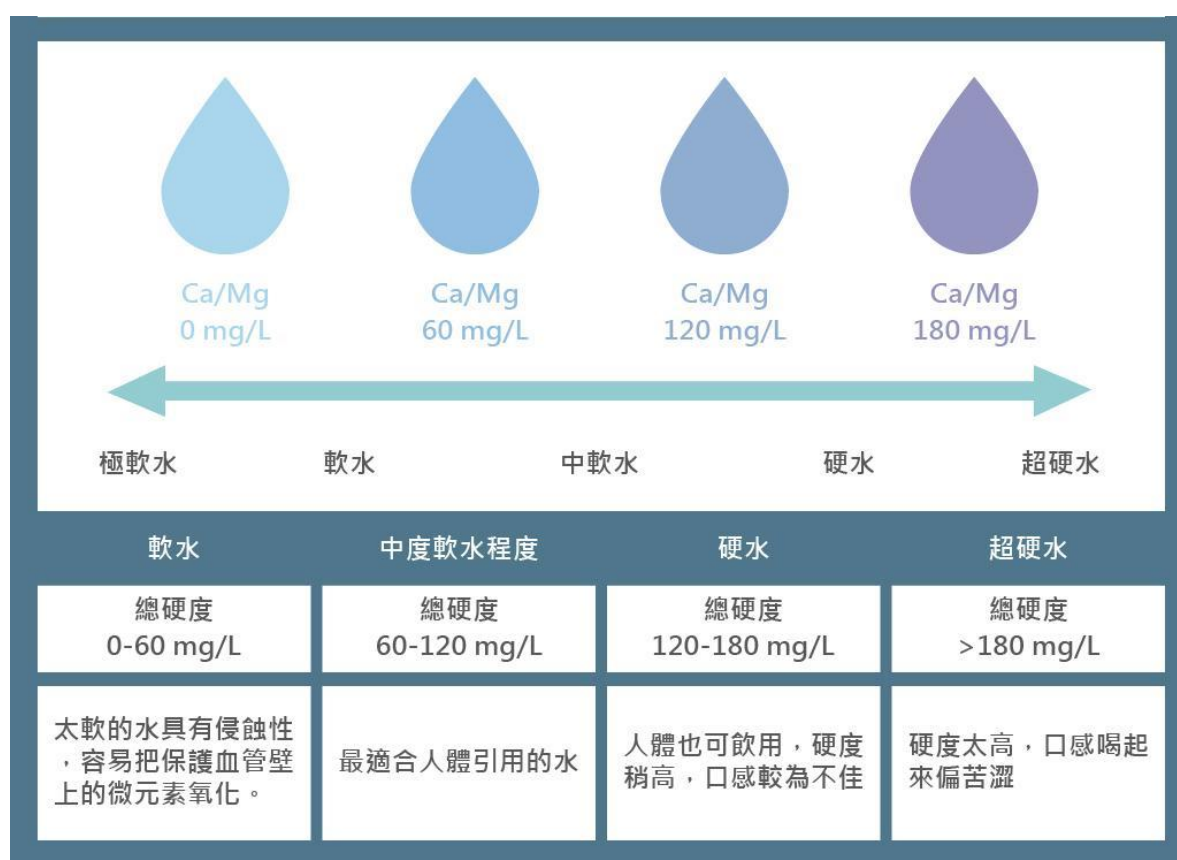


圖 1-4-1 水中硬度分級

資料來源：全國環境水質監測網

2. 硬水對生活的影響

一般而言硬水並沒有傷害，而且鈣、鎂離子也是人體必需的礦物質之一，但有研究指出，水中硬度可能與泌尿系統結石有關（黃耀輝等，2019），也會對清潔劑的清潔效果產生影響，更會在鍋爐中形成水垢進而影響鍋爐熱傳導及管道中水的流動，甚至會造成爆炸。

而雖然也有一些研究表明水中硬度與循環系統疾病呈現負相關，顯示水中鈣、鎂離子對人體的健康影響是有正面幫助的，但當水中總硬度過高時會影響飲用口感而降低民眾飲用意願，因此國內外大多仍定有飲用水的硬度標準，我國環保署定總硬度為 150 mg/L。

3.硬水的處理方式

硬水的處理方式主要有煮沸法、蒸餾法和離子交換法，工業上也會使用藥劑軟化。

煮沸法主要適用於暫時硬水，透過加熱使水中碳酸氫鹽轉成碳酸鹽產生沉澱來降低水的硬度，此法會在容器壁、水面上形成許多白色水垢，可過濾去除。

蒸餾法是將水煮沸收集水蒸汽在冷凝成水，此法會去除水中所有的礦物質，主要用於實驗室。

離子交換法則是利用含鈉離子的化合物來將水中的鈣鎂離子置換出來。

4.硬水的測定方法

一般實驗室中使用 EDTA 滴定法來檢測水中的鈣鎂離子含量，具體方式是將鈣鎂離子的水溶液維持在 $\text{pH}10.0\pm 0.1$ 的情況下加入少量的指示劑 (EBT)，指示劑是較弱的螯合劑，與水中鈣鎂離子結合後會呈現紅色，此時緩慢的在溶液中滴入已知濃度的 EDTA 二鈉鹽水溶液並不斷攪拌，EDTA 是比 EBT 更強的螯合劑，因此會將水中的鈣鎂離子搶走，待水中所有的鈣鎂離子都被螯合時，最後 EBT 的鈣鎂離子也會被 EDTA 搶走而轉變成藍色，此時即達到滴定終點，計算使用的 EDTA 即可算出水中的鈣鎂離子濃度。而 EBT 也會消耗 EDTA，因此需進行空白滴定，具體方式是在試劑水中僅加入 EBT 並進行滴定來測試 EBT 所消耗的 EDTA 體積，在進行鈣離子及鎂離子濃度計算時，須先扣除空白滴定的用量。

(二) 吸附作用(Adsorption)

吸附作用是吸附質(adsorbate)分子附著在吸附劑(adsorbant)表面的作用，依作用力的不同可分為兩種，分別為物理吸附(physisorption)及化學吸附(chemisorptions)。

1.物理吸附(physisorption)

物理吸附的主要作用力是凡得瓦力和靜電力，藉由凡得瓦力或分子之間的靜電力來吸附物質。物理吸附是一種可逆的過程，與其相反的作用稱為脫附(Desorption)，其為一種平衡反應，因此物理吸附有其極限。並且物理吸附對於吸附質較無專一性。

2.化學吸附(chemisorptions)

化學吸附主要是靠吸附質和吸附劑的活性位置間形成的化學鍵結，因此其吸附力大於物理吸附力，吸附質與吸附劑形成新物質，因此化學吸附具有特定的選擇性，稱為特定吸附。

(三) 咖啡渣的應用相關研究

在王鈺雯（2016）的報導中提到，義大利理工學院的研究團隊將咖啡渣製作成泡棉來過濾水樣，發現咖啡渣製作的泡棉對於水中的金屬離子吸附效果都十分優異，其中也提到對鎂的吸附效果，但沒有提到對鈣離子的吸附效果，我們假設同族的鈣鎂離子應該有相似的反應，如此或許咖啡渣能降低水中的硬度。

而在陳德鴻（2013）的研究中以高溫將咖啡渣活性炭化用來吸附水中的重金屬離子，也探討酸鹼改質的咖啡渣對於水中重金屬離子的吸附效果，他發現 600 度高溫碳化的咖啡渣吸附效果最好，孔洞最多。其次是經氫氧化鈉改質的咖啡渣效果第二，而經酸性改質的咖啡渣吸附效果最差。

劉承佑（2015）則研究了咖啡渣吸收水中銅離子的能力，他發現咖啡渣的粒徑大小並不是吸收銅離子的關鍵因素，因此推測咖啡渣吸附銅離子並非與表面積有關，而是咖啡渣表面的官能基與銅離子形成鍵結來吸附水中銅離子。

貳、研究設備及器材

一、實驗器材



		
滴管	燒杯	吸量管
		
濾紙	球形吸管	安全吸球
		
玻璃漏斗	鐵架	蝴蝶夾

二、實驗藥品

		
EDTA 二鈉鹽	$MgCl_2$	$CaCO_3$

		
EBT 指示劑	鹽酸	NH ₄ OH
		
甲基橙	氯化銨	

參、實驗過程與方法

一、咖啡渣前處理

(一) 使咖啡的色素溶出，避免影響滴定時顏色的判斷

(二) 步驟

1. 取得咖啡渣
2. 將咖啡渣浸在清水中，重複熬煮、過濾，直到煮出的水透明無色
3. 將咖啡渣烘乾
4. 置入防潮箱保存

二、鈣鎂離子測定方法 (EDTA 滴定法)

(一) 配置標準鈣溶液

1. 秤 2.500 公克碳酸鈣 (精秤至小數點後 3 位)，每次加少量鹽酸至完全溶解，加入

100 毫升試劑水

2.蓋表玻璃，加熱至沸騰

3.滴兩滴甲基橙指示劑，若為紅色，加稀氨水至橙色；若為黃色，加鹽酸至橙色

4.將溶液倒入 250 毫升容量瓶中，並用試劑水多次沖洗後加試劑水至 250 毫升

(二) 配置 EDTA 溶液

1.溶解 4 公克 EDTA 二鈉鹽於水

2.加入 1%、10 毫升氯化鎂

3.將溶液倒入 1000mL 容量瓶中，加水至 1000 毫升刻度線。

(三) 配置緩衝液

1.量 6.75 公克氯化銨、57 毫升濃氨水

2.充分混合

(四) 配置 EBT 指示劑

1.0.25 公克 EBT 溶解於 70%、50 毫升乙醇

(五) EDTA 滴定法

1.取 0.01M 鈣標準液 20 毫升、試劑水 30 毫升、EBT 指示劑 5 滴、緩衝液 1 毫升於錐形瓶中

2.用 EDTA 溶液滴定至溶液呈藍色

3.記錄數據

三、空白滴定

(一) 目的：原始試劑水及指示劑也會消耗些許 EDTA，因此滴定後數據都必須扣除空白滴定數據。

(二) 步驟

1. 取試劑水 50 毫升、EBT 指示劑 5 滴、緩衝液 1 毫升於錐形瓶中
2. 用 EDTA 溶液滴定至溶液呈藍色
3. 記錄數據

四、各組實驗

實驗（一）：鈣離子浸泡不同粉量咖啡渣對鈣離子溶液濃度之影響

操縱變因：咖啡渣粉量之比例

1. 將經前處理之咖啡渣依不同比例浸泡入鈣離子溶液
2. 過濾得鈣離子溶液
3. 用 EDTA 滴定法檢測鈣離子濃度變化

實驗（二）：鎂離子浸泡不同粉量咖啡渣對鎂離子溶液濃度之影響

操縱變因：咖啡渣粉量之比例

1. 將經前處理之咖啡渣依不同比例浸泡入鎂離子溶液
2. 過濾得鎂離子溶液
3. 用 EDTA 滴定法檢測鎂離子濃度變化

實驗（三）：鈣離子浸泡咖啡渣不同時間對鈣離子溶液濃度之影響

操縱變因：咖啡渣浸泡時間

1. 將經前處理之咖啡渣浸泡於鈣離子溶液中不同時間
2. 過濾得鈣離子溶液
3. 用 EDTA 滴定法檢測鈣離子濃度變化

實驗（四）：鎂離子浸泡咖啡渣不同時間對鎂離子溶液濃度之影響

操縱變因：咖啡渣浸泡時間

1. 將經前處理之咖啡渣浸泡不同時間於鎂離子溶液中
2. 過濾得鎂離子溶液
3. 用 EDTA 滴定法檢測鎂離子濃度變化

實驗（五）：鈣離子以不同溫度浸泡咖啡渣對鈣離子溶液濃度之影響

操縱變因：咖啡渣浸泡溫度

1. 將經前處理之咖啡渣在不同溫度下浸泡於鈣離子溶液中
2. 過濾得鈣離子溶液
3. 用 EDTA 滴定法檢測鈣離子濃度變化

實驗（六）：鎂離子以不同溫度浸泡咖啡渣對鎂離子溶液濃度之影響

操縱變因：咖啡渣浸泡溫度

1. 將經前處理之咖啡渣在不同溫度下浸泡於鎂離子溶液中
2. 過濾得鎂離子溶液
3. 用 EDTA 滴定法檢測鎂離子濃度變化

肆、研究結果

一、空白滴定

空白滴定	EDTA 滴定量	平均
第一次	0.60mL	
第二次	0.58mL	
第三次	0.57mL	0.58mL
第四次	0.55mL	
第五次	0.60mL	

二、鈣離子浸泡不同粉量咖啡渣對鈣離子溶液濃度之影響

操縱變因：咖啡渣：鈣離子溶液 = 1:10、1:20、1:30、1:40

控制變因：浸泡溫度=25°C、浸泡時間=120分鐘

原溶液是鈣離子溶液，但浸泡後因為無法得知咖啡渣釋出的是鈣離子或是鎂離子，因此統一表示為浸泡後鈣鎂離子濃度，由表 4-2-1 可以得知浸泡咖啡渣後，將滴定數據換算成鈣鎂離子的濃度後，鈣鎂離子濃度皆增加，且粉水比例越低，鈣鎂離子釋放越多。咖啡的確會與鈣鎂離子有作用，但咖啡渣是釋放出鈣鎂離子，而不是吸收鈣鎂離子。

表 4-2-1 浸泡各比例咖啡渣於鈣離子溶液後 EDTA 滴定量與濃度表

比例	EDTA 批次	EDTA 滴定量(mL)				減空白滴 定	原鈣離子 濃度 (M)	浸泡後鈣 鎂離子濃 度(M)
		第一次	第二次	第三次	平均			
1:10	一	21.40	21.35	21.30	21.35	20.77	0.01	0.0105
1:20		21.95	22.30	22.05	22.10	21.52	0.01	0.0106
1:30	二	22.25	22.30	22.75	22.43	21.85	0.01	0.0108
1:40		23.50	22.85	22.98	23.11	22.53	0.01	0.0111

註:滴定管最小刻度為 0.1 毫升，加上估計值一位共兩位。平均值四捨五入到小數點後兩位；濃度四捨五入取至小數點後四位。

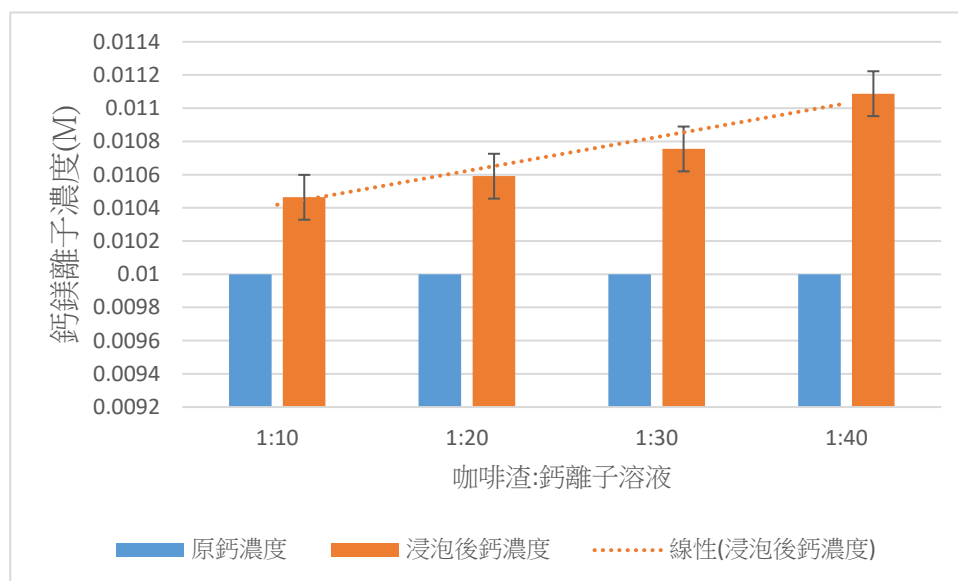


圖 4-2-1 浸泡各比例咖啡渣於鈣離子溶液濃度群組直條圖

(一) 將咖啡渣浸泡於鈣離子溶液後，鈣鎂離子濃度增加

由圖 4-2-1 可發現，浸泡後的鈣鎂離子濃度明顯高於原先鈣離子溶液的濃度，表示浸泡後咖啡渣釋出了鈣鎂離子，而非吸附，與我們假說全然相反。至於釋放的是鈣離子還是鎂離子則無法得知，一律以鈣鎂離子濃度表示。

(二) 當粉水比例越低，鈣鎂離子釋放的量越多。

由圖 4-2-1，趨勢線隨水所占比例上升而上升，粉水比例低，如 1:40 時，鈣鎂離子濃度明顯增加許多；而粉水比例高，如 1:10 時，相較之下鈣鎂離子濃度的增加量較不顯著。

推測原因：當水所占比比例越高，越有利於咖啡中的物質溶出。咖啡沖煮理論中有提到注水量對於咖啡濃度的影響，咖啡粉總量及水總量不變狀況下，每次注水高度高，即每次粉水比例小，則咖啡中的物質較容易溶出；相反的，每次注水高度低，即每次粉水比例大，不利於咖啡中的物質溶出。因此若以相同粉量與水量沖煮咖啡，注水高度高(粉與水的比例低)則咖啡會較濃。因此當粉水比例越低釋出的鈣鎂離子反而越多。

三、鎂離子浸泡不同粉量咖啡渣對鎂離子溶液濃度之影響

操縱變因：咖啡渣：鎂離子溶液 = 1:10、1:20、1:30、1:40

控制變因：浸泡溫度 = 25°C、浸泡時間 = 120 分鐘

由表 4-3-1 可以得知浸泡咖啡渣，將滴定數據換算成鈣鎂離子的濃度後，在咖啡渣：鎂溶液=1:10 到 1:30 時，濃度呈減少狀態；在咖啡渣：鎂溶液=1:40 到 1:50 時，濃度呈增加狀態。與假設相同，咖啡會與鈣鎂離子有作用，且一定濃度之下，鈣鎂離子含量如期減少，但達一定濃度便開始增加。

表 4-3-1 浸泡各比例咖啡渣於鎂離子溶液後 EDTA 滴定量與濃度表

比例	EDTA 批次	EDTA 滴定量(mL)				減空白滴定	原鎂離子濃度(M)	浸泡後鈣鎂離子濃度(M)
		第一次	第二次	第三次	平均			
1:10	三	19.75	20.15	20.25	20.05	19.47	0.0095	0.0089
1:20		20.30	20.30	20.38	20.33	19.75	0.0095	0.0090
1:30	四	21.00	20.95	20.80	20.92	20.34	0.0095	0.0093
1:40		21.30	21.50	21.40	21.40	20.82	0.0095	0.0095
1:50		21.40	20.70	20.70	20.93	20.35	0.0095	0.0098

註:滴定管最小刻度為 0.1 毫升，加上估計值一位共兩位。平均值四捨五入到小數點後兩位； 濃度四捨五入至小數點後四位。

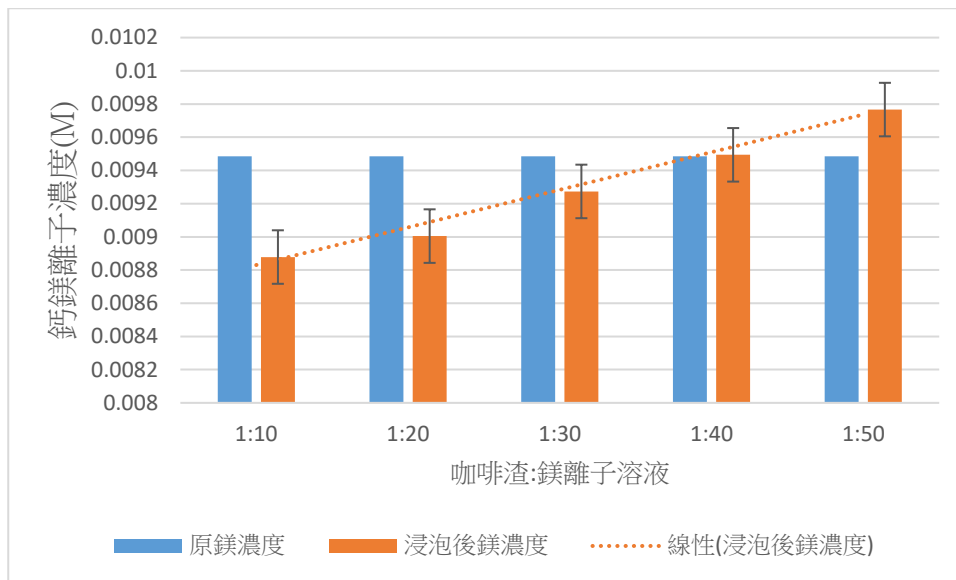


圖 4-3-1 浸泡各比例咖啡渣於鎂離子溶液濃度群組直條圖

(一) 將咖啡渣浸泡於鎂離子溶液後，鈣鎂離子部分下降，部分上升

由圖 4-3-1 可發現，粉水比例在 1:10 時，鈣鎂離子濃度明顯下降，隨水所占比例變多，鈣鎂離子濃度提升，並在咖啡渣:鎂離子溶液=1:40 時，濃度開始呈增加狀態。在圖中，粉水比 1:10、1:20、1:30 符合我們的假說。

(二) 當粉水比例越低，鈣鎂離子濃度越高

由圖 4-2-1，趨勢線隨水所占比例上升而上升，但在粉水比例高時，濃度較原鎂離子溶液低；粉水比例低時，濃度則較原鎂離子溶液高。

推測原因：當水所占比比例越高，咖啡中的鈣離子越易溶出，有相關文章提到，咖啡渣對鎂離子有吸附作用，而文獻中則無提到對於鈣離子的吸附作用如何。依上一實驗粉水比例高時不利鈣鎂離子釋出，假設咖啡渣會吸收鎂離子而釋出鈣離子，則在高粉水比例時不利於鈣離子的釋出，同時吸附鎂離子，因此濃度較原鎂離子濃度下降；而粉水比例低時，鈣離子釋出量多，因此濃度反而較原鎂離子濃度增加，但目前我們的實驗也無法證明這個假設，或許可以提供後續研究參考。而這也可說明沖煮咖啡時，為何必須透過多次給水，讓咖啡顆粒好好吸收水分以利於咖啡物質的溶出。

四、鈣離子浸泡咖啡渣不同時間對鈣離子溶液濃度之影響

操縱變因：浸泡時間 = 30、60、90、120、180 分鐘

控制變因：浸泡溫度 = 25°C、咖啡渣:鈣離子溶液 = 1:20

由下表 4-4-1 可以得知浸泡咖啡渣，將滴定數據換算成鈣鎂離子的濃度後，浸泡後鈣鎂離子濃度皆高於原本鈣離子溶液，且隨著浸泡時間愈長而增加，但 150 分鐘與 180 分鐘兩項目之間變化已極小，猜測若浸泡更長時間，也不會再有較大的變化了。

表 4-4-1 浸泡咖啡渣於鈣離子溶液各時間後 EDTA 滴定量與濃度表

時間	EDTA 批次	EDTA 滴定量(mL)				減空白 滴定	原鈣離子濃度(M)	浸泡後鈣鎂離子濃度(M)
		第一次	第二次	第三次	平均			
30min	五	22.40	22.10	22.50	22.33	21.75	0.01	0.0105
60min	四	24.20	23.95	24.10	24.08	23.50	0.01	0.0107
90min	五	23.65	22.70	22.50	22.95	22.37	0.01	0.0108
120min	五	23.40	22.90	23.00	23.10	22.52	0.01	0.0109
150min	五	23.50	23.50	23.60	23.53	22.95	0.01	0.0111
180min	二	23.50	22.85	22.98	23.11	22.53	0.01	0.0111

註:滴定管最小刻度為 0.1 毫升，加上估計質一位共兩位。平均值四捨五入到小數點後兩位； 濃度四捨五入至小數點後四位。

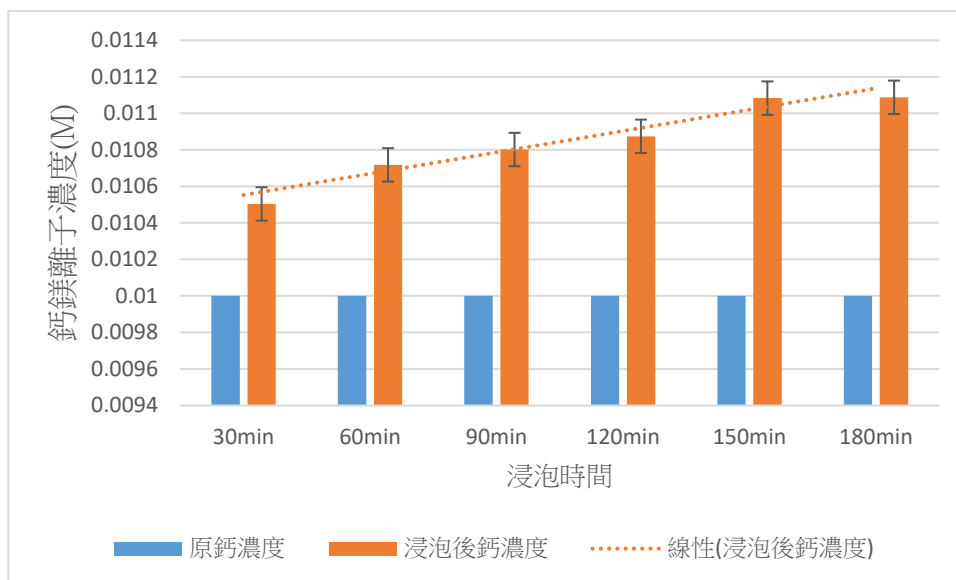


圖 4-4-1 浸泡咖啡渣於鈣離子溶液各時間後濃度群組直條圖

(一) 將咖啡渣浸泡於鈣離子溶液後，鈣鎂離子濃度皆增加

由圖 4-4-1 可發現，浸泡後的鈣鎂離子濃度明顯高於原先鈣離子溶液的濃度，表示浸泡後咖啡渣釋出了鈣鎂離子，而非吸附，與我們的假說全然相反。

(二) 浸泡時間越長，鈣鎂離子釋放的量越多。

由圖 4-4-1，趨勢線隨時間越長上升，而非浸泡時間長，濃度降低。浸泡 150 分鐘與 180 分鐘的鈣鎂離子濃度必須至小數點後六位才能比較出大小，可知浸泡 150 分鐘與 180 分鐘效果無太大分別。

推測原因：當浸泡時間越長，咖啡中的物質有較長的溶出時間。浸泡時間短，如 30 分鐘，咖啡渣中可能尚有鈣離子未溶出，因此濃度增加較少；而浸泡時間長，如 180 分鐘，咖啡渣中的離子又充分時間可溶出，因此濃度增加較多。而浸泡 150 分鐘與 180 分鐘鈣鎂離子濃度如此接近的原因，也可能是 150 分鐘後，咖啡渣中的離子大部分已溶出，因此浸泡時間拉長至 180 分鐘，不會再有較大的濃度變化了。

五、鎂離子浸泡咖啡渣不同時間對鎂離子溶液濃度之影響

操縱變因：浸泡時間 = 30、60、90、120、180 分鐘

控制變因：浸泡溫度 = 25°C、咖啡渣:鎂離子溶液 = 1:20

由表 4-5-1 可以得知浸泡咖啡渣，將滴定數據換算成鈣鎂離子的濃度後，浸泡後鈣鎂離子濃度呈現降低的現象，隨著浸泡時間越長濃度降低越少，與上一實驗相同，但 150 分鐘與 180 分鐘兩項目之間變化已極小，猜測若浸泡更長時間，也不會再有較大的變化了。

表 4-5-1 浸泡咖啡渣於鎂離子溶液各時間後 EDTA 滴定量與濃度表

浸泡時間	EDTA 批次	EDTA 滴定量(mL)				減空白 滴定	原鎂濃 度(M)	浸泡後鈣鎂 離子濃度(M)
		第一次	第二次	第三次	平均			
30min	五	19.15	18.70	18.70	18.85	18.27	0.0095	0.0088
60min	五	19.52	19.60	19.82	19.65	19.07	0.0095	0.0092
90min	五	20.00	19.75	19.55	19.77	19.19	0.0095	0.0093
120min	五	19.70	19.75	19.95	19.80	19.22	0.0095	0.0093
150min	五	20.00	20.00	20.05	20.02	19.44	0.0095	0.0094
180min	四	19.75	20.15	20.25	20.05	19.47	0.0095	0.0094

註:滴定管最小刻度為 0.1 毫升，加上估計值一位共兩位。平均值四捨五入取到小數點後兩位；濃度四捨五入取至小數點後四位。

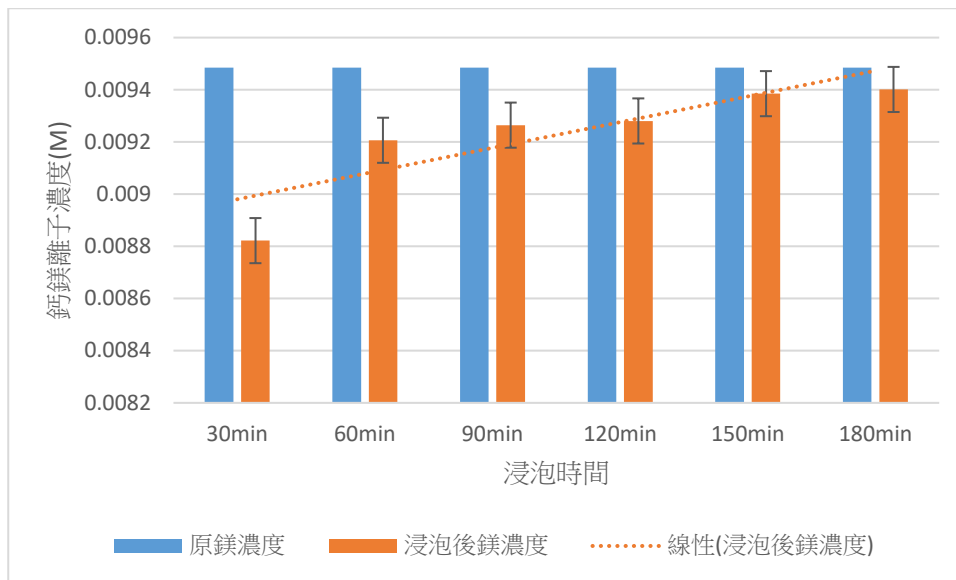


圖 4-5-1 浸泡咖啡渣於鎂離子溶液各時間後濃度群組直條圖

(一) 將咖啡渣浸泡於鎂離子溶液後，鈣鎂離子濃度呈現減少的現象

由圖 4-5-1 可發現，浸泡後的鈣鎂離子濃度明顯低於原先鎂離子溶液的濃度。不過隨著浸泡時間越長，濃度越來越接近。在王鈺雯(2016)的報導中提到義大利的科學家將咖啡渣製成泡棉，其對於金屬離子的吸附能的令人驚艷，就有特別提到，咖啡渣泡棉對於金屬離子的吸附效果十分優異，其中包含了鎂離子，但文中並沒有提到對於鈣離子的吸收能力如何。因此我們推測或許咖啡渣對於鎂離子的吸附能力優於鈣離子，或者甚至咖啡渣會釋放鈣離子，吸收鎂離子。

(二) 浸泡時間越長，濃度降低越少。

由圖 4-5-1，趨勢線隨時間越長而上升，而非浸泡時間長，濃度降低。浸泡 150 分鐘與 180 分鐘的鈣鎂離子濃度相差依然非常接近，可知浸泡 150 分鐘與 180 分鐘效果無太大分別。

推測原因：與上一實驗相同，浸泡時間短時，咖啡渣中可仍上有鈣離子為溶出；浸泡時間長時，鈣離子有充分溶出時間，而達一定時間，鈣離子充分溶出後，濃度已不會有較大變化。

六、鈣離子以不同溫度浸泡咖啡渣對鈣離子溶液濃度之影響

操縱變因：浸泡溫度 = 5°C、25°C、50°C、75°C

控制變因：咖啡渣:鈣離子溶液 = 1:20、浸泡時間 = 60 分鐘

由表 4-6-1 可以得知浸泡咖啡渣，將滴定數據換算成鈣鎂離子的濃度後，浸泡後鈣鎂離子濃度皆呈現增加現象，且浸泡溫度越高，浸泡後水中鈣鎂離子的濃度增加越多。

浸泡溫度越高，浸泡後水中鈣鎂離子的濃度增加越多。

表 4-6-1 浸泡咖啡渣於鈣離子溶液各溫度後 EDTA 滴定量與濃度表

溫度	EDTA 批次	EDTA 滴定量(mL)				減空白 滴定	原鈣濃 度(M)	浸泡後鈣鎂 離子濃度(M)
		第一次	第二次	第三次	平均			
5°C	五	22.65	22.70	22.50	22.62	22.04	0.01	0.0108
25°C	四	24.20	23.95	24.10	24.08	23.50	0.01	0.0133
50°C	六	24.65	24.60	25.00	24.75	24.17	0.01	0.0139
75°C	五	26.85	26.15	26.10	26.37	25.79	0.01	0.0143

註:滴定管最小刻度為 0.1 毫升，加上估計質一位共兩位。平均值四捨五入到小數點後兩位； 濃度四捨五入至小數點後四位。

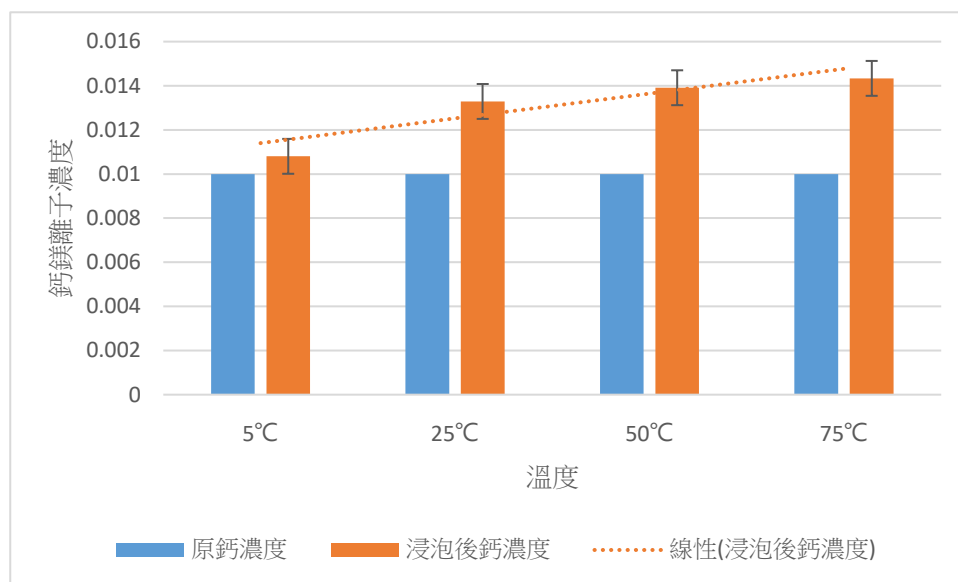


圖 4-6-1 浸泡咖啡渣於鈣離子溶液各溫度後濃度群組直條圖

(一) 將咖啡渣浸泡於鈣離子溶液後，鈣鎂離子濃度皆增加

由圖 4-6-1 可發現，浸泡後的鈣鎂離子濃度高於原先鈣離子溶液的濃度，表示浸泡後咖啡渣釋出了鈣鎂離子，而非吸附。

(二) 將咖啡渣浸泡溫度越高，鈣鎂離子濃度增加越多

由圖 4-6-1，趨勢線明顯呈現上升，可知浸泡時溫度愈高，鈣離子濃度增加愈多。

推測原因：與溶解度有關，溫度越高鈣離子的溶解度越大，因此浸泡溫度越高，咖啡渣中鈣離子溶解越多，因此浸泡時間、咖啡渣比例皆相同的情況下，溫度越高越溶出越多

鈣離子，因此濃度呈現上升趨勢。

七、鎂離子以不同溫度浸泡咖啡渣對鎂離子溶液濃度之影響

操縱變因：浸泡溫度 = 5°C、25°C、50°C、75°C

控制變因：咖啡渣:鎂離子溶液=1:20、浸泡時間=60 分鐘

如表 4-7-1 可以得知浸泡咖啡渣，將滴定數據換算成鈣鎂離子的濃度後，浸泡水溫越高，水中鈣鎂離子濃度增加的越多。而對比於浸泡鈣離子溶液的實驗來看，浸泡鎂離子溶液時，在低溫及室溫的情況下濃度是減少的，到了 50 度以上溶液中的鈣鎂離子濃度才呈現增加的現象，而且濃度增加的幅度也遠小於鈣離子的溶液。

表 4-7-1 咖啡渣浸泡於鎂離子溶液不同溫度 EDTA 滴定數據

溫度	EDTA 批次	EDTA 滴定量				減空白 滴定	原鎂濃 度(M)	浸泡後鈣鎂 離子濃度(M)
		第一次	第二次	第三次	平均			
5°C	五	19.90	19.60	19.40	19.63	19.05	0.0095	0.0092
25°C	五	20.00	20.00	20.05	20.02	19.44	0.0095	0.0094
50°C	六	20.05	19.75	19.85	19.88	19.30	0.0095	0.0096
75°C	六	23.25	23.30	23.30	23.28	22.70	0.0095	0.0113

註:滴定管最小刻度為 0.1 毫升，加上估計質一位共兩位。平均值四捨五入到小數點後兩位； 濃度四捨五入至小數點後四位。

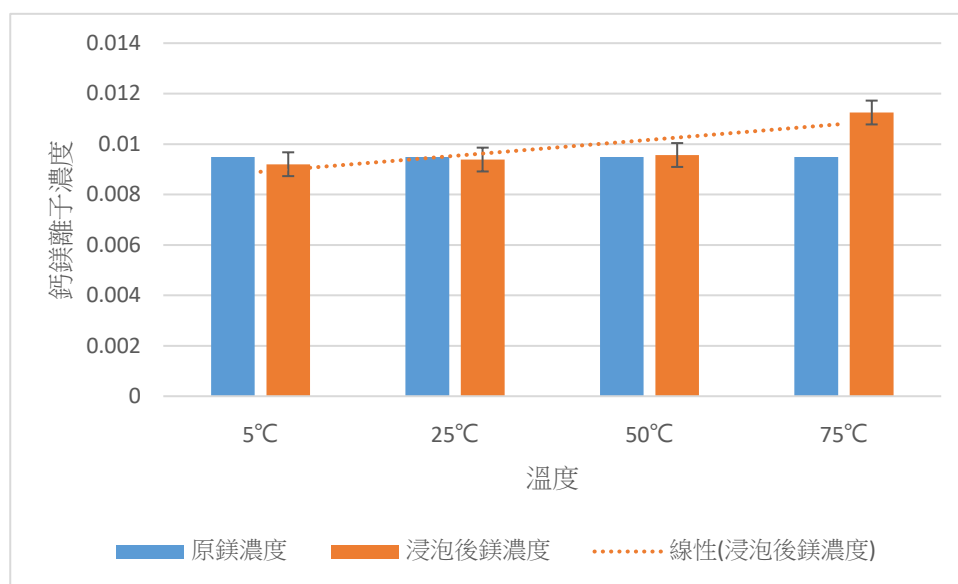


圖 4-7-1 浸泡咖啡渣於鎂離子溶液各溫度後濃度群組直條圖

(一) 將咖啡渣浸泡溫度越高，鈣鎂離子濃度增加越多

浸泡溫度越高，咖啡渣中鈣離子溶解度越大，因此浸泡時間、咖啡渣比例皆相同的情況下，溫度越高溶出的鈣鎂離子也就越多。

(二) 比起浸泡鈣離子溶液的實驗鈣鎂離子濃度增加幅度較小。

推測咖啡渣對於鎂離子有吸附效果，而釋放出鈣離子，因此低溫時，溶出鈣離子溶解度小而鎂離子被吸附因此濃度呈現微幅下降；而高溫時，溶出鈣離子的溶解度大，高於吸附鎂離子的量，因此濃度呈現上升趨勢，但濃度增加的幅度遠小於浸泡鈣離子的實驗。

伍、討論

一、咖啡渣對於水中鈣鎂離子的濃度確有影響

根據實驗結果，浸泡咖啡渣後水中的鈣鎂離子濃度皆有顯著的改變，可見咖啡渣確實對於水中的鈣鎂離子有影響，對於鈣離子溶液浸泡咖啡渣後，水中的鈣鎂離子濃度有顯著的增加，而對於鎂離子溶液浸泡咖啡渣後，水中的鈣鎂離子濃度反而有減少的現象，可見咖啡渣對於鎂離子與鈣離子有不同的影響。

二、浸泡咖啡渣的粉水比例越高，鈣鎂離子的濃度反而增加較少

原以為浸泡的粉水比例越高應該有越多的鈣鎂離子溶出，但實驗結果卻是相反，在查找資料時發現沖煮咖啡的理論中有提到沖煮時的粉水比例高並不見得會沖煮出較濃郁的咖啡，主要是因為咖啡粉中的物質要溶入水中需要水從粉外滲透到粉內再將粉內的物質帶到水中，而較高的粉水比表示水中有較多的溶出物質，因此對於物質的溶出有不利的影響。推測可能是因為較高的粉水比例抑制了粉中鈣鎂離子的釋出速率。

三、鎂離子與鈣離子有不同的作用

從實驗來看鈣離子浸泡後水中鈣鎂離子的濃度增加很明顯，但鎂離子浸泡後水中鈣鎂離子的濃度卻是呈現減少的現象，可見咖啡粉對於鈣離子與鎂離子卻有不同的影響，但限於實驗技巧及工具的限制，我們無法得知咖啡粉對於兩種離子有甚麼樣的不同反應。

在精品咖啡的沖煮理論中，均表明了用含鈣鎂離子的礦泉水沖煮咖啡更能表現出咖啡的香氣與風味，但水中的鈣鎂離子其實是對於水的口感有負面影響。既然沖煮的理論和飲水的口感有著不同的說法，我們因此假定咖啡中的物質會吸收水中的鈣鎂離子而釋放出香氣物質。因此我們假設咖啡渣會吸附鈣鎂離子，在進行實驗測試時，我們先將咖啡渣進行了高溫碳化，嘗試以活性碳吸附的方式來測試咖啡渣活性碳對於水中鈣離子的吸附效果，但測試實驗表明，當咖啡渣高溫碳化後，鈣離子溶液浸泡咖啡渣活性碳後濃度幾乎沒有變化，表示 400 度高溫碳化後的咖啡渣活性碳對於水中的鈣離子含量幾乎沒有吸附能力。因此我們改以只經去色處理的咖啡渣來進行濃度的影響測試，結果發現咖啡渣對於鈣離子與鎂離子有著十分不同的影響，如圖 5-1 及圖 5-2，雖然鈣鎂離子濃度皆隨著粉水比例的下降而上升，但鎂離子溶液的濃度比起鈣離子溶液呈現了下降的現象，因此我們猜測咖啡渣對於鎂離子和鈣離子有著很不一樣的選擇性。這或許可以供給後續研究參考方向，只是想要證明咖啡渣對於鈣離子與鎂離子的選擇性需要更多的儀器設備及相關知識，留待未來爬梳更多的文獻與學習更多的專業來進行了。

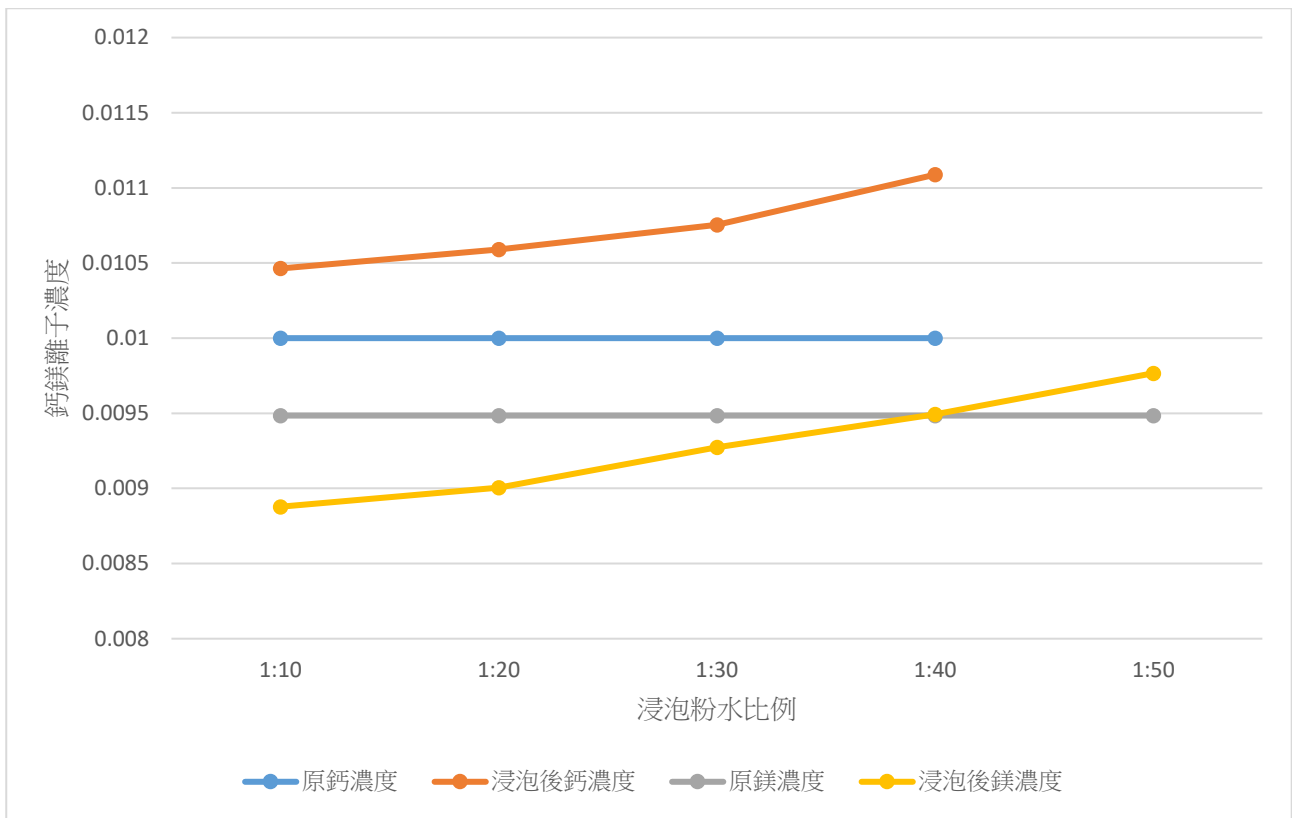


圖 5-1 浸泡比例對於鈣鎂離子溶液濃度的影響

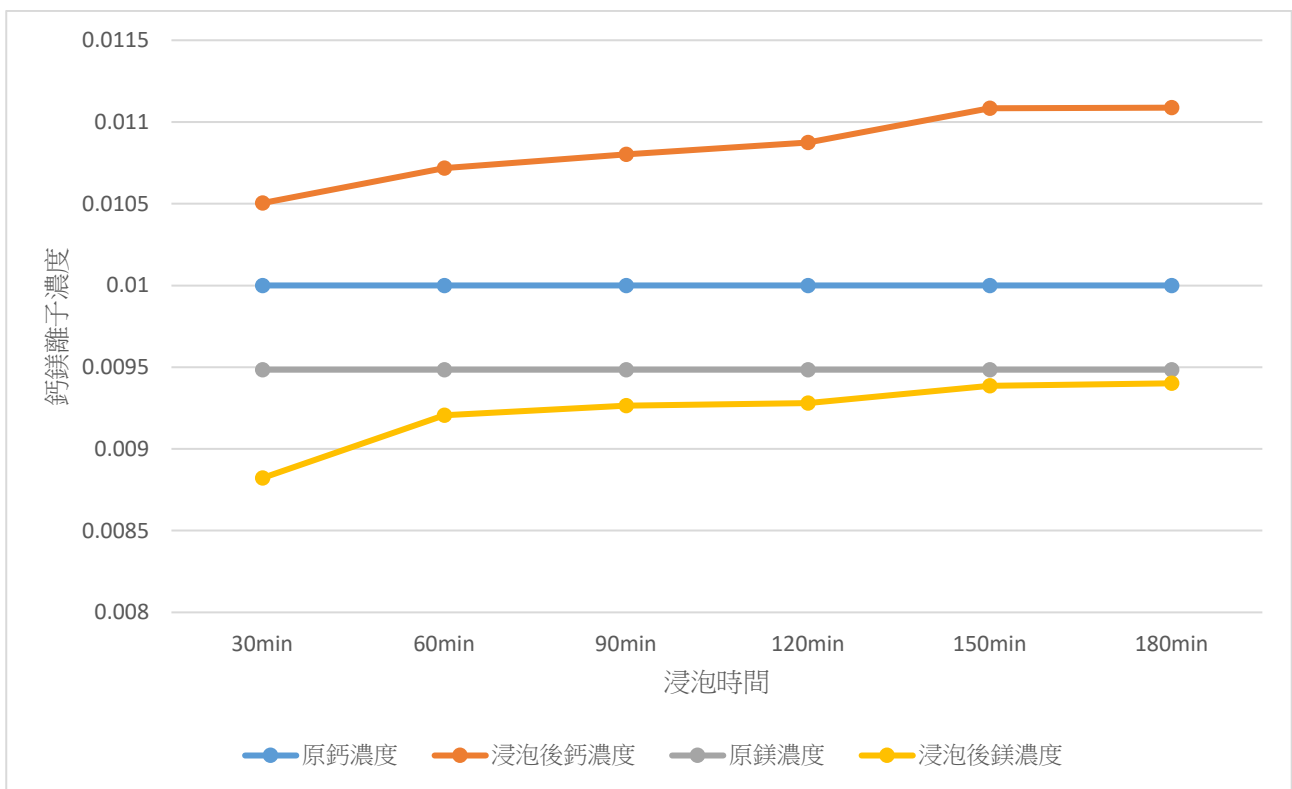


圖 5-2 浸泡時間對於鈣鎂離子溶液濃度的影響

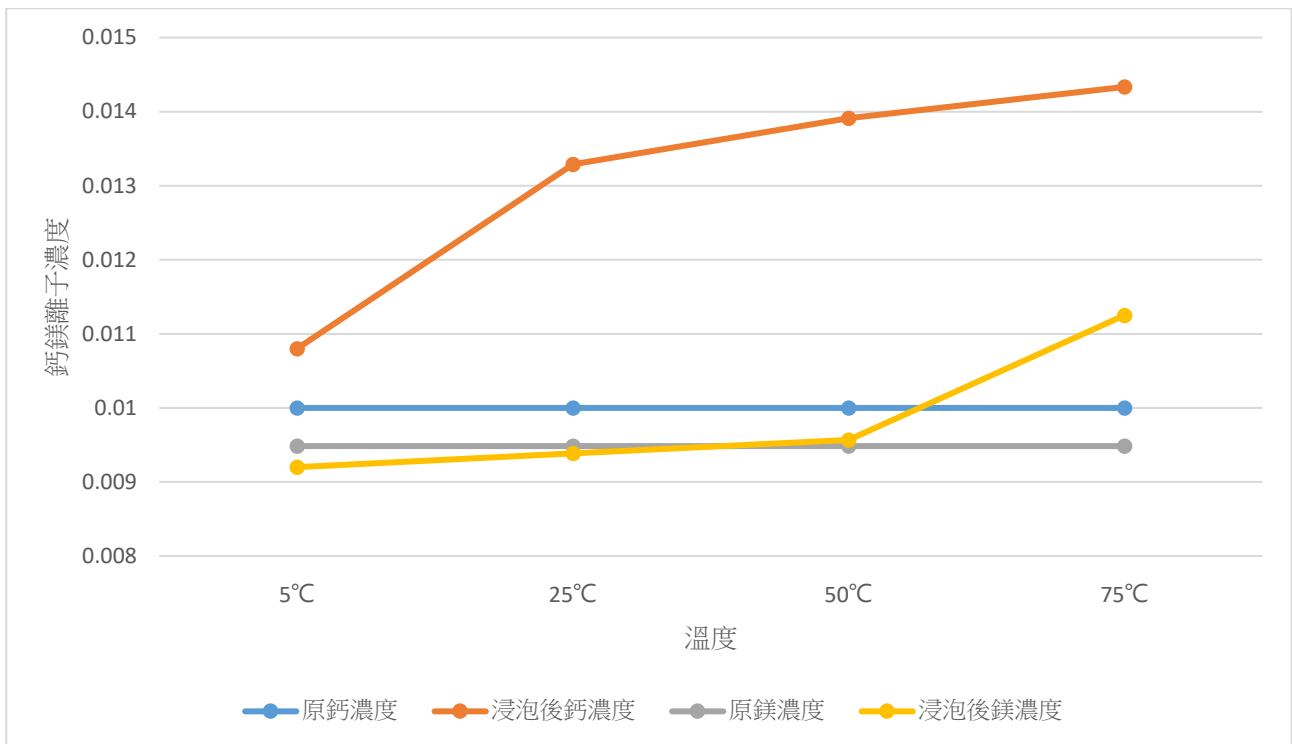


圖 5- 浸泡時間對於鈣鎂離子溶液濃度的影響

陸、結論

- 一、經過前處理的咖啡渣會與鈣離子溶液產生反應，並且釋放出鈣離子，使溶液的鈣離子濃度提升。
- 二、經過前處理的咖啡渣會與鎂離子溶液產生反應，在咖啡渣和鎂離子溶液比例為 1:10~1:30 時溶液的鎂離子濃度減少，在 1:40 與 1:50 時濃度增加。
- 三、咖啡渣和鈣離子溶液的比例固定時，浸泡的時間越久，溶液的鈣離子濃度會增加。
- 四、咖啡渣和鎂離子溶液的比例固定時，浸泡的時間越久，溶液的鎂離子濃度會越來越接近原來的鎂離子濃度 0.0095M
- 五、咖啡渣和鈣離子溶液的比例及浸泡時間固定時，浸泡溫度越高，溶液的鈣離子濃度也會增加，推測是因為溫度的增高使咖啡渣中的鈣離子釋出速率增快。
- 六、咖啡渣和鎂離子溶液的比例及浸泡時間固定時，浸泡溫度越高，溶液的鎂離子濃度也會增加，在浸泡溫度大於 50°C 後，濃度均會大於標準的 0.0095M，推測其原因是因為溫度的增高使咖啡渣中的鎂離子釋出速率增快。

柒、參考文獻資料

1. 劉承祐（2015 年 6 月）。咖啡渣吸附水中銅離子之研究。萬能科技大學工程科技研究所碩士論文
2. 陳德鴻（2013 年 1 月）。改質咖啡渣對重金屬吸附特性之研究。桃園創新技術學院材料應用科技研究所碩士論文
3. 林以萱（2014 年 7 月）。咖啡渣再利用之研究。國立成功大學工程科學系碩士論文
4. 東海大學普化實驗教材。<http://gclab.thu.edu.tw/gen-chem/pdf-gc/Exp13.pdf>
5. 葉名倉（2009 年 2 月 2 日）。硬水。科學 Onlin 網站
<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=3358>
6. 軟水和硬水。全國水質監測資訊網。
https://wq.moenv.gov.tw/EWQP/zh/Encyclopedia/WaterKnowledge/Pedia_10.aspx
7. 王鈺雯（2016 年 12 月 21 日）。咖啡渣的新用處。台大科學教育發展中心。
<https://case.ntu.edu.tw/blog/?p=26576>