

屏東縣第66屆國民中小學科學展覽會 作品說明書

科 別：化學科

組 別：國中組

作品名稱：基於咖啡金杯理論抗氧化性之探討

關 鍵 詞：綠原酸、抗氧化、金杯理論（最多3個）

編號：B3004

目錄

摘要	1
壹、前言	1
貳、研究設備及器材	4
參、研究過程及方法	5
肆、研究結果與討論	14
伍、結論	26
陸、參考資料及其他	27

摘要

本實驗探討咖啡當中抗氧化物質，並基於咖啡金杯理論中之不同區域之咖啡濃度、萃取率，找出不同區域之代表性之咖啡濃度、萃取率，以探討其抗氧化能力之差異。發現咖啡粉重量是影響濃度 TDS 的主要因素，研磨度則是影響萃取率 EXT 的主要因素。

直接碘滴定法終點極不易判斷，反向滴定法終點明顯是適合這個實驗的滴定方法。

濃度和咖啡液滴定用量完全沒有相關性。萃取率和咖啡液滴定用量成高度負相關性，萃取率愈高者咖啡滴定量愈少，代表抗氧化力愈強。

咖啡加鹽酸的抗氧化性表現最好，咖啡加牛奶的抗氧化性表現明顯下降。抗氧化力大小比較為：咖啡加鹽酸 > 純咖啡 > 咖啡加牛奶

咖啡中的多酚物質會和牛奶中的蛋白質形成非共價鍵複合物造成了整體的還原力下降。

壹、前言

一、研究動機

我們在學校中有參加咖啡社團，老師在課堂上介紹了咖啡的相關知識及各種沖煮技巧，咖啡無疑是現在熱門的飲料之一，從每天都可看見有同學或老師會帶一杯咖啡進學校就可見其受歡迎的程度，除了提神醒腦之外，老師曾提過咖啡的好處尚有抗發炎、抗氧化、預防癌症的優點，是來自於其中的一些成分，例如：綠原酸、咖啡酸等多酚類物質。

因此我們想除了平常所學習的咖啡技巧及知識外，能再用更理論性的方式研究咖啡，並結合八下理化課程中所提到的氧化還原的概念，可以讓我們將理論性的概念和咖啡的研究相結合會更加全面，所以我們以我們社團課中學到的金杯理論為基礎，探討各種變因之下，咖啡的抗氧化性表現。

二、文獻回顧

在查找資料的過程中，我們發現和我們的主題相關的文獻有：

(一)歷屆科展

1. 中華民國第 56 屆中小學科展國小組作品：咖啡大戰，『原』力覺醒～探討咖啡中的綠原酸 [1]。

此研究以虹吸式萃取咖啡液，結果推論出抗氧化能力較佳為輕烘焙咖啡，

2. 中華民國第 62 屆中小學科展國中組作品：咖啡廢棄物再利用-咖啡果皮之研究 [2]

此研究以農業廢棄物咖啡果皮為原料，用乾果機以 60 °C 與 70 °C 將其烘乾只要 200 分鐘，比傳統日曬法(兩天)更快；抗氧化力測試上，乾果機烘乾法顯著優於傳統日曬

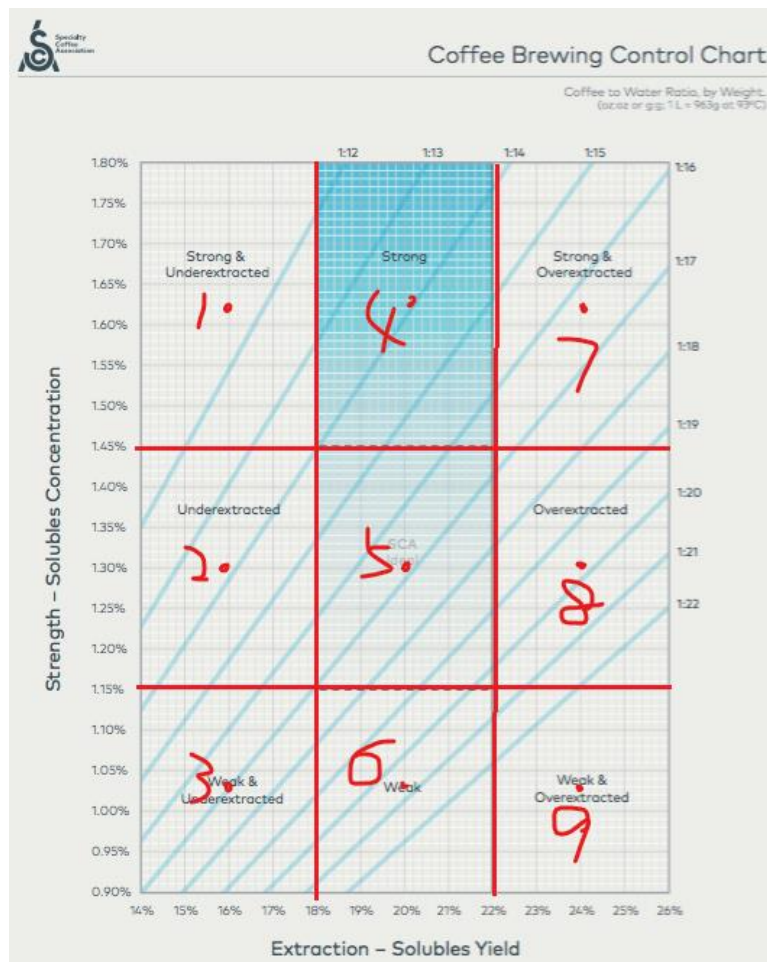
法；與茶葉的抗氧化力的比較上，咖啡果皮茶在所有茶類比較中僅次於綠茶。並且以農業廢棄物的咖啡果皮的再利用達到循環經濟的目的。

(二)期刊雜誌

- 1.根據 Logan Fang 2025於咖啡研究所網站所發表文章指出，咖啡含有豐富的抗氧化物質，其中最主要的成分包括綠原酸與咖啡酸，這些物質有助於對抗體內的自由基，減少氧化壓力所帶來的細胞損傷。並且近年來，科學界對咖啡是否能降低某些癌症的風險有很多研究。某些研究指出，適量攝取咖啡可能與降低肝癌、大腸癌與乳腺癌風險有關。其機制可能與咖啡的抗氧化性質、促進細胞修復與減少發炎息息相關 [3]。
2. 一篇刊登在《農業與食品化學期刊（Journal Of Agricultural And Food Chemistry）》的研究指出，在咖啡中加入牛奶，能產生更好的抗發炎作用。此研究作者，哥本哈根大學食品科學系教授 Marianne Nissen Lund 研究多酚與蛋白質結合的抗發炎作用，研究結果證實，多酚和蛋白質之間的反應，也發生在各種日常飲食中，尤其在加牛奶的咖啡飲料中，免疫細胞產生的抗炎反應效果更佳。[6]
這篇研究也給了我們啟發，在咖啡中加鮮奶，形成拿鐵咖啡，其對抗氧化的效果是否有加分效果。
- 3.許多文章指出根據 SCA（Specialty Coffee Association，精品咖啡協會）[4]所制定出來的金杯理論，又稱金杯沖煮標準（Golden Cup Brewing Standard），是咖啡界公認的沖煮準則，旨在定義一杯「好咖啡」的客觀標準。而且是基於科學研究，透過量化指標，幫助大眾更有效地控制咖啡沖煮，達到最佳風味。

在金杯理論出現之前，沖煮咖啡很大程度依賴經驗和感官。每個人對「好喝」的定義不同，很難有一個統一的標準。金杯理論的出現，提供了一個科學化的參考，讓大眾可以透過量化指標，更精準地控制沖煮過程，達到各自所需的風味。

金杯理論圖示如下：



(圖一、金杯理論沖煮圖)

圖一中縱軸代表：濃度（TDS, Total Dissolved Solids）：指的是咖啡液中所有可溶解的物質含量所佔的百分比，也就是咖啡的濃淡程度。理想濃淡度範圍為 1.15% 至 1.45%。

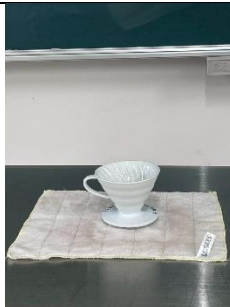
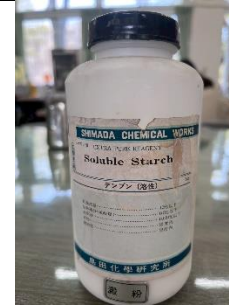
橫軸所代表者為：萃取率（EXT Extraction Percentage）：指的是咖啡粉中有多少百分比的可溶解物質被萃取出來。理想咖啡萃取率範圍為 18% 至 22%。

此圖為我們提供了一個可量化的研究方向，我們概略將此圖畫分為9個區域，並且標出這9個區域的中心點來作為研究的參考值，並探討這些參考點數值的抗氧化效果。

三、研究目的

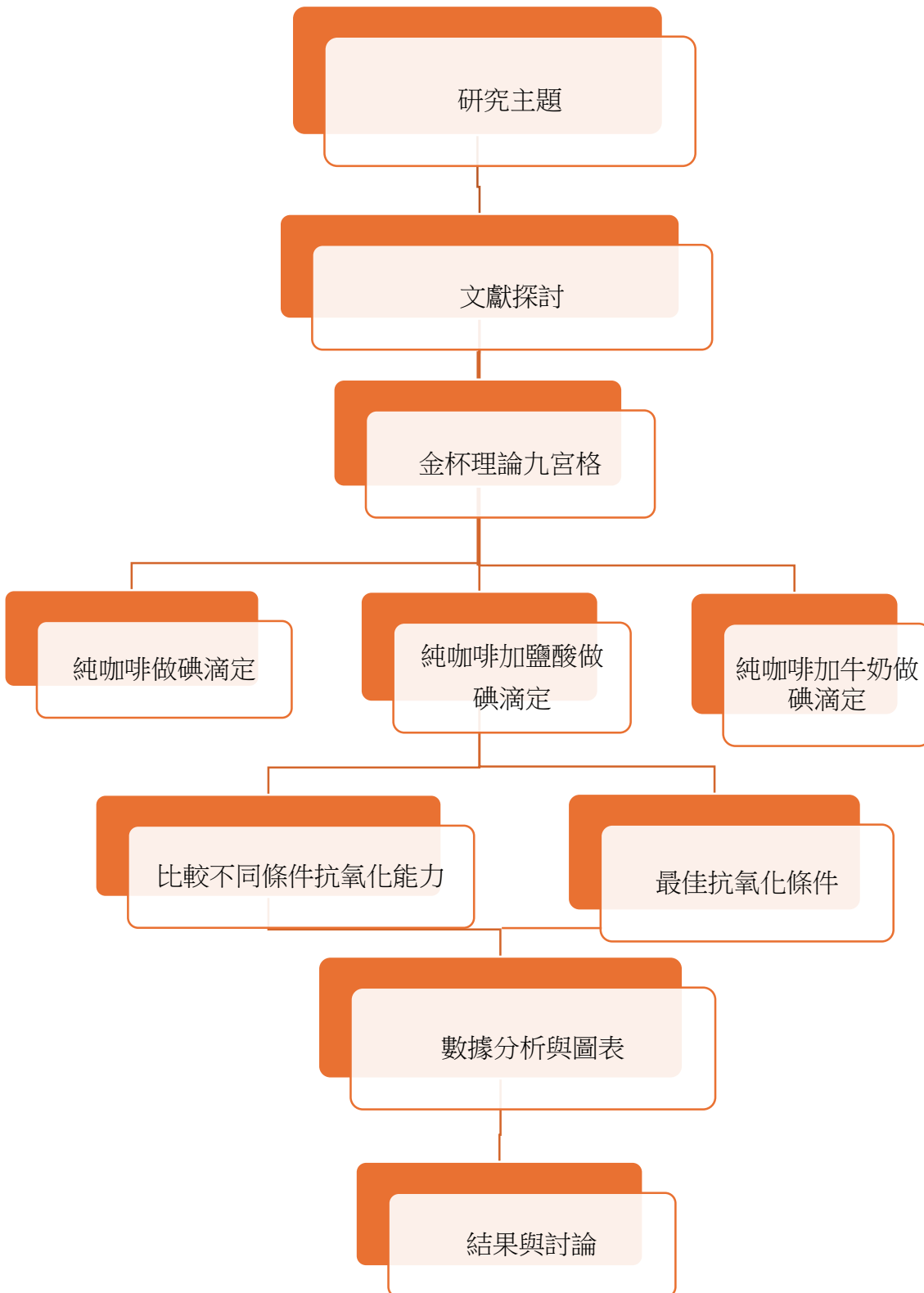
- (一) 找出金杯理論九大區域中，每個區域的代表性濃度、萃取率。
- (二) 將咖啡萃取物質以碘滴定做抗氧化測試。
- (三) 將咖啡萃取出物質加入鹽酸以碘滴定做抗氧化測試。
- (四) 將咖啡萃取出物質加入牛奶以碘滴定做抗氧化測試。

貳、研究設備及器材

一、實驗設備與器材				
特殊器材				
咖啡濃度儀	磨豆機	調溫加熱器	PH 計	手沖壺
				
玻璃咖啡壺	陶瓷濾杯	咖啡杯	電子秤	
				
一般器材				
酸式滴定管、滴定管架、燒杯、量筒、三角漏斗、錐形瓶、咖啡濾紙、塑膠滴管				
二、實驗藥品				
衣索比亞淺烘培 咖啡豆	0.1N 碘液	可溶性澱粉	鮮奶	12M 鹽酸
				

參、研究過程及方法

一、研究架構



二、實驗方法

(一)定出金杯理論九宮格中的代表點：

在圖一中，我們標出九個區域的中間值當作代表點，其代表值分別如下：

點1 (濃度 1.62 %，萃取率16%)、點2 (濃度 1.3 %，萃取率16%)、

點3 (濃度 1.05 %，萃取率16%)、

點4 (濃度 1.62 %，萃取率20%)、點5 (濃度 1.3%，萃取率20%)、點6 (濃度 1.05 %，萃取率20%)、

點7 (濃度 1.62 %，萃取率24%)、點 8 (濃度 1.3 %，萃取率24%)、點9 (濃度 1.05 %，萃取率24%)

我們改變變因(咖啡豆重、磨豆機研磨號數)以沖煮出接近代表點的數值。

根據濃度的定義：咖啡液中所有可溶解的物質含量所佔的百分比，可列成以下公式：

濃度 TDS(%) = 萃取出咖啡粉重(g) / 咖啡液重量 (g)⋯ (式一)

根據萃取率的定義：咖啡粉中有多少百分比的可溶解物質被萃取出來，列成下列公式

萃取率 EXT(%) = 萃取出咖啡粉重(g) / 咖啡粉重量 (g)⋯(式二)

其中，濃度可以由儀器測得，咖啡液重量及咖啡粉重量可由電子秤測得，萃取率我們現有儀器無法測得，須由換算得到。

由式一及式二可得：咖啡液重*濃度 TDS = 咖啡粉重 * 萃取率 EXT

可得萃取率 **EXT= (咖啡液重 / 咖啡粉重量) * TDS** (式三)

(二)直接碘滴定 vs 間接碘滴定

碘滴定法，我們參考酷客雲網站，碘滴定法有2種[5]，

一為直接碘滴定：

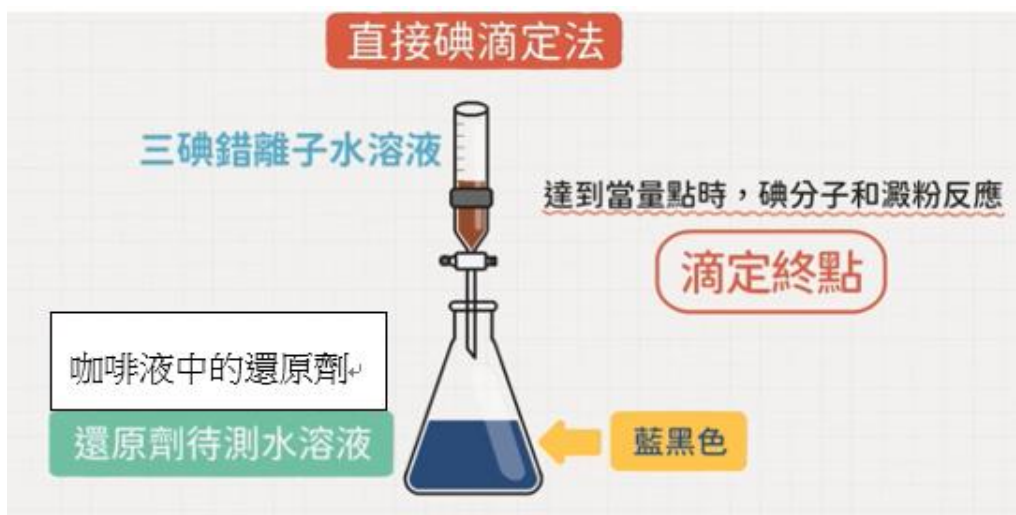
先將待測液 (在此則為我們的咖啡液) 置於錐形瓶中，並以澱粉作為指示劑，滴定過程中因為待測液為還原劑，會將碘分子還原為碘離子，待測液中藍色很快出現又消失，呈現無色，滴定終點時溶液則由無色變為藍色，藍色不消失。

過程如下：

$I_2 + \text{澱粉} \rightarrow \text{澱粉}-I_2$ 錯合物(藍色)

$I_2 + 2e^- (\text{還原劑}) \rightarrow 2I^-$ (藍色消失)

$I_2 + \text{澱粉} \rightarrow \text{澱粉}-I_2$ (錯合物) (滴定終點時藍色不消失)

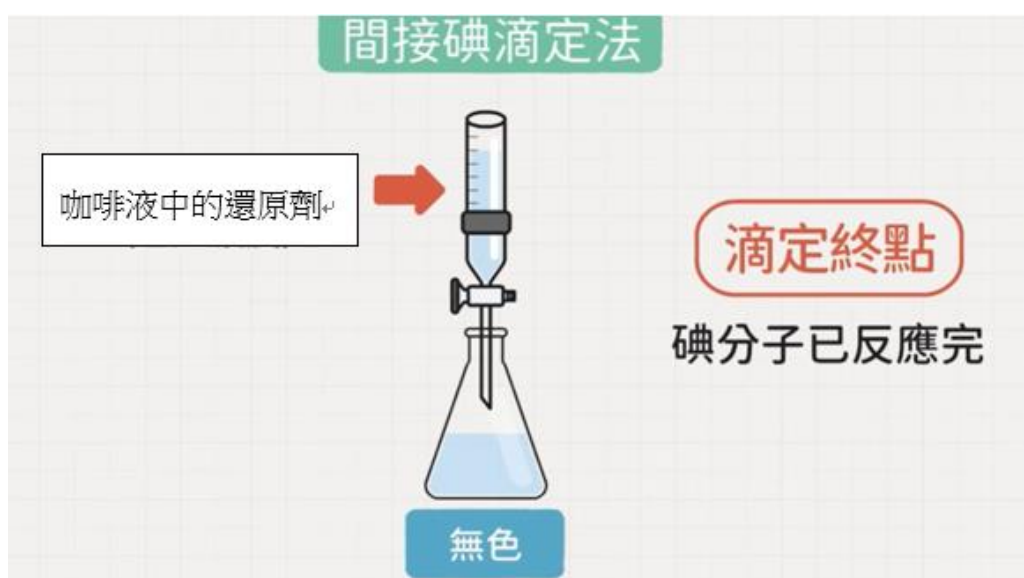
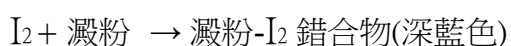


(圖二、直接碘滴定法)

二為間接碘滴定或稱為反滴定：

先將標準碘液置於錐形瓶中，以澱粉液作為指示劑，此時錐形瓶中呈現深藍色，再以還原劑 (在此則為我們的咖啡液) 做滴定，滴定至深藍色慢慢消退至完全消失為止，則為滴定終點。

過程如下：



(圖三、間接碘滴定法、反向滴定法)

三、實驗步驟

(一)實驗一、找出金杯理論九大區域中，每個區域的代表性濃度、萃取率

1. 拿出電子秤，**秤量所需豆重24.5g**。
2. 將咖啡豆放入磨豆機,並調整**研磨度為5.5號**。
3. 取出咖啡濾紙,放入聰明濾杯(咖啡用具) ,將其放置電 子秤上扣重。
4. 將研磨後的咖啡粉倒入咖啡濾紙中。
5. 使用定溫壺裝水加熱定溫至91度 c。
6. 以不銹鋼手沖壺開始沖煮、計時（總水量300g，時間控制在2.5分鐘）
注水及斷水：注水30克水-停30秒-注水至200克-停30秒-注水至300克。
整個過程控制在2.5分鐘完成。
7. 準備空玻璃咖啡壺放置電子秤上歸零後,將沖煮好的咖啡倒入其中**測量咖啡液重**。
8. 使用咖啡濃度儀測量 **TDS (咖啡液濃度)**，並記錄。
9. 套公式**換算萃取率**，並記錄。
- 10.依序改變步驟1、2 咖啡豆重及研磨度為 (**20g、6號**)、(**17g、8號**)、(**22g、3號**)、
(**17g、3號**)、(**11.5g、3.5號**)、(**18g、1號**)、(**15g、1號**)、(**11.5g、1號**)。總共得到9個代
表點。



咖啡豆放入磨豆機,並調整研磨度



不銹鋼手沖壺開始沖煮、計時



測量咖啡液重



咖啡濃度儀測量 TDS

(二)、實驗二、將咖啡萃取物質以直接碘滴定做抗氧化測試。

1. 配製 2%澱粉指示劑：

- (1) 秤量可溶性澱粉 0.4g，倒入10ml 冷水，攪拌
- (2) 燒杯量取沸水200 mL
- (3) 將10ml 澱粉液分4次倒入200ml 沸水，持續攪拌
- (4) 持續以100度沸水煮2 分鐘，煮至透明、糊狀
- (5) 放涼後備用

2. 於錐形瓶中先加入1號咖啡萃取液10ml, 滴入5滴澱粉液當指示劑，

3. 取0.1N 標準碘液10ml 至滴定管中，開始滴定，每滴後充分搖勻。

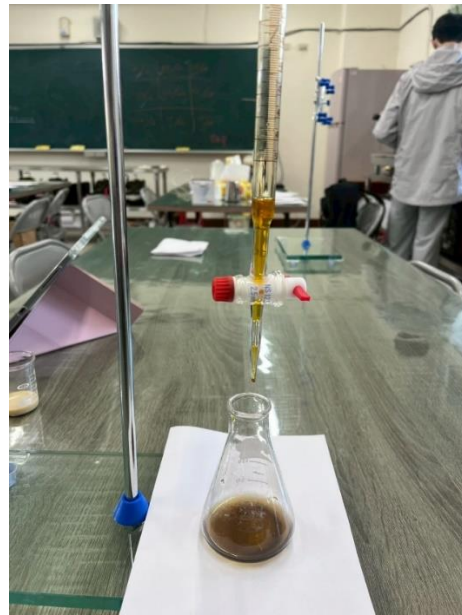
4. 觀察藍色出現及消失。

5. 充分搖勻後等30 秒，至藍色不再消失，即判定為滴定終點。

6. 記錄滴定時所消耗的碘液毫升數。



碘液滴定錐形瓶中的咖啡液，藍色出現後消失



藍色混雜錐形瓶中咖啡液，顏色互相干擾，滴定終點無法判斷

(三)、實驗三、將咖啡萃取物質以反向滴定做抗氧化測試。

1. 配製 2% 澱粉指示劑：

- (1) 秤量可溶性澱粉0.4g，倒入10ml 冷水，攪拌
- (2) 燒杯量取沸水200 mL
- (3) 將10澱粉液分4次倒入200ml 沸水，持續攪拌
- (4) 持續以100度沸水煮2 分鐘，煮至透明、糊狀
- (5) 放涼後備用

2. 於錐形瓶中先加入澱粉液20ml，再加入2ml 碘液，讓溶液呈現深藍色。

3. 於1至9號咖啡萃取液中(含有還原劑、抗氧化物質)，每次取10ml 至滴定管中，開始滴定，每滴後充分搖勻。

4. 藍色逐漸變淡。

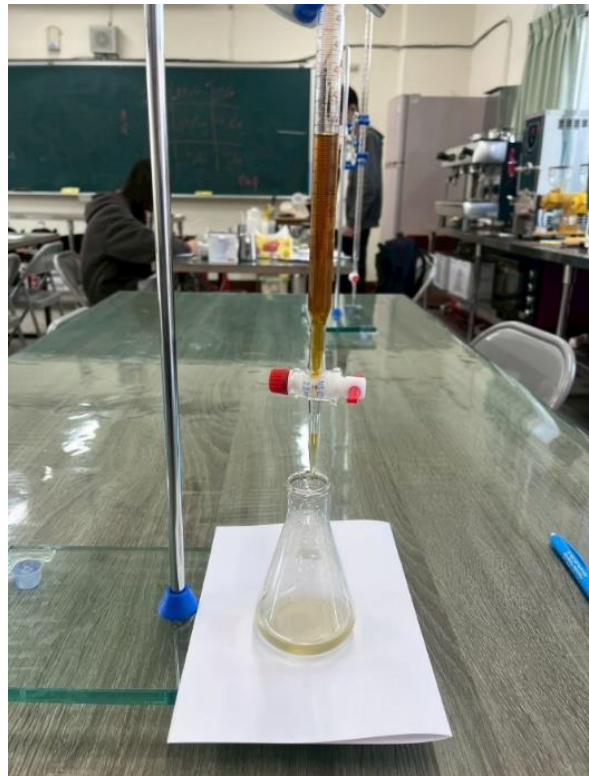
5. 充分搖勻後等30 秒至藍色完全消失，即判定為滴定終點。

6. 記錄滴定时所消耗的咖啡萃取液毫升數。

7. 重複步驟2至6三次，再取平均值，以推算抗氧化能力。



錐形瓶中為碘液加澱粉液溶液呈深藍色



以咖啡液滴定至藍色消失為滴定終點，變化明顯，

(四)、實驗四、將咖啡萃取物質加入 PH 值接近 2 的鹽酸以反向滴定做抗氧化測試。

1. 配製 PH 值接近 2 的鹽酸：

(1) 取約500 ml 的水於燒杯中

(2) 以滴管量取約12M 的鹽酸約0.4ml

(3) 將12M 0.4ml 的鹽酸攪以滴管緩慢滴入500 ml 的水中，並充分攪拌

(4) 以 PH 計測量實際的 PH 值

2.於錐形瓶中先加入澱粉液20ml，再加入2ml 碘液，讓溶液呈現深藍色。

3.於1號咖啡萃取液中(含有還原劑、抗氧化物質)，每次取10ml 至小燒杯中，並加入 PH 2.3的鹽酸1ml，攪拌均勻。

4.將加有鹽酸的咖啡液倒入滴定管中，開始滴定，每滴後充分搖勻。

5. 藍色逐漸變淡。

6. 充分搖勻後等30 秒至藍色完全消失，即判定為滴定終點。

7. 記錄滴定時所消耗的咖啡萃取液毫升數。

8. 重複步驟2至6三次，再取平均值，以推算抗氧化能力。

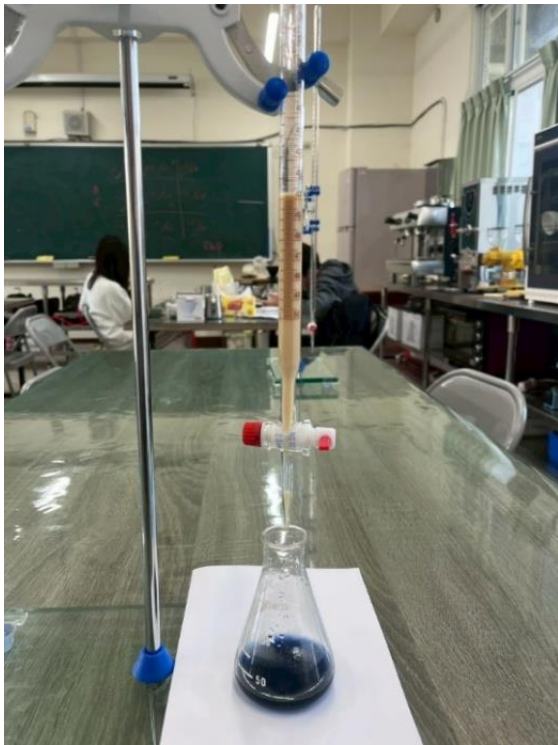
9.依序量取編號 2~ 9的啡啡液，並重複步驟 2-7。



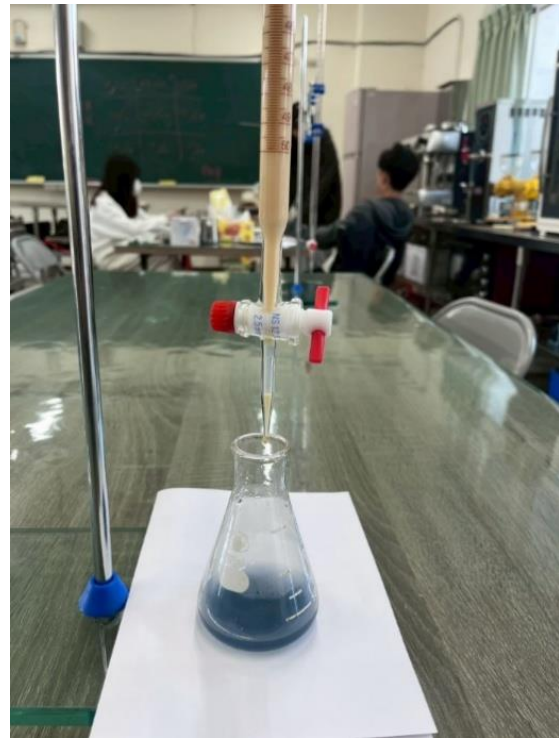
實際測量到的 PH 值為 2.3

(五)、實驗五、將咖啡萃取物質加入鮮奶以反向滴定做抗氧化測試。

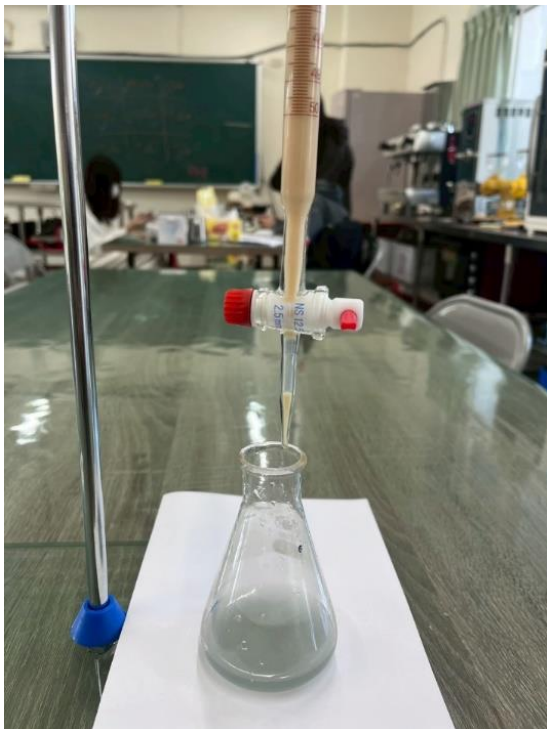
- 1.於錐形瓶中先加入澱粉液20ml，再加入2ml 碘液，讓溶液呈現深藍色。
- 2.於1號咖啡萃取液中(含有還原劑、抗氧化物質)，每次取5ml 至小燒杯中中並加入5 ml 鮮奶，攪拌均勻，總共10ml 。
- 3.將小燒杯中的咖啡牛奶倒入滴定管中開始滴定，每滴後充分搖勻。
4. 藍色逐漸變淡。
5. 充分搖勻後等30 秒至藍色完全消失，即判定為滴定終點。
6. 記錄滴定時所消耗的咖啡牛奶毫升數。
7. 重複步驟2至6三次，再取平均值，以推算抗氧化能力。
- 8.依序量取編號 2~9號的咖啡液，並重複步驟 2-7。



錐形瓶中為碘液加澱粉液溶液呈深藍色



以咖啡牛奶滴定中，藍色變淡



滴定至藍色消失為滴定終點

肆、研究結果與討論

一、實驗一：找出金杯理論九大區域中，每個區域的代表性濃度、萃取率

(一)實驗結果：

1.咖啡沖煮時有所謂的八大參數可以改變，我們選擇以咖啡粉重量及研磨度當作操縱變因，因為依據沖煮經驗這2項變因對於 TDS 及 EXT 的影響會較大，其它參數我們皆加以控制，希望減少操作過程的複雜度。

最後得到了9個代表點，其代表意義及沖煮出之 TDS 及萃取率分別如以下表格中所示：

編號1 高濃度低萃取率			
沖煮條件		沖煮結果	
咖啡粉重量(gw)	24.5	TDS濃度 (%)	1.72
研磨度	5.5	萃取率 (%)	16.1
總水量(gw)	300		
水溫(°C)	91		
沖煮時間(分鐘)	2.5		
咖啡液重量 (gw)	230.4		

編號2 中濃度低萃取率			
沖煮條件		沖煮結果	
咖啡粉重量(gw)	20	TDS濃度 (%)	1.33
研磨度	6	萃取率 (%)	16.8
總水量(gw)	300		
水溫(°C)	91		
沖煮時間(分鐘)	2.5		
咖啡液重量 (gw)	253		

編號3 低濃度低萃取率			
沖煮條件		沖煮結果	
咖啡粉重量(gw)	17	TDS濃度 (%)	1.05
研磨度	8	萃取率 (%)	16.1
總水量(gw)	300		
水溫(°C)	91		
沖煮時間(分鐘)	2.5		
咖啡液重量 (gw)	260.7		

編號4 高濃度中萃取率			
沖煮條件		沖煮結果	
咖啡粉重量(gw)	22	TDS濃度 (%)	1.6
研磨度	3	萃取率 (%)	19.2
總水量(gw)	300		
水溫(°C)	91		
沖煮時間(分鐘)	2.5		
咖啡液重量 (gw)	264		

編號5 中濃度中萃取率			
沖煮條件		沖煮結果	
咖啡粉重量(gw)	17	TDS濃度 (%)	1.43
研磨度	3	萃取率 (%)	20.4
總水量(gw)	300		
水溫(°C)	91		
沖煮時間(分鐘)	2.5		
咖啡液重量 (gw)	242.8		

編號6 低濃度中萃取率			
沖煮條件		沖煮結果	
咖啡粉重量(gw)	11.5	TDS濃度 (%)	1.06
研磨度	3.5	萃取率 (%)	21.2
總水量(gw)	300		
水溫(°C)	91		
沖煮時間(分鐘)	2.5		
咖啡液重量 (gw)	230.2		

編號7 高濃度高萃取率			
沖煮條件		沖煮結果	
咖啡粉重量(gw)	18	TDS濃度 (%)	1.65
研磨度	1	萃取率 (%)	24.2
總水量(gw)	300		
水溫(°C)	91		
沖煮時間(分鐘)	2.5		
咖啡液重量 (gw)	265		

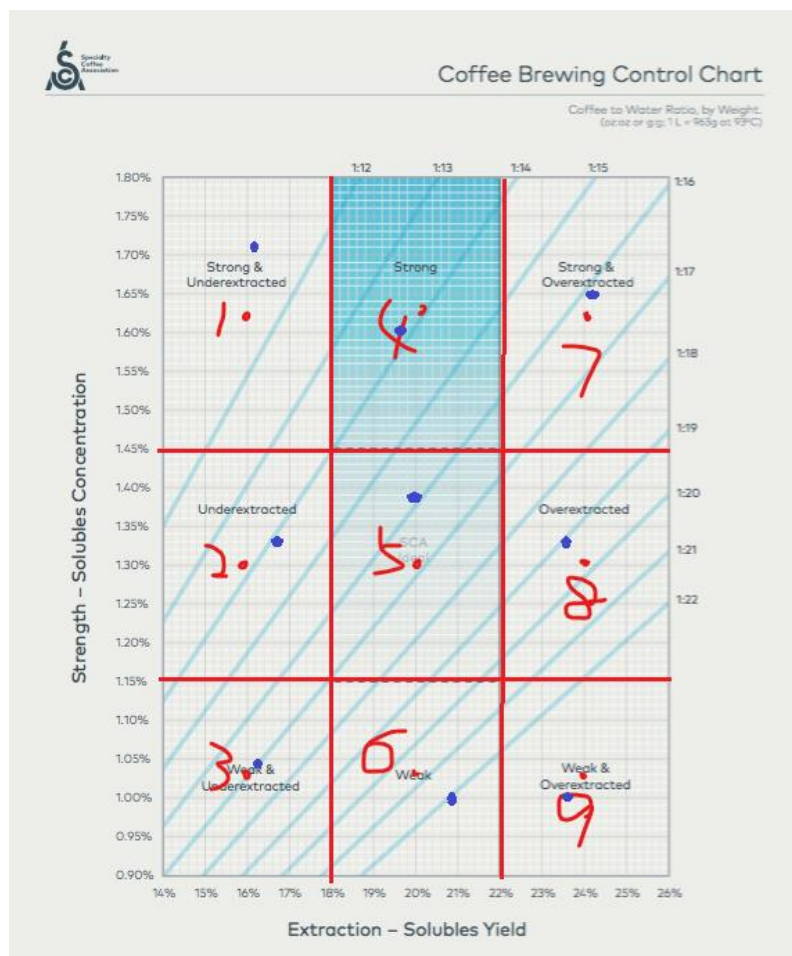
編號8 中濃度高萃取率			
沖煮條件		沖煮結果	
咖啡粉重量(gw)	15	TDS濃度 (%)	1.34
研磨度	1	萃取率 (%)	23.4
總水量(gw)	300		
水溫(°C)	91		
沖煮時間(分鐘)	2.5		
咖啡液重量 (gw)	262.2		

編號9 低濃度高萃取率			
沖煮條件		沖煮結果	
咖啡粉重量(gw)	11.5	TDS濃度(%)	1.06
研磨度	1	萃取率(%)	23.4
總水量(gw)	300		
水溫(°C)	91		
沖煮時間(分鐘)	2.5		
咖啡液重量(gw)	254.6		

表一、編號1~9 不同的沖煮條件所產生的沖煮結果及沖煮狀態各別分析表

(二)實驗討論：

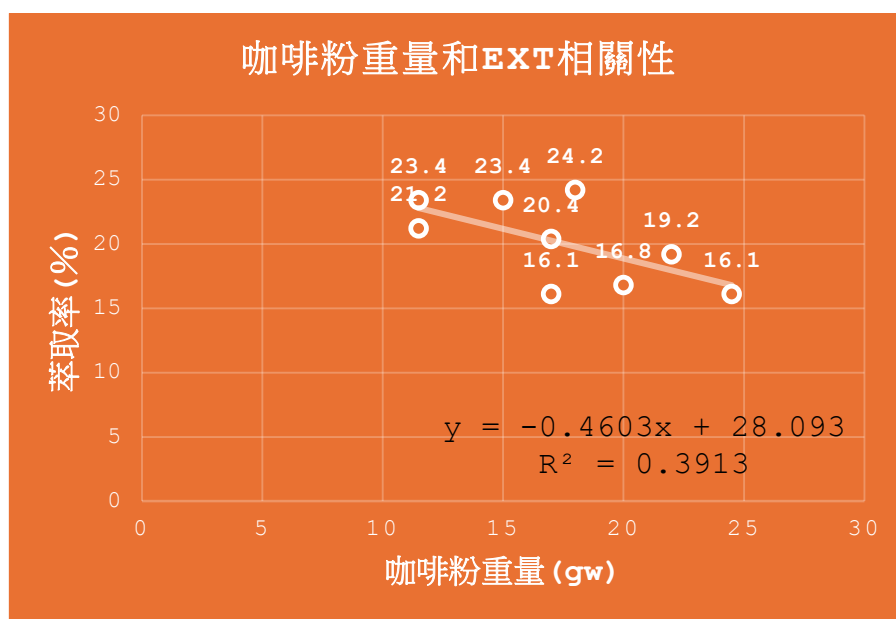
1.我們將實際沖煮出的 TDS 及萃取率 EXT 以藍色點標示在金杯理論沖煮圖中，紅色點代表我們預設的理想值。其中有些藍色點接近紅點，有些藍點離紅點差距較大，顯示要沖煮出九宮格中的理想值很困難，可能需要同時操作數個參數，例如粉水比、水溫、沖煮時間、甚至斷水時間及是否擾流。因此我們就以平常所學及經驗，即改變咖啡粉重量及研磨度這2大變因來當作操縱變因。這也讓我們了解到咖啡的世界是很廣大的，可能一個小變因就會改變結果的移動。



2.我們將編號 1~9 中的 2個沖煮條件，即 ①咖啡粉重量和 ②研磨度，以及沖煮結果，即①TDS 和 ②萃取率拉出來整理成表格，並以線性迴歸做交叉比較分析，結果如下：

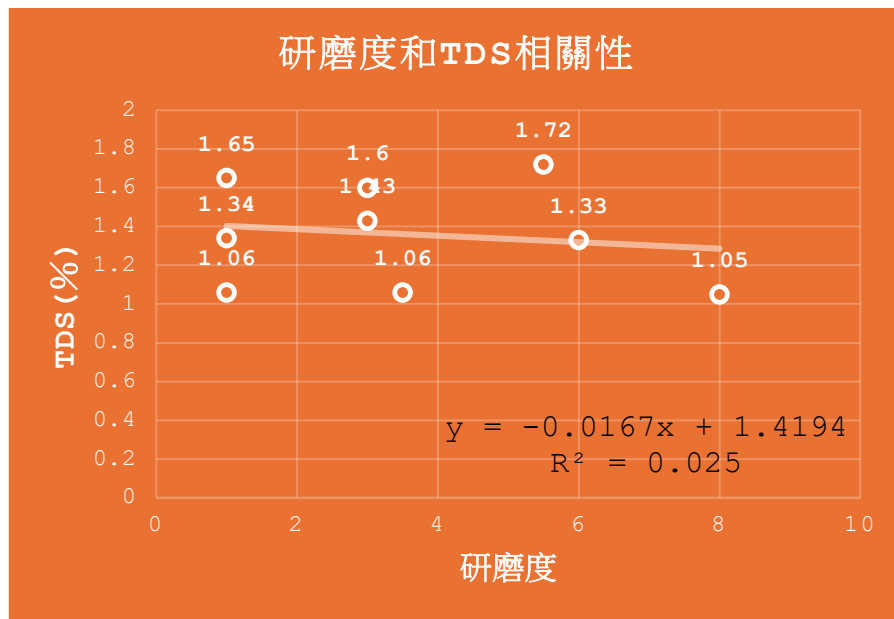
	沖煮條件		沖煮結果	
	咖啡粉重量(gw)	研磨度	TDS濃度(%)	萃取率(%)
編號1	24.5	5.5	1.72	16.1
編號2	20	6	1.33	16.8
編號3	17	8	1.05	16.1
編號4	22	3	1.6	19.2
編號5	17	3	1.43	20.4
編號6	11.5	3.5	1.06	21.2
編號7	18	1	1.65	24.2
編號8	15	1	1.34	23.4
編號9	11.5	1	1.06	23.4

表二、編號1~9 不同的沖煮條件所產生的沖煮結果分析表



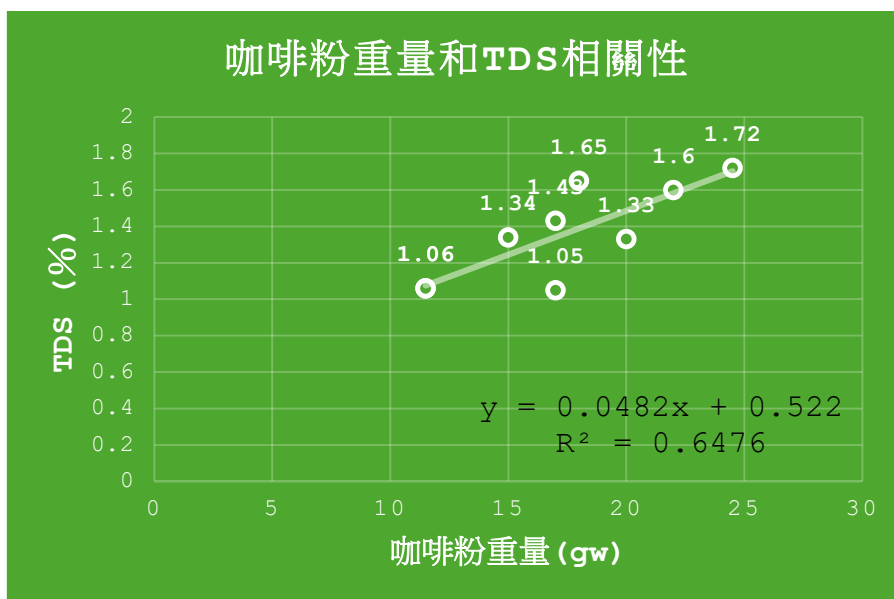
圖四、咖啡粉重量（g） vs EXT（%）

圖四顯示咖啡粉重量與萃取率有負相關（ $R^2 \approx 0.39$ ）。但相關性並不高。即咖啡粉重量並不是決定萃取率的重要因素。



圖五、研磨度 vs TDS (%)

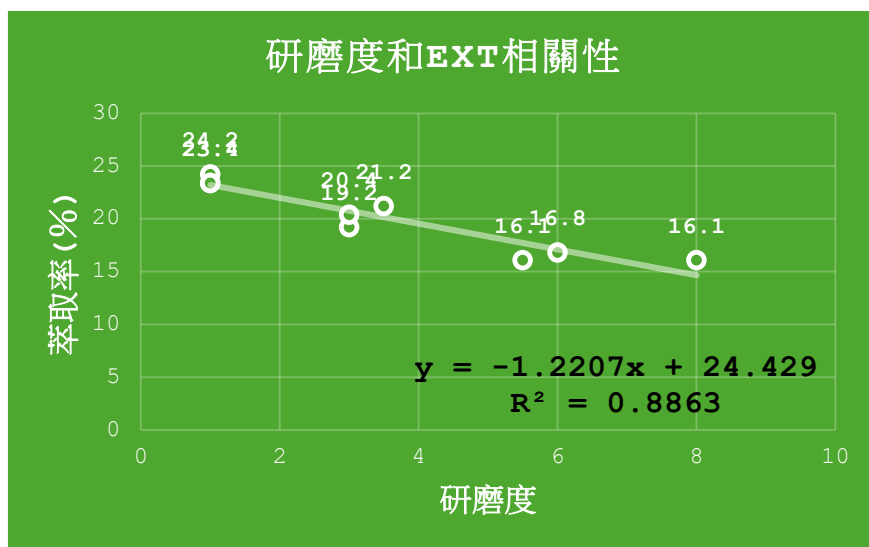
圖五可知研磨度與 TDS 濃度之間的線性相關性極低 ($R^2 = 0.025$)，顯示研磨度的改變並未對 TDS 造成顯著影響



圖六、咖啡粉重量 (g) vs TDS (%)

圖六顯示咖啡粉重量與 TDS 濃度呈現顯著正相關 ($R^2 = 0.6476$)。代表約 65% 的 TDS 變化可以用「咖啡粉重量」來解釋，剩下約 35% 來自其他因素（粉水比、流速、水溫、沖煮時間等）。

我們推測是因為隨著咖啡粉重量增加，咖啡液中可溶性物質濃度也會增加，顯示在本實驗條件下，粉量是影響咖啡濃度的重要因素之一。



圖七、研磨度 vs EXT (%)

圖七結果顯示研磨度與萃取率之間呈現高度負相關 ($R^2 = 0.8863$)。隨著研磨度增加（顆粒變粗），萃取率明顯下降；反之，研磨越細，萃取率會上升。

我們推測是因為咖啡粉與水的接觸面積增加，使可溶性物質萃取較完全，因此萃取率顯著提高。

二、實驗二：將咖啡萃物質以直接碘滴定做抗氧化測試。

(一)實驗結果：

1.我們取編號1的咖啡萃取液做直接碘滴定时，過程中發現，碘液碰到澱粉時呈現的藍色混雜錐形瓶中咖啡液，顏色互相干擾，以致於藍色不消失時的滴定終點無法判斷。因此無法以直接碘滴定的方法做為實驗方法。

三、實驗三、將咖啡萃取物質以反向滴定做抗氧化測試。

(一)實驗結果：

1.錐形瓶中為碘液加澱粉液溶液時呈深藍色，以咖啡液滴定至藍色消失為滴定終點，這樣的過程變化明顯，因此後續的滴定我們都採用此方法來滴定。

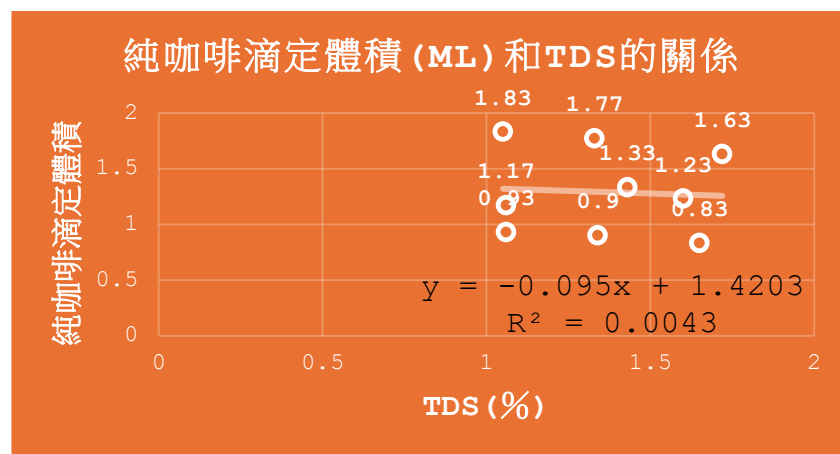
2.在此實驗中我們要探討的是當咖啡萃取出時，其 TDS 濃度及萃取率 EXT 對滴定量的影響，我們將編號1~9的咖啡液所使用的滴定體積及 TDS、萃取率 EXT 整理成表格如下。

純咖啡滴定體積	第一次	第二次	第三次	平均	TDS濃度(%)	萃取率(%)
編號1	1.6	1.8	1.5	1.63	1.72	16.1
編號2	1.8	1.6	1.9	1.77	1.33	16.8
編號3	1.7	1.8	2	1.83	1.05	16.1
編號4	1.2	1.1	1.4	1.23	1.6	19.2
編號5	1.3	1.3	1.4	1.33	1.43	20.4
編號6	1	1.2	1.3	1.17	1.06	21.2
編號7	0.8	0.9	0.8	0.83	1.65	24.2
編號8	1	0.9	0.8	0.9	1.34	23.4
編號9	0.9	1.1	0.8	0.93	1.06	23.4

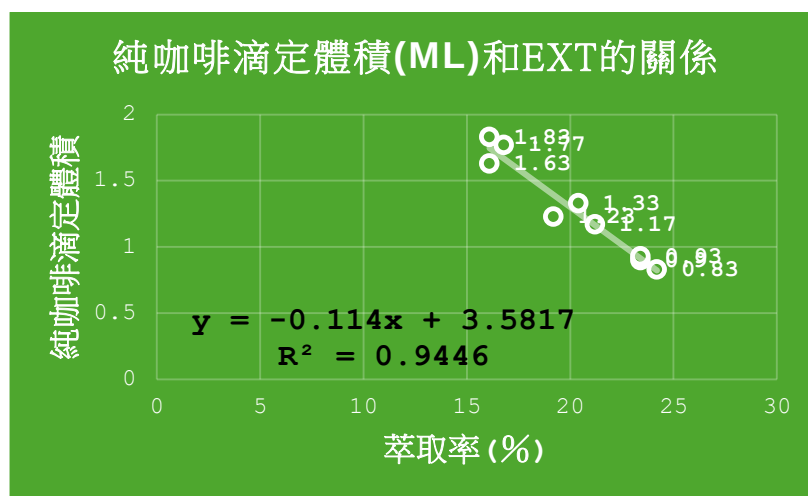
表三、純咖啡滴體積 vs TDS、EXT 關係表

(二)實驗討論：

1.以線性迴歸分析來探討 TDS 對咖啡滴定用量的關係；及探討萃取率 EXT 對咖啡滴定用量的關係。



圖八、純咖啡滴定體積(ml) vs TDS (%)



圖九、純咖啡滴定體積 (ml) vs EXT (%)

2. 本實驗中顯示，萃取率 EXT 與咖啡液滴定體積之間具有高度線性負相關性 ($R^2 = 0.9446$)，反映出咖啡液萃取率 EXT 越高，滴定體積越少。

我們推測是因為隨萃取率 EXT 上升，咖啡中真正可被萃取出的還原性物質含量增加，因此所需滴定劑體積下降。

而 TDS 和滴定體積幾乎沒有相關性 ($R^2 = 0.0043$)

我們的解釋是 TDS 是代表「總溶解物質的多寡」，包含有：綠原酸等多酚類、糖類、有機酸、咖啡因、色素、礦物質、苦味物質等，不能真正代表咖啡液中具抗氧化物質比例。真正能還原碘、影響滴定量的只有其中一部分（即綠原酸等抗氧化物質）。因此，TDS 高，不代表「真正的抗氧化物質一定多」，但萃取率 EXT 高，真的能代表「有效抗氧化成分被萃出來的比例愈高」。

四、實驗四、將咖啡萃取物質加入 PH 值接近 2 的鹽酸以反向滴定做抗氧化測試。

(一)實驗結果：

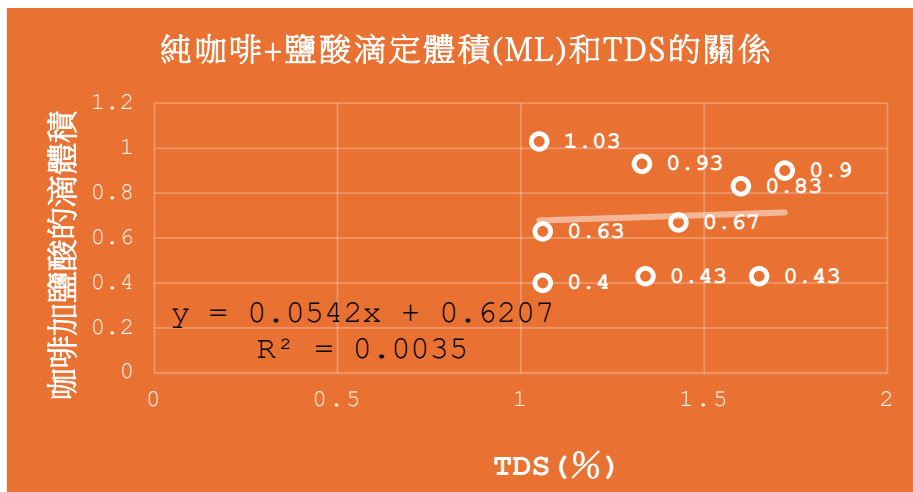
1.在此實驗中我們要探討的是當咖啡萃取出後(取10ml)，再加入一定量的鹽酸(1ml)，其 TDS 濃度及萃取率 EXT 對滴定量的影響，我們將編號1~9的咖啡液所使用的滴定量及 TDS、萃取率 EXT 整理成表格如下。

純咖啡+鹽酸滴定體積	第一次	第二次	第三次	平均	TDS濃度(%)	萃取率(%)
編號1	0.9	1	0.8	0.9	1.72	16.1
編號2	1	0.9	0.9	0.93	1.33	16.8
編號3	0.9	1.1	1.1	1.03	1.05	16.1
編號4	0.8	0.8	0.9	0.83	1.6	19.2
編號5	0.6	0.8	0.6	0.67	1.43	20.4
編號6	0.5	0.7	0.7	0.63	1.06	21.2
編號7	0.4	0.4	0.5	0.43	1.65	24.2
編號8	0.5	0.4	0.4	0.43	1.34	23.4
編號9	0.4	0.4	0.4	0.4	1.06	23.4

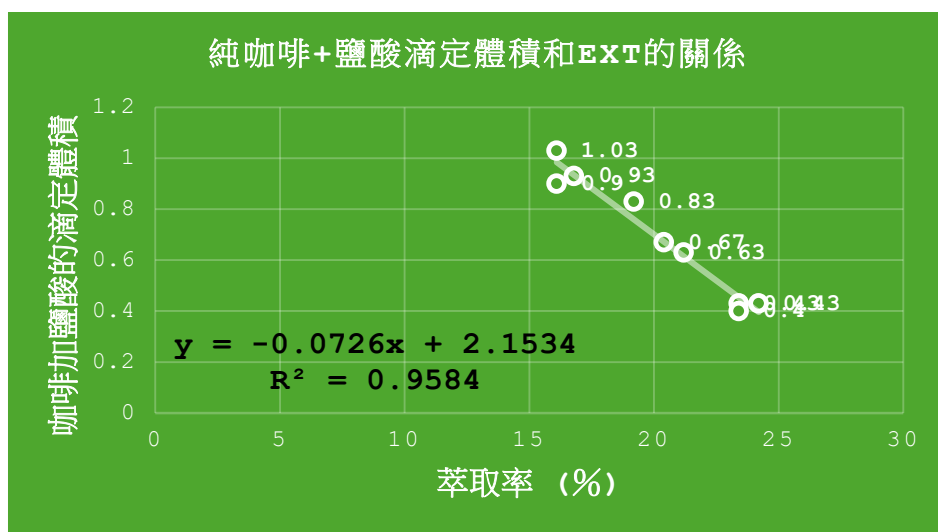
表四、純咖啡加鹽酸滴體積 vs TDS、EXT 關係表

(二)實驗討論：

1.以線性迴歸分析來探討 TDS 對咖啡滴定體積的關係；及探討萃取率 EXT 對咖啡滴定體積的關係。



圖十、純咖啡+鹽酸滴定體積 vs TDS (%)



圖十一、純咖啡+鹽酸滴定體積 vs EXT (%)

2. 本實驗中顯示將純啡加鹽酸使其酸化後線性回歸決定係數僅為 $R^2 = 0.0035$ ，顯示 TDS 和滴定體積幾乎沒有任何相關性，解釋原因如同實驗三：TDS 高，不代表「真正的抗氧化物質一定多」。

萃取率 EXT 與咖啡液滴定體積之間具有高度線性負相關性 ($R^2 = 0.9584$)，萃取率 EXT 越高，滴定體積越少。我們推測是因為隨萃取率上升，**萃取率 EXT 愈高，真的能代表「有效抗氧化成分被萃出來的比例愈高」**。因此所需滴定劑體積下降。

五、實驗五、將咖啡萃取物質加入鮮奶以反向滴定做抗氧化測試。

(一)實驗結果：

1. 在此實驗中我們要探討的是當純咖啡(取5ml)和鮮奶(取5ml)以1:1的比例混合後，是否會如文獻所說會增加抗氧化性，及 TDS 濃度及萃取率 EXT 對滴定量的影響，我們

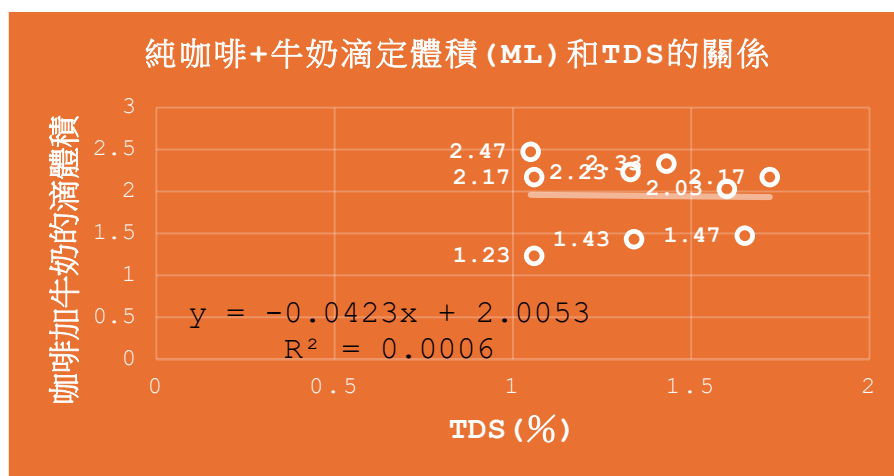
將編號1~9的咖啡牛奶液所使用的滴定量及 TDS、萃取率 EXT 整理成表格如下。

純咖啡+牛奶滴定量	第一次	第二次	第三次	平均	TDS濃度(%)	萃取率(%)
編號1	2	2.1	2.4	2.17	1.72	16.1
編號2	2.4	2	2.3	2.23	1.33	16.8
編號3	2.3	2.5	2.6	2.47	1.05	16.1
編號4	2.2	1.9	2	2.03	1.6	19.2
編號5	2.4	2.2	2.4	2.33	1.43	20.4
編號6	1.9	2.2	2.4	2.17	1.06	21.2
編號7	1.3	1.6	1.5	1.47	1.65	24.2
編號8	1.5	1.4	1.4	1.43	1.34	23.4
編號9	1.2	1.3	1.2	1.23	1.06	23.4

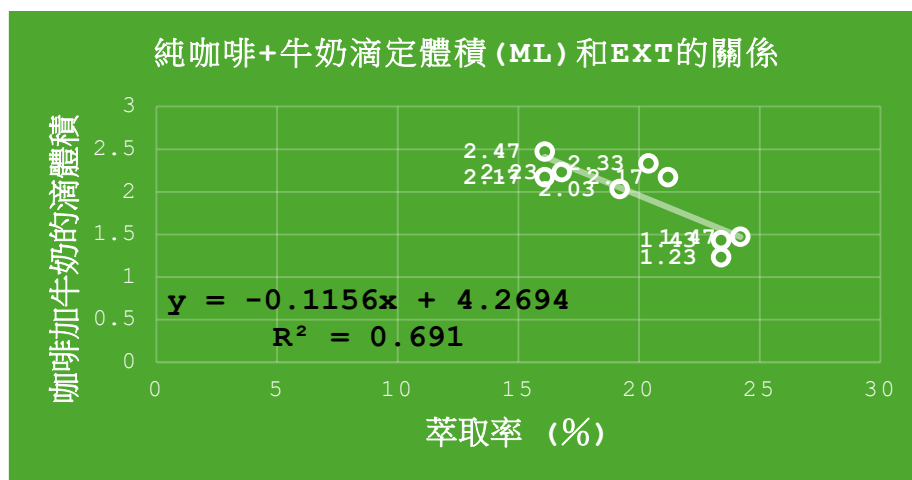
表五、純咖啡加牛奶滴定量 vs TDS、EXT 關係表

(二)實驗討論：

1. 以線性迴歸分析來探討 TDS 對咖啡牛奶滴定量之關係；及探討萃取率 EXT 對咖啡牛奶滴定量之關係。



圖十二、純咖啡+牛奶滴定量 vs TDS (%)



圖十三、純咖啡+牛奶滴定量 vs EXT (%)

2. 本實驗中顯示將純啡加牛奶後其線性回歸決定係數僅為 $R^2 = 0.0006$ ，也就是 TDS 對咖啡加牛奶的滴定體積幾乎沒有相關性。

我們的解釋是當咖啡加了牛奶後，其中的物質除了原來的糖類、有機酸、咖啡因、色素、礦物質、苦味物質、多酚類物質等，還多了牛奶中的蛋白質、脂肪，其中只有多酚類是真正會影響碘滴定的「抗氧化物質」，牛奶中的蛋白質、脂肪也不是抗氧化成份。

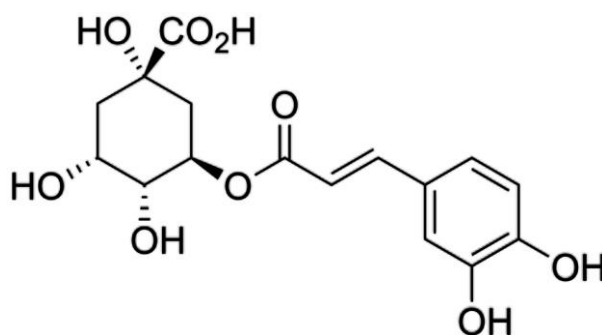
3. 萃取率 EXT 與咖啡液滴定體積之間中度偏高的線性負相關性 ($R^2 = 0.691$)，仍然表現出咖啡液萃取率 EXT 越高，滴定體積越少。但相關性已經沒有純咖啡或加鹽酸後的樣本有那麼高的相關性。也就是加了牛奶後，萃取率 EXT 對滴定量的影響力有明顯下降。

4. 這與我們於《農業與食品化學期刊 (Journal Of Agricultural And Food Chemistry)》的研究指出，在咖啡中加入牛奶，能產生更好的抗發炎作用。多酚類物質與蛋白質結合有加成性的抗發炎作用，在加牛奶的咖啡飲品中，免疫細胞產生的抗炎反應效果提高[6]的結論似乎有所矛盾，因為我們預期咖啡加牛奶後，應該會有更好的抗氧化能力。

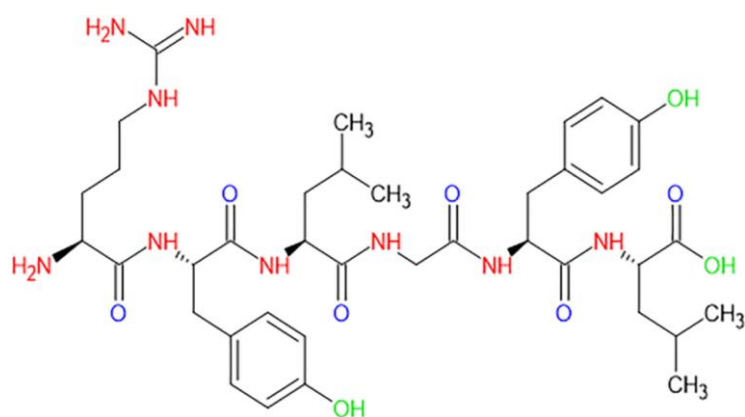
因此我們重新查找資料試圖解釋這樣的矛盾，發現咖啡加牛奶後有特殊的作用機制，這樣的機制會降低咖啡本身的抗氧化力。

5. 作用機制如下：

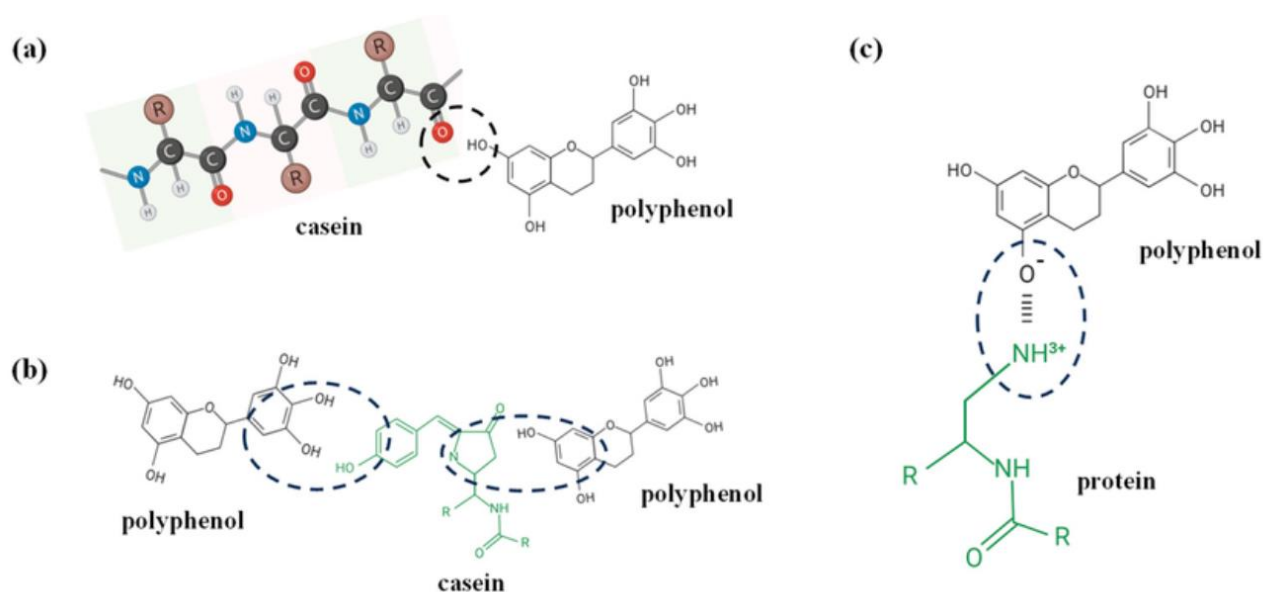
根據 Horita et al. (2025) [7] 研究發現顯示咖啡中的多酚會和牛奶中的蛋白質形成非共價鍵複合物 (complex)，因此咖啡中的有效多酚類物質比例下降，造成了整體的還原力下降。



綠原酸的多酚結構



牛奶酪蛋白結構



圖十四、引用 Horita et al., 2025 多酚-蛋白非共價鍵互作用機制

圖十四 (a)、(c)顯示，多酚類的 $-OH$ 官能基，會以氫鍵和蛋白質的 $-CO$ 、 $-NH$ 官能基形成複合物 (complex)。

圖(b)顯示酪蛋白中的疏水胺基酸側鏈，會和多酚類的疏水性芳香環形成非共價相互作用。這些因素共同穩定了其複合物結構。

- 我們分析在《農業與食品化學期刊 (Journal Of Agricultural And Food Chemistry)》這篇期刊中指出，在咖啡中加入牛奶，能產生更好的抗發炎作用。多酚類物質與蛋白質結合有加成性的抗發炎作用，在加牛奶的咖啡飲品中，免疫細胞產生的抗發炎反應效果提高。這個機制因為牽涉到進入體內腸胃道中，屬於人體中的生化反應，就會和在單純的化學氧化還原滴定時表現就會不同。

我們進一步推論，當多酚和蛋白質結合所形成的複合物，因為結構上「比較穩定」，

反而保護多酚物質不被破壞，例如：自由多酚在腸道容易被 PH 破壞。此時蛋白質像「保護殼」，到腸胃道之後，因為胃蛋白酶將蛋白質分解後，多酚類物質再慢慢釋放，多酚類成分被更好地保留下來，並可以使抗發炎作用時間拉長，因此使免疫細胞產生的抗發炎反應效果提高。

6. 本實驗以「咖啡液條件」為自變數，分別為純咖啡、純咖啡加鹽酸以及咖啡加牛奶三種處理方式；以「反滴定碘所需用量」為依變數，用以代表樣品中可與碘反應之抗氧化能力。做出綜合比較表及分析圖如下：

	純咖啡滴定用量	純咖啡+鹽酸滴定用量	咖啡加牛奶滴定用量
編號1	1.63	0.9	2.17
編號2	1.77	0.93	2.23
編號3	1.83	1.03	2.47
編號4	1.23	0.83	2.03
編號5	1.33	0.67	2.33
編號6	1.17	0.63	2.17
編號7	0.83	0.43	1.47
編號8	0.9	0.43	1.43
編號9	0.93	0.4	1.23

表六、不同咖啡液條件及其滴定體積綜合比較表



圖十五、不同咖啡液條件及其滴定體積綜合分析圖

由圖十五可觀察到，在所有實驗組別中，「咖啡加牛奶組」之滴定體積皆為最高，其次為「純咖啡組」，而「咖啡加鹽酸組」最低。此結果顯示不同環境條件會明顯影響咖啡液中之還原性物的抗氧化能力。

咖啡加了鹽酸後，可見到在每一個組別當中的滴定量都減少，顯示其還原力提高了。我們推測可能的原因是：非酸性環境中，綠原酸等多酚類物質較易氧化、導致結構改變，因而降低了抗氧化力。在酸性環境中則可以維持多酚類的穩定性，從而保持其抗氧化力。

咖啡加了牛奶後，可見到在每一個組別當中的滴定量都增加，顯示其還原力下降了。我們已經從文獻中找到原因是：咖啡中的多酚物質會和牛奶中的蛋白質形成非共價鍵複合（complex），因此咖啡中的有效多酚類物質比例下降，造成了整體的還原力下降。

伍、結論

一、金杯理論中的九個代表點顯示，高濃度的咖啡液也會有低萃取率，而低濃度的咖啡液也會有高萃取率，兩者是互相獨立的。

二、咖啡粉重量是影響濃度 TDS 的主要因素，研磨度則是影響萃取率 EXT 的主要因素。

三、直接碘滴定法終點極不易判斷，因為藍色會被咖啡液的黃褐色干擾。反向滴定法，當溶液由深藍色滴至完全消失時這樣的顏色變化過程，因此反向滴定法是適合這個實驗的滴定方法。

四、濃度 TDS 和咖啡液滴定體積完全沒有相關性。

五、萃取率 EXT 和咖啡液滴定體積皆成高度負相關性，萃取率愈高者，所需咖啡滴定量愈少，代表抗氧化力愈強。

所需滴定量大小為：咖啡加牛奶 > 純咖啡 > 咖啡加鹽酸

抗氧化力大小比較為：咖啡加鹽酸 > 純咖啡 > 咖啡加牛奶

六、咖啡加鹽酸的抗氧化性表現最好，是因為在酸性環境中則可以維持多酚類的穩定性，從而保持其抗氧化力。

七、咖啡加牛奶的抗氧化性表現明顯下降，是因為咖啡中的多酚物質會和牛奶中的蛋白質形成非共價鍵複合（complex），因此咖啡中的有效多酚類物質比例下降，造成了整體的還原力下降。

八、未來展望：

研究中咖啡加牛奶的抗氧化性表現不如預期，是因為體外的化學性氧化還原機制和體內的生化條件不同，因此如何模擬咖啡加牛奶在體內的抗氧化性表現機制是另一有發展性的研究的方向，期待未來有機會再深入研究。

陸、參考資料及其他

- 一、樊蓁蓁等人(2016)。咖啡大戰，『原』力覺醒～探討咖啡中的綠原酸。中華民國第 56 屆中小學科展國小組作品：
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/56/pdf/080205.pdf>
- 二、陳昱安等人(2022)。咖啡廢棄物再利用-咖啡果皮之研究。中華民國第 62 屆中小學科展國中組作品
<https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/62/pdf/NPHSF2022-030202.pdf?0.29466959787532687>
- 三、Logan Fang (2025)。咖啡的抗氧化能力：探討其對抗發炎與癌症的潛在功效。咖啡研究所。
<https://coffeeinstitutebase.com/>
- 四、暖窩咖啡 (2025)。什麼是 SCA 金杯理論？讓你快速理解。
<https://shop.cozyhousecoffee.com/blog/posts/golden-cup-brewing>
- 五、臺北酷客雲(2023)。碘的滴定實驗。
<https://www.youtube.com/watch?v=rYD9LCsixuQ>
- 六、Marianne N. Lund* &Jingyuan Liu &Mahesha M. Poojary &Ling Zhu &Andrew R. Williams* &Marianne N. Lund*(2023)。 *Phenolic Acid – Amino Acid Adducts Exert Distinct Immunomodulatory Effects in Macrophages Compared to Parent Phenolic Acids*。 **Journal of Agricultural and Food Chemistry**.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c06658>
- 七、Horita, K. & Kameda, T. & Suga, H., & Hirano, A. (2025). *Molecular mechanism of the interactions between coffee polyphenols and milk proteins*. Food Research International, 202, 115573.